

**Izabela Sówka**

**Metody identyfikacji  
odorotwórczych gazów  
emitowanych z obiektów  
przemysłowych**



Prace badawcze wykonane zostały w ramach projektu  
PBZ-MEiN-5/2/2006 pt. *Nowe metody i technologie dezodoryzacji  
w produkcji przemysłowej, rolnej i gospodarce komunalnej*  
koordynowanego przez Politechnikę Wrocławską  
pod kierownictwem prof. dr. hab. inż. Jerzego Zwoździaka

#### Recenzenci

Iwona SZYMKOWSKA  
Jerzy ZWOŹDZIAK

#### Opracowanie redakcyjne i korekta

Hanna JUREK

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki, zarówno w całości,  
jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny,  
fotograficzny i inny bez zgody właściciela praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
<http://www.oficyna.pwr.wroc.pl>  
e-mail: [oficwyd@pwr.wroc.pl](mailto:oficwyd@pwr.wroc.pl)  
[zamawianie.książek@pwr.wroc.pl](mailto:zamawianie.książek@pwr.wroc.pl)

ISSN 0084-2869

Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej. Zam nr 649/2011.

*Dedykuje*  
*Tobie, Mamo*  
*Tobie, Tato*



*stężenie zapachowe, emisja zapachu,  
olfaktometria dynamiczna, zapachowa uciążliwość,  
badania terenowe, modelowanie*

Izabela SÓWKA\*

## **METODY IDENTYFIKACJI ODOROTWÓRCZYCH GAZÓW EMITOWANYCH Z OBIEKTÓW PRZEMYSŁOWYCH**

W pracy zaproponowano i przedstawiono metodykę badań mających na celu identyfikację grupy przemysłowych źródeł/źródła emisji odorów wraz z oceną ich zapachowego oddziaływania na ludzi. Zaproponowano metodologię identyfikacji przemysłowych źródeł emisji odorów pod względem ilościowym, przestrzennym oraz jakościowym. Przeprowadzono analizę metod identyfikacji źródeł emisji odorów w zależności od typu/charakteru źródła emisji oraz metod zmierzających do oceny uciążliwości zapachowej. Uzupełnieniem do przeprowadzonych analiz i rozważań są wyniki badań olfaktometrycznych, terenowych oraz modelowych, na podstawie których określono zakres stosowalności wybranych metod w ocenie zapachowej przemysłowych źródeł emisji zapachów. Dzięki scharakteryzowanym i zastosowanym metodom możliwe jest określenie, m.in.: całkowitej emisji zapachu z obiektu przemysłowego, zasięgu zapachowego oddziaływania źródła, stężenia zapachu w punkcie receptorowym, częstotliwości występowania zapachów na wybranym terenie oraz stopnia uciążliwości zapachowej i wpływu zapachów na komfort życia ludzi zamieszkujących tereny przyległe do analizowanego, przemysłowego źródła emisji wonnych gazów.

---

\* Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska, pl. Grunwaldzki 9, 50-377 Wrocław.

*To zupełnie oczywiste, że istnieje wiele rodzajów zapachów od fiołków i róż do asafetydy. Dopóki jednak nie potrafimy mierzyć podobieństw i różnic, nie możemy mówić o nauce.*

Alexander Graham Bell

## 1. Wstęp

Na skutek zapachowego oddziaływania obiektów przemysłowych, rolnych czy komunalnych oraz uciążliwości związanej z emisją odorów, organy ustawodawcze krajów wysoko rozwiniętych, w ramach programów ochrony zdrowia i ochrony środowiska podejmują problem regulacji dopuszczalnych wielkości emisji zanieczyszczeń zapachowych. Do tej pory stworzone zostały stosowne unormowania obowiązujące w przemyśle i rolnictwie, a także w innych gałęziach gospodarki, m.in. w Niemczech, Francji, Holandii, Wielkiej Brytanii, Japonii, USA oraz Kanadzie.

W Niemczech konieczność ograniczenia emisji i emisji odorów wynika z zapisów Niemieckiej Federalnej Ustawy o Ochronie przed Imisją. W myśl ustawy, uciążliwość zapachowa powodowana przez odory traktowana jest jako czynnik wywierający szkodliwy wpływ na środowisko oraz wprowadza konieczność ograniczania emisji i emisji substancji uciążliwych zapachowo. Dyrektywa Feststellung und Beurteilung von Geruchsmissionen (*Geruchsimmissions – Richtlinien*) zawiera między innymi opis metod oceny stężenia odorów, metodyki obliczeń ładunków substancji zapachowych dla projektowanych źródeł emisji, granicznych częstości występowania „godzin odorowych” w skali roku, w zależności od sposobu zagospodarowania terenu. Na podstawie zapisu zawartego w wymienionej ustawie stopniowo opracowano zbiór wytycznych VDI *Richtlinien*, które opisują ujednoliconą metodykę pomiarów odorów, a także wyznaczają standardy zapachowej jakości powietrza. Oprócz konieczności przestrzegania norm imisyjnych, wszystkie niemieckie zakłady przemysłowe są zobowiązane do normatywnego ograniczenia emisji uciążliwych odorantów.

W Holandii procedura oceny zapachowej jakości powietrza atmosferycznego jest podobna do niemieckiej. Limity normatywne zostały ustanowione odnośnie do granicznych częstości przekroczeń analitycznych wyznaczanego progu wyczuwalności

węchowej uciążliwych odorantów, pochodzących z różnych źródeł emisji. Ze względu na znaczący udział w gospodarce holenderskiej sektora hodowlano-rolniczego, normowane są m.in. odległości, na jakich mogą być lokalizowane fermy hodowlane, w zależności od liczebności stada oraz charakteru okolicznej zabudowy.

W Wielkiej Brytanii uregulowania prawne obowiązują w postaci IPPC H4 – *Horizontal Odour Guidance (draft)*, które szczegółowo opisują problem zapachowej jakości powietrza zawarty, w procedurach uzyskiwania pozwoleń zintegrowanych (IPPC). Unormowanie H4 podzielone jest na dwie części dotyczące uregulowań prawnych, pozwoleń oraz pomiarów odorów i kontroli ich emisji. Dopuszczalne poziomy stężenie emisyjnych są określane dla związków wprowadzanych ze źródeł punktowych z zastosowaniem matematycznych modeli dyspersji zanieczyszczeń, w tym modelu Gaussa. Ustawodawca ustala graniczne wartości tzw. wskaźników ekspozycji, którymi są akceptowane przez ludzi ilości substancji zapachowych w powietrzu. Do obliczenia wartości granicznych emisji ze źródła wykorzystywane są odpowiednie modele matematyczne, które umożliwiają wyznaczenie tolerowanych poziomów stężeń odorów w powietrzu. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) udostępnia dane na temat tych wielkości.

W Japonii na skutek postępu w uprzemysłowieniu w latach 60. ubiegłego wieku nastąpiło znaczne nasilenie skarg ludności na pogarszające się warunki życia, czego powodem były licznie powstające nowe źródła emisji zanieczyszczeń, w tym często uciążliwych odorów. W 1972 r. zostało ustanowione prawo „Offensive odour Control Law”, które wprowadziło stosowne regulacje dotyczące odorów w działalności gospodarczej. Wyznaczono obszary o znacznym stopniu uciążliwości zapachowej, na których kontrolowane są źródła emitujące substancje o charakterze odorotwórczym takie, jak aldehyd octowy, amoniak, aldehyd masłowy, kwas masłowy, dimetylo disiarczek, dimetylo siarczek, octan etylu, siarkowodór, aldehyd izomasłowy, alkohol izobutyloowy, aldehyd i kwas izowalerianowy, metyloizbutyloketon, merkaptan metyloowy, aldehyd propionowy, aldehyd i kwas walerianowy oraz ksylen.

Z kolei w Korei, oprócz pomiarów kontrolnych ośmiu odorantów, wprowadzono obowiązek określania stopnia intensywności związków zapachowych. W lutym 2005 r. ukazał się nowy akt prawny (*New Odour Prevention Act*), w którym zwiększono liczbę odorantów podlegających kontroli z 8 do 11, przy czym ma ona sukcesywnie wzrastać do 22.

W Polsce, pomimo podjętych prób, problem emisji zapachów nie jest obecnie uregulowany prawnie. W konsekwencji przepisem, który może nie wprost, ale odnosi się do kwestii emisji zapachów jest art. 144 Ustawy z dnia 23 kwietnia 1964 r. Kodeks cywilny (DzU Nr 16, poz. 93 ze zm.), stanowiący, że „właściciel nieruchomości powinien przy wykonywaniu swego prawa powstrzymać się od działań, które by zakłócały korzystanie z nieruchomości sąsiednich ponad przeciętną miarę, wynikającą ze społeczno-gospodarczego przeznaczenia nieruchomości i stosunków miejscowych”. Dodatkowo, na wzór krajów europejskich (w których obowiązywały normy narodowe,

m.in. niemieckie VDI, holenderskie NVN i francuskie AFNOR-X-43-101), od 2005 r. funkcjonuje w Polsce, zatwierdzona przez Polski Komitet normalizacyjny (z poprawką w 2007 r.), norma PN-EN 13725:2007, która jest tłumaczeniem normy europejskiej EN 13 725 określającej zasady oznaczania stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej. Jest to jedyny przykład ujednoczonego uregulowania prawnego w zakresie metodyki badań zapachowej jakości powietrza.

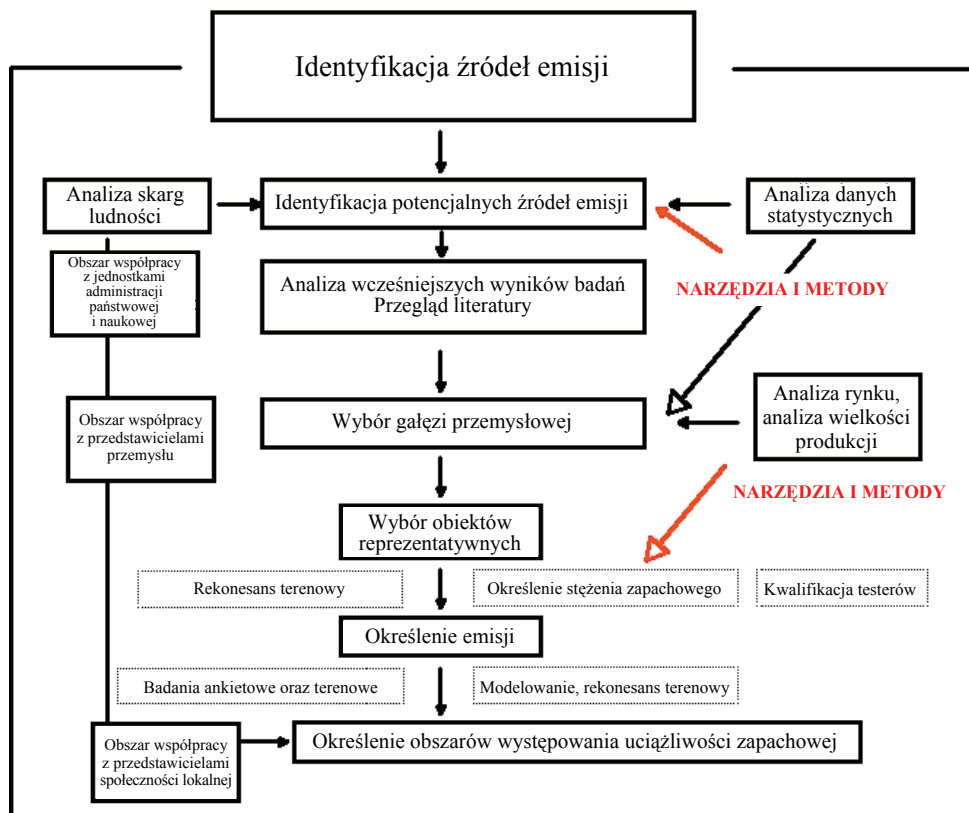
W badaniach uciążliwości zapachowych oraz krajowych propozycjach ustawowych powinny zostać doprecyzowane zatem metody inwentaryzacji, klasyfikacji czy kategoryzacji źródeł emisji odorów, metody określania emisji zapachu oraz wyznaczania obszarów narażonych na uciążliwość zapachową, które w ostateczności pozwoliłyby na wiarygodną ocenę zapachowego oddziaływania wybranego przemysłowego źródła emisji odorów. Potrzeba ta stała się przesłaniem do podjęcia badań własnych w zakresie opracowania metodyki identyfikacji przemysłowych źródeł emisji odorów, obejmującej: identyfikację ilościową źródeł (m.in. przez analizę danych dotyczących skarg na uciążliwość zapachową, analizę danych GUS), identyfikację przestrzenną przez wskazanie grup potencjalnych źródeł emisji zapachu na wybranym obszarze (województwie, powiecie, gminie) oraz identyfikację jakościową zmierzającą do kategoryzacji i klasyfikacji źródeł emisji zapachów pod kątem technologicznym (np. według branży, wielkości produkcji, typu produktu, wielkości emisji, jakości hedonicznej).

Ostatecznie zaproponowana metodologia badań umożliwia ocenę wielkości emisji zapachu oraz zapachowej jakości powietrza na danym obszarze oraz na terenach przyległych do wskazanego obiektu przemysłowego będącego przyczyną zapachowej uciążliwości. Obiektu przemysłowego, na którego terenie szczegółowa identyfikacja źródeł zapachu obejmować powinna, m.in.: przegląd stosowanej technologii, określenie sposobu poboru próbek złowonnych gazów (w zależności od typu źródła), określenie stężenia zapachowego i emisji zapachu, określenie ilościowe i jakościowe (jeśli to jest konieczne) składników badanych gazów u źródła i w punktach receptorowych, określenie i ocenę uciążliwości zapachowej na podstawie badań terenowych, opis matematyczny zachodzących zjawisk rozprzestrzeniania lub interakcji między czynnikami warunkującymi jego przebieg.

Schemat organizacyjny związany z kompleksową identyfikacją przemysłowych źródeł emisji odorów – uwzględniający wymienione metody identyfikacji oraz obszary współdziałania w zakresie proponowanych analiz i prac badawczych z jednostkami administracyjnymi, przedstawicielami przemysłu i społeczności lokalnej (zamieszkującej tereny przyległe do rozpatrywanego źródła emisji zapachów) – przedstawiono na rysunku 1.1. Zauważalne jest to, że do zapachowej oceny oddziaływania wybranego źródła emisji niezbędne jest zastosowanie w identyfikacji źródeł zapachów kilku narzędzi i metod (m.in. analiza skarg, danych statystycznych, olfaktometria dynamiczna, pomiary terenowe, badania ankietowe oraz modelowe), które umożliwiają ostatecznie określenie obszarów występowania uciążliwości zapachowej i w etapie końcowym



opracowanie strategii zmierzającej do redukcji emisji zapachów z wybranego zakładu (np. przez zaproponowanie optymalnej techniki dezodoryzacji) oraz poprawy komfortu życia mieszkańców na terenie poddanym oddziaływaniu odorów.



Rys. 1.1. Schemat organizacyjny metodologii identyfikacji przemysłowych źródeł emisji odorów

W pracy zaproponowano i przedstawiono metodykę badań, mających na celu identyfikację grupy przemysłowych źródeł/źródła emisji odorów wraz z oceną ich zapachowego oddziaływania na ludzi. Zaproponowano metodologię identyfikacji przemysłowych źródeł emisji odorów pod względem ilościowym, przestrzennym oraz jakościowym. Przeprowadzono analizę metod identyfikacji źródeł emisji odorów w zależności od typu/charakteru źródła emisji oraz metod oceniających uciążliwość zapachową.

Uzupełnieniem przeprowadzonych rozważań są wyniki badań olfaktometrycznych terenowych oraz modelowych, na podstawie których określono zakres stosowalności wybranych metod w ocenie zapachowej przemysłowych źródeł emisji zapachów. Przedstawiona metodyka badań prowadzi do identyfikacji zagrożeń wystąpienia emisji

wonnych gazów z instalacji przemysłowych – przez wskazanie potencjalnych technologicznych źródeł emisji zapachu – oraz kompleksowej oceny jakości zapachowej powietrza na wybranym terenie przez jednoczesne zastosowanie kilku omawianych technik.

*Pragnę złożyć serdeczne podziękowania osobom, które inspirowały mnie do napisania pracy.*

*Nade wszystko chciałabym podziękować Panu prof. dr. hab. inż. Jerzemu Zwoździakowi za motywację do pracy oraz możliwość rozwoju naukowego. Dziękuję również Panu prof. Jackowi Kozielo, dr. hab. inż. Mirosławowi Szklarczykowi, dr. inż. Annie Zwoździak, inż. Januszowi Świetlikowi, mgr inż. Alicji Nych, mgr inż. Marii Skrętowicz oraz mgr. inż. Pawłowi Zwoździakowi za cenne dyskusje i wsparcie w podjętych działaniach oraz świadomość celowości ich realizacji.*

*Jestem wdzięczna również władzom Instytutu oraz Wydziału, pracownikom naukowym i administracyjnym, których życzliwość na co dzień pomagała w realizacji podjętych przeze mnie prac.*

*Władzom i przedstawicielom zakładów przemysłowych dziękuję za udostępnienie cennych informacji oraz terenu, dzięki czemu mogłam przeprowadzić pobór próbek gazów.*

## 2. Cechy zapachu

### 2.1. Percepcja zapachów

Postrzeganie zapachów zależy od cech indywidualnych człowieka. Proces wyczuwania zapachu polega na powstawaniu w komórkach węchowych, czyli receptorach, odpowiednich impulsów elektrycznych, które przekazane do mózgu wywołują specyficzne wrażenie węchowe. W literaturze specjalistycznej wymieniane są i opisywane mechanizmy percepcji zapachu opierające się m.in. na hipotezach: stereochemicznej (Amoore'a) oraz wibracyjnej (Dysona i Wrighta) [1, 40]. Najnowsze badania dotyczące percepcji zapachu zostały przeniesione na poziom genów i białek. Naukowcy Richard Axel i Linda B. Buck otrzymali w 2004 r. Nagrodę Nobla. Podstawowym odkryciem Axela i Buck było wyizolowanie genów kodujących receptory węchowe, które są aktywne jedynie w nerwach węchowych. Aby odpowiedzieć na pytanie, w jaki sposób mózg odczytuje zapachy, wymienieni naukowcy zajęli się badaniem ekspresji genów w neuronach, stosując technikę hybrydyzacji. Na tej podstawie stwierdzili, że w każdym neuronie dochodzi do ekspresji tylko jednego typu genu receptora węchowego. Ta korelacja między receptorami i neuronami nie tłumaczyła jednak procesu przetwarzania przez mózg sygnału rozpoznania zapachu. W konsekwencji opracowane zostały trzy modele organizacji zmysłu węchu. Model pierwszy, który zakłada, że neurony syntetyzujące dany typ receptora są skupione w konkretnym miejscu nabłonka węchowego, a identyfikacja zapachu polega na rozpoznaniu pobudzonego obszaru. Model drugi oparty na założeniu, że neurony wyposażone w receptory danego typu są rozrzucone przypadkowo w nabłonku, jednak ich aksony docierają do ściśle określonego obszaru mózgu. Pobudzenie wywołane bodźcem zapachowym powoduje wówczas powstanie zlokalizowanych przestrzennie wzorców aktywności nerwowej. W modelu trzecim natomiast zarówno rozmieszczenie neuronów w nabłonku nosa, jak i ich aksonów w obszarach mózgu jest zupełnie przypadkowe. Aby zinterpretować zapach, mózg musi korzystać wówczas ze skomplikowanego algorytmu służącego do rozpoznawania rozproszonych sygnałów. W kolejnym etapie swoich badań Axel i Buck wykazali, że nabłonek węchowy jest podzielony na cztery rozległe rejony, z których każdy zawiera określone typy receptorów rozmieszczonych w przy-

padkowy sposób. Stwierdzili, że „jeżeli rzeczywiście mózg posługuje się strategią rozpoznawania wzorców, to neurony wyposażone w dany receptor choć przypadkowo rozrzucone na «swoim» obszarze nabłonka powinny wysyłać aksony do niewielu kłębuszków węchowych”. Liczba kłębuszków jest zbliżona do liczby typów receptorów, więc jeśli każdy neuron wytwarza tylko jeden typ receptora, to mógłby łączyć się z odpowiednim dla danego receptora kłębuszkiem. Oprócz tego, za pomocą doświadczeń fizjologicznych, dowiedziono, że różne zapachy wywołują różne wzorce odpowiedzi w mózgu, a badania technikami obrazowania wykazały, że różne związki wywołują odmienne, ale powtarzalne wzorce aktywności.

Przeprowadzone przez Axela i Buck doświadczenia, mające na celu zbadanie segregacji przestrzennej neuronów i aksonów, umożliwiły wysunięcie wniosku, że każdy odorant pobudza określony zestaw kłębuszków węchowych, skąd sygnały przekazywane są do kory mózgowej, gdzie zostają tak przetworzone, że rozpoznaje się zapach.

Badania nad sposobem odszyfrowywania sygnału umożliwiły ostatecznie ustalenie czynnościowej mapy reprezentowania zapachów w mózgu. Każdy spośród testowanych zapachów wywołał odmienny wzorec aktywacji kłębuszków, a wszystkie badane osobniki odpowiadały na dany zapach jednakowo. Za identyfikatory zapachów można więc uznać wzory pobudzenia kłębuszków.

Wiele zagadnień dotyczących percepcji zapachów nie wyjaśniono, mimo prowadzonych badań [15, 24, 36, 54, 60, 79, 88], a dotyczyły one, m.in.: sposobu, w jaki kora mózgowa inicjuje powstanie reakcji emocjonalnych, kiedy świadomie, a kiedy już nieświadomie zachodzi rozpoznawanie zapachu, w jakim stopniu wdychane substancje zapachowe wpływają na zachowanie i nastrój, kiedy stają się uciążliwe. Uzyskane wyniki ułatwiają jednak wyodrębnienie czynników decydujących o wpływie zapachów na organizm ludzki, opis cech zapachu, na zdefiniowanie zjawiska uciążliwości zapachowej, określenie jej parametrów oraz posłużyły w pracy do opracowania metodyki badań stosowanych w ocenach jakości zapachowej powietrza wokół wybranych źródeł emisji zapachów.

## **2.2. Czynniki decydujące o wpływie odorów na organizm ludzki i otoczenie**

Zapachy, które wynikają bezpośrednio lub pośrednio z działalności człowieka i powodują negatywne skutki, są często klasyfikowane jako zanieczyszczenia; w Europie oraz na świecie podlegają regulacjom prawnym. Odory mogą wywoływać wiele negatywnych skutków w tym, m.in. [72]: (a) pogorszenie jakości środowiska naturalnego, (b) szkody w mieniu lub świecie roślin i życiu zwierząt, (c) dyskomfort; (d) pogorszenie bezpieczeństwa i jakości życia, (f) utratę możliwości normal-

nego użytkowania nieruchomości oraz (h) zakłócenia normalnego prowadzenia działalności gospodarczej.

U ludzi zapachy mogą powodować wiele niepożądanych reakcji, od irytacji do udokumentowanych skutków zdrowotnych. W społecznościach narażonych na emisje zapachów skutki zdrowotne oddziaływania zapachów mogą być nie od razu widoczne, ale może dochodzić do stanów chorobowych lub ułomności bądź fizycznych, bądź psychicznych. Ponadto długotrwałe narażenie na oddziaływanie zapachu może wywoływać niepożądane reakcje emocjonalne, począwszy od stanów takich, jak: niepokój, uczucie dyskomfortu, depresję; lub takich objawów fizycznych, jak: podrażnienia, bóle głowy, problemy układu oddechowego, nudności, wymioty [72]. Narażenie na niepożądane zapachy może również prowadzić do psychicznego napięcia i wywoływać objawy takie, jak bezsenność, brak apetytu i irracjonalne zachowanie.

Wysokie poziomy odorantów mogą również powodować ostre objawy toksykologiczne i wyzwalanie mechanizmów związanych z reakcją organizmu na zapach. Mechanizmy te mogą obejmować wrodzoną niechęć na zapach, zaostrenie podstawowych warunków związanych z odbiorem/percepcją zapachu (nadwrażliwość), choroby wywołane stresem, a nawet choroby psychogenne [94]. Inne odnotowywane wpływy zapachów na człowieka, to: trudności w oddychaniu, frustracja, stres i płaczliwość, zmniejszenie apetytu i/lub trudności związane ze spożywaniem i przygotowywaniem pokarmów, uczucie dyskomfortu w nocy (kłopoty z zasypianiem, niespokojny sen), zakłopotanie (gdy odwiedzający goście odczuwają zapach, konieczność utrzymania zamkniętych okien) czy unikanie zajęć w środowisku zewnętrznym, np. ogrodnictwo [21].

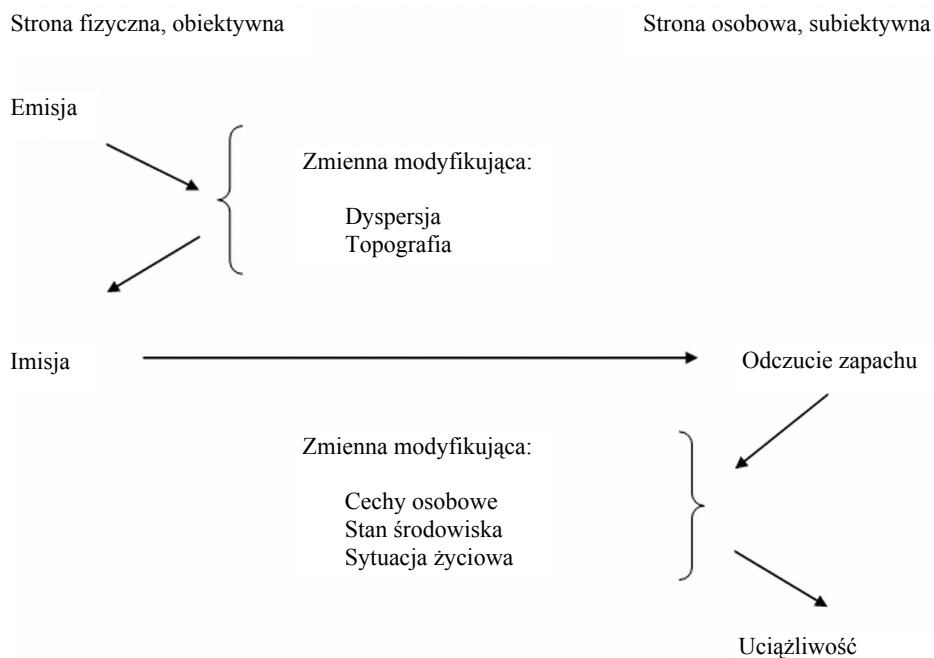
Ocena skutków związanych z występowaniem podwyższonych stężeń zapachów sprowadza się zazwyczaj do subiektywnych ocen zapachów, które traktowane są częściej w kategoriach uciążliwości, niż w odniesieniu do oceny konkretnych problemów zdrowotnych [94].

### 2.3. Uciążliwość zapachowa

Szkodliwy wpływ odorów jest najczęściej pochodną ich subiektywnego odbioru, a ich działanie polega na destruktywnym wpływie na psychikę człowieka. Dopiero w następstwie tego mogą pojawić się bądź potęgować niedomagania układu somatycznego. Dlatego też, mówiąc o uciążliwości zapachowej, należy rozgraniczyć efekty toksyczne od efektów wywołanych właściwościami zapachowymi. Efekty biologiczne, wynikające tylko i wyłącznie z uciążliwości oddziaływania odorów, będą powodować najwyżej pewne zmiany fizjologiczne, ale bez skutków śmiertelnych, jakie mogą powodować substancje toksyczne [91, 138].

Uwzględniając wpływ odorów na sferę psychiczno-emocjonalną, uciążliwość substancji zapachowych (uciążliwość zapachową) definiuje się jako dyskomfort wywoła-

ny przez substancje zapachowe lub okoliczności towarzyszące występowaniu odorów, które mogą negatywnie oddziaływać na pojedynczą osobę lub grupę ludzi. Jest ona spowodowana percepcją niechcianych zapachów, wywołujących pogorszenie samopoczucia [83, 121, 126].



Rys. 2.1. Czynniki wpływające na uciążliwość zapachową (na podst. [11])

Pomiędzy bodźcami w postaci czynników węchowych a uciążliwością nie można w prosty sposób określić bezpośredniej, jednoprzyczynowej zależności. Uciążliwość zapachowa jest bowiem wynikiem oddziaływania kilku czynników (rys. 2.1), które mogą nasilać lub zmniejszać reakcję wybranej osoby na odbiór zapachu. Takie samo stężenie zapachu może wywołać odmienne wrażenie dyskomfortu u różnych osób z powodu różniącej się oceny źródła zapachu, wrażliwości osobniczej i stopnia aktywności osłabionej przez odor. Wyróżnia się dwie klasy wrażenia i stanu świadomości w odniesieniu do uciążliwości. Należą do nich: (a) wrażenie i percepcja w odniesieniu do bodźców węchowych, które na podstawie indywidualnych doświadczeń określają właściwości zapachu takie, jak natężenie, jakość, częstotliwość i czas trwania oraz (b) wrażenie w odniesieniu do pogorszenia się samopoczucia, które osoba doświadczyła w kontakcie z zapachami. Ponadto, poza czynnikami węchowymi, na percepcję zapachu mogą wpływać czynniki zewnętrzne takie, jak:

- sytuacje towarzyszące podwyższonym stężeniom zapachu (sytuacja mieszkaniowa, długość snu, zmęczenie, długość czasu pracy w otoczeniu „zapachowym”),
- stan środowiska oraz zagospodarowanie przestrzenne na obszarze występowania uciążliwości zapachowej (obecny poziom zapachów, struktura socjalno-ekonomiczna w obszarze zamieszkania, architektura),
- niewęchowe właściwości źródła zanieczyszczenia (poziom hałasu, wibracje, poziom zapylenia).

Wymienione czynniki w istotny sposób wpływać będą na indywidualny odbiór emitowanego zapachu oraz zdefiniowanie go jako uciążliwego.

Zapach, który jest wrażeniem zmysłowym, jest trudny do opisu ilościowego. W badaniach nad związkami wonnymi oraz w próbach zmierzających do opisu i oceny zjawiska uciążliwości zapachowej uwzględniane są trzy podstawowe cechy zapachu: stężenie zapachowe, intensywność oraz jakość hedoniczna. Próbę ich opisu podjęto w trzech kolejnych rozdziałach.

## 2.4. Stężenie zapachu

Zdefiniowanie stężenia zapachowego oraz jednostki zapachu jest konieczne ze względu na wprowadzoną jednolitą oraz funkcjonującą w Europie i w Polsce metodę pomiaru, zgodną z normą PN-EN 13725:2007 [21]. Metoda umożliwia określenie stężenia zapachowego w próbkach gazów emitowanych, np. w kilku punktach technologicznych, oraz oszacowanie całkowitej emisji zapachu z wybranego obiektu przemysłowego. Na podstawie wartości zmierzonych stężeń zapachowych, i oszacowanej wielkości emisji zapachu, oraz badań modelowych jest możliwe również m.in. określenie zasięgu oraz wyznaczenie stref zapachowego oddziaływania wybranego źródła emisji odorów, kontrola i ocena zapachowej jakości powietrza (w odniesieniu do wartości dopuszczalnych) na obszarach wokół istniejącego zakładu lub planowanej inwestycji związanej z działalnością przemysłową oraz weryfikacja skuteczności działania określonej metody dezodoryzacji w wybranym obiekcie. Na podstawie określonych stężeń zapachowych w wybranych, problematycznych (zdaniem mieszkańców zamieszkujących tereny przyległe do badanego obiektu) punktach receptorowych możliwe jest zastosowanie „wsteczne” modelowania matematycznego, tj. obliczenie, jaka może być maksymalna wartość emisji zapachu „u źródła”, aby określone w przepisach i na podstawie badań wśród społeczności wartości stężenia w wybranych punktach czy odległościach od zakładu były „dotrzymane”. Wyznaczenie wartości emisji zapachu z zakładu (przez określenie stężenia zapachowego) umożliwia w przypadku braku funkcjonujących uregulowań prawnych porównanie uzyskanych wartości w punktach receptorowych z wartościami dopuszczalnymi przyjętymi w innych krajach Europy czy świata (tab. 2.1).

Tabela 2.1. Przykłady dopuszczalnych wartości stężenia zapachowego przyjętych w różnych częściach świata [72]

| Lokalizacja                       | Wartość graniczna zapachu ( $ou_E/m^3$ )         | Czas uśredniania              | Częstotliwość zgodności z wartością graniczną |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|---|
| Dania                             | 0,6–1,2  | 1h                            | 99%   |
|                                   | 5–10   | 1 min                         | 99%   |
| Holandia                          | 0,5 („wrażliwe” receptory)                       | 1 h dla nowych obiektów       | 99,5%   |
|                                   |  | 1 h dla istniejących obiektów | 98%   |
| Wielka Brytania                   | 5  | brak danych                   | 98%   |
| Nowa Południowa Walia (Australia) | 2 (dla miasta)                                   | 1 s                           | 99,5%   |
|                                   | 7 (dla wsi)                                      |                               |   |
|                                   | 15 (dla obszaru w pobliżu źródła emisji zapachu) |                               |   |
| Południowa Australia              | 2 (strefa mieszkalna 2000 osób)                  | 3 min                         | 99,9%   |
|                                   | 4 (strefa mieszkalna 350–1999)                   |                               |   |
|                                   | 6 (60–349)                                       |                               |   |
|                                   | 8 (12–59)  |                               |   |
|                                   | 10 (willa)                                       |                               |   |
| Zachodnia Australia               | 2  | 3 min                         | 99,9%   |
| Queensland (Australia)            | 10   | 1 h                           | 99,5%   |
| Nowa Zelandia                     | 2  | 1 h                           | 99,5%   |
| New Jersey (USA)                  | 5  | 5 min lub mniej               | brak danych                                   |
| San Diego (USA)                   | 5  | 5 min                         | 99,5%   |
| Tasmania                          | 1  | 3 min                         | 99,9%   |
| Tajwan                            | 50   | nie określono                 |   |
| Hong Kong                         | 5  | 5 s                           | brak danych                                   |

Stężenie zapachowe jest definiowane jako stężenie, przy którym dana osoba wyczuwa pojedynczą wonną substancję, nazywane indywidualnym (dla danej osoby) progiem wyczuwalności węchowej tej substancji. Próg wyczuwalności, którym możemy się posługiwać, powszechnie musi być zatem wartością uśrednioną, reprezentatywną dla populacji (próg wyczuwalności dla populacji – *population detection threshold*). Za próg wyczuwalności węchowej uważamy takie stężenie odorantu, które wywołuje wrażenie węchowe u połowy ogółu osób (bądź grupy reprezentatywnej) poddanych oddziaływaniu odoru. Dla pojedynczych substancji stężenie zapachowe będzie równe ilorazowi stężenia odorantu przez wartość stężenia progowego. W przypadku mieszanin substancji wonnych nie jest możliwe określanie stężenia zapachu



w podobny sposób, nie jest bowiem możliwe określenie wartości progu wyczuwalności węchowej. W tym wypadku stężenie zapachowe  $c_{od}$  może być określone jako krotkość rozcieńczenia badanej próby (powietrzem czystym, bezwonny) potrzebną do osiągnięcia progu wyczuwalności węchowej [115]:

$$c_{od} = \frac{V_p + V_{pr}}{V_{pr}} \quad (1)$$

gdzie:

$V_{pr}$  – objętość próbki,

$V_p$  – objętość powietrza rozcieńczającego.

Wymiarem stężenia zapachowego jest jednostka zapachowa odniesiona do jednego  $m^3$ . W normie [81] przyjęto jednostkę stężenia określoną symbolem  $ou_E/m^3$  ( $ou$  – *odour unit*). Indeks dolny E oznacza, że wyrażane stężenie odnosi się do wartości wyznaczonej metodyką zgodną z normą. Odniesienie stężenia do  $m^3$  jest zabiegiem formalnym, umożliwiającym obliczanie strumienia emisji zapachu. Po przemnożeniu stężenia (wyrażonego w  $ou_E/m^3$ ) przez wielkość strumienia objętościowego emitowanych gazów (wyrażonego w  $m^3/s$ ), otrzymujemy wielkość emisji wyrażoną w jednostkach  $ou_E/s$ .

Przykłady, zmierzonych głównie na podstawie badań własnych, wartości stężeń zapachowych oraz oszacowane wartości emisji, w wyselekcjonowanych punktach technologicznych obiektów z wybranych działalności przemysłowych, przedstawiono w rozdziale 3.3.

## 2.5. Intensywność zapachu

Intensywność zapachu zależy od liczby cząsteczek substancji zapachowej, które kontaktują się z receptorami węchowymi, czyli od jej stężenia we wdychanym powietrzu [40]. Definiowana jest jako „siła odczuwania zapachu”, która wywołana zostanie przez określony bodziec zapachowy [123].

Tabela 2.2. Skala intensywności zapachu wg VDI 3940 [131]

| Zapach         | Stopień intensywności |
|----------------|-----------------------|
| Skrajnie mocny | 6                     |
| Bardzo mocny   | 5                     |
| Mocny          | 4                     |
| Wyraźny        | 3                     |
| Słaby          | 2                     |
| Bardzo słaby   | 1                     |
| Brak zapachu   | 0                     |

Intensywność jest cechą określającą moc wrażeń węchowych i jest wyczuwana intuicyjnie. W celu określenia intensywności zapachu stosowane są najczęściej skale punktowe werbalne lub skale wzorców. Przykładem skali werbalnej może być 6-stopniowa skala zalecana w niemieckich wytycznych VDI 3940 [131], w której intensywności określonej w sposób słowny przypisuje się wartości liczbowe (tab. 2.2). Przykłady oraz sposoby przygotowania skali wzorców opisane zostały również przez Kośmider i in. [40].

Przykładowe wyniki pomiarów z zastosowaniem 6 stopniowej skali intensywności przedstawiono w tabeli nr 2.3.

Tabela 2.3. Wypis z macierzy wyników pomiarowych dotyczących oceny intensywności zapachu dla dwóch wybranych źródeł emisji (odlewnia i piekarnia) [131]

| Nr Pomiaru | Intensywność zapachu   |                                   |                     |                        |                                   |                     |
|------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|
|            | Odlewnia               |                                   |                     | Piekarnia              |                                   |                     |
|            | Najsilniejsze wrażenie | Częstość najsilniejszego wrażenia | Przeciętne wrażenie | Najsilniejsze wrażenie | Częstość najsilniejszego wrażenia | Przeciętne wrażenie |
| 1          | 2                      | 3                                 | 1                   | –                      | –                                 | –                   |
| 2          | –                      | –                                 | –                   | 3                      | 2                                 | 2                   |
| 3          | –                      | 3                                 | 3                   | –                      | –                                 | –                   |
| 520        | –                      | –                                 | –                   | 1                      | 5                                 | 1                   |

Wraz ze wzrostem stężenia pojedynczych substancji zapachowych, powyżej progu wyczuwalności węchowej, wzrasta intensywność wyczuwania zapachów. Ze względu na brak prostego bezwzględnego sposobu określania siły odbieranych wrażeń węchowych, trudno jest wyrazić tę zależność ilościowo. Prawo Webera–Fechnera, które mówi, że „dokładność oceny rejestrowanych przez zmysły zjawisk jest określana wartością zauważalnej różnicy” [91] ułatwia przewycięzenie tej trudności. Rozróżnianie parametrów charakteryzujących zmieniające się zjawiska jest możliwe dopiero powyżej pewnych określonych wartości zmian tych parametrów, zauważalnych przez nasze zmysły. Zgodnie z postulatem Webera:

$$\frac{\Delta x}{x} = \text{const} \quad (2)$$

gdzie:

$x$  – siła bodźca, w przypadku substancji odorotwórczych może to być, np. wartość stężenia, jakie osiąga substancja zapachowa w powietrzu,

$\Delta x$  – wartość, o jaką musi się zwiększyć  $x$ , aby osiągnąć najmniejszą dostrzegalną różnicę.

Jeżeli zależność (2) jest prawdziwa dla najmniejszej dostrzegalnej różnicy, to powinna być prawdziwa również dla innych wartości przyrostów intensywności bodźca, co Fechner wyraził następująco:

$$dI = K' \frac{dx}{x} \quad (3)$$

gdzie:

$dI$  – przyrost intensywności wrażenia wywołanego przez wzrost bodźca o  $dx$ ,

$dx$  – przyrost intensywności bodźca,

$x$  – początkowa wartość intensywności bodźca,

$K'$  – współczynnik proporcjonalności.

Po dokonaniu odpowiednich przekształceń otrzymuje się ogólny wzór Webera–Fechnera, wyrażający intensywność wrażenia zmysłowego:

$$I = K \log x - K \log x_0 \quad (4)$$

gdzie:

$I$  – intensywność wrażenia zmysłowego,

$x$  – intensywność bodźca wywołującego wrażenie o intensywności  $I$ ,

$x_0$  – intensywność bodźca wywołującego najmniejsze wyczuwalne wrażenie,

$K$  – stała Webera–Fechnera.

Zamiana współczynnika  $K'$  na stałą  $K$  wynika z przekształcenia we wzorze (4) logarytmu naturalnego  $\ln$  na logarytm dziesiętny  $\log$ .

W przypadku intensywności zapachów, wykorzystując zależność (4) oraz przyjmując  $x_0$  za próg wyczuwalności zapachowej  $S_{PW50}$ , można napisać:

$$I = K \log \frac{x}{x_0} = K \log S \quad (5)$$

gdzie:

$I$  – intensywność wrażenia zapachowego,

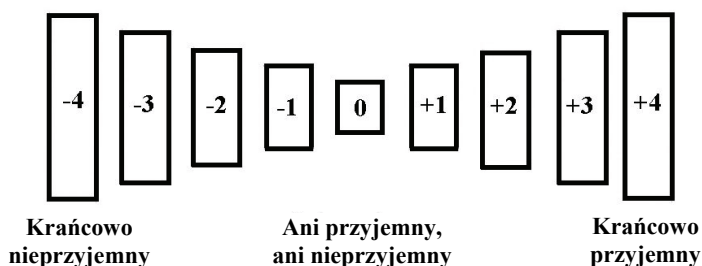
$S$  – stężenie zapachu.

## 2.6. Jakość hedoniczna

Rejestrowane w polu węchowym zapachy budzą emocje adekwatne do ich jakości hedonicznej, jak np. zachwyty czy niechęć. Zgodnie z [124], oddziaływanie hedoniczne zapachu to oddziaływanie substancji zapachowej, które w następstwie oceny danego wrażenia węchowego podlega przyporządkowaniu pewnemu określeniu między krańcowymi określeniami jako „krańcowo (skrajnie) przyjemny” oraz „krańcowo nieprzyjemny”. W praktyce hedoniczną jakość zapachu określa się z zastosowaniem skal jed-

nowymiarowych (werbalnych, graficznych, punktowych) lub skal standardów. W tym przypadku rola członków zespołu oceniającego polega na porównaniu ocenianego zapachu z zapachem wzorca oraz na wskazaniu, który z prezentowanych zapachów jest bardziej przyjemny lub mniej nieprzyjemny. Opinie uczestników oceniających hedoniczną jakość zapachu umożliwiają zdefiniowanie skali hedonicznej jakości zapachu – klasy jakości hedonicznej. Zgodnie z [40], poszczególne punkty można opisać wówczas słownie: I klasa – zapach przyjemny, II klasa – neutralny, III klasa – zapach nieprzyjemny, IV klasa – zapach bardzo nieprzyjemny, V klasa – skrajnie nieprzyjemny.

Do ocen hedonicznego oddziaływania emitowanego zapachu stosuje się skalę opracowaną przez Peryama i Pilgrima [78]. W celu uniknięcia różnych interpretacji wyników pomiarów terenowych ocen jakości hedonicznej zapachu w [131] proponuje się stosowanie skali przedstawionej na rysunku 2.2. Kategoriom zapachu przyporządkowane zostają wówczas kolejne liczby. W praktyce stosowane są różne odmiany tej skali. Przeprowadzone badania wskazały, że pominięcie neutralnej kategorii (0) może prowadzić do przesunięć uzyskiwanej oceny jakości hedonicznej [27, 74].



Rys. 2.2. Skala do określania hedonicznego działania zapachu [131]

Przykładowe wyniki pomiarów z zastosowaniem 9-stopniowej skali przedstawiono w tabeli 2.4.

Tabela 2.4. Wypis z macierzy wyników pomiarowych dotyczących oceny hedonicznej jakości powietrza dla dwóch wybranych źródeł emisji (odlewnia i piekarnia) [131]

| Nr<br>Pomiaru | Hedoniczne oddziaływanie zapachu        |                                      |                        |   |                                      |                        |
|---------------|---|--------------------------------------|------------------------|---|--------------------------------------|------------------------|
|               | Odlewnia                                |                                      |                        | Piekarnia                               |                                      |                        |
|               | Najbardziej<br>nieprzyjemne<br>wrażenie | Najbardziej<br>przyjemne<br>wrażenia | Przeciętne<br>wrażenie | Najbardziej<br>nieprzyjemne<br>wrażenie | Najbardziej<br>przyjemne<br>wrażenia | Przeciętne<br>wrażenie |
| 1             | -3                                      | -2                                   | -2                     | -                                       | -                                    | -                      |
| 2             | -                                       | -                                    | -                      | -1                                      | +2                                   | +1                     |
| 3             | -1                                      | 0                                    | -1                     | -                                       | -                                    | -                      |
| 520           | -                                       | -                                    | -                      | 0                                       | 0                                    | 0                      |

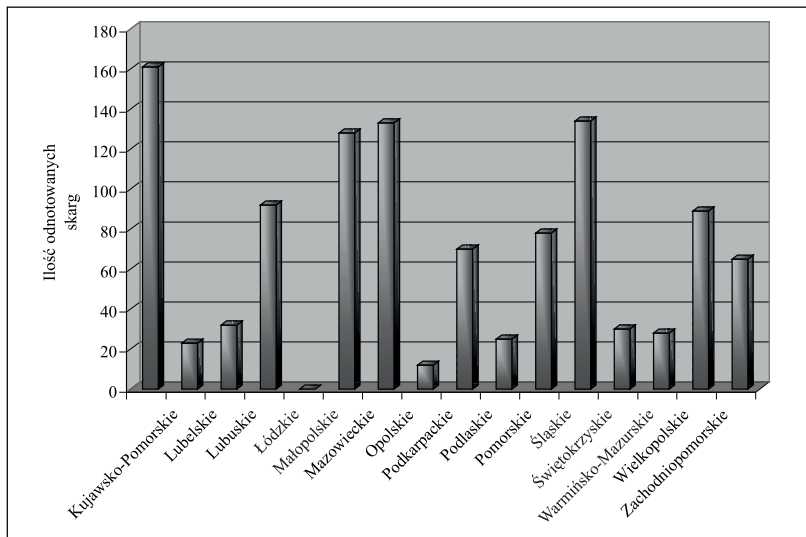
## **3. Identyfikacja obiektów przemysłowych będących potencjalnym źródłem emisji odorów**

Produkcja przemysłowa w Polsce, w tym przemysł rolno-spożywczy, jest powodem pogorszenia stanu środowiska, w tym zapachowej jakości powietrza. Procesy powstawania produktów i półproduktów spożywczych oraz towarzysząca im konieczność nadania właściwego smaku, zapachu oraz wyglądu, a także odpowiedniej trwałości i zwiększenia przyswajalności przez gotowanie, prażenie, suszenie, pieczenie, wędzenie czy fermentację mogą być przyczyną emisji odorów. Cechami wspólnymi wymienionych procesów jest cykliczny charakter, podwyższona temperatura oraz wydzielanie oparów o nieprzyjemnym zapachu. Wymieniona grupa źródeł jest częstym obiektem skarg ludności na uciążliwość odorową. W związku z tym, zmierzając do poprawy jakości środowiska przyrodniczego, niezbędna jest rzetelna ocena skali zapachowego oddziaływania wybranego źródła emisji. Powinna ona być poprzedzona identyfikacją przestrzenną, jakościową oraz ilościową, których metodykę przedstawiono w rozdziale 3.

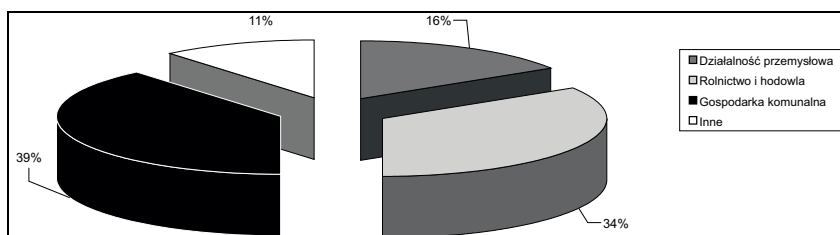
### **3.1. Metody ilościowej identyfikacji przemysłowych źródeł emisji odorów**

#### **3.1.1. Analiza skarg ludności**

Zbieranie i analiza skarg ludności (CR = reakcja społeczności, z ang. *Community Reaction*) w krajach europejskich jest jedną z metod wykorzystywanych w ocenie stopnia uciążliwości na wybranym obszarze [40, 126]. W szerszym zakresie – w ujęciu krajowym – analiza skarg może być stosowana do ilościowej identyfikacji źródeł emisji odorów, tzn. liczba skarg będzie wówczas wskazywać na: obszary (np. w układzie wojewódzkim) „narażone” na uciążliwość zapachową (rys. 3.1) oraz typ źródeł będących przyczyną pogorszenia stanu zapachowej jakości powietrza (rys. 3.2).



Rys. 3.1. Zestawienie liczby skarg na uciążliwość zapachową w układzie wojewódzkim [46]



Rys. 3.2. Udział procentowy skarg ze wskazaniem na źródło uciążliwości zapachowej [46]

Na podstawie informacji przekazanych przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska wykonuje zestawienia i analizy skarg na uciążliwość zapachową. Źródłem informacji mogą być również Wojewódzkie Stacje Sanitarno-Epidemiologiczne oraz Wydziały Ochrony Środowiska, podlegające jednostkom administracji państwowej (Urzędy Miasta).

Z uzyskanych drogą korespondencyjną danych na temat skarg, które wpłynęły w 2007 r. oraz w pierwszym kwartale 2008 r. do: wojewódzkich inspektoratów ochrony środowiska, wojewódzkich stacji sanitarno-epidemiologicznych oraz urzędów marszałkowskich wynika, iż głównym adresatem skarg jest zwykle Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna – WSSE (ok. 60% składanych skarg) oraz Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska WIOŚ (39%). Liczbę skarg (WIOŚ, WSSE i UM) w układzie wojewódzkim przedstawiono na rysunku 3.1. Z przedstawionego zestawienia wynika, iż największą liczbę skarg odnotowano na terenie województw: dolnośląskiego, mazowieckiego i śląskiego. Dlatego analizy przestrzenne zostały przepro-

wadzone dla tych obszarów (rozdz. 3.2). Przeprowadzona analiza danych wskazuje, że największy udział procentowy skarg związany był z gospodarką komunalną (39%), rolnictwem i hodowlą (34%) oraz przemysłem (11%) (rys. 3.2).

Przeprowadzone badania i analizy wskazują, że obecnie identyfikacja źródeł uciążliwych zapachowo na terenie kraju w sposób „branżowy” jest bardzo trudna. System ewidencji skarg na uciążliwość zapachową w Polsce wymaga określenia poziomu szczegółowości gromadzonych danych, np. w karcie informacyjnej na temat skargi powinna znaleźć się informacja o działalności gospodarczej przypisanej kodem Europejskiej Działalności Gospodarczej EKD (rozdz. 3.1.2). Powinien zostać również stworzony system umożliwiający integrację informacji na temat skarg wpływających do różnych instytucji. Wskazane byłoby również, aby na stronach internetowych instytucji odpowiedzialnych za gromadzenie danych skarg ludności dostępny był formularz, który umożliwiałby wysłanie skargi anonimowo, bezpośrednio właśnie ze strony internetowej.

### **3.1.2. Analiza danych Głównego Urzędu Statystycznego**

Kolejną ilościową metodą identyfikacji przemysłowych źródeł emisji odorów może być analiza danych statystycznych GUS dotyczących liczby zakładów przemysłowych, z wybranych branży, zlokalizowanych na wybranym terenie. Dzięki danym uzyskanym z Głównego Urzędu Statystycznego (GUS), możliwa jest identyfikacja źródeł w sposób sektorowy. Dane dotyczące liczby zakładów, będących potencjalnym źródłem emisji zapachów, można wówczas sklasyfikować i skategoryzować zgodnie z kodem Europejskiej Klasyfikacji Działalności (EKD).

Europejska Klasyfikacja Działalności opracowana na podstawie projektu wydawnictwa Biura Statystycznego Europejskiej Wspólnoty EUROSTAT (*Nomenclatures des Activites de Communité Europeene – NACE rev. 1*) stanowi usystematyzowany zbiór rodzajów działalności społeczno-gospodarczych występujących w gospodarce.

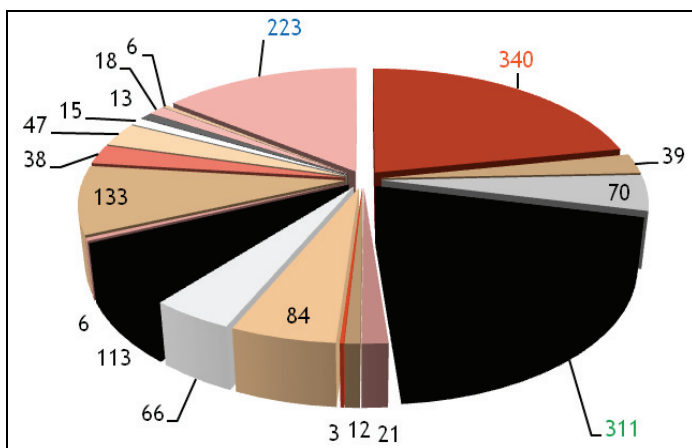
Zgodnie z założeniami wymienionego projektu Europejska Klasyfikacja Działalności ma na celu gromadzenie i prezentowanie danych według rodzajów działalności gospodarczej, m.in. w zakresie statystyki ludności, produkcji, zatrudnienia, płac, dochodu narodowego:

- sporządzania porównań międzynarodowych według jednolitych kategorii rodzajów działalności,
- klasyfikowanie podmiotów gospodarczych – na potrzeby rejestru jednostek gospodarki narodowej REGON – zgodnie z rodzajem prowadzonej przez nie działalności (klasyfikowanie jednostek do określonej kategorii wg przeważającego przedmiotu działalności tych jednostek).

W Polsce w podanych celach stosowana jest Polska Klasyfikacja Działalności (PKD).

Przykład ilościowego zestawienia zakładów i firm z wybranych branż, głównie przemysłu rolno-spożywczego, oznaczonych kodami działalności PKD7 (Polska Klasyfikacja Działalności 2007):

- 10.11.Z – przetwarzanie i konserwowanie mięsa, z wyłączeniem mięsa z drobiu i królików,
  - 10.20.Z – przetwarzanie i konserwowanie ryb, skorupiaków i mięczaków,
  - 10.32.Z – produkcja soków z owoców i warzyw,
  - 10.39.Z – pozostałe przetwarzanie i konserwowanie owoców i warzyw,
  - 10.41.Z – produkcja olejów i pozostałych tłuszczów płynnych,
  - 10.42.Z – produkcja margaryny i tłuszczów jadalnych,
  - 10.51.Z – przetwórstwo mleka i wyrób sera,
  - 10.72.Z – produkcja sucharów i herbatników, produkcja konserwowanych wyrobów ciastkarskich i ciastek,
  - 10.81.Z – produkcja cukru,
  - 10.82.Z – produkcja kakao, czekolady i wyrobów cukierniczych,
  - 10.83.Z – przetwórstwo herbaty i kawy,
  - 10.84.Z – produkcja przypraw,
  - 10.91.Z – produkcja gotowej paszy dla zwierząt gospodarskich,
  - 11.01.Z – destylowanie, rektyfikowanie i mieszanie alkoholi,
  - 11.02.Z – produkcja win gronowych,
  - 11.05.Z – produkcja piwa,
  - 12.00.Z – produkcja wyrobów tytoniowych,
  - 14.20.Z – produkcja wyrobów futrzarskich,
- przedstawiono na rysunku 3.3.



Rys. 3.3. Liczba zakładów i firm z wymienionych w tekście działalności gospodarczych położonych na terenie Polski (oznaczone na czerwono, niebiesko oraz zielono liczby odnoszą się kolejno do liczby przedsiębiorstw z działalności: 10.11.Z, 10.39.Z oraz 14.20.Z)



Z przeprowadzonej analizy danych w ujęciu krajowym wynika, iż największa liczba zakładów, będących potencjalnych źródłem emisji odorów, obejmowała kolejno działalności związane z przetwarzaniem i konserwowaniem mięsa (340 obiektów), przetwarzaniem i konserwowaniem owoców, warzyw, z wyłączeniem produkcji soków (311 obiektów), oraz produkcja wyrobów futrzarskich (223 obiektów).

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że możliwa jest ilościowa inwentaryzacja zakładów przemysłowych będących potencjalnym źródłem emisji odorów (np. na podstawie wielkości zakładów). Brak jest natomiast opracowanego systemu zestawień oraz gromadzenia danych dotyczących wybranych procesów/technologii (wielkość produkcji, charakterystyka produkcji), będących przyczyną powstawania zapachów.

Ostatecznie uzyskane i skategoryzowane dane w dalszych badaniach umożliwiły ocenę prawdopodobieństwa i wielkości występowania uciążliwości zapachowej opartą na technice GIS (*Geographic Information System*) na wybranych obszarach (rozdz. 3.2).

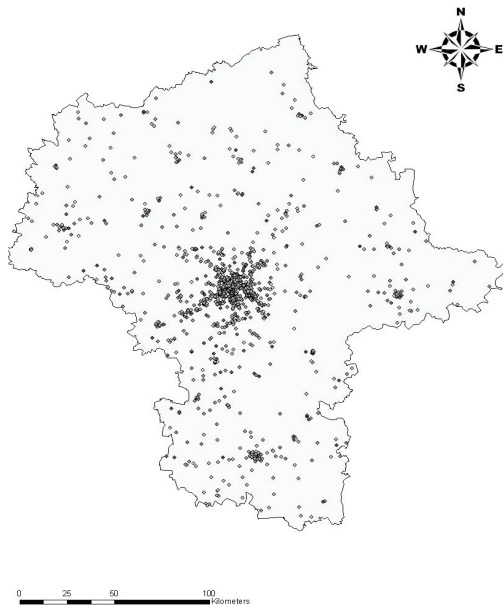
## **3.2. Przestrzenna identyfikacja przemysłowych źródeł emisji odorów**

Ocenę prawdopodobieństwa i wielkości występowania uciążliwości zapachowej według techniki GIS przeprowadzono dla trzech województw: mazowieckiego, śląskiego oraz dolnośląskiego na podstawie zagęszczenia obiektów przemysłowych, rodzaju występujących tam działalności i wielkości zakładu.

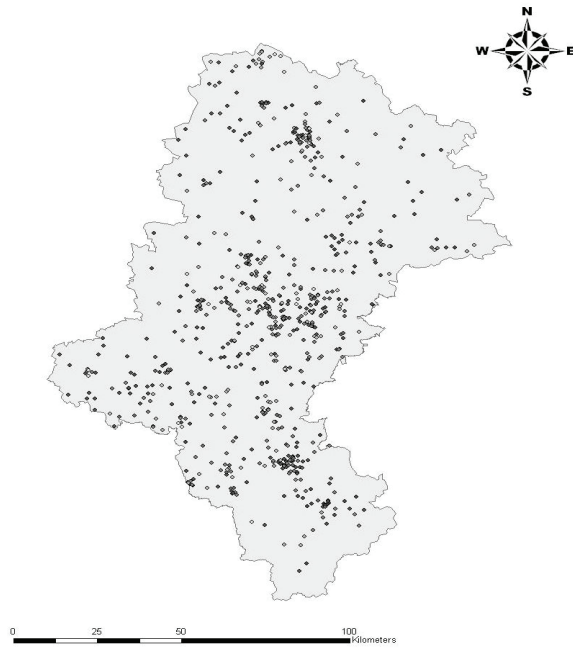
Dane teled adresowe zakładów przemysłowych wybranych działalności gospodarczych w każdym województwie pozyskano z Głównego Urzędu Statystycznego właściwego dla danego województwa. Na podstawie adresów firm zawartych w bazach danych ustalono ich współrzędne geograficzne i skonstruowano przestrzenne bazy danych, zawierające informacje dotyczące: kodu PKD7, nazwy i lokalizacji zakładu (województwo, powiat, poczta, kod pocztowy, miejscowość, ulica, numer posesji), liczby pracowników w zakładzie, lokalizacji (współrzędne geograficzne) oraz kodu dokładności. Przygotowane bazy danych wprowadzono do programu ArcGIS [11]. Aby określić lokalizację obiektów w przestrzeni, zdefiniowano ich współrzędne zawarte w bazie danych i zadeklarowano układ współrzędnych. Jako podkład wykorzystano mapy konturowe poszczególnych województw oraz powiatów należących do tych województw z aplikacji IMAGIS, dla których zadeklarowano ten sam układ współrzędnych, co dla danych o obiektach przemysłowych. Zastosowano układ współrzędnych PUWG 1992. Na podstawie wprowadzonych punktów utworzono pliki *shape* i wykonano operacje na danych. Przykładowe prezentacje kartograficzne wyników dla analizowanych województw przedstawiono na rysunkach 3.4, 3.5 oraz 3.6.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że największe skupiska obiektów znajdują się w okolicy dużych aglomeracji miejskich. W województwie mazowieckim są to okolice powiatu warszawskiego, w województwie śląskim obszar GOP-u (Górnośląski Okręg Przemysłowy) oraz okolice Częstochowy i Bielsko-Białej, w województwie dolnośląskim natomiast okolice powiatu wrocławskiego. Na podstawie analizy danych, w programie ArcGIS dla wybranych województw stwierdzono, że w województwie mazowieckim dominują zakłady mięsne zajmujące się przetwarzaniem i konserwowaniem mięsa (10.11.Z), przetwórnictwo owoców i warzyw (10.39.Z) oraz zakłady produkujące wyroby futrzarskie (14.20.Z). W województwie śląskim natomiast były to: zakłady mięsne (10.11.Z), przetwórnictwo owoców i warzyw (10.39.Z), produkcja wyrobów futrzarskich (14.20.Z) oraz zakłady zajmujące się produkcją sucharów i herbatników (10.72.Z). Z kolei w województwie dolnośląskim, wśród najczęściej występujących działalności, wyróżnić można było zakłady mięsne (10.11.Z) i zajmujące się wyrobami futrzarskimi (14.20.Z) oraz zakłady produkujące suchary i herbatniki (10.72.Z).

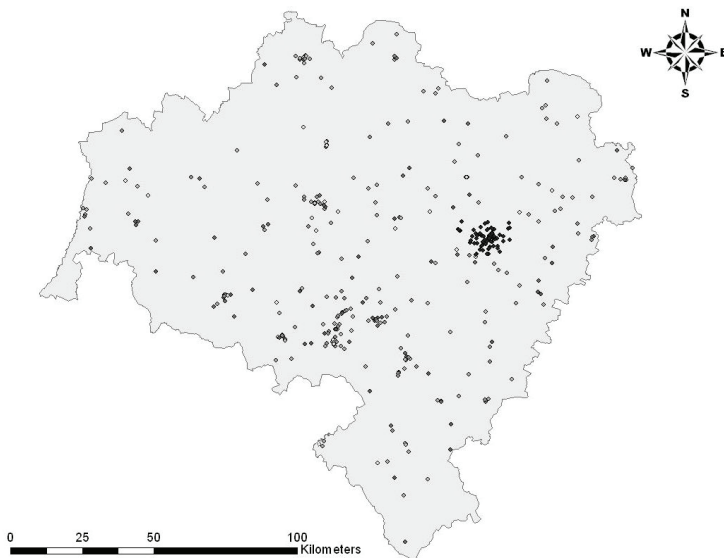
Ostatecznie, uzyskane wyniki analiz umożliwiły przestrzenną identyfikację obiektów będących potencjalnymi źródłami emisji odorów, oraz określenie dokładnej lokalizacji obiektów i zakresu obszarów narażonych na podwyższone stężenia odorantów. Wskazały również brak krajowej bazy danych (czy dostępności do bazy danych) dotyczących położenia zidentyfikowanych obiektów przemysłowych (współrzędne geograficzne rozpatrywanych obiektów przemysłowych).



Rys. 3.4. Rozmieszczenie zakładów należących do przemysłu rolno-spożywczego, będących potencjalnym źródłem emisji zapachów na terenie województwa mazowieckiego



Rys. 3.5. Rozmieszczenie zakładów należących do przemysłu rolno-spożywczego, będących potencjalnym źródłem emisji zapachów na terenie województwa śląskiego



Rys. 3.6. Rozmieszczenie zakładów należących do przemysłu rolno-spożywczego, będących potencjalnym źródłem emisji zapachów na terenie województwa dolnośląskiego

### 3.3. Jakościowa identyfikacja przemysłowych źródeł emisji odorów

Identyfikacja jakościowa przemysłowych źródeł emisji odorów umożliwia kategoryzację źródeł emisji zapachów pod kątem technologicznym (wg branży, wielkości produkcji, typu produktu, wielkości emisji, jakości hedonicznej) oraz zakwalifikowanie zakładów i określenie stopnia szczegółowości czy uogólnienia problematyki odorowej w danej grupie obiektów przemysłowych. Na etapie końcowym zidentyfikowane zostają procesy towarzyszące powstawaniu wybranych produktów i związanej z tym emisji odorów (rys. 3.7).

Identyfikacja procesów  Identyfikacja produktów  Źródła emisji zapachu

| Lp. | Nazwa procesu             | Zastosowane urządzenia   |       | Lp. | Nazwa procesu            | Produkty                           | Produkty uboczne  |
|-----|---------------------------|--------------------------|-------|-----|--------------------------|------------------------------------|-------------------|
|     |                           | Nazwa                    | Ilość |     |                          |                                    |                   |
| 1   | Oczyszczanie mechaniczne  | łapacze kamieni          | 1     | 1   | Oczyszczanie mechaniczne | Oczyszczone buraki                 | woda splawiakowa  |
|     |                           | łapacze liści i chwastów | 1     | 2   | Krojenie                 | krajanka buraczana                 | –                 |
|     |                           | łapacze ogonków          | 1     | 3   | Ekstrakcja               | sok surowy                         | –                 |
|     |                           | pluczka                  | 1     | 4   | Defekacja wstępna        | –                                  | –                 |
| 2   | Krojenie                  | krajalnica               | 1     | 5   | Defekacja główna         | –                                  | –                 |
| 3   | Ekstrakcja                | dyfuzor (ekstraktor)     | 1     | 6   | Saturacja I              | –                                  | –                 |
| 4   | Defekacja wstępna         | defekator                | 1     | 7   | Dekantacja               | klarowny sok                       | gęstwa            |
| 5   | Defekacja główna          | defekator                | 1     | 8   | Filtracja                | –                                  | wapno defekacyjne |
| 6   | Saturacja I               | saturator                | 1     | 9   | Saturacja II             | sok rzadki                         | –                 |
| 7   | Dekantacja                | rozdzielacz (dekantator) | 1     | 10  | Zagęszczanie             | sok gęsty (syrop)                  | –                 |
| 8   | Filtracja                 | prasa filtracyjna I      | 1     | 11  | Krystalizacja            | cukrzyca I, II, III                | –                 |
| 9   | Saturacja II              | saturator                | 1     | 12  | Wirowanie                | cukier biały, cukier B i C, mączka | melas             |
| 10  | Zagęszczanie              | wyparka                  | 6–7   | 13  | Suszenie                 | cukier osuszony                    | –                 |
| 11  | Gotowanie i krystalizacja | warnik                   | 3     | 14  | Chłodzenie               | cukier schłodzony                  | –                 |
|     |                           | mieszadło                | 3     |     |                          |                                    |                   |
| 12  | Wirowanie                 | wirówka                  | 3     |     |                          |                                    |                   |
| 13  | Suszenie i chłodzenie     | suszarka                 | 1     |     |                          |                                    |                   |

Rys. 3.7. Schemat ideowy identyfikacji źródeł emisji zapachów na terenie wybranego zakładu przemysłowego

W kolejnych rozdziałach przedstawiono procesy produkcyjne z zakresu przemysłu rolno-spożywczego oraz chemicznego wraz ze wskazaniem potencjalnych miejsc w technologii, będących przyczyną emisji odorów oraz wartościami stężeń zapachowych zmierzonych w próbkach gazów technologicznych.

#### 3.3.1. Produkcja wyrobów mięsnych

Białko zwierzęce jest istotnym składnikiem diety człowieka. Zawiera ono aminokwasy, które dostarczane z dietą w wystarczającej ilości gwarantują całkowite pokry-

cie zapotrzebowania organizmu. Przemysł mięsny jest w krajach Unii Europejskiej źródłem około 18 mln ton odpadów rocznie. Spożycie mięsa na jedną osobę w Polsce szacuje się na około 76 kg rocznie, co w skali kraju daje masę bliską 3 mln ton. Źródłem zaopatrzenia jest w głównej mierze produkcja krajowa. Istnieją dziesiątki zakładów o różnej wielkości i zróżnicowanym profilu produkcji, które mogą powodować zagrożenie dla czystości środowiska, choć jego skala może być różna. Na etapie początkowym „przedprodukcyjnym” źródłem emisji odorów są również procesy towarzyszące hodowli zwierząt [25, 39, 53, 75, 118, 120].

W zakres ciągu technologicznego w zakładach mięsnych wchodzi kilka operacji, do których (na przykładzie zakładów drobiarskich) należą, m.in.: przyjęcie żywca, ubój (stosowane są tu zabiegi oształamiania, przecinania naczyń krwionośnych, wykrwawiania), zdejmowanie okrywy pierza (poprzedzone zabiegiem oparzenia), usuwanie głów, patroszenie, mycie tuszek i obcinanie łapek. W trakcie tych operacji oprócz towaru handlowego powstaje znaczna ilość odpadów produkcyjnych, takich jak kończyny, głowy, pierze, krew, wnętrzności, których składowanie może być przyczyną emisji zapachów. Dodatkowo, procesami związanymi z wyzwalaniem się zapachów, mogą być w szczególności: oparzenie, gotowanie, czy pieczenie, czyli operacje, przy których zastosowana jest podwyższona temperatura. Badania wykazały, że stężenie zapachowe w połączonym strumieniu gazów z różnych stanowisk w zakładzie drobiarskim wyniosło około  $1000 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  [116].

Kolejne badania wykonane w zakładach mięsnych, w których ciąg technologiczny obejmował przyjęcie żywca (głównie wołowego), pozyskanie półtuszy, aż do produkcji wyrobów garmażeryjnych i wędliniarskich, wykazały, że stężenie zapachowe w gazach wentylowanych z hali żywca wynosiło  $70 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ , z hali krat  $68 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ , a z hali uboju  $37 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ . Najwyższe stężenie odnotowano w gazach wędzarniczych – wyniosło  $185\,000 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ . Gazy wędzarnicze mają bez wątpienia odorotwórczy charakter determinowany głównie przez takie związki, jak: fenol, akroleina, kwasy tłuszczowe (o krótkich łańcuchach węglowodorowych), formaldehyd, substancje smoliste i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. W gazach z hali przyjęć, na terenie badanego obiektu, wyraźnie wyczuwalny był zapach amoniaku. Gazy z pozostałych pomieszczeń przeróbki miały zapach typowy dla przerabianego surowca. Istotnym źródłem emisji zapachu na terenie zakładu były również ścieki, które poddawane były jedynie wstępnemu oczyszczaniu mechanicznemu na kratkach, a następnie uśrednianiu. Stężenie zapachowe zmierzone nad zbiornikiem uśredniającym wyniosło  $1344 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ .

Powstające w zakładach przetwórstwa mięsnego odpady, a także konfiskaty zwierząt padłych, stanowią bardzo poważny problem higieniczno-sanitarny. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest przerabianie odpadów drobiowych i odpadów z trzody – na mączki (mięsnokostne, z pierza i krwi), które są wykorzystywane do produkcji wysokobiałkowych pasz dla zwierząt gospodarskich. Niestety proces produkcji mączek wiąże się z uwalnianiem dużej ilości bardzo nieprzyjem-

nych zapachów. Wszystkie surowce odpadowe, wykorzystywane do produkcji mączek paszowych, są silnie skażone mikroflorą, w tym niekiedy także chorobotwórczą, która powinna być całkowicie zniszczona w procesie wyrobu mączek. Ten warunek może być spełniony jedynie po zastosowaniu technologii gwarantującej pełną sterylizację poddawanej obróbce masy. Proces jest wówczas prowadzony cyklicznie w tzw. destruktorach Hartmanna (urządzeniach ciśnieniowych, podgrzewających przeponowo parą wodną). Po fazach załadunku i podgrzewania następuje sterylizacja, przebiegająca w temperaturze około 140 °C (413 K) i pod zwiększonym ciśnieniem. Po zredukowaniu ciśnienia zachodzi proces suszenia w temperaturze zbliżonej do temperatury wrzenia wody. Podczas procesu, szczególnie w fazie redukcji ciśnienia oraz suszenia, dochodzi do uwalniania się dużej ilości oparów zawierających znaczną ilość substancji odorotwórczych, które są poddawane kondensacji, w celu zmniejszenia ładunku odorów unoszonych z fazą gazową [116]. Cuchnące składniki powstające w procesie są produktami biochemicznych i chemicznych przemian złożonych struktur chemicznych wchodzących w skład surowca, głównie białek. Złożony skład surowca oraz duży stopień skomplikowania procesów jego rozkładu (na skutek wzrostu temperatury towarzyszącej procesom gotowania oraz suszenia) sprawia, że skład wyzwalających się zanieczyszczeń gazowych jest również niezwykle złożony. Oprócz pewnych ilości siarkowodoru i amoniaku, występuje tu duża liczba połączeń organicznych [116]. Wyniki pomiarów stężenia zapachowego w próbkach gazów pobranych podczas różnych faz pracy destruktora przedstawiono w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Stężenia odorowe gazów uwalnianych podczas produkcji mączki mięsno-kostnej w różnych fazach pracy destruktora [116]

| Źródło odorów   | Średnie stężenie zapachowe, ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> |
|---|---|
| Wyziewy (po kondensacji)<br>z faz redukcji ciśnienia i suszenia | 2025 000  |
| Wyziewy (po kondensacji)<br>z fazy podgrzewania                 | 175 200   |
| Powietrze wentylacyjne<br>w zamkniętym destruktorze             | 1350  |
| Powietrze wentylacyjne<br>podczas opróżniania destruktora       | 3825  |

Opary ulatujące z destruktora są poddawane skraplaniu [116]. W tabeli 3.2. zestawiono wielkości strumieni odorów odprowadzanych w postaci gazowej oraz cieklej (wraz z kondensatem). Jak wynika z tabeli 3.1, strumień wyziewów jest ponadstukrotnie mniejszy od strumienia gazów wentylacyjnych. Po zmieszaniu obu strumieni stężenie odorowe gazów mogłoby osiągnąć wartość zbliżoną do około 20000 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> [116].

Tabela 3.2. Ilości odorów powstające podczas jednego cyklu pracy destruktora [116]

| Źródło                 | Stężenie zapachowe ( $ou_E/m^3$ ) |
|------------------------|-----------------------------------|
| Skropliny              | $30,0 \times 10^8$                |
| Wyziewy                | $4,21 \times 10^8$                |
| Powietrze wentylacyjne | $0,96 \times 10^8$                |

Oznaczenia wykonane dla oparów przed kondensacją wykazały, że stężenia odorowe mogą sięgać niewiarygodnie wysokich wartości, rzędu 30–40 mln  $ou_E/m^3$  [116]. Zestawienie danych dotyczących stężeń zapachowych z różnego rodzaju obiektów przetwórstwa odpadów zwierzęcych (fabryki żelatyny, topialnie łoju i tłuszczów odpadowych, fabryki śrutu kostnego, przetwórnice szczeciny) zestawiono w tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Stężenie zapachowe zmierzone w gazach emitowanych z przetwórnici odpadów poubojowych [116]

| Źródło emisji                             | Stężenie zapachowe, $ou_E/m^3$ |
|---|--------------------------------|
| Przetwórstwo odpadów rzeźnych i konfiskat | 1000–20 000                    |
| Topialnia łoju                            | 1000                           |
| Przetwórnica szczeciny                    | 800–2500                       |
| Fabryka żelatyny                          | 400–700                        |
| Fabryka mączki                            | 20 000                         |
| Przerób kości                             | 23 300                         |

Tego typu przetwórnice uważane są za obiekty szczególnie uciążliwe zapachowo. Znane i testowane są techniki oganiczania emisji odorów, m.in. z zastosowaniem związków nanosrebra [44, 45]. Ważne w procesach przetwórstwa mięsa jest to, aby przerabiany surowiec był świeży, wówczas na wstępnym etapie zostanie już ograniczona emisja odorów [91].

### 3.3.2. Przetwórstwo ryb i rybich odpadów

Ryby dostarczają równie wartościowego białka, jak mięso czy drób. Niestety, przetwórstwo ryb, podobnie jak przetwórstwo mięsa ze zwierząt hodowlanych, wiąże się z emisją nieprzyjemnych odorów. Głównymi źródłami emisji są procesy gotowania, smażenia i wędzenia. Do głównych składników odorotwórczych zalicza się: aminy alifatyczne (np. trimetyloamina), aldehydy (np. 2-metylopropanal, 2- i 3-metylobutanol), ketony, kwasy tłuszczowe oraz w mniejszej ilości związki siarki (tiole), siarczki (np. disulfid dimetylu, trisulfid dimetylu) oraz siarkowodoru [91].

W przypadku wędzenia dochodzą jeszcze składniki dymów wędzarniczych, do których m.in. zaliczyć można takie zanieczyszczenia, jak: fenol, aldehydy (akroleina, formaldehyd), WWA, lotne kwasy organiczne, substancje smoliste. Stężenie zapa-

chove z obiektów przetwórstwa rybnego może wahać się w granicach  $10^3$ – $10^5$  ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> [116].

Odpady powstałe z przetwórstwa ryb przerabiane są na mączkę rybną, która jest składnikiem pasz dla zwierząt hodowlanych. W procesie prowadzonym podobnie jak podczas produkcji mączek mięsno-kostnych uwalnia się znaczna ilość związków odrotwórczych [91].

### 3.3.3. Produkcja olejów roślinnych

W Polsce podstawowym surowcem do produkcji olejów roślinnych jest rzepak. Oleje wykorzystywane są do celów spożywczych, a ostatnio również przeznaczają się je do produkcji tzw. biopaliw.

Ziarna nasion oleistych są przechowywane w silosach i sukcesywnie przekazywane do przerobu. Na proces technologiczny składają się następujące operacje: czyszczenie i wstępna obróbka ziarna, tłoczenie oleju, oczyszczanie oleju, ekstrakcja (odzyskiwanie resztek oleju z masy po tłoczeniu).

Ziarna pozyskiwane z upraw podczas omłotów są zanieczyszczone łuskami, piaskiem i innymi częściami stałymi. Czyszczenie odbywa się przez przesiewanie na sitach, wywiewanie oraz inne zabiegi. Powstający przy tym strumień zapyłonych gazów jest oczyszczany zwykle w odpylaczach tkaninowych. Następnie oczyszczone ziarna są poddawane zabiegom wstępnym, które polegają na ich rozdrobieniu i podgrzaniu do wysokiej temperatury, wynoszącej około 110 °C (383 K). Podczas tego zabiegu, prażenia, zachodzą istotne procesy, przede wszystkim koagulacja substancji białkowych oraz niszczenie (dezaktywacja) enzymów i mikroorganizmów. Surowiec przygotowany do tłoczenia musi mieć odpowiednią wilgotność, dlatego poddaje się go niekiedy podczas podgrzewania bezpośredniemu działaniu pary wodnej. Zasadniczym procesem jest zabieg wytlączania oleju. Najczęściej stosuje się do tego prasy ślimakowe. Wytłoczony olej, zawierający drobne cząstki zawiesiny z prasowanych ziaren surowca, trafia do zbiorników sedymentacyjnych. Uzyskanie pełnowartościowego produktu wymaga dalszej, skomplikowanej obróbki, czyli rafinacji. Wytłoki zawierające jeszcze znaczne ilości oleju, około 6–11%, są poddawane ekstrakcji heksanem. Proces wymywania oleju jest prowadzony przeciwwądo. W jego efekcie otrzymuje się miscelę, roztwór zawierający 10–30% oleju w heksanie. Po oddzieleniu cząstek stałych, w hydrocyklonie, jest on kierowany do sekcji odparowania, gdzie uzyskuje następną partię oleju oraz odzysk heksanu. Materiał po procesie ekstrakcji jest poddawany odcisnięciu, a ostatnia pozostałość rozpuszczalnika jest z niego usuwana z użyciem pary wodnej [116].

Produkcja olejów roślinnych wiąże się ze znaczną emisją gazów o nieprzyjemnym zapachu. Substancje cuchnące mogą występować w postaci gazowej lub aerozoli. Uwalnianiu odorów sprzyja to, iż wiele operacji prowadzone jest w podwyższonej



temperaturze przekraczającej nawet 100 °C (373 K). Wśród związków wonnych, występujących w tych gazach, wymienić należy przede wszystkim kwasy tłuszczowe oraz organiczne połączenia azotu, a w wypadku gdy przerabiany jest rzepak, dochodzi do tego siarkowodor i organiczne połączenia siarki. Wielkość strumienia gazów odlotowych wyzwalanego w ciągu technologicznym, szczególnie przy takich operacjach jak prażenie ziaren, suszenie i chłodzenie śruty, może przekraczać 5000 m<sup>3</sup> na Mg przerabianego surowca. Zmierzone stężenie zapachowe w próbkach gazów, z suszenia i chłodzenia śruty wyniosło 2000–6000 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, podczas gdy gazów ulatujących z instalacji ekstrakcji mogą osiągać wartość powyżej 100 000 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>.

### 3.3.4. Produkcja piwa

Piwo jest jednym z najstarszych produktów spożywczych związanych z cywilizacją człowieka. W procesie historycznego rozwoju piwowarstwa udoskonalano zarówno skład, jak i rozwijano rozmaite gatunki piwa. Za kanon klasycznego piwowarstwa uznano podstawowy skład piwa: woda, słód, chmiel, drożdże. Technologia produkcji piwa składa się z trzech głównych procesów [65]: wytworzenie brzezki („warzenie piwa”), fermentacja i utwalenie piwa (na utwalenie składają się łącznie: dojrzewanie, filtracja i stabilizacja piwa), rozlewanie i pakowanie.

W pierwszym etapie ze słodu w wodzie pod wpływem temperatury wytwarza się brzezkę, czyli roztwór zawierający cukry fermentujące, dekstryny, białka, aminokwasy, garbniki i sole mineralne. Brzezka jest dodatkowo chmielona, aby dodać jej specyficznego smaku goryczy i aromatu. Produktem ubocznym warzenia są wysłodziny, lub inaczej młoto, tj. gorący osad słodu. Warzenie piwa trwa kilka godzin. Kolejny etap, czyli fermentacja piwa, polega na wytworzeniu ze składników zawartych w brzezce i pod wpływem zaszczipionych drożdży alkoholu, dwutlenku węgla oraz różnych produktów fermentacji stanowiących o oryginalnym smaku piwa. Produktem ubocznym są osady drożdży. Fermentacja wymaga schłodzenia fermentującej brzezki. Następnie zachodzi etap dojrzewania piwa, który wymaga utrzymania niskiej temperatury przez okres kilkunastu dni. Jest to najdłuższy proces w całym cyklu produkcyjnym. Celem jego jest dofermentowanie oraz usunięcie niepożądanych smaków i zapachów w piwie. Zmętnienie piwa po okresie dojrzewania jest usuwane w procesie filtracji. Osad z użytym materiałem filtracyjnym jest ostatnim odpadem organicznym w procesie produkcji piwa. Pakowanie piwa obejmuje utwalenie termiczne piwa (pasteryzacja), rozlewanie (w atmosferze CO<sub>2</sub>) do butelek, puszek lub kegow oraz pakowanie w opakowania zbiorcze (tacki, wielopaki, pudełka, zgrzewki) i transportowe (na palety) [65].

Procesowi produkcji piwa może towarzyszyć emisja zapachów. Głównym ich źródłem są opary powstające podczas warzenia brzezki. Wyzwalany zapach pochodzi od złożonej kompozycji licznych związków wonnych. Za najistotniejsze wśród nich uwa-

za się 3-metylobutanal (odpowiedzialny w głównej mierze, za zapach słodu), a także siarczek dimetylowy oraz myrcen. Podczas schładzania powstających oparów większość wonnych związków jest usuwana z kondensatem, stąd wielkość emisji zapachów zależy znacznie od stopnia schłodzenia. Kolejnymi źródłami emisji zapachów są silosy, w których składowane są wysłodziny oraz osady powstające podczas filtrowania piwa. W procesie produkcji piwa powstaje też znaczna ilość uciążliwych ścieków. Proces ich oczyszczania również może być źródłem emisji zapachów. Przeprowadzone pomiary stężenia zapachowego gazów emitowanych z podczyszczalni ścieków jednego z polskich browarów wskazały na stężenia około  $48\,000\text{ ou}_E/\text{m}^3$ . Natomiast po zastosowanym procesie biofiltracji wyniosły ponad  $16\,000\text{ ou}_E/\text{m}^3$ .

### 3.3.5. Destylowanie, rektyfikowanie i mieszanie alkoholi

Destylowanie, rektyfikowanie i mieszanie alkoholi dotyczy podmiotów zajmujących się działalnością w zakresie produkcji alkoholu etylowego, po przetworzeniu przeznaczonego do spożycia. Spirytus surowy jest to alkohol etylowy o stężeniu około 90%, otrzymywany w gorzelniach przez prostą destylację z zacieru. Stanowi on bazowy półprodukt do wyrobu napojów spirytusowych. W Polsce jest około 1000 gorzeln, wśród których są zarówno gorzelnie przemysłowe, jak i mniejsze rolnicze.

Najczęściej stosowanymi surowcami do produkcji etanolu są ziarna zbóż lub ziemniaki. Proces produkcji składa się z następujących etapów: przygotowanie zacieru, fermentacja etanolowa, destylacja, zagospodarowanie wywaru. Pierwszy etap, czyli przygotowanie wywaru, polega na parowaniu, rozdrabnianiu i enzymatycznym scukrzaniu. Na tym etapie źródłem emisji zapachów może być proces parowania, a wielkość strumienia wyzwanych zapachów oraz ich jakość hedoniczna zależy od rodzaju surowca. Proces fermentacji przebiega w warunkach beztlenowych. Fermentatory są zwykle wyposażone w przeponowe chłodnice, proces bowiem jest wyraźnie egzotermiczny. Proces przebiega z wydzieleniem znacznej ilości gazów. Na każdy mol etanolu wydzielany jest jeden mol dwutlenku węgla. Stąd na 1 litr etanolu wyzwala się go  $0,37\text{ m}^3$  (w odniesieniu do warunków normalnych) [116]. Ulatujące z fermentatora gazy niosą ze sobą istotne ilości związków wonnych, w tym także etanolu. Podczas racjonalnego prowadzenia procesu gazy są poddawane wymywaniu wodą, w celu wyłapania etanolu. Absorpcji ulega przy tym także wiele innych związków wonnych. Stężenia zapachowe zmierzone w gazach znad fermentatorów wyniosły około  $21\,000\text{ ou}_E/\text{m}^3$ , natomiast po zastosowanym procesie absorpcji gazów  $9400\text{ ou}_E/\text{m}^3$ .

Sfermentowany zacier jest poddawany destylacji. Nowsze urządzenia destylacyjne są systemami o dużym stopniu hermetyzacji, co praktycznie eliminuje emisję odorów. Źródłem odorów, o ilości i jakości hedonicznej bardziej zróżnicowanej, w zależności od rodzaju surowca wyjściowego, a przez to trudniejszym do jednoznacznego scha-

rakteryzowania, jest proces zagospodarowania wywaru. Nadaje się on do przerobu na pasze, a jako odpad jest bardzo uciążliwy dla środowiska. Źródłem niewielkich emisji odorów mogą być także operacje pomocnicze, jak np. pompowanie mediów, napełnianie zbiorników (oddychanie zbiorników). Duże gorzelnie są zwykle obiektami, w których zastosowano nowoczesne rozwiązania technologiczne, co ogranicza emisję przypadającą na jednostkę produktu [116].

### 3.3.6. Produkcja win gronowych

Proces produkcji wina jest bardzo skomplikowany i ulega modyfikacjom w zależności od producenta i rodzaju wina. W przypadku win gronowych proces winifikacji składa się z następujących etapów: selekcja winogron, odszypułkowanie i zgniatanie winogron na miazgę, tłoczenie, klarowanie, analiza i korekta składu moszczu, fermentacja alkoholowa, zlanie młodego wina z nad osadu (pierwszy obciąż), fermentacja jabłkowo-mlekowa (opcjonalnie), klarowanie i drugi obciąż, stabilizacja, dojrzewanie, końcowa korekta wina (kupażowanie) oraz butelkowanie. Kluczowym procesem jest fermentacja alkoholowa, podczas której drożdże przetwarzają zawarte w moszczu cukry na alkohol i dwutlenek węgla. Przy okazji tworzą się tu także inne substancje odpowiedzialne za smak i aromat wina jak glicerol czy lotne związki aromatyczne [7].

Produkcja win gronowych powoduje emisję odorów. Głównymi źródłami nieprzyjemnych zapachów są tutaj ścieki, bezpośrednia emisja z procesu fermentacji, półpłynne lub wysokiej wilgotności odpady takie, jak wytloki z winogron oraz stawy ściekowe. Odory powstające z procesów fermentacji zawierają LZO oraz niektóre związki nieorganiczne, w tym siarkowodór. Emisja nieprzyjemnych zapachów z odpadów półpłynnych zależy od następujących czynników: zawartości wilgoci, czasu, warunków przechowywania (np. temperatury, poziomu napowietrzania) [30].

### 3.3.7. Produkcja soków z owoców i warzyw oraz pozostałe przetwarzanie i konserwowanie owoców i warzyw

Przedsiębiorstwa sektora owocowo-warzywnego produkują szeroki asortyment wyrobów. W dużych przedsiębiorstwach produkuje się kilka różnych produktów, natomiast w mniejszych dominuje jeden kierunek. Podstawowym surowcem są świeże owoce i warzywa. Spośród owoców najczęściej przerabia się jabłek i truskawek. Natomiast wśród warzyw dominują pomidory. Istotną rolę odgrywa również przetwórstwo, m.in. ogórków, kalafiorów, marchwi, buraków, kapusty. W sektorze wykorzystuje się duże ilości amoniaku, który jest stosowany w urządzeniach chłodniczych. Problemem jest mała szczelność tych chłodni, co przyczynia się do „strat” nawet do 30% amoniaku stosowanego rocznie w urządzeniu [67].

Soki i napoje produkuje się z koncentratu, który miesza się z dodatkiem wody, cukru, koncentratów i dodatków smakowych oraz kwasu cytrynowego. Po zmieszaniu składników sok jest klarowany na filtrach, powstały osad jest traktowany jako odpad lub odprowadzany wraz ze ściekami do kanalizacji. Następnie jest odpowietrzany, homogenizowany i pasteryzowany, oraz przesyłany na linię pakowania. Kartony o pojemności od 200 cm<sup>3</sup> do 2000 dm<sup>3</sup> są przed użyciem sterylizowane roztworami nadtlenu wodoru i/lub gorącym powietrzem. Skropliny ze sterylizacji odprowadzane są do kanalizacji. Duża ilość ścieków powstaje w przypadku rozlewania soków do butelek, które przed użyciem są myte roztworem wodorotlenku sodu. Roztwór ten krąży zazwyczaj w obiegu zamkniętym i okresowo (co kilka dni) odprowadzany jest do kanalizacji. Ściekami są także wody wykorzystywane do spłukiwania butelek po myciu. W procesie produkcji soków i napojów owocowych powstaje mała ilość odpadów – są to przede wszystkim odpady opakowaniowe i niewielka ilość osadów z klarowania płynów [67].

Technologie produkcji w branży owocowo-warzywnej są zróżnicowane i zależą od profilu produkcji. Na przykład w skład linii technologicznej produkcji owoców mrożonych wchodzi następujące etapy: przygotowanie i mrożenie owoców, obróbka końcowa i pakowanie.

W przedsiębiorstwach z sektora owocowo-warzywnego źródłem emisji odorów mogą być procesy przygotowania zagęszczonego soku na liniach technologicznych produkcji koncentratów oraz, w niesprzyjających warunkach, miejsca składowania odpadów organicznych i/lub poletka osadowe [67].

### 3.3.8 Produkcja cukru

Spożycie cukru w Polsce wynosi w przybliżeniu 40 kilogramy na osobę, co jest wynikiem wyższym niż średnia europejska. W Polsce surowcem do produkcji cukru są buraki cukrowe. Pozyskiwanie cukru z buraków cukrowych polega na wylugowaniu wodą cukru z surowca (buraka) i jego krystalizacji z roztworu. W rzeczywistości jest to proces bardziej złożony i zawiera operacje, przy których dochodzi do emisji substancji wonnych do atmosfery.

Na początku buraki są myte w celu usunięcia głównych zanieczyszczeń, czyli gleby, a także pozostałości liści oraz cienkich korzeni dorosłych od bulw. Następnie buraki są krojone w celu ułatwienia wydobycia soku komórkowego z miąższu buraków przez ługowanie. W jego efekcie uzyskuje się wysłodki oraz sok surowy zawierający 13–18% cukru i jako zanieczyszczenia substancje białkowe, kwasy karboksylowe oraz amidy kwasowe. Zanieczyszczenia są usuwane w procesie defekacji, z użyciem 10% mleka wapiennego. Zachodzi wtedy strącanie cukrów, żelatynizacja substancji koloidalnych i wytrącanie ich w postaci kłaczków, powstrzymanie procesu inwersji sacharozy na glukozę i fruktozę. Związki azotowe ulegają rozkładowi z wydzieleniem amoniaku

niaku. Czas trwania nie powinien przekraczać 10–12 minut, ponieważ może dochodzić do rozkładu substancji białkowych z wydzieleniem substancji pogarszających właściwości filtracyjnych roztworu. Nadmiar wapna jest usuwany z roztworu w procesie saturacji z użyciem dwutlenku węgla, w celu oczyszczenia roztworu przez wytrącenie nadmiaru wodorotlenku wapniowego, przechodząc w trudniej rozpuszczalny węglan wapniowy, który dodatkowo sorbuje na powierzchni istotne ilości niecukrów. Oczyszczony roztwór sacharozy jest roztworem nienasyconym, tzw. roztworem rzadkim. W celu wykrywania cukru (sacharozy) trzeba go poddać procesowi zagęszczania. Przez odparowanie wody uzyskuje się roztwór o stężeniu powyżej 65%. Po schłodzeniu z roztworu wypadają kryształki cukru. Proces zatężania roztworu i krystalizacji jest prowadzony wielostopniowo. Na kolejnych jego etapach dochodzi do pojawiania się brunatnej barwy roztworu, którą można usuwać przez adsorpcję węglem aktywnym. Ostatecznym produktem tego złożonego, wielostopniowego procesu jest główny produkt – cukier krystaliczny oraz melasa (melas) [116].

Ze względu na emisję zapachu, istotne jest to, że kampania zasadnicza (cukrowa) obejmuje okres czwartego kwartału roku; kampania tzw. sokowa prowadzona jest w okresie od marca do czerwca. Przez cały rok źródłem emisji odorów są osadniki, w których są gromadzone osady powstające podczas wstępnej obróbki surowca.

Stężenia zapachowe emitowanych gazów, zmierzone podczas kampanii sokowej z różnych etapów technologicznych, mieściły się w granicach 30–1800  $\text{ou}_E/\text{m}^3$ . Podczas kampanii cukrowej natomiast stężenia 470–56 700  $\text{ou}_E/\text{m}^3$  źródłem emisji zapachów są osadniki wód splawiakowych. Niosą one ze sobą szlam zawierający glebę oraz drobne cząstki buraków (nitkowate korzenie). Fermentacja materii organicznej, przebiegająca w warunkach beztlenowych, sprawia, że osadniki są całorocznym źródłem emisji zapachów. Aktywność tego źródła wzrasta, gdy panują wysokie temperatury (okres letni) oraz wtedy, gdy osad jest usuwany. Akcje usuwania osadu prowadzone przez kilka dni w sezonie wiosennym. W próbkach pobranych z powierzchni osadników, wartość średnia stężenia wyniosła 150  $\text{ou}_E/\text{m}^3$ .

### 3.3.9. Produkcja mleka i wyrób serów

Produkcja i przetwórstwo mleka jest jedną z najistotniejszych branż polskiego przemysłu. Co czwarta złotówka produkcji towarowej rolnictwa pochodzi z chowu bydła mlecznego, który jest prowadzony przez około 800 tys. gospodarstw.

Surowe schłodzone mleko jest odwirowywane, pasteryzowane, standaryzowane, homogenizowane, odpowietrzane, chłodzone oraz pakowane [66].

Sery świeże (niedojrzewające) powstają z mleka standaryzowanego i pasteryzowanego, czasami homogenizowanego. Do mleka dodawane są sole wapniowe (najczęściej chlorek wapniowy), w celu przywrócenia równowagi soli mineralnych, zachwianej na skutek pasteryzacji mleka. Chlorek wapniowy działa jako środek wspomagający ko-

agulację. Koagulacja polega na ścięciu mleka, wskutek czego wydziela się serwatka i skrzep serowy. Po dodaniu kultur bakteryjnych, mleko ogrzewane jest w wannach twarogarskich, gdzie przechodzi około 12–16-godzinny okres inkubacji. Po procesie koagulacji skrzep jest ogrzewany i pakowany w tkaniny i prasowany lub przenoszony do ogrzewanych kadzi, w których przechodzi proces granulacji. Odcisnięty skrzep może być wzbogacony o dozwolone dodatki smakowe (przyprawy, substancje aromatyzujące, cukier itp.) [66].

Sery dojrzewające poddawane są dłuższej obróbce. Proces technologiczny produkcji serów miękkich dojrzewających składa się z etapów przygotowania mleka, zaprawiania podpuszczką i krzepnięcia, obróbki skrzepu i gęstwy serowej, solenia, dojrzewania i pielęgnacji oraz wykańczania i przechowywania dojrzałych serów [16].

Oddziaływanie zapachowe zakładów przemysłu mleczarskiego może być znikome, pod warunkiem, że instalacja funkcjonuje prawidłowo. Do emisji odorów może jednak dojść w przypadku nieszczelności amoniakalnej instalacji chłodzącej lub na skutek zaburzeń w działaniu lub złej gospodarki osadowej w zakładowej oczyszczalni ścieków (ścieki mleczarskie mają skłonność do szybkiej fermentacji). Powstawianiu odorów można zapobiec przez właściwe zarządzanie gospodarką odpadami i ściekami.

### 3.3.10. Produkcja wyrobów tytoniowych

Mimo że konsumpcja wyrobów tytoniowych w Polsce w ciągu ostatnich 20 lat wykazuje słabą tendencję malejącą, jest to ciągle rynek duży i atrakcyjny. Badania pokazują, że obecnie pali papierosy około 40% dorosłych Polaków [90].

Podstawowym surowcem do produkcji wyrobów tytoniowych są liście tytoniu. Szczegółowa technologia produkcji jest ściśle tajemnicą poszczególnych producentów. Omawiane zakłady są źródłem znacznej ilości gazów odlotowych, zawierających związki odorotwórcze. Za główne źródło odorotwórczych gazów można tutaj uznać procesy fermentacji i suszenia tytoniu oraz temperaturowe rozdrabnianie (ekspandowanie) grubych składników surowca (tzw. żył) [116].

Przyczyną wyzwalania się odorów podczas przeróbki tytoniu są procesy przemian monosacharydów i związków białkowych, połączone z częściowym ich utlenianiem oraz uwalnianiem się olejków eterycznych. Wśród związków występujących w tych procesach stwierdzono m.in. obecność następujących połączeń: benzaldehyd, 1-tridekanol, linolenina, kwas dodekanowy, mentan (1-metlo-4-izopropylenoheksanol), benzaldehyd, 1-tridekanol, dwumetylohydrazyna, dekalakton, nikotyna, kwas m-aminobenzoowy, beta-jopnon, heksadecykloglopentan, karan, longifolen, bifluoren, mentol, fenylobenzen, 1-metylofenylo1-propanol, tricyklodekan, dwumetylofenol, dwufenylofuran, heksadicyklopentan, 2 metyloantracen, 1,3 dwumetylobarbita, aminoglutarymid, 3,5dwuchlorobenzaldehyd, tetrahydroksyfluoranten, 2,2 etoksymetoksy-

tetrahydrofenantren, oktanopochodne. Zmierzone stężenia zapachowe w znaczącym zakładzie omawianej branży w Polsce, w gazach pobranych na różnych etapach produkcji, wyniosły od 500 do ok. 70 000  $\text{ou}_E/\text{m}^3$  [116].

### 3.3.11. Produkcja skór

Procesy garbarskie są źródłem emisji wielu substancji szkodliwych dla środowiska. Rodzaj zanieczyszczenia oraz występujące stężenia zależą od prowadzonych procesów jednostkowych i rodzaju użytych w produkcji materiałów. Negatywne oddziaływanie garbarni potęgują procesy przeładunku skór.

Proces garbowania polega na przekształceniu surowej skóry, materiału łatwo ulegającemu zepsuciu, w skórę wyprawioną, materiał stabilny, który może służyć do wytwarzania wielu rozmaitych produktów [68].

Proces produkcyjny w garbarni może być podzielony na cztery główne kategorie: magazynowanie surowych skór i operacje prowadzone w warsztacie mokrym, właściwe operacje garbarskie, operacje po garbowaniu oraz operacje wykańczające. Po zdjęciu skór z tusz zwierzęcych w rzeźni są one dostarczane na rynek skór, bezpośrednio do zakładu garbarskiego lub do pomieszczeń, gdzie są przygotowywane do garbowania. Jeśli to konieczne, surowe skóry są konserwowane przed transportem, co zabezpiecza je przed zepsuciem. Po dostarczeniu na miejsce, surowe skóry mogą być sortowane, przycinane, konserwowane i magazynowane w zależności od przyszłych operacji w warsztacie mokrym. W mokrym warsztacie garbarni prowadzone są następujące typowe procesy: moczenie, odwłaszanie, wapnienie, mizdrowanie i dwojenie. Do typowych procesów prowadzonych we właściwej garbarni należą: odwapnianie, wytrawianie, piklowanie i garbowanie. Wygarbowane skóry surowe, jako że zostały przekształcone w materiał nieulegający gniciu, są handlowym półproduktem. Typowe procesy, następujące po garbowaniu, to: odciskanie, wyżymanie, dwojenie, struganie, dogarbowanie, farbowanie, natłuszczanie i suszenie. Na tym etapie skóra nazywana jest kozuchem. Kozuch jest także półproduktem handlowym. Wybór operacji wykańczających zależy od właściwości produktu końcowego. Garbarnie na ogół stosują kombinację następujących procesów: kondycjonowanie, międlenie, bufowanie, nakładanie wykończenia, powlekanie i wytłaczanie.

Przyczyną wyzwalania się odorów w przypadku tego typu zakładów mogą być procesy rozbioru skór, zgromadzone odpady oraz procesy warsztatu mokrego i ścieki. Oprócz wyraźnego zapachu surowych skór, odczuwalne są również nieprzyjemne zapachy gnilne. Uciążliwym zapachom pochodzącym z surowych skór można łatwo zapobiegać dzięki odpowiedniemu przechowywaniu i utwardzaniu skór surowych. Zmierzone, w jednej z polskich garbarni, stężenie zapachowe w próbkach gazów pobranych z różnych etapów technologii przeróbki skór mieściło się w zakresie 319 do ponad 51 000  $\text{ou}_E/\text{m}^3$ .

### 3.3.13. Produkcja kakao

Nasiona z owoców kakaowca, stosowane są jako składnik wielu wyrobów cukierniczych, m.in. tabliczek czekolady, napojów, polew, wiórków czekoladowych, mas czekoladowych oraz cukierków. Kakaowiec ma podłużne, jajowate i skórzaste liście oraz żółtawe kwiaty, z których wyrastają owoce zawierające od 20 do 30 nasion. Po zbiorze owoce otwiera się i wydobywa się z nich miąższ oraz nasiona. Następnie poddaje się je fermentacji przez kilka dni, co powoduje, że ziarna zmieniają smak, aromat oraz kolor.

Po oczyszczeniu przefermentowane ziarna poddaje się suszeniu i prażeniu. Podczas suszenia uwalnia się para wodna w ilości około 3% oraz substancje wonne, w szczególności kwas octowy (do 0,05%). Podczas prażenia natomiast, obok pary wodnej (ok. 5%), emitowanych jest około 0,1% substancji wonnych, a wśród nich kwasy organiczne, aldehydy, estry, pirazyna. Zmierzone stężenie zapachowe przyjmuje wartości z przedziału 5000–15 000 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> [116].

W mniejszych ilościach substancje uwalniają się m.in. podczas schładzania ziarna po prażeniu, mielenia ziarna oraz oddzielania i oczyszczania tłuszczu (systemem podciśnieniowym), a także preparowania i konfekcjonowania czekolady.

### 3.3.14. Przetwórstwo herbaty i kawy

Produkcja herbaty, a właściwie jej przetwarzanie, jest procesem długim i niezwykle złożonym. Na tym etapie kształtują się walory smakowe herbaty. W metodzie tradycyjnej liście herbaty po zebraniu układane są w cienkich warstwach na specjalnych matach, by słońce odparowało z nich wodę. Następnie zwija się je rękoma i ponownie rozkłada, ale tym razem w miejscu ciepłym i wilgotnym. Fermentacja zaczyna się już w momencie pęknięcia liści podczas zwijania, ale do pełnej dojrzałości potrzeba jeszcze 2–4 godzin. Zachodzące w tym czasie reakcje chemiczne powodują uwolnienie enzymów, które wpływają na zawarte w liściach taniny i olejki naturalne. W czasie fermentacji zachodzi złożony łańcuch reakcji chemicznych. Proces ten powinien być zatrzymany w odpowiednim momencie, gdyż nadmierna fermentacja może doprowadzić do pogorszenia jakości gotowych herbat. Po fermentacji, w celu zabezpieczenia liści, poddaje się je podgrzewaniu albo paleniu. Najsilniejszy zapach pochodzi z liści po fermentacji. Do związków zapachowych należą tu: 2-fenylloetanol, beta-jonony, geraniol, linalol, tlenek linalolu, terpenom [119].

Kawa jest powszechnie stosowanym produktem konsumpcyjnym. Nadawanie surowym ziarnom kawy postaci konsumpcyjnej odbywa się przez zabieg obróbki termicznej, zwany paleniem. Surowe ziarna kawy ogrzewane są ciśnieniem atmosferycznym. Proces ten zaczyna się od temperatury 373 K (100 °C) natomiast kończy powyżej 473 K (200 °C), a czasami nawet o 100 K wyżej. Proces palenia trwa do 20 min. Za-



chodzą przy tym istotne zmiany właściwości ziaren, takie jak przyrost objętości początkowej o około 50–80%, zmiana barwy z zielonej na brązową czy też ubytek masy wynoszący około 13–20%. Po określonym czasie trwania procesu, aby uniknąć całkowitego spalania ziaren, poddaje się je szybkiemu chłodzeniu.

Zarówno proces palenia, jak i chłodzenia wiąże się z powstawaniem emisji substancji wonnych m.in. takich, jak: aldehydy (2-metylopropanol, 2- i 3-metylobutanal, 2-furaldehyd, 5-metylo-2-furaldehyd), alkohole, fenole, kwasy organiczne (np. kwas octowy), estry, organiczne związki siarki oraz azotu [2]. Stężenie zapachowe gazów niepoddanych dezodoryzacji może sięgać  $3 \times 10^5 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  [116].

Do emisji substancji zapachowych, które przedostają się do otoczenia, może również dochodzić podczas operacji mielenia. Podobnie dzieje się podczas pakowania mielonego produktu, gdyż dbałość o jego trwałość wymaga stosowania pakowania próżniowego lub w atmosferze gazu obojętnego, co wiąże się z odsysaniem powietrza nasyconego aromatami. Mielenie i pakowanie są prowadzone w temperaturze otoczenia, co może sprawiać, że stężenia zapachu są znacznie mniejsze niż w procesie palenia [15].

### **3.3.15. Produkcja sucharów i herbatników, produkcja konserwowanych wyrobow ciastkarskich i ciastek**

Rynek słodczy w Polsce oferuje bardzo szeroki asortyment, w którym wyróżnić można wiele produktów, m.in.: suchary, herbatniki, wyroby ciastkarskie i ciastka. W zależności od rodzaju ciastek, używa się różnych składników, na przykład do produkcji herbatników głównymi składnikami są, m.in.: mąka pszenna, cukier, utwardzony tłuszcz roślinny, mleko odtłuszczone w proszku; substancje spulchniające: wodorowęglan amonu, wodorowęglan sodu, pirofosforan disodowy, pirosiarczyn sodu, miód piekarniczy 0,5%, aromat waniliowy. Temperatura wypiekania w piecu powinna wynosić 240–260 °C, a czas wypieku 8–15 minut [105].

Zapachy emitowane z przemysłu ciastkarskiego są uznawane za przyjemne. Jednak podczas długotrwałej ekspozycji i wysokich stężeniach nawet zapachy przyjemne mogą być uciążliwe. Przyczyną emisji zapachów w tym wypadku jest przede wszystkim wysoka temperatura, jakiej poddawane są produkty organiczne, jak na przykład skrobia oraz aromaty spożywcze, które są dodawane na etapie rozrabiania ciasta, w celu poprawy smaku i zapachu produktu gotowego. Najczęściej dodawanymi aromatami są: waniliowy, czekoladowy, śmietankowy, cytrynowy, kakaowy i kokosowy. Według badań, które zostały przeprowadzone w jednym z zakładów ciastkarskich [105], stężenia zapachowe z pieca do wypieku herbatników wynosiło  $8802 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ . W próbkach gazów pobranych z pozostałych punktów stężenie zapachowe mieściło się w przedziale 198–9494  $\text{ou}_E/\text{m}^3$ .

### **3.3.16. Produkcja przypraw**

Przyprawy dodają potrawom smaku i aromatu. Głównym składnikiem mieszanek przyprawowych są surowce o dużej czystości mikrobiologicznej, ekstrakty przyprawowe oraz aromaty, których wbudowanie do przypraw daje atrakcyjną kompozycję zarówno pod względem zapachowym, jak i smakowym. Według przeprowadzonych badań, stężenie zapachowe podczas produkcji przypraw korzennych wyniosło około  $350 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  [91].

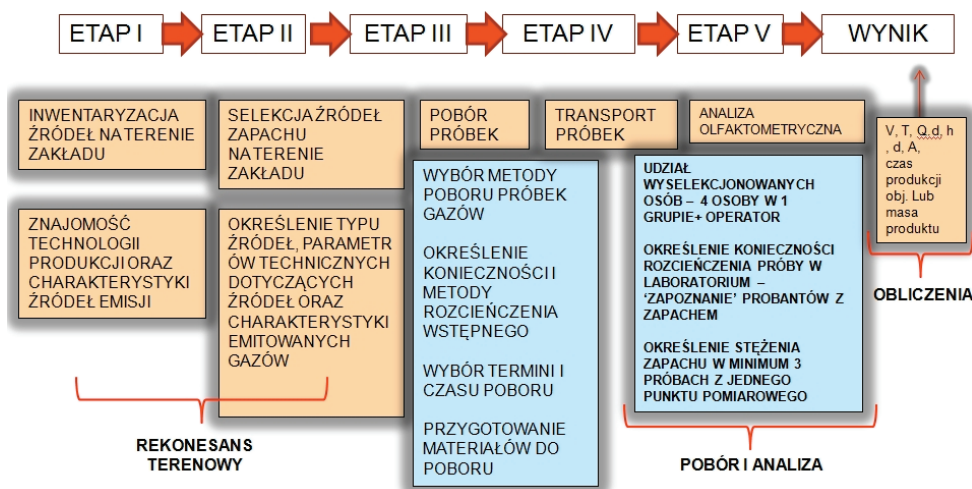
## **4. Metody zapachowej oceny przemysłowych źródeł emisji odorów**

Wybór właściwej metody pomiarowej oraz poboru próbek, w celu określenia emisji zapachu (konieczność wychwycenia zmian w emisji lub podczas zmian w technologii produkcji, określenie krótkoterminowych „epizodów” stężeń), z obiektów przemysłowych zależy od wielu czynników. Do najważniejszych zalicza się: charakterystykę i skład odorotwórczych gazów (jednorodność składu pod względem chemicznym, wilgotność gazów), cel i zakres monitoringu związków zapachowych (np. modelowanie, określenie uciążliwości zapachowej, testowanie efektywności technik ograniczania emisji, uzasadnienie i ocena zastosowanych technik w odpowiedzi na skargi społeczności, określenie zakresu i poziomu uciążliwości emitowanych gazów w punktach receptorowych), poziom wymaganej szczegółowości pomiarów (określenie stężenia wybranych odorantów, określenie stężenia zapachowego w mieszaninie), lokalizacja punktu pomiarowego (w źródle, na granicy zakładu, w otulinie) oraz wymagana częstotliwość pomiarów (koszty pomiarów),

Schemat proponowanej metodologii badań zmierzających do określenia emisji zapachu z zakładu przemysłowego przedstawiono na rysunku 4.1. Ze względu na obowiązującą w krajach europejskich normę EN 13725:2003 z poprawką wprowadzoną w 2006 r., oraz w Polsce jej wersję PN-EN 13725:2005, i obecnie zastępującą ją PN-EN 13725:2007, skupiono się na olfaktometrii dynamicznej jako metodzie oznaczania stężenia zapachowego w próbkach wonnych gazów emitowanych z obiektów przemysłowych.

W przypadku konieczności określenia całkowitej emisji zapachu z wybranego zakładu przemysłowego metodologia badań ma charakter wieloetapowy. W pierwszym etapie badań niezbędne jest dokonanie inwentaryzacji procesów technologicznych oraz dokonanie selekcji źródeł emisji wonnych gazów na terenie zakładu. Na tej podstawie dokonywana jest analiza typów źródeł odpowiedzialnych za emisję odorów oraz określane są parametry techniczne źródeł oraz cechy fizyczno-chemiczne emitowanych gazów (m.in. temperatura, wilgotność gazów, skład chemiczny). W kolejnym etapie badań określane są: metoda poboru próbek, liczba próbek, konieczność rozcieńczania wstępnego „u źródła” (w celu uniknięcia zmiany składu badanej próbki), termin poboru (tak, aby pobrana próbka była reprezentatywna pod kątem wielkości emisji), sposób przygotowania worków na próbki oraz sondy i układ do wstępnego rozcieńczania próbki. Następnie należy zadbać

o odpowiednie warunki transportu próbek (czas od poboru do analizy olfaktometrycznej nie powinien przekraczać 6 godzin) oraz przygotowanie probantów i laboratorium do oceny zapachowej próbek. W pomiarach stężenia zapachowego, zgodnych z normą PN-EN-13725, powinny brać udział wyselekcjonowane osoby spełniające odpowiednie kryteria nieuczestniczące w poborach analizowanych próbek. Po zapoznaniu probantów z zapachem próbek określana jest konieczność rozcieńczenia wstępnego w laboratorium. Uzyskane dzięki pomiarom olfaktometrycznym wyniki, dotyczące stężeń zapachowych, oraz informacjom na temat strumienia emitowanych gazów, umożliwiają oszacowanie emisji zapachu (podobnie jak w przypadku standardowych zanieczyszczeń). Metodologię obliczeń emisji zapachu przedstawiono w rozdziale 4.3.



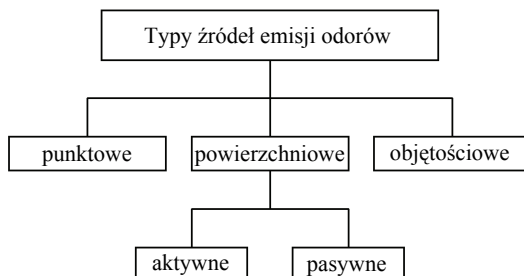
Rys. 4.1. Metodologia badań zmierzająca do określenia emisji zapachu z przemysłowego źródła odorów

Kolejnym zagadnieniem jest metodologia badań terenowych, zmierzających do oceny skali i zasięgu oddziaływania zapachu oraz do oceny zapachowej uciążliwości wybranego źródła emisji odorów. Szczegółową charakterystykę stosowanych w Europie badań przedstawiono w rozdziale 4.5.

## 4.1. Metody poboru próbek

Określenie metody poboru próbek i zebranie informacji o procesie technologicznym ma decydujące znaczenie dla interpretacji wyników oraz formułowania wniosków z przeprowadzanych badań. Pobór próbek ma bardzo istotny wpływ na występowanie oraz wielkość i zakres błędów pomiarowych. Błędy te wynikać mogą z charakteru

źródła (np. w przypadku źródeł nieorganizowanych) oraz stosowanego sprzętu, dlatego istotne jest, aby w odniesieniu do konkretnego typu źródła emisji (rys. 4.2) określić odpowiedni sposób poboru próbki, w celu dokonania oznaczenia stężenia zapachu z zastosowaniem olfaktometrii dynamicznej.



Rys. 4.2. Podział źródeł emisji złoonych gazów

Najważniejszą i kluczową kwestią podczas poboru jest dbałość o to, żeby pobrana próbka była reprezentatywna pod względem zapachu. Uciążliwość zapachowa jest w dużym stopniu związana ze zmiennością stężenia w czasie, toteż istotny jest taki pobór próbek powietrza, aby uchwycić stężenia maksymalne. Kolejnym problemem towarzyszącym poborowi jest zebranie wymaganej liczby próbek, niezbędnej do właściwego scharakteryzowania źródła. Bardzo często w przypadku gazów ciepłych, czynnikiem przeszkadzającym, jest obecność dużych ilości pary wodnej, która podczas pobierania próbki może ulec kondensacji. Z tego względu próbki gazowe o wysokiej zawartości pary wodnej powinny być wstępnie rozcieńczane (w odpowiednim stosunku) czystym, bezwonnym i suchym powietrzem lub azotem już podczas ich pobierania.

#### 4.1.1. Pobór próbek ze źródeł punktowych

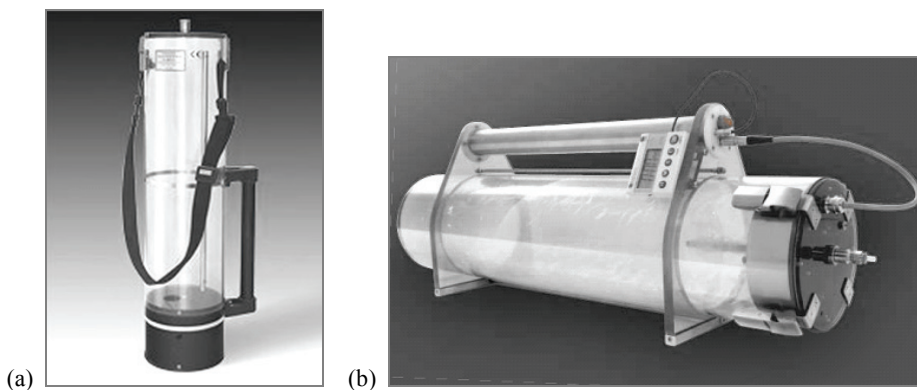
Do pomiarów punktowych, zgodnie z normą PN-EN 13725, wykorzystać można dwa podstawowe typy próbników: urządzenie standardowe do pomiarów chwilowych (w przypadku ciągłych procesów technologicznych – gdy emisja gazów ma stały charakter) oraz próbnik umożliwiający pobór próbki w ciągu 30 minut (dla procesów o zmiennym profilu emisji) pracując na zasadzie pracy płuc [116]. Zdjęcia wymienionych próbników przedstawiono na rysunku 4.3.

Według Normy PN-EN 13725 sondy do pobierania próbek i przewody, które kontaktują się z próbką odorantu podczas sesji pobierania próbek, nie powinny być ponownie używane bez oczyszczenia. Nowe materiały na worki powinny być badane pod kątem stężenia zapachowego ich tła. Podczas poboru próbek „u źródła” pojemnik (worek) powinien być kondycjonowany (co najmniej jeden raz przepłukany próbką). Powierzchnia wewnętrzna ścianek pojemnika powinna być obojętna chemicznie i nie wykazywać właściwości katalitycznych. Zastosowane tworzywa nie mogą przepuszczać

czać żądnych składników próbki oraz promieni UV, które powodują przemiany związków organicznych. Na worki do pobierania próbek metodą statyczną nadają się wszystkie folie z tworzyw obojętnych zapachowo i wytrzymałych wobec zanieczyszczeń gazu. Wykorzystuje się folie z materiałów poliamidowych (charakteryzują się wysoką wytrzymałością, niewielką permeacją, trudną obróbką, worki mogą być wykonane z folii do pieczenia poprzez grzewanie lub wiązanie), z PTFE (teflon) i kopolimerów (wykazują małą porowatość, odporność chemiczną, trudną obróbkę) oraz polietylenowych (charakteryzują się wysoką wytrzymałością, prostą obróbką).

Pojemniki na próbki wykonane są natomiast z folii z nalophanu, tedlaru, twardego polietylenu (PET), poliwęglanu. Sondy i przewody mogą być wykonane ze szkła kwarcowego, teflonu, stali szlachetnej lub z wymienionych materiałów.

Zgodnie z wytycznymi VDI 3880 [125], zalecany czas poboru próbek to trzydzieści minut, a minimalna ich liczba z jednego źródła powinna wynosić trzy. Natomiast przechowywanie próbek od momentu poboru do analizy olfaktometrycznej nie powinno trwać dłużej niż sześć godzin.



Rys. 4.3. Próbniki stosowane w pomiarach punktowych:  
(a) standardowy (pomiar chwilowy), (b) o przepływie 30-minutowym [47, 107]

## 4.1.2. Pobór próbek ze źródeł powierzchniowych

Źródła powierzchniowe dzielimy na aktywne oraz pasywne. Aktywne to takie, w których przepływ gazu jest wymuszony mechanicznie i jest przyczyną emisji. W wypadku pasywnych uwalnianie zanieczyszczeń jest w głównej mierze wywołane owiewaniem powierzchni źródła przez masy powietrza.

### 4.1.2.1. Źródła aktywne

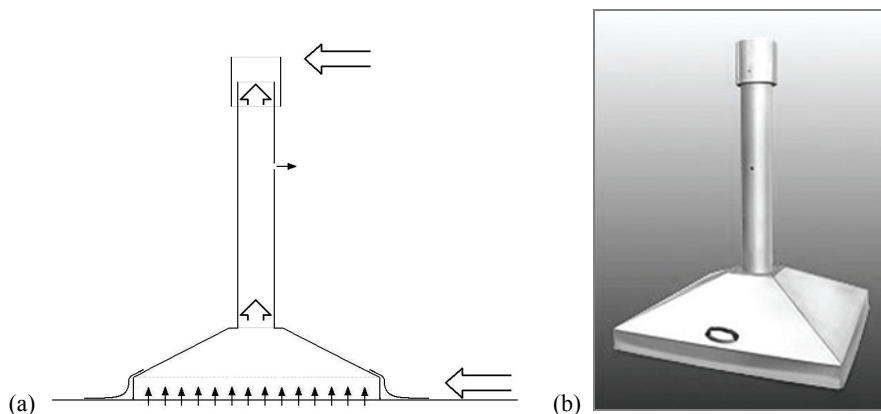
W przypadku źródeł powierzchniowych aktywnych (komory napowietrzane w oczyszczalniach ścieków, biofiltry) trudności poboru próbek związane są głównie

ze zmiennością emisji nad powierzchnią źródła. Wytyczne VDI 3880 sugerują zastosowanie całkowitej hermetyzacji źródła oraz pobór punktowy. W przypadku, gdy istnieje możliwość hermetyzacji źródła emitowane gazy odprowadzane są w sposób zorganizowany i poboru prób dokonuje się w kanale wyjściowym na wysokości około 1 m poniżej powierzchni pokrywy.

Pobór punktowy znad wybranych powierzchni stosuje się wtedy, kiedy niemożliwa jest hermetyzacja źródła. Aby ująć reprezentatywną próbę gazów, stosuje się urządzenie przypominające okap (rys. 4.4), w którym zamontowany jest króciec pomiarowy. Okap umieszcza się w strumieniu przepływającego gazu na 20–30 minut przed właściwym poborem, aby usunąć z niego powietrze. Urządzenie to chroni przed mieszaniem się uwalnianych ze źródła emisji gazów z nawiewanym przez wiatr powietrzem. Próbkę np. z biofiltrów należy pobrać w środku nad powierzchnią złoża oraz z jego obrzeży.

W praktyce próbki te używane są do poboru gazów znad wycinka powierzchni źródła równej  $1 \text{ m}^2$ . Zgodnie z wytycznymi VDI 3880, zalecana średnica rury powinna mieścić się w zakresie 0,14–0,2 m, a jej długość powinna być co najmniej 10-krotnością średnicy. Króciec wylotowy zamontowany jest na wysokości pięciokrotności średnicy.

W obydwu przypadkach podczas poboru próbek powinna być rejestrowana prędkość wiatru nad powierzchnią źródła.

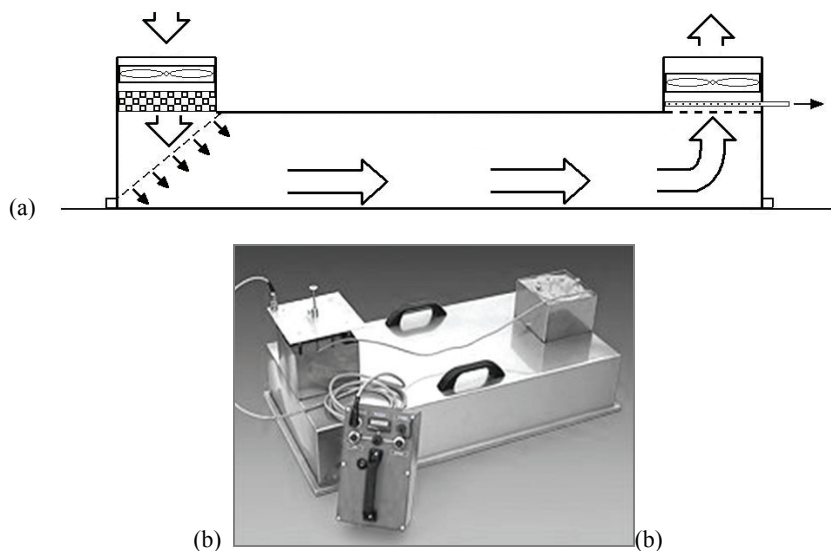


Rys. 4.4. Schemat (a) i fotografia (b) pokrywy do poboru prób ze źródeł powierzchniowych aktywnych [26, 47, 107]

#### 4.1.2.2. Źródła pasywne

Przykładem tego typu źródła jest składowisko odpadów stałych, laguna, zbiornik ścieków, przyzma niedojrzałego kompostu lub poletko osadowe. W tym przypadku pomiar polega na szczelnym przykryciu wybranej części powierzchni źródła emisji osłoną (o kształcie tunelu) z zamontowaną pompką do wymuszania przepływu powietrza o określonym przepływie objętościowym. Próbkę pobiera się u wylotu gazów

z osłony. Schemat i fotografię urządzenia do poboru ze źródeł pasywnych przedstawiono na rysunku 4.5.



Rys. 4.5. Schemat (a) i fotografia (b) pokrywy do poboru prób ze źródeł powierzchniowych pasywnych [47, 86, 107]

Bardzo ważny, podczas poboru próbek gazu z wentylowanego tunelu, jest dobór parametrów eksploatacyjnych. Zalecana prędkość przepływu gazu pod osłoną powinna mieścić się w granicach 0,2–0,3 m/s, a wysokość osłony nad powierzchnią nie może przekraczać 200 mm.

Według VDI 3880 pobór próbek można rozpocząć dopiero po 5-krotnej wymianie powietrza pod pokrywą. Liczba punktów pomiarowych zależy od rozmiaru i jednorodności badanej powierzchni. I tak, w przypadku źródeł o jednorodnych powierzchniach, zgodnie z VDI 3880, dla 100 m<sup>2</sup> są to przynajmniej 3 punkty pomiarowe, a dla 1000 m<sup>2</sup>, odpowiednio do 5. Dla powierzchni niejednorodnych liczba punktów poboru może wzrastać i wyznaczane są wówczas podstrefy homogeniczne, na których dokonywany jest pobór próbek.

W przypadku poboru próbek ze źródeł pasywnych wpływ wiatru powinien być eliminowany, co oznacza utrzymanie równego ciśnienia pod pokrywą i na zewnątrz.

### 4.1.3. Pobór próbek ze źródeł objętościowych

Przykładem tego typu źródeł są bądź budynki, bądź zespoły budynków z niewymuszoną wentylacją, w których odory powstają i mogą przedostawać się do atmosfery



przez nieszczelności, wywietrzniki, okna, drzwi oraz włązy dachowe, umiejscowione w różnych miejscach i na różnych wysokościach. Aby określić emisje z tego typu źródeł, najważniejszym zadaniem jest określenie przepływu powietrza, który można oszacować przez ilość powietrza wymienianego w jednostce czasu. Znając objętość wymienianego powietrza, można określić wówczas przepływ w  $\text{m}^3/\text{h}$ . Szczegółowe informacje dotyczące metodyki obliczeń znaleźć można w wytycznych VDI 3880 oraz w drugiej części VDI 428513 [125, 133]. W związku z tym, że ilość powietrza dostarczanego do pomieszczenia nie zawsze jest równomierna i nie zawsze występuje mieszanie powietrza, ilość wymienionego powietrza wyznacza się w warunkach odniesienia. W tym celu stosuje się gazy wskaźnikowe ( $\text{SF}_6$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ) dodawane do powietrza. Za pomocą wentylacji wymuszonej wprowadza się do pomieszczenia gaz wskaźnikowy i mierzy się czas, po którym on zaniknie. Stosowane w tym celu gazy nie mogą być toksyczne, aktywne chemicznie i nie mogą się sorbować w strukturze budynku.

## 4.2. Metody identyfikacji odorów u źródła emisji

W monitoringu związków odorotwórczych zastosowanie znalazły przede wszystkim: urządzenia wieloczujnikowe (identyfikacja składników mieszaniny), techniki chromatograficzne (określenie stężenia tzw. substancji wiodącej w mieszaninie) oraz olfaktometria dynamiczna (ilościowa identyfikacja substancji zapachowych przez określenie stężenia zapachowego). W USA od kilku lat trwają badania nad zastosowaniem technik polegających na kojarzeniu znanych technologii, tj. wielowymiarowej chromatografii gazowej – spektrometrii masowej i olfaktometrii (MD-GC-MSO). Na rysunku 4.6 zestawiono stosowane techniki pomiarowe.

Urządzenia czujnikowe wraz z metodami chromatograficznymi służą do identyfikacji lub klasyfikacji wonnych gazów wraz z określeniem stopnia ich zanieczyszczenia lub intensywności. Stosowane one były m.in. do badania źródeł przemysłowych, komunalnych i rolniczych. Na przykład Haas i inni [28] zastosowali wieloczujnikowy system do pomiaru zanieczyszczeń ze spalarni odpadów Micone i Guy [59] przebadali gazy złowne ze składowisk odpadów komunalnych, Sironi i in. [96] z kompostowni, Bourgeois i Stuez [4] z oczyszczalni ścieków oraz Guz in. [27] z zakładów produkcji mączki kostnej. Układy wieloczujnikowe znalazły również zastosowanie w pomiarach odorotwórczych gazów emitowanych z obiektów hodowlanych [100].

Metody chromatografii gazowej mogą być stosowane do analizy oraz identyfikacji ilościowej i jakościowej składników mieszaniny gazów, np. ze źródeł emisji zapachu, mając m.in. na celu określenie stężenia tzw. substancji wiodącej w mieszaninie, która może wywoływać określoną reakcję na zapach lub uciążliwość dla

otoczenia [99]. Wyniki analiz chromatograficznych mogą również posłużyć do określenia właściwego zestawu czujników w urządzeniach wieloczujnikowych do późniejszych, rutynowych pomiarów zanieczyszczeń zapachowych emitowanych z tych źródeł [98]. Wielowymiarowa chromatografia gazowa jest stosowana szczególnie w przypadkach, gdy rozdzielenie, identyfikacja i ilościowe oznaczenie odorantów jest niemożliwe przy zastosowaniu tradycyjnej chromatografii gazowej. Technika „skojarzona”: wielowymiarowej chromatografii gazowej – spektrometrii masowej i oflaktometrii (MD-GC-MSO) i konwencjonalne sprzężenie GC-MS-O stosowane były m.in. przez Koziela do analizy próbek gazów emitowanych z fermy świń, drobiu oraz przetwórstwa mlecznego [48, 56, 136] do analizy efektywności i ograniczania odorów metodą biofiltracji [13], zmniejszania emisji odorów metodą powierzchniowego aplikowania zeolitów [11], a także do analizy odorów wydzielanych przez biedronki [12]. Zaletą tej metody jest możliwość zwiększenia separacji LZO i jednoczesnej identyfikacji zapachów (stężenia, intensywności oraz jakości hedonicznej). Układ mdGC-MS-O został kilkakrotnie przetestowany i skalibrowany dla ponad 20 lotnych związków organicznych, dla których określono progi detekcji (ze współczynnikiem regresji  $>0,999$ ) [8, 9, 48, 56]. Przykładowe wyniki analiz zestawiono w tabeli 4.1.

|                              | Zastosowanie                                | Analiza   | Metodyka poboru   | Próg detekcji  | Niepewność pomiaru   | Łatwość interpretacji danych | Koszty  |
|------------------------------|---|---|---|--|--|------------------------------|---|
| Ocena próbki                 | Uproszczona oflaktometria – „badanie wchowe | Identyfikacja obecności zapachu, ofensywności, identyfikacji źródła                           | Protokół badań wymagany dla powtarzalności  | Zwykle dobry, ale zmienny w zależności od środowiska i uwzględnianych związków | Duża, udoskonalana przez zastosowanie standaryzowanego protokołu | Umiarkowana                  | Niskie  |
| Specyficzne metody chemiczne | Pomiar „u źródła”                           | Ograniczona do specyficznych składników   | Bezpośrednio, np. tubki kolorymetryczne lub instrumentalne; Pośrednio: pobór próby i analiza w laboratorium | Zależny od metody, typowo $>0,1$ ppm   | $\pm 5$ do 20%   | Zależy od techniki           | Niskie lub średnie, zależne od metody, koszty poboru mogą być średnie lub wysokie |
| GC-MS                        | Pomiar „u źródła”, w otoczeniu              | Ograniczona do związków organicznych  | Różne techniki, wymagana prekoncentracja próbek powietrza z otoczenia                                       | Ok. $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$   | $\pm 10\%$   | Trudna                       | Średnie/ wysokie; koszty poboru mogą być średnie lub wysokie                      |
| Oflaktometria                | Pomiar „u źródła”                           | W pełni reprezentatywna   | Metoda izolacyjna: worki  | Ok. $50 \text{ ou}_\text{g}/\text{m}^3$  | $\pm 40\%$   | Dobra                        | Średnie/ wysokie; koszty poboru mogą być średnie lub wysokie                      |
| Nos elektroniczny            | Pomiar „u źródła”, w otoczeniu              | W pełni reprezentatywna, ale muszą być dobrane właściwe czujniki dla określonego zastosowania | Bezpośrednio (ograniczona „mobilność”)  | Nie dotyczy, wykrywa różnice, ale nie stężenia absolutne                       | Nieznaną   | Dobra                        | Średnie/ wysokie  |
| GC-MS-O                      | Pomiar „u źródła”, w otoczeniu              | W pełni reprezentatywna   | Różne techniki  | Zależne od składu oraz rodzaju emitowanych gazów                               |  | Dobra                        | Średnie/ wysokie  |

Rys. 4.6. Techniki stosowane w pomiarach związków odorotwórczych

Tabela 4.1. Wyniki analiz sensorycznych standardowych gazów kalibracyjnych (na podstawie [136])

| Nr | Związek chemiczny   | Masa (ng) | Charakter zapachu                  | Intensywność zapachu (%)* | Jakość hedoniczna | RSD (%)** |
|----|---------------------|-----------|------------------------------------|---------------------------|-------------------|-----------|
| 1  | Kwas octowy         | 149.7     | kwaśny                             | 30                        | -2                | 2.16      |
| 2  | Kwas propanowy      | 161.1     | kwas tłuszczowy, zapach ciała/potu | 30                        | -2                | 5.72      |
| 3  | Kwas izomasłowy     | 195.2     | zapach ciała/potu, kwas tłuszczowy | 30                        | -2                | 3.03      |
| 4  | Kwas masłowy        | 137.7     | zapach ciała/potu, kwas tłuszczowy | 50                        | -2                | 1.84      |
| 5  | Kwas izowalerianowy | 134.1     | zapach ciała/potu, kwas tłuszczowy | 50                        | -2                | 4.25      |
| 6  | Kwas walerianowy    | 197.4     | zapach ciała/potu, kwaśny, ostry   | 30                        | -2                | 9.55      |
| 7  | Kwas heksanowy      | 210.2     | kwaśny, ostry                      | 50                        | -3                | 9.79      |
| 8  | Gwajakol            | 59.7      | dym/spaleniźna, medyczny, fenolowy | 30                        | -2                | 3.70      |
| 9  | Kwas heptanowy      | 237.4     | kwaśny, ostry                      | 50                        | -3                | 7.35      |
| 10 | Fenol               | 133.8     | dym/spaleniźna, fenolowy           | 10                        | -1                | 0.57      |
| 11 | p-krezol            | 68.9      | odchodów, medyczny, fenolowy       | 30                        | -2                | 3.67      |
| 12 | 4-Etylofenol        | 56.0      | dym/spaleniźna, fenolowy           | 30                        | -2                | 3.68      |
| 13 | 2-Aminoacetofenon   | 88.9      | medyczny, fenolowy, słodki         | 30                        | -1                | 2.05      |
| 14 | Indol               | 42.6      | medyczny, odchodów, słodki         | 30                        | -2                | 3.89      |
| 15 | Skatol              | 34.1      | medyczny, słodki, odchodów         | 30                        | -2                | 2.81      |

\* Intensywność zapachu w skali od 0 do 100%, opracowanej w Atmospheric Air Quality Laboratory Iowa State University. Skala subiektywnie wyznaczana dla osoby oceniającej próbkę zapachową.

\*\* RSD – względny błąd standardowy.

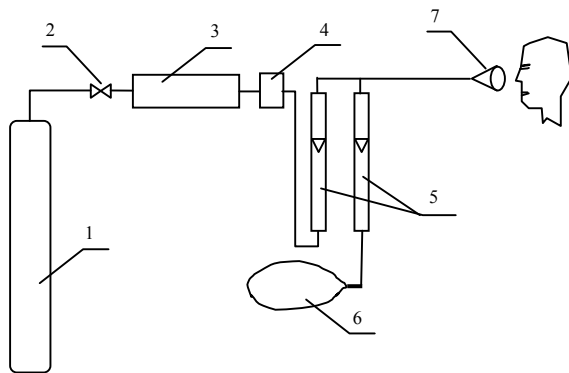
Dla zapachowej oceny emisji z zakładu przemysłowego najistotniejsze jest określenie stężenia zapachowego w gazach odlotowych z wybranych na terenie zakładu źródeł emisji odorów, co dalej umożliwi oszacowanie całkowitej emisji zapachu z rozpatrywanego obiektu (rys. 4.7). Metodą preferowaną oraz stosowaną w określeniu stężenia zapachowego w krajach Unii Europejskiej i na świecie jest olfaktometria dynamiczna [97, 137].



Rys. 4.7. Schemat ideowy związany z określeniem emisji zapachu z wybranego zakładu przemysłowego z zastosowaniem olfaktometrii dynamicznej

Procedura wykonywania oznaczeń stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej została opisana we wspomnianej już wcześniej normie [81]. Najpopularniejszymi w Europie urządzeniami dostosowanymi do wymagań normy są olfaktometry systemu Mannebecka. Kilka takich urządzeń znajduje się w naszym kraju (modele TO7 i TO8). Uzyskuje się w nich rozcieńczenie próbki w zakresie od 2,5 do 64 000 przez mieszanie dwóch strumieni gazów badanej próbki oraz czystego, bezwonnego powietrza.

Zasadę oznaczania stężenia zapachu metodą rozcieńczeń dynamicznych przedstawiono na rysunku 4.8. Próbka zapachowa znajdująca się w worku (6) jest podłączana do olfaktometru. W trakcie ocen węchowych badana próbka jest rozcieńczana czystym powietrzem z butli (1). Przed doprowadzeniem do olfaktometru powietrze z butli przepływa przez warstwy filtracyjne z węgla aktywnego (3), które adsorbują ewentualne substancje zapachowe. Natomiast drobne cząstki stałe usuwane są na mikrofiltrze pyłowym (4). Przyrząd jest połączony z komputerem sterującym pracą układu rozcieńczeń. Nad przebiegiem pomiaru czuwa operator, którego zadanie polega także na właściwym doborze początkowego rozcieńczenia badanej próbki. Rozcieńczenie początkowe powinno być tak duże, żeby zapach próbki nie był wyczuwalny. Kolejne zmniejszające się rozcieńczenia (tym samym zwiększanie stężenia zapachowego) uzyskuje się przez manualne (lub automatyczne, w modelach TO8) ustawienia przepływów gazów, zgodnie ze wskazaniem na monitorze, wynikającymi z programu komputerowego. Ze względu na osobnicze różnice w postrzeganiu wrażeń węchowych, w badaniach biorą udział cztery osoby o sprawdzonej wrażliwości na zapach. Zadaniem tych osób jest sygnalizowanie, rozcieńczenia w momencie wyczucia zapachu przez naciśnięcie odpowiedniego klawisza na pulpicie olfaktometru. Wyniki są gromadzone w pamięci komputera. Po analizie statystycznej zebranych danych uzyskuje się wynik średni (zwykle z trzech serii pomiarowych).



Rys. 4.8. Ideowy schemat stanowiska do oznaczania stężenia zapachu metodą rozcieńczeń dynamicznych, z użyciem olfaktometru TO7:

- 1 – butla z bezwonnym powietrzem, 2 – zawór, 3 – filtr, 4 – mikrofiltr, 5 – rotametry, 6 – oznaczana próbka gazów, 7 – maska do wężania [115, 116]

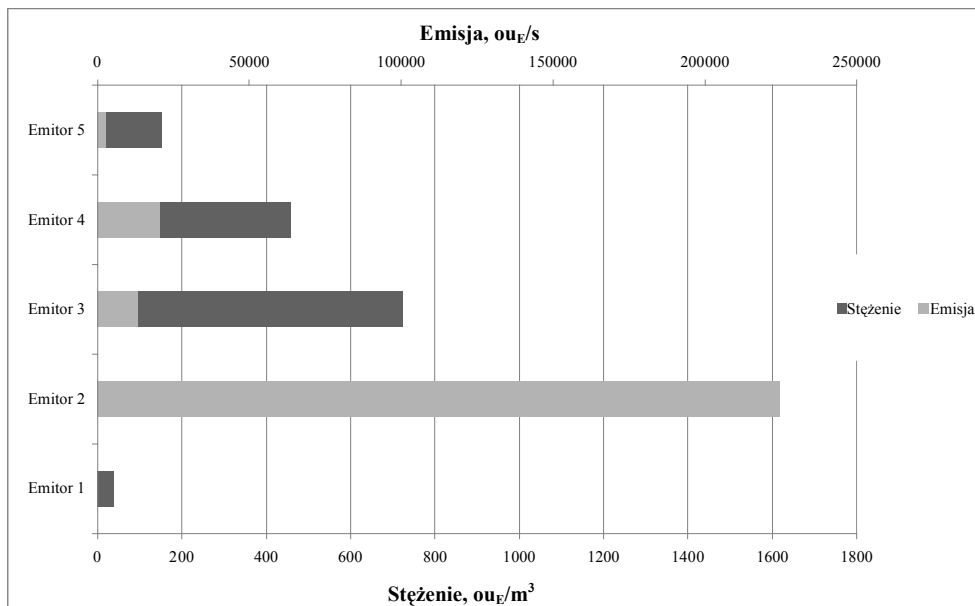
Podczas wyboru osób do oznaczeń odorometrycznych najważniejszą zasadą jest to, aby zespół miał charakter reprezentatywny dla populacji, a tym samym uzyskany wynik oznaczeń był zbliżony do średniej uzyskanej dla licznej grupy. Przyjęcie do badań dużej grupy probantów byłoby czynnikiem znacznie uwiarygodniającym wyniki, jednak oznaczanie wymagałoby znacznego nakładu czasu i kosztów. Zasady wyboru zespołu osób do oznaczeń (probantów) opisano w normie [81].

Do przeprowadzenia pomiaru wystarczy (w zależności od przyjętej metody) kilka osób (zalecany wiek to 18–50 lat.), które jednak muszą spełniać określone warunki. Wymaga się od nich określonej i mało zmiennej wrażliwości na zapach przyjętego wzorca, którym może być *n*-butanol. Wyniki indywidualnych progów wyczuwalności węchowej muszą się mieścić wówczas w zakresie: 62–246  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Od zespołu wymaga się przestrzegania wielu zasad zarówno w czasie trwania pomiaru, jak i bezpośrednio przed nim. Przed pomiarem członkowie zespołu oceniającego powinni określić sprawność swojego zmysłu węchu. Jeśli z pewnych względów mogło nastąpić osłabienie wrażliwości, np. w wyniku przeziębienia, to taka osoba powinna być wykluczona z pomiarów danego dnia. Kolejna zasada określa, że 30 minut przed pomiarem oraz w czasie jego trwania osoby powinny wstrzymać się od jedzenia, picia (z wyjątkiem czystej wody) oraz żucia gumy, palenia papierosów, a także od używania wonnych kosmetyków. W czasie pomiarów probanci powinni wykazać odpowiednie skupienie, a w szczególności powstrzymać się od rozmów, żartów, czyli czynności rozpraszających uwagę. Podczas pomiarów nie powinni się także ze sobą kontaktować, aby ich odpowiedzi można było uznać za niezależne.

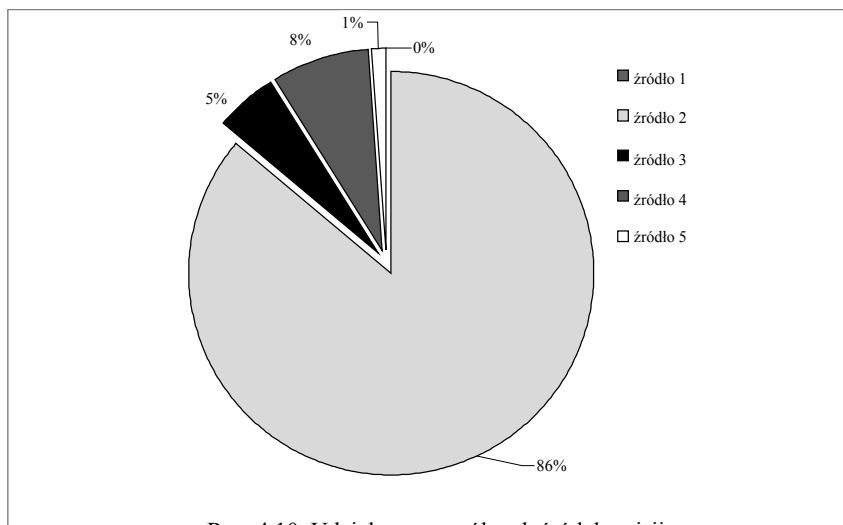
Poza zespołem oceniającym, ważną rolę w badaniach olfaktometrycznych odgrywa laboratorium. Pomieszczenie to powinno być stacjonarnym, stałym laboratorium oraz częścią zakładu badawczego. Charakteryzować się powinno przyjemnym i bezwonym środowiskiem pracy. Dlatego też należy unikać wszelkich zapachowych emisji do pomieszczenia, np. z wyposażenia, umeblowania i użytych materiałów konstrukcyjnych (takich jak farby, pokrycia ścian i podłóg, meble), jak również jakiegokolwiek uwolnienia składników zapachowych, które mają być mierzone. Pokój powinien być dobrze wentylowany. Zmiany temperatury powietrza w czasie procesu pomiarowego powinny być mniejsze niż  $\pm 3$  °C, zaleca się aby temperatura nie przekraczała 25 °C. Należy również unikać narażenia oceniających na bezpośrednie działanie światła słonecznego. Laboratorium musi być wolne od jakichkolwiek źródeł hałasu i światła, które mogłyby wywrzeć negatywny wpływ na odbywające się pomiary. Przed rozpoczęciem pomiarów członkowie zespołu powinni przebywać w pomieszczeniu do przeprowadzania ocen, lub innym o podobnych warunkach, przez 15 min.

Dzięki zastosowaniu olfaktometrii dynamicznej, możliwa jest ocena emisji odorów z poszczególnych źródeł na terenie wybranego obiektu (rys. 4.9) oraz oszacowanie udziałów poszczególnych źródeł w całkowitej emisji zapachu (rys. 4.10). Na podstawie określonej wartości stężeń i emisji zapachu, z zastosowaniem wybranych narzędzi matematycznych, możliwe jest oszacowanie zakresu oddziaływania zapachów emitowanych

wanych z wybranego obiektu technologicznego oraz wyznaczenie stref, w których może występować uciążliwość zapachowa.



Rys. 4.9. Przykładowe wyniki oznaczenia stężeń zapachowych i oszacowanych wartości emisji dla wyselekcjonowanych źródeł zapachu na terenie wybranej Cukrowni [106]



Rys. 4.10. Udział poszczególnych źródeł emisji w oszacowanej całkowitej emisji zapachu z zakładu [106]

### 4.3. Określenie emisji zapachu ze źródła przemysłowego

Wielkość strumienia emisji zapachów ze źródła punktowego położonego na terenie wybranego zakładu przemysłowego, podawaną w europejskich jednostkach zapachowych na sekundę ( $\text{ou}_E/\text{s}$ ), wyznacza się na podstawie znajomości stężenia zapachowego ( $\text{ou}_E/\text{m}^3$ ) oraz strumienia objętościowego gazów odlotowych ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), podobnie jak dla standardowych zanieczyszczeń powietrza, zgodnie z zależnością [116, 139]:

$$E_p = C_e V, \quad \text{ou}_E/\text{s} \quad (6)$$

gdzie:

$E_p$  – strumień emisji/emisja zapachu z danego źródła emisji,  $\text{ou}_E/\text{s}$ ,

$C_e$  – stężenie zapachu w punkcie emisji,  $\text{ou}_E/\text{m}^3$ ,

$V$  – strumień gazów,  $\text{m}^3/\text{s}$ .

W przypadku źródeł emitujących bez wymuszonego przepływu gazu, niezbędne jest obliczenie strumienia objętościowego gazów. Wyznacza się go przez oszacowanie równoważnej prędkości przepływu gazów w przewodzie o przekroju kołowym (rurowym) na podstawie obliczonej różnicy gęstości i ciśnienia czynnego traconego w wyniku oporów przepływu. W przypadku obliczeń strumienia gazów dla temperatury zewnętrznej  $t_z = 283 \text{ K}$  i gęstości  $\rho_z = 1,247 \text{ kg/m}^3$  oraz temperatury gazów odlotowych  $t_w = 340 \text{ K}$  i gęstości  $\rho_w = 1,038 \text{ kg/m}^3$ , wysokości emitora  $h = 26 \text{ m}$  proponuje się algorytm obliczeniowy:

#### 1. Obliczenie różnicy gęstości gazów:

$$\Delta\rho = \rho_z - \rho_w = 1,247 - 1,038 = 0,209 \text{ kg/m}^3 \quad (7)$$

#### 2. Obliczenie ciśnienia czynnego traconego w wyniku oporów przepływu:

$$\Delta p = h\Delta\rho g \quad (8)$$

gdzie:

$h$  – wysokość emitora, m,

$\Delta\rho$  – różnica gęstości gazów wynikająca z różnicy temperatur,  $\text{kg/m}^3$ ,

$g$  – przyspieszenie ziemskie,  $\text{m/s}^2$ .

Ciśnienie czynne tracone w wyniku oporów przepływu wyniesie wówczas:

$$\Delta p = 26 \times 0,209 \times 10 = 54,3 \text{ Pa}$$

**3. Obliczenie sumy strat ciśnienia związanych z tarciem gazu o ścianki emitora (straty liniowe) oraz strat miejscowych na wlocie i na wylocie z emitora przy założonej prędkości gazów:**

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_m = Rh + \Sigma \zeta \frac{v^2 \cdot \rho}{2} \quad (9)$$

gdzie:

$\Delta p_1$  – liniowe straty ciśnienia, Pa,

$\Delta p_m$  – suma miejscowych strat ciśnienia na wlocie i na wylocie z emitora, Pa,

$R$  – jednostkowy opór tarcia na długości 1m, zależy od prędkości przepływu gazów, Pa/m,

$\frac{v^2 \rho}{2}$  – ciśnienie dynamiczne, Pa,

$\zeta$  – współczynnik strat miejscowych,

$v$  – prędkość gazów w rurze, m/s.

Przy założeniu współczynnika strat ciśnienia na wylocie z emitora:  $\zeta = 1,3$  oraz współczynnika strat ciśnienia na wlocie do emitora:  $\zeta = 1,0$ , dla założonej prędkości  $v = 5$  m/s wyznaczone  $R = 1$  Pa/m stąd:

$$\Delta p = 1 \times 26 + (1,3 + 1) \cdot \frac{5^2 \times 1,038}{2} = 55,8 \text{ Pa}$$

#### 4. Obliczenie strumienia gazów

Gdy wartości obliczonych strat ciśnienia dla założonej prędkości gazów (5 m/s) są bliskie ciśnieniu czynnemu wyznaczonemu na podstawie różnicy gęstości gazów, można przyjąć, że prędkość gazów w emitorze jest równa prędkości gazu w przewodzie/emitorze i wyniesie 5 m/s. Strumień gazów można wyznaczyć wówczas z zależności:

$$V = vA = v \frac{\pi D^2}{4}, \text{ m}^3/\text{s} \quad (10)$$

gdzie:

$A$  – przekrój poprzeczny rury,  $\text{m}^2$ ,

$D$  – średnica wewnętrzna emitora, m,

$V$  – prędkość gazów, m/s.

Zatem dla założonej prędkości gazu:

$$V = vA = 5 \frac{\pi 0,31^2}{4} = 0,38 \text{ m}^3/\text{s}$$

Oszacowany strumień w temperaturze  $t_w = 340$  K równy jest  $V = 0,38$   $\text{m}^3/\text{s}$ , a po przeliczeniu na warunki, w jakich prowadzone są pomiary olfaktometryczne;  $t_p = 293$  K wyniesie:



$$V_p = \frac{Vt_p}{t_w} = \frac{0,38 \times 293}{340} = 0,33 \text{ m}^3/\text{s} = 1188 \text{ m}^3/\text{h} \quad (11)$$

Dla przykładowej wartości średniego zmierzonego stężenia zapachów  $C_e = 101627 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  wartość emisji zapachowej  $E_p$  zgodnie z wzorem (6) wyniesie:

$$E_p = 101627 \times 0,33 = 33537 \text{ ou}_E/\text{s}$$

W przypadku źródeł powierzchniowych proponuje się natomiast zależność [125]:

$$Q_{\text{spec}} = \frac{CV_{pp}}{A}, \quad \text{ou}_E/\text{m}^2\text{h} \quad (12)$$

gdzie:

- $Q_{\text{spec}}$  – emisja powierzchniowa odorotwórczych gazów,  $\text{ou}_E/\text{m}^2\text{s}$ ,
- $C_e$  – stężenie zapachowe,  $\text{ou}_E/\text{m}^3$ ,
- $V_{pp}$  – strumień z powierzchni poboru ( $0,5 \text{ m}^2$ ),  $\text{ou}_E/\text{s}$ ,
- $A$  – powierzchnia próbnika,  $\text{m}^2$ .

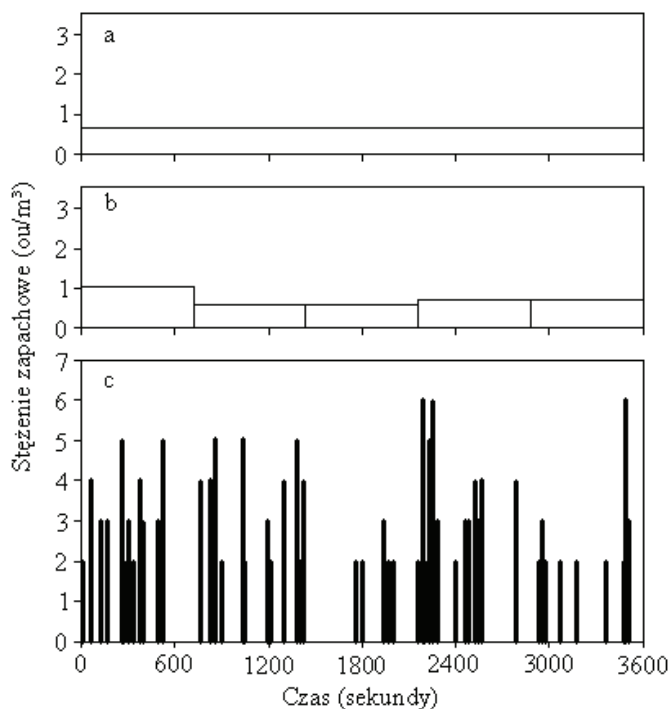
## 4.4. Badania modelowe

Metodologia oceny wpływu zapachów na otoczenie i komfort życia mieszkańców na terenach przyległych do wybranego źródła emisji odorów, oparta na pomiarach terenowych wokół źródła, powinna obejmować charakterystykę i specyfikę wybranego źródła oraz prognozowanie skutków występowania określonej emisji na tereny przyległe. Działania te mogą być stosowane łącznie lub oddzielnie. Stosowanie opracowanych narzędzi prognostycznych w porównaniu do badań terenowych wydaje się mniej kosztowne i czasochłonne.

Stężenia zapachowe w punktach receptorowych mogą być oszacowane z zastosowaniem odpowiednich modeli dyspersji zanieczyszczeń w atmosferze. Stosowane na świecie modele, wykorzystywane w celu prognozy stężeń zapachu (w określonych warunkach meteorologicznych), to m.in. SCREEN3, AODM, ISCST3, ISC-PRIME, AERMOD, TAPM [31, 57, 64, 92, 114]. SCREEN3 jest modelem stosowanym przez Agencję Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (USEPA) i wykorzystywanym we wnioskach o pozwolenie na emisje zanieczyszczeń, w tym emisji zapachowych, do powietrza. Model SCREEN3 jest modelem smugi i znalazł zastosowanie do zapachowej oceny wokół zakładów, gdzie dochodzi do emisji powierzchniowych, objętościowych na obszarach w odległości do około 50 km. Model SCREEN3 jest modelem starszej generacji, który nie uwzględnia wpływu zabudowań i ukształtowania terenu. Czynniki te są istotne podczas oceny migracji zapachu ze źródeł przemysłowych; zostały uwzględnione w nowej generacji modeli takich, jak: Industrial Complex Source

USEPA Short Term (ISCST3) oraz AERMOD (z algorytmem PRIME) USEPA. W Niemczech techniczne instrukcje w sprawie jakości powietrza (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) zalecają stosowanie modelu Lagrange'a, nazywanego Austrial 2000 [89].

Wymienione modele prognozują stężenia zapachowe uśrednione dla 1 godziny lub dłuższego okresu. Z teorii percepcji zapachów wynika, że chwilowe zmiany intensywności zapachów powodują większą zapachową uciążliwość – wykorzystanie więc średnich jednogodzinowych może nie wykazywać krótkoterminowych maksymalnych stężeń zapachu. W pracy [72] przedstawiono przykład (rys. 4.11) obserwacji 1-godzinnej serii stężeń zapachu, które były określane przez grupę obserwatorów w wyznaczonym punkcie pomiarowym w sąsiedztwie instalacji przemysłowej. Stężenia zapachowe w odstępach 12-sekundowych zmieniały się od 2 do 6  $\text{ou}_E/\text{m}^3$ , natomiast średnie stężenia 10-minutowe mieściły się w zakresie od 0,44 do 1,04  $\text{ou}_E/\text{m}^3$ , podczas, gdy średnia 1-godzinna wyniosła 0,67  $\text{ou}_E/\text{m}^3$ . Wyniki te wskazują, że uśrednianie w czasie usuwa z obrazu pola stężeń zapachu maksymalne wartości, które w warunkach rzeczywistych są odczuwalne przez ludność zamieszkującą okolice wybranego zakładu przemysłowego.



Rys. 4.11. Uśrednione stężenia zapachowe: (a) 1-godz., (b) 10-min, (c) 12-s w wybranym punkcie pomiarowym wokół przemysłowego źródła emisji odorów wg [72]

Aby uzyskać bardziej realistyczne przewidywania warunków odczuwania zapachów, do prognozy pola stężenia zapachu z użyciem odpowiedniego modelu rozprzestrzeniania się odorów, konieczne jest przeliczenie stężenia zapachowego dla mniejszych skal czasowych. Modele krótkoterminowe (chwilowe) umożliwiają więc dokładniejszą ocenę uciążliwości. Gallego i inni [22] zastosowali model CALPUFF/CALMET do prognozy tzw. epizodów stężeń zapachowych. Do prognozowania oraz analiz przestrzennych chwilowych stężeń odorów zostały wykorzystane również narzędzia geostatystyczne, połączone z modelem AERMOD oraz CALPUFF [18, 19, 31, 34].

W wielu krajach modelowanie rozprzestrzeniania się zapachów jest niezbędnym narzędziem nie tylko na etapie projektowania inwestycji, ale także jej eksploatacji, jak np. kompostowni oraz oczyszczalni ścieków [89]. Tam gdzie poziom emisji zapachu ze źródła emisji jest znany lub oszacowany, można przewidzieć stężenia zapachu w pobliżu tego źródła za pomocą modeli dyspersji zapachów. Oddziaływanie zapachu pochodzącego z miejskiej oczyszczalni ścieków, przed i po planowanej modernizacji instalacji dezodoryzującej, przedstawiono m.in. w publikacji [89]. Symulację przeprowadzono modelem gaussowskim ADMS dla istniejącego już zakładu, w którym zaplanowano modernizację. W pierwszym podejściu oceniono stężenie substancji zapachowych z istniejącego już zakładu, przed modernizacją, w trzech wybranych punktach receptorowych. Następnie zaproponowano dwie metody ograniczania emisji zapachu: (1) z istniejącymi już płuczkami chemicznymi i nowym klasycznym oczyszczaniem biologicznym z torfem oraz (2) z istniejącymi płuczkami chemicznymi oraz dodatkowymi płuczkami chemicznymi. Dla tych rozwiązań obliczono wartości stężeń zapachowych, a wyniki umożliwiły wybór optymalnego rozwiązania związanego z dezodoryzacją gazów z rozpatrywanej oczyszczalni ścieków.

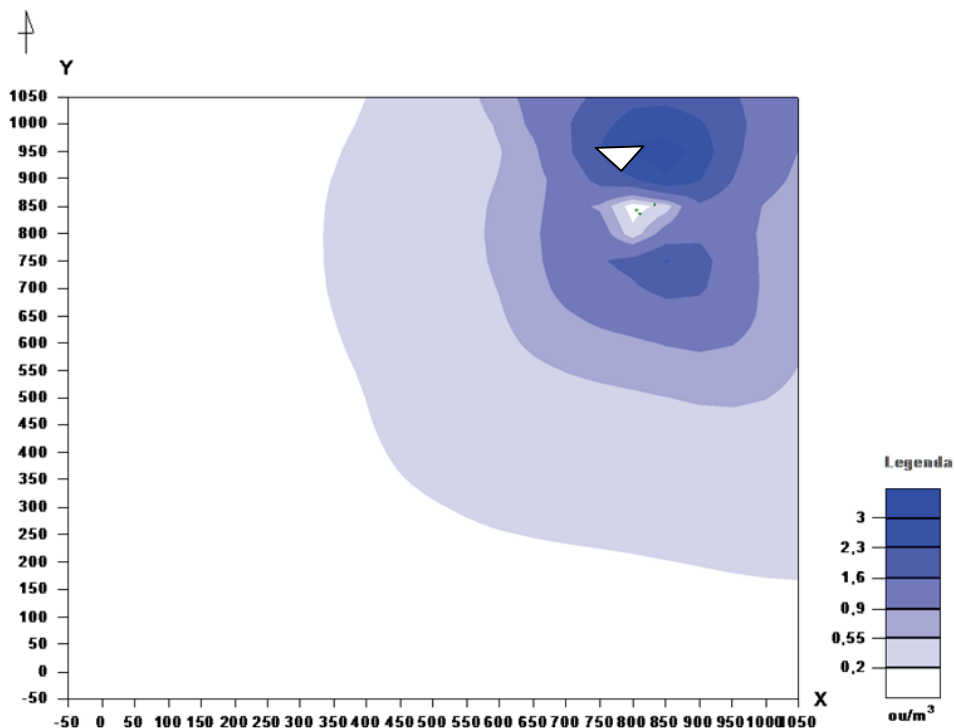
Emisje zapachów pochodzących z budynków inwentarskich, które znajdują się w pobliżu obszarów mieszkalnych, stanowią dużą uciążliwość zapachową. Istotne wydaje się wówczas wyznaczenie odległości między budynkami inwentarskimi a terenami zabudowy mieszkalnej. Badania tego typu przeprowadził Pringer i Schausburger (2010), stosując austriacki model rozprzestrzeniania zapachów AODM [82], wyznaczając odległości od obiektu hodowli zwierzęcej (1000 szt. tuczu trzody chlewnej), w jakich przekroczone zostaną założone wartości stężeń zapachowych (1, 3 oraz 5  $\text{ou}_E/\text{m}^3$ ).

W Polsce do obliczeń stężeń zapachowych w punktach receptorowych stosuje się model wskaźnikowy oraz gaussowski model smugi oparty na formule Pasquilla [40, 71, 105, 106]. Przykładowy rozkład stężeń zapachu (stężenia średnioroczne), wykonany z użyciem modelu referencyjnego opartego na formule Pasquilla wokół wybranej Cukrowni, oszacowanej na podstawie emisji zapachu podczas tzw. kampanii buraczanej, przedstawiono na rysunku 4.12. Na podstawie oceny sensorycznej, analizy dokumentacji technologicznej oraz konsultacji z technologiem podczas ponad rocznych prac badawczych (obejmujących działalność zakładu w tzw. okresach kampanii „buraczanej” i „sokowej”) wyselekcjonowano na terenie obiektu 11 źródeł emisji zapachu

– 7 punktowych oraz 4 powierzchniowe. W tabeli 4.2. zestawiono podstawowe parametry gazów emitowanych z wyselekcjonowanych na terenie zakładu z punktowych źródeł emisji oraz wartości emisji oszacowane na podstawie wyznaczonych strumieni gazów oraz określonych metodą olfaktometrii dynamicznej stężeń zapachowych. W celach obliczeniowych utworzono siatkę obliczeniową o wymiarach 1400×1400 m, zasięgu siatki równym 28 kroków obliczeniowych, po 25 m każdy.

Tabela 4.2. Parametry gazów oraz oszacowane wartości emisji z wyselekcjonowanych na terenie cukrowni źródeł emisji zapachu

| Nr emitora | Temperatura K | Gęstość $\text{kg/m}^3$ | Ciepło właściwe $\text{kJ}/(\text{m}^3\text{K})$ | Emisja zapachu $\text{ou}_F/\text{s}$ |
|------------|---------------|-------------------------|--|---------------------------------------|
| 1          | 360           | 0,981                   | 1,081  | 169235                                |
| 2          | 366,3         | 0,964                   | 1,103  | 261335                                |
| 3          | 340           | 1,038                   | 1,011  | 33537                                 |
| 4          | 292,7         | 1,164                   | 0,870  | 87                                    |
| 5          | 290           | 1,177                   | 0,860  | 224601,4                              |
| 6          | 320,9         | 1,063                   | 0,956  | 6607,9                                |
| 7          | 326,8         | 1,044                   | 0,975  | 5108,5                                |



Rys. 4.12. Wyznaczone rozkłady średniorocznych stężeń zapachowych dla wybranej cukrowni

Zastosowanie modelu umożliwiło wyznaczenie punktów receptorowych, w których odnotowywana jest najwyższa wartość stężenia zapachu. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, iż najwyższą wartość stężenia zapachowego odnotowano w punkcie o współrzędnych  $X = 850$  m,  $Y = 950$  m i wyniosła  $3,34 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  (przy prędkości wiatru  $1 \text{ m/s}$ , SSW, w stanie równowagi obojętnej). Wartość stężeń średniorocznych przekroczyła poziom  $3 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  również w punkcie o współrzędnych  $X = 800$  m,  $Y = 950$  m i wyniosła  $3,15 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ .

Wyznaczenie stref oddziaływania zapachowego wybranego źródła możliwe jest również z zastosowaniem wybranych narzędzi geostatystycznych. Do analiz przestrzennych intensywności zapachu wokół obiektów przemysłowych zastosowana została metoda interpolacji Ważonych Odwrotności Odległości IDW (*Inverse Distance Weighted*) z wykorzystaniem Systemów Informacji Geograficznej (GIS). Dzięki metodzie IDW możliwe jest obliczenie zmiennej w dowolnym punkcie w terenie na podstawie danych pomiarowych, z jednoczesnym zachowaniem ich wartości. Wartość zmiennej w punkcie interpolacji  $z(x)$  jest wyznaczana wówczas jako średnia wagowa z otaczających punktów pomiarowych [104]:

$$z(x) = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i} : \quad (13)$$

$$w_i = \frac{1}{d_i^2} \quad (14)$$

gdzie:

- $z$  – wartość zmiennej,
- $x$  – lokalizacja punktu,
- $w$  – współczynnik wagowy,
- $d$  – odległość między punktem pomiarowym a punktem interpolacji.

Przed przystąpieniem do obliczeń, stosując interpolację IDW, niezbędne było oszacowanie parametrów takich, jak: wartość potęgi (wagi), liczba sąsiadów oraz promień wyszukiwania. Wartość potęgi reguluje znaczenie najbliższego otoczenia interpolowanego piksela. Najczęściej stosowany jest zmienny promień wyszukiwania, który wymaga określenia minimalnej liczby próbek (sąsiadów) potrzebnych do estymacji wartości piksela i jest uzależniony od tego, w jakiej odległości od obliczanego punktu znajduje się minimalna liczba próbek. Liczba sąsiadów natomiast „sygnalizuje”, ile najbliższych punktów pomiarowych może być ujętych do obliczeń każdego z interpolowanych punktów [104]. W przypadku zastosowanej metody IDW obliczenia przeprowadzono dla zoptymalizowanej wartości potęgi, zmiennego promienia wyszukiwania i 6 sąsiadów. Stosując te parametry, błędy interpolacji mieściły się w granicach wiarygodności wyników i były najniższe. Na rysunku 4.13. przedstawio-

no przykładowe wyniki interpolacji intensywności zapachu wokół zakładu olei roślinnych.



Rys. 4.13. Wyniki interpolacji intensywności zapachu uzyskane z zastosowaniem metody IDW wokół wybranego zakładu przetwórstwa rzepaku [104]

Ostatecznie, na podstawie obliczeń z zastosowaniem metody IDW, określono zakres oddziaływania zapachowego zakładu dla wybranych dni, kiedy prowadzone były sesje pomiarowe (14–16 lipca 2009 roku). Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że największa uciążliwość zapachowa, dla wybranego dnia (14 lipca 2009), wystąpiła na obszarze do około 400 m na północ od zakładu.

Należy podkreślić, iż wykonane obliczenia mogą umożliwić oszacowanie zapachowego oddziaływania źródła emisji odorów. Jednak wyniki obliczeń modelowych są często wartościami uśrednionymi w dłuższych skalach czasowych, toteż nie zawsze odzwierciedlają rzeczywistą uciążliwość zapachową wybranego obiektu przemysłowego. Dlatego też zaleca się weryfikację uzyskanych wyników przez przeprowadzanie badań terenowych.

## 4.5. Pomiary terenowe

W przypadku badań stężeń imisyjnych oraz oceny uciążliwości zapachowej powietrza na obszarach położonych wokół wybranego źródła emisji zapachu stosowane są w Europie i na świecie pomiary terenowe [35, 41, 42, 46, 49, 51, 52, 61, 62, 72, 73, 103, 108, 110, 111, 122, 126–132].

W Niemczech, Austrii, Francji czy Holandii jedną z metod ocen zapachowej jakości powietrza są badania opinii publicznej [14, 30, 70, 84, 113, 135]. Polegają one na systematycznym ankietowaniu osób zamieszkujących obszar znajdujący się w pobliżu źródła emisji odorów. Dodatkowym uzupełnieniem tych informacji mogą być dane na temat skarg ludności, gromadzone przez instytucje ochrony środowiska. Na przykład w Polsce może to być analiza i rejestr spontanicznych skarg ludności prowadzony przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie.

Oddziaływanie odorów na wybranym obszarze przez badania terenowe [35, 72, 73, 108, 122] ocenia się na podstawie badań w siatce [129] oraz w smudze [130].

W związku z brakiem ujednoczonej terminologii w dziedzinie zapachów, wyjaśnienia wymagają pojęcia: „badania ankietowe” oraz „emisja zapachu”. Podczas zastosowania „badań ankietowych” (ankiet) określany jest stopień uciążliwości zapachowej na wybranym obszarze. Badania „emisji zapachu” umożliwiają natomiast na ocenę częstotliwości występowania odorów i nazywane są „badaniami terenowymi”. Termin „pomiary terenowe” odnosi się do całości oceny uciążliwości zapachowej z zastosowaniem zarówno pomiarów imisji, jak i badań ankietowych.

Zarówno w przypadku badań ankietowych, jak i badań terenowych kluczowym zagadnieniem jest wybór zespołu oceniającego oraz prowadzącego badania (operatora). W badaniach terenowych powinny bowiem uczestniczyć osoby przeszkolone (badania ankietowe, badania terenowe) oraz wyselekcjonowane (badania terenowe: inspektorzy terenowi) – o określonej wrażliwości węchowej, spełniające wymogi normy PN-EN 13275 [81].

### 4.5.1. Badania ankietowe

Istnieją cztery główne podejścia metodyczne podczas pomiarów uciążliwości zapachowej: analiza i statystyka skarg ludności, regularne ankietowanie pojedynczych, przypadkowych osób na badanym obszarze (ankiety ustne), regularne, powtarzające się ankietowanie zespołu wyłonionego z mieszkańców badanego obszaru (ankiety pisemne) oraz badania ankietowe przeprowadzane w formie telefonicznej [50, 51, 52, 61, 62, 126, 127].

Głównym założeniem w badaniach ankietowych jest to, że percepcja sensoryczna zapachów wzrasta z częstotliwością, natężeniem i rodzajem zapachu, którego odczuwanie powoduje dyskomfort w krytycznym punkcie. Jeżeli zapach się nasila tzn., że

dochodzi do punktu, w którym łatwo rozróżnia się akceptowaną i nieakceptowaną uciążliwość zapachową. Parametry akceptowalności uzyskiwane są w ankiecie dzięki sformułowaniu określonych pytań: „Czy istnieje jakakolwiek uciążliwość?” oraz „Czy istnieje nieakceptowana uciążliwość zapachowa?”. Tak zwane kryterium akceptowalności ankiety można więc zdefiniować jako procent mieszkańców, zamieszkujących obszar imisji zapachów, którzy uważają, że uciążliwość jest bądź akceptowana, bądź nieakceptowana. Kryterium powinno odnosić się jednak do osób, które najczęściej lub na co dzień poddane są oddziaływaniu odorów [126, 127].

Celem ankiety jest określenie w jak najbardziej wiarygodny sposób związku między zanieczyszczeniami odorowymi a uciążliwością zapachową. W celu zapewnienia dobrej jakości pomiarów, w badaniach ankietowych powinien zatem brać udział wykwalifikowany zespół. Warunkiem podstawowym, zmierzającym do wysokiej jakości badań, jest przeprowadzenie szkolenia ankietatorów, które dotyczy m.in.: struktury ankiety, warunków lokalnych w strefach badań oraz procedury wyboru osób poddawanych ankiecie. Kolejną istotną kwestią jest zatrudnienie wystarczającej liczby ankietatorów w celu uniknięcia efektu przypisania jednego ankietera do określonego terenu. Każda osoba z zespołu przeprowadzającego ankietę powinna działać na kilku obszarach. Niezbędne jest również protokołowanie i wykonywanie zestawień osób, z którymi bądź udało się, bądź też nie udało się skontaktować. Ostatecznie, w przypadku wątpliwości, zaleca się losowe kontrole pracy ankietatorów przez kontakt pisemny lub telefoniczny z ankietowanymi [126].

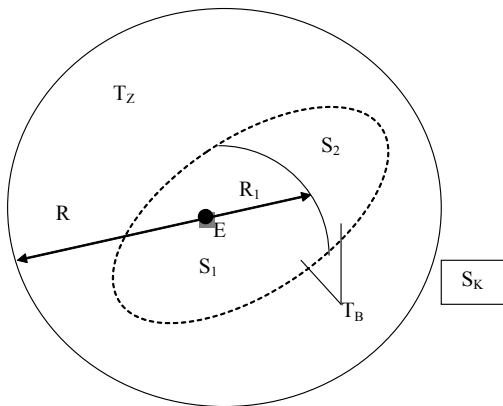
Wybór osób ankietowanych powinien być oparty na modelu tzw. zwykłej próby losowej, w którym istnieje takie samo prawdopodobieństwo, że każda osoba z populacji zostanie poddana ankiecie. Zwykłą próbę losową uzyskuje się zazwyczaj w procedurze systematycznego losowego wyboru oraz w drobiazgowo przeprowadzanej ankiecie. Podejmuje się próbę skontaktowania i ankietowania wszystkich wybranych osób. Zalecane metody systematycznego losowego wyboru, to [126]: wybór adresów spośród spisu mieszkańców oraz metoda losowa. Przepytywane są osoby o stałym miejscu zamieszkania na obszarze badań lub w wybranych strefach, które mają ukończone 18 lat.

Ankieteryzy powinni przestrzegać określonych zasad podczas przeprowadzania badań. Należą do nich [126]: zachęcanie wszystkich ankietowanych do udziału w ankiecie, informowanie ankietowanych o celach ankiety i znaczeniu udziału społeczeństwa w przeprowadzanych badaniach, informowanie ankietowanych o jednostce przeprowadzającej badania oraz możliwości kontaktu w celu uzyskania dalszych informacji na ich temat oraz informowanie ankietowanych o ich prawach dotyczących ochrony danych osobowych (należy zaznaczyć, że udział w badaniach jest dobrowolny, oraz że ankiety będą oceniane anonimowo, tj. nazwiska i adresy nie będą przechowywane).

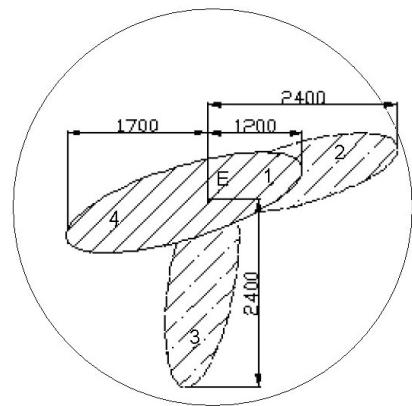
W metodyce badań ankietowych kluczowe jest zdefiniowanie obszarów (imisji, badań) oraz stref (badań kontrolnych) [126, 127]. *Obszar imisji* to całkowity obszar geograficzny, w którym może występować imisja odorów oparta na rekonesansie te-



renowym lub obliczeniach modelowych. Granice obszaru można oszacować, np. na podstawie statystyki skarg lub wysyłając osobę testującą poza obszar, na którym rejestruje się oddziaływanie zapachu. *Obszar badań* to obszar (w obrębie obszaru emisji) obejmujący badania ankietowe. *Strefa badań* natomiast to część obszaru badań, w której można założyć jednolitą imisję zapachu z jednego lub wielu źródeł. *Strefa kontrolna* to strefa wybrana poza obszarem emisji, która ma porównywalny rodzaj i rozmieszczenie budynków (w odniesieniu do strefy badań) bez jakiegokolwiek wpływu źródeł emisji odorów. Ideę rozmieszczenia obszarów oraz stref badań ankietowych przedstawiono na rysunku 4.14. Zalecane wartości rozmiaru i lokalizacji stref w funkcji zakresu  $R$  smugi odorów zestawiono oraz przedstawiono w VDI 3883 [126] oraz [103]. Na rysunku 4.15. przedstawiono natomiast przykład wyznaczonego obszaru badań oraz strefy badań wokół wybranego źródła przemysłowego.



Rys. 4.14. Schemat terenu badań, strefy ankietowania oraz kontrolne dla pojedynczego źródła emisji:  
 $E$  – źródło emisji,  $R$  – zakres oddziaływania źródła,  
 $R_1$  – zakres strefy ankietowania położonej najbliżej źródła,  $T_Z$  – teren zanieczyszczony,  $T_B$  – teren badań,  
 $S_1$  – strefa ankietowania blisko źródła,  
 $S_2$  – strefa ankietowania oddalona od źródła,  
 $S_K$  – strefa kontrolna (na podst. [126])

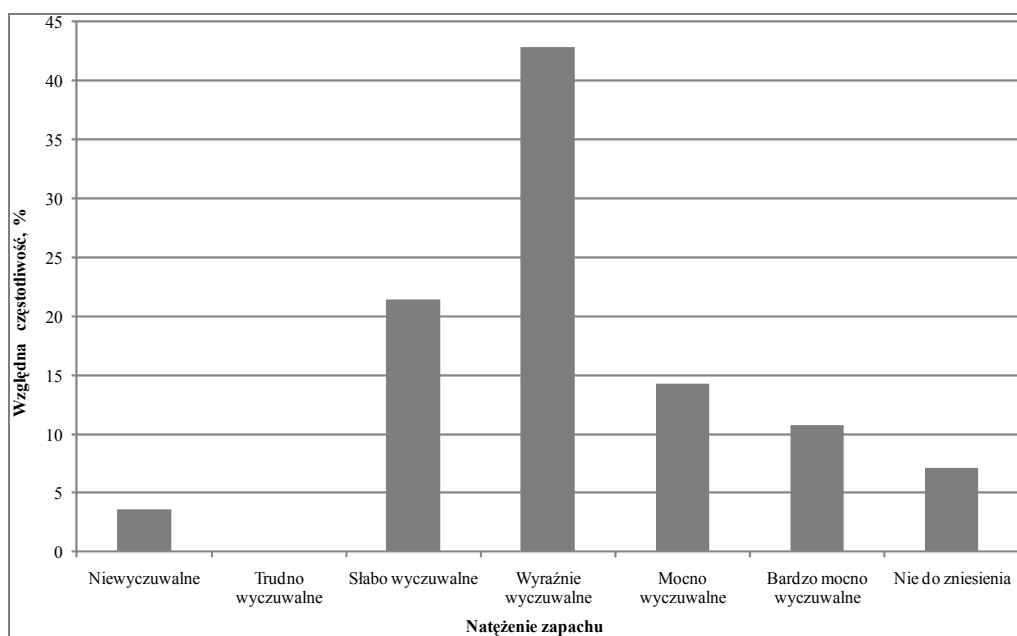


Rys. 4.15. Teren badań ankietowych (ankietyzacja ustna) z zaznaczeniem poszczególnych stref badań (1–4) i odległości od emitora ( $E$ ) wyznaczonych wokół wybranego przemysłowego źródła emisji (zakład przetwórstwa rzepaku)

Podczas planowania badań ankietowych istotne powinny być informacje na temat typu źródła emisji odorów (punktowe, powierzchniowe, liniowe) oraz wielkości i charakteru emisji, topografii terenu i planu miejsca badań oraz rocznego rozkładu kierunku wiatru (w celu ustalenia najczęściej i najrzadziej występujących wpływów na tereny ankietowane).

Ankieta ustna zawiera 10 pytań odnoszących się do stanu zanieczyszczenia oraz uciążliwości na badanym obszarze, a także kwestii socjalno-demograficznych. W pytaniach dotyczących stanu zanieczyszczenia wyróżnia się obiektywne odczucia

ankietowanego na temat częstotliwości i natężenia zapachu (rys. 4.16). W pozostałych pytaniach ocenia się emocjonalne podejście do problemu uciążliwości (np. poprzez określenie uciążliwości od „brak” do „uciążliwość nie do zniesienia” – rys. 4.17) oraz efektów związanych z występowaniem uciążliwości zapachowej (np. „niechęć na myśl o powrocie do domu”, „ból głowy”, „mdłości” czy „problemy z zasypianiem” [111]), czyli pogorszenia jakości życia na skutek występujących zapachów wraz z określeniem częstotliwości ich występowania (od „nigdy” do „bardzo często”). Ostatnie trzy pytania dotyczące ogólnego oświadczenia ankietowanego na problemy związane z „obecnością” odorów, np. na stan zdrowia, odgrywają istotną rolę w ocenie możliwych czynników zakłócających odbiór zapachu (ogólna wrażliwość ankietowanego na zapachy oraz określenie rodzaju zapachu).



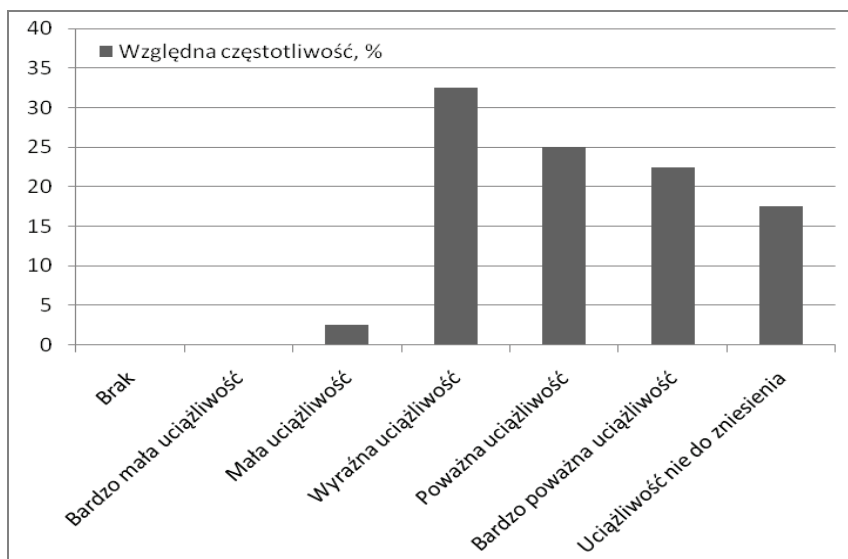
Rys. 4.16. Natężenie zapachu wskazywane przez respondentów w wybranej strefie wokół obiektu przemysłowego (Zakład przetwórstwa rzepaku) [110]

Najważniejszą częścią kwestionariusza ankiety ustnej są skale uciążliwości: graficzna (termometr) oraz słowna [109, 110]. Porównanie wyników na obu skalach oraz określenie korelacji pomiędzy opisem słownym i liczbowym (tab. 4.3), umożliwia ocenę wiarygodności uzyskanych odpowiedzi dla wybranej grupy osób ankietowanych oraz ocenę uciążliwości zapachowej na wybranym obszarze. Przykład wyznaczonej zależności pomiędzy wynikami oceny uciążliwości zapachowej w postaci

słownej (skali opisowej przypisuje się wówczas wartości liczbowe od 0 do 6) i skali termometru (od 0 do 10) oraz obliczoną wartość współczynnika regresji  $R^2$  dla wybranej strefy badań przedstawiono na rysunku 4.18.

Ostania część ankiety zawiera pytania związane z informacjami na temat ankietowanych. Dotyczą one m.in. wieku, płci, poziomu wykształcenia oraz warunków socjalnych. Wiek i stan zdrowia mogą mieć bowiem wpływ na wydawaną opinię, dotyczącą stanu zanieczyszczenia i uciążliwości. Dodatkowo umożliwiają one przebadanie takich aspektów, jak reprezentatywność czy przynależność do jakiejś skrajnej grupy.

Stosowana na świecie ankieta telefoniczna składa się z 8 grup pytań. Pierwsza grupa pytań dotyczy określenia problematyki związanej ze stanem środowiska na wybranym obszarze. Następne pytania mają na celu zapis informacji na temat reakcji na wiosenne pylenia roślin, problemów z tego wynikających (np. alergie) i ewentualnych sposobów leczenia. Kolejne pytania odnoszą się do występującego na badanym obszarze poziomu hałasu (jak bardzo hałas jest uciążliwy, co najczęściej powoduje hałas oraz częstotliwość jego występowania). Czwarta grupa pytań dotyczy już występowania zapachu: częstotliwości, stopnia powodowanej uciążliwości, źródła zapachu, rodzaju zapachu i określenie działalności powodującej dany zapach. Ostatnia grupa pytań, tak jak w przypadku ankiety ustnej, dotyczy danych osobowych m.in. wykonywanego zawodu, grupy wiekowej oraz płci.

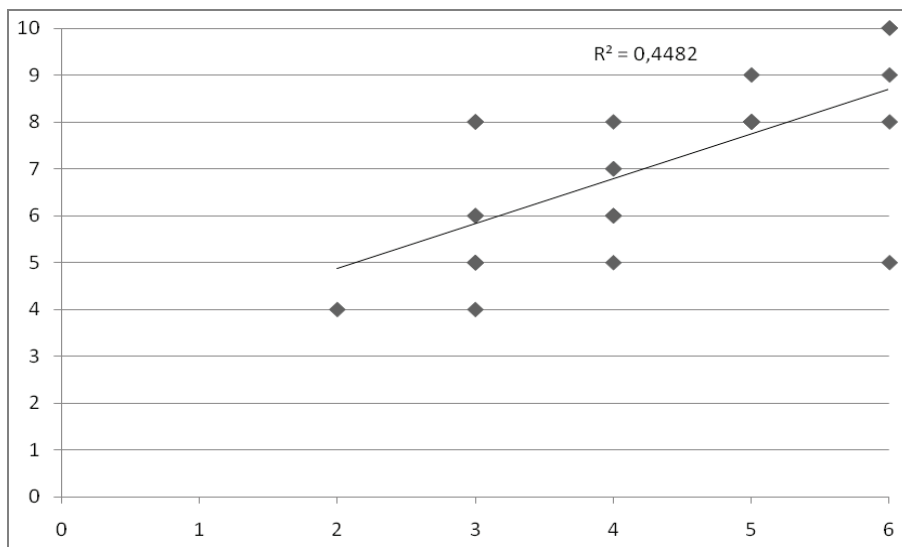


Rys. 4.17. Stopień uciążliwości zapachowej w postaci opisowej wskazywany przez respondentów w wybranej strefie badań wokół obiektu przemysłowego (zakład przetwórstwa rzepaku) [110]

Tabela 4.3. Przykładowo wyznaczone zależności między liczbowym a słownym opisem uciążliwości zapachowej dla wyników badań wokół czterech wybranych zakładów przemysłowych (Zakład 1, 2, 3 i 4, gdzie Zakład 1: zakład przetwórstwa rzepaku.; Zakład 2: zakład produkcji ciastek, Zakład 3: gorzelnia, Zakład 4: zakład produkcji farmaceutyków) [109]

| Rodzaj odpowiedzi |                               | Średnia | Odchylenie standardowe | Mediana | Rozmiar próby | R <sup>2*</sup> |
|-------------------|-------------------------------|---------|------------------------|---------|---------------|-----------------|
| Zakład 1 (zima)   |                               |         |                        |         |               |                 |
| 0                 | Brak                          | 0,000   | 0,000                  | 0       | 5             | 0,7171          |
| 1                 | Bardzo mała uciążliwość       | 2,000   | 0,816                  | 2       | 4             |                 |
| 2                 | Mała uciążliwość              | 3,917   | 1,180                  | 4       | 36            |                 |
| 3                 | Wyraźna uciążliwość           | 5,583   | 1,360                  | 5       | 36            |                 |
| 4                 | Poważna uciążliwość           | 6,792   | 1,179                  | 7       | 24            |                 |
| 5                 | Bardzo poważna uciążliwość    | 8,286   | 1,179                  | 8       | 14            |                 |
| 6                 | Uciążliwość nie do zniesienia | 8,556   | 1,878                  | 9       | 9             |                 |
| Zakład 1 (lato)   |                               |         |                        |         |               |                 |
| 0                 | Brak                          | 0,000   | 0,000                  | 0       | 2             | 0,6227          |
| 1                 | Bardzo mała uciążliwość       | 3,667   | 2,082                  | 3       | 3             |                 |
| 2                 | Mała uciążliwość              | 4,625   | 2,039                  | 5       | 24            |                 |
| 3                 | Wyraźna uciążliwość           | 6,154   | 1,461                  | 6       | 39            |                 |
| 4                 | Poważna uciążliwość           | 7,333   | 1,372                  | 8       | 18            |                 |
| 5                 | Bardzo poważna uciążliwość    | 8,625   | 1,209                  | 9       | 24            |                 |
| 6                 | Uciążliwość nie do zniesienia | 9,440   | 1,193                  | 10      | 25            |                 |
| Zakład 2(lato)    |                               |         |                        |         |               |                 |
| 0                 | Brak                          | 0,000   | 0,000                  | 0       | 10            | 0,8901          |
| 1                 | Bardzo mała uciążliwość       | 1,571   | 1,718                  | 1       | 7             |                 |
| 2                 | Mała uciążliwość              | 3,733   | 1,831                  | 4       | 15            |                 |
| 3                 | Wyraźna uciążliwość           | 6,000   | 1,363                  | 6       | 15            |                 |
| 4                 | Poważna uciążliwość           | 7,333   | 0,707                  | 7       | 9             |                 |
| 5                 | Bardzo poważna uciążliwość    | 0,000   | 0,000                  | 0       | 0             |                 |
| 6                 | Uciążliwość nie do zniesienia | 10,000  | 0,000                  | 10      | 2             |                 |
| Zakład 3 (lato)   |                               |         |                        |         |               |                 |
| 0                 | Brak                          | 0,261   | 0,689                  | 0       | 23            | 0,6934          |
| 1                 | Bardzo mała uciążliwość       | 1,235   | 1,033                  | 1       | 17            |                 |
| 2                 | Mała uciążliwość              | 3,667   | 1,802                  | 3       | 48            |                 |
| 3                 | Wyraźna uciążliwość           | 6,226   | 1,407                  | 6       | 31            |                 |
| 4                 | Poważna uciążliwość           | 6,667   | 0,000                  | 7       | 9             |                 |
| 5                 | Bardzo poważna uciążliwość    | 9,250   | 0,000                  | 9,5     | 4             |                 |
| 6                 | Uciążliwość nie do zniesienia | 10,000  | 0,000                  | 10      | 3             |                 |
| Zakład 4 (lato)   |                               |         |                        |         |               |                 |
| 0                 | Brak                          | 0,400   | 0,828                  | 0       | 15            | 0,7423          |
| 1                 | Bardzo mała uciążliwość       | 1,235   | 1,033                  | 1       | 17            |                 |
| 2                 | Mała uciążliwość              | 3,682   | 1,865                  | 3       | 44            |                 |
| 3                 | Wyraźna uciążliwość           | 6,160   | 1,463                  | 6       | 25            |                 |
| 4                 | Poważna uciążliwość           | 6,286   | 1,890                  | 7       | 7             |                 |
| 5                 | Bardzo poważna uciążliwość    | 9,250   | 0,000                  | 9,5     | 4             |                 |
| 6                 | Uciążliwość nie do zniesienia | 10,000  | 0,000                  | 10      | 2             |                 |

\* Wartość współczynnika regresji liniowej.



Rys. 4.18. Zależność wyznaczona pomiędzy wynikami uzyskanymi z opisu słownego (gdzie: brak uciążliwości – 0, bardzo mała uciążliwość – 1, mała uciążliwość – 2, wyraźna uciążliwość – 3, poważna uciążliwość – 4, bardzo poważna uciążliwość – 5, uciążliwość nie do zniesienia – 6) oraz na skali termometru (od 1 do 10) dla wybranej strefy badań wokół przemysłowego źródła emisji odorów. Rozmiar próby: liczba przeprowadzonych, udanych ankiet  $n = 32$  [110]

Liczba przeprowadzonych ankiet, umożliwiającą wiarygodny opis uciążliwości zapachowej na terenie wokół wybranego źródła emisji zapachów, zależy od dwóch czynników: po pierwsze próba musi być wystarczająco duża, aby była reprezentatywna dla danego obszaru. Po drugie istotne jest to, aby wziąć pod uwagę, że mogą zdarzyć się próby bez odpowiedzi (np. brak kontaktu, odmowa). Zgodnie z normą VDI 3883, zaleca się minimum 50 wypełnionych (udanych) ankiet z grupy 100 wybranych osób. W przypadku ankietyzacji telefonicznej minimalna, zalecana liczba respondentów (wybieranych losowo numerów z listy numerów mieszkańców zamieszkujących wyznaczone strefy badań) to 50–70 osób. Zalecaną porą dnia są godziny wieczorne.

#### 4.5.2. Badania terenowe

Według przyjętych w Europie norm serii VDI 3940 wyróżnia się dwa podstawowe typy badań terenowych prowadzonych w otoczeniu źródła emisji zapachu: badania w siatce oraz smudze. Pomiar w siatce jest statystyczną metodą pomiarową, w której przez ustalony okres (np. 6 mies.) zespół oceniających rejestruje odczuwane zapachy w siatce pomiarowej zaplanowanej na obszarze badań [129]. Uzyskane wyniki badań

służą do obliczeń charakterystyki oddziaływania odorów (liczba godz. oddziaływania odoru w roku – godziny odorowe). Pomiar w smudze stosowany jest w celu zebrania informacji na temat oddziaływania zapachu w zasięgu smugi [130]. Badanie odbywa się w określonych warunkach meteorologicznych. Podobnie jak w przypadku pomiarów w siatce, procent występowania badanego zapachu podczas pojedynczego cyklu pomiarowego stosuje się jako zmienną w obliczaniu oddziaływania zapachu.

Najistotniejszym w badaniach terenowych (pomiarach imisji) odorów są, m.in.: wybór doświadczonego operatora wraz z oceniającymi (inspektorami terenowymi), przeszkolenie grupy oceniających w zakresie stosowanych urządzeń (m.in. stoper, mapa lub plan miasta z wyraźnie zaznaczonymi punktami pomiarowymi, kieszonkowy kompas, termometr oraz ręczny anemometr), sporządzenie planu i sposobu zapisu wyników badań (protokoły pomiarowe) oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych.

Najważniejszym kryterium wyboru do zespołu oceniającego jest wrażliwość na standardową substancję: *n*-butanol. Zapewnia ono zgodność z wrażliwością oceniających biorących udział w badaniach olfaktometrycznych, określoną zgodnie z metodyką zawartą w normie PN-EN13275 [81].

Przed przystąpieniem do badań w terenie zespół oceniających powinien być przeszkolony w zakresie stosowanych podczas badań skali intensywności i kodów przypisanych do rodzajów zapachów (określonych w protokole pomiarowym, przypisywanych w zależności od źródła zapachu) oraz mieć możliwość zapoznania się z badanym zapachem, np. podczas rekonesansu na terenie zakładu lub w jego otoczeniu. Dla oceny intensywności zapachu w terenie oceniający powinien przyporządkować swoje wrażenie zapachu do jednego z terminów w skali zalecanej, zgodnej z VDI 3883 – tabela 2.2. [131].

Kolejnym istotnym zagadnieniem w badaniach terenowych jest wybór oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych na wyznaczonym obszarze. Oceniający nie powinni dokonywać badań w pobliżu domów, wysokich ścian, płotów, krawędzi lasów, dróg o dużym natężeniu ruchu, torów kolejowych, przystanków autobusowych czy postojów taksówek. Powinno się także unikać takich źródeł, jak szyby wentylacyjne, pokrywy włazów, bary szybkiej obsługi czy stacje benzynowe. Punkty pomiarowe znajdujące się na otwartych przestrzeniach powinny być wyraźnie oznakowane i dobrze widoczne nawet w nocy.

W przypadku badań terenowych, prowadzonych w smudze, niezbędna jest decyzja *ad hoc*, co do położenia punktów pomiarowych, ze względu na możliwość zaistnienia dużej zmienności warunków meteorologicznych w trakcie przeprowadzanych badań.

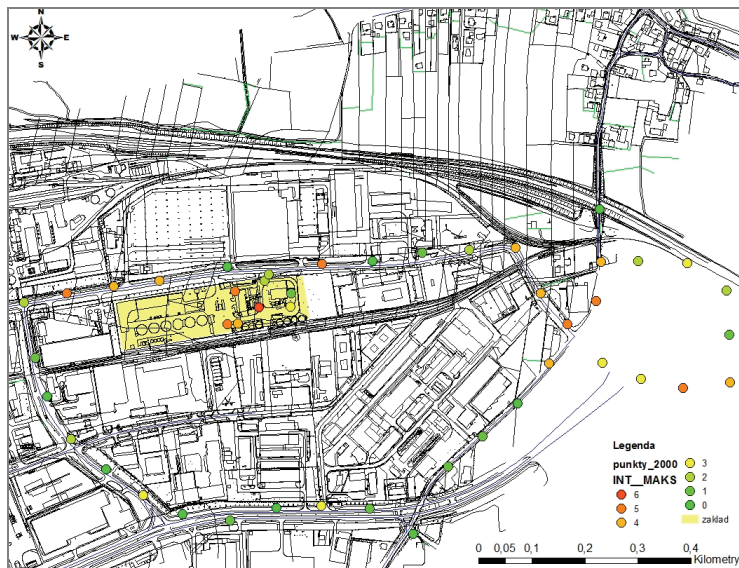
Zgodnie z definicją charakterystyki zapachu, oceniający powinien testować otaczające powietrze ze względu na rozpoznawalny zapach. Zapach jest rozpoznany, jeśli oceniający jest w stanie całkowicie zidentyfikować jego rodzaj. Pojedynczy pomiar w badaniach terenowych definiowany jest jako pomiar imisji związków zapachowych przez oceniającego w danym punkcie przez określony czas (10 minut). W celu określenia udziału procentowego występowania badanego zapachu w jednym cyklu pomiarowym oceniający testuje powietrze w odstępach 10-sekundowych i zapisuje zidentyfikowany rodzaj zapachu w protokole [103, 129]. Na koniec 10-minutowego

cyklu, oceniający ma przebadanych 60 prób zapachowych. W każdym 10-minutowym odstępnie czasu oceniający opisuje zapach podczas tylko jednego wdechu, a nie ogólne wrażenie z 10 sekund. Całkowity czas pomiaru nie powinien przekroczyć jednak 20 minut. Drugą zalecaną techniką jest, aby oceniający testował każdy wdech i włączał stoper na początku i na końcu każdego okresu, w którym wyczuwa zapach. Procent występowania badanego zapachu to stosunek obliczony z sumy czasu występowania zapachu i czasu trwania cyklu pomiarowego.

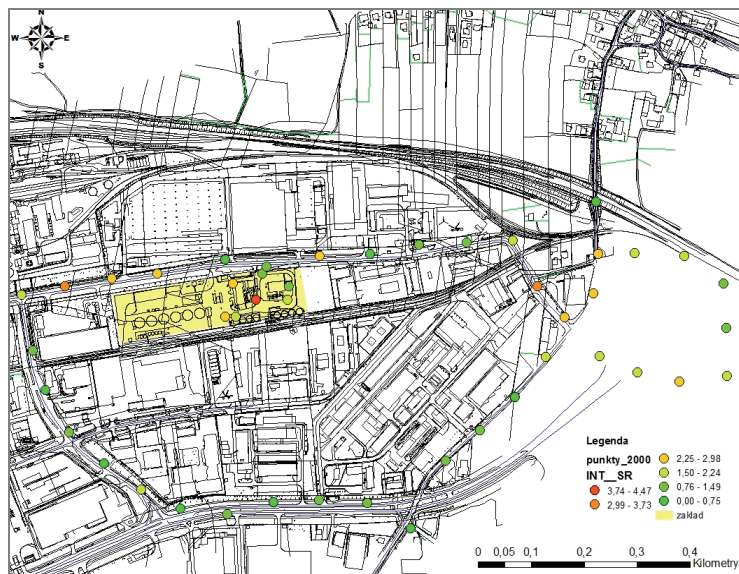
Zalecany czas prowadzenia pomiarów terenowych to 6 miesięcy, w ciągu których miesiące bardzo ciepłe i bardzo zimne muszą być reprezentowane równomiernie. W przypadku zakładu, z którego emisja roczna ma zmienny charakter zaleca się wykonanie pomiarów całorocznych. Można również ograniczyć okres pomiarowy tylko do dni, w których pracuje wybrany zakład [129].

Według przyjętych w Europie norm serii VDI 3940 cz. 1., pomiar w siatce jest metodą pomiarową, w której przez ustalony okres (np. 6 mies.) zespół oceniających rejestruje odczuwane zapachy w siatce pomiarowej zaplanowanej na obszarze badań. Uzyskane wyniki badań służą do obliczeń charakterystyki oddziaływania odorów (liczba godzin oddziaływania odoru w roku – godziny odorowe).

Zalecanym obszarem badań jest koło, którego środek pokrywa się ze źródłem emisji zapachu lub, w przypadku zakładu z wieloma źródłami, z emisją skupioną, i których promień wynosi 30 wysokości emitora [129]. Wyznaczony obszar badań pokrywany jest siatką równomiernie rozłożonych punktów. Kwadraty pomiarowe powstają z 4 połączonych ze sobą punktów pomiarowych. Celem określenia kroku siatki jest otrzymanie jak najbardziej jednolitego rozkładu oddziaływania zapachu na obszarze kwadratu. Zalecane jest, aby początkowo ustalać krok równy 250 m. W zależności od warunków i potrzeb, możliwe są także kroki większe (maks. 500 m) lub mniejsze (np. 125 m, 100 m czy 50 m). W przypadku źródeł wysokich, o zakładanym wpływie na terenie 250 m od krawędzi danego zakładu, rysuje się siatkę o wymiarach 250×250. Natomiast w przypadku źródeł niskich i niezorganizowanych oraz odległości mniejszej niż 250 m od najbliższych budynków odpowiednich do oceny, można zmniejszyć rozmiar kwadratów, aby pokryć możliwie wszystkie miejsca, w których rozkład zapachu nie jest jednorodny. W takich sytuacjach można zmniejszyć kwadraty do rozmiaru 50 m × 50 m. Wraz ze wzrostem odległości, rozmiary kwadratów można zwiększać. Przykładowe wyniki badań terenowych intensywności zapachu, przedstawione w postaci mapy z naniesionymi punktami pomiarowymi i zmierzoną w nich intensywnością maksymalną oraz obliczoną średnią z całego 10-minutowego pomiaru w punkcie, przedstawiono na rysunku 4.19 oraz 4.20. Uwzględniono tylko te punkty, w trakcie pomiaru wystąpił zapach pochodzący z zakładu. W pozostałych punktach, w których występowały inne zapachy (np. spalin, trawy, farb) lub nie występował żaden zapach, intensywności nadano wartość 0. Przeprowadzone pomiary pozwoliły na wyznaczenie punktów wokół wybranego zakładu o maksymalnej wartości intensywności zapachu oraz określenia częstości jego występowania w wybranych punktach i seriach pomiarowych.



Rys. 4.19. Przykład lokalizacji punktów oraz wyników pomiarów maksymalnych wartości intensywności zapachów w siatce



Rys. 4.20. Przykład lokalizacji punktów oraz wyników uśrednionych wartości intensywności zapachów w siatce

Badania przeprowadza się w różnych dniach i muszą być zaplanowane tak, aby pojedynczy pomiar w punkcie pomiarowym danego kwadratu był niezależny każdego



dnia. W nieprzylegających do siebie punktach pomiarowych pojedynczego kwadratu pomiarowego badanie trwa jedną rundę pomiarową. Aby zapewnić reprezentatywność wyników badań, należy przed pomiarami wybrać regularne i nielosowe daty pomiarów. Ostatecznie, należy opcjonalnie wykonać 52 lub 104 pomiary w ciągu 6 miesięcy, bądź 104 pomiary w 12 miesięcy [129]. Obok opisanych szczegółowo w [129] dodatkowych warunków, prowadzenie pomiarów z perspektywy badań jako całości, a także pojedynczych rund pomiarowych, istotne jest, aby oceniający pracował z równą częstotliwością. Zaangażowanie poszczególnych osób lub całego zespołu powinno być zatem regularnie określone w czasie trwania pomiarów.

Pomiar w smudze związany jest z określonym obiektem przemysłowym. Podczas planowania pomiarów konieczne jest więc posiadanie informacji dotyczących [130]:

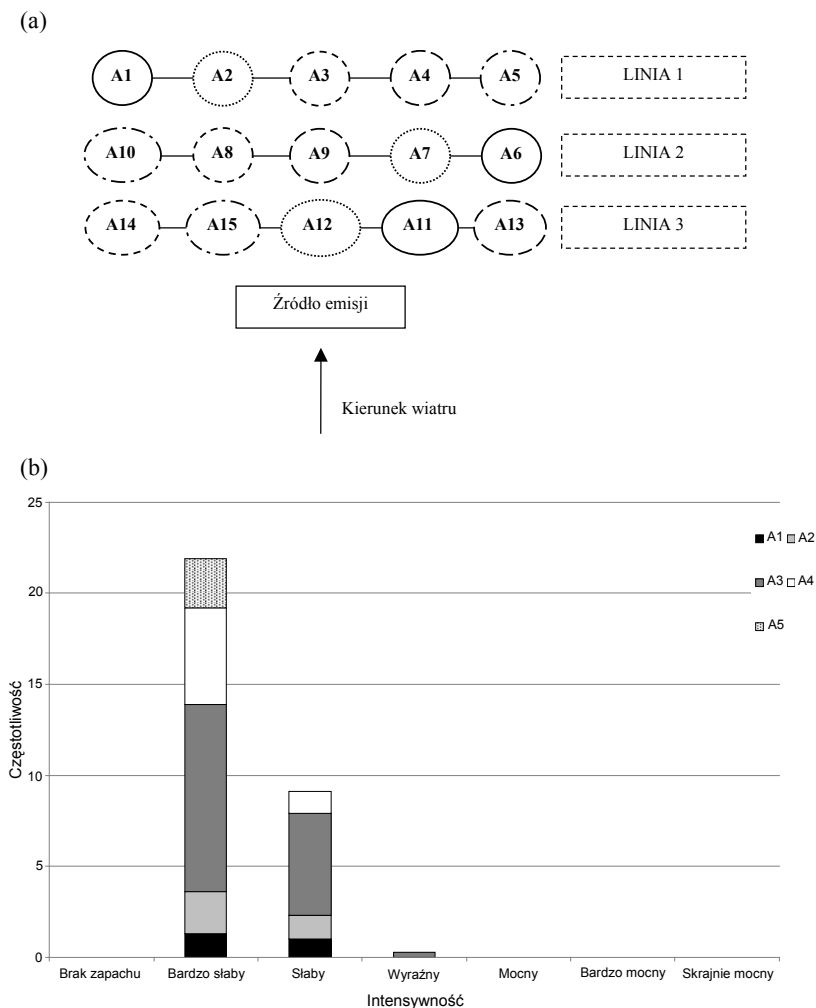
- 1) procesu produkcyjnego i powstałych produktów,
- 2) godzin pracy zakładu, głównego źródła emisji,
- 3) nieciągnących procesów produkcji,
- 4) źródeł powierzchniowych i nieorganizowanych.

Na pomiar w smudze składają się pomiary trwające 10 minut. Smuga zapachów z emitora danego zakładu jest bezpośrednio zależna od kierunku i prędkości wiatru oraz stanu równowagi atmosfery. Niezbędne jest więc prowadzenie dla danego obszaru pomiarów meteorologicznych przez cały okres pomiarów. Według norm niemieckich należy zatem dokonać pomiarów kierunku i prędkości wiatru, stanu równowagi atmosfery oraz temperatury powietrza. Istotną również jest ocena nietypowych czynników takich, jak opad, mgły czy śnieg podczas pomiarów [15].

Zgodnie z VDI 3940 cz.2 [130], koniec smugi wyznacza się w procencie występowania badanego zapachu, równym 10% cyklu pomiarowego. Następnie ustala się przybliżony kierunek wiatru. Oceniający oddalają się od zakładu w kierunku wiatru, dopóki nie znajdą się na zewnątrz smugi. Dochodząc do zakładu różnymi drogami, mogą znaleźć odległość, w której zapach jest wyczuwalny. W tym miejscu możliwe jest wyznaczenie pierwszego skrzyżowania linii, położonego pod odpowiednim kątem do osi smugi i 5 punktów pomiarowych. Jeśli wiadomo, że kryterium dla końca smugi (10% czasu zapachu) nie jest spełnione, wyznacza się nową linię w mniejszej lub większej odległości od źródła i przeprowadza nowe pomiary do momentu, aż będzie ono spełnione w pobliżu osi smugi. Następnie, oceniający, stojąc na osi smugi, na której osiągnięto przynajmniej 10% występowania badanego zapachu, dokonuje kolejnych pomiarów w linii. Pozostali oceniający przesuwają się bliżej w stronę zakładu, aby wyznaczyć boczne linie smugi (narożniki i szerokość). Boczne granice smugi określa się przez interpolację wyników między dwoma punktami pomiarowymi na lewo i prawo od osi smugi. Proces ten należy prowadzić przynajmniej na jednej linii wzdłuż smugi. Stosując powyższą metodę należy ustalić zasięg smugi przynajmniej 3 razy [130].

Pomiar w smudze odbywa się na kilku skrzyżowaniach linii pod odpowiednim kątem do kierunku wiatru. Odległość między skrzyżowaniami linii i punktami pomia-

rowymi zależy od przewidywanego rozmiaru smugi, na którą może oddziaływać wysokość źródła emisji, strumień zapachu, aktualne warunki meteorologiczne, a także topografia terenu. Podczas kolejnych pomiarów na skrzyżowaniach linii, oceniający muszą się przesuwać, aby żaden z nich nie pozostał na tym samym miejscu w smudze. Przykład rozmieszczenia punktów pomiarowych oraz wyniki badań w smudze wokół wybranego zakładu przemysłowego przedstawiono na rys. 4.21. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów możliwe było określenie częstotliwości występowania intensywności zapachu w wyznaczonych punktach na liniach w obrębie smugi.



Rys. 4.21. Przykład lokalizacji punktów (a) oraz wyników pomiarów intensywności zapachów (b) w smudze [108]: A1, A2, ..., A15 – punkty pomiarowe/rozmieszczenie inspektorów terenowych; styl linii odnosi się do rozmieszczenia dokładnie tego samego inspektora terenowego

Reasumując, wyniki pomiarów uzyskane z badań terenowych w siatce i smudze umożliwiają scharakteryzowanie wybranego zapachu pod względem częstości i czasu jego oddziaływania, czyli ocenę jakości zapachowej w „ilościowy” sposób. Określenie intensywności lub jakości hedonicznej przez badania terenowe nie dostarcza jednak żadnych punktów odniesienia dla porównawczej oceny różnych emitorów. Instalacje lub części instalacji nie mogą bowiem zostać przyporządkowane do określonych klas intensywności lub klas jakości hedonicznej, ponieważ rozrzut mierzonych wartości intensywności i jakości hedonicznej podczas jednego pomiaru (metodą siatki lub pomiarów w smudze) może być zbyt duży, a liczba zgromadzonych wartości pomiarowych zbyt mała.

## Podsumowanie

Produkcja przemysłowa w Polsce, w tym przemysł rolno-spożywczy, jest powodem pogorszenia zapachowej jakości powietrza oraz obniżenia komfortu życia ludzi zamieszkujących obszary położone w pobliżu wybranych źródeł emisji odorów. W związku z tym, zmierzając do poprawy jakości życia oraz środowiska przyrodniczego niezbędna jest rzetelna ocena skali zapachowego oddziaływania wybranego zakładu przemysłowego. Powinna ona być poprzedzona identyfikacją ilościową źródeł, przestrzenną oraz jakościową. Ostatecznie wymienione metody umożliwiają wskazanie obiektu przemysłowego, będącego przyczyną uciążliwości zapachowej. Kolejnym etapem badań jest zastosowanie wybranych technik oraz metod zmierzających do: identyfikacji źródeł zapachu na terenie wskazanego zakładu, określenia sposobu poboru próbek złowonnych gazów, określenia stężenia zapachowego i emisji zapachu, określenia ilościowego i jakościowego składników badanych gazów u źródła i w punktach receptorowych, określenia i oceny uciążliwości zapachowej, opisu matematycznego rozprzestrzeniania się odorów oraz, na etapie końcowym, opracowanie propozycji optymalnej techniki ograniczania emisji zapachu w zakładzie przemysłowym.

Opracowane dostępne i stosowane w Europie normy pozwalają na ocenę zjawiska uciążliwości zapachowej (rejestr skarg, badania ankietowe) oraz pomiar emisji (badania terenowe) odorów w otoczeniu wybranego źródła emisji. Dzięki zastosowaniu olfaktometrii dynamicznej, możliwa jest ocena wartości emisji odorów z poszczególnych źródeł na terenie wybranego obiektu oraz oszacowanie udziałów poszczególnych źródeł w całkowitej emisji zapachu. Na podstawie określonej wartości stężeń i emisji zapachu, po zastosowaniu wybranych narzędzi matematycznych, możliwe jest oszacowanie zakresu oddziaływania zapachów emitowanych z wybranego obiektu technologicznego.

Wiele nowoczesnych modeli dyspersji daje możliwość dostarczenia dodatkowych informacji związanych z oceną skutków oddziaływania zapachów w różnych lokalizacjach punktów receptorowych i prognozowania „godzina po godzinie” wpływu analizowanego źródła na konkretne, wybrane receptory w okresie modelowania. Uzyskane na podstawie obliczeń wartości stężeń zapachowych mogą stanowić podstawę do oceny stopnia i zakresu zapachowego wpływu wybranego źródła odorów na komfort życia społeczności oraz ustalenie zgodności z limitami ustawowymi.

Informacje o dużej liczbie skarg związanych z działalnością „odorową” określonego zakładu, są uzyskiwane najczęściej w przypadkach bardzo dużego wpływu zapachów na komfort życia. Liczba zgłaszanych skarg może zależeć od stopnia przekonania społeczności, czy ich wnoszenie może zmienić obecny stan, a także od gotowości współpracy wszystkich zainteresowanych stron: władz lokalnych, społeczeństwa oraz zakładu. Skargi mogą być dobrymi wskaźnikami nagłych przypadków, takich jak np. awaria w zakładzie, nie dają jednak pełnego obrazu (w ujęciu czasowym i przestrzennym) uciążliwości zapachowej na wybranym obszarze. Informacja o dużej liczbie skarg związanych z działalnością określonego zakładu może być powodem wszczęcia badań ankietowych na wybranym obszarze.

Przewagą ankietyzacji nad statystyką skarg jest to, że osoba planująca ankietę wybiera do badań reprezentatywny obszar oraz czas trwania badań. W rezultacie uzyskiwana jest próba, która umożliwia ocenę stopnia uciążliwości zapachowej, częstotliwości i natężenia zapachu, efektów związanych z występowaniem uciążliwości zapachowej oraz uzyskanie informacji o skumulowanych odpowiedziach zbieranych przez dłuższy czas.

W przypadku zidentyfikowania krótkoterminowej uciążliwości, kiedy wysokie stężenia zapachu występują rzadko, ale są odczuwane jako szczególnie intensywne lub nieprzyjemne, istotne staje się ustalenie intensywności oraz jakości hedonicznej powietrza. Pomiarów dokonuje się wówczas przez badania terenowe (imisji) w siatce oraz w smudze. Wyniki uzyskane z badań terenowych dają możliwość oceny istniejącej sytuacji imisyjnej (np. w trakcie postępowania o wydanie zezwolenia w ramach rozpatrywania przypadku nadzwyczajnego). Umożliwiają one także planowanie i kontrolę skuteczności przedsięwzięć dla zmniejszenia emisji zapachu na wybranym obszarze. Po porównaniu pomiarów „przedtem – potem” można oszacować, czy i w jakim stopniu osiągnięto wyczuwalną przez ludzi zmianę na otaczającym terenie wokół emitora (instalacji). Tego typu badania stosuje się również w kalibracji oraz na etapie zatwierdzania modeli dyspersji i wskazania źródła będącego przyczyną zapachu.

Zaproponowana w opracowaniu i przetestowana metodologia badań umożliwia identyfikację przestrzenną, ilościową oraz jakościową przemysłowych źródeł odorów. Zastosowanie kilku technik identyfikacji jednocześnie umożliwia w sposób wiarygodny kompleksową ocenę zapachowej jakości powietrza wokół wybranego źródła emisji odorów. Ostatecznie określone są, m.in.: całkowita emisja zapachu (warunkowana typem źródła i związanym z tym wyborem metodyki poboru próbek oraz określenia stężenia zapachowego bądź stężenia wybranych składników mieszaniny odorotwórczych gazów) z obiektu przemysłowego, zasięg zapachowego oddziaływania źródła (badania modelowe, badania terenowe), stężenie zapachu w punkcie receptorowym (badania modelowe, badania terenowe), częstotliwość występowania zapachów na wybranym terenie (badania terenowe, badania ankietowe) oraz stopień uciążliwości zapachowej i wpływ zapachów na komfort życia ludzi zamieszkujących tereny przyległe do analizowanego, przemysłowego źródła emisji wonnych gazów (badania ankietowe).

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz stwierdza się, iż w zakresie inwentaryzacji przemysłowych źródeł emisji zapachu niezbędne jest zaprojektowanie systemu i bazy danych dotyczącej wybranych gałęzi przemysłowych, obejmującej m.in. procesy produkcyjne stosowane w danej branży, ich techniczną charakterystykę, wielkość produkcji oraz wielkość zużytych substratów. Zintegrowany system informacji umożliwiłby sprawną identyfikację obszaru oraz wskazanie obiektu, którego emisja przyczynia się do występowania stężeń zapachu powyżej proponowanych limitów imisyjnych. Istotne w strategii zagospodarowania przestrzennego na wybranym obszarze byłoby np. wykorzystanie techniki GIS do „budowy” przestrzennych „baz uciążliwości” – obszarów o dużym „zagęszczeniu” obiektów będących potencjalną przyczyną uciążliwości zapachowej.

W zakresie ocen i badań uciążliwości zapachowej niezbędne jest opracowanie ‘kompleksowej’ metodyki oceny zapachowej dla obszarów w przypadku równoczesnej emisji odorów z kilku różnych typów działalności, np. z gospodarki przemysłowej oraz komunalnej.

Możliwość wykonania badań obejmujących jednoczesną analizę chemiczną i olfaktometryczną z użyciem wielowymiarowej chromatografii gazowej oraz metod czujnikowych umożliwiłoby określenie zakresu monitoringu związków zapachowych na terenie wybranego zakładu i opracowanie metod kontroli (w tym redukcji stężeń odorów) oraz byłoby cennym uzupełnieniem do opracowania „scenariuszy” potencjalnych zagrożeń „zapachowych”, związanych choćby z produkcją związków chemicznych. Dalsze badania oraz prace legislacyjne powinny również dotyczyć określenia metodyki poboru odorotwórczych gazów z tzw. „niezorganizowanych” źródeł emisji odorów.

## Literatura

- [1] Axel R., *Molekularne podstawy procesów węchowych*, Świat Nauki, wyd. specjalne, nr 1 (8), wrzesień–październik, 2007, 73–79.
- [2] Bhattacharyya N., Seth S., Tudu B., *Detection of optimum fermentation time for black tea manufacturing using electronic nose*, Sensors and Actuators B, 2007.
- [3] Bliss P.J., Schulz T.J., Senger T., Kaye R.B., *Odour measurement – factors affecting olfactometry panel performance*, Water Science and Technology, 1996, 34, 3–4, 549–556.
- [4] Bourgeois W., Stuetz R.M., *Use of a chemical sensor array for detecting pollutants in domestic wastewater*, Water Research, 2006, 36, 4505–4512.
- [5] Brockers A., Oxbol A., *Sampling techniques of odour in DermaK and Germany- comparison of methods and results from composting plants*, VDI-Berichte, 2004, 1850, 247.
- [6] Bockreis A., Steinberg I., *Measurement of odour with focus on sampling techniques*, Waste Management, 2005, 25, 859.
- [7] Bosak W., *Produkcja win gronowych w małym gospodarstwie, część 1. Poprawa jakości win białych*, Polski Instytut Winorośli i Wina, Kraków, 2008.
- [8] Bulliner E.A., Koziel J.A., Cai L.S., Wright D., *Characterization of livestock odors using steel plates, solid-phase microextraction, and multidimensional GC-MS-O*, JAWMA, 56 (2006), 1391–1403.
- [9] Cai L.S., Koziel J.A., Lo Y.C., Hoff S.J., *Characterization of volatile organic compounds and odorants associated with swine barn PM using SPME and GC-MS-O*, J. Chromatogr., A, 2006, 1102, 60–72.
- [10] Cai L., Koziel J.A., Davis J., Lo Y.C., Xin H., *Characterization of VOCs and odors by in vivo sampling of beef cattle rumen gas using SPME and GC-MS-olfactometry*, Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2006, 386(6), 1791–1802.
- [11] Cai L., Koziel J.A., Nguyen A.T., Liang Y., Xin H., *Evaluation of zeolite for control of odorants emissions from simulated poultry manure storage*, Journal of Environmental Quality, 2007a, 36(1), 184–193.
- [12] Cai L., Koziel J.A., O’Neal M.E., *Determination of characteristic odorants from Harmonia axyridis beetles using in vivo solid-phase microextraction and multidimensional gas chromatography – mass spectrometry – olfactometry*, Journal of Chromatography, A, 2007b, 1147, 66–78.
- [13] Chen L., Hoff S., Cai L., Koziel J.A., Zelle B., *Evaluation of wood chip-based biofilters to reduce odor, hydrogen sulfide, and ammonia from swine barn ventilation air*, Journal of the Air & Waste Management Association, 2009, 59, 520–530.
- [14] Cervinka R., Neudorfer E., *Odour control at a municipal sewage collector: psychological perspectives*, Environmental Odour Management, Köln, 2004.
- [15] Dalton P., *Upper airway irritation, odor perception and health risk due to airborne chemicals*, Toxicology Letters, 2003, 140–141, 239–248.
- [16] Derengiewicz W., *Technologia serów miękkich*, Oficyna Wydawnicza HOŻA, 1997.

- [17] Domański W., Surgiewicz J., *Zagrożenia chemiczne w zakładach garbarskich*, Przemysł chemiczny, 5/2003.
- [18] Elbir T., *A GIS based decision support system for estimation, visualization and analysis of air pollution for large Turkish cities*, Atmospheric Environment, 2004, 38, 4509–4517.
- [19] Elbir T., Mangir N., Kara M., Simsir S., Eren T., Ozdemir S., *Development of a GIS-based decision support system for urban air quality management in the city of Istanbul*, Atmospheric Environment, 2010, 44, 441–454.
- [20] Frechen F.B., Frey M., Wett M., Loeser C., *Aerodynamic performance of a low speed wind tunnel*, Wat. Sci. Tech., 2004, 50, 57.
- [21] Freeman T., Cudmore R., *Review of Odour Management in New Zealand*, Air Quality Technical Report No 24, New Zealand Ministry of Environment, Wellington, New Zealand, 2002.
- [22] Gallego E., Soriano C., Roca F.X., Perales J.F., Alarcon M., Guardino X., *Identification of the origin of odour episodes through social participation, chemical control and numerical modelling*, Atmospheric Environment, 2008, 42, 8150–8160.
- [23] Gostelow P., Longhurst P., Parsons S.A., Stuez R.M., *Sampling for measurements of odours*, Scientific and Technical Report No 17, IWA Publishing, London, 2004.
- [24] Griep M.I., Mets T.F., Collys K., Volgelaere P., Laska M., Massrt D.L., *Odour perception in relation to age, general health, anthropometry and dental state*, Archives of Gerontology and Geriatrics, 1997, 25, 263–275.
- [25] Greła E., Czech A., Semeniuk W., *Żywniowe metody ograniczania wydalania azotu do środowiska podczas chowu trzody chlewnej*, [w:] *Współczesna problematyka odorów*, M.I. Szyrkowska, J. Zwoździak (red.), WNT, Warszawa, 2010, 383–407.
- [26] Guz Ł., Sobczuk H., Wasąg H., *Urządzenie do oznaczania zawartości zapachowych substancji chemicznych w powietrzu*, Przemysł Chemiczny, 5/2009, 446–449.
- [27] Guz Ł., Sobczuk H., Suchorab Z., *Pomiar odorów za pomocą przenośnego miernika z matrycą półprzewodnikowych czujników gazu*, Przemysł Chemiczny, 2010, 89/4, 378–381.
- [28] Haas T., Schulze-Lammers P., Diekmann B., Horner G., Boeker P., *A method for online measurement of odour with a chemosensor system*, Sensors and Actuators, B, 2008, 132, 545–550.
- [29] Haubensack G., *Wie entsteht der Hauefigkeitseffekt in absoluten Urteilen? Ein Betrag zur Theorie des Urteilens*, Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 1994, 41, 3, 378–397.
- [30] Hangartner M., *Approach to odor nuisance evaluation in Switzerland*, Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales, Istanbul, 2005.
- [31] Henshaw P., Nicell J., Sikdar A., *Parameters for the assessment of odour impacts on communities*, Atmospheric Environment, 2006, 40, 1016–1029.
- [32] Hong J.H., Pang K.J., *Compost biofiltration of ammonia gas from bin composting*, Bioresource Technology, 2005, Vol. 96, Issue 6, 741–745.
- [33] Hudson N., Bell K., McGahan E., Lowe S., Galvin G., Casey K., *Odour emissions from anaerobic piggery ponds. 2. Improving estimates of emission rate through recognition of spatial variability*, Bioresource Technology, 2007, 98, 1888–1897.
- [34] Intarakosit E., Ramirez M., *GIS-Based modeling of odor dispersion from biosolids reuse sites*, Materiały konferencyjne, ESRI International User Conference Proceedings, San Diego, California, 2007.
- [35] Janicke L., Hartmann U., *Estimation Of Odour Emissions From Field Inspections (ESOFIN) and a screening Model For Odour Dispersion (SMOD)*, 11th conference on Harmonization was held in July 2007, Cambridge, UK, 2007.
- [36] Jehlickova B., Longhurst P., Drew G.H., *Assessing effects of odour: a critical review of assessing annoyance and impact on amenity*, IWA Conference, Barcelona, 2008.
- [37] Jiang J., Kaye R., *Sampling techniques for odour measurements*, IWA Publishing, 2001, 95.



- [38] Kasztelen A., *Oddziaływanie przemysłu spożywczego na środowisko naturalne*, Przemysł Spożywczy, 2008, 10.
- [39] Korczyński M., Opaliński S., Kołacz R., Dobrzański Z., Gbiorczyk W., Szoltysik M., *Chemiczne i biotechnologiczne preparaty do ściółki, pomiotu i gnojowicy ograniczające emisję odorów i gazów toksycznych „u źródła”*, [w:] *Współczesna problematyka odorów*, M.I. Szyrkowska, J. Zwoździak (red.), WNT, Warszawa, 2010, 452–475.
- [40] Kośmider J., Mazur-Chrzanowska B., Wyszyński B., *Odory*, PWN, Warszawa, 2002.
- [41] Kośmider J., *Uciążliwość zapachowa. Metodyka terenowych oznaczeń stężenia odorów w powietrzu na przykładzie fermy norek*, Archiwum Ochrony Środowiska, 1998, 1–2, 19–32.
- [42] Kośmider J., *Ograniczanie emisji odorów. Proponowane procedury licencyjne i kontrolno-pomiarowe*, Materiały seminaryjne, Wyd. Ekochem, Szczecin, 1997.
- [43] Kowalski Z., Banach M., Powalka E., *Zastosowanie płynów dezynfekcyjnych z dodatkami nanosrebra w przemyśle mięsnym celem ograniczenia odorów*, Przemysł Chemiczny, 2009, 88/5, 478–482.
- [44] Kowalski Z., Smuła R., Banach M., Makara A., *Eliminacja i ograniczenie emisji odorów w przemyśle mięsnym za pomocą preparatów dezynfekujących zawierających związki nanosrebra*, [w:] *Współczesna problematyka odorów*, M.J. Szyrkowska, J. Zwoździak (red.), WNT, Warszawa, 2010, rozdz. 14, 327–358.
- [45] Kowalski Z., Makara A., Banach M., Kowalski M., *Zastosowanie preparatów nanosrebra do oczyszczania powietrza z instalacji klimatyzacyjnej zakładów mięsnych*, Przemysł Chemiczny, 2010, 89/4, 434–437.
- [46] Krysiak M., Mikołajczyk M., Molińska U., Nych A., *Badania ankietowe i analiza skarg ludności jako metody oceny jakości zapachowej powietrza*, VII Konferencja Naukowa Studentów, tom 1, 49–53, Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław, 2009.
- [47] Kruszelnicka I., *Olfaktometria dynamiczna – metoda oznaczania stężenia substancji zapachowych*, Ekologia Przemysłowa, 2008, 2, 54.
- [48] Koziel J.A., Cai L.S., Wright D.W., Hoff S.J., *Solid-phase microextraction as a novel air sampling technology for improved, GC-olfactometry-based assessment of livestock odors*, J. Chromatograph. Sci., 2006, 44, 451–457.
- [49] Kulig A., Rutkowski J., *Dezodoryzacja obiektów gospodarki komunalnej cz. 1*, Przegląd Komunalny, 2005, 10.
- [50] Kulig A., Sinicyń G., Czyżkowski B., Lelicińska-Serafin K., Heidrich Z., Podedworna J., *Identification and survey of the sources of potential olfactory impact in municipal management in Poland*, Chemistry for Agriculture, 2008, 9, 549–563.
- [51] Kulig A., Lelicińska-Serafin K., Podedworna J., Sinicyń G., Heidrich Z., Czyżkowski B., *Inwentaryzacja źródeł odorantów w gospodarce ściekowej i odpadowej w Polsce oraz ocena ich uciążliwości na podstawie badań ankietowych*, Przemysł Chemiczny, 2009, 88 (5), 484–492.
- [52] Kulig A., Lelicińska-Serafin K., Podedworna J., Sinicyń G., Heidrich Z., Czyżkowski B., *Charakterystyka i ocena oddziaływania zapachowego źródeł odorantów w gospodarce ściekowej i odpadowej w Polsce na podstawie badań ankietowych*, Chemik, 2009, 11, 414–420.
- [53] Kuśmierk E., Chrześcijańska E., Szyrkowska M.I., Kowalczyk Ł., Góralski J., Paryjczak T., *Fotokatalityczne unieszkodliwianie odorów – amoniak*, Chemik, 2009, 11, 407.
- [54] Laudien J.H., Wencker S., Ferstl R., Pause B., *Context effects on odor processing: An event-related potential study*, NeuroImage, 2008, 41, 1426–1436.
- [55] Leonardos G., *Review of odor control regulations in the USA*, in *Odors, Indoor and Environmental Air*, Proceedings of a Specialty Conference of the Air and Waste Management Association, Bloomington, MN, 1995, 73–84.
- [56] Lo Y.C.M., Koziel J.A., Cai L.S., Hoff S.J., Jenks W.S., Xin H.W., *Simultaneous chemical and sensory characterization of VOCs/semi-VOCs emitted from swine manure using SPME-GC-MS-O*, JEQ, 2008, 37, 521–534.

- [57] Mahin T.D., *Comparison of different approaches used to regulate odors around the world*, Water Science and Technology, 2001, 44, 9, 87–102.
- [58] Makles Z., Galwas-Zakrzewska M., *Złowne gazy w środowisku pracy*, Bezpieczeństwo Pracy, 2005, 9.
- [59] Micone P.G., Guy C., *Odour quantification by a sensor array: An application to landfill gas odours from two different municipal waste treatment Works*, Sensors and Actuators, B, 2007, 120, 628–637.
- [60] Millot J-L., Brand G., Mornad N., *Effects of ambient odours on reaction time in humans*, Neuroscience Letters, 2002, 322, 79–82.
- [61] Ministry for the Environment, *Good Practice Guide for Assessing and Managing Odour in New Zealand*, Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand, 2003.
- [62] Ministry for the Environment, *Review of Odour Management in New Zealand: Technical Report. Air quality technical report No 24*. Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand, 2002.
- [63] Munoz R., Sivret E.C., Parcsi G., Lebrero R., Wang X., Suffet I.H., Stuetz R.M., *Monitoring Techniques for Odour Abatement Assessment Water Research*, In Press, Accepted Manuscript, Available online, 2010.
- [64] Mussio P., Gnyp A.W., Henshaw P.F., *A fluctuating plume dispersion model for the prediction of odour-impact frequencies from continuous stationary sources*, Atmospheric Environment, 2001, 35, 2955–2962.
- [65] *Najlepsze Dostępne Techniki (BAT) – wytyczne dla przemysłu piwowarskiego*, Ministerstwo Środowiska, kwiecień 2005.
- [66] *Najlepsze Dostępne Techniki (BAT) – wytyczne dla branży mleczarskiej*, Ministerstwo Środowiska, kwiecień 2005.
- [67] *Najlepsze dostępne techniki (BAT) – wytyczne dla branży spożywczej: owocowo-warzywnej*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, listopad 2004.
- [68] *Najlepsze dostępne techniki (BAT) – wytyczne dla przemysłu garbarskiego*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, luty 2003.
- [69] Nike A., Dubreuil B., Raynaud C., Talou T., *Outdoor in situ monitoring of volatile emissions from wastewater treatment plants with two portable technologies of electronic noses*, Sensors and Actuators, B, 2005, 106, 36–39.
- [70] Nemecek J., Wehrli B., Turrian V., *Effects of the noise of street traffic in Switzerland. A review of 4 surveys*, J. Sound & Vibration, 1981, 78, 2, 223–234.
- [71] Neumann M., *Modelowanie jakości zapachowej powietrza atmosferycznego*, Przegląd Komunalny, 2005, t. 11, nr 170, 114–118.
- [72] Nicell J., *Assessment and regulation of odour impacts*, Atmospheric Environment, 2009, 43, 196–206.
- [73] Nicolas J., Craffea F., Romaina A.C., *Estimation of odor emission rate from landfill areas using the sniffing team method*, Waste Management, 2006, 26, 11, 1259–1269.
- [74] Nicell J., *Assessment and regulation of odour impacts*, Atmospheric Environment, 2009, 43, 196–206.
- [75] Opaliński S., Korczyński M., Szoltyś M., Kołacz R., Dobrzański Z., Gbiorczyk W., *Zastosowanie sorbentów mineralnych i huminowych do aerofiltracji powietrza zanieczyszczonego substancjami odorotwórczymi*, [w:] *Współczesna problematyka odorów*, M.I. Szyrkowska, J. Zwoździak (red.), 2010, 269–288.
- [76] Pan L., Yang S.X., *A new intelligent electronic nose system for measuring and analysing livestock and poultry farm odours*, Environ. Monit. Assess., 2007, 135, 399–408.
- [77] Parducci A., Wedell D.H., *The category effect with rating scales: number and categories, number of stimuli, and method of presentation*, J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform., 1986, 12, 496–516
- [78] Paryam D.R., Pilgrim F.J., *Hedonic scale method of measuring food preferences*, Food Technology, Symposium, September 1957, 9–14.

- [79] Peng Ch.-Yu, Lan Ch-H., Wu T-J., *Investigation of indoor chemical pollutants and perceived odor in area with complaints of unpleasant odors*, Building and Environment, 2009, 44, 2106–2113.
- [80] Persz T., *Technologia wyprawy skór, część I*, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1977.
- [81] PN-EN 13725 *Jakość powietrza. Oznaczenie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej*, 2007.
- [82] Piringer M., Schauburger G., *Comparison of a Gaussian diffusion model with guidelines for calculating the separation distance between livestock farming and residential areas to avoid odour annoyance*, Atmospheric, 1999, Vol. 33, 2219–2228.
- [83] Projekt ustawy *Ustawa o przeciwdziałaniu uciążliwości zapachowej*, 2009.
- [84] Radon K., Peters A., Praml G., Ehrenstein V., Sshulze A., Hehl O., Nowak D., *Livestock odours and quality of life of neighbouring residents*, Ann. Agric. Environ. Med., 2004, 11, 59–62.
- [85] Rapiejko P., *Zmysł węchu, Klinika Otolaryngologii*, Wojskowy Instytut Medyczny w Warszawie, Warszawa, 2006.
- [86] Richter C.J., Frechen F.B., *Sampling for olfactometric measurement: The New VDI guideline 3880*, IWA Conference on Odour and VOC's, Barcelona, 2008.
- [87] Romaina A.-C., Delva J., Nicolas J., *Complementary approaches to measure environmental odours emitted by landfill areas*, Sensors and Actuators, B, Chemical, 2008, 131, 1, 14, 18–23.
- [88] Rosenkranz H.S., Cunningham A.R., *Environmental odors and health hazards*, The Science of total Environment, 2003, 313, 15–24.
- [89] Rousseille F., Senante E., Venot S., *Use of dispersion modelling for the design and operation of wastewater and composting plants*, IWA Conference, Barcelona, 2008.
- [90] Rumianowska I., *Rynek wyrobów tytoniowych w Polsce i na świecie*, Poradnik Handlowca, 2002, 08, 114.
- [91] Rutkowski J., Kośmider J., Szklarczyk M., *Substancje odorotwórcze w środowisku*, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 1995.
- [92] Schauburger G., Piringer M., Petz E., *Separation distance to avoid odour nuisance due to livestock calculated by the Austrian odour dispersion model*, AODM, 2001, 87, 13–28.
- [93] Seremak-Bulge J., *Przetwórstwo mleka, Informacja dla przetwórców*, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej; Fundacja Fundusz Współpracy, Biuro Programów Wiejskich, Warszawa, Kwiecień 2005.
- [94] Shusterman, D., *Critical review: The health significance of environmental odor pollution*, Archives of Environmental Health, 1992, 47 (1), 76–87.
- [95] Sironi S., Capelli L., Centola P., Del Rosso R., Il Grande M., *Odour emission factor for assessment and prediction of Italian MSW landfills odour impact*, Atmospheric Environment, 2005, 39, 5387–5394.
- [96] Sironi S., Capelli L., Centola P., Rosso R.D., *Continuous monitoring of odours from a composting plant using electronic noses*, Waste Management, 2007, 27, 389–397.
- [97] Sironi S., Capelli L., Centola P., Rosso R.D., Pierucci S., *Odour impact assessment by means of dynamic olfactometry, dispersion modelling and social participation*, Atmospheric Environment, 2010, 44, 3, 354–360.
- [98] Sobczuk H., Guz Ł., Czerwiński J., *Instrumentalne metody w pomiarach zapachowych*, [w:] *Współczesna problematyka odorów*, M.I. Szykowska, J. Zwoździak (red.), WNT, Warszawa, 2010, 112–137.
- [99] Sobczuk H., Guz Ł., Wasąg H., *Czujniki tlenkowe w pomiarach zapachowych powietrza*, Chemik, 2009, 11, 440–443.
- [100] Sohna J.H., Hudson N., Gallagher E., Dunlop M., Zeller L., Atzeni M., *Implementation of an electronic nose for continuous odour monitoring in a poultry shed*, Sensors and Actuators, B, 2008, 133, 60–69.

- [101] Sówka I., Nych A., Zwoździak J., Szklarczyk M., *Zastosowanie badań ankietowych do oceny zapachowej jakości powietrza, Polska inżynieria środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*, tom 1, pod red. J. Ozonka, M. Pawłowskiej, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Lublin, 2009, 299–303.
- [102] Sówka I., Zwoździak J., Nych A., Szklarczyk M., Skrętowicz M., Zwoździak P., *Ocena uciążliwości zapachowej wybranego źródła przemysłowego na podstawie badań ankietowych*, Chemik, 2009, 11, 400–402.
- [103] Sówka I., Zwoździak J., Szklarczyk M., Nych A., Skrętowicz M., *Charakterystyka wybranych metod badań terenowych stosowanych w ocenie zapachowej jakości powietrza wokół obiektów przemysłowych*, [w:] *Współczesna problematyka odorów*, M.I. Szynkowska, J. Zwoździak (red.), WNT, Warszawa, 2010, 86–111.
- [104] Sówka I., Skrętowicz M., Nych A., Zwoździak P., Zwoździak J., *Zastosowanie metod geostatystycznych do interpolacji intensywności zapachów emitowanych z zakładów przemysłowych*, Przemysł Chemiczny, 2011, t. 90, nr 5, 174–178.
- [105] Sówka I., Skrętowicz M., Szklarczyk M., Zwoździak J., *Evaluation of nuisance of odour from food industry*, Environment Protection Engineering, 2011, Vol. 37, nr 1, 5–12.
- [106] Sówka I., *Ocena zasięgu oddziaływania zapachowego zakładu przemysłowego na przykładzie wybranej cukrowni*, Ochrona Środowiska, 2011, Vol. 33, No. 1, 31–34.
- [107] Sówka I., Zwoździak J., Szklarczyk M., Świetlik J., Zwoździak P., Nych A., Skrętowicz M., *Metody poboru próbek odorotwórczych gazów oraz pomiaru stężenia zapachowego*, Zeszyty Problematyczne Postępów Nauk Rolniczych, 2010, z. 547, 311–318.
- [108] Sówka I., *Assessment of air quality in terms of odour according to selected european guidelines: grid and plume measurements*, Environment Protection Engineering, 2010, Vol. 36, nr 2, 133–141.
- [109] Sówka I., Zwoździak J., Nych A., Szklarczyk M., Skrętowicz M., Zwoździak P., *Zastosowanie badań ankietowych do określenia uciążliwości zapachowej na terenach przyległych do przemysłowych źródeł emisji odorów*, Przemysł Chemiczny, 2010, t. 89, nr 4, 546–549.
- [110] Sówka I., *Metody oceny zapachowej jakości powietrza w świetle wytycznych europejskich: ustne badania ankietowe*, Przemysł Chemiczny, 2010, t. 89, nr 4, 543–545.
- [111] Sówka I., Nych A., Zwoździak J., Szklarczyk M., *Zastosowanie badań ankietowych do oceny zapachowej jakości powietrza*, [w:] *Polska inżynieria środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*, t. 1, pod red. J. Ozonka, M. Pawłowskiej, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Lublin, 2009, 299–303.
- [112] Sówka I., Szklarczyk M., Zwoździak J., Zwoździak P., Nych A., *Charakterystyka metod poboru gazów odorotwórczych w świetle przepisów europejskich*, Przemysł Chemiczny, 2009, t. 88, nr 5, 571–573.
- [113] Sucker K., Both R., Bischoff M., Winneke G., *Review of adverse health effects of odours in field studies*, IWA Conference, Barcelona, 2008.
- [114] Sykes R.I., Gabruk R.S., *A second-order closure model for the effect of averaging time on turbulent plume dispersion*, Journal of Applied Meteorology, 1997, 36, 1038–1045.
- [115] Szklarczyk M., *Metody pomiaru stężenia zapachu*, Przegląd komunalny, 2005, 11, 111.
- [116] Szklarczyk M., Zwoździak J., Sówka I., *Przemysłowe źródła emisji zapachów*, [w:] *Współczesna problematyka odorów*, M.I. Szynkowska, J. Zwoździak (red.), WNT, Warszawa, 2010, 54–84.
- [117] Szklarczyk M., Zwoździak J., Sówka I., *Przemysłowe źródła emisji zapachów*, rozdz. 3, Monografia WNT, pt. *Współczesna problematyka odorów*, 2010.
- [118] Szynkowska M.I., Wojciechowska E., Węglińska A., *Katalizatory stosowane w reakcji utlenienia związków zlononnych*, Przemysł Chemiczny, 2008, 87(8), 834–843.
- [119] Tudu B., Jana A., Metla A., *Electronic nose for black tea quality evaluation by an incremental RBF network*, Sensors and Actuators, B, Chemical, 2009.

- [120] Tymczyna L., Chmielowiec-Korzeniowska A., Drabik A., Raczyńska J., *Redukcja mikrobiologicznych zanieczyszczeń powietrza emitowanego z chlewni bezściolowej przy zastosowaniu różnych źródeł biofiltracyjnych*, [w:] *Współczesna problematyka odorów*, M.I. Szykowska, J. Zwoździak (red.), WNT, Warszawa, 2010, 255–267.
- [121] Vance E., *What is that smell?*, Nature, 2008, 455, 726–728.
- [122] Valli L., Immovilli A., *Measurements of odour annoyance by integrated assessment methodologies*, International Conference on Environmental Odour Monitoring and Control NOSE, Rome, 2008.
- [123] VDI 3882 Part 1. *Olfactometry – determination of odour intensity*, 1992.
- [124] VDI 3882 Part 2. *Olfactometry – Determination of hedonic odour tone*, 1994.
- [125] VDI 3880 Draft. *Olfactometry – Static sampling*, Berlin, Beuth Verlag, 2009.
- [126] VDI 3883, Part I. *Effects and assessment of odours. Psychometric assessment of odour annoyance*, Questionnaires, Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, Beuth Verlag, 1997.
- [127] VDI 3883, Part II, *Effects and assessment of odours. Determination of annoyance parameters by questioning*. Repeated brief questioning of neighbour panelists, Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, Beuth Verlag, 1997.
- [128] VDI 3940, *Determination of odorants in ambient air by field inspections*. Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, Beuth Verlag, 1993.
- [129] VDI 3940 B.1, *Measurement of odour impact by field inspection – Measurement of the impact frequency of recognizable odours – Grid measurement*, Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, Beuth Verlag, 2006.
- [130] VDI 3940 B.2, *Measurement of odour impact by field inspection – Measurement of the impact frequency of recognizable odours – Plume measurement*, Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, Beuth Verlag, 2006.
- [131] VDI 3940 B.3 (Draft), *Measurement of odour in ambient air by field inspections – Determination of odour intensity and hedonic odour tone*, Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, Beuth Verlag, 2008.
- [132] VDI 3940 B.4 (Draft), *Determination of the hedonic odour tone – Polarity profiles*, Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, Beuth Verlag, 2008.
- [133] VDI 4285 Sheet 2:2006–09: *Determination of diffusive emissions by measurements – Industrial halls and livestock farming*. Berlin, Beuth Verlag, 2006.
- [134] Wang L., Parker D.B., Parnell C.B., Lacey R.E., Shaw B.W., *Comparison of CALPUFF and ISCST3 models for predicting downwind odor and source emission rates*, Atmospheric Environment, 2006, 40, 4663–4669.
- [135] Winneke G., Harkort W., Ratzki E., Steinheider B., *Zusammenhänge zwischen Geruchshäufigkeit und Belastungsgrad*, [w:] *Schriftenreihe der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft*, Dusseldorf, 1990, 12, 63/67.
- [136] Zhang S., Cai L., Koziel J.A., Hoff S.J., Schmidt D.R., Clanton Ch.J., Jacobson L.D., Parker D.B., Heber A.J., *Field air sampling and simultaneous chemical and sensory analysis of livestock odorants with sorbent tubes and GC–MS/olfactometry*, Sensors and Actuators, B, Chemical, 2010, Vol. 146, Issue 2, 29, 427–432.
- [137] Zwoździak J., Sówka I., Szklarczyk M., *Identyfikacja stężenia zapachowego przy zastosowaniu olfaktometrii dynamicznej*, [w:] *Lucerna w żywieniu ludzi i zwierząt. Nowe możliwości zastosowania ekstraktu z liści lucerny* (pod red. E. Greli), Wydawnictwo Progress, 2010, 157–162.
- [138] Zwoździak J., Oborska-Kumaszyńska D., Pater K., *Ocena wpływu jakości środowiska na stan zdrowia ludzi w oparciu o modele wielokryterialnej analizy statystycznej*, Medycyna Środowiskowa, 2006, t. 9, nr 1, 27–37.
- [139] Zwoździak J., Waławska B., *Źródła oraz metodyka szacowania wielkości emisji zanieczyszczeń*, Chemik, 2008, R. 61, nr 3, 146–149.

## **Methods of identification of odour gases emitted from industrial plants**

This paper proposes and presents research methodology aimed at identification of a group of industrial sources/odour emission sources and an assessment of their olfactory impact on humans. The paper proposes methodology of identification of industrial odour emission sources in terms of quantity, space and quality. Identification methods of odour emission sources depending on the type/nature of the emission sources as well as methods aimed at odour nuisance assessment were developed. Complementary to our analysis and discussion are the results of olfactometric and field research as well as model tests, on the basis of which the range of applicability of selected methods in the olfactory assessment of industrial odour emission sources was defined. Finally, using these methods, it is possible to determine, for example, total odour emission from industrial plant, the range of the source's olfactory impact, odour concentration at the receptor point, frequency of odour presence in selected area and the level of odour nuisance as well as the influence of odours on the quality of life of the people living in areas adjacent to the industrial odorous gases emission source being analyzed.

## Spis treści

|   |    |
|---|----|
| 1. Wstęp .....  | 6  |
| 2. Cechy zapachu .....  | 11 |
| 2.1. Percepcja zapachów .....   | 11 |
| 2.2. Czynniki decydujące o wpływie odorów na organizm ludzki i otoczenie .....                              | 12 |
| 2.3. Uciążliwość zapachowa .....  | 13 |
| 2.4. Stężenie zapachu .....   | 15 |
| 2.5. Intensywność zapachu .....   | 17 |
| 2.6. Jakość hedoniczna .....  | 19 |
| 3. Identyfikacja obiektów przemysłowych będących potencjalnym źródłem emisji odorów .....                   | 21 |
| 3.1. Metody ilościowej identyfikacji przemysłowych źródeł emisji odorów .....                               | 21 |
| 3.1.1. Analiza skarg ludności .....   | 21 |
| 3.1.2. Analiza danych Głównego Urzędu Statystycznego .....  | 23 |
| 3.2. Przestrzenna identyfikacja przemysłowych źródeł emisji odorów .....                                    | 25 |
| 3.3. Jakościowa identyfikacja przemysłowych źródeł emisji odorów .....                                      | 28 |
| 3.3.1. Produkcja wyrobów mięsnych .....   | 28 |
| 3.3.2. Przetwórstwo ryb i rybich odpadów .....  | 31 |
| 3.3.3. Produkcja olejów roślinnych .....  | 32 |
| 3.3.4. Produkcja piwa .....   | 33 |
| 3.3.5. Destylowanie, rektyfikowanie i mieszanie alkoholi .....  | 34 |
| 3.3.6. Produkcja win gronowych .....  | 35 |
| 3.3.7. Produkcja soków z owoców i warzyw oraz pozostałe przetwarzanie i konserwowanie owoców i warzyw ..... | 35 |
| 3.3.8. Produkcja cukru .....  | 36 |
| 3.3.9. Produkcja mleka i wyrób serów .....  | 37 |
| 3.3.10. Produkcja wyrobów tytoniowych .....   | 38 |
| 3.3.11. Produkcja skór .....  | 39 |
| 3.3.13. Produkcja kakao .....   | 40 |
| 3.3.14. Przetwórstwo herbaty i kawy .....   | 40 |
| 3.3.15. Produkcja sucharów i herbatników, produkcja konserwowanych wyrobów ciastkarskich i ciastek .....    | 41 |
| 3.3.16. Produkcja przypraw .....  | 42 |
| 4. Metody zapachowej oceny przemysłowych źródeł emisji odorów .....   | 43 |
| 4.1. Metody poboru próbek .....   | 44 |
| 4.1.1. Pobór próbek ze źródeł punktowych .....  | 45 |
| 4.1.2. Pobór próbek ze źródeł powierzchniowych .....  | 46 |
| 4.1.3. Pobór próbek ze źródeł objętościowych .....  | 48 |
| 4.2. Metody identyfikacji odorów u źródła emisji .....  | 49 |

|  |    |
|--|----|
| 4.3. Określenie emisji zapachu ze źródła przemysłowego ..... | 55 |
| 4.4. Badania modelowe .....                                  | 57 |
| 4.5. Pomiary terenowe .....                                  | 63 |
| 4.5.1. Badania ankietowe .....                               | 63 |
| 4.5.2. Badania terenowe .....                                | 69 |
| Podsumowanie .....   | 76 |
| Literatura .....   | 79 |
| Streszczenie w języku angielskim .....                       | 86 |



# Contents

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....   | 6  |
| 2. Odour characteristics .....  | 11 |
| 2.1. Perception of smell .....  | 11 |
| 2.2. Factors influencing the impact of odours on human body and environment .....                           | 12 |
| 2.3. Odour nuisance .....   | 13 |
| 2.4. Odour concentration .....  | 15 |
| 2.5. Odour intensity .....  | 17 |
| 2.6. Hedonic tone .....   | 19 |
| 3. Identification of industrial plants that are a potential source of odour emission .....                  | 21 |
| 3.1. Methods of quantitative identification of industrial odour emission sources .....                      | 21 |
| 3.1.1. Analysis of civil complaints .....   | 21 |
| 3.1.2. Analysis of data collected by the Central Statistical Office .....                                   | 23 |
| 3.2. Spatial identification of industrial odour emission sources .....                                      | 25 |
| 3.3. Qualitative identification of industrial odour emission sources .....                                  | 28 |
| 3.3.1. Meat production facilities .....   | 28 |
| 3.3.2. Fish and fish waste processing .....   | 31 |
| 3.3.3. Vegetable oil production .....   | 32 |
| 3.3.4. Beer production .....  | 33 |
| 3.3.5. Distilling, rectifying and blending of spirits .....   | 34 |
| 3.3.6. Manufacture of wines .....   | 35 |
| 3.3.7. Fruit and vegetable juice production and other fruit and vegetable processing and preservation ..... | 35 |
| 3.3.8. Sugar production .....   | 36 |
| 3.3.9. Dairy and cheese production .....  | 37 |
| 3.3.10. Manufacture of tobacco products .....   | 38 |
| 3.3.11. Leather production .....  | 39 |
| 3.3.13. Cocoa production .....  | 40 |
| 3.3.14. Tea and coffee processing .....   | 40 |
| 3.3.15. Rusk and biscuit production, preserved pastry and cake production .....                             | 41 |
| 3.3.16. Production of spices .....  | 42 |
| 4. Methods of olfactory assessment of industrial odour emission sources .....                               | 43 |
| 4.1. Odour sampling methods .....   | 44 |
| 4.1.1. Sampling from point sources .....  | 45 |
| 4.1.2. Sampling from area sources .....   | 46 |
| 4.1.3. Sampling from volume sources .....   | 48 |
| 4.2. Odour identification methods at emission source .....  | 49 |
| 4.3. Determination of odour emission from industrial source .....   | 55 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 4.4. Model investigations ..... | 57 |
| 4.5. Field measurements .....   | 63 |
| 4.5.1. Survey research .....    | 63 |
| 4.5.2. Field inspections .....  | 69 |
| Summary .....                   | 76 |
| Literature .....                | 79 |
| Summary in English .....        | 86 |