

Informacje wstępne

Ćwiczenie 0: Podstawowe przyrządy pomiarowe, poprawny zapis wyników i ogólne wskazówki dotyczące sprawozdań

Instrukcję opracował: dr Grzegorz Grabowski
KCiMO, WIMiC, AGH
Luty 2021, wer. 0.1

Spis treści

Słowo wstępu	1
1. Zasady posługiwania się podstawowymi przyrządami pomiarowymi	1
1.1. Suwmiarka	1
1.2. Śruba mikrometryczna	3
2. Zasady zapisywania wyników pomiarów	6
3. Sporządzanie sprawozdań z ćwiczeń laboratoryjnych	7
4. Literatura uzupełniająca	9

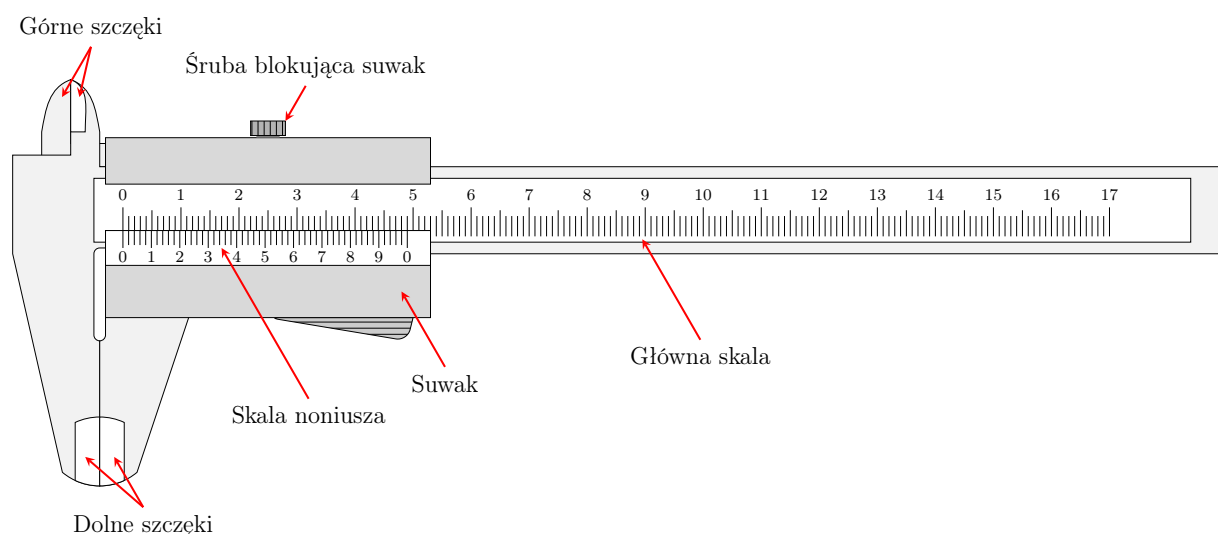
Słowo wstępu

Instrukcja ta ma na celu zebranie najważniejszych wskazówek dotyczących podstawowych pomiarów wykonywanych w ramach ćwiczeń laboratoryjnych z Nauki o Materiałach oraz przedstawienie głównych wymagań dotyczących przygotowania sprawozdań. Szczegółowe wytyczne zawarte są w instrukcjach do kolejnych ćwiczeń, jednak tutaj znalazły się te elementy, które mogą przydać się podczas wszystkich zajęć.

1. Zasady posługiwania się podstawowymi przyrządami pomiarowymi

1.1. Suwmiarka

Suwmiarka jest jednym z podstawowych przyrządów pomiarowych, powszechnie wykorzystywanych w laboratoriach badawczych. Budowa tego przyrządu umożliwi znacznie dokładniejszy pomiar długości w porównaniu do pomiaru wykonywanego linijką (przymiarem milimetrowym).



