

dr hab. Robert Zakrzewski, prof. UŁ
Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii

Wyzwania zadań rachunkowych dla maturzystów egzaminu maturalnego z chemii w formule 2023¹

Streszczenie

Kalkulatory naukowe są nieocenione w edukacji chemicznej, umożliwiając szybkie i efektywne rozwiązywanie skomplikowanych problemów chemicznych. Ich zastosowanie w nauczaniu chemii ewoluowało na przestrzeni lat, od podstawowych operacji arytmetycznych do skomplikowanych działań matematycznych. Są szczególnie pomocne dla studentów, którzy mogą napotykać trudności z matematyką. Użycie kalkulatorów w rozwiązywaniu problemów chemicznych pozwala im nie tylko efektywniej wykonywać obliczenia, ale także rozwijać głębsze zrozumienie matematycznych podstaw pojęć chemicznych. Takie wieloaspektowe podejście do nauki przygotowuje studentów do bardziej zaawansowanych studiów i badań w dziedzinie chemii i pokrewnych dziedzin nauki. Kalkulatory naukowe, tanie, proste w obsłudze, niezawodne, dostępne, szybkie w działaniu, przenośne i kompaktowe, są niezbędnym narzędziem w procesie nauczania chemii.

Wielu nauczycieli i uczniów nurtuje kwestia użycia kalkulatora w najnowszej formule egzaminu maturalnego z chemii. Mimo że w tym roku drugi rocznik maturzystów zdawał egzamin w tej formule, temat ten wciąż budzi różne wątpliwości. W związku z tym podjęto próbę rozwiązania tego problemu, opierając się wyłącznie na dokumentach opublikowanych przez Ministerstwo Edukacji Narodowej lub Centralną Komisję Egzaminacyjną.

Kalkulator w edukacji chemicznej

Suwaki logarytmiczne to prekursorzy współczesnych kalkulatorów. Te analogowe narzędzia obliczeniowe, choć ograniczone w swoich możliwościach, były nieocenione w czasach, gdy cyfrowa technologia była jeszcze w powijakach. Umożliwiały one szybkie wykonywanie różnorodnych obliczeń, co było szczególnie przydatne w dziedzinach wymagających intensywnych rachunków, takich jak chemia, fizyka czy inżynieria. Z biegiem czasu rozwój technologii elektronicznej doprowadził do stworzenia kalkulatorów zdolnych do przeprowadzania znacznie bardziej złożonych operacji matematycznych. Nowoczesne kalkulatory oferują wykorzystanie nie tylko funkcji algebraicznych i graficznych, ale także posiadają zdolność przechowywania danych oraz wykonywania operacji na pochodnych i całkach, co znacząco rozszerza ich zastosowanie

¹ Tekst napisany przy udziale narzędzi sztucznej inteligencji w zakresie redakcji tekstu (czat GPT 4.0) oraz zbierania i selekcji bibliografii (Elicit.com, ScopusAI).

w edukacji i badaniach naukowych [1]. Rozpoznając potencjał tych zaawansowanych narzędzi, dydaktycy chemii zaczęli opracowywać metody integracji kalkulatorów z procesem nauczania [2] ze względu na takie cechy tych narzędzi jak: niska cena, prostota obsługi, niezawodność, dostępność, szybkość działania, przenośność oraz kompaktowe rozmiary [3].

Kalkulator naukowy umożliwia szybkie i efektywne rozwiązywanie skomplikowanych problemów chemicznych oraz wizualizację zależności pomiędzy podanymi danymi czy wybranymi procesami chemicznymi [4]. Wykorzystanie tych urządzeń w edukacji chemicznej ewoluowało znacząco na przestrzeni lat, odzwierciedlając zmiany zarówno w technologii, jak i podejściach pedagogicznych. Początkowo kalkulatory były używane głównie do podstawowych operacji arytmetycznych, aby ułatwić obliczenia na zajęciach i kursach chemicznych [5]. Jednak w miarę jak stały się coraz bardziej zaawansowane, ich zastosowanie w edukacji chemicznej stało się coraz bardziej powszechne [6]. Obecnie wydaje się, że każdy uczeń korzysta z tego urządzenia podczas lekcji matematyki, fizyki czy chemii.

Kalkulatory naukowe wspomagają zrozumienie i rozwiązywanie złożonych problemów chemicznych. Szczególnie jest to korzystne dla studentów, którzy mogą odczuwać niepewność w zakresie swoich umiejętności matematycznych [7]. W kontekście obliczeń dotyczących równowag chemicznych, które często prowadzą do rozwiązań równań kwadratowych (lub o wyższym stopniu), pozwalają one na ich rozwiązanie bez konieczności wykonywania zaawansowanych operacji matematycznych. Kimet i inni wykazali, że korzystanie z tych urządzeń umożliwia uczniom eksperymentalne podejście do obliczeń związanych z tym zagadnieniem. Dzięki temu ich uwaga przenosi się z monotonna ćwiczeń rachunkowych na bardziej interaktywną i angażującą formę nauki. Uczniowie, wykonując mechanicznie obliczenia, rozwijają głębsze zrozumienie matematycznych podstaw pojęć chemicznych. Takie wieloaspektowe podejście do nauki przygotowuje studentów do bardziej zaawansowanych studiów i badań w dziedzinie chemii i pokrewnych dziedzin nauki [4].

Dzięki zaawansowanym funkcjom kalkulatora możliwe jest wykonywanie złożonych obliczeń, takich jak całkowanie funkcji, co pozwala na wyznaczenie współczynnika normalizacyjnego funkcji falowej. Dodatkowo, poprzez różniczkowanie, można potwierdzić, że podana funkcja jest funkcją właściwą. Przykłady powyższe ukazują, jak użycie kalkulatora naukowego może upraszczać i usprawniać rozwiązywanie zadań w kursie chemii fizycznej, pozwalając studentom skupić się na zrozumieniu fizycznych podstaw chemii, a nie na złożonych obliczeniach matematycznych. Wykorzystanie takiego narzędzia w nauczaniu może również zwiększyć zainteresowanie studentów przedmiotem, zmniejszając ich lęk przed matematyką i pokazując nowoczesne techniki stosowane w naukach przyrodniczych [8].

