

STATYSTYCZNA OCENA WYNIKÓW POMIARU ANALITYCZNEGO

Dr hab. Anna M. Nowicka

CHEMIA ANALITYCZNA

Nauka stosowana mająca za zadanie:

- ❖ Odkrywanie oraz formułowanie praw i kryteriów
- ❖ Rozwój metod analitycznych umożliwiających ustalenie określonej czułości, precyzji i dokładnością jakościowego i ilościowego składu analizowanych obiektów materialnych

Wyzwania chemika analityka

Poszukiwanie i opracowywanie optymalnych strategii (metod i urządzeń) pozwalających na uzyskiwanie miarodajnych informacji dotyczących chemicznej natury różnych obiektów znajdujących się w naszym otoczeniu i przebiegających w nich procesach.

Co ? - jakościowa

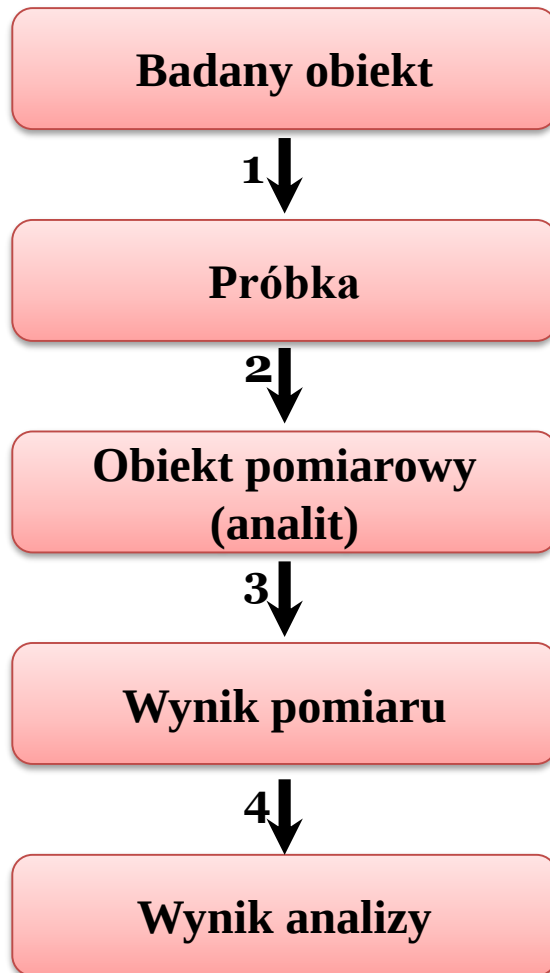
Ile ? - ilościowa

Jak ? - strukturalna, budowa chemiczna

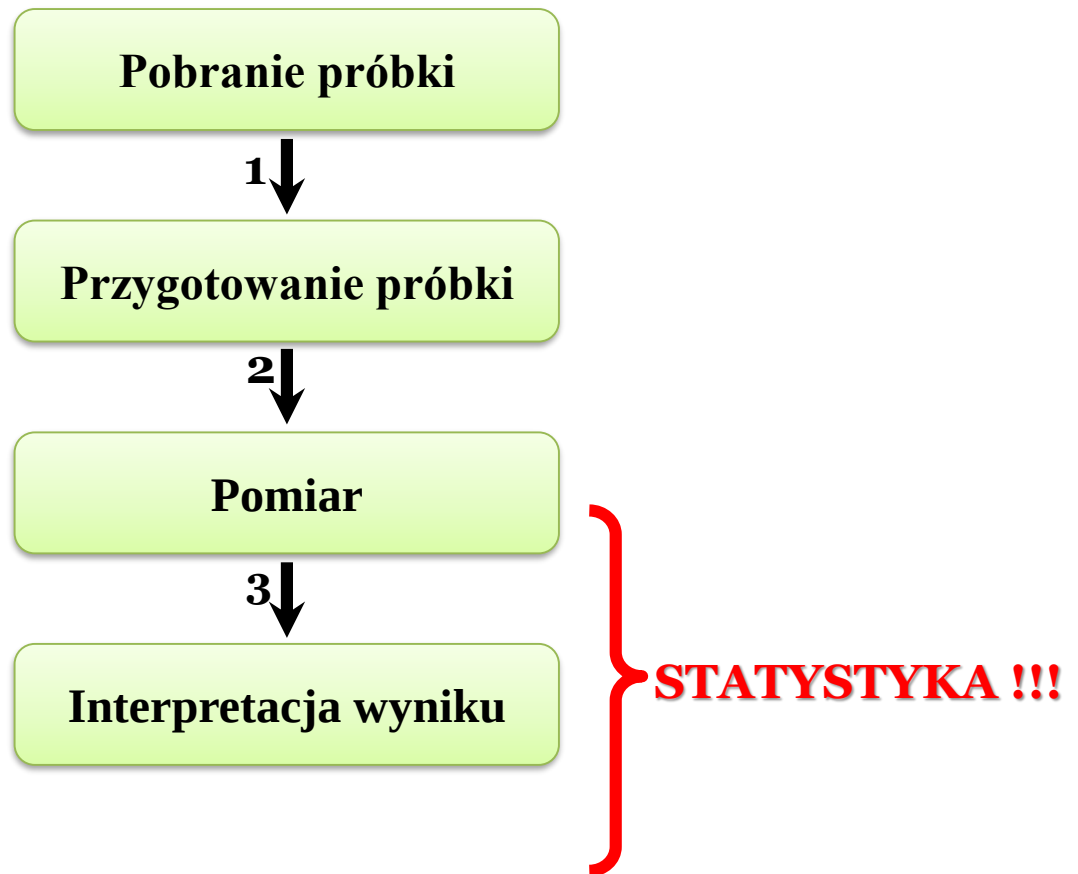
Jak się zmienia ? - analityka procesowa

PROCES ANALITYCZNY

Etapy procesu



Zadania chemika analityka



STATYSTYKA

Statystyka to uniwersalne i łatwo dostępne narzędzie, które pomaga konwertować wyniki eksperymentu na wiedzę o badanym obiekcie lub procesie.