Rysunek 1. Schemat budowy suwmiarki noniuszowej

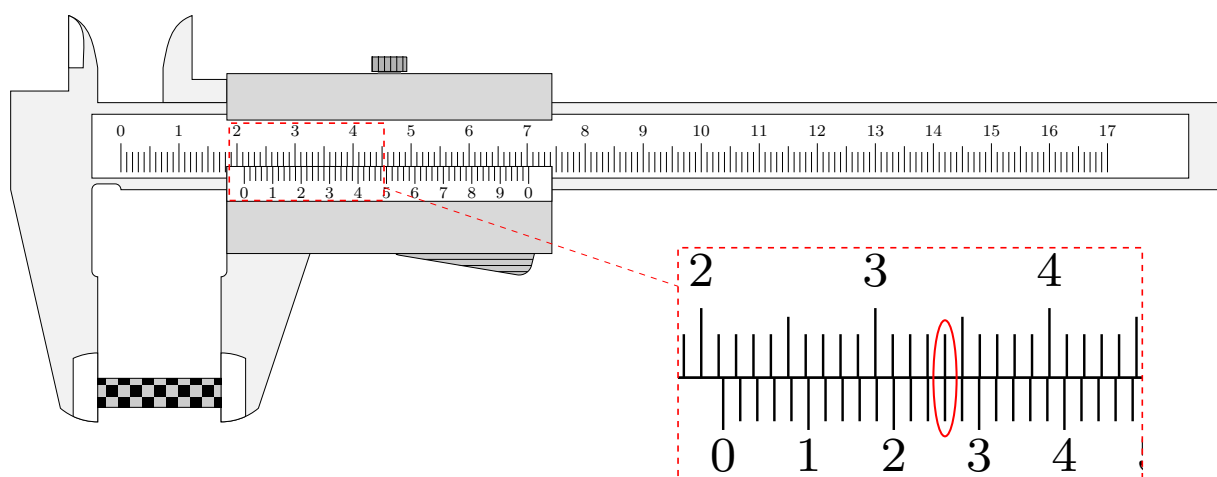
Mierzony przedmiot może zostać pewnie uchwycony w szczęki suwmiarki, co zapewnia precyzyjne odwzorowanie jego wymiarów na skali pomiarowej. Pomiar długości może być realizowany w suwmiarce poprzez czujnik położenia połączony z wyświetlaczem (*suwmiarki cyfrowe*) albo poprzez bezpośredni odczyt na podstawie przesunięcia podziałki na skali (*suwmiarki noniuszowe*). Pomiar długości przy pomocy pierwszego rodzaju suwmiarek nie wymaga komentarza. Natomiast obsługa suwmiarek noniuszowych może sprawić pewne trudności studentom, którzy wcześniej nie spotkali się z takim przyrządem. Dlatego, nieco szerzej zostanie opisany sposób odczytu długości, przy pomocy takich właśnie suwmiarek.

Na wstępie jednak, słów kilka o budowie tego rodzaju przyrządu. Zasadnicze części są wspólne dla obydwu rodzajów suwmiarek, więc warto je wymienić. Na rysunku 1 przedstawiony jest schemat budowy suwmiarki noniuszowej. Składa się ona z dwóch głównych części. Jedna jest nieruchoma, a druga może się względem niej przesuwać, co pozwala na uchwycenie mierzonego przedmiotu. Nieruchoma część suwmiarki wyposażona jest w szczękę dolną i górną oraz główną podziałkę milimetrową (niektóre suwmiarki posiadają również dodatkową podziałkę wyskalowaną w calach). Na tę część, nasunięty jest suwak. Jest on również wyposażony w dwie szczęki (dolną i górną) oraz w podziałkę noniuszową. Szczęki dolne służą do pomiaru wymiarów zewnętrznych przedmiotu (długości, grubości, wysokości, itp.), a szczęki górne, do pomiaru wymiarów wewnętrznych (średnicy, szerokości otworu, itp.). Niektóre suwmiarki wyposażone są dodatkowo w głębokościomierz, który stanowi część suwaka (głębokościomierz nie został zaznaczony na schematycznym rysunku 1).

Najważniejszą częścią suwmiarki, która oprócz szczęk odpowiada za dużą dokładność pomiaru długości, jest noniusz. Ta dodatkowa skala umieszczona na suwaku, zawiera kreski, których liczba decyduje o dokładności odczytu. W suwmiarce przedstawionej na rysunku (rys. 1), noniusz o długości 49 mm podzielony jest na 50 odcinków zaznaczonych kreskami. Oznacza to, że skala noniusza została „ściśnięta” o 1 mm względem skali głównej. Przesunięcie zatem suwaka o 1 mm, (rozsunięcie szczęk suwmiarki), spowoduje, że kreska oznaczona jako „zero”, po prawej na noniuszu, pokryje się z kreską oznaczającą długość 50 mm (5 cm) na skali głównej. Takie względne przeskalowania noniusza, pozwala więc na odczyt z dokładnością do $1/50$ mm czyli 0,02 mm. W dostępnych suwmiarkach, noniusze zawierają często mniejszą liczbę kresek, co przekłada się na mniejszą dokładność odczytu. Przykładowo: jeśli noniusz posiada 20 kresek, to

dokładność odczytu wynosi wtedy 0,05 mm, a jeśli tylko 10 kresek, to taka suwmiarka pozwala na odczyt długości z dokładnością do 0,1 mm.