Morgan zauważył, że kalkulator naukowy może być używany do przeprowadzania prostych obliczeń, takich jak zamiana liczby gramów na liczbę moli, a także bardziej skomplikowanych działań na jednostkach, np. w obliczeniach związanych z prawami gazowymi [9]. Decyzja, czy jednostki powinny być wyświetlane na wyświetlaczu kalkulatora (co może wymagać naciśnięcia kilku dodatkowych

klawiszy i poświęcenia więcej czasu na obliczenia), zależy wyłącznie od nauczyciela i ucznia. Użycie zaawansowanego kalkulatora naukowego (w tym kalkulatora on-line), który łączy tradycyjne metody rozwiązywania problemów z nowoczesną technologią, może ułatwić studentom chemii zrozumienie operacji na jednostkach, co jest kluczowym elementem w dydaktyce chemii [10].

Gold opisał negatywne skutki korzystania z kalkulatorów podczas lekcji chemii, co prowadzi do refleksji nad odpowiedzialnością nauczyciela za utrzymanie równowagi między korzyściami a ograniczeniami wynikającymi z użycia tego narzędzia [11]. Zwrócono uwagę na trudności w wykonywaniu rachunków, które wymagają umiejętności arytmetyki pamięciowej, wykonania przybliżonych obliczeń, szacowania wyników, unikania nieuzasadnionych działań z zastosowaniem kalkulatora (np. 2×10), intuicyjnego rozpoznawania nieistotności cyfr znaczących w wynikach oraz rozpoznawania nierealistycznych odpowiedzi. Wskazuje się, że brak umiejętności posługiwania się liczbami oraz zanik tych umiejętności na rzecz korzystania z kalkulatorów może prowadzić do niepokojących zjawisk. Chociaż wiele obliczeń chemicznych można przeprowadzić na kalkulatorze, używając odpowiedniej kombinacji klawiszy, mechaniczne stosowanie tego narzędzia nie zastąpi głębokiego zrozumienia operacji matematycznych [11]. Edukacja uczniów w zakresie efektywnego szacowania wyników liczbowych może być realizowana poprzez serię ćwiczeń, które skupiają się na zrozumieniu problemu rachunkowego i skalowania jego wyniku oraz koncepcji cyfr znaczących [12], zamiast polegać wyłącznie na korzystaniu z kalkulatorów [13].

Leopold zaprezentował metody mające na celu rozwijanie umiejętności matematycznych uczniów poprzez rozwiązywanie zadań rachunkowych za pomocą rachunków pisemnych, bez użycia kalkulatora [14]. Przykładem powyższego postulatu są zajęcia, podczas których prowadzący najpierw przypomina techniki algebraiczne ułatwiające upraszczanie wyrażeń czy pracę z logarytmami w kontekście równowagi chemicznej, reakcji kwasowo-zasadowych, buforów i miareczkowania. Metody te mają na celu nie tylko motywowanie studentów do osiągnięcia głębszego intuicyjnego i intelektualnego zrozumienia chemii, ale także płynniejszego posługiwania się językiem matematyki w nauce [14].

Uczniowie często nadmiernie ufają wynikom uzyskanym dzięki zastosowaniu kalkulatora, nie zdając sobie sprawy, że mogą popełnić błędy podczas wprowadzania wartości liczbowych lub formułowania operacji matematycznych. Użytkownicy powinni zawsze sprawdzać, czy wyniki obliczeń mają sens w kontekście chemicznym. Na przykład, ujemne wartości stężenia lub pH przekraczające wartość 14 mogą sygnalizować błędne wprowadzenie danych lub niezrozumienie formułowanej hipotezy. Rozpoznanie i przewidywanie potencjalnych ograniczeń mogą zapobiec błędnym interpretacjom wyników i zapewnić ich wiarygodność. Nauczanie korzystania z kalkulatorów powinno iść w parze z rozwijaniem umiejętności chemicznych. Taka strategia dydaktyczna zapewnia, że uczniowie nie tylko polegają na narzędziu, ale także rozumieją zasady i logikę a przeprowadzanych obliczeń. W rezultacie mogą oni w pełni docenić rolę tych obliczeń w szerszym kontekście badawczym i eksperymentalnym [15].

Aby ocenić wpływ kalkulatorów na wyniki egzaminów z chemii, przeprowadzono eksperyment, w którym uczestnicy mieli możliwość korzystania z kalkulatorów kieszonkowych [16]. Analiza wyników wykazała, że uczniowie korzystający z kalkulatorów uzyskali wyższe oceny we wszystkich testach w porównaniu z tymi uczniami, którzy z nich nie korzystali. Sugeruje się, że obserwowane różnice w wynikach mogły nie wynikać bezpośrednio z użycia kalkulatorów, lecz z procesu selekcji, w którym zdolniejsi uczniowie byli bardziej skłonni do zakupu tych urządzeń. W celu zbadania tej hipotezy przeprowadzono porównanie wyników z matematyki uzyskanych przez każdego ucznia. Analiza nie wykazała istotnych statystycznie różnic w wynikach z matematyki. Zauważono, że w pierwszych dwóch seriach testów uczniowie używający kalkulatorów osiągnęli lepsze wyniki niż ci, którzy z nich nie korzystali, podczas gdy w późniejszych latach tendencja ta uległa odwróceniu. Co istotne, mimo że w grupie korzystającej z kalkulatorów z czasem przybywało osób o słabszych umiejętnościach matematycznych, ich wyniki z egzaminów z chemii pozostawały stosunkowo wysokie w porównaniu z wynikami osób niekorzystających z kalkulatorów [16]. Inne wyniki pokazały, że stosowanie kalkulatorów poprawia oceny z matematyki, ale nie wpływa na stosunek do tego przedmiotu [17].

