

Rozumowanie w naukach przyrodniczych – założenia teoretyczne (*science framework*)¹

Umiejętności uczniów w zakresie nauk przyrodniczych mierzone w badaniu PISA, określane zbiorczo jako *science literacy*, to nie tyle opanowanie wiadomości z zakresu biologii, chemii, fizyki i geografii, ile przede wszystkim rozumowanie naukowe i umiejętność zastosowania wiedzy przyrodniczej do rozwiązywania zadań, przedstawionych w różnych, a nie tylko szkolnych, kontekstach. To zarówno wiedza naukowa, jak i wiedza o nauce – o drodze dochodzenia do prawdy naukowej. Kluczowym elementem jest metoda naukowa: stawianie pytań badawczych i hipotez, a następnie sprawdzanie tych hipotez za pomocą obserwacji i doświadczeń. Hipotezę uznajemy za potwierdzoną, jeśli mimo usilnych starań nie udało nam się jej empirycznie odrzucić. Niezwykle ważny jest także krytycyzm i samokrytycyzm. Pozwala on na odrzucenie wyników błędnie przeprowadzonych doświadczeń i obserwacji, powstrzymuje przed formułowaniem pochopnych lub nieuprawnionych wniosków, pozwala zdemaskować oszustwa naukowe oraz odróżnić twierdzenia naukowe od pseudonauki, a tym samym zapewnia nauce wiarygodność.

Powszechna i wysokiej jakości edukacja matematyczno-przyrodnicza jest warunkiem postępu naukowego i technicznego, a tym samym – rozwoju cywilizacyjnego. Błędem byłoby jednak zakładać, że jej celem jest przede wszystkim kształcenie przyszłych kadr naukowych i technicznych. Do wiedzy naukowej odwołujemy się bardzo często w życiu codziennym, np. analizując ulotki leków i kosmetyków oraz dokonując wyborów konsumenckich decydujących o naszym zdrowiu i komforcie życia. W dobie internetu jesteśmy ze wszystkich stron bombardowani informacjami, wśród których wiele jest fałszywych, przekłamanych lub niewiarygodnych. Wiele informacji także – dla korzyści ich autorów – stara się podważać wiarygodność twierdzeń nauki. Ruchy antyszczepionkowe i kwestionowanie medycyny opartej na wiedzy naukowej, negowanie antropogenicznego ocieplania się klimatu, bagatelizowanie stanu środowiska i przyrody czy odrzucanie teorii ewolucji są często podawane w pseudonaukowym sztafażu, aby zwieść mało krytycznych odbiorców. Dlatego niezwykle ważnym celem kształcenia w edukacji przyrodniczej powinno być wyposażenie uczniów w narzędzia krytycznej analizy informacji.

Założenia teoretyczne badania

Pomiaru kompetencji piętnastolatków w zakresie rozumowania naukowego dokonano już w pierwszej edycji badania PISA w 2000 roku, natomiast w latach 2006 i 2015 było ono główną dziedziną pomiaru. Sprawdzone wtedy umiejętności uczniów za pomocą rozbudowanego zestawu zadań, obejmujących różne aspekty wiedzy przyrodniczej oraz różne składowe umiejętności rozumowania i wnioskowania naukowego.

Użyte w badaniu zadania można scharakteryzować pod względem kontekstu, aspektu wiedzy naukowej oraz sprawdzanych umiejętności uczniów (tabela 1).

¹ Na podstawie: OECD (2019) *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*, ISBN 978-92-64-47759-9, <https://doi.org/10.1787/b25e-fab8-en> opracowali Krzysztof Spalik i E. Barbara Ostrowska

Tabela 1. Aspekty pomiaru kompetencji w naukach przyrodniczych

Kontekst	Zagadnienia osobiste, lokalne lub narodowe oraz globalne, zarówno współczesne jak i historyczne, które wymagają rozumienia zagadnień z zakresu nauki i techniki.
Wiedza	Znajomość najważniejszych faktów i pojęć oraz zrozumienie teorii wyjaśniających, które tworzą podstawę wiedzy naukowej. Wiedza ta obejmuje znajomość zjawisk i procesów zachodzących w przyrodzie (<i>content knowledge</i>), znajomość procedur badawczych, np. planowania doświadczeń i obserwacji (<i>procedural knowledge</i>), oraz zrozumienie podstaw wnioskowania naukowego (<i>epistemic knowledge</i>).
Umiejętności	Wyjaśnianie zjawisk przyrodniczych w sposób naukowy, planowanie i ocena poprawności procedur badawczych, interpretacja danych i dowodów naukowych.