Zalety statystyki:

- ❖ pozwala tworzyć zwięzłą i treściwą reprezentację danych
- ❖ pozwala wysuwać wnioski w oparciu o niepewne dane
- ❖ pozwala na przekształcanie danych do postaci użytecznej w rozwiązywaniu postawionego zadania

Niebezpieczeństwa stosowania statystyki:

- ❖ użycie niewłaściwych pojęć i modeli, które nie są uzasadnione teoretycznie i źle reprezentują dane
- ❖ ograniczanie warstwy informacyjnej poprzez zastosowanie zbyt daleko idących uproszczeń
- ❖ zbyt kategoryczne formułowaniu wniosków w oparciu o niepewne dane
- ❖ uruchamianie procedur komputerowych bez istotnej wiedzy o ich działaniu
- ❖ niewłaściwa prezentacja danych
- ❖ celowe ukrywanie faktów np. dużego rozrzutu danych eksperymentalnych poprzez podanie jedynie wartości średniej

PARAMETRY WARUNKUJĄCE MIARODAJNOŚĆ WYNIKÓW

- 1. Reprezentatywność próbki:** próbka musi wiernie odzwierciedlać skład chemiczny całego badanego obiektu.
- 2. Jednorodność próbki:** bardzo istotne, gdy niski poziom analitu lub mała masa próbki pobranej do analizy.
- 3. Selektywność metody analitycznej:** niezależności wyniku od wpływu składników matrycy.
- 4. Czułość metody analitycznej:** bardzo ważne w przypadku niskiego poziomu analitu.
- 5. Losowość wyników:** test znaków różnic, test trendu.
- 6. Metoda referencyjna???**

ANALIZA WYNIKÓW POMIARU

Wszystkie wyniki pomiarów, włączając te uzyskane instrumentem o bardzo dużej precyzji i przy wysokiej dbałości eksperymentalnej, nie są dokładne, lecz mają przybliżony charakter!!!!

Przyczyny niepewności wyników eksperymentu:

- ❖ błędy grube
- ❖ błędy systematyczne
- ❖ błędy przypadkowe

BŁĄD GRUBY

- ✓ **wynik znacząco odstający od pozostałych**, uzyskanych w danej serii pomiarów,
- ✓ błędem grubym obarczony jest **najmniejszy lub największy wynik**;
- ✓ **wynika z niedbałości lub ewidentnej pomyłki** eksperymentatora, **wyraźnej niesprawności** sprzętu albo **nieoczekiwanego zaburzenia** układu pomiarowego,
- ✓ wynik obarczony błędem grubym nie jest uwzględniany w obróbce statystycznej wyników

Test Dixona – wykrywanie błędu grubego:

- **warunek poprawności testu:** musimy dysponować reprezentatywnym zbiorem wyników (**minimum trzy wyniki**);
- uzyskane wyniki szeregujemy według wzrastającej wartości
$$x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq x_4 \leq \dots \leq x_n$$
- wyznaczamy wartość parametru **Q** i na jej podstawie podejmujemy decyzję o odrzuceniu podejrzanego wyniku

BŁĄD GRUBY—TEST DIXONA

Obliczamy parametr Q według wzoru: $Q_{\min.} = \frac{|x_2 - x_1|}{R}$ $Q_{\max.} = \frac{|x_{n-1} - x_n|}{R}$

gdzie: R ($R = x_n - x_1$) – rozrzut wyników

Wartości krytyczne parametru Q_k testu Dixona

Liczba wyników	Poziom ufności $1-\alpha$			
	0.90	0.95	0.98	0.99
3	0.886	0.941	0.972	0.988
4	0.679	0.765	0.846	0.889
5	0.557	0.642	0.729	0.760
6	0.482	0.560	0.644	0.698
7	0.434	0.507	0.586	0.637
8	0.399	0.468	0.543	0.590
9	0.370	0.437	0.510	0.555
10	0.349	0.412	0.483	0.527

$$Q > Q_k$$

Wynik wątpliwy należy odrzucić.

BŁĄD SYSTEMATYCZNY

- ✓ błąd polegający na stałym lub zmiennym, systematycznym odchyleniu wyniku pomiaru od rzeczywistej wartości wielkości mierzonej
- ✓ przesunięcie wyniku następuje zwykle w tę samą stronę
- ✓ dowolna liczba powtórzeń pomiaru nie ujawni nieprawidłowości

Przyczyny:

- nieprawidłowe ustawienia przyrządu pomiarowego,
- niewystarczająca czystość chemiczna,
- periodyczne zaburzenia układu pomiarowego czynnikami zewnętrznymi,
- niedoskonała standaryzacja lub kalibracja, błąd obsługi, niedoskonała procedura pomiarowa

Eliminacja błędu systematycznego:

- zmiana przyrządu na pozbawiony wady,
- duża świadomość merytoryczna i praktyczna analityka pozwalająca na kontrolę toku postępowania,
- korekta numeryczna wyniku po pomiarze
- **metody statystyczne nie mają tu zastosowania.**

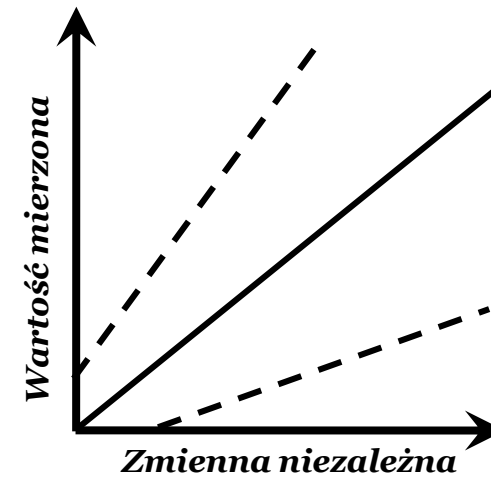
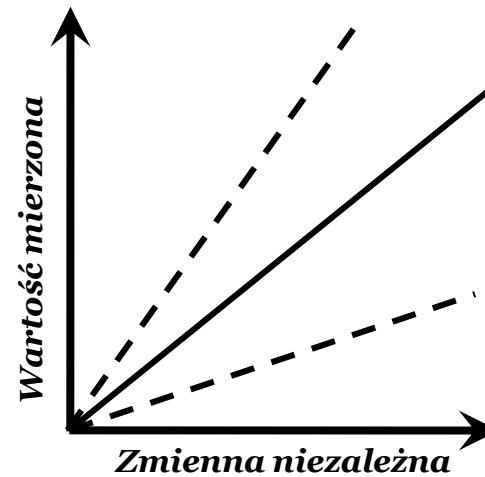
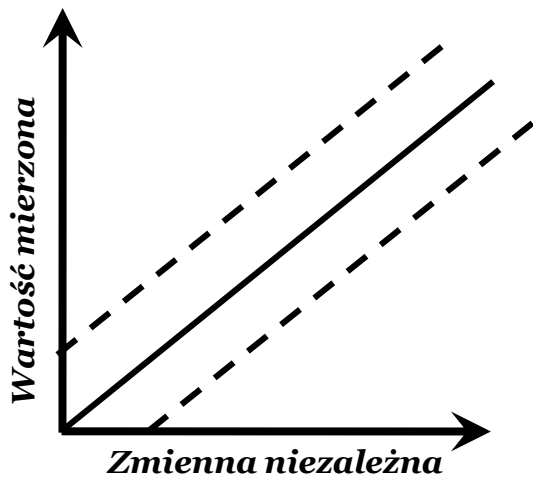
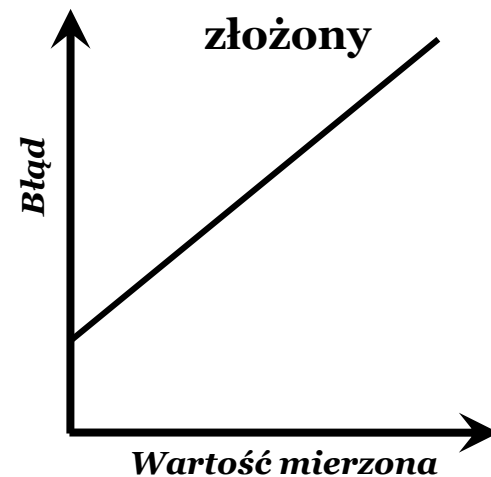
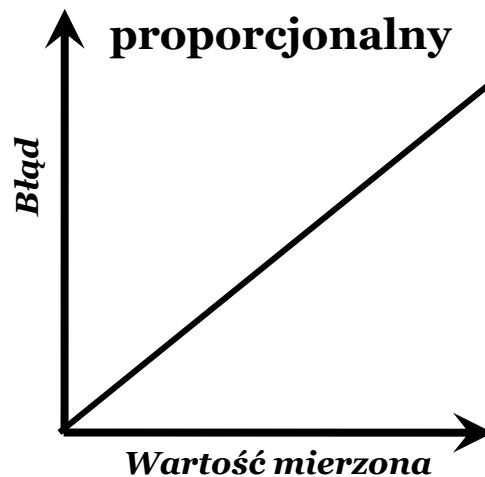
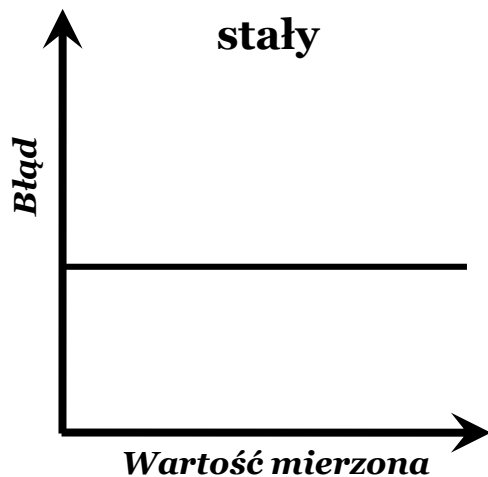
BŁĄD SYSTEMATYCZNY

Podział błędów systematycznych:

1. **Błędy metodyczne** - wynikają one z istoty metody pomiarowej i nie mogą być usunięte. Metody opracowywane są w taki sposób, aby błąd metodyczny był możliwy do pominięcia. Może on wynikać np. z konieczności dodania nadmiaru titranta dla uzyskania dostrzegalnej zmiany barwy wskaźnika, zbyt wolno przebiegającej reakcji będącej podstawą metody itd.
2. **Błędy aparaturowe** - związane są z niedokładnością urządzenia pomiarowego lub ich niestabilną pracą. Wszystkie przyrządy są źródłem potencjalnych błędów systematycznych (pipety - błąd kalibracji lub odmienna temperatura użycia). W urządzeniach elektrycznych źródłem błędu są wahania napięcia źródła prądu, zabrudzenie lub korozja styków. W przyrządach optycznych – zmniejszenie intensywności promieniowania spowodowane zużyciem źródła. Błędy te usuwane są przez staranne i częste kalibrowanie przyrządów pracujących w tych samych warunkach.
3. **Błędy indywidualne** - przyczyną są niedoświadczenie lub brak umiejętności analityka. Niedostateczne przenoszenie osadu na sączek, nadmierne przemywanie osadu, ważenie ciepłych naczyń wagowych, nieprawidłowa lokalizacja menisku w biurecie, daltonizm, wada wzroku. Błędy te usuwa się poprzez nabieranie wprawy przez analityka.

BŁĄD SYSTEMATYCZNY

Rodzaje błędów systematycznych



BŁĄD PRZYPADKOWY

- ✓ **jest miarą rozrzutu** otrzymywanych wyników wokół wartości najbardziej prawdopodobnej,
- ✓ jego obecność powoduje niemożność uzyskania jednakowych wartości wyników w danej serii pomiarowej (przy założeniu, że są mierzone z wystarczającą ilością miejsc znaczących),
- ✓ powstaje na skutek działania **czynników losowych**,
- ✓ źródłami błędów losowych są wszelkie **zmienności występujące w sposób przypadkowy** w toku procesu analitycznego (czynniki zewnętrzne, właściwości obiektu pomiarowego, niestabilna praca urządzeń),
- ✓ błędu przypadkowego w zasadzie **nie da się wyeliminować** ani **skorygować** a także nie da się go oszacować przed dokonaniem pomiaru,
- ✓ staramy się tak zaprojektować i przeprowadzić pomiar, aby wartość błędu przypadkowego była jak najmniejsza.

ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW

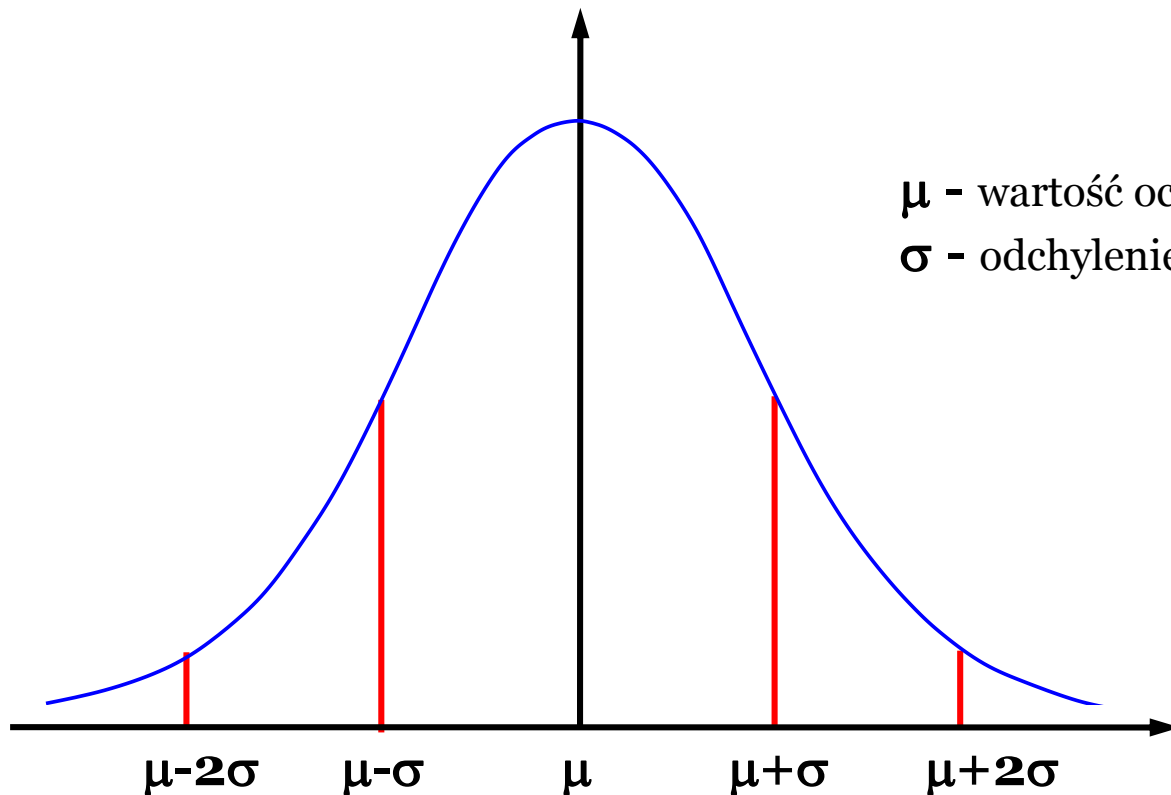
W statystycznym wnioskowaniu o parametrach i rozkładach w populacjach generalnych na podstawie wyników badań prób losowych popełniane są błędy przypadkowe, których rozkład jest normalny lub granicznie normalny. Zawiera się w tym merytoryczny sens statystycznej indukcji, czyli wnioskowania. Na podstawie tej prawidłowości, skonstruowane zostały wszystkie metody estymacji parametrów oraz metody weryfikacji hipotez.

Rozkład normalny, inaczej zwany **rozkładem Gaussa**, krzywą Gaussa jest najważniejszym rozkładem teoretycznym prawdopodobieństwa w statystyce. Rozkład normalny jest też najbardziej intuicyjnym rozkładem statystycznym. W wielkim skrócie opisuje on sytuację, gdzie większość przypadków jest bliska średniemu wynikowi, a im dany wynik bardziej odchyła się od średniej tym jest mniej reprezentowany.

ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW

Rozkład normalny jest rozkładem częstości, którego obraz przypomina kształtem dzwon, krzywa taka posiada 3 zasadnicze cechy:

1. Jest jednomodalna (posiada dominującą wartość $y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$)
2. Jest symetryczna
3. Jej końce zbliżają się asymptotycznie do osi wartości – wykres funkcji dla wartości dążących do plus nieskończoności będzie zbliżać się do osi odciętych ale nigdy ich nie przetnie, co więcej nawet nie dotknie



μ - wartość oczekiwana (rzeczywista) pomiaru
 σ - odchylenie standardowe

ESTYMACJA

Estymacja szacowanie pewnych wartości w całej badanej zbiorowości na podstawie analizy próbki reprezentatywnej. Estymacja pozwala na uogólnienie zebranych wyników z małej próby na całą populację.

Metody estymacji parametrycznej można w zależności od sposobu szacowania szukanego parametru podzielić na dwie grupy:

- 1. Estymacja punktowa** - wyznaczamy z próby tylko niektóre parametry (estymatory) rozkładu, a nie cały rozkład, np. dystrybuantę lub gęstość rozkładu. Nie potrafimy podać dokładności uzyskanej oceny.
- 2. Estymacja przedziałowa** - w metodach estymacji przedziałowej oceną parametru nie jest konkretna wartość, ale pewien przedział, do którego z określonym prawdopodobieństwem należy szacowana wartość parametru. Podstawowym pojęciem estymacji przedziałowej jest przedział ufności.

ESTYMACJA PUNKTOWA

Estymatory wartości centralnej:

- **średnia arytmetyczna** w próbie n wyników $x_1, x_2, \dots, x_n$:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- **mediana** dla n wyników $x_1, x_2, \dots, x_n$ uporządkowanych według wielkości jest wartość leżąca w środku
- **średnia ważona**: średnia elementów, którym przypisywane są różne wagi (znaczenie) w ten sposób, że elementy o większej wadze mają większy wpływ na średnią.

ESTYMACJA PUNKTOWA

Estymatory rozrzutu wyników:

- **wariancja:** miara rozproszenia wyników

dla populacji ($n > 30$):

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}$$

dla próbki ($n < 30$):

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

- **odchylenie standardowe:** pierwiastek kwadratowy z wariancji

dla populacji ($n > 30$):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$$

dla próbki ($n < 30$):

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

- **względne odchylenie standardowe (RSD):**

dla populacji ($n > 30$):

$$RSD = \frac{\sigma}{\mu}$$

dla próbki ($n < 30$):

$$RSD = \frac{s}{\bar{x}}$$

- **współczynnik zmienności (CV):**

$$CV = RSD \cdot 100\%$$

CECHY METODY ANALITYCZNEJ I/LUB ANALITYKA

Dokładność metody

Jest to stopień zgodności pomiędzy wynikiem oznaczonym (x) lub średnią wyników z n oznaczeń a prawdziwą zawartością analitu w badanej próbce. Ilościowo dokładność jest miarą wielkości błędu. Oznaczać można:

- ✓ ***dokładność pojedynczego oznaczenia*** - jest możliwa do oznaczenia tylko jako błąd standardowy, ponieważ nie jest znana zawartość rzeczywista w próbce.
- ✓ ***dokładność metody*** - określana jest na podstawie średniej wartości z n pomiarów uzyskanych na tej samej próbce i tą samą metodą. Badaną próbką jest tu wzorzec – certyfikowany materiał odniesienia, w której prawdziwa zawartość analitu jest dokładnie znana.

CECHY METODY ANALITYCZNEJ I/LUB ANALITYKA

Precyzja metody to stopień zgodności między wynikami uzyskanymi tą samą metodą i na tej samej próbce przy wielokrotnym powtarzaniu oznaczenia. Można ją też zdefiniować jako rozrzut poszczególnych wyników przy powtarzanych doświadczeniach w stosunku do średniego wyniku z oznaczeń. Im większa precyzja tym mniejszy rozrzut.

Przy powtarzanych doświadczeniach nie uzyskujemy nigdy dwóch identycznych wyników, a prawidłowe wyniki układu się zawsze zgodnie z rozkładem normalnym w kształcie krzywej dzwonowej. Najlepszą miarą precyzji jest odchylenie standardowe σ (lub jego przybliżenie s). Za precyzję oznaczeń odpowiedzialny jest błąd przypadkowy. Z precyzją wiążemy też terminy:

Powtarzalność oznaczeń, gdy analiza wykonywana jest w tym samym laboratorium, przez tego samego analityka, tą samą metodą, na tych samych urządzeniach, w możliwie krótkim przedziale czasowym.

Odtwarzalność oznaczeń, gdy wyniki otrzymywane są w sposób niezależny, tą samą metodą i na tej samej próbce, ale w różnych laboratoriach, przez różnych analityków na różnych urządzeniach. Statystyczne opracowanie wyników daje wartość *RDS* odtwarzalności.

ESTYMACJA PRZEDZIAŁOWA

Estymacja przedziałowa pozwala na oszacowanie wartości parametru (średnia arytmetyczna z pomiarów) jakiegoś rozkładu oraz podanie dokładności, z jaką to oszacowanie wykonano.

Przedziałem ufności nazywamy przedział, w którym znajduje się wartość rzeczywista z założonym z góry prawdopodobieństwem.

Przedział ufności wyznacza się:

- przy dużej liczbie pomiarów ($n > 20$) z rozkładu normalnego według wzorów:

$$L = \bar{x} \pm 1.96 \sqrt{n} \quad \text{dla } p=0.95$$

$$L = \bar{x} \pm 2.58 \sqrt{n} \quad \text{dla } p=0.99$$

- przy małej liczbie pomiarów ($n < 20$) z rozkładu Studenta (dotyczy statystycznej oceny małych grup wyników), według wzoru:

$$L = \bar{x} \pm t s_{\bar{x}}$$

gdzie:

t – współczynnik z tablicy rozkładu Studenta; zależny od poziomu ufności i liczby pomiarów;

$s_{\bar{x}}$ – jest odchyleniem standardowym średniej ($s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$)

ESTYMACJA PRZEDZIAŁOWA

Przedział ufności z zadany z góry prawdopodobieństwem ($1 - \alpha$) pokrywa prawdziwą wartość parametru x .

Wartości funkcji t - Studenta w zależności od poziomu istotności i liczby stopni swobody

Liczba stopni swobody $n-1$	Poziom ufności $1-\alpha$			
	0.90	0.95	0.99	0.999
1	6.314	12.706	63.657	636.619
2	2.920	4.303	9.925	31.598
3	2.353	3.182	5.841	12.941
4	2.132	2.776	4.604	8.610
5	2.015	2.571	4.032	6.859
6	1.943	2.447	3.707	5.959
7	1.895	2.365	3.499	5.405
8	1.860	2.306	3.355	5.041
9	1.833	2.262	3.250	4.781
10	1.812	2.228	3.169	4.587
15	1.753	2.138	2.947	4.073
20	1.725	2.086	2.845	3.850

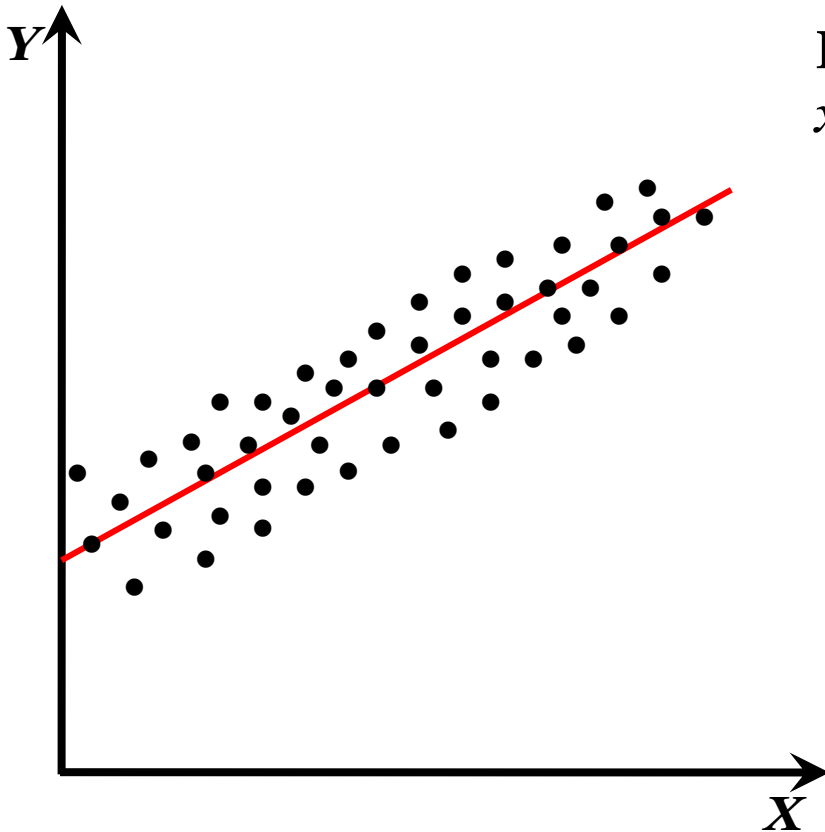
REGRESJA

Regresja oznacza dopasowywanie zbioru parametrów pewnej formuły matematycznej, nazywanej modelem regresyjnym, do dostępnych danych, tak aby uzyskany w ten sposób model jak najdokładniej opisywał te dane.

Założenia modelu regresji liniowej (weryfikowane po utworzeniu modelu):

- zależność liniowa pomiędzy zmiennymi niezależnymi x_i (zmienną niezależną x) i zmienną zależną y ,
- wartości zmiennych niezależnych są ustalone (nie są losowe),
- rozkład normalny składnika losowego ε , o średniej równej zero i stałej wariancji,
- liczba obserwacji przekracza liczbę szacowanych parametrów modelu,
- brak autokorelacji reszt (tzn. kolejne reszty nie zależą od poprzednich),
- brak (silnej) zależności pomiędzy zmiennymi objaśniającymi; żadna zmienna objaśniająca x_i nie powinna być kombinacją liniową innych zmiennych objaśniających.

REGRESJA LINIOWA



Dane są wyniki pomiarów dwóch wielkości x i y : $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$.

Informacje uzyskane z naniesienia punktów pomiarowych na wykres w układzie współrzędnych:

- w przybliżeniu układają się one na pewnej prostej
- to znaczy, że w przybliżeniu $y = ax + b$
- takich prostych „przybliżających” może być wiele
- jak znaleźć **najlepsze przybliżenie**?
- co to znaczy „najlepsze”? Jak zmierzyć, które przybliżenie jest lepsze?

Miara jakości przybliżenia:

- sumę różnic „**wartość dokładna** – **wartość przybliżona**” (taka suma różnic może się zerować nawet, gdy składniki są duże!)
- a może wziąć **$| \text{wartość dokładna} - \text{wartość przybliżona} |$** ? (takie badanie jest bardzo trudne)
- dobrym miernikiem jest suma wyrażeń typu **$(\text{wartość dokładna} - \text{wartość przybliżona})^2$** — metoda najmniejszych kwadratów

METODA NAJMNIEJSZYCH KWADRATÓW

Szukamy **minimum**, a właściwie wartość najmniejszą funkcji:

$$f(a, b) = \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i)^2$$

Jak szukać minimum funkcji dwóch (lub więcej) zmiennych?

Dana jest $f(a, b)$, różniczkowalna wszędzie (bo to suma kwadratów!). Szukamy takich ***a*** i ***b***, dla których ta funkcja osiąga wartość najmniejszą.

- Albo taka wartość osiągnięta jest na brzegu zbioru,
- Albo w takim punkcie (a, b) , w którym:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial b} = 0 \end{cases}$$

gdzie:

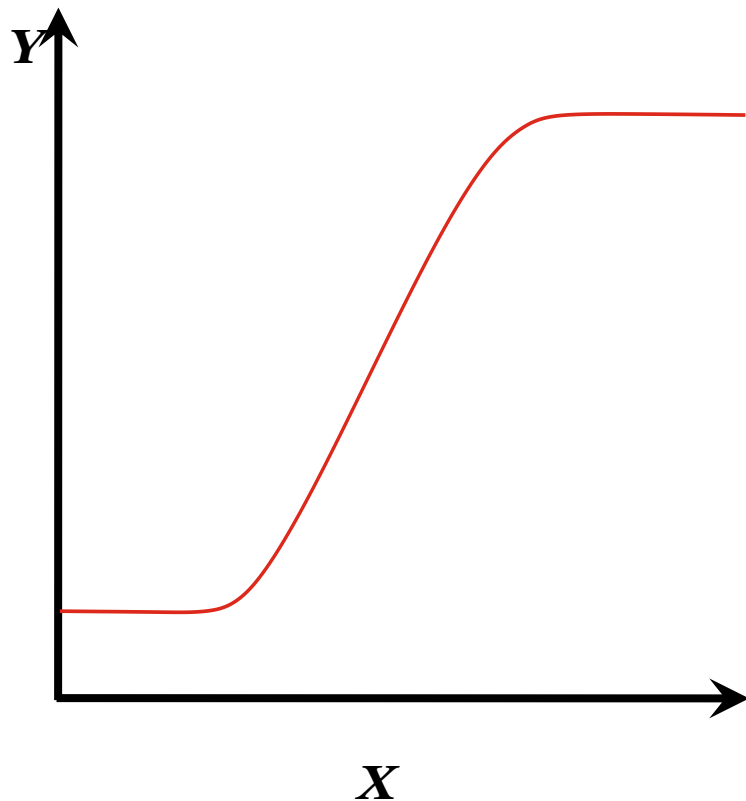
$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial a} = \sum_{i=1}^n [2x_i(ax_i + b - y_i)] = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial b} = \sum_{i=1}^n [2(ax_i + b - y_i)] = 0 \end{cases}$$

REGRESJA LINIOWA – ZASTOSOWANIE

Kalibracja: odpowiedź instrumentu na określone stężenie lub aktywność danego parametru.

Granica wykrywalności (LOD) – to najmniejsza ilość lub stężenie substancji możliwe do wykrycia za pomocą danej procedury analitycznej z określonym prawdopodobieństwem. Jest to najmniejsza ilość analitu, przy której istnieje pewność jego obecności w próbce. Ma ona ścisłe powiązanie z poziomem szumu. Przyjmuje się, że jej wartość to trzykrotny poziom szumów.

Granica oznaczalności (LOQ) – to najmniejsza ilość lub najmniejsze stężenie substancji możliwe do ilościowego oznaczenia daną metodą analityczną z założoną dokładnością i precyzją. Wartość LOQ jest zawsze wielokrotnością wyznaczonej wartości LOD. Najczęściej $LOQ = 3 LOD$. Czasem wartość krotności wynosi 2 lub 6.



PRZEDSTAWIANIE BŁĘDÓW POMIAROWYCH I ZAOKRĄGLANIE WYNIKÓW

PRZEDSTAWIANIE BŁĘDÓW POMIAROWYCH

W ogólnym przypadku wynik pomiaru (**liczbowy rezultat pomiaru z wartością liczbową oszacowanej niepewności standardowej**) przedstawiamy w postaci:

$$x_R = x_M \pm \Delta x$$

gdzie:

x_R - wartość rzeczywista wielkości mierzonej,

x_M - wartość uzyskana w wyniku pomiaru,

Δx - niepewność lub błąd pomiaru.

Powyższy zapis oznacza, że:

najlepszym przybliżeniem wartości mierzonej jest według eksperymentatora liczba x_M z rozsądnym prawdopodobieństwem, gdzie szukana wartość znajduje się gdzieś pomiędzy $x_M - \Delta x$ i $x_M + \Delta x$

Wynik x_M oraz błąd pomiaru Δx są wielkościami szacowanymi, zatem obliczone wartości x_M i Δx podajemy zaokrąglone!!!

ZAOKRĄGLANIE WYNIKÓW

1. **cyframi znaczącymi danej liczby różnej od zera** nazywamy wszystkie jej cyfry z wyjątkiem występujących na początku zer
 - do cyfr znaczących zalicza się również zera końcowe, jeśli są one wynikiem obliczeń, a nie zaokrągleń
 - oznacza to, że pierwsza cyfra znacząca musi być różna od zera, natomiast druga, trzecia i dalsze mogą być zerami
2. obliczenia wykonujemy zawsze z większą liczbą cyfr, niż chcemy podać wynik
3. zaokrągleń dokonujemy dopiero po zakończeniu obliczeń
4. oszacowane **błędy zaokrąglamy zawsze w górę, ponieważ w** żadnym przypadku nie wolno pomniejszać błędów. Zawsze lepiej podać zawyżoną wartość błędu niż go nie doszacować; błędy pomiarów zaokrąglane są do pierwszej cyfry znaczącej (wyjątek: 1, 2)
5. przy zaokrąglaniu **wyniku pomiaru stosowane są** powszechnie przyjęte zasady zaokrągleń :
6. ostatnia cyfra znacząca w każdym wyniku pomiaru powinna stać na tym samym miejscu dziesiętnym, co błąd pomiaru.

REGUŁY ZAOKRĄGLANIA LICZB

Reguła 1

Jeżeli pierwsza z odrzucanych cyfr jest **mniejsza od 5**, to ostatnia z pozostawionych cyfr nie ulega zmianie.

Reguła 2

Jeżeli pierwsza z odrzucanych cyfr jest **większa od 5**, to ostatnią z pozostawionych cyfr powiększa się o 1.

Reguła 3

Jeżeli pierwsza z odrzucanych cyfr jest **równa 5 i przynajmniej jedna z pozostałych odrzuconych cyfr jest różna od 0**, to ostatnią z pozostawionych cyfr powiększa się o 1.

Reguła 4

Jeżeli pierwsza z odrzucanych cyfr jest **równa 5 i jest ostatnią, różną od 0**, cyfrą zaokrąglanej liczby, to ostatnią z pozostawionych cyfr zaokrągla się w górę do najbliższej cyfry parzystej (gdy jest to cyfra nieparzysta) lub pozostawia bez zmian (gdy jest to już cyfra parzysta).

PREZENTACJA WYNIKÓW

PREZENTACJA WYNIKÓW

1. Podanie wartości liczbowej:

$$x \pm s_x$$

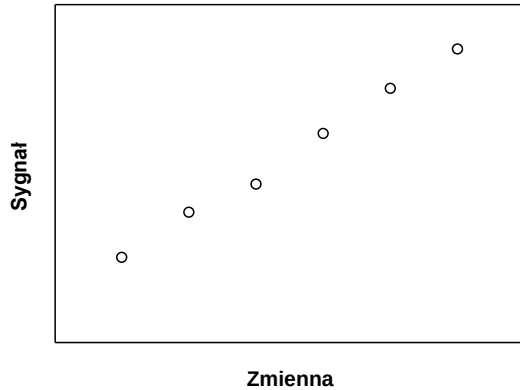
2. Prezentacja wyników w formie tabeli:

Liczba wyników	Intensywność sygnału analitycznego			
	<i>Seria 1</i>	<i>Seria 2</i>	<i>Seria 3</i>	<i>Seria 4</i>
1				
2				
3				
4				
5				

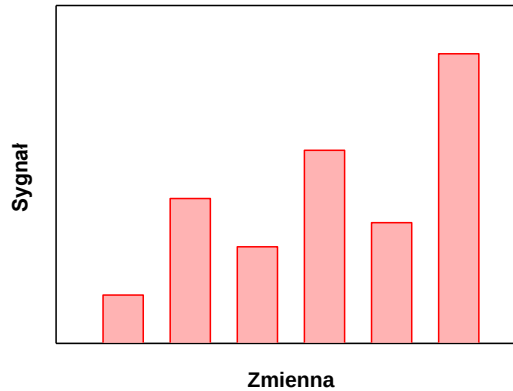
PREZENTACJA WYNIKÓW

3. Prezentacja graficzna:

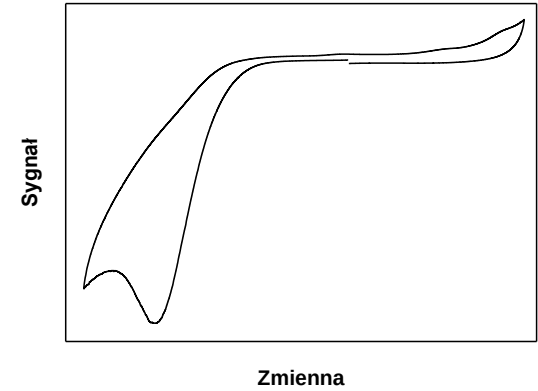
Wykres punktowy



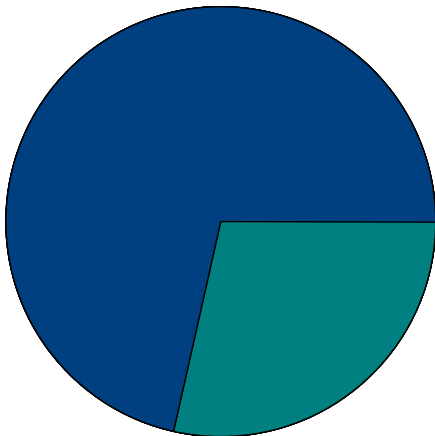
Wykres kolumnowy



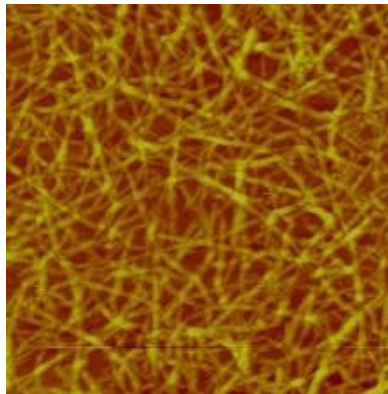
Wykres liniowy



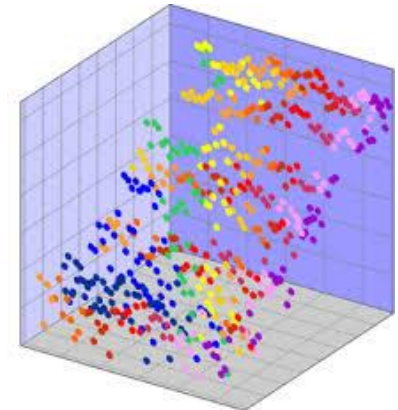
Wykres kołowy



Mapa



Wykres trójwymiarowy



PRZYKŁADOWE ZADANIA

1. Badając zawartość żelaza(II) w próbce wody oligoceńskiej otrzymano następującą serię wyników: 2.18; 2.60; 2.20; 2.30; 2.25; 2.31; 2.28; 2.35 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
Podaj wynik pomiaru oraz określ jego parametry statystyczne.