Opublikowano wiele prac prezentujących różnorodne pomysły na nauczanie na wszystkich poziomach edukacyjnych umiejętności matematycznych z chemii z wykorzystaniem komputera. Pomysły te obejmują od prostego wykorzystania arkusza kalkulacyjnego [7], [18] po samodzielne programy komputerowe [19], [20], kompleksowe kursy online [21] oraz aplikacje mobilne [22], które umożliwiają pracę z wyrażeniami matematycznymi w sposób przypominający tradycyjne metody obliczeniowe oraz współpracują z kamerą smartfona [23]. Wraz z upowszechnianiem tych pomysłów technologia kalkulatorów i komputerów znacznie się poprawiła, co umożliwia uczniom zrozumienie pojęć chemicznych z niebywałą łatwością.

Motywowanie do kreatywnych rozwiązań zadań rachunkowych z chemii

W ostatnich latach wielokrotnie sugerowano przyjęcie podejścia skupiającego się na jakościowym zrozumieniu oraz rozwijaniu umiejętności uczniów w zakresie prawidłowego formułowania równań matematycznych.

Cohen podkreślił znaczenie głębszego zrozumienia postawionego problemu podczas rozwiązywania zadań rachunkowych, zwracając uwagę na potencjalne pułapki związane z działaniami na symbolach matematycznych bez właściwej interpretacji ich fizycznego znaczenia oraz bez rozwijania głębszego zrozumienia pojęciowego [24]. Istotne jest skupienie się na opisie sytuacji fizycznej, aby unikać takich okoliczności, w których uczniowie wykonują bezsensowne operacje na symbolach. To było szczególnie widoczne w przypadku uczniów, którzy napotykali trudności w wyjaśnianiu fizycznego sensu problemu postawionego w zadaniu. Sytuację dodatkowo komplikowały zróżnicowane poziomy umiejętności matematycznych wśród uczniów. Studenci z bardziej zaawansowanym wykształceniem matematycznym często preferowali wyrażanie się za pomocą symboli i ich przekształceń, niezależnie od tego, czy potrafili jasno wyjaśnić fizyczny sens zagadnienia, czy też nie [24].

Geller Leopold i Edgar zauważyli związek między ocenami z matematyki a wynikami z kursu chemii wśród studentów uczestniczących w zajęciach z chemii, co sugeruje wpływ płynności matematycznej na ich sukces w tym kursie [25]. Podkreślili również znaczenie podstawowych umiejętności matematycznych dla zrozumienia kluczowych pojęć chemicznych. Oceny z matematyki są uważane za wskaźnik przewidujący wyniki studentów z chemii i są stosowane do identyfikacji kluczowych wzorców myślenia i strategii uczenia się, które przyczyniają się do sukcesów uczniów. Ich sukces w kursach chemii, zarówno na poziomie podstawowym, jak i zaawansowanym, zależy od umiejętności zastosowania wcześniej zdobytych umiejętności matematycznych do wykonywania obliczeń i rozwiązywania problemów [26]. Studenci, którzy osiągają słabe wyniki z matematyki, często napotykają trudności na zajęciach z chemii ze względu na zaawansowane wymagania matematyczne, co wskazuje na potrzebę skupienia się na poprawie ich automatyzmu matematycznego [27]. Za pomocą analizy statystycznej możliwe jest wygenerowanie modeli regresji liniowej i logistycznej do przewidywania sukcesu uczniów [28].

Aby poprawić płynność matematyczną, można zastosować różne strategie, które skupiają się na ograniczeniu zależności od kalkulatorów i rozwijaniu podstawowych umiejętności matematycznych. Jedną ze skutecznych metod jest zwiększenie liczby zadań, które wymagają wykonywania obliczeń w pamięci lub pisemnie. Takie podejście może pomóc uczniom w pogłębieniu zrozumienia koncepcji matematycznych bez użycia kalkulatora. Regularne praktykowanie tego rodzaju zadań nie tylko poprawia płynność matematyczną, ale również wspiera rozwój mentalnych powiązań, co może przyczynić się do bardziej kreatywnego i efektywnego rozwiązywania problemów [24].

Przeprowadzono badanie mające na celu ocenę zdolności obliczeniowych uczniów w kontekście zrozumienia koncepcji „ilości substancji” w nauczaniu chemii. Mimo że większość uczniów wykazywała biegłość w podstawowych zadaniach, tylko nieliczni osiągnęli zaawansowany poziom umiejętności. Badanie to ujawniło również zróżnicowany poziom biegłości w rozwiązywaniu różnych typów problemów, co ma istotne konsekwencje dla metody nauczania „ilości substancji” w edukacji chemicznej [29].

Biegłość matematyczna podczas egzaminu maturalnego z chemii w 2023 roku

Z informatora o egzaminie maturalnym z chemii od roku szkolnego 2022/2023² (dalej: informator) możemy wyczytać, że „egzamin maturalny z chemii sprawdza, w jakim stopniu absolwent [...] spełnia wymagania z zakresu rozszerzonego określone w podstawie programowej kształcenia ogólnego dla szkoły ponadpodstawowej”. To oznacza, że nauczyciele powinni szukać wszelkich odpowiedzi w tym zakresie w rozporządzeniu Ministra Edukacji Narodowej w sprawie podstawy

² Informator o egzaminie maturalnym z chemii od roku szkolnego 2022/2023 (aktualizacja z 28 sierpnia 2023 r.), Centralna Komisja Egzaminacyjna, Warszawa 2021; https://cke.gov.pl/images/_EGZAMIN_MATURALNY_OD_2023/Informatory/Informator_EM2023_chemia.pdf

programowej ogólnego³ (dalej: podstawa programowa). Sprawdzanie zdolności rozwiązywania zadań rachunkowych to w głównej mierze drugie wymaganie ogólne: „II. Rozumowanie i zastosowanie nabytej wiedzy do rozwiązywania problemów, [...] 5) wykorzystuje wiedzę i dostępne informacje do rozwiązywania problemów chemicznych z zastosowaniem metody naukowej; [...] 7) wykonuje obliczenia dotyczące praw chemicznych”. Z tego powodu nauczyciele powinni na lekcji ćwiczyć rozwiązywanie różnych typów problemów rachunkowych.

W kolejnych akapitach informatora znajduje się zapis: „W zadaniach egzaminacyjnych szczególnie nacisk zostanie położony na sprawdzanie umiejętności związanych z [...] zastosowaniem narzędzi matematycznych do opisu i analizy zjawisk i procesów”⁴. To powinno skłaniać maturzystów do głębszego rozwijania umiejętności matematycznych takich jak działania na logarytmach (zadanie 8. – formuła 2023), rozwiązywania układów równań (zadanie 12. – formuła 2023) czy równań kwadratowych potrzebnych do interpretowania oprócz zjawisk również wielkości fizykochemicznych. Przykłady rozwiązań zadań rachunkowych (równowagi, kinetyka chemiczna oraz bilansowanie równań reakcji), w których zastosowano obliczenia z użyciem kalkulatorów naukowych, podano w artykułach [4], [30], [31].

Czasownikiem operacyjnym w zadaniu rachunkowym jest „oblicz” (lub ile gramów, lub moli, lub dm^3 itp.) lub wykonaj obliczenia. Znaczenie tego słowa można znaleźć w słowniku języka polskiego: „operacje wykonywane na liczbach w celu określenia wielkości lub wartości czegoś”⁵. Oznacza to, że „[...] zdający powinien przedstawić – w sposób zrozumiały dla osoby czytającej rozwiązanie – tok rozumowania prowadzący od wielkości podanych w treści zadania do wielkości szukanej wskazanej w poleceniu”⁶. I dalej: „wynika z tego, że w zapisie rozwiązania – niezależnie od zastosowanej metody – powinny zostać jednoznacznie określone dane wykorzystane w obliczeniach oraz przedstawione zależności między poszczególnymi wielkościami”⁷. W opisie oceniania rozwiązań zadań rachunkowych znajduje się bezpośrednie odniesienie do podstawy programowej: „Od zdającego oczekuje się stosowania podczas obliczeń działań i funkcji matematycznych poznanych na lekcjach matematyki zakres podstawowy”⁸.

Autorzy informatora oczekują, że wynik rozwiązania problemu rachunkowego przez zdającego obejmujący numeryczną wartość poszukiwanej wielkości, wyrażoną w odpowiedniej jednostce, jeśli jest to wielkość wymieniona, oraz z wymaganą precyzją (jeśli została określona w treści zadania), powinien być wyraźnie oznaczony w treści rozwiązania, stanowiąc wynik końcowy, na przykład poprzez sformułowanie odpowiedzi lub podkreślenie wartości poszukiwanej wielkości.

³ Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 30 stycznia 2018 r. (Dz. U. z 2018 poz. 467) w sprawie podstawy programowej kształcenia ogólnego dla LO, technikum oraz branżowej szkoły II stopnia.

⁴ Informator..., dz. cyt.

⁵ <https://sjp.pwn.pl/slowniki/obliczeniowo.html>

⁶ Informator..., dz. cyt.

⁷ Informator..., dz. cyt.

⁸ Informator..., dz. cyt.

Z zasad oceniania wynika, że w przypadku zadań, które wymagają przedstawienia wypowiedzi (a także zadań rachunkowych, które należy traktować w ten sposób – zgodnie z intencją autora tekstu), ocena zaproponowanego rozwiązania zadania rachunkowego obejmuje nie tylko poprawność merytoryczną, ale także spójność, logiczność i przejrzystość toku myślowego⁹. Przyjęto, że rozwiązanie zadania oparte na nieprawidłowym merytorycznie założeniu jest całkowicie błędne i przyznaje się za takie rozwiązanie 0 pkt. W sprawozdaniu CKE znajduje się przykład takiej błędnej sytuacji (zadanie 20. – formuła 2023; zadanie 24. – formuła 2015)¹⁰.

Sformułowanie odpowiedzi w sposób niejasny lub częściowo niezrozumiały skutkuje utratą punktów (przykład 14 zamieszczony w sprawozdaniu CKE)¹¹.

Pozytywna ocena poprawności przeprowadzenia obliczeń oraz uzyskanego wyniku występuje wyłącznie w przypadku zastosowania właściwej metody rozwiązania. „Oznacza to, że punkty przyznawane za pokazaną metodę zdający uzyskuje tylko za taką odpowiedź, na podstawie której można ocenić poprawność jego toku rozumowania”¹². Brak takiego logicznego ciągu sekwencji skutkuje nieprzyznaniem punktów nawet wtedy, gdy zdający zapisał poprawne wyniki pośrednie wraz z wynikiem końcowym.

Tok rozumowania przedstawiony w przykładach 1, 2 oraz 31 zamieszczonych w sprawozdaniu CKE¹³, które nie doprowadziło do uzyskania ostatecznego wyniku, kwalifikuje się jako błąd metody (zdający nie powiązał wszystkich danych z szukanymi). W 2023 roku wprowadzono modyfikację zasad oceny dwupunktowych zadań rachunkowych. W rozwiązaniach tych zadań zidentyfikowano etap rozwiązania, w którym zdający przewyżęzali zasadniczą trudność związaną z postawionym problemem rachunkowym. Przy prawidłowym przeprowadzeniu obliczeń, zdający mogli otrzymać jeden punkt za prawidłowe rozwiązanie tego etapu (tab. 1).

⁹ Centralna Komisja Egzaminacyjna, Zasady oceniania rozwiązań zadań; Egzamin: Egzamin maturalny; Przedmiot: Chemia; Poziom: Poziom rozszerzony; Formy arkusza MCHP-R0-100; https://cke.gov.pl/images/_EGZAMIN_MATURALNY_OD_2023/Arkusze_egzaminacyjne/2023/Chemia/MCHP-R0-100-2305-zasady.pdf

¹⁰ Centralna Komisja Egzaminacyjna, Sprawozdanie za rok 2023; Egzamin: Egzamin maturalny; Przedmiot: Chemia; Poziom: Poziom rozszerzony; https://cke.gov.pl/images/_EGZAMIN_MATURALNY_OD_2023/Informacje_o_wynikach/2023/sprawozdanie/MCHP_chemia_sprawozdanie_2023.pdf

¹¹ Sprawozdanie..., dz. cyt.

¹² Informator..., dz. cyt.

¹³ Sprawozdanie..., dz. cyt.

Tabela 1. Zasadnicze trudności postawione w dwupunktowych zadaniach rachunkowych podczas egzaminu z chemii w 2023 roku

Formuła	Numer zadania	Zasadnicza trudność (1 pkt) zastosowanie poprawnej metody oraz
2023	6	poprawne obliczenie wartości stężenia końcowego substancji A i substancji B
	12	poprawne obliczenie wartości masy albo liczby moli węglanu wapnia w mieszaninie
	15	napisanie niepoprawnego wzoru lub brak wzoru hydratu
	28	poprawne obliczenie wartości stężeń równowagowych wszystkich reagentów
2015	14	poprawne obliczenie wartości stężenia jonów OH

„Wynik liczbowy wielkości mianowanej podany bez jednostki lub z niepoprawnym jej zapisem jest traktowany jako wynik błędny” (błąd rachunkowy). Przykładowe rozwiązanie zadania rachunkowego (gdzie zdający miał obliczyć SEM ogniwa o podanym schemacie) ilustrujące tę zasadę oceniania przedstawiono w sprawozdaniu CKE¹⁴ (przykład 36). Problem z przekształcaniem jednostki pojawił się w zadaniu 6. w formule 2023, gdzie zdający miał obliczyć szybkość reakcji w określonym w warunkach zadania (pojawiały się zapisy wyniku końcowego z niepoprawną jednostką, np.: $\text{mol}\cdot\text{dm}^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$, $\text{mol}\cdot\text{dm}^{-4}\cdot\text{s}^{-1}$).

Uznaje się, że użycie nieprawidłowych wartości liczbowych dla wielkości nieuwzględnionych w informacji wprowadzającej, treści zadania, poleceniu lub tablicach, które nie są wynikiem obliczeń, kwalifikuje się jako błąd metody.

Natomiast „Zastosowanie błędnych wartości liczbowych wielkości podanych w informacji wprowadzającej, treści zadania, poleceniu lub tablicach należy traktować jako błąd rachunkowy”¹⁵. Zasada ta obowiązuje, „o ile nie zmienia to istoty analizowanego problemu, a zwłaszcza nie powoduje jego uproszczenia”¹⁶. Należy to interpretować tak, że „[z]a rozwiązanie, w którym popełniono błędy obliczeniowe, które w konsekwencji prowadzą do uproszczenia analizowanego problemu”¹⁷, zdający uzyskuje 0 punktów”¹⁸.

Kalkulator podczas egzaminu maturalnego z chemii w 2023 roku

Z zasady zastosowania błędnych wartości niepodanych w treści zadania wynika kolejna, dotycząca zastosowania w rozwiązaniu zadania rachunkowego błędnych wartości mas molowych. Można sobie wyobrazić sytuację (dość częstą podczas egzaminu), że zdający oblicza wartość masy molowej, jedynie wciskając odpowiednie klawisze na kalkulatorze bez zapisów tych działań w miejscu przeznaczonym na odpowiedź (liczy niejako w pamięci, chcąc zaoszczędzić

¹⁴ Sprawozdanie..., dz. cyt.

¹⁵ Informator..., dz. cyt.

¹⁶ Informator..., dz. cyt.

¹⁷ Podczas egzaminu w 2023 roku nie było takiego zadania. Zadanie takie zastosowano w egzaminie w 2022 roku (zadanie 15.), w którym zdający popełniali błąd rachunkowy prowadzący do uniknięcia zastosowania w obliczeniach zależności pomiędzy pH a pOH.

¹⁸ Informator..., dz. cyt.

czas podczas egzaminu [9]). Jeśli omyłkowo wciśnie nieodpowiedni klawisz, to oczywiście otrzyma błędny wynik. Jeśli w rozwiązaniu zdającego (nawet w obliczeniach pośrednich) pojawi się jedynie spisana wartość z wyświetlacza kalkulatora i będzie ona błędna, to egzaminator ma obowiązek potraktować taki sposób prezentacji toku myślowego zdającego jako błąd metody. Podstawą takiej decyzji jest ogólna zasada: „Sformułowanie odpowiedzi niejasnej lub częściowo niezrozumiałej skutkuje utratą punktu [...]”¹⁹ oraz „rozwiązanie zadania na podstawie błędnego merytorycznie założenia uznaje się w całości za niepoprawne”²⁰ (Zasady oceniania rozwiązań zadań. Egzamin maturalny Chemia. Poziom...). Brakuje w takim sposobie prezentacji toku rozumowania spójności, logiczności i przejrzystości (patrz: Zasady oceniania)²¹.

Decyzja zdającego o sposobie przedstawienia jednego z etapów rozwiązania zadania rachunkowego (spisanie z kalkulatora błędnej wartości masy molowej) sprawia, że egzaminator nie jest w stanie prześledzić procesu myślowego zdającego. Pozostawia to osobę oceniającą rozwiązanie w sferze domysłów: błąd w stechiometrii wzoru, błędne odczytanie danych z układu okresowego pierwiastków czy tylko błędne wykorzystanie przyboru, jakim jest kalkulator. Aby uniknąć takiego błędu, zdający może zapisać swoje działania matematyczne (wydaje się, że traci czas na egzaminie), aby egzaminator mógł jednoznacznie ocenić sposób obliczenia, zgodny ze stechiometrią wzoru, jednoznacznie wskazać na błąd rachunkowy. Zdający podejmuje pewne ryzyko, wybierając odpowiednią strategię prezentacji swojego toku rozumowania. Jest to pewna umiejętność, która powinna być kształtowana podczas lekcji z chemii zgodnie z pierwszym wymaganiami ogólnym podstawy programowej: „I. Pozyskiwanie, przetwarzanie i tworzenie informacji. Uczeń 1.) pozyskuje i przetwarza informacje z różnorodnych źródeł [...] 2.) ocenia wiarygodność uzyskanych danych [...]”²².

Podobnie można rozważać różne strategie rozwiązywania równań liniowych, kwadratowych czy układów równań, które pojawiają się w rozwiązaniach zadań rachunkowych stosowanych na egzaminie maturalnym z chemii. Kalkulatory, chociaż nie są w stanie zastąpić umiejętności wykonywania określonych działań matematycznych, znacząco przyczyniają się do usprawnienia całego procesu obliczeniowego. Szczególnie korzystne staje się ich zastosowanie podczas realizacji zaawansowanych obliczeń, które wymagają wykonania wielu złożonych operacji. Wydaje się, że te działania zajmują dość znaczną część czasu przeznaczanego na egzamin. Zgodnie z komunikatem dyrektora Centralnej Komisji Egzaminacyjnej z 17 sierpnia 2023 r. w sprawie materiałów i przyborów pomocniczych²³, z których mogą korzystać zdający na

¹⁹ Informator..., dz. cyt.

²⁰ Informator..., dz. cyt.

²¹ Zasady oceniania..., dz. cyt.

²² Rozporządzenie..., dz. cyt.

²³ Komunikat dyrektora Centralnej Komisji Egzaminacyjnej z 17 sierpnia 2023 r. w sprawie materiałów i przyborów pomocniczych, z których mogą korzystać zdający na egzaminie ósmoklasisty i egzaminie maturalnym w 2024 roku, Centralna Komisja Egzaminacyjna, 17 sierpnia 2023 r.; https://cke.gov.pl/images/_EGZAMIN_MATURALNY_OD_2023/komunikaty/2024/20230817%20E8_EM_24%20Komunikat%20o%20przyborach%20FIN.pdf

egzaminie ósmoklasisty i egzaminie maturalnym w 2024 roku, dopuszcza się użycie kalkulatora naukowego. Ten sam komunikat charakteryzuje kalkulator prosty („umożliwia wykonywanie tylko dodawania, odejmowania, mnożenia, dzielenia, ewentualnie obliczanie procentów lub pierwiastków kwadratowych z liczb”²⁴) oraz naukowy („jest wyłącznie przyborem pomocniczym umożliwiającym wykonywanie obliczeń matematycznych”²⁵). Kalkulator naukowy zgodnie z tym komunikatem jest „traktowany jako przybór pomocniczy, a nie materiał pomocniczy i nie może on zawierać ani być nośnikiem jakichkolwiek informacji/materiałów fizycznych lub chemicznych, np. wzorów, twierdzeń, praw, przykładowych zadań, stanowiących dodatkową pomoc – ponad możliwość wykonania obliczeń matematycznych”²⁶. Musi umożliwiać obliczanie (oprócz wykonywania działań wymienionych dla kalkulatora prostego) wartości funkcji logarytmicznych, trygonometrycznych (i odwrotnych do nich), potęg o dowolnym wykładniku rzeczywistym.

Dodatkowym warunkiem stosowania kalkulatora jest, że nie może on być wyposażony zarówno w technologie umożliwiające łączenie się z innym urządzeniem lub z Internetem (np. Wi-Fi, Bluetooth), odtwarzanie i rejestrowanie obrazu i dźwięku, ani posiadać funkcji programowania. „Nie może on mieć możliwości wcześniejszego (tzn. przed egzaminem) wprowadzenia kodu (lub informacji) umożliwiającego wykonanie/odtworzenie określonych zadań, w tym wprowadzenia wzorów, twierdzeń, przykładowych zadań z rozwiązaniami i jakichkolwiek innych informacji stanowiących dodatkową pomoc czy dodatkowy materiał pomocniczy”²⁷. Na rynku dostępne są różne modele takich kalkulatorów w różnym przedziale cenowym [3]. Z powyższego komunikatu wynika, że takie kalkulatory może zapewnić szkoła (koszty zakupu można pokryć ze środków samej szkoły lub skorzystać z programów wyrównujących szanse uczniów w procesie edukacji), a ich obsługi można nauczyć na lekcjach chemii. Korzystanie z nich to również pewna umiejętność, która także zajmuje pewien czas podczas egzaminu i jest zgodna z pierwszym wymaganiem ogólnym podstawy programowej: „I. Pozyskiwanie, przetwarzanie i tworzenie informacji. Uczeń 1.) pozyskuje i przetwarza informacje z różnorodnych źródeł z wykorzystaniem technologii informacyjno-komunikacyjnych [...]”²⁸.

Z informatora wynika, że umiejętność rozwiązania układu równań lub równania kwadratowego nie jest sprawdzana na egzaminie. Jak już wspomniano, zdający stosuje określoną strategię. Jeżeli notuje matematyczne operacje i popełni błąd rachunkowy, to nie ponosi pełnej utraty punktów. W przypadku gdy jednak przedstawia układ równań, a następnie przepisuje wyniki z wyświetlacza kalkulatora, które nie są poprawne, egzaminator nie jest w stanie prześledzić toku rozumowania i zgodnie z wcześniej opisanymi zasadami przyznaje 0 punktów.

²⁴ Komunikat..., dz. cyt.

²⁵ Komunikat..., dz. cyt.

²⁶ Komunikat..., dz. cyt.

²⁷ Komunikat..., dz. cyt.

²⁸ Rozporządzenie..., dz. cyt.

Końcowy wynik numeryczny dla danej wielkości, który jest przedmiotem zadania, powinien być przedstawiony przez zdającego w jednostce zgodnej z wytycznymi zawartymi w poleceniu. W sytuacji gdy konstruktorzy zadania nie sprecyzowali warunków dotyczących jednostki, zaleca się korzystanie z jednostek układu SI lub jednostek powszechnie stosowanych w polskiej literaturze naukowej, np. stężenie molowe roztworu wyraża się w jednostce $\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, a masę molową w jednostce g mol^{-1} .

W polskiej literaturze naukowej powszechnie stosuje się zwyczaj podawania wartości wielkości fizycznych z trzema cyframi znaczącymi. W notacji wykładniczej oznacza to, że wielkości te są zapisywane jako $j,ds\cdot 10^{-n}$, gdzie j reprezentuje wartość liczbową, d to części dziesiętne, s to części setne, a n jest wykładnikiem potęgi dziesiętnej. Przykładowo, stała Avogadra $N_A = 6,02\cdot 10^{23}$ cząsteczek $\cdot\text{mol}^{-1}$, a objętość molowa gazu w warunkach normalnych $V_{\text{mol}} = 22,4$ $\text{dm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$, co jest równoważne $2,24\cdot 10^1$ $\text{dm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$. W przypadku braku precyzyjnych wytycznych w poleceniu wartości pośrednie nie powinny być zaokrąglane bardziej niż do trzech cyfr znaczących. Natomiast ostateczny wynik powinien być prezentowany z trzema cyframi znaczącymi, co pozwala zachować dokładność przy jednoczesnym uniknięciu nadmiernego przybliżania.

Podsumowanie

Kalkulatory są nieocenione w rozwiązywaniu skomplikowanych problemów chemicznych, pomagają uczniom z trudnościami matematycznymi i umożliwiają głębsze zrozumienie pojęć chemicznych. Mimo zaawansowanej technologii kalkulatory nie zastąpią umiejętności matematycznych. Użycie ich może znacząco uprościć sam proces rozwiązania problemu postawionego w zadaniu obliczeniowym, ale ich nadmierne używanie może prowadzić do zaniku umiejętności szacowania i rozumienia matematyki w problemach chemicznych. Z tego powodu, przygotowując uczniów do matury, należy stosować ćwiczenia różnorodnych problemów rachunkowych oraz wspomaganie w rozwijaniu umiejętności matematycznych niezbędnych do zrozumienia i interpretacji zjawisk chemicznych.

Wykorzystanie kalkulatorów w edukacji chemicznej wymaga równowagi między ich zaletami a potencjalnymi ograniczeniami, a rola nauczycieli w utrzymaniu tej równowagi jest nie do przecenienia.

Egzamin maturalny z chemii sprawdza w głównej mierze umiejętności określone w podstawie programowej, a treści merytoryczne jedynie służą temu celowi. Nie są celem samym w sobie. Tylko maturzysta, który jest wyposażony w umiejętności: szybkiego uczenia się (rozumiane jako pierwsze wymaganie ogólne z podstawy programowej), łączenia faktów, tłumaczenia otaczającego świata (rozumiane jako drugie wymaganie ogólne), projektowania pewnych rozwiązań (trzecie wymaganie ogólne), jest kandydatem dobrze przygotowanym do podjęcia wszelkiego rodzaju studiów (nie tylko chemicznych).

Bibliografia

- [1] S. Karp, "LXXXV. Calculators for the chemist [part one]," *J Chem Educ*, vol. 52, no. 7, Jul. 1975, doi: 10.1021/ed052pA346.
- [2] C. K. Whitney, *Algebraic chemistry: applications and origins*.
- [3] J. Garst, "Grade analysis with a programmable pocket electronic calculator," *J Chem Educ*, vol. 54, no. 2, Feb. 1977, doi: 10.1021/ed054p114.
- [4] M.-H. Kim, S.-Y. Ly, and T.-K. Hong, "Comparisons and Demonstrations of Scientific Calculators," *J Chem Educ*, vol. 77, no. 10, Oct. 2000, doi: 10.1021/ed077p1367.
- [5] D. K. Holdsworth, "Pocket Calculators in Chemical Education," *Education in Chemistry*, vol. 17, no. 6, pp. 178–79, Nov. 1980, Accessed: Apr. 09, 2024. [Online]. Available: <https://eric.ed.gov/?id=EJ237386>
- [6] D. Holdsworth, "Applications of Programmable Calculators in Chemistry Classes," *Australian Science Teachers Journal*, 1977.
- [7] K. F. Lim, "Using Graphics Calculators and Spreadsheets in Chemistry: Solving Equilibrium Problems," *J Chem Educ*, vol. 85, no. 10, p. 1347, Oct. 2008, doi: 10.1021/ed085p1347.
- [8] W. Menezes, "Problem Solving in Physical Chemistry with the TI-89 Calculator," *J Chem Educ*, vol. 79, no. 12, Dec. 2002, doi: 10.1021/ed079p1465.
- [9] M. Morgan, "Calculating Units with the HP 48G Calculator," *J Chem Educ*, vol. 76, no. 5, May 1999, doi: 10.1021/ed076p631.
- [10] K. Theis, "PQcalc, an Online Calculator for Science Learners," *J Chem Educ*, vol. 92, no. 11, pp. 1953–1955, Nov. 2015, doi: 10.1021/acs.jchemed.5b00366.
- [11] M. Gold, "Calculators in freshman chemistry - An alternative view," *J Chem Educ*, vol. 56, no. 8, Aug. 1979, doi: 10.1021/ed056p526.1.
- [12] R. Fietkau, "Logarithms, the Advent of Calculators, and Chemistry," *J Chem Educ*, vol. 71, no. 11, Nov. 1994, doi: 10.1021/ed071p932.
- [13] L. S. Penn, "ConfChem Conference on Mathematics in Undergraduate Chemistry Instruction: Estimation - An Empowering Skill for Students in Chemistry and Chemical Engineering," *J Chem Educ*, vol. 95, no. 8, pp. 1426–1427, Aug. 2018, doi: 10.1021/ACS.JCHEMED.8B00363/SUPPL_FILE/ED8B00363_SI_001.PDF.
- [14] D. G. Leopold, "ConfChem Conference on Mathematics in Undergraduate Chemistry Instruction: Strengthening Students' Math Fluencies through Calculator-Free Chemistry Calculations," *J Chem Educ*, vol. 95, no. 8, pp. 1432–1433, Aug. 2018, doi: 10.1021/ACS.JCHEMED.8B00113/SUPPL_FILE/ED8B00113_SI_012.DOCX.
- [15] J. S. Ranga, "ConfChem Conference on Mathematics in Undergraduate Chemistry Instruction: Impact of Quick Review of Math Concepts," *J Chem Educ*, vol. 95, no. 8, pp. 1430–1431, Aug. 2018, doi: 10.1021/ACS.JCHEMED.8B00070/SUPPL_FILE/ED8B00070_SI_003.DOCX.
- [16] J. B. Sosebee and L. M. Walsh, "Pocket Calculators and Test Scores in Introductory Chemistry," *J Coll Sci Teach*, vol. 4, no. 5, pp. 324–324, 1975, [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/42987942>
- [17] D. M. Roberts, "The Impact of Electronic Calculators on Educational Performance," *Rev Educ Res*, vol. 50, no. 1, pp. 71–98, Mar. 1980, doi: 10.3102/00346543050001071.
- [18] K. F. LIM, "Use of Spreadsheet Simulations in University Chemistry Education," *Journal of Computer Chemistry, Japan*, vol. 5, no. 3, pp. 139–146, 2006, doi: 10.2477/JCCJ.5.139.
- [19] G. Karlström *et al.*, "MOLCAS: a program package for computational chemistry," *Comput Mater Sci*, vol. 28, no. 2, pp. 222–239, Oct. 2003, doi: 10.1016/S0927-0256(03)00109-5.

- [20] P. S. Matsumoto, "Exploring interactive and dynamic simulations using a computer algebra system in an advanced placement chemistry course," *J Chem Educ*, vol. 91, no. 9, pp. 1326–1333, Sep. 2014, doi: 10.1021/ED4008233/SUPPL_FILE/ED4008233_SI_002.DOCX.
- [21] N. J. Pienta, H. H. Thorp, R. M. Panoff, R. R. Gotwals, and H. P. Hirst, "A Web-Based, Calculator-Skills Tutorial and Self-Test for General Chemistry Students," *The Chemical Educator* 2001 6:6, vol. 6, no. 6, pp. 365–369, Dec. 2001, doi: 10.1007/S00897010514A.
- [22] J. Gaona, S. S. López, and E. Montoya-Delgadillo, "Prospective mathematics teachers learning complex numbers using technology," *Int J Math Educ Sci Technol*, Dec. 2022, doi: 10.1080/0020739X.2022.2133021.
- [23] M. Fujimoto, "An Implementation Method of a CAS with a Handwriting Interface on Tablet Devices," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 8592 LNCS, Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 545–548. doi: 10.1007/978-3-662-44199-2_82.
- [24] J. Cohen *et al.*, "Encouraging Meaningful Quantitative Problem Solving," *J Chem Educ*, vol. 77, no. 9, pp. 1166–1173, 2000, doi: 10.1021/ED077P1166.
- [25] D. Geller Leopold and B. Edgar, "Degree of Mathematics Fluency and Success in Second-Semester Introductory Chemistry," *J Chem Educ*, vol. 85, no. 5, May 2008, doi: 10.1021/ed085p724.
- [26] J. L. Muzyka, E. A. Nelson, W. C. Kilner, R. Belford, and R. Spinney, "ConfChem Conference on Mathematics in Undergraduate Chemistry Instruction: Introduction to the Fall 2017 ConfChem," *J Chem Educ*, vol. 95, no. 8, pp. 1423–1425, Aug. 2018, doi: 10.1021/ACS.JCHEMED.8B00077.
- [27] J. D. P. Albaladejo *et al.*, "ConfChem Conference on Mathematics in Undergraduate Chemistry Instruction: MUST-Know Pilot Study - Math Preparation Study from Texas," *J Chem Educ*, vol. 95, no. 8, pp. 1428–1429, Aug. 2018, doi: 10.1021/ACS.JCHEMED.8B00096.
- [28] W. K. Willis, V. M. Williamson, E. Chuu, and A. R. Dabney, "The Relationship Between a Student's Success in First-Semester General Chemistry and Their Mathematics Fluency, Profile, and Performance on Common Questions," *J Sci Educ Technol*, vol. 31, no. 1, Feb. 2022, doi: 10.1007/S10956-021-09927-Y.
- [29] P. Tian, Y. Fan, D. Sun, and Y. Li, "Evaluating students' computation skills in learning amount of substance based on SOLO taxonomy in secondary schools," *Int J Sci Educ*, 2024, doi: 10.1080/09500693.2023.2291691.
- [30] J. Kennedy, "Balancing chemical equations with a calculator," *J Chem Educ*, vol. 59, no. 6, Jun. 1982, doi: 10.1021/ed059p523.
- [31] R. A. Alberty, "Balancing complex chemical equations using a hand-held calculator," *J Chem Educ*, vol. 60, no. 2, pp. 102–103, 1983, doi: 10.1021/ED060P102.