Kontekst zadań

Konteksty zadań przedstawiono w tabeli 2. Pokazuje ona, że w badaniu PISA wiedza nie służy rozwiązywaniu problemów typowo szkolnych oraz w kontekście szkolnego podziału na przedmioty, ale dotyczy bardzo istotnych zagadnień – ważnych nie tylko z osobistego punktu widzenia, ale także dla lokalnej społeczności oraz w wymiarze globalnym. Badanie PISA nie sprawdza zatem wiedzy szkolnej, ale umiejętność jej wykorzystania w życiu codziennym, zarówno pod kątem wyjaśniania otaczającego nas świata, jak i dokonywania osobistych wyborów.

Tabela 2. Konteksty zadań w badaniu rozumowania w naukach przyrodniczych PISA 2018 i 2022

Zagadnienia	Kontekst		
	osobisty	lokalny/narodowy	globalny
Zdrowie i choroby	Profilaktyka zdrowia, wypadki, odżywianie się	Zapobieganie rozprzestrzenianiu się chorób, wybór żywności, zdrowie publiczne	Epidemie chorób zakaźnych
Zasoby naturalne	Osobiste zużycie materiałów i energii	Potrzeby populacji ludzkich, jakość życia, bezpieczeństwo, produkcja i dystrybucja żywności, zaopatrzenie w energię	Zasoby odnawialne i nieodnawialne, wzrost ludności, zrównoważone wykorzystanie gatunków organizmów
Jakość środowiska	Działania korzystne dla środowiska, wykorzystanie i usuwanie materiałów i urządzeń	Rozmieszczenie ludności, usuwanie odpadów, wpływ różnych działań na środowisko naturalne	Różnorodność biologiczna, zrównoważone wykorzystywanie środowiska, ograniczenie zanieczyszczeń, produkcja/utrata biomasy, erozja gleby
Zagrożenia	Ocena ryzyka związanego z trybem życia	Nagłe zmiany (np. trzęsienia ziemi, gwałtowne zjawiska pogodowe), powolne, stopniowe zmiany (np. erozja brzegowa, sedymentacja), ocena ryzyka	Zmiany klimatyczne, oddziaływanie współczesnej komunikacji
Nowe wyzwania nauki i techniki	Naukowe aspekty hobby, sportu, muzyki i wykorzystywania urządzeń technicznych	Nowe materiały, urządzenia i procesy, modyfikacje genetyczne, technologie medyczne, transport	Wymieranie gatunków, badania kosmosu, pochodzenie i budowa Wszechświata

Wiedza naukowa

Poniżej opisano trzy aspekty wiedzy naukowej wymaganej do rozwiązania zadań.

- Wiedza o **treściach nauki** (*content knowledge*) to znajomość faktów, pojęć i teorii naukowych wyjaśniających złożoność przyrody i przebieg procesów naturalnych (tabela 3). Do tej kategorii należy większość szkolnych treści nauczania przedmiotów przyrodniczych – biologii, chemii, fizyki i geografii. Wybrano zagadnienia, które:
 - odnoszą się do sytuacji z codziennego życia lub rzeczywistych zdarzeń;
 - uwzględniają ważne, nieprzemijające pojęcia naukowe i teorie wyjaśniające;
 - są odpowiednie dla poziomu rozwoju piętnastolatka.

Tabela 3. Dziedziny wiedzy o treściach nauki

Układy nieożywione	<ul style="list-style-type: none">■ Struktura materii (np. model cząsteczki, wiązania)■ Właściwości materii (np. zmiany skupienia, przewodnictwo cieplne i elektryczne)■ Zmiany chemiczne w obrębie materii (np. reakcje, przekazywanie energii, kwasy/zasady)■ Ruchy i siły (np. prędkość, tarcie)■ Energia i jej przekształcenia (np. zachowanie, rozproszenie, reakcje chemiczne)■ Interakcje między energią a materią (np. fale świetlne i radiowe, fale dźwiękowe i sejsmiczne)
Układy ożywione	<ul style="list-style-type: none">■ Komórki (np. budowa i funkcje, DNA, rośliny i zwierzęta)■ Budowa organizmu (np. jednokomórkowego czy wielokomórkowego)■ Organizmy ludzkie (np. zdrowie, odżywianie, podsystemy – np. trawienny, oddechowy, krążenia, wydalniczy oraz ich wzajemne relacje – choroby, rozmnażanie)■ Populacje (np. gatunki, ewolucja, różnorodność, zmienność genetyczna)■ Ekosystemy (np. łańcuchy pokarmowe, przepływ materii i energii)■ Biosfera (np. funkcjonowanie ekosystemów, zrównoważony rozwój)
Ziemia i Kosmos	<ul style="list-style-type: none">■ Budowa systemów Ziemi (np. litosfera, atmosfera, hydrosfera)■ Energia w systemach Ziