



Ministerstwo  
Klimatu i Środowiska

---

## **WYTYCZNE DOTYCZĄCE OCENY STABILNOŚCI POZIOMÓW EMISJI W ASPEKCIE OGRANICZENIA CZĘSTOTLIWOŚCI WYKONYWANIA POMIARÓW.**

**Autor: dr hab. inż. Piotr Burmistrz**



Narodowy Fundusz  
Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

**Sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej pochodzących z opłat rejestracyjnych, na zamówienie Ministerstwa Klimatu i Środowiska.**



## Spis treści

1. Wstęp .....	3
1.1. Podstawa opracowania .....	3
1.2. Przedmiot i zakres opracowania .....	3
2. Monitorowanie wielkości dopuszczalnej emisji w prawie krajowym i w konkluzjach BAT .....	5
2.1. Istotne kwestie interpretacyjne .....	7
3. Zapisy dotyczące stabilności poziomów emisji w konkluzjach BAT .....	9
4. Jak rozumieć stabilność poziomów emisji .....	12
4.1. Wstęp statystyczny .....	12
4.2. Kryterium (kryteria) stabilności poziomów emisji .....	15
5. Podejście do stabilności poziomów emisji w innych krajach Unii Europejskiej .....	17
5.1. Opis podejścia niemieckiego .....	17
5.2. Opis podejścia flamandzkiego .....	25
5.2.1. Zestaw wyników pomiarów emisji uwzględnianych w analizie .....	26
5.2.2. Wybór parametrów statystycznych do oceny zmienności wielkości emisji .....	27
5.2.3. Wybór procedury weryfikującej stabilność poziomów emisji .....	28
5.2.4. Zasady określające wielkość obniżenia częstotliwości pomiarów emisji .....	29
6. Ocena poziomów stabilności emisji .....	31
6.1. Opis zastosowanych instrumentów statystycznych .....	31
6.2. Opis algorytmu oceny stabilności emisji .....	33
6.2.1. Wymagania dotyczące wyników pomiarów do analizy .....	37
6.2.2. Procedura postępowania .....	37
6.2.3. Decyzja o zmniejszeniu częstotliwości monitorowania .....	38
6.2.4. Analiza ryzyka związanego ze zmniejszeniem częstotliwości monitorowania .....	41
6.2.5. Analiza przypadku .....	41
6.3. Opis arkusza kalkulacyjnego do oceny stabilności poziomów emisji .....	43
7. Słowniczek terminów statystycznych .....	47
Literatura .....	49

## 1. Wstęp

Zgodnie z art. 204 ust. 1 ustawy z 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2022 r. poz. 2556 i 2687) (dalej Poś), instalacje wymagające pozwolenia zintegrowanego spełniają wymagania ochrony środowiska wynikające z najlepszych dostępnych technik (BAT – *Best Available Techniques*), a w szczególności nie mogą powodować przekroczenia granicznych wielkości emisyjnych (tzw. BAT-AELs – *Emission Levels Associated with BAT*). Ponadto jak wskazano w art. 211 ust. 5 ustawy Poś, w pozwoleniu zintegrowanym określa się – dla instalacji wymagających uzyskania takiego pozwolenia – zakres i sposób monitorowania wielkości emisji zgodny z wymaganiami określonymi w konkluzjach BAT.

Monitoring wielkości dopuszczalnej emisji określany w pozwoleniu zintegrowanym powinien odpowiadać wymaganiom w tym zakresie znajdującym się w konkluzjach BAT. W myśl obowiązujących przepisów brak jest możliwości uzyskania odstępstw od tego wymogu. Dlatego prowadzący instalację starają się korzystać z przypisów dodawanych do tabel określających podstawowe wymagania pomiarowe, które pozwalają pod pewnymi warunkami m.in. ograniczać częstotliwość wykonywanych pomiarów. Jednym z najczęściej wykorzystywanych i pojawiającym się w większości konkluzji BAT przypisów jest ten wskazujący, że częstotliwość pomiarów można ograniczyć w przypadku udowodnienia, że poziomy emisji są wystarczająco stabilne. Dokładne brzmienie różni się w szczegółach pomiędzy poszczególnymi decyzjami wykonawczymi.

Praktyczne zastosowanie powyższej reguły budzi wątpliwości związane z oceną, czy poziomy emisji z danej instalacji lub pojedynczego źródła są wystarczająco stabilne. Wynika to m.in. z faktu, że kryteria oceny stabilności emisji nie zostały jednoznacznie zdefiniowane, w tym również w konkluzjach BAT. W związku z tym Departament Instrumentów Środowiskowych w Ministerstwie Klimatu i Środowiska zlecił opracowanie wytycznych skierowanych do organów ochrony środowiska oraz prowadzących instalacje, mających na celu usprawnienie procesu decyzyjnego, związanego z oceną stabilności poziomów emisji. Końcowym efektem tej oceny będzie podjęcie decyzji, czy uzasadnione jest ograniczenie częstotliwości wykonywanych pomiarów, w tym odstąpienia od monitoringu ciągłego na rzecz pomiarów okresowych.

### 1.1. Podstawa opracowania

Podstawą formalną realizacji pracy jest zamówienie Departamentu Instrumentów Środowiskowych Ministerstwa Klimatu i Środowiska.

### 1.2. Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiot pracy stanowi, zgodnie z postanowienia w/w zamówienia, opracowanie wytycznych wyjaśniających jakie dane są potrzebne do oceny stabilności poziomów emisji, w jaki sposób je porównać, za pomocą jakich narzędzi statystycznych i jaka powinna być wymagana jakość oraz liczba danych wejściowych. Dokonano także analizy podejścia do problemu stabilności poziomów emisji w dwóch krajach członkowskich Unii Europejskiej wybierając podejścia stosowane w Belgii [Rapport, 2022] oraz Niemczech [VDI, 2018].

Zakres opracowania obejmuje:

1. Określenie czym jest wystarczająco stabilny poziom emisji w odniesieniu do granicznych wielkości emisyjnych BAT-AELs,
2. Analizę podejścia do problemu stabilności poziomów emisji w Niemczech oraz w Belgii,
3. Opis zaproponowanej procedury oceny stabilności poziomów emisji obejmujący m.in.: wymaganą liczbę pomiarów niezbędnych do oceny ich stabilności, charakterystykę zastosowanych narzędzi statystycznych oraz kryteria uznania mierzonych poziomów emisji za wystarczająco stabilne,
4. Opis algorytmu w formie poradnika pozwalającego na weryfikację stabilności poziomów emisji,
5. Opis arkusza kalkulacyjnego przygotowanego w programie Microsoft Excel.

Jako załącznik do opracowania, dołączony został arkusz kalkulacyjny przygotowany w środowisku Microsoft Excel, który pozwala – po wprowadzeniu danych pomiarowych oraz wartości BAT-AELs – na jednoznaczną (w myśl podejścia zaproponowanego w wytycznych) ocenę, czy wyniki pomiarów emisji są stabilne w odniesieniu do granicznych wielkości emisyjnych.

## 2. Monitorowanie wielkości dopuszczalnej emisji w prawie krajowym i w konkluzjach BAT

Krajowe przepisy z zakresu ochrony środowiska odnoszą się do kwestii przeprowadzania pomiarów wielkości emisji z instalacji przemysłowych przede wszystkim za sprawą ustawy Poś oraz wydanego na podstawie art. 148 ust. 1 tej ustawy, rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji (dalej rozporządzenie pomiarowe)<sup>1</sup>. Jednak o ile ustawa Poś odnosi się w sposób ogólny do pomiarów emisji np. w art. 147, 147a, 151 czy 211 ust. 5 to przywołane rozporządzenie obejmuje jedynie pomiary wielkości emisji do powietrza z wybranych rodzajów instalacji i procesów. Jeżeli chodzi o emisję do wód to ogólne ramy prawne zostały określone w ustawie - Prawo wodne<sup>2</sup> natomiast wymagania szczegółowe wynikają z rozporządzeń wydanych na podstawie upoważnień zapisanych w art. 99 i art. 100 tej ustawy. Chodzi tu odpowiednio o rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego<sup>3</sup> oraz rozporządzenie Ministra Budownictwa w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych<sup>4</sup>.

Wskazane powyżej przepisy, zwłaszcza jeżeli chodzi o akty wykonawcze stanowią podstawowy zbiór zasad i wymagań dotyczących pomiarów wielkości dopuszczalnej emisji gazów lub pyłów wprowadzanych do powietrza oraz substancji zanieczyszczających (bądź charakteryzujących je parametrów) w ściekach.

Transpozycja do prawa krajowego postanowień dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (IED) wprowadziła odniesienia do innego rodzaju aktów prawnych tj. decyzji wykonawczych Komisji ustanawiających konkluzje BAT. Decyzje te mają bezpośredni wpływ na sposób kształtowania warunków korzystania ze środowiska, określanych przez właściwe organy ochrony środowiska, w pozwoleniach zintegrowanych. Dotyczy to także wymagań w zakresie monitorowania wielkości emisji. Zgodnie z 211 ust. 5 ustawy Poś *w pozwoleniu zintegrowanym określa się – dla instalacji wymagających uzyskania pozwolenia zintegrowanego – zakres i sposób monitorowania wielkości emisji zgodny z wymaganiami dotyczącymi monitorowania określonymi w konkluzjach BAT, jeżeli zostały one określone. W przypadku braku konkluzji BAT można uwzględnić dokumenty referencyjne BAT, w zakresie, w jakim wykraczają one poza wymagania, o których mowa w art. 147, oraz wymagania określone w przepisach wydanych na podstawie art. 148 ust. 1.*

<sup>1</sup> Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 7 września 2021 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji (Dz. U. z 2021 r. poz. 1710).

<sup>2</sup> Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. - Prawo wodne (Dz.U. z 2022r. poz. 2625).

<sup>3</sup> Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. z 2019 r. poz. 1311).

<sup>4</sup> Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych (Dz. U. z 2016 r. poz. 1757).

Należy mieć na uwadze, że monitorowanie emisji jest pojęciem szerszym niż pomiar bezpośredni, gdyż obejmuje także inne formy estymacji wartości oczekiwanej np. obliczenia z wykorzystaniem wskaźników, bilanse masy czy pomiary parametrów zastępczych. W tym dokumencie mowa jest przede wszystkim o ocenie stabilności wyników pomiarów bezpośrednich.

Istotne jest, że przytoczony przepis odnosi się bezpośrednio do monitorowania wielkości emisji, natomiast w konkluzjach BAT często występują także wymagania dotyczące monitorowania parametrów procesowych. W tym zakresie działają zasady ogólne wskazujące, że konkluzje BAT stanowią poziom odniesienia dla wymagań określanych w pozwoleniu zintegrowanym. Organy ochrony środowiska mogą więc zastosować bardziej elastyczne podejście do monitorowania parametrów procesowych, pod warunkiem, że wpisuje się ono w cele nakreślone przez dany BAT – np. odpowiednia, dla danej instalacji, kontrola istotnych z punktu widzenia ochrony środowiska, parametrów jej funkcjonowania.

Warto też podkreślić, że pomimo tego, iż konkluzje BAT stanowią co do zasady zestaw wymagań minimalnych, a więc właściwe organy w krajach członkowskich mogą ustalać w pozwoleniach ostrzejsze wymagania (np. gdy przemawiają za tym istotne względy ochrony środowiska) to przepisy ustawy Poś dodatkowo podkreślają ten fakt w odniesieniu do pomiarów wielkości emisji. Zgodnie z art. 211 ust. 5a ustawy Poś *w pozwoleniu zintegrowanym można określić – dla instalacji wymagających uzyskania pozwolenia zintegrowanego – zakres i sposób monitorowania wielkości emisji w zakresie wykraczającym poza wymagania dotyczące monitorowania określone w konkluzjach BAT, jeżeli przemawiają za tym szczególne względy ochrony środowiska.*

Konkluzje BAT mają więc bezpośrednie przełożenie na częstotliwość, rodzaj oraz metodykę wykonywania pomiarów wielkości emisji w odniesieniu do instalacji objętych obowiązkiem uzyskania pozwolenia zintegrowanego. Dokumenty te stanowią pewnego rodzaju uzupełnienie wymagań wynikających z podstawowego zbioru przepisów krajowych, choć w praktyce często je zastępują, a określone w nich wymagania są ostrzejsze od przepisów krajowych np. wskazują na większą częstotliwość pomiarów okresowych lub obowiązek prowadzenia pomiarów ciągłych. Tak jak w przypadku sytuacji gdzie standardy emisyjne mają zastosowanie łącznie z BAT AELs, tak i w sytuacji gdzie wymagania w zakresie pomiarów wielkości emisji wynikające np. z krajowych rozporządzeń funkcjonują obok wymagań w tym zakresie określonych w konkluzjach BAT, mogą pojawiać się pewne niespójności. Zadaniem tego poradnika nie jest dostarczenie kompleksowych wyjaśnień w zakresie stosowania Konkluzji BAT dotyczących monitorowania wielkości emisji, jednak w kolejnym rozdziale omówionych zostało kilka kluczowych kwestii.

Wymagania dotyczące monitorowania wielkości emisji wynikające z konkluzji BAT, obok granicznych wielkości emisyjnych<sup>5</sup> (BAT AELs), stanowią wiążący prawnie element. Jednocześnie, o ile obowiązujące przepisy<sup>6</sup> umożliwiają w szczególnych i uzasadnionych przypadkach odstępstwo od BAT AELs, to brak jest przepisów umożliwiających odstępstwo od częstotliwości i sposobu monitorowania wielkości emisji i określonych w konkluzjach BAT. Jedyną możliwością zmiany (np. ograniczenia) częstotliwości pomiarów jest zastosowanie przypisów występujących w konkluzjach BAT w zasadzie każdorazowo pod tabelą wskazującą podstawową częstotliwość pomiarów. Jednym z istotniejszych i najczęściej pojawiających się

<sup>5</sup> Zgodnie z definicją z art. 3 pkt. 4a ustawy Poś.

<sup>6</sup> Art. 204 ust. 2 ustawy Poś, transponujący art. 15 ust. 4 IED.



przepisów jest ten wskazujący, że **w przypadkach, gdzie udowodniono, że poziomy emisji są wystarczająco stabilne możliwe jest ograniczenie częstotliwości wykonywanych pomiarów.**

Dokładne brzmienie tego zapisu różni się między konkluzjami BAT dla poszczególnych branż, a niekiedy powiązane jest ze spełnieniem dodatkowych warunków np. dotyczących odpowiednio niskich ładunków danego zanieczyszczenia wprowadzanych do środowiska. Tym niemniej pojawia się on powszechnie zarówno w odniesieniu do monitorowania emisji do powietrza, jak i do wody.

Wartym podkreślenia wyjątkiem są konkluzje BAT dla spalania odpadów (WI) gdzie, co prawda, pojawia się przypis umożliwiający ograniczenie częstotliwości monitorowania, jednak w odniesieniu do pomiarów Hg mowa jest o udowodnionej, stabilnej i niskiej zawartości tego metalu w spalanych odpadach, a nie w gazach odlotowych. Niniejsze wytyczne nie obejmują bezpośrednio oceny stabilności zawartości zanieczyszczeń w spalanych odpadach czy innego rodzaju przetwarzanych surowcach, jednak statystyczne metody analizy danych mogą mieć pośrednio zastosowanie także do oceny stabilności wyników różnego rodzaju badań np. zawartości niektórych substancji w odpadach.

W związku z powyższym niezwykle istotnym zagadnieniem staje się ocena stabilności wyników pomiarów zwłaszcza, że konkluzje BAT ani przepisy prawa (zarówno krajowego jak i UE) nie dostarczają żadnych wskazówek w tym zakresie. Dlatego też w niniejszym opracowaniu zaprezentowane zostaną wytyczne dotyczące metod oceny statystycznej wyników pomiarów celem weryfikacji ich stabilności, jak również wskazówki co do procesu decyzyjnego związanego z ograniczeniem częstotliwości monitorowania emisji.

## 2.1. Istotne kwestie interpretacyjne

Wymagania dotyczące monitorowania wielkości dopuszczalnej emisji określone w konkluzjach BAT nierzadko dotyczą tych samych rodzajów instalacji, procesów technologicznych oraz rodzajów zanieczyszczeń co przepisy krajowe. W takich przypadkach zastosowanie powinien mieć wymóg ostrzejszy, czyli pomiar o większej częstotliwości. Jednocześnie należy pamiętać, że ograniczenia częstotliwości pomiarów wynikających z konkluzji BAT związane np. z udowodnioną stabilnością poziomów nie powinny naruszać zobowiązań w tym zakresie wynikających z przepisów krajowych.

Poniżej opisano kilka istotnych, jak się wydaje, zagadnień związanych z pomiarami wielkości dopuszczalnej emisji, które mogą mieć wpływ lub pojawić się przy okazji dyskusji dotyczących oceny stabilności poziomów.

W przypadkach gdzie na podstawie konkluzji BAT prowadzone są pomiary ciągłe a z rozporządzenia pomiarowego wynika obowiązek prowadzenia pomiarów okresowych i chodzi o ten sam proces i zanieczyszczenie to należy uznać, że wymaganie ostrzejsze zastępuje to mniej restrykcyjne. Pomiar ciągły zapewnia dużo lepszą kontrolę nad emisyjnością instalacji niż pomiary okresowe. Ponadto rodzaj pomiaru ma wpływ na to jak wyrażane są wielkości dopuszczalnej emisji. Tam gdzie realizowany jest monitoring ciągły posługujemy się np.: średnimi dobowymi, miesięcznymi czy rocznymi. Wyniki pomiaru okresowego pozwalają natomiast na weryfikację dotrzymywania wielkości dopuszczalnej emisji wyrażonych jako średnia z okresu pobierania próbek czy średnia z próbek uzyskanych w ciągu roku.

Istotnym elementem są także definicje okresów uśredniania stosowanych w konkluzjach BAT. W przypadku np. średniej dobowej (pomiaru ciągłego) mowa jest o wartości średniej z

jedną dobę uzyskanej na podstawie ważnych średnich wartości godzinnych lub półgodzinnych. Natomiast średnia z okresu pobierania próbek (pomiar okresowy) została zdefiniowana jako średnia wartość uzyskana na podstawie **trzech kolejnych pomiarów**, z których każdy trwa co najmniej 30 minut<sup>7</sup>. O ile definicje okresów uśredniania właściwych dla pomiarów ciągłych nie budzą większych wątpliwości, o tyle definicja średniej z okresu pobierania próbek z konkluzji BAT może różnić się nieco od definicji takiego okresu uśredniania wynikającego np. z metodyki referencyjnej dla pomiarów okresowych pyłu wymienionej w załączniku nr 2 rozporządzenia pomiarowego. Wskazana tam metoda grawimetryczna scharakteryzowana została w dwóch normach:

- PN-Z-04030-7:1994 Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Pomiar stężenia i strumienia masy pyłu w gazach odlotowych metodą grawimetryczną,
- PN-EN 13284-1:2007 Emisja za źródeł stacjonarnych Oznaczenie masowe stężenia pyłu w zakresie niskich wartości. Część pierwsza: Manualna metoda grawimetryczna.

Z pierwszej z nich wynika, że średnia z okresu pobierania próbek stanowi wartość średnią uzyskaną na podstawie **dwóch kolejnych pomiarów**. Chcąc wykonać pomiar zgodnie z wymaganiami wynikającymi z konkluzji BAT, należy kierować się zapisanymi tam definicjami oraz stosować wskazane w nich metodyki pomiarowe. Dlatego też pomiar okresowy pyłu celem weryfikacji dotrzymania BAT AEL powinien być prowadzony w oparciu o PN-EN 13284-1:2007 – czyli trzy następujące po sobie pomiary.

Nie bez znaczenia jest tu także typowy dla wszystkich konkluzji opis BATu związanego z monitorowaniem wielkości emisji, gdzie używa się standardowego zapisu mówiącego, że „w ramach BAT należy monitorować emisje w gazach odlotowych co najmniej z podaną poniżej częstotliwością i zgodnie z normami EN. Jeżeli normy EN są niedostępne, w ramach BAT należy stosować normy ISO, normy krajowe lub inne międzynarodowe normy zapewniające uzyskanie danych o równoważnej jakości naukowej”.

---

<sup>7</sup> W przypadku każdego parametru, w odniesieniu do którego z uwagi na ograniczenia dotyczące pobierania próbek lub ograniczenia analityczne lub warunki operacyjne zastosowanie 30-minutowego próbkowania/pomiaru lub średniej wartości uzyskanej na podstawie trzech kolejnych pomiarów jest niewłaściwe, można zastosować bardziej reprezentatywną procedurę pobierania próbek/pomiaru.



### 3. Zapisy dotyczące stabilności poziomów emisji w konkluzjach BAT.

Tak jak wspomniano w poprzednim rozdziale zapisy dotyczące stabilności poziomów emisji pojawiają się w wielu konkluzjach BAT, zarówno w doniesieniu do emisji do powietrza jak i do wód<sup>8</sup>.

W tabeli 3.1 zestawiono numery BAT w konkluzjach BAT zawierające przypisy odnoszące się do możliwości zmiany częstotliwości pomiarów w przypadku wykazania stabilności poziomów emisji.

Tabela 3.1 Zestawienie numerów BAT w konkluzjach BAT zawierających przypisy dotyczące możliwości zmniejszenia częstotliwości pomiarów emisji po wykazaniu stabilności poziomów emisji.

Nazwa Konkluzji BAT	Medium	Numer BAT
Konkluzje BAT dla rafinacji ropy naftowej i gazu (REF)	Powietrze	BAT 4
Konkluzje BAT dla dużych obiektów spalania (LCP)	Powietrze	BAT 4
Konkluzje BAT dla wielkotonażowych związków chemii organicznej (LVOC)	Powietrze	BAT 1, BAT 2
Konkluzje BAT dla przetwarzania odpadów (WT)	Powietrze	BAT 8
	Woda	BAT 7
Konkluzje BAT dla spalania odpadów (WI)	Powietrze	BAT 4
	Woda	BAT 6
Konkluzje BAT dla branży spożywczej (FDM)	Powietrze	BAT 5
	Woda	BAT 4
Konkluzje BAT dla powierzchniowej obróbki z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych (STS)	Powietrze	BAT 11
	Woda	BAT 12
Konkluzje BAT dla przetwórstwa żelaza i stali (FMP)	Powietrze	BAT 4
	Woda	BAT 5
Konkluzje BAT dla wspólnych systemów oczyszczania gazów i ścieków w branży chemicznej (CWW)	Woda	BAT 4
Konkluzje BAT dla wspólnych systemów oczyszczania emisji do powietrza w branży chemicznej (WGC)	Powietrze	BAT 8, BAT 26

Brzmienie przypisów dotyczących stabilnych poziomów nie jest jednorodne i w zależności od branży może wyglądać inaczej. Niekiedy odnoszą się one do wszystkich wyników pomiarów a czasem tylko do wybranych zanieczyszczeń i rodzajów instalacji lub procesów. Elementem widocznym w poniższych przykładach (konkluzje STS) jest także odniesienie do przepływów masowych określonych zanieczyszczeń, które, jeżeli są odpowiednio niskie, w połączeniu z udowodnionym stabilnym poziomem emisji wpływają na częstotliwość pomiarów. Przepływy masowe, podobnie jak przypisy dot. stabilnych poziomów, pojawiają się w wielu konkluzjach BAT i wpływają nie tylko na częstotliwość wykonywanych pomiarów, ale także na wielkość granicznych wielkości emisyjnych (BAT AELs), czy w ogóle zasadność ich zastosowania.

W tabeli 3.2 zaprezentowano kilka przykładów (niewyczerpująca lista).

<sup>8</sup> Dodatkowo zapisy dotyczące sposobu wyrażania BAT AELs dla emisji do wody często wskazują na możliwość zastąpienia 24 godzinnych próbek zmieszanych proporcjonalnych do przepływu ścieków, próbkami proporcjonalnymi do czasu jeżeli udowodniono stabilność przepływu.

Tabela 3.2. Zestawienie wybranych przypisów dotyczących stabilności poziomów emisji.

Nazwa Konkluzji BAT	Medium	Przypis dotyczący stabilności poziomów emisji
Konkluzje LCP	Powietrze	W przypadku stosowania SCR minimalną częstotliwością monitorowania może być co najmniej raz w roku, jeżeli dowiedziono, że poziomy emisji są wystarczająco stabilne. W przypadku obiektów spalających gazy procesowe powstałe przy produkcji żelaza i stali minimalną częstotliwością monitorowania może być co najmniej raz na sześć miesięcy, jeżeli dowiedziono, że poziomy emisji są wystarczająco stabilne.
Konkluzje CWW	Woda	Można dostosować częstotliwości monitorowania w przypadku gdy serie danych jasno wykazują wystarczającą stabilność.
Konkluzje NFM	Woda	Częstotliwość monitorowania może zostać dostosowana, jeżeli szereg danych wyraźnie wskazuje na wystarczającą stabilność emisji.
Konkluzje STS	Powietrze	W przypadku ładunku całkowitych LZO wynoszącego mniej niż 0,1 kg C/h lub w przypadku nieredukowanego i stabilnego ładunku całkowitych LZO wynoszącego mniej niż 0,3 kg C/h częstotliwość monitorowania można ograniczyć i przeprowadzać raz na 3 lata, natomiast pomiar można zastąpić obliczeniem, pod warunkiem że takie obliczenie zapewni uzyskanie danych o równoważnej jakości naukowej.
Konkluzje FMP	Powietrze	Jeśli okaże się, że poziomy emisji są wystarczająco stabilne, można przyjąć mniejszą częstotliwość monitorowania, ale w każdym przypadku co najmniej raz na 3 lata.
Konkluzje FMP	Woda	Częstotliwość monitorowania można ograniczyć i przeprowadzać je raz na miesiąc, jeżeli okaże się, że poziomy emisji są wystarczająco stabilne.

Pomimo pewnych różnic w brzmieniu przypisów dotyczących stabilności poziomów emisji ich znaczenie jest w praktyce bardzo zbliżone. Chodzi o możliwość zmniejszenia częstotliwości pomiarów, w tym zastąpienie pomiarów ciągłych pomiarami okresowymi, o ile nie rodzi to ryzyka pominięcia/nieuwzględnienia okresów z wyższymi stężeniami emitowanych zanieczyszczeń, z uwagi na niestabilność emisji.

W zależności od rodzaju instalacji ograniczenie częstotliwości pomiarów może dotyczyć monitoringu okresowego lub ciągłego. Szczególnie w tym drugim przypadku istotne staje się udowodnienie, że zmiana nie spowoduje istotnego ryzyka nieuwzględnienia okresów z wyższymi emisjami, zwłaszcza powodujących przekroczenie wielkości dopuszczalnej emisji. Rozważania w tym zakresie będą zazwyczaj dotyczyły sytuacji gdzie dotychczas prowadzone były pomiary okresowe i dopiero dostosowanie do konkluzji BAT wprowadza obowiązek prowadzenia pomiarów ciągłych. Dostępny zakres danych (wyników pomiarów) będzie więc zazwyczaj ograniczony, gdyż mało prawdopodobne wydają się sytuacje, w których instalacja wyposażona już w system do ciągłych pomiarów wielkości emisji na podstawie jego wskazań wykazuje stabilność poziomów wnioskując o ograniczenie częstotliwości pomiarów.

Kolejna istotna kwestia związana jest z tym, że przypisy w konkluzjach BAT mówią co do zasady o stabilnych poziomach, a nie stabilnych i niskich poziomach np. poniżej wielkości dopuszczalnej emisji mieszczącej się w przedziale BAT AELs. Jednak w kontekście celu w jakim prowadzony jest monitoring, a więc najczęściej kontroli dotrzymania warunków pozwolenia istotna jest ocena stabilności wyników pomiarów, jak również to na ile blisko są

one wielkości dopuszczalnych, a tym samym jakie jest ryzyko pominięcia okresów powodujących przekroczenia przy zmniejszeniu częstotliwości pomiarów. Innymi słowy poziomy stabilnie wysokie np. powyżej tych ustalonych w pozwoleniu wykluczają możliwość ograniczenia częstotliwości pomiarów na bazie przypisów występujących w konkluzjach BAT.

## 4. Jak rozumieć stabilność poziomów emisji

### 4.1. Wstęp statystyczny

Charakterystyki populacji generalnej można dokonać na podstawie badania wyczerpującego, polegającego na pomiarze całej populacji generalnej. W odniesieniu do pomiaru emisji z instalacji oznaczałoby to pomiar ciągły. W wielu przypadkach realizacja badania wyczerpującego (pomiarów ciągłych) jest nieracjonalna zarówno ze względów ekonomicznych jak i technicznych. Są też sytuacje, w których realizacja badania wyczerpującego jest niemożliwa.

Alternatywą dla badania wyczerpującego jest badanie pobranej z populacji generalnej próbki (populacji próbnej) i w oparciu o uzyskane wyniki badania próbki, wnioskowanie o parametrach całej populacji generalnej. W przypadku pomiarów emisji oznacza to prowadzenie pomiarów okresowych i na podstawie uzyskanych wyników oszacowanie rzeczywistych poziomów emisji np. średniorocznej lub dowolnej chwilowej na przestrzeni roku.

Sposoby interpretacji związane z szacowaniem parametrów w populacji generalnej na podstawie badania próbki (próbek) oraz możliwy do zastosowania aparat matematyczny są przedmiotem zainteresowania teorii estymacji, której najważniejsze elementy w sposób uproszczony zostały opisane w tej sekcji opracowania.

Wnioskowanie o parametrach populacji generalnej na podstawie badania próbki (próbek) jest możliwe tylko dlatego, że między populacją generalną a próbką zachodzi pewien związek. Związek ten wynika stąd, że próbka jest częścią populacji generalnej i posiada ważną właściwość polegającą na tym, że rozkład wartości badanej cechy w próbce reprezentatywnej jest zbliżony do rozkładu wartości cechy w populacji generalnej.

Populację generalną (a w zasadzie rozkład interesującej nas cechy ilościowej) możemy charakteryzować za pomocą wielu parametrów (wartości „prawdziwych”). Rozproszenie wartości zmiennej losowej w populacji generalnej jest opisywane przez funkcję rozkładu; jest nią najczęściej, aczkolwiek nie zawsze (w opracowaniu belgijskim [Rapport, 2022] do opisu wyników pomiaru zastosowano rozkład logarytmiczno-normalny), funkcja rozkładu normalnego. Parametrem będącym miarą skupienia populacji generalnej jest wartość oczekiwana  $E(X)$  (często oznaczana symbolem  $\mu$ ). Natomiast parametrem będącym miarą rozproszenia (niejednorodności) w populacji generalnej jest odchylenie standardowe będące pierwiastkiem kwadratowym z wariancji  $\sqrt{D^2(X)}$  (często oznaczane symbolem  $\sigma$ ).

Estymacja punktowa polega na oszacowaniu wartości parametru rozkładu przez podanie tylko jednej wartości (punktu – stąd nazwa) estymatora. Poniżej podane zostały wzory (od 4.1 do 4.9), za pomocą których estymuje się (szacuje się) wartości parametrów w populacji generalnej na podstawie badania  $n$ -elementowej próbki.

#### 1. Estymacja wartości oczekiwanej

$$\mu \approx \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

Na podstawie  $n$  – elementowej próby wyznaczamy wartość estymatora (średniej arytmetycznej). Czyli wartość oczekiwana jest przybliżana, wyznaczoną na podstawie badania próby, średnią arytmetyczną.

## 2. Estymacja odchylenia standardowego

Generalnie wartość odchylenia standardowego możemy estymować za pomocą dwóch estymatorów:

- a) tzw. estymatora obciążonego, który jest oznaczany symbolem  $S_n$  i obliczanego z następującego wzoru:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (4.2)$$

Ten estymator stosuje w przypadku próbek dużych o liczebności  $n > 30$ ,

- b) tzw. estymatora nieobciążonego, który jest oznaczany symbolem  $S_{n-1}$  i obliczanego ze wzoru:

$$S_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.3)$$

Ten estymator stosuje się w przypadku próbek małych o liczebności  $n \leq 30$ .

Czyli estymacja punktowa odchylenia standardowego będzie następująca:

- dla próbek małych:  $\sigma \approx S_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$  (4.4)

- dla próbek dużych:  $\sigma \approx S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$  (4.5)

Proszę zwrócić uwagę na następującą zależność, która jest w zasadzie istotą statystyki (statystyka szacuje wartości nieznanymi parametrów i określa prawdopodobieństwa znalezienia się wartości parametru w określonych przedziałach):

$$\sigma \approx S_{n-1} \approx S_n \quad (4.6)$$

Oczywiście im  $n$  większe, tym różnica pomiędzy  $S_n$  a  $S_{n-1}$  jest mniejsza (przy  $n \rightarrow \infty$  różnica będzie zmierzać do zera). W literaturze bardzo często estymatory odchylenia standardowego obliczane ze wzorów 4.4 i 4.5 są nazywane wprost odchyleniem standardowym, co nie jest właściwe lecz powszechnie praktykowane.

### 3. Estymacja odchylenia standardowego średniej arytmetycznej

Odchylenie standardowe średniej arytmetycznej  $\sigma_{\bar{x}}$ , jest miarą tego na ile pojedyncza średnia  $\bar{x}_i$  odbiega od wartości oczekiwanej. Natomiast odchylenie standardowe pojedynczego wyniku  $\sigma$  jest miarą na ile pojedynczy wynik odbiega od średniej arytmetycznej.

**Przykład 4.1:** Pobraliśmy  $n_1$  próbek wody z jeziora i w każdej z nich oznaczyliśmy zawartość np. fenolu uzyskując następujące zawartości fenolu:  $x_{1-1}, x_{1-2}, \dots, x_{1-n_1}$ . Dysponując tymi wynikami możemy obliczyć wartość średniej arytmetycznej  $\bar{x}_1$  (patrz wzór) jako estymatora wartości oczekiwanej zawartości fenolu w tym jeziorze ( $\mu \approx \bar{x}_1$ ) oraz wartość jednego z estymatorów odchylenia standardowego (w zależności od wielkości  $n_1$ ). Niech to będzie  $S_{n(1)}$ , bo zakładamy, że próbka była duża ( $\sigma \approx S_{n(1)}$ ).

Tak więc na podstawie badania tej  $n_1$  – elementowej próbki dokonaliśmy estymacji (oszacowania) wartości oczekiwanej i odchylenia standardowego zawartości fenolu w wodach tego jeziora. Czyli zawartość fenolu w tym jeziorze podlega rozkładowi normalnemu o  $\mu \approx \bar{x}_1$  i  $\sigma \approx S_{n(1)}$ .

Wyobraźmy sobie (to niewiele kosztuje), że po raz drugi pobieramy z tego jeziora  $n_2$  próbek wody i w każdej z nich oznaczamy zawartość fenolu:  $x_{2-1}, x_{2-2}, \dots, x_{2-n_2}$ . Dysponując tymi wynikami możemy obliczyć wartość średniej arytmetycznej  $\bar{x}_2$  (patrz wzór) jako estymatora wartości oczekiwanej zawartości fenolu w tym jeziorze ( $\mu \approx \bar{x}_2$ ) oraz wartość jednego z estymatorów odchylenia standardowego (w zależności od wielkości  $n_2$ ). Niech to będzie  $S_{n(2)}$ , bo zakładamy, że próbka była duża ( $\sigma \approx S_{n(2)}$ ).

Tak więc na podstawie badania tej  $n_2$  – elementowej próbki dokonaliśmy estymacji (oszacowania) wartości oczekiwanej i odchylenia standardowego zawartości fenolu w wodach tego jeziora. Czyli zawartość fenolu w tym jeziorze podlega rozkładowi normalnemu o  $\mu \approx \bar{x}_2$  i  $\sigma \approx S_{n(2)}$ .

Możemy takie postępowania powtarzać wielokrotnie uzyskując za każdym razem nieco inne (lub wyraźnie inne) wartości estymatorów:  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$  oraz  $S_{n(1)}, S_{n(2)}, \dots, S_{n(k)}$ .

I teraz finał:

Poszczególne estymatory wartości oczekiwanej ( $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$ ) podlegają rozkładowi normalnemu o wartości oczekiwanej  $\mu \approx \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k \bar{x}_i$ , a miarą rozproszenia tego rozkładu jest właśnie odchylenie standardowe średniej arytmetycznej  $\sigma_{\bar{x}}$ , **które jest miarą tego na ile pojedyncza średnia  $\bar{x}_i$  odbiega od wartości oczekiwanej**. Natomiast odchylenie standardowe pojedynczego wyniku  $\sigma$  **jest miarą na ile pojedynczy wynik odbiega od średniej arytmetycznej**.

Pomiędzy odchyleniem standardowym średniej arytmetycznej  $\sigma_{\bar{x}}$  a odchyleniem standardowym (pojedynczego wyniku)  $\sigma$  istnieją następujące zależności:

- dla próbek dużych ( $n > 30$ )  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  (4.7)

- dla próbek małych ( $n \leq 30$ )  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$  (4.8)



Istnienie zależności opisanej wzorami (4.7) i (4.8) pozwala na obliczenie wartości odchylenia standardowego średniej arytmetycznej na podstawie badania próbki  $n$ -elementowej:

$$\sigma_{\bar{x}} \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (4.9)$$

#### 4. Estymacja przedziałowa

Z kolei estymacja przedziałowa polega na zbudowaniu wokół wartości estymatora, przedziału w którym z określonym prawdopodobieństwem zwanym poziomem ufności<sup>1)</sup> ( $1 - \alpha$ ), znajduje się wartość estymowanego parametru. Przedział ufności<sup>1)</sup> wartości oczekiwanej ( $\mu$  - wartości „prawdziwej”) budowany jest wokół estymatora wartości oczekiwanej, czyli średniej arytmetycznej (patrz wzór 4.1).

Sposób obliczania przedziału ufności wartości oczekiwanej (dolnej granicy  $L_1$  i górnej granicy  $U_2$ ) pokazują dwa poniższe wzory:

$$L_1 = \bar{x} - k \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} = \bar{x} - k \cdot \sigma_0 \quad (4.10)$$

$$U_2 = \bar{x} + k \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} = \bar{x} + k \cdot \sigma_0 \quad (4.11)$$

Wartość współczynnika  $k$  zależy od rozkładu jakiemu podlega mierzona wartość i założonego poziomu ufności. Dla rozkładu normalnego i 95% poziomu ufności  $k = 1,96$ . Z kolei  $\sigma_0$  (takim symbolem jest oznaczane w normie EN 14181:2014) jest to odchylenie standardowe średniej arytmetycznej (we wzorach od 4.7 do 4.9 oznaczone symbolem  $\sigma_{\bar{x}}$ ) i jest ono miarą na ile średnia odbiega od wartości oczekiwanej (czyli tzw. „wartości prawdziwej”).

#### 4.2. Kryterium (kryteria) stabilności poziomów emisji

Mówiąc o stabilności (wystarczającej stabilności) poziomów emisji należy mieć na uwadze dwie przesłanki wprowadzenia tego terminu w konkluzjach BAT – wprowadzie nigdzie nie zdefiniowanego – a mianowicie: (i) wystarczająca stabilność poziomów emisji ma być warunkiem koniecznym pozwalającym na podjęcie decyzji o zmniejszeniu częstotliwości pomiarów emisji z instalacji oraz (ii) wystarczająca stabilność poziomów emisji ma uzasadniać, że ryzyko przekroczenia wartości granicznych emisji (BAT-AELs) jest akceptowalnie małe. Tak więc mówiąc o wystarczająco stabilnym poziomie emisji musimy mieć na uwadze, że zmniejszenie częstotliwości pomiarów może nastąpić w przypadku potwierdzenia przez dotychczasowe wyniki pomiarów emisji, że prawdopodobieństwo przekroczenia wartości granicznych emisji (BAT-AELs) jest akceptowalnie małe. Na gruncie statystyki (teorii estymacji) wartość tego prawdopodobieństwa powinna być przyjęta jako mniejsza od poziomu istotności<sup>1)</sup>  $\alpha$ , którego wartość w obszarze szeroko rozumianej techniki, w tym również pomiarów emisyjnych, zakłada się na poziomie 0,05 (czyli 5%).

Drugim zagadnieniem wymagającym rozważenia jest jaki parametr charakteryzujący rozkład wyników pomiarów emisji należy przyjąć. Parametr ten musi reprezentować wartość poziomu emisji, charakteryzującą się tym, że prawdopodobieństwo jej przekroczenia jest mniejsza co najmniej od przyjętego poziomu istotności  $\alpha$ . Parametrami takimi mogą być:

- (i) górna granica przedziału ufności wartości oczekiwanej na poziomie ufności  $(1 - \alpha)$  -  $U_{2,1-\alpha}$ ,
- (ii) percentyl rzędu  $100 \cdot (1 - \alpha)$  -  $P_{100 \cdot (1-\alpha)}$ ; Percentyl rzędu  $100 \cdot (1-\alpha)$  oznacza taką wartość zmiennej losowej (wielkości emisji), od której  $100 \cdot (1-\alpha)\%$  wartości wielkości emisji jest mniejszych,
- (iii) wartość maksymalna poziomu emisji traktowana jako parametr oszacowany na poziomie ufności  $(1-\alpha)$  -  $x_{max,1-\alpha}$ ,
- (iv) górną granicę przedziału ufności percentyla rzędu  $100 \cdot (1 - \alpha)$  -  $P_{100 \cdot (1-\alpha)}$  na poziomie ufności  $(1-\alpha)$  oznaczany w dalszej części opracowania jako  $ULP_{100 \cdot (1-\alpha);(1-\alpha)}$ .

Wartość każdego z czterech powyższych parametrów jest szacowana na podstawie wyników pomiarów wielkości emisji traktowanych jako próbka losowa. W celu jednoznacznego rozumienia, czym jest wynik pomiaru okresowego, należy go utożsamiać ze średnią z okresu pobierania próbek (np. średnia z 3 następujących po sobie pomiarów trwających co najmniej 30 minut każdy).

Poziomy emisji możemy uznać za stabilne (wystarczająco stabilne) wtedy i tylko wtedy, gdy – w zależności od przyjętego parametru – spełniony jest jeden z warunków:

$$U_{2,1-\alpha} < BAT - AEL \quad (4.12)$$

$$P_{100 \cdot (1-\alpha)} < BAT - AEL \quad (4.13)$$

$$x_{max,1-\alpha} < BAT - AEL \quad (4.14)$$

$$ULP_{100 \cdot (1-\alpha);(1-\alpha)} < BAT - AEL \quad (4.15)$$

Występującą we wzorach od 4.12 do 4.15 wartość  $BAT - AELs$  należy, w każdym przypadku, rozumieć jako wartość górnego  $BAT - AELs$  bez względu na uzyskane przez podmiot odstępstwa.

## 5. Podejście do stabilności poziomów emisji w innych krajach Unii Europejskiej

W rozdziale tym dokonano analizy (przeglądu) podejścia do problemu stabilności poziomów emisji w Niemczech oraz w Belgii. Opis i ocena statystyczna zastosowanego podejścia metodologicznego przedstawionego w dwóch dokumentach będących przedmiotem analizy tj.:

- (i) Verein Deutscher Ingenieure 2448 – Statistische Auswertung von stichprobenartigen Emissionsmessungen an geführten Quellen: Ermittlung der oberen Vertrauensgrenze (ang. Statistical Evaluation of Random-sample Measurements of Stationary Source Emissions: Determination of the Upper Confidence Limit), 2018 [VDI,2018],
- (ii) Departement Omgeving - Afdelingen Handhaving en GOP – Rapport Beoordelingskader ‘stabiele emissies’, RPR Antwerpen (België) 2022 [Rapport, 2022]

były podstawą do opracowania procedury oceny stabilności poziomów emisji obejmującej m.in.: wymaganą liczbę pomiarów niezbędnych do oceny ich stabilności, charakterystykę zastosowanych narzędzi statystycznych oraz kryteria uznania mierzonych poziomów emisji za wystarczająco stabilne w aspekcie zmniejszenia częstotliwości monitorowania emisji.

### 5.1. Opis podejścia niemieckiego

Dokument [VDI, 2018] sygnowany wspólnie przez Stowarzyszenie Inżynierów Niemieckich (VDI – Verein Deutscher Ingenieure) oraz Niemiecki Komitet Normalizacyjny (DIN – Deutsche Industrie Normen) jest poradnikiem przygotowanym przez Grupę Roboczą ds. Planowania Pomiarów w Zakresie Emisji (Arbeitsgruppe Meßplanung – Emission). W dokumencie tym opisany został sposób wyznaczania górnej granicy ufności poziomu emisji ze źródeł stacjonarnych (statystycznie jest to górna granica przedziału ufności wartości oczekiwanej średniego poziomu emisji – patrz rozdział 2.1) na podstawie wyników losowych pomiarów.

Dokument ten jest dedykowany do oceny statystycznej, czy dana instalacja będzie wymagała ciągłego monitorowania emisji. Przedstawione w nim wytyczne nie służą do oceny pomiarów w praktyce urzędowego monitoringu, który jest regulowany odrębnymi przepisami. Wytyczne te mają na celu, przy minimalnej liczbie losowych (przypadkowych) pomiarów, uzyskanie wiarygodnych informacji pozwalających na odpowiedź na sformułowane pytania (problemy) dotyczące m.in. stabilności poziomów emisji.

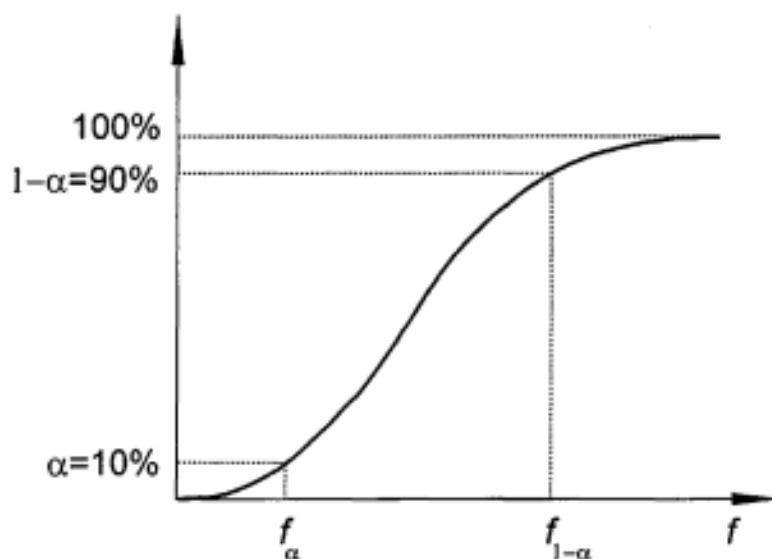
Dane pomiarowe do analizy statystycznej mogą pochodzić z różnych serii pomiarowych, które w razie potrzeby mogą być uzupełnione o dalsze dane pomiarowe wykonywane później. Ważnym ograniczeniem odnośnie wyników będących przedmiotem analizy statystycznej jest uzyskanie ich w porównywalnych warunkach (ta sama metoda, ta sama aparatura pomiarowa itd.). Opisane w dokumencie instrumenty statystyczne pozwalają na określenie m.in. górnej granicy przedziału ufności wartości oczekiwanej średniego poziomu emisji na podstawie wyników pomiarów z małej próby losowej o liczebności nie przekraczającej 10 pomiarów.

Z powodu małej próby losowej ( $N \leq 10$ ) oraz istnienia korelacji czasowych pomiędzy zmierzonymi wartościami wielkości emisji, istnieją ograniczenia zastosowania prostych formuł statystycznych. Dlatego też autorzy dokumentu wybrali podejście heurystyczne dla obliczenia współczynników niezbędnych do oszacowania wartości parametrów statystycznych m.in. górnej granicy przedziału ufności. Podejście takie jest kompromisem pomiędzy akceptowalnymi nakładami na pomiar poziomu emisji, a ich wiarygodnością przekładającą się na ryzyko nie stwierdzenia przekroczenia dopuszczalnych wielkości emisji, pomimo jego faktycznego zaistnienia.

Porównanie oszacowanych wartości  $K_b$  wyznaczonych na podstawie próbek losowych (pomiarów losowych) z wartościami prawdziwymi cech (parametrów poziomów emisji)  $K$ , jest reprezentowane ilorazem:

$$f = \frac{K}{K_b} \quad (5.1)$$

Uzyskane wartości  $f$  uporządkowane rosnąco zostały przedstawione na rysunku 5.1 jako skumulowane częstości.



Rys. 5.1 Wykres skumulowanej częstości testu statystycznego  $f$  dla poziomu istotności  $\alpha = 10\%$ .

Ogólny wzór wykorzystywany do obliczania górnej granicy ufności dowolnego parametru  $X_0$  jest następujący:

$$X_0 = f_{1-\alpha} \cdot K_b \quad (5.2)$$

gdzie:  $K_b$  – wartość estymowana z próbek losowych (losowych pomiarów poziomu emisji),  
 $f_{1-\alpha}$  – wartość współczynnika zależna od przyjętego (założonego) poziomu ufności ( $1-\alpha$ ); wartości odpowiednich współczynników znajdują się w dołączonych do dokumentu tabelach.

Poniżej przedstawiony został sposób szacowania wartości górnej granicy ufności dla trzech parametrów tj.: wartości średniej, percentyla oraz wartości maksymalnej.

Wartość górnej granicy przedziału ufności wartości średniej  $X_{0,M}$  (tak naprawdę jest to wartość oczekiwana) jest obliczana ze wzoru:

$$X_{0,M} = \bar{x} \cdot f_{M,(1-\alpha)} \quad (5.3)$$

$f_{M,(1-\alpha)}$  – wartość współczynnika dla założonego poziomu ufności i liczby próbek losowych (pomiarów poziomu emisji) – wartości współczynnika zostały zestawione w tabeli 5.1.

Wartość górnej granicy przedziału ufności dla percentyla jest obliczana ze wzoru:

$$X_{0,P} = (\bar{x} + t_p \cdot s) \cdot f_{P,(1-\alpha)} \quad (5.4)$$

gdzie:  $t_p$  – współczynnik  $t$  (wartość testu t-Studenta) zależna od poziomu ufności ( $1-\alpha$ ) i liczby stopni swobody ( $n-1$ ) – wartości zostały zestawione w tabeli 5.2,  
 $s$  – odchylenie standardowe średniej arytmetycznej obliczone z próbki losowej (losowych pomiarów emisji) – patrz wzór 4.9,  
 $f_{P,(1-\alpha)}$  – wartość współczynnika dla założonego poziomu ufności i liczby stopni swobody – wartości zostały zestawione w tabeli 5.2.

Wartość górnej granicy przedziału ufności dla wartości maksymalnej jest obliczana ze wzoru:

$$X_{0,max} = x_{max} \cdot f_{max,(1-\alpha)} \quad (5.5)$$

gdzie:  $x_{max}$  – wartość maksymalna z badania małej próby losowej,  
 $f_{max,(1-\alpha)}$  – współczynnik obliczony dla założonego poziomu ufności i liczby stopni swobody – wartości zostały zestawione w tabeli 5.3.

Tabela 5.1 Obliczone wartości współczynnika  $f_{M,(1-\alpha)}$  dla próbek losowych.

Tabela A2. Współczynniki obliczeniowe  $f_{M,(1-\alpha)}$  dla pomiarów próbek losowych: Średnia arytmetyczna, wartości pomiarowe z jednego dnia

Liczba pomiarów	Współczynnik ufności						
	50 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
2	1,00	1,15	1,22	1,34	1,49	1,64	1,96
3	1,00	1,14	1,21	1,32	1,45	1,59	1,89
4	1,00	1,13	1,20	1,30	1,41	1,56	1,80
5	1,00	1,12	1,19	1,28	1,39	1,54	1,73
6	1,00	1,11	1,18	1,27	1,38	1,52	1,69
7	1,00	1,11	1,17	1,26	1,37	1,50	1,67
8	1,00	1,11	1,16	1,25	1,36	1,49	1,64
9	1,00	1,10	1,16	1,24	1,35	1,48	1,62
10	1,00	1,10	1,15	1,23	1,35	1,47	1,61

Tabela A3. Współczynniki obliczeniowe  $f_{M,(1-\alpha)}$  dla pomiarów próbek losowych: Średnia arytmetyczna, wartości pomiarowe z dwóch dni

Liczba pomiarów	Współczynnik ufności						
	50 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
2	1,00	1,14	1,20	1,28	1,35	1,52	1,72
3	1,00	1,14	1,20	1,26	1,33	1,49	1,69
4	1,00	1,13	1,19	1,25	1,32	1,47	1,67
5	1,00	1,12	1,19	1,24	1,31	1,45	1,64
6	1,00	1,11	1,18	1,23	1,30	1,44	1,62
7	1,00	1,11	1,17	1,22	1,30	1,43	1,60
8	1,00	1,11	1,16	1,22	1,29	1,42	1,58
9	1,00	1,10	1,15	1,21	1,29	1,41	1,57
10	1,00	1,09	1,14	1,20	1,28	1,40	1,56



Tabela A4. Współczynniki obliczeniowe  $f_{MI(1-\alpha)}$  dla pomiarów próbek losowych: Średnia arytmetyczna, wartości pomiarowe z trzech dni

Liczba pomiarów	Współczynnik ufności						
	50 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
3	1,00	1,10	1,15	1,19	1,28	1,35	1,61
4	1,00	1,10	1,15	1,19	1,27	1,34	1,59
5	1,00	1,09	1,14	1,19	1,26	1,34	1,56
6	1,00	1,09	1,14	1,18	1,25	1,33	1,54
7	1,00	1,08	1,13	1,18	1,25	1,33	1,52
8	1,00	1,08	1,13	1,18	1,24	1,32	1,50
9	1,00	1,08	1,12	1,17	1,24	1,32	1,48
10	1,00	1,07	1,12	1,17	1,23	1,31	1,47

Tabela 5.2 Obliczone wartości współczynników  $t_p$  i  $f_{P,(1-\alpha)}$  dla próbek losowych.

Tabela A5. Współczynniki obliczeniowe  $t_p$  dla pomiarów próbek losowych: Percentyle, współczynniki t

Liczba pomiarów (stopnie swobody)	Percentyl			
	90	95	97	99
2	3,08	6,31	11,43	31,82
3	1,89	2,92	4,02	6,97
4	1,64	2,35	3,01	4,54
5	1,53	2,13	2,65	3,75
6	1,48	2,02	2,46	3,37
7	1,44	1,94	2,35	3,14
8	1,42	1,90	2,28	3,00
9	1,40	1,86	2,22	2,90
10	1,38	1,83	2,17	2,82

Tabela A6. Współczynniki obliczeniowe  $f_{PI(1-\alpha)}$  dla pomiarów próbek losowych: Percentyle, jeden do trzech dni pomiarowych

Liczba pomiarów	Współczynnik ufności						
	50 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
1	1,09	1,30	1,40	1,55	1,70	2,00	2,90
2	1,05	1,25	1,32	1,40	1,58	1,80	2,60
3	1,02	1,18	1,25	1,32	1,43	1,64	2,30

Tabela A7. Współczynniki obliczeniowe  $f_{\max,(1-\alpha)}$  dla pomiarów próbek losowych: Wartość maksymalna, wartości pomiarowe z jednego dnia

Liczba pomiarów	Współczynnik ufności						
	50 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
2	2,13	2,80	3,00	3,30	4,00	5,30	10,0
3	2,00	2,60	2,80	3,00	3,60	4,80	9,10
4	1,89	2,45	2,60	2,90	3,30	4,40	8,30
5	1,82	2,30	2,45	2,70	3,10	4,00	7,70
6	1,75	2,22	2,40	2,60	3,00	3,80	7,40
7	1,72	2,17	2,30	2,50	2,90	3,70	7,10
8	1,69	2,13	2,22	2,45	2,80	3,60	7,00
9	1,66	2,08	2,17	2,40	2,70	3,45	6,90
10	1,64	2,04	2,13	2,30	2,60	3,30	6,80

Tabela 5.3 Obliczone wartości współczynnika  $f_{max,(1-\alpha)}$  dla próbek losowych.

Tabela A8. Współczynniki obliczeniowe  $f_{max,(1-\alpha)}$  dla pomiarów próbek losowych: Wartość maksymalna, wartości pomiarowe z dwóch dni

Liczba pomiarów	Współczynnik ufności						
	50 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
2	2,00	2,50	2,70	2,90	3,30	4,20	9,00
3	1,90	2,40	2,55	2,70	3,10	4,00	8,30
4	1,80	2,30	2,45	2,55	2,90	3,80	7,70
5	1,70	2,20	2,30	2,45	2,80	3,70	7,10
6	1,65	2,10	2,25	2,40	2,70	3,60	6,80
7	1,63	2,08	2,20	2,35	2,60	3,45	6,60
8	1,61	2,04	2,17	2,30	2,55	3,35	6,40
9	1,59	2,00	2,13	2,25	2,50	3,20	6,20
10	1,56	2,00	2,08	2,20	2,45	3,10	6,10

Tabela A9. Współczynniki obliczeniowe  $f_{max,(1-\alpha)}$  dla pomiarów próbek losowych: Wartość maksymalna, wartości pomiarowe z trzech dni

Liczba pomiarów	Współczynnik ufności						
	50 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
3	1,80	2,30	2,40	2,60	2,80	3,60	8,30
4	1,75	2,20	2,30	2,50	2,65	3,30	7,10
5	1,70	2,10	2,20	2,40	2,55	3,20	6,70
6	1,65	2,08	2,15	2,35	2,50	3,10	6,30
7	1,60	2,04	2,12	2,30	2,40	3,00	6,10
8	1,58	2,00	2,08	2,25	2,35	2,90	5,90
9	1,56	1,96	2,06	2,20	2,20	2,85	5,70
10	1,54	1,92	2,04	2,17	2,27	2,80	5,50

Pewne wyobrażenie o konsekwencjach opisanego powyżej podejścia szacowania parametrów na podstawie małej próby losowej, czyli w odniesieniu do pomiarów emisji, na podstawie małej liczby losowych pomiarów okresowych, daje omówiony poniżej przykład. Przykład ten jest modyfikacją przykładów podanych w analizowanym dokumencie [VDI, 2018].

**Przykład 5.1** W dwóch losowo wybranych dniach wykonano po 3 pomiary emisji uzyskując następujące wyniki:

- Wyniki uzyskane pierwszego dnia pomiarowego: 63 mg/m<sup>3</sup>; 75 mg/m<sup>3</sup>; 57 mg/m<sup>3</sup>,
- Wyniki uzyskane drugiego dnia pomiarowego: 68 mg/m<sup>3</sup>; 52 mg/m<sup>3</sup>; 69 mg/m<sup>3</sup>.

Na podstawie tych wyników obliczone zostały następujące estymatory prawdziwych parametrów:

- średnia arytmetyczna  $\bar{x} = 64 \text{ mg/m}^3$  według wzoru 4.1,
- wartość maksymalna  $X_{max} = 75 \text{ mg/m}^3$ ,
- odchylenie standardowe  $s = 8,4 \text{ mg/m}^3$  według wzoru 4.3,
- odchylenie standardowe średniej arytmetycznej  $\sigma_{\bar{x}} = 3,8 \text{ mg/m}^3$  według wzoru 4.9.

Zgodnie z wytycznymi [VDI, 2018] obliczone zostały, na podstawie uzyskanych wyników pomiarów okresowych, estymowane wartości następujących parametrów:

- górnej granicy przedziału ufności wartości oczekiwanej  $X_{0,M}$  ze wzoru 5.3,
- górnej granicy przedziału ufności 95% percentylu  $X_{0,P(95\%)}$  ze wzoru 5.4,
- górnego poziomu przedziału ufności wartości maksymalnej  $X_{0,max}$  ze wzoru 5.5.

Obliczenia zostały przeprowadzone dla dwóch poziomów ufności  $(1-\alpha)$  tj. 0,95 (95%) i 0,90 (90%).

Dla poziomu ufności  $(1-\alpha) = 0,95$

- (i)  $X_{0,M} = \bar{x} \cdot f_{M,(1-\alpha)} = 64 \cdot 1,62 = 103,7 \text{ mg/m}^3$ ,
- (ii)  $X_{0,P95\%} = (\bar{x} + t_p \cdot s) \cdot f_{P,(1-\alpha)} = (64 + 2,02 \cdot 3,8) \cdot 2,60 = 186,2 \text{ mg/m}^3$ ,
- (iii)  $X_{0,max} = x_{max} \cdot f_{max,(1-\alpha)} = 75 \cdot 6,80 = 510,0 \text{ mg/m}^3$ .

Dla poziomu ufności  $(1-\alpha) = 0,90$

- (i)  $X_{0,M} = \bar{x} \cdot f_{M,(1-\alpha)} = 64 \cdot 1,44 = 92,2 \text{ mg/m}^3$ ,
- (ii)  $X_{0,P95\%} = (\bar{x} + t_p \cdot s) \cdot f_{P,(1-\alpha)} = (64 + 1,44 \cdot 3,8) \cdot 1,80 = 125,0 \text{ mg/m}^3$ ,
- (iii)  $X_{0,max} = x_{max} \cdot f_{max,(1-\alpha)} = 75 \cdot 3,60 = 270,0 \text{ mg/m}^3$ .

Jeżeli uzyskane pomiary zostaną uzupełnione o trzeci dzień pomiarowy, podczas którego uzyskano następujące wyniki: 66 mg/m<sup>3</sup>, 55 mg/m<sup>3</sup> i 50 mg/m<sup>3</sup>, to na podstawie próbki losowej obejmującej 9 pomiarów uzyskanych podczas trzech dni pomiarowych obliczone zostały wartości estymatorów prawdziwych parametrów:

- średnia arytmetyczna  $\bar{x} = 61,7 \text{ mg/m}^3$  według wzoru 4.1,
- wartość maksymalna  $X_{max} = 75 \text{ mg/m}^3$ ,
- odchylenie standardowe  $s = 8,5 \text{ mg/m}^3$  według wzoru 4.3,
- odchylenie standardowe średniej arytmetycznej  $\sigma_{\bar{x}} = 3,0 \text{ mg/m}^3$  według wzoru 4.9.

Zgodnie z wytycznymi [VDI, 2018] obliczone zostały, na podstawie uzyskanych wyników pomiarów okresowych, estymowane wartości następujących parametrów:

- górnej granicy przedziału ufności wartości oczekiwanej  $X_{0,M}$  ze wzoru 5.3,
- górnej granicy przedziału ufności 95% percentylu  $X_{0,P(95\%)}$  ze wzoru 5.4,
- górnego poziomu przedziału ufności wartości maksymalnej  $X_{0,max}$  ze wzoru 5.5.

Obliczenia zostały przeprowadzone dla dwóch poziomów ufności  $(1-\alpha)$  tj. 0,95 (95%) i 0,90 (90%).

Dla poziomu ufności  $(1-\alpha) = 0,95$

- (iv)  $X_{0,M} = \bar{x} \cdot f_{M,(1-\alpha)} = 61,7 \cdot 1,48 = 91,2 \text{ mg/m}^3$ ,
- (v)  $X_{0,P95\%} = (\bar{x} + t_p \cdot s) \cdot f_{P,(1-\alpha)} = (61,7 + 1,86 \cdot 3,0) \cdot 2,30 = 154,8 \text{ mg/m}^3$ ,
- (vi)  $X_{0,max} = x_{max} \cdot f_{max,(1-\alpha)} = 75 \cdot 5,70 = 427,5 \text{ mg/m}^3$ .

Dla poziomu ufności  $(1-\alpha) = 0,90$

- (iv)  $X_{0,M} = \bar{x} \cdot f_{M,(1-\alpha)} = 61,7 \cdot 1,32 = 81,4 \text{ mg/m}^3$ ,
- (v)  $X_{0,P95\%} = (\bar{x} + t_p \cdot s) \cdot f_{P,(1-\alpha)} = (61,7 + 1,40 \cdot 3,0) \cdot 1,64 = 108,0 \text{ mg/m}^3$ ,
- (vi)  $X_{0,max} = x_{max} \cdot f_{max,(1-\alpha)} = 75 \cdot 2,15 = 213,8 \text{ mg/m}^3$ .

## 5.2. Opis podejścia flamandzkiego

Flamandzkie przepisy dotyczące ochrony środowiska, VLAREM, nakładają na operatorów instalacji IPPC (*Integrated Pollution Prevention and Control*) minimalny obowiązek pomiarów emisji do powietrza i wody. W przypadku zakładów niebędących obiektami IPPC obowiązki pomiarowe określone są w VLAREM II. Obowiązki pomiarowe wynikające z europejskich konkluzji BAT zostały opublikowane w VLAREM III.

Jednak w pewnych okolicznościach przepisy i wymagania pomiarowe zawarte w konkluzjach BAT pozwalają na zmniejszenie częstotliwości monitorowania. Przepisy, zgodnie z którymi częstotliwość wykonywanych pomiarów może być zmniejszana, dotyczą najczęściej wykazania, że poziomy emisji są wystarczająco stabilne i niższe od wartości granicznych (dopuszczalnych). Przepisy flamandzkie rozszerzają zamieszczony w konkluzjach BAT wymóg wystarczającej stabilności o stwierdzenie, że wyniki pomiarów są niższe od wartości dopuszczalnych.

Mając na celu zapewnienie przejrzystości i większej jednoznaczności w obszarze potwierdzenia wystarczającej stabilności poziomów emisji umożliwiającej zmniejszenie częstotliwości pomiarów, departamenty zajmujące się emisjami do wody i powietrza wspólnie wydały dokument [Rapport, 2022], w którym podane zostały opracowane przez zespoły eksperckie ogólne, kompleksowe i uzasadnione statystycznie ramy oceny stabilności poziomów emisji. Ich stosowanie ma zagwarantować, że operatorzy instalacji objętych obowiązkiem monitorowania, będą stosowali racjonalną i wiarygodną częstotliwość pomiarów. W założeniu autorów dokumentu [Rapport, 2022], opisany sposób postępowania w obszarze potencjalnego zmniejszenia częstotliwości pomiarów (określonego w dokumencie „dekumalacją”) winien być:

- (i) wykonalny i jasny dla operatorów instalacji przemysłowych,
- (ii) powszechnie stosowany i egzekwowalny,
- (iii) uzasadniony statystycznie,
- (iv) uzasadniony prawnie.

Dla realizacji postawionych celów (i) i (iii) należało:

- określić jaki zestaw pomiarów należy brać pod uwagę przy badaniu stabilności poziomów emisji (zarówno pod względem ich liczby oraz okresu, w którym zostały wykonane), aby pomiary te były reprezentatywne dla emisji w ujęciu rocznym,
- wybrać zestaw parametrów statystycznych, które będą właściwe z punktu widzenia badania stabilności poziomów emisji w aspekcie dopuszczalnych (granicznych) wielkości emisji,
- podać jasną, zrozumiałą i statystycznie uzasadnioną procedurę potencjalnego zmniejszenia częstotliwości pomiarów, która powinna zawierać co najmniej: (i) jednoznaczne kryteria umożliwiające bądź nie obniżenie częstotliwości pomiarów, (ii) jednoznaczne określenie wielkości obniżenia częstotliwości pomiarów, (iii) oszacowanie ryzyka przekroczenia granicznej (dopuszczalnej) wielkości emisji przy zmniejszeniu częstotliwości pomiarów.

### 5.2.1. Zestaw wyników pomiarów emisji uwzględnianych w analizie

Aby dana instalacja kwalifikowała się do zmniejszenia częstotliwości monitorowania emisji, musi dysponować minimalną liczbą wyników pomiarów emisji danego zanieczyszczenia. Pomiary te muszą być wykonywane z tzw. podstawową częstotliwością (np. określoną w odniesieniu do każdego z zanieczyszczeń w konkluzjach BAT) i według zaakceptowanej stosowanej rutynowo metodyki pomiarowej. Minimalna liczba pomiarów zależy od podstawowej częstotliwości pomiarów i przedstawia się następująco:

- pomiar wykonywany raz w roku – brak możliwości zmniejszenia częstotliwości pomiarów,
- dwa pomiary w roku – baza minimum 4 ostatnich pomiarów,
- pomiary czteromiesięczne – baza minimum 4 pomiarów,
- pomiary co kwartał (co trzy miesiące) – baza minimum 4 pomiarów,
- pomiary co dwa miesiące – baza minimum 6 pomiarów,
- pomiary co miesiąc – baza minimum 12 pomiarów,
- pomiary co pół miesiąca baza minimum 12 pomiarów,
- pomiary co tydzień – baza minimum 26 pomiarów,
- pomiary codzienne – baza minimum 30 pomiarów.

W przypadku instalacji, które przez lata funkcjonowania były w stanie zmniejszyć częstotliwość pomiarów niektórych parametrów, należy przewidzieć środki przejściowe przy wdrażaniu nowego systemu dla umożliwienia włączenia się ich do nowego harmonogramu działań w zakresie potwierdzania wystarczającej stabilności poziomów emisji.

Dla zagwarantowania uwzględniania aktualnych wyników pomiarów (oddających w miarę aktualne funkcjonowanie instalacji w obszarze emisji) i reprezentowania ich rocznej zmienności, przyjęte zostały następujące wymagania odnośnie okresów z jakich mogą pochodzić wyniki pomiarów.

- w przypadku pomiarów półrocznych – wyniki pomiarów muszą pochodzić z ostatnich 24 miesięcy,
- w przypadku pomiarów czteromiesięcznych – wyniki pomiarów muszą pochodzić z ostatnich 24 miesięcy,
- w przypadku pomiarów kwartalnych – wyniki pomiarów muszą pochodzić z ostatnich 12 miesięcy,
- w przypadku pomiarów dwumiesięcznych – wyniki pomiarów muszą pochodzić z ostatnich 12 miesięcy,
- w przypadku pomiarów miesięcznych – wyniki pomiarów muszą pochodzić z ostatnich 12 miesięcy,
- w przypadku pomiarów półmiesięcznych – wyniki pomiarów muszą pochodzić z ostatnich 12 miesięcy,
- w przypadku pomiarów tygodniowych – wyniki pomiarów muszą pochodzić z ostatnich 12 miesięcy,
- w przypadku pomiarów codziennych – wyniki pomiarów muszą pochodzić z ostatnich 12 miesięcy.

Należy zaznaczyć, że do analizy mogą być wykorzystane tylko wyniki pomiarów realizowanych zgodnie z aktualnymi: częstotliwością i harmonogramem pomiarów emisji.



## 5.2.2. Wybór parametrów statystycznych do oceny zmienności wielkości emisji

Autorzy dokumentu [Rapport, 2022] rozważyli możliwość zastosowania trzech parametrów statystycznych do charakteryzowania zmienności i wielkości serii wyników pomiarów emisji wg podrozdziału 5.2.1 niniejszego opracowania.

Pierwszym z parametrów jest średnia ruchoma obliczana na podstawie uzyskanych wyników pomiarów przeprowadzonych zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w podrozdziale 5.2.1. Wartość średniej jest obliczana zgodnie ze wzorem (4.1). Wartość średniej ruchomej jest wrażliwa na pojedyncze wyniki pomiarów odstających, zarówno maksymalnych (wartość średniej rośnie) jak i minimalnych (wartość średniej maleje). Przy podaniu wartości średniej będącej parametrem arytmetycznym (obliczeniowym), dla określenia zmienności uzyskanych wyników pomiarów powinno się podawać również wartość parametru będącego miarą rozproszenia wyników pomiarów. Takim parametrem jest odchylenie standardowe pojedynczego wyniku obliczane ze wzoru (4.4) lub (4.5) w zależności od liczby wyników pomiarów. Zdaniem autorów dokumentu [Rapport, 2022], konieczność obliczenia dwóch parametrów (*de facto* są to estymatory) tj. średniej ruchomej oraz odchylenia standardowego sprawia, że zastosowanie tych narzędzi statystycznych jest bardziej skomplikowane w stosunku do innych.

Drugim parametrem proponowanym do charakterystyki wyników serii pomiarowej jest mediana ( $Me$ , która jest kwantylem rzędu 0,5, a także 50% percentylem). Mediana jest parametrem pozycyjnym, który w przypadku zmiennych losowych dyskretnych a za takie możemy uważać wyniki pomiarów emisji jest wyznaczana w następujący sposób: (i) uzyskane wyniki pomiarów szeregujemy od najmniejszego do największego, (ii) w przypadku nieparzystej liczby wyników, wartość mediany jest wartością wyniku pomiaru znajdującego się pośrodku uporządkowanego rosnąco szeregu, (iii) w przypadku parzystej liczby wyników, wartość mediany jest średnią arytmetyczną z dwóch wyników znajdujących się w środku uporządkowanego rosnąco szeregu. Wartość mediany jest odporna na pojedyncze wyniki odstające, zarówno w górę jak również w dół.

Trzecim parametrem analizowanym w dokumencie jest wartość maksymalna z serii wyników pomiarów emisji ( $x_{max}$ ), która do opisu populacji wyników pomiarów jest bardzo restrykcyjna. Wynika, to z faktu że nawet pojedynczy wynik pomiaru odstający w górę (stanowiący wspomnianą wartość maksymalną) nie pozostawia żadnego marginesu dla nieuniknionych wahań wynikających z błędów pomiarowych. Z tego powodu autorzy nie rekomendują stosowania tego parametru.

Z punktu widzenia charakterystyki stabilności poziomów emisji na podstawie wyników serii pomiarów emisji, autorzy rekomendują stosowanie percentyli. Przykładowo 90% percentyl ( $P_{90}$ ) oznacza taką wartość wyniku pomiaru, od której 90% wszystkich wyników jest mniejsza (jest to równoważne z tym, że 10% uzyskanych wyników jest od wartości tego percentyla większa). Percentyle wykorzystuje się często do opisu zmienności szczytowej wyników populacji próbnej. Parametry te pozwalają bowiem na wyeliminowanie rzadkich przypadkowych wielkości szczytowych. Wartość 100% percentylu ( $P_{100}$ ) jest niczym innym jak wartością maksymalną ( $x_{max}$ ).

Dla ułatwienia (uproszczenia) wyznaczenia wartości określonych percentyli, zaproponowano wymaganą minimalną liczbę wyników pomiarów emisji niezbędną dla ich wyznaczenia:

- dla obliczenia  $P_{99}$  potrzebnych jest co najmniej 101 wyników pomiaru emisji,
- dla obliczenia  $P_{95}$  potrzebnych jest co najmniej 21 wyników pomiaru emisji,
- dla obliczenia  $P_{90}$  potrzebnych jest co najmniej 11 wyników pomiaru emisji,
- dla obliczenia  $P_{75}$  potrzebnych jest co najmniej 5 wyników pomiaru emisji.

### 5.2.3. Wybór procedury weryfikującej stabilność poziomów emisji

W dokumencie opisane zostały dwa możliwe do zastosowania schematy dotyczące dekumulacji (zmniejszenia częstotliwości pomiarów emisji) w przypadku stosowania percentyli jako parametrów opisujących stabilność poziomów emisji w aspekcie przekroczenia wartości dopuszczalnych.

Pierwszy z nich (opisany w dokumencie jako drugi) opiera się na obliczeniu, dysponując wynikami serii pomiarów wielkości emisji, wartości następujących percentyli:  $P_{50}$  (jego wartość oznaczana jest w dokumencie jako O),  $P_{90}$  (jego wartość oznaczana jest jako P),  $P_{95}$  (jego wartość oznaczana jest jako Q) i  $P_{99}$  (jego wartość oznaczana jest jako R). Po wyliczeniu wartości czterech percentyli (O, P, Q i R) dokonujemy następującej procedury weryfikującej:

**Krok 1:** Jeżeli  $P_{50} > a \cdot N$  (gdzie:  $N$  – dopuszczalna wielkość emisji;  $a < 1$  – ułamek dopuszczalnej wielkości emisji, którego wartość wynika z przyjętej oceny ekspertów związanej z dopuszczalnym ryzykiem przekroczenia granicznej wielkości emisji) to pomiary emisji nie są wystarczająco stabilne i nie ma możliwości zmniejszenia częstotliwości pomiarów emisji. Jeżeli  $P_{50} < a \cdot N$  to przechodzimy do kroku 2

**Krok 2:** Jeżeli  $P_{90} > a \cdot N$  to stabilność poziomów emisji pozwala na zmniejszenie częstotliwości pomiarów emisji o jeden stopień w stosunku do częstotliwości podstawowej (wynikającej np. z konkluzji BAT). Jeżeli zaś  $P_{90} < a \cdot N$  to przechodzimy do kroku 3

**Krok 3:** Jeżeli  $P_{95} > a \cdot N$  to stabilność poziomów emisji pozwala na zmniejszenie częstotliwości pomiarów emisji o dwa stopnie. Jeżeli zaś  $P_{95} < a \cdot N$  to przechodzimy do kroku 4

**Krok 4:** Jeżeli  $P_{99} > a \cdot N$  to stabilność poziomów emisji pozwala na zmniejszenie częstotliwości pomiarów emisji o 3 stopnie. Jeżeli zaś  $P_{99} < a \cdot N$  to możemy zmniejszyć częstotliwość pomiarów emisji o 4 stopnie.

Przedstawiony sposób postępowania może być stosowany do oceny stabilności poziomów emisji w aspekcie zmniejszenia częstotliwości pomiarów, ale nie jest rekomendowany przez autorów. Głównym powodem braku rekomendacji jest możliwość pojawienia się wewnętrznej sprzeczności polegającej na tym, że do obliczenia 99% percentyli potrzebne jest minimum 101 wyników pomiarów, a po ewentualnym zmniejszeniu ich częstotliwości operator instalacji będzie musiał czekać na uzyskanie wymaganej liczby pomiarów, niezbędnej do obliczenia odpowiedniego percentyla, przez nieakceptowalnie długi czas.

W związku z tym jako rekomendowany schemat postępowania autorzy dokumentu zalecają zastosowanie w procedurze weryfikacyjnej tylko jednego percentyla, a mianowicie

$P_{90}$  wymagającego minimum 11 wyników pomiaru. Szczegółowy opis tego postępowania został przedstawiony w podrozdziale 5.2.4 niniejszego opracowania.

#### 5.2.4. Zasady określające wielkość obniżenia częstotliwości pomiarów emisji

W dokumencie zostały wymienione potencjalnie wszystkie częstotliwości monitorowania objęte systemem VLAREM (zwane stopniami):

- dzienne,
- tygodniowe,
- półmiesięczne,
- miesięczne,
- dwumiesięczne,
- kwartalne (trzymiesięczne),
- czteromiesięczne,
- półroczne,
- roczne.

Operator instalacji realizuje monitoring z tzw. częstotliwością podstawową i na podstawie uzyskanych wyników pomiarów, spełniających wymagania opisane w podrozdziale 5.2.1, oblicza jeden z dwóch parametrów:

- 90% percentyl  $P_{90}$  (zalecane przy minimum 11 wynikach pomiarów emisji),
- wartość maksymalną  $x_{max}$  (zalecane przy mniejszej liczbie pomiarów emisji, które nie pozwalają na obliczenie 90% percentylu).

Aby uzyskać maksymalną liczbę stopni dekumulacji w porównaniu z podstawową częstotliwością pomiarów, obliczoną wartość parametru opisującego stabilność wyników pomiarów emisji ( $P_{90}$  lub  $x_{max}$ ) porównuje się z wartościami stanowiącymi odpowiedni procent wartości dopuszczalnej wielkości emisji (dalej *Normy*). Sposób postępowania jest następujący:

- $P_{90} \leq 10\% \cdot Normy$  lub  $x_{max} \leq 10\% \cdot Normy$  – można zastosować częstotliwość pomiarów o cztery stopnie niższą od podstawowej częstotliwości pomiarowej; przy spełnieniu tego warunku i założeniu rozkładu logarytmiczno-normalnego wielkości emisji, ryzyko przekroczenia dopuszczalnego poziomu emisji jest bliskie 0,
- $P_{90} \leq 25\% \cdot Normy$  lub  $x_{max} \leq 25\% \cdot Normy$  – można zastosować częstotliwość pomiarów o trzy stopnie niższą od podstawowej częstotliwości pomiarowej; przy spełnieniu tego warunku i założeniu rozkładu logarytmiczno-normalnego wielkości emisji, ryzyko przekroczenia dopuszczalnego poziomu emisji jest mniejsze od 0,002%,
- $P_{90} \leq 50\% \cdot Normy$  lub  $x_{max} \leq 50\% \cdot Normy$  – można zastosować częstotliwość pomiarów o dwa stopnie niższą od podstawowej częstotliwości pomiarowej; przy spełnieniu tego warunku i założeniu rozkładu logarytmiczno-normalnego wielkości emisji, ryzyko przekroczenia dopuszczalnego poziomu emisji jest mniejsze od 0,28%,

- $P_{90} \leq 75\% \cdot Normy$  lub  $x_{max} \leq 75\% \cdot Normy$  – można zastosować częstotliwość pomiarów o jeden stopień niższą od podstawowej częstotliwości pomiarowej; przy spełnieniu tego warunku i założeniu rozkładu logarytmiczno-normalnego wielkości emisji, ryzyko przekroczenia dopuszczalnego poziomu emisji jest mniejsze od 2,5%,
- $P_{90} > 75\% \cdot Normy$  lub  $x_{max} > 75\% \cdot Normy$  – nie można zmniejszyć częstotliwości pomiarów; utrzymuje się podstawową częstotliwość pomiarową.

**Przykład 5.2:** Operator instalacji jako podstawową częstotliwość pomiarową stosuje pomiary miesięczne. Przy wartości dopuszczalnej emisji wynoszącej  $50 \text{ mg/m}^3$  uzyskał następujące 11 wyników z ostatniego roku:  $45,5 \text{ mg/m}^3$ ;  $34,9 \text{ mg/m}^3$ ;  $44,0 \text{ mg/m}^3$ ;  $40,5 \text{ mg/m}^3$ ;  $19,9 \text{ mg/m}^3$ ;  $7,7 \text{ mg/m}^3$ ;  $11,5 \text{ mg/m}^3$ ;  $25,5 \text{ mg/m}^3$ ;  $9,0 \text{ mg/m}^3$ ;  $37,7 \text{ mg/m}^3$ ;  $28,5 \text{ mg/m}^3$ .

Jako parametr opisujący stabilność poziomu emisji przyjęto 90% percentyl, który jest równy dla tego zestawu danych  $P_{90} = 44,4 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$ .

Stosując opisany powyżej schemat postępowania, mamy:

- $P_{90} = 44,4 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} > 75\% \cdot 50 = 37,5 \text{ mg/m}^3$  czyli operator nie może zmniejszyć częstotliwości pomiarów emisji.

**Przykład 5.3:** Operator instalacji jako podstawową częstotliwość pomiarową stosuje pomiary dwumiesięczne. Przy wartości dopuszczalnej emisji wynoszącej  $30 \text{ mg/dm}^3$  uzyskał 6 wyników pomiaru z ostatniego roku:  $8,5 \text{ mg/dm}^3$ ;  $4,4 \text{ mg/dm}^3$ ;  $12,9 \text{ mg/dm}^3$ ;  $10,0 \text{ mg/dm}^3$ ;  $6,4 \text{ mg/dm}^3$ ;  $7,5 \text{ mg/dm}^3$ .

Jako parametr opisujący stabilność poziomu emisji przyjęto wartość maksymalną, która jest równa  $x_{max} = 12,9 \text{ mg/dm}^3$ .

Stosując opisany powyżej schemat postępowania, mamy:

- $x_{max} = 12,9 \frac{\text{mg}}{\text{dm}^3} \leq 50\% \cdot 30 = 15 \text{ mg/dm}^3$  czyli operator może zmniejszyć częstotliwość monitorowania o dwa stopnie do częstotliwości realizowanych pomiarów co cztery miesiące.

## 6. Ocena poziomów stabilności emisji

### 6.1. Opis zastosowanych instrumentów statystycznych

Do oceny stabilności poziomów emisji zastosowane zostały estymatory dwóch parametrów charakteryzujących wielkość emisji na podstawie wykonanych pomiarów w okresie jednego roku<sup>9</sup>. Biorąc pod uwagę, że w wielu przypadkach liczba pomiarów nie jest zbyt duża, instrumenty te muszą być odporne na pojedyncze wyniki pomiarów zaniżające lub zawyżające faktyczną wielkość emisji w ciągu roku. Takimi parametrami są parametry pozycyjne typu percentyl (kwantyl) rzędu  $p$ .

Definicyjnie percentyl (kwantyl) rzędu  $p$  ( $x_p$ ) jest wartością zmiennej losowej (np. wielkością emisji danego zanieczyszczenia), od której  $p$  procent całej populacji (wszystkich wyników wykonanych pomiarów emisji tego zanieczyszczenia) ma wartości mniejsze:

$$P(X < x_p) = p \quad (6.1)$$

Pierwszym estymatorem, przez analogię do podejść stosowanych w innych krajach członkowskich jest 90% percentyl ( $P_{90}$ ). Warunkiem koniecznym do zastosowania tego instrumentu jest dysponowanie przez operatora instalacji 11 wynikami pomiarów emisji z okresu roku. Dla takiej liczby wyników wartość  $P_{90}$  może być wyznaczona wprost, poprzez wskazanie wartości jednego wyniku, zgodnie z definicją percentyla. Z tego właśnie powodu, nie stosuje się 95% percentyla, gdyż dla jego bezpośredniego wyznaczenia potrzeba by dysponować 21 wynikami pomiarów wielkości emisji uzyskanymi w ciągu roku. Poniżej podany został przykład wyznaczenia wartości  $P_{90}$ .

**Przykład 6.1** Operator instalacji wykonał, z częstotliwością 1 miesiąca, 11 pomiarów emisji uzyskując następujące wyniki: 7,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 4,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 8,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 6,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 3,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 4,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 5,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 3,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  oraz 2,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Uzyskane wyniki szeregujemy od najmniejszego do największego: 1 - 2,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2 - 2,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 3 - 2,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 4 - 3,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 5 - 3,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 6 - 4,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 7 - 4,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 8 - 5,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 9 - 6,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 10 - 7,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 11 - 8,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Zgodnie z definicją 90% percentyla  $P_{90} = 7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

W przypadku gdy operator instalacji nie dysponuje 11 wynikami pomiarów uzyskanymi w okresie roku, wtedy stosowanym instrumentem statystycznym wykorzystywanym do oceny stabilności poziomów emisji będzie górny limit 95% przedziału ufności dla 95% percentyla  $ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1}$ . Wartość estymatora tego parametru jest wyznaczana na podstawie, co najmniej 3 wyników pomiarów, z następującego wzoru:

$$ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1} = \left( \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2};k} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) \cdot f_{(1-\alpha)=0,95;k=n-1} \quad (6.2)$$

<sup>9</sup> Jest to okres przyjęty do analiz, gdyż wysoce uprawdopodobnia porównywalność uzyskanych w tym okresie wyników. Tym niemniej w przypadku instalacji, w których nie dochodziło do zmian wpływających na emisje badanego zanieczyszczenia i wyniki pomiarów są porównywalne (np. uzyskane z pomocą tych samych metodyk) uzasadnione jest wykorzystanie danych z dłuższego okresu – patrz rozdział 6.2 pkt m.

gdzie:  $t_{\frac{\alpha}{2};k=n-1}$  – współczynnik  $t$  (wartość testu t-Studenta) zależna od poziomu ufności  $(1-\alpha)$  i liczby stopni swobody  $(n-1)$ ; wartości tego współczynnika dla dwóch poziomów ufności: 0,95 i 0,90 zostały zestawione w tabeli 6.2

$s$  – odchylenie standardowe średniej arytmetycznej obliczone z uzyskanych wyników pomiarów emisji – patrz wzór 4.4,

$f_{(1-\alpha);k=n-1}$  – wartość współczynnika dla założonego poziomu ufności i liczby stopni swobody; wartość tego współczynnika koryguje wyznaczoną wartość górnej granicy przedziału ufności ze względu na zbyt małą liczbę wyników pomiarów  $n$ ; gdy  $n$  dąży do nieskończoności (w praktyce powyżej 30) wartość współczynnika można przyjąć równą 1 – wartości zostały zestawione w tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Wartości współczynników  $f_{(1-\alpha);k=n-1}$  w zależności od przyjętego poziomu ufności i liczby stopni swobody (liczby pomiarów emisji).

Liczba stopni swobody $k =$ $n - 1$	Poziom ufności $(1-\alpha)$	
	0,90	0,95
2	1,64	2,30
3	1,49	2,07
4	1,37	1,88
5	1,28	1,75
6	1,20	1,65
7	1,14	1,56
8	1,09	1,49
9	1,06	1,41
10	1,04	1,34

Tabela 6.2. Wartości współczynników  $t_{\frac{\alpha}{2};k=n-1}$  w zależności od przyjętego poziomu ufności i liczby stopni swobody (liczby pomiarów emisji).

Liczba stopni swobody $k =$ $n - 1$	Poziom ufności $(1-\alpha)$	
	0,90	0,95
2	2,920	4,302
3	2,353	3,182
4	2,132	2,776
5	2,015	2,571
6	1,943	2,447
7	1,895	2,364
8	1,860	2,306
9	1,833	2,262
10	1,812	2,228

Poniżej dla dwóch przykładowych zestawów danych opisany został sposób wyznaczania

$ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1}$ .

**Przykład 6.2.** Operator instalacji wykonał w okresie roku, z częstotliwością co dwa miesiące 6 pomiarów emisji uzyskując następujące wyniki: 120 mg/dm<sup>3</sup>, 135 mg/dm<sup>3</sup>, 129 mg/dm<sup>3</sup>, 105 mg/dm<sup>3</sup>, 146 mg/dm<sup>3</sup>, 112 mg/dm<sup>3</sup>. Dla uzyskanych wartości został wyznaczony górny limit przedziału ufności dla 95% percentyla na poziomie ufności  $(1 - \alpha) = 0,95$ , przy  $k=n-1=5$  stopniach swobody.

W pierwszej kolejności obliczone zostały wartości wszystkich wielkości występujących we wzorze 6.2:

- średnia arytmetyczna  $\bar{x} = 124,5 \text{ mg/dm}^3$  według wzoru 4.1,
- odchylenie standardowe  $s = 13,8 \text{ mg/dm}^3$  według wzoru 4.3,
- odchylenie standardowe średniej arytmetycznej  $\sigma_{\bar{x}} = 6,2 \text{ mg/dm}^3$  według wzoru 4.9,

Z kolei wartości współczynników występujących we wzorze 6.2 zostały odczytane:



- wartość współczynnika z tabeli 6.1  $f_{(1-\alpha)=0,95;k=n-1=5} = 1,75$
- wartość testu z rozkładu Studenta odczytana z tabeli 6.2  $t_{\frac{\alpha}{2},k} = 2,571$ .

Po wstawieniu wyliczonych i odczytanych wartości do wzoru (6.2) uzyskujemy:

$$ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1} = \left(124,5 + 2,571 \cdot \frac{13,8}{\sqrt{6-1}}\right) \cdot 1,75 = 245,7 \text{ mg/dm}^3$$

**Przykład 6.3.** Operator instalacji wykonał w okresie roku, z częstotliwością co trzy miesiące 4 pomiary emisji uzyskując następujące wyniki: 131 mg/dm<sup>3</sup>, 128 mg/dm<sup>3</sup>, 132 mg/dm<sup>3</sup>, 125 mg/dm<sup>3</sup>. Dla uzyskanych wartości został wyznaczony górny limit przedziału ufności dla 95% percentyla na poziomie ufności  $(1 - \alpha) = 0,95$ , przy  $k=n-1=3$  stopniach swobody.

W pierwszej kolejności obliczone zostały wartości wszystkich wielkości występujących we wzorze 6.2:

- średnia arytmetyczna  $\bar{x} = 129,0 \text{ mg/dm}^3$  według wzoru 4.1,
- odchylenie standardowe  $s = 2,74 \text{ mg/dm}^3$  według wzoru 4.3,
- odchylenie standardowe średniej arytmetycznej  $\sigma_{\bar{x}} = 1,58 \text{ mg/dm}^3$  według wzoru 4.9,

Z kolei wartości współczynników występujących we wzorze 6.2 zostały odczytane:

- wartość współczynnika z tabeli 6.1  $f_{(1-\alpha)=0,95;k=n-1=3} = 2,07$ ,
- wartość testu z rozkładu Studenta odczytana z tabeli 6.2  $t_{\frac{\alpha}{2},k} = 3,182$ .

Po wstawieniu wyliczonych i odczytanych wartości do wzoru (6.2) uzyskujemy:

$$ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1} = \left(129,0 + 3,182 \cdot \frac{2,74}{\sqrt{4-1}}\right) \cdot 2,07 = 277,4 \frac{\text{mg}}{\text{dm}^3}$$

Zaproponowane instrumenty statystyczne są estymatorami parametrów pozycyjnych charakteryzujących rozkład emisji na podstawie niezbyt dużej liczby wyników pomiarów. W odniesieniu do oceny stabilności poziomów emisji w aspekcie wystąpienia przekroczeń dopuszczalnego limitu są instrumentami właściwymi. Pozwalają, przy danym zestawie wyników pomiarów, na oszacowanie ryzyka faktycznego przekroczenia dopuszczalnych limitów emisji. Na podstawie oceny tego ryzyka można podejmować racjonalną decyzję dotyczącą, czy analizowana próbka (zestaw wyników pomiarów emisji) upoważnia do zmniejszenia częstotliwości pomiarów.

## 6.2. Opis algorytmu oceny stabilności emisji

Przystępując do opisu algorytmu oceny stabilności emisji w aspekcie zmniejszenia częstotliwości pomiarów (nazywanej dekumulacją), zdefiniowano podstawowe (wyjściowe) częstotliwości pomiarów emisji:

- raz dziennie,
- raz w miesiącu,
- co 2 miesiące,
- raz na kwartał,
- co 6 miesięcy,
- co 12 miesięcy.

Przyjęto założenie, że po udowodnieniu odpowiedniej stabilności emisji w danym roku o poziomie zmniejszenia częstotliwości decyduje właściwy organ ochrony środowiska, który może określić inną częstotliwość niż opisana powyżej.

**Przed przystąpieniem do oceny stabilności poziomów, a więc skorzystaniem z metodyki opisanej w niniejszym poradniku należy zwrócić uwagę na kilka istotnych kwestii:**

- a) Zmniejszenie częstotliwości pomiarów wielkości dopuszczalnej emisji możliwe jest tylko tam gdzie zapisy konkluzji BAT dają taką możliwość,
- b) Metodyka zaproponowana w poradniku jest narzędziem statystycznym wspomagającym decyzje organu ochrony środowiska i nie powinna stanowić jedyne źródła informacji, na podstawie których podejmowana jest decyzja o możliwości ograniczenia częstotliwości pomiarów wielkości dopuszczalnej emisji. Należy brać pod uwagę także inne informacje mogące potwierdzać lub zaprzeczać, że emisje z danej instalacji (procesu) są stabilne. Będzie to szczególnie istotne gdy np. opisana w niniejszym poradniku metodyka potwierdzi lub zaprzeczy stabilności poziomów emisji na podstawie niewielkiej różnicy między wynikiem (np. 90 percentylem lub granicą 95% przedziału ufności dla 95 percentyla) a wielkością dopuszczalnej emisji,
- c) Oprócz statystycznej oceny wyników pomiarów ważnym elementem analizy powinny być informacje charakteryzujące pracę instalacji, istotne z punktu widzenia jej emisyjności np. stabilność procesów technologicznych, zmienność składu/rodzaju paliwa, zmiany wykorzystywanych surowców i materiałów czy możliwość wahań skuteczności technik ograniczania emisji,
- d) Tak jak w wielu podobnych narzędziach, jakość wyników będzie odzwierciedleniem jakości wprowadzonych danych. Dlatego też ocenie poddawany powinien być zbiór reprezentatywnych i prawidłowych wyników pomiarów,
- e) Wyniki powinny pochodzić z pomiarów wykonywanych przez laboratorium akredytowane (najlepiej z wykorzystaniem metodyk wskazanych w konkluzjach BAT). Jeżeli konkluzje nie wskazują konkretnej normy konieczne jest doprecyzowanie jakimi metodami wykonywane były pomiary (jaka jest ich niepewność oraz wskazanie poziomu wykrywalności oraz poziomu oznaczalności zastosowanej metody),
- f) Analizowane wyniki powinny być uzupełnione opisem dla jakich warunków pracy instalacji (parametrów procesowych) uzyskano zbiór danych, ze wskazaniem jakie czynniki mają wpływ na emisję danego zanieczyszczenia,
- g) Prowadzący instalację powinien wykorzystać wszystkie (ważne i reprezentatywne) wyniki uzyskane w danym roku, aby nie dochodziło do sytuacji gdzie zestaw danych dopasowywany jest do algorytmu w celu uzyskania korzystnych rozstrzygnięć,
- h) Jeżeli w roku objętym analizą wykonywane były pomiary kontrolne przez WIOŚ ich wyniki należy także uwzględnić w analizie oceny stabilności poziomów, kierując się kryteriami oceny jakości wyników wskazanymi powyżej,
- i) Istotna jest również ocena analizowanych wyników pomiarów w kontekście poziomu wykrywalności (LoD) oraz poziomu oznaczalności (LoQ) zastosowanej metody. Przepisy krajowe nie precyzują w jaki sposób traktować wyniki poniżej LoD lub LoQ jednak pewne informacje w tym zakresie dostępne są w dokumencie referencyjnym BAT dla ogólnych zasad monitorowania emisji (ROM) -rozdział 3.4.4.4,
- j) Niniejsze wytyczne nie były, co do zasady, opracowywane (ani testowane) w celu umożliwienia zastąpienia funkcjonującego już systemu do pomiarów ciągłych (AMS) pomiarami okresowymi. Zainstalowanie i wdrożenie AMS musiało być uwarunkowane istotnymi względami ochrony środowiska i wynikać z obowiązujących przepisów. Należy także zwrócić uwagę na istotne konsekwencje związane z nieprzejęciem „testu rocznego” i koniecznością ponownej instalacji/uruchomienia AMS,
- k) W odniesieniu do pomiarów ciągłych proponowana metodyka może być stosowana w sytuacjach gdzie realizowane są pomiary okresowe a dostosowanie do konkluzji BAT

- wymaga zainstalowania AMS – chyba że wykazana zostanie stabilność poziomów emisji,
- l) Celem publikacji niniejszych wytycznych nie jest nagła i masowa weryfikacja wcześniejszych decyzji organów ochrony środowiska np. zezwalających na ograniczenie częstotliwości pomiarów. Tym niemniej decyzje w przedmiotowym zakresie mogą być weryfikowane z wykorzystaniem zaproponowanej metodyki np. przy okazji okresowej analizy pozwolenia zintegrowanego wynikającej z art. 216 ustawy Poś,
  - m) Proponowana metodyka oceny stabilności poziomów emisji opiera się na analizie wyników pomiarów uzyskanych w okresie jednego roku. Jednak w sytuacjach gdzie dany proces przebiega w niezmienny sposób (np. w oparciu o te same surowce, paliwa, urządzenia techniczne i procedury organizacyjne mogące wpływać na emisje), możliwe jest uwzględnienie wyników z dłuższego okresu np. 2 – 3 ostatnich lat. Analizy oparte na niewielkiej liczbie wyników np. 3 – 4, obciążone są największą niepewnością dlatego, co do zasady, im więcej danych tym bardziej reprezentatywny wynik badania.
  - n) Zaproponowane narzędzie statystyczne działa w oparciu o minimum 3 wyniki pomiarów, dlatego w przypadku weryfikacji decyzji o ograniczeniu częstotliwości pomiarów tzw. testu rocznego, także konieczne jest wykorzystanie co najmniej 3 wyników. W przypadkach gdzie dekulacja pozwala na pomiar np. 1/6m lub 1/12m w teście rocznym należy wykorzystać dostępne dane z ostatnich lat tak by dysponować 3 wynikami.

Mając na uwadze powyższe kwestie, sugerowany sposób postępowania przy dekulacji częstotliwości pomiarów wygląda w następujący sposób:

- 1) Pierwszy krok dekulacji: z wyjściowej częstotliwości np. wynikającej z konkluzji BAT i wskazującej na pomiar ciągły lub raz dziennie ograniczenie częstotliwości do pomiaru co 1, 2, lub 3 miesiące. Dalsze ograniczanie częstotliwości pomiarów w pierwszym kroku nie jest rekomendowane.  
  
W innych przypadkach, gdzie wyjściowa (np. wynikająca z konkluzji BAT) częstotliwość monitorowania wynosi raz na miesiąc – raz na trzy miesiące: pierwszy krok dekulacji nie powinien być dłuższy niż raz na sześć miesięcy,.
- 2) Test roczny – po roku pracy instalacji z ograniczoną częstotliwością monitorowania konieczna jest weryfikacja czy mniejsza liczba pomiarów nie stwarza nadmiernego ryzyka pominięcia okresów z wyższymi poziomami emisji, które np. stwarzałyby ryzyko przekroczenia wielkości dopuszczalnej emisji. Pozytywny wynik testu daje możliwość utrzymania zmniejszonej częstotliwości pomiarów na kolejny rok. Ewentualnie prowadzący instalację może zawnieść o dalsze ograniczenie częstotliwości pomiarów – drugi krok dekulacji. W przypadku negatywnego wyniku testu należy powrócić do wyjściowej częstotliwości pomiarów.
- 3) Drugi krok dekulacji: po udowodnieniu, że dalsze ograniczenie częstotliwości pomiarów jest zasadne, organ ochrony środowiska, na wniosek prowadzącego instalację, może ograniczyć częstotliwość do pomiarów np. wynoszącą po 1. kroku raz na miesiąc do raz na sześć miesięcy lub gdy po 1. kroku pomiary zredukowano do raz na sześć miesięcy do raz na dwanaście miesięcy.

Decyzja dotycząca ograniczenia częstotliwości przeprowadzania pomiarów powinna zostać odzwierciedlona w treści pozwolenia zintegrowanego. Mając jednak na uwadze, że zasadność dekulacji będzie potwierdzana co roku istotne jest, aby odpowiednio ukształtować warunki decyzji. Może to przyjąć formę wariantów gdzie funkcjonował będzie:

- (i) wariant podstawowy (wynikający bezpośrednio z konkluzji BAT) obowiązujący w okresie, gdzie nie ma zastosowania wariant (ii) oraz,
- (ii) wariant ze zmniejszoną częstotliwością pomiarów mający zastosowanie na czas oznaczony np. 12 miesięcy (wskazane jest tu określenie konkretnej daty).

Jeżeli po 12 miesiącach prowadzący instalację pozytywnie przeprowadzi test roczny, wówczas wnioskuje o utrzymanie ograniczonej częstotliwości monitorowania (lub dalsze ograniczenie, w drugim kroku dekulacji). Jeżeli natomiast prowadzący instalację nie przeprowadzi testu rocznego lub jego wynik będzie negatywny i organ zdecyduje, że nie ma możliwości utrzymania ograniczonej częstotliwości pomiarów, zaczyna obowiązywać podstawowy wariant monitorowania. Przy tym schemacie postępowania konieczne są coroczne zmiany pozwolenia, celem wydłużenia okresu ze zmniejszoną częstotliwością pomiarów.

Alternatywą może więc być określenie w pozwoleniu zmniejszonej częstotliwości monitorowania bez konkretnego okresu lub daty obowiązywania, ale z dodatkowym warunkiem wskazującym, że np. w przypadku nieprzedłożenia przez prowadzącego instalację, w określonym terminie, pozytywnego wyniku testu rocznego obowiązuje podstawowa częstotliwość pomiarów wynikająca wprost z konkluzji BAT (pozwolenie powinno też konkretnie wskazywać tą podstawową częstotliwość pomiarów).

Drugie rozwiązanie daje większą elastyczność i zmniejsza obciążenia administracyjne jednak może wydawać się mniej jednoznaczne, zwłaszcza w sytuacjach, gdzie konieczny będzie powrót do podstawowej częstotliwości pomiarów. Przy jego zastosowaniu sugerowane jest także zobowiązanie prowadzącego instalację, w pozwoleniu, do przekazywania wyników testów rocznych również do WIOŚ.

Pierwsze podejście natomiast, wprowadza większą pewność, że zmniejszona częstotliwość pomiarów przestanie obowiązywać np. przy braku albo negatywnym wyniku testu rocznego.

Decyzję o sposobie odzwierciedlenia możliwości ograniczenia częstotliwości pomiarów w treści pozwolenia zintegrowanego, podejmują właściwe organy ochrony środowiska w oparciu o charakterystykę konkretnej instalacji.

Bardziej elastyczne podejście może sprawdzić się tam, gdzie istnieje solidna baza wyników pomiarów, zdecydowanie uzasadniającego ograniczenie częstotliwości pomiarów (np. 90 percentyl jest istotnie mniejszy od 75% wielkości dopuszczalnej emisji), a procesy na bazie wiedzy organu o danej instalacji cechują się stabilnością.

Z drugiej strony tam gdzie istnieje niewielka baza wyników pomiarów, rezultaty analiz statystycznych nie są jednoznaczne (np. 95% przedział ufności dla 95% percentyla nie jest mniejszy od wielkości dopuszczalnej emisji), a organ nie ma pewności co do stabilności procesów zachodzących na danej instalacji, uzasadnione może być wprowadzenie do pozwolenia bardziej jednoznacznych zapisów.

Niezależnie od wyniku testu minimalna częstotliwość pomiarów (do której można ograniczyć częstotliwość wyjściową) jest zazwyczaj wskazana w konkluzjach BAT w treści przypisów odnoszących się do stabilności poziomów emisji.

Należy pamiętać, że (corocznie) po okresie 12 miesięcy ze zmniejszoną częstotliwością pomiarów, dokonuje się oceny stabilności poziomów emisji przy nowej częstotliwości pomiarów i na podstawie wyników oceny podejmuje się jedną z trzech decyzji:

- (i) utrzymanie poziomu częstotliwości pomiarów,
- (ii) zmniejszenie częstotliwości pomiarów zgodnie z decyzją organu,
- (iii) zwiększenie częstotliwości do poziomu podstawowego lub innego uzasadnionego wynikami oceny i charakterystyką instalacji (np. częstotliwości po pierwszym kroku), o zakresie zwiększenia częstotliwości pomiarów decyduje właściwy organ ochrony środowiska.

### 6.2.1. Wymagania dotyczące wyników pomiarów do analizy

Do analizy stabilności emisji w aspekcie zmniejszenia częstotliwości monitorowania wykorzystywane są wyniki uzyskane podczas pomiarów okresowych emisji w okresie jednego roku:

- w przypadku największych częstotliwości monitorowania (pomiarów codziennie, pomiary raz na miesiąc) uwzględnia się co najmniej 11 ostatnich wyników (w przypadku, gdy operator instalacji dysponuje większą liczbą wyników uwzględnia się ostatnie  $n$  wyników uzyskanych w okresie roku spełniających następującą zależność  $\frac{1}{n-1} = 0,10$ ,
- w przypadku mniejszej częstotliwości pomiarów emisji, operator instalacji musi dysponować co najmniej 3 wynikami pomiarów emisji.

Możliwe jest zwiększenie częstotliwości pomiarów emisji (w ramach danego poziomu częstotliwości pomiarów). W takim przypadku wymagane jest, aby wyniki te były reprezentatywne dla całego okresu ich uzyskiwania (np. 12 ostatnich miesięcy) i uwzględniały potencjalną zmienności emisji w ciągu roku.

### 6.2.2. Procedura postępowania

Jeżeli operator instalacji dysponuje co najmniej 11 wynikami pomiarów z ostatniego roku (*de facto* z 11 miesięcy), to do oceny stabilności emisji danego zanieczyszczenia wykorzystuje statystykę opisaną wzorem (6.1), czyli 90% percentyl -  $P_{90}$ . Sposób wyliczenia wartości  $P_{90}$  wprost przez wskazanie wyniku pomiaru został opisany w przykładzie 6.1.

W przypadku, gdy operator instalacji dysponuje wynikami mniejszej liczby pomiarów emisji (patrz podrozdział 6.2.1), ale nie mniejszej niż 3 – do oceny stabilności emisji danego zanieczyszczenia, należy korzystać ze statystyki wyliczanej ze wzoru (6.2). Statystyka ta jest estymator górnej granicy 95% przedziału ufności 95% percentyla -  $ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1}$ . Sposób wyliczenia wartości tej statystyki został przedstawiony w przykładach 6.2 i 6.3.

Po 12 miesiącach prowadzenia pomiarów wielkości emisji ze zmniejszoną częstotliwością, należy dokonać oceny, czy stabilność wielkości emisji została utrzymana i nie zachodzi konieczność powrotu do większego poziomu częstotliwości pomiarów. W tym celu, w przypadku dysponowania mniejszą od 11 liczbą pomiarów wykonanych w ciągu roku, wykorzystuje się estymator górnej granicy 90% przedziału ufności 95% percentyla -  $ULP_{95;(1-\alpha)=0,90;k=n-1}$ . Sposób obliczenia wartości tej statystyki, zgodnie ze wzorem (6.2) został opisany w przykładzie 6.4.

**Przykład 6.4.** Operator instalacji wykonał, z częstotliwością co 3 miesiące, 4 pomiary wielkości emisji uzyskując następujące wyniki: 131 mg/dm<sup>3</sup>, 128 mg/dm<sup>3</sup>, 132 mg/dm<sup>3</sup> i 125 mg/dm<sup>3</sup> (są to identyczne wyniki jak w przykładzie 6.3)

Na podstawie tych wyników obliczone zostały następujące estymatory prawdziwych parametrów:

- średnia arytmetyczna  $\bar{x} = 129 \text{ mg/dm}^3$  według wzoru 4.1,



- odchylenie standardowe  $s = 2,74 \text{ mg/dm}^3$  według wzoru 4.3,
  - odchylenie standardowe średniej arytmetycznej  $\sigma_{\bar{x}} = 1,58 \text{ mg/dm}^3$  według wzoru 4.9.
- Odczytano, z odpowiednich tabel (6.1 i 6.2), wartości współczynników występujących we wzorze (6.2):
- wartość statystyki podlegającej rozkładowi Studenta  $t_{\frac{\alpha}{2}=0,05;k=n-1=3} = 2,353$ ,
  - wartość współczynnika  $f_{(1-\alpha)=0,90;k=n-1=3} = 1,49$ .

Po wstawieniu powyższych wartości do wzoru (6.2) uzyskujemy  $ULP_{95;(1-\alpha)=0,90;k=n-1=3} = (129 + 2,353 \cdot 1,58) \cdot 1,49 = 197,8 \frac{\text{mg}}{\text{dm}^3}$ .

Natomiast w sytuacji, gdy w ciągu roku, po zmniejszeniu częstotliwości pomiarów, operator dysponuje co najmniej 11 wynikami do oceny stabilności wykorzystywany jest 90% percentyl  $P_{90}$ .

### 6.2.3. Decyzja o zmniejszeniu częstotliwości monitorowania

Jeżeli operator instalacji dysponuje co najmniej 11 wynikami pomiarów za okres ostatniego roku, wtedy na podstawie tych wyników obliczona zostaje wartość 90% percentyla  $P_{90}$  zgodnie ze wzorem (6.2) i wartość tej statystyki jest porównywana z dopuszczalną wielkością emisji (*Norma*).

Jeżeli pomiędzy porównywanymi wielkościami ma miejsce zależność:

$$P_{90} \geq 0,75 \cdot \text{Norma} \quad (6.3)$$

wtedy nie ma możliwości zmniejszenia częstotliwości monitorowania emisji.

W przypadku gdy wartość 90% percentyla jest mniejsza od 0,75 dopuszczalnej wartości emisji:

$$P_{90} < 0,75 \cdot \text{Norma} \quad (6.4)$$

wtedy można zmniejszyć podstawową (dotychczasową) częstotliwość pomiarów, a o zmniejszonej częstotliwości pomiarów decyduje właściwy organ ochrony środowiska.

W sytuacji, gdy operator instalacji dysponuje mniejszą niż 11 liczbą pomiarów emisji, wtedy parametrem oceniającym stabilność emisji w odniesieniu do jej wartości dopuszczalnej jest górna granica 95% przedziału ufności 95% percentyla  $ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1}$  obliczana ze wzoru (6.2). Jeżeli pomiędzy wartością tej statystyki a dopuszczalną wielkością emisji istnieje zależność:

$$ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1} \geq \text{Norma} \quad (6.5)$$

wtedy nie ma możliwości zmniejszenia dotychczasowej częstotliwości pomiarów emisji.

W sytuacji, gdy wartość górnej granicy 95% przedziału ufności 95% percentyla jest mniejsza od dopuszczalnej wartości emisji:

$$ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1} < \text{Norma} \quad (6.6)$$

to operator instalacji może zmniejszyć dotychczasową częstotliwość pomiarów emisji, a o zmniejszonej częstotliwości pomiarów emisji decyduje właściwy organ ochrony środowiska.

W sytuacji, gdy operator instalacji stosuje zmniejszoną częstotliwość pomiarów emisji (po wypełnieniu warunku opisanego wzorem (6.4) lub (6.6) w zależności od liczby wyników pomiaru emisji uwzględnionej w analizie, co jest konsekwencją podstawowej częstotliwości monitorowania), to po roku stosowania zmniejszonej częstotliwości pomiarów emisji musi dokonać oceny, czy zmniejszona częstotliwość nie stwarza zbyt dużego (nieakceptowalnego) ryzyka przekroczenia dopuszczalnej wielkości emisji.

Jeżeli liczba wyników pomiarów po dekulacji jest mniejsza od 11 w ciągu roku, wtedy parametrem wykorzystywanym do tej oceny jest górna granica 90% przedziału ufności 95% percentyla  $ULP_{95;(1-\alpha)=0,90;k=n-1}$  obliczana ze wzoru (6.2), co zostało zilustrowane przykładem 6.4. Jeżeli wartość tej statystyki jest większa lub równa dopuszczalnej wielkości emisji:

$$ULP_{95;(1-\alpha)=0,90;k=n-1} \geq Norma \quad (6.7)$$

wtedy operator instalacji musi zwiększyć częstotliwość pomiarów emisji do poprzedniego poziomu (sprzed dekulacji).

Jeżeli górna granica 90% przedziału ufności 95% percentyla jest mniejsza od dopuszczalnej wielkości emisji:

$$ULP_{95;(1-\alpha)=0,90;k=n-1} < Norma \quad (6.8)$$

wtedy zmniejszona częstotliwość pomiarów emisji nie stwarza nieakceptowalnego ryzyka przekroczenia dopuszczalnego poziomu emisji i w związku z tym może być utrzymana w kolejnym okresie.

Przy spełnieniu warunku (6.8) istnieje możliwość dalszego zmniejszenia częstotliwości monitorowania emisji, gdy równocześnie spełniony jest warunek, że górna granica 95% przedziału ufności 95% percentyla jest mniejsza od dopuszczalnej wielkości emisji:

$$ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1} < Norma \quad (6.9)$$

Ponadto powinno to nastąpić po uzgodnieniu możliwości dalszego ograniczania częstotliwości wykonywanych pomiarów z właściwym organem ochrony środowiska.

W poniższym przykładzie pokazany został sposób weryfikacji częstotliwości pomiarów po dekulacji (Przykład 6.5).

**Przykład 6.5.** W wyniku przeprowadzonej procedury dekulacji, instalacja zmniejszyła częstotliwość pomiarów emisji z comiesięcznych na pomiary wykonywane co dwa miesiące. Podczas rocznego monitorowania, przy zmniejszonej częstotliwości pomiarów uzyskała następujące wyniki: 0,65 mg/m<sup>3</sup>; 0,55 mg/m<sup>3</sup>; 0,77 mg/m<sup>3</sup>; 0,45 mg/m<sup>3</sup>; 0,39 mg/m<sup>3</sup> i 0,49 mg/m<sup>3</sup> przy dopuszczalnej wielkości emisji wynoszącej 1 mg/m<sup>3</sup>.

Na podstawie tych wyników obliczone zostały następujące estymatory prawdziwych parametrów:

- średnia arytmetyczna  $\bar{x} = 0,55 \text{ mg/m}^3$  według wzoru 4.1,
- odchylenie standardowe  $s = 0,13 \text{ mg/m}^3$  według wzoru 4.3,



- odchylenie standardowe średniej arytmetycznej  $\sigma_{\bar{x}} = 0,06 \text{ mg/m}^3$  według wzoru 4.9.

Odczytano, z odpowiednich tabel i tablic, wartości współczynników występujących we wzorze (6.2):

- wartość statystyki podlegającej rozkładowi Studenta odczytana z tabeli 6.2  $t_{\frac{\alpha}{2}=0,05; k=n-1=5} = 2,015$ ,
- wartość współczynnika odczytana z tabeli 6.1  $f_{(1-\alpha)=0,90; k=n-1=5} = 1,28$ .

Po wstawieniu powyższych wartości do wzoru (6.2) uzyskujemy  $ULP_{95; (1-\alpha)=0,90; k=n-1=5} = (0,55 + 2,015 \cdot 0,06) \cdot 1,28 = 0,85 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$ .

Ponieważ wyznaczona wartość statystyki jest mniejsza od wartości granicznej emisji  $ULP_{95; (1-\alpha)=0,90; k=n-1} < Norma$ , czyli spełniony jest warunek dany wzorem (6.8). Pozwala to operatorowi instalacji na utrzymanie zmniejszonej częstotliwości monitorowania.

Operator instalacji może dokonać analizy, czy na podstawie uzyskanych wyników możliwa jest dalsza dekulacja (zmniejszenie częstotliwości pomiarów). Żeby obniżyć częstotliwość pomiarów o kolejny krok, musi być spełniony warunek dany wzorem (6.9):

$$ULP_{95; (1-\alpha)=0,95; k=n-1} < Norma = 1 \text{ mg/m}^3.$$

Obliczone wartości estymatorów pozostają niezmienione. Zmianie ulegają wartości współczynnika i statystyki odczytanych z tabel 6.1 i 6.2 (ponieważ zmienia się poziom ufności z 0,90 na 0,95). Wartości tych wielkości są równe:

- wartość statystyki podlegającej rozkładowi Studenta  $t_{\frac{\alpha}{2}=0,025; k=n-1=5} = 2,570$ ,
- wartość współczynnika  $f_{(1-\alpha)=0,95; k=n-1=5} = 1,75$ .

Po wstawieniu powyższych wartości do wzoru (6.2) uzyskujemy  $ULP_{95; (1-\alpha)=0,95; k=n-1=5} = (0,55 + 2,570 \cdot 0,06) \cdot 1,75 = 1,22 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$ , a więc powyżej limitu równego  $1 \text{ mg/m}^3$ . Tak więc instalacja nie może zmniejszyć częstotliwości monitorowania o kolejny poziom.

W sytuacji, gdy po dekulacji, operator dysponuje co najmniej 11 wynikami pomiarów emisji, to oblicza 90% percentyl  $P_{90}$  wg wzoru definicyjnego 6.1. Przykładowy sposób obliczenia wartości tego parametru został opisany w przykładzie 6.1.

Jeżeli wartość obliczonego 90% percentyla spełnia warunek:

$$P_{90} \geq 0,90 \cdot Norma \quad (6.10)$$

wtedy operator instalacji musi zwiększyć częstotliwość pomiarów emisji do poziomu przed dekulacją, gdyż istnieje nieakceptowalnie wysokie ryzyko (powyżej 5%) faktycznego przekroczenia dopuszczalnej wielkości emisji.

Gdy wartość 90% percentyla mieści się w przedziale:

$$0,75 \cdot Norma \leq P_{90} < 0,90 \cdot Norma \quad (6.11)$$

wtedy operator instalacji może utrzymać zmniejszoną częstotliwość pomiarów emisji.

Jeżeli zostanie spełniony warunek opisany nierównościami (6.12):

$$P_{90} < 0,75 \cdot Norma \quad (6.12)$$

to istnieje możliwość dalszego zmniejszenia częstotliwości monitorowania emisji. Powinno to nastąpić po uzgodnieniu możliwości dalszego ograniczania częstotliwości wykonywanych pomiarów z właściwym organem ochrony środowiska.

#### 6.2.4. Analiza ryzyka związanego ze zmniejszeniem częstotliwości monitorowania

Monitorowanie wielkości emisji, która jest zasadniczo procesem ciągłym, poprzez okresowe wykonywanie pomiarów jest związane z ryzykiem faktycznego przekroczenia dopuszczalnego poziomu emisji. Ustalona częstotliwość pomiarów emisji ma zagwarantować, że ryzyko tego przekroczenia jest akceptowalnie małe. Zaproponowana w niniejszym opracowaniu procedura ewentualnego zmniejszania częstotliwości pomiarów emisji opiera się na analizie ryzyka.

Jeżeli wyniki przeprowadzonych pomiarów okresowych spełniają kryterium opisane wzorem (6.4) (w przypadku co najmniej 11 wyników pomiarów emisji) lub wzorem (6.6) (w przypadku mniejszej od 11 liczby pomiarów), to ryzyko przekroczenia dopuszczalnego limitu emisji jest mniejsze od 2,5%. W związku z tym możemy stwierdzić, że poziomy emisji są wystarczająco stabilne w aspekcie ewentualnego przekroczenia wielkości granicznych. Konsekwencją takiej sytuacji jest możliwość zmniejszenia częstotliwości monitorowania, a o wielkości tego zmniejszenia decyduje właściwy organ ochrony środowiska.

Jeżeli operator instalacji stosuje zmniejszoną częstotliwość pomiarów emisji (po spełnieniu opisanych powyżej kryteriów), to wyniki uzyskane w tym okresie muszą zostać poddane ocenie pod kątem analizy ryzyka przekroczenia granicznej wielkości emisji. W wyniku tej procedury może mieć miejsce jedna z trzech sytuacji:

- jeżeli wyniki pomiarów spełniają zależność opisana wzorem (6.7), wtedy ryzyko przekroczenia granicznej wielkości emisji jest większe od 5%, co zmusza operatora instalacji do powrotu do podstawowej częstotliwości pomiarów emisji (czyli zwiększenia częstotliwości pomiarów),
- jeżeli wyniki pomiarów spełniają zależność opisaną wzorem (6.8), wtedy ryzyko przekroczenia granicznej wielkości emisji jest mniejsze od 5%, co pozwala operatorowi instalacji na utrzymanie zmniejszonej częstotliwości pomiarów emisji,
- jeżeli wyniki pomiarów spełniają zależność opisaną wzorem (6.9), wtedy ryzyko przekroczenia granicznej wielkości emisji jest poniżej 2,5%, co pozwala operatorowi instalacji na zmniejszenie częstotliwości pomiarów emisji, a o wielkości tego zmniejszenia decyduje właściwy organ ochrony środowiska.

Opisana procedura dekulacji oraz weryfikacji wyników uzyskanych po obniżeniu częstotliwości pomiarów emisji daje gwarancję, że ryzyko przekroczenia dopuszczalnych limitów emisji jest akceptowalnie małe i nie przekracza 2,5%.

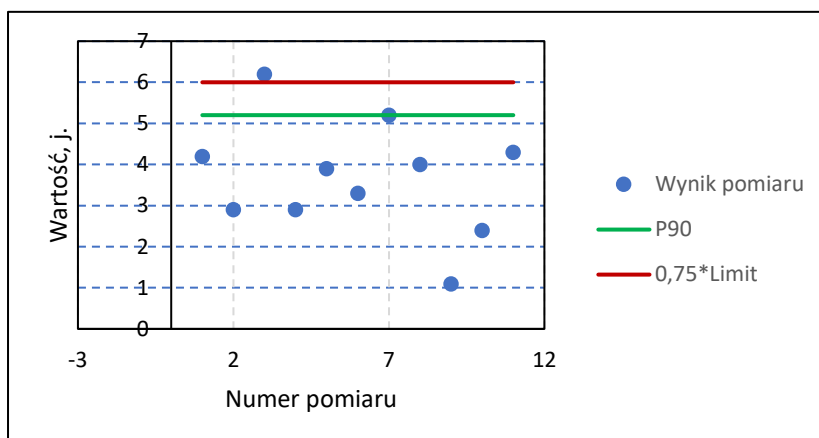
#### 6.2.5. Analiza przypadku

W tej sekcji opisany został przykład postępowania w obszarze dekulacji oraz weryfikacji, czy obniżona częstotliwość pomiarów może być stosowana w dalszym ciągu przez operatora instalacji.

**Przykład 6.6.** Operator instalacji monitoruje emisję zanieczyszczenia do atmosfery stosując pomiary okresowe wykonywane z częstotliwością raz na miesiąc. W okresie ostatnich 11 miesięcy uzyskał następujące wyniki: 4,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 6,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 3,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 3,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 5,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 4,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 1,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  oraz 4,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Graniczna (dopuszczalna) wielkość emisji jest równa 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Zgodnie z opisaną metodyką dekulacji, należy porównać wartość 90% percentyla  $P_{90} = 5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  z wartością 0,75 dopuszczalnej wielkości emisji  $0,75 \cdot \text{Norma} = 0,75 \cdot 8 = 6,0 - \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Jako, że  $P_{90} < 0,75 \cdot \text{Norma}$ , to zgodnie ze wzorem (6.4) możliwe jest zmniejszenie częstotliwości pomiarów o jeden poziom do częstotliwości ich wykonywania np. co 2 miesiące. Na rysunku poniżej przedstawiono w sposób graficzny

uzyskane wyniki pomiarów oraz wartości porównywanych wielkości tj.  $P_{90}$  z 0,75 wartości granicznej wielkości emisji.



W kolejnym roku, operator instalacji, zgodnie ze spełnionym kryterium dekulacji, wykonywał pomiary emisji co dwa miesiące uzyskując następujące wyniki:  $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Na podstawie tych wyników obliczone zostały następujące estymatory prawdziwych parametrów:

- średnia arytmetyczna  $\bar{x} = 4,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  według wzoru 4.1,
- odchylenie standardowe  $s = 0,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$  według wzoru 4.3,
- odchylenie standardowe średniej arytmetycznej  $\sigma_{\bar{x}} = 0,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$  według wzoru 4.9.

Odczytano, z odpowiednich tabel 6.1 i 6.2, wartości współczynników występujących we wzorze (6.2):

- wartość statystyki podlegającej rozkładowi Studenta  $t_{\frac{\alpha}{2}=0,05;k=n-1=5} = 2,015$ ,
- wartość współczynnika  $f_{(1-\alpha)=0,90;k=n-1=5} = 1,28$ .

Po wstawieniu powyższych wartości do wzoru (6.2) uzyskujemy  $ULP_{95;(1-\alpha)=0,90;k=n-1=5} = (4,15 + 2,015 \cdot 0,38) \cdot 1,28 = 6,4 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$ .

Ponieważ wyznaczona wartość statystyki jest mniejsza od wartości granicznej emisji  $ULP_{95;(1-\alpha)=0,90;k=n-1} < Norma$ , (bo  $6,4 < 8$ ) czyli spełniony jest warunek dany wzorem (6.8). Pozwala to operatorowi instalacji na utrzymanie zmniejszonej częstotliwości monitorowania.

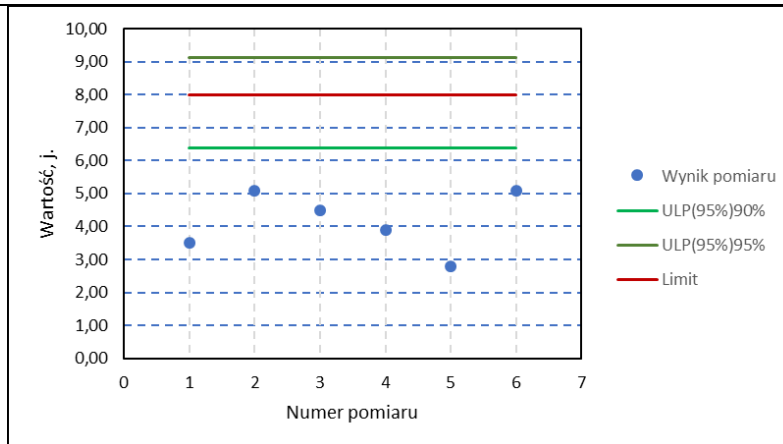
Operator instalacji może dokonać analizy, czy na podstawie uzyskanych wyników możliwa jest dalsza dekulacja (zmniejszenie częstotliwości pomiarów). Żeby obniżyć częstotliwość pomiarów o kolejny poziom z pomiarów co 2 miesiące na pomiary co kwartał, musi być spełniony warunek dany wzorem (6.9):

$$ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1} < Norma = 8 \mu\text{g}/\text{m}^3.$$

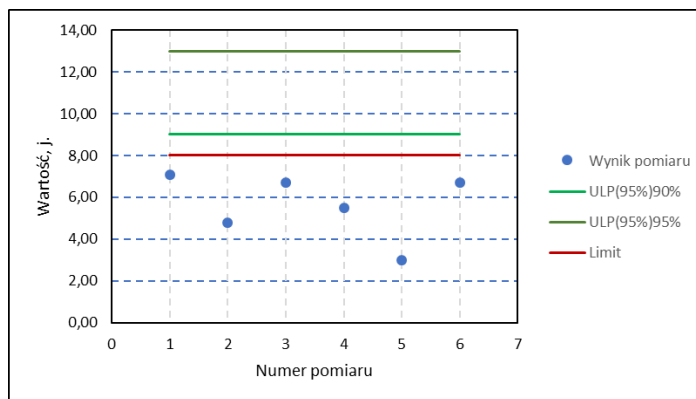
Obliczone wartości estymatorów pozostają niezmiennic. Zmianie ulegają wartości współczynnika i statystyki odczytanych z tabel 6.1 i 6.2 (ponieważ zmienia się poziom ufności z 0,90 na 0,95). Wartości tych wielkości są równe:

- wartość statystyki podlegającej rozkładowi Studenta  $t_{\frac{\alpha}{2}=0,025;k=n-1=5} = 2,570$ ,
- wartość współczynnika  $f_{(1-\alpha)=0,95;k=n-1=5} = 1,75$ .

Po wstawieniu powyższych wartości do wzoru (6.2) uzyskujemy  $ULP_{95;(1-\alpha)=0,95;k=n-1=5} = (4,15 + 2,570 \cdot 0,38) \cdot 1,75 = 9,1 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$ , a więc powyżej limitu równego  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tak więc instalacja nie może zmniejszyć częstotliwości monitorowania o kolejny poziom. Pozostaje na kolejny okres z częstotliwością pomiarów emisji co 2 miesiące. Na poniższym rysunku pokazane zostały w sposób graficzny wyniki pomiarów oraz trzy linie oznaczające istotne z punktu widzenia analizy wartości.



Jeżeli w kolejnym roku uzyskiwane wyniki:  $7,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i  $6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  poddane analizie, dały rezultaty przedstawione graficznie na rysunku poniżej, to operator instalacji musi zwiększyć częstotliwość pomiarów do poziomu podstawowego co jeden miesiąc.

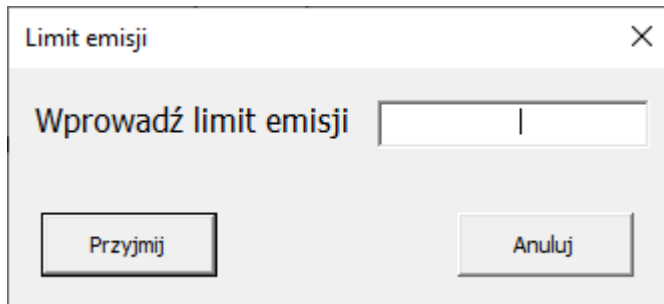


### 6.3. Opis arkusza kalkulacyjnego do oceny stabilności poziomów emisji

Załączony do niniejszego opracowania arkusz kalkulacyjny jest narzędziem wspomagającym decyzję o możliwości zmniejszenia częstotliwości wykonywania pomiarów emisji. Praca z arkuszem jest intuicyjna i sprowadza się do wyboru odpowiednich opcji i wprowadzenia dopuszczalnego limitu i wyników pomiarów emisji. Należy zwrócić uwagę, aby zarówno wartość dopuszczalnego limitu jak i wyniki pomiarów wprowadzone zostały w tej samej jednostce miary. Podczas pierwszego uruchomienia pojawia się okno z wyborem dwóch opcji:

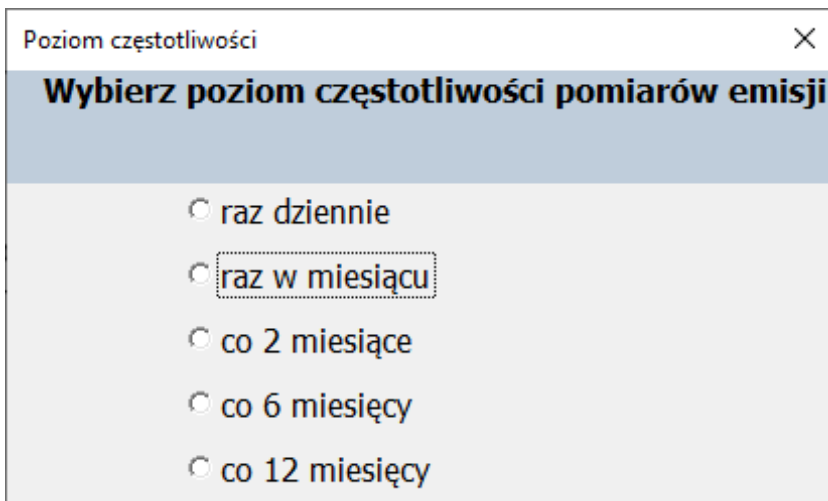
- Ocena stabilności emisji w aspekcie zmniejszenia częstotliwości pomiarów – opcję tę wybiera się jeżeli nie była stosowana wcześniej dekumulacja i służy do oceny możliwości zmniejszenia częstotliwości pomiarów emisji.
- Ocena stabilności poziomów emisji po zmniejszeniu częstotliwości pomiarów – opcję tę wybiera się jeżeli była stosowana wcześniej dekumulacja i służy do oceny możliwości podtrzymania dekumulacji w kolejnym okresie.

Po wyborze jednej z opcji pojawia się okienko dialogowe przedstawione na Rys.6.1, które służy do wprowadzenia wartości limitu emisji (wielkości dopuszczalnej emisji) rozpatrywanego zanieczyszczenia. Po wprowadzeniu wartości należy wybrać opcję „Przyjmij” albo wcisnąć klawisz „Enter”



Rys.6.1. Okienko dialogowe służące do wprowadzenia limitu emisji danego zanieczyszczenia

Następnie, pojawia się okienko dialogowe (Rys.6.2 i Rys.6.3) służące do wyboru jednego z możliwych poziomów częstotliwości pomiarów emisji, który zastosowany został w rozpatrywanym okresie. Po wybraniu opcji użytkownik przeniesiony zostaje do arkusza gdzie należy uzupełnić tabelę wyników pomiarów emisji. Wielkość tabeli jest uzależniona od wybranej opcji. Przykładowy wygląd arkusza po wyborze opcji: *raz w miesiącu* przedstawia Rys. 6.4.



Rys.6.2. Okienko dialogowe służące do wyboru stosowanego poziomu częstotliwości pomiarów emisji – dla opcji *Ocena stabilności emisji w aspekcie zmniejszenia częstotliwości pomiarów*

Zmniejszony poziom częstotliwości

Wskaż, do której częstotliwości zmniejszono w ubiegłym okresie pomiary emisji

raz w miesiącu

co 2 miesiące

co 3 miesiące

co 4 miesiące

co 6 miesięcy

co 12 miesięcy

Rys.6.3. Okienko dialogowe służące do wyboru stosowanego poziomu częstotliwości pomiarów emisji – dla opcji *Ocena stabilności poziomów emisji po zmniejszeniu częstotliwości pomiarów*

Oprócz tabeli, w której należy umieścić dane, w każdym arkuszu znajdują się trzy przyciski wywołujące odpowiednie polecenia:

- Zatwierdź dane – po wybraniu tej opcji zostają wykonane obliczenia i testy logiczne przedstawione w sekcji 6.2.3 oraz wyświetlona zostaje informacja o implikacjach wynikających z tego testu (Rys.6.5)
- Podsumowanie – wybór tej opcji powoduje przeniesienie użytkownika do innego arkusza, gdzie w formie słownej, tabelarycznej i graficznej przedstawione są wyniki obliczeń (Rys. 6.6)
- Wyczyść – do usunięcia danych z tabeli

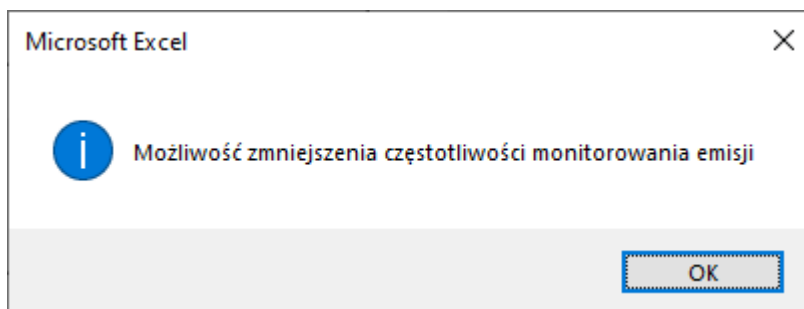
Lp	Wartość
1	55
2	45
3	62
4	52
5	44
6	56
7	58
8	59
9	62
10	47
11	58

Zatwierdź dane

Podsumowanie

Wyczyść

Rys.6.4. Przykładowy widok arkusza po wybraniu częstotliwości pomiarów emisji (*raz w miesiącu*)



Rys.6.5. Przykładowy komunikat po wybraniu opcji *Zatwierdź dane*

Nowa analiza

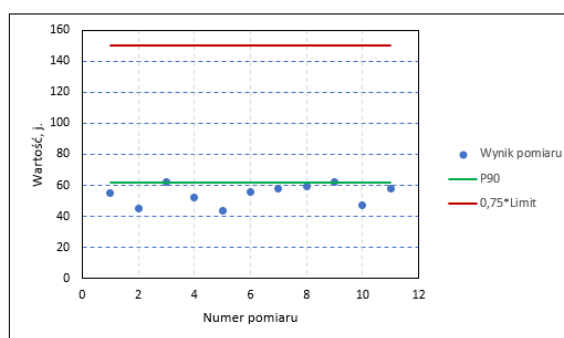
VIII poziom częstotliwości pomiarów

Lp.	Wynik pomiaru	P90	0,75*Limit
1	55	62	150
2	45	62	150
3	62	62	150
4	52	62	150
5	44	62	150
6	56	62	150
7	58	62	150
8	59	62	150
9	62	62	150
10	47	62	150
11	58	62	150

Miejsce na notatki:

- data analizy
- typ emisji
- jednostka
- podmiot
- uwagi

Wynik testu:  $P90 < 0,75 \cdot \text{Limit}$ : Możliwość zmniejszenia częstotliwości monitorowania emisji

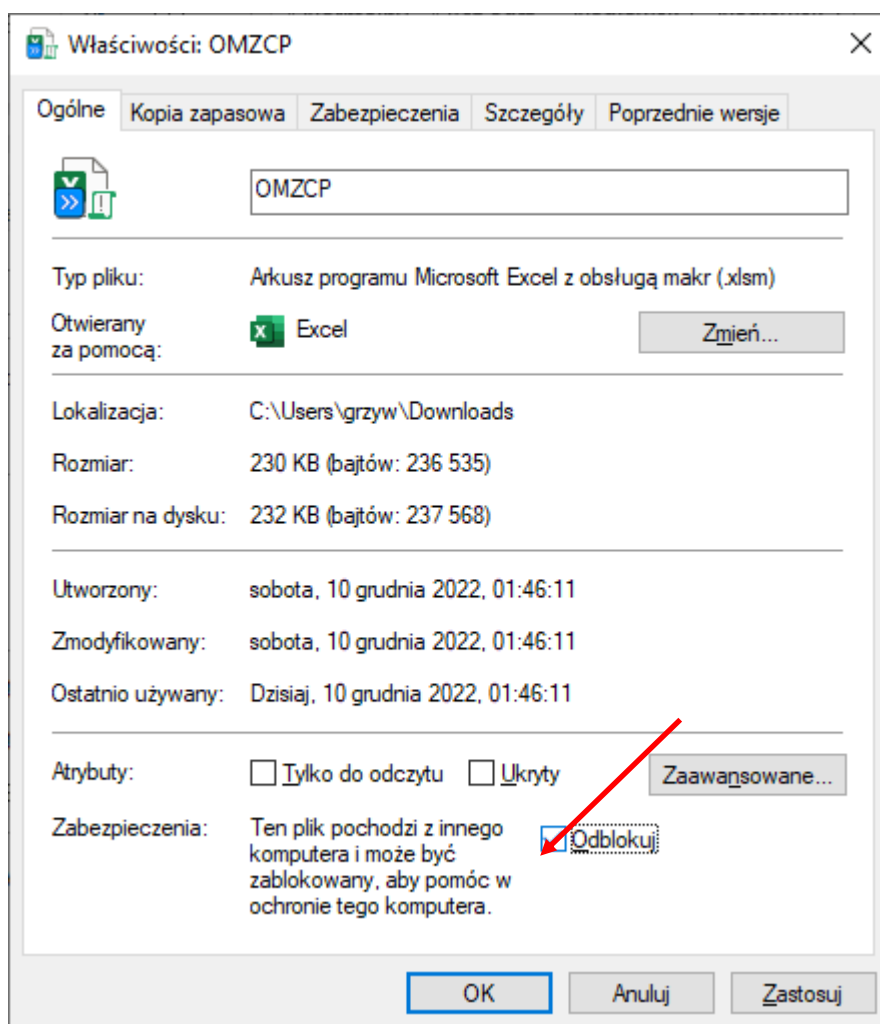


Rys.6.6. Przykładowy widok okna po wyborze opcji *Podsumowanie*

Na podstawie wyników zaprezentowanych w arkuszu *Podsumowanie* można podjąć decyzję o ewentualnych zmianach częstotliwości pomiarów emisji. Plik można zapisać pod dowolną nazwą, albo rozpocząć nową analizę wybierając przycisk *Nowa analiza*.

Ze względu na fakt, że arkusz kalkulacyjny zawiera makra, to po zapisaniu na dysku może się pojawić problem z jego uruchomieniem. W takim przypadku należy zamknąć arkusz i zmienić jego *Właściwości* przez zaznaczenie opcji *Odblokuj* (Rys.6.7).





Rys.6.7. Odblokowanie pliku z obsługą makr

Arkusz kalkulacyjny jest zgodny z systemem Windows, natomiast nie ma gwarancji pełnej funkcjonalności w systemie MAC. Nie należy zmieniać nazw arkuszy, ani modyfikować struktury skoroszytu (dodawanie i usuwanie wierszy i kolumn itp.).

## 7. Słowniczek terminów statystycznych

Dla ułatwienia lektury opracowania w tym rozdziale zebrane zostały pojęcia statystyczne użyte w niniejszym opracowaniu wraz z ich opisem.

- estymator – statystyka służąca do oszacowania wartości parametru rozkładu zmiennej losowej w populacji generalnej (określonej cechy np. wielkości emisji rtęci z instalacji w okresie danego roku); np. miarą skupienia rozkładu jest parametr nazywany wartością oczekiwaną, który może być oszacowywany za pomocą różnych estymatorów m.in. średniej arytmetycznej.
- kwantyl – parametr pozycyjny rozkładu zmiennej losowej; kwantyl rzędu  $p$   $x_p$  oznacza, że  $p$  procent całej populacji ma wartość zmiennej losowej nie większą niż  $x_p$

- parametr (rozkładu zmiennej losowej) – wyrażona liczbowo wartość charakteryzująca określoną właściwość rozkładu zmiennej losowej (np. jego skupienie, rozproszenie, symetryczność, asymetryczność).
- podejście heurystyczne - podejście do rozwiązywania problemów, które wykorzystuje praktyczną metodę lub różne uproszczenia (założenia) w celu uzyskania rozwiązań, które mogą nie być optymalne, ale są wystarczające, biorąc pod uwagę istniejące ograniczenia.
- populacja generalna – zbiorowość statystyczna będąca przedmiotem badania (np. populacja danego kraju lub roczny zrzut do odbiornika wodnego ścieków oczyszczonych w konkretnej oczyszczalni).
- populacja próbna (próbka) – podzbiór populacji generalnej.
- poziom istotności  $\alpha$  – przyjęte z góry dopuszczalne ryzyko (prawdopodobieństwo) popełnienia błędu.
- poziom ufności  $(1 - \alpha)$  - oznacza prawdopodobieństwo zaistnienia określonego (oczekiwanego) zdarzenia (np. zbudowanie przedziału ufności danego parametru na poziomie ufności 0,95 (czyli 95%) oznacza, że prawdopodobieństwo znalezienia się tego parametru wewnątrz przedziału wynosi 95%).
- próbka reprezentatywna – podzbiór populacji generalnej, w którym rozkład badanej cechy jest zbliżony do rozkładu tej cechy w populacji generalnej.
- przedział ufności – przedział zbudowany wokół wartości estymatora, w którym prawdopodobieństwo znalezienia się estymowanego parametru jest równe poziomowi ufności (poziom ufności  $(1 - \alpha)$  jest zakładany z góry; w szeroko rozumianej technice przyjmuje się najczęściej 95% poziom ufności).
- rozkład logarytmiczno–normalny (logarytmicznie normalny) - ciągły rozkład prawdopodobieństwa dodatniej zmiennej losowej, której logarytm ma rozkład normalny.
- rozkład normalny – ciągły rozkład prawdopodobieństwa do opisywania zmiennych losowych o wartościach rzeczywistych, których rozkłady nie są znane.
- rozkład t-Studenta – ciągły rozkład prawdopodobieństwa do opisywania estymatorów i wykorzystywany m.in. do budowania przedziałów ufności.
- średnia ruchoma (prosta średnia ruchoma SMA – *simple moving average*) – zwykła średnia arytmetyczna obliczona z wartości uzyskanych z  $n$  ostatnich okresów (pomiarów).
- wariancja – parametr będący miarą rozproszenia rozkładu zmiennej losowej (wokół wartości oczekiwanej).
- wartość oczekiwana – parametr będący miarą skupienia rozkładu zmiennej losowej
- zmienna losowa – to funkcja przypisująca zdarzeniom losowym określone wartości liczbowe (np. zmienna losową jest wynik pomiaru zawartości fenolu w pobranej próbce ścieków).
- zmienna losowa o rozkładzie ciągłym (zmienna losowa ciągła) – zmienna losowa mogąca przyjmować wartości liczb rzeczywistych z określonego przedziału (np. zmienna losowa, definiowana jako procentowe stężenie soli w roztworze wodnym, może przyjmować wartości z przedziału od 0 do 100).
- zmienna losowa o rozkładzie dyskretnym (zmienna losowa dyskretna) – zmienna losowa mogąca przyjmować tylko określone wartości liczbowe (np. zmienna o rozkładzie zero-jedynkowym może przyjmować tylko dwie wartości 0 i 100).

## Literatura

- [1] Dziennik Ustaw, 2021 - Ustawa z 27 kwietnia 2001 roku „Prawo ochrony środowiska” – Dz. U. 2021 poz. 1973.
- [2] Rapport, 2022: Departement Omgeving - Afdelingen Handhaving en GOP – Rapport Beoordelingskader ‘stabiele emissies’, RPR Antwerpen (België) 2022.
- [3] VDI, 2018: Verein Deutscher Ingenieure 2448 – Statistische Auswertung von stichprobenartigen Emissionsmessungen an geführten Quellen: Ermittlung der oberen Vertrauensgrenze (ang. Statistical Evaluation of Random-sample Measurements of Stationary Source Emissions: Determination of the Upper Confidence Limit), 2018.
- [4] BAT, 2017: Decyzja wykonawcza Komisji (UE) 2017/1442 z dnia 31 lipca 2017 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do dużych obiektów energetycznego spalania zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 212 z 17.08.2017.