Jak zatem należy odczytywać długość przy pomocy noniusza? Na rysunku 2 przedstawiony jest przykład pomiaru długości próbki. Została ona umieszczona między dolnymi szczękami suwmiarki, pozostaje więc jedynie odczytać jej długość. W tym celu należy najpierw posłużyć się podziałką główną. Odczytujemy, że mierzona próbka ma długość 21 mm. Tyle pełnych kresek milimetrowych znajduje się między „zerem” na podziałce głównej a „zerem” na noniuszu. Można jednak zauważyć, że długość próbki jest nieco większa – „zerowa” kreska noniusza jest przesunięta o pewną część milimetra w prawo. Aby ustalić dokładniej długość mierzonej próbki, należy teraz posłużyć się skalą noniusza; musimy sprawdzić, które kreski głównej skali najlepiej pokrywają się z kreskami skali noniusza. W przypadku przedstawionym na obrazku, jest to trzecia kreska po kresce oznaczonej cyfrą 2. Pozostaje więc dodać odczytane wartości: 21 mm z głównej skali, 2/10 mm i 3 najmniejsze jednostki noniusza (0,02 mm), zatem odczytana długość mierzonej próbki to: 21,26 mm.



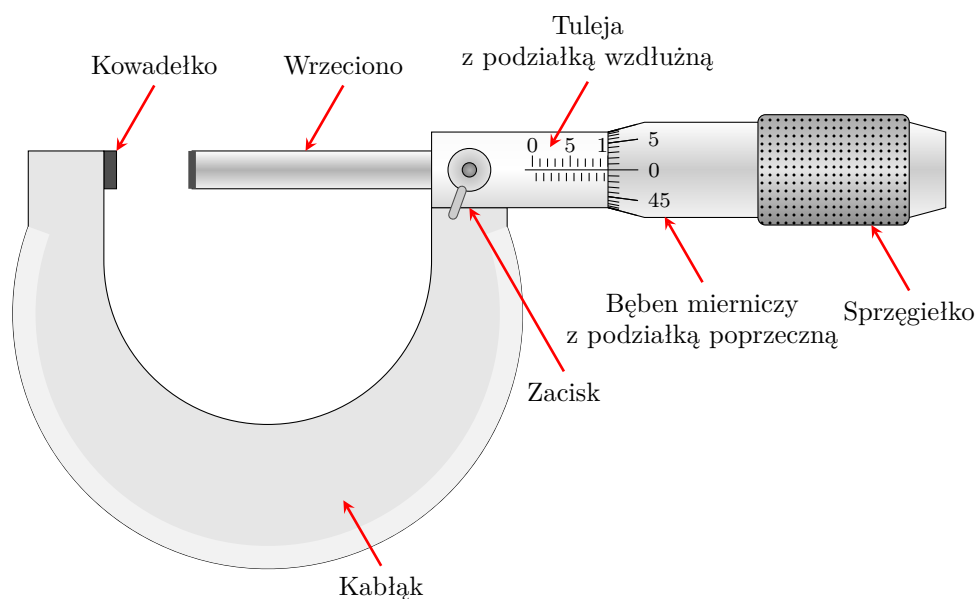
Rysunek 2. Suwmiarka noniuszowa – odczyt długości próbki

Jak można zauważyć na rysunku 2, różnica między pokryciem kresek: trzeciej, drugiej lub czwartej, znajdujących się na noniuszu po cyfrze 2, jest niewielka. Dlatego w praktyce, pomiar taki może być obarczony niepewnością większą niż wynikałoby to z teoretycznie wyznaczonej dokładności. Ostatecznie zapisujemy więc nasz wynik w postaci $21,26 \pm 0,02$ mm

1.2. Śruba mikrometryczna

Śruba mikrometryczna („mikromierz”), to obok suwmiarki, jeden z częściej wykorzystywanych przyrządów pomiarowych. Podobnie jak w przypadku suwmiarki, budowa śruby mikrometrycznej pozwala na dokładny pomiar wymiarów zewnętrznych próbek – ich długości, grubości i średnicy. Schemat budowy śruby mikrometrycznej został przedstawiony na rysunku 3.

Zasadniczym elementem śruby mikrometrycznej jest ruchome wrzeciono, które zamocowane jest do śruby o skoku 0,5 mm połączonej z bębniem mierniczym. Dlatego pełen obrót bębna mierniczego powoduje przesunięcie powierzchni czołowej wrzeciona dokładnie o 0,5 mm. Pozwala to na pomiar długości z dokładnością do 0,01 mm. Wrzeciono, śruba i bęben mierniczy, osadzone są w tulei z podziałką wzdłużną. Z kolei tuleja, za pośrednictwem kabłąka, połączona jest z kowadłkiem. Obracając bębniem, zmienia się więc odległość pomiędzy powierzchnią czołową wrzeciona a powierzchnią czołową kowadłka – powierzchniami szczęk pomiarowych.



Rysunek 3. Śruba mikrometryczna

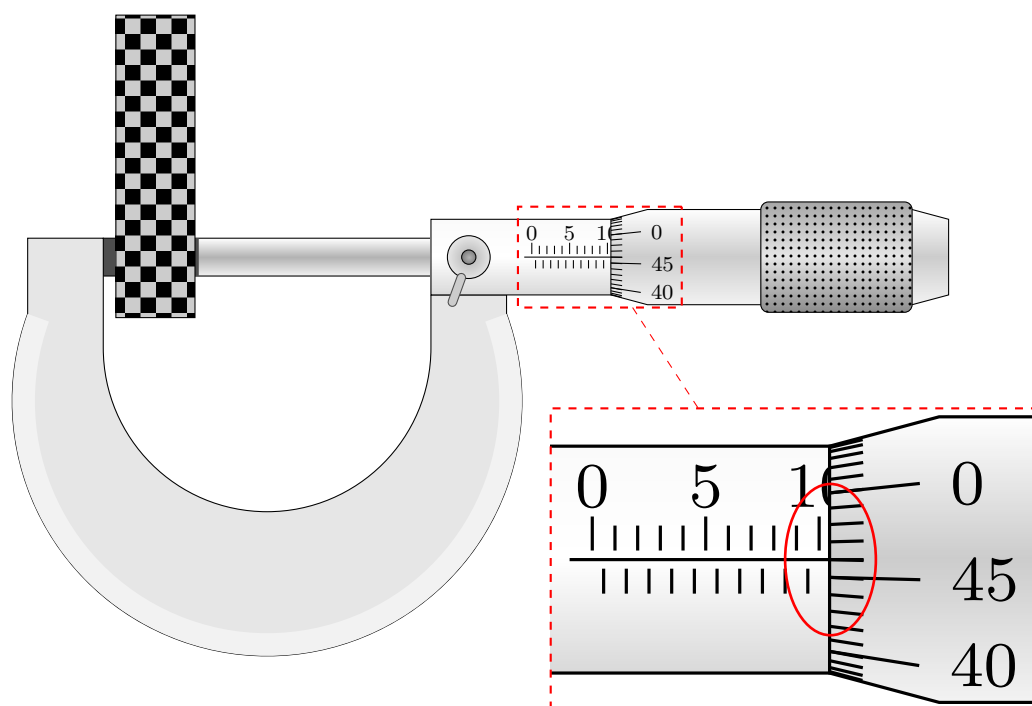
Śruba mikrometryczna wyposażona jest zazwyczaj w zacisk, umożliwiający zablokowanie bębna i tym samym unieruchomienie wrzeciona, co zapobiega przypadkowej zmianie odległości pomiędzy powierzchniami szczęk pomiarowych.

Bardzo ważnym elementem śruby mikrometrycznej jest sprzęgiełko (cierne bądź zapadkowe) zamontowane na bębnie mierniczym. Zapewnia ono stabilizację nacisku z jakim szczęki pomiarowe działają na mierzony przedmiot. Należy więc pamiętać, że **po umieszczeniu próbki między szczękami pomiarowymi, obracamy bęben mierniczy trzymając go wyłącznie za sprzęgiełko**. W przeciwnym razie, po zetknięciu się powierzchni czołowych szczęk pomiarowych z próbką, mogłoby dojść do uszkodzenia próbki albo przyrządu. Dodatkowo, zaciskanie szczęk pomiarowych z niekontrolowaną siłą, może prowadzić do odkształcenia próbki czy nawet kabłąka śruby mikrometrycznej. To oczywiście powoduje błąd podczas pomiaru długości.

Jak wykonać pomiar długości przy pomocy śruby mikrometrycznej? Po umieszczeniu próbki między szczękami pomiarowymi śruby mikrometrycznej, dosuwamy do niej powierzchnie czołowe kowadełka i wrzeciona. **Pamiętamy, że wrzeciono przesuwamy w kierunku powierzchni próbki, poprzez obrót bębna, który trzymamy wyłącznie za sprzęgiełko**. Jeśli próbka jest unieruchomiona w szczękach pomiarowych, a sprzęgiełko wydaje charakterystyczny dźwięk (grzechotanie), to możemy odczytać wartość długości ze skali umieszczonej na podziałce wzdłużnej i poprzecznej.

Rysunek 4 przedstawia przykład pomiaru szerokości próbki. Ze skali milimetrowej na podziałce wzdłużnej, możemy dla naszego przykładu odczytać, że mierzona długość wynosi ponad 10 mm – tyle kresek odsłoniętych jest przez bęben na skali. Liczymy jednak tylko górne kreski podziałki – dolna skala jest skalą półmilimetrową.

Ponieważ chcemy zmierzyć szerokość naszej próbki z dokładnością większą niż $\pm 0,5$ mm, musimy skorzystać z podziałki poprzecznej umieszczonej na bębnie. Widzimy, że z osią podziałki wzdłużnej pokrywa się 46. kreska na podziałce poprzecznej, oznaczającej setne części milimetra. Ostatecznie, możemy więc powiedzieć, że szerokość mierzonej próbki to $10 \text{ mm} + 46/100 \text{ mm}$ i zapisać wynik pomiaru w postaci $10,46 \pm 0,01 \text{ mm}$.



Rysunek 4. Śruba mikrometryczna

W tym miejscu warto jeszcze przypomnieć, że pełny obrót bębna powoduje przesunięcie wrzeciona i tym samym szczęk pomiarowych śruby mikrometrycznej o 0,5 mm. Oznacza to, że jeśli nasza próbka miałaby długość pomiędzy 10,50 mm a 11 mm, to bęben odsłoniłby dodatkową kreskę na dolnej skali półmilimetrowej podziałki wzdłużnej. W takim przypadku do wartości odczytanej z podziałki wzdłużnej należałoby dodać 0,5 mm; przykładowo: jeśli mierzona próbka ma długość 10,62 mm, to na podziałce wzdłużnej odczytujemy 10 kreskę ze skali górnej, zauważamy dodatkową kreskę na skali dolnej i na podziałce poprzecznej odczytujemy 12 kreskę ($12/100 + 50/100 = 62/100$).

Taki sposób odczytu długości mierzonych przedmiotów, wynikający ze skoku śruby mikrometrycznej (0,5 mm), powoduje często błąd gruby pomiaru („błąd półmilimetrowy”). Może on wystąpić zarówno przez niedoliczenie połowy milimetra do odczytywanej wartości, jak i przez niepotrzebne jego dodanie. Dlatego należy zawsze dokładnie przyjrzeć się pozycji obydwu podziałek i zwrócić uwagę na to, czy na dolnej podziałce poprzecznej nie pojawia się dodatkowa, odsłonięta przez bęben kreska półmilimetrowa.

Niekiedy po zsunięciu szczęk pomiarowych śruby mikrometrycznej, w której nie jest zamocowana próbka, może okazać się, że zerowa kreska na podziałce poprzecznej nie pokrywa się z osią podziałki wzdłużnej. Taki efekt może wynikać zarówno z wcześniejszego, zbyt mocnego zsunięcia szczęk pomiarowych (bez użycia sprzęgiełka), albo być skutkiem zmian temperatury (rozszerzalności cieplnej materiału) i nie musi oznaczać uszkodzenia śruby mikrometrycznej. W takim przypadku, do mierzonej długości należy dodać stosowną korektę (dodatnią lub ujemną).

2. Zasady zapisywania wyników pomiarów

Zarówno wartości wielkości fizycznych, które zostają zmierzone przy pomocy prostych przyrządów pomiarowych (linijka, suwmiarka, stoper, itp.), jak i wartości parametrów wyznaczonych przy pomocy bardziej zaawansowanego sprzętu pomiarowego (maszyna wytrzymałościowa, dylatometr, spektrofotometr, itp.), czy też obliczonych na podstawie wyników szeregu pomiarów, **muszą zostać zapisane wraz z jednostką**. Aby skrócić zapis wartości – zmniejszyć liczbę cyfr, stosuje się zapis wykładniczy lub przed jednostką podaje się odpowiedni przedrostek. Przykładowo: *wytrzymałość na zginanie σ pewnego rodzaju szkła wynosi 29 400 000 Pa*. Aby skrócić ten zapis należy napisać, że $\sigma = 29,4 \cdot 10^6$ Pa albo, wykorzystując zapis z przedrostkiem przed jednostką, jako: $\sigma = 29,4$ MPa. Dobór metody skracania zapisu, zależy od przyjętych dla danej wielkości zwyczajów nazewnictwa (umownych reguł) i przykładowo, wartość ciśnienia atmosferycznego podaje się zazwyczaj w hPa, a wartość wytrzymałości w MPa.

Kolejną ważną kwestią jest **liczba cyfr znaczących**, które zapisywane są dla prezentowanej wartości. Mogłoby się wydawać, że im więcej cyfr, zapisze student przy obliczonej wartości, tym lepiej oceniona zostanie jego praca badawcza – wszak skrupulatnie przepisał je wszystkie z wyświetlacza kalkulatora. Niestety, zapis wartości liczbowych podlega bardzo rygorystycznej konwencji. Domyślnie przyjmuje się, że niepewność wyznaczenia zapisanej wartości jest rzędu ostatniej cyfry znaczącej. Wracając zatem do przykładu szkła, zapis wartości $\sigma = 29,4$ MPa oznacza, że została ona podana z dokładnością do 0,1 MPa. Prezentując więc wyniki pomiarów, należy zapisywać jedynie taką liczbę cyfr znaczących, których jesteście pewni. Jeśli wytrzymałość rozpatrywanego szkła została wyznaczona z dokładnością do 1 MPa, to wartość σ powinniśmy zaokrąglić do 29 MPa. **Podczas zaokrąglania wartości** stosujemy ogólnie przyjęte reguły: jeśli pierwsza, odcinana cyfra jest większa lub równa 5, to zaokrąglamy „w górę” dodając jedność do ostatniej cyfry wartości po zaokrągleniu; w przeciwnym przypadku zaokrąglamy „w dół”, odcinając po prostu zaokrąglane cyfry np.: $20,249 \approx 20,2$ albo $20,250 \approx 20,3$.

Przedstawiony zapis wartości, w którym niepewność pomiaru ustalona jest na podstawie rzędu wielkości ostatniej cyfry znaczącej wyniku, jest jednak uproszczony i może stać się powodem błędnej interpretacji, co do osiągniętej dokładności. Dlatego należy zawsze starać się podawać niepewność w sposób jawny. Jeśli więc oszacowaliśmy niepewność pomiarową δx , to najlepiej wynik naszych pomiarów podać w postaci $x \pm \delta x$. Dla rozpatrywanego przykładu wytrzymałości szkła, wynik należałoby zapisać jako: $29,4 \pm 0,1$ MPa albo przy większej niepewności pomiarowej: 29 ± 1 MPa.

Metody szacowania niepewności pomiarowej zależą od sposobu przeprowadzenia pomiaru, użytej aparatury i zastosowanej metody, dlatego będą omawiane przy kolejnych ćwiczeniach. Tutaj warto jednak dodać, że **zapis niepewności pomiarowych również podlega ścisłym regułom**. Przyjmuje się, że w przypadku bardzo dokładnych pomiarów doświadczalnych, niepewność podawana jest z dwiema cyframi znaczącymi. W przypadku pomiarów prowadzonych w laboratorium studenckim, należy przyjąć, że niepewności zapisujemy jedną cyfrą znaczącą. Oszacowane niepewności pomiarowe, należy więc zawsze zaokrąglić. Jednak zaokrąglanie niepewności przeprowadza się „w górę” – wynika to stąd, że lepiej jest przeszacować niepewność pomiarową, niż ją niedoszacować. Tutaj może pojawić się wyjątek od reguły „jednej cyfry” dla zapisu niepewności. Jeśli po zaokrągleniu wartość niepewności wzrośnie o ponad 10 %, to możemy podać ją z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Podsumowując: **wartość wyznaczanego parametru albo zmierzonej wielkości fizycznej zapisujemy tak, aby ostatnia cyfra znacząca wartości była tego samego rzędu, co niepewność pomiarowa**. Przykładowo: wyznaczaliśmy pewną metodą wartość gęstości badanego materiału: $d_1 = 3,717$ g/cm³. Oszacowaliśmy również niepewność pomiarową: $\delta d_1 =$

0,613 g/cm³. Najpierw, zaokrąglamy więc niepewność, a następnie podajemy wartość gęstości wraz z niepewnością: $d_1 = 3,7 \pm 0,7$ g/cm³. Jeśli gęstość analizowanego materiału wyznaczona inną metodą wyniosła: $d_2 = 3,254$ g/cm³, ale niepewność dla tej metody wyniosła: $\delta d_2 = 0,151$ g/cm³, to wynik tego oznaczenia możemy, z kolei zapisać jako: $d_2 = 3,25 \pm 0,16$ g/cm³. Dodatkowo, na podstawie tak zapisanych wartości gęstości, możemy powiedzieć, że uzyskane w niezależnych pomiarach wartości gęstości badanego materiału **są ze sobą zbieżne**, ponieważ przedziały niepewności pomiarowych pokrywają się.

Temat dotyczący zapisu wyników pomiarów doświadczalnych, szacowania niepewności pomiarowych oraz statystycznej analizy wyników, jest poruszany w wielu podręcznikach akademickich, z których można wymienić: Taylor – *Wstęp do analizy błędów pomiarowych* [1], Zięba – *Analiza danych w naukach ścisłych i technice* [2] oraz Czermiński i in. – *Metody statystyczne dla chemików* [3].

3. Sporządzanie sprawozdań z ćwiczeń laboratoryjnych

Sprawozdanie z laboratorium z Nauki o Materiałach sporządzane jest podczas zajęć w zeszycie laboratoryjnym. Powinno ono zawierać **tytuł ćwiczenia i datę**. Szczegółowe wytyczne odnośnie elementów sprawozdania, które powinny znaleźć się w zeszycie, zawarte są w instrukcjach do kolejnych ćwiczeń. Tutaj warto jednak wskazać kilka uniwersalnych zasad, które pozwolą na przygotowanie dobrego sprawozdania.

Ćwiczenie rozpoczynamy zatem od wpisu w zeszycie laboratoryjnym zawierającym wspomniane już elementy: tytuł i datę. Następnie, we wstępie należy **krótko scharakteryzować badany materiał**, podając jego nazwę, skład, niekiedy opisując wygląd próbek albo wymieniając cechy mogące być istotne dla wyznaczonej wielkości fizycznej lub stosowanej metody pomiarowej.

Kolejnym etapem ćwiczenia, a za razem elementem sprawozdania, jest część doświadczalna. W tej części gromadzimy wyniki prowadzonych pomiarów. Jeśli podczas ćwiczenia wyniki te nie są rejestrowane automatycznie w urządzeniu pomiarowym bądź połączonym z nim komputerze, to należy starannie je zapisywać w zeszycie laboratoryjnym. **Wyniki pomiarów powinny być opatrzone nazwą lub symbolem mierzonej wielkości** i oczywiście oprócz samych wartości należy zapisywać również jednostki, w których są one wyznaczone. W celu uporządkowania wyników pomiarów gromadzonych w trakcie ćwiczenia, pomocna może być tabela. Warto zaznaczyć, że w zeszycie zapisujemy zawsze wszystkie wyniki pomiarów, nawet te, które wydają się błędne. Decyzję o odrzuceniu takich wyników, należy podejmować dopiero na etapie opracowania (analizy wyników) i powinna ona być poparta krótkim wyjaśnieniem.

Po zebraniu kompletnych wyników pomiarów, zakończeniu części doświadczalnej, należy przystąpić do ich opracowania. Część ta zazwyczaj prowadzi do uzyskania wymaganych instrukcją parametrów materiałowych. Warto na wstępie wykonać szybkie, „zgrubne” obliczenia (szacowanie) i sprawdzić, **czy uzyskiwane rezultaty są zgodne, przynajmniej co do rzędu wielkości, z wartościami oczekiwanymi**. Jeśli tak nie jest, to należy zastanowić się nad możliwymi źródłami błędów: czy poprawnie przeliczone zostały jednostki, przekształcone równania, czy podstawiane są odpowiednie wartości i czy nie doszło do zwykłej pomyłki podczas wprowadzania wartości i użytych operatorów w kalkulatorze czy programie obliczeniowym. Na tym etapie pomocne mogą być również obliczenia wykonane na samych jednostkach. Takie szacowanie, przeprowadzone przed właściwymi obliczeniami, może zaoszczędzić wiele czasu i pozwolić na uniknięcie trudnych do zlokalizowania błędów w końcowych wynikach obliczeń. Niekiedy szacunkowe obliczenia można również wykonywać już podczas gromadzenia wyników pomiarów – w części doświadczalnej. Pozwala to na uniknięcie grubych błędów, które po zakoń-

czeniu pomiarów nie będą mogły zostać szybko usunięte i będą wymagały powtórzenia całej części doświadczalnej – ponownego wykonania pomiarów.

Jeśli wstępne oszacowanie wskazuje, że zarówno zebrane wyniki pomiarów jak i prowadzone obliczenia pozwalają na uzyskanie rezultatów, które nie będą rażąco odbiegały od wartości oczekiwanych, to należy przystąpić do właściwych obliczeń, zgodnie z instrukcją do realizowanego ćwiczenia.

Uzyskane wyniki obliczeń należy następnie poddać analizie. W szczególności powinna zostać oszacowana niepewność pomiarowa. Na tym etapie można również odrzucić ewidentnie błędne wyniki, ale powinno to być jasno zaznaczone i umotywowane w sprawozdaniu.

W niektórych ćwiczeniach, wskazane jest wykonanie wykresów obrazujących zmienność wyznaczonych parametrów, czy zebranych wyników pomiaru. Ten sposób wizualizacji danych wymaga również kilku słów komentarza. **Dobrze wykonany wykres może znacząco ułatwić analizę uzyskanych wyników.** Jednak, aby był on w pełni użyteczny, musi posiadać pewne cechy, umożliwiające późniejszą, prawidłową interpretację zebranych w graficznej formie wyników. Przede wszystkim osie liczbowe muszą zostać precyzyjnie opisane. Opis taki powinien zawierać nazwę, bądź symbol prezentowanej wielkości wraz z jednostką; wyjątkiem może być umieszczenie na osi wielkości bezwymiarowych – nie posiadających jednostek. Zakres skali na osiach powinien zostać dostosowany do zakresu prezentowanych wartości tak, aby uwypuklić interesującą zależność – wartości na osiach nie muszą rozpoczynać się od zera. Punkty, reprezentujące wyniki pomiarów lub wartości wyznaczonych wielkości fizycznych, powinny być oznaczone symbolami (znakami) umożliwiającymi ich łatwą lokalizację. Dodatkowo, powinny zostać opatrzone słupkami oznaczającymi niepewność pomiarową. Punktów na wykresie nie łączymy łamaną krzywą – taki sposób prezentacji danych wprowadza niepotrzebne (i nieprawdziwe) informacje – wartości między punktami nie są przecież znane. Niekiedy do wartości prezentowanych na wykresie dopasowuje się krzywą teoretyczną. Stosowana do takiego dopasowania metoda, powinna jednak zostać opisana w sprawozdaniu, a dobór stosowanej zależności funkcyjnej nie może być przypadkowy – musi mieć podstawy teoretyczne.

Przy sporządzaniu wykresów należy starać się, aby były one czytelne i nie zawierały niepotrzebnych elementów – stosujemy zasadę *Brzytwy Ockhama*. Wymienione powyżej uwagi odnoszą się zarówno do wykresów przygotowywanych przy pomocy programów komputerowych, jak i do sporządzanych odręcznie, w zeszycie laboratoryjnym. Więcej informacji na temat metod wizualizacji danych i pułapek, które związane są z tym ciekawym zagadnieniem, można znaleźć w: Biecek – *Odkrywać! Ujawniać! Objasniać! Zbiór esejów o sztuce przedstawiania danych* [4, 5].

Ostatnim, niezbędnym elementem sprawozdania jest podsumowanie. Powinno ono zawierać krótką dyskusję uzyskanych wyników i porównanie ich z wartościami oczekiwanymi. Na końcu, na podstawie zebranych podczas wykonania ćwiczenia doświadczeń i wyników obliczeń, powinny zostać zapisane wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia.

4. Literatura uzupełniająca

- [1] J. R. Taylor: *Wstęp do analizy błędów pomiarowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2019. ISBN: 978-83-01-12876-0.
- [2] A. Zięba: *Analiza danych w naukach ścisłych i technice*, wyd. 2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2020. ISBN: 978-83-011-7968-7.
- [3] J. B. Czermiński, A. Iwasiewicz, Z. Ptaszek, A. Sikorski: *Metody statystyczne dla chemików*, Państwowe Wydawnictwa Naukowe, Warszawa, 1986. ISBN: 83-01-06166-9.
- [4] P. Biecek: *Odkrywać! Ujawniać! Objasniać! Zbiór esejów o sztuce przedstawiania danych*, URL: <http://www.biecek.pl/Eseje/> (term. wiz. 26.02.2021).
- [5] P. Biecek: *Odkrywać! Ujawniać! Objasniać! Zbiór esejów o sztuce przedstawiania danych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 2019. ISBN: 978-83-6529-105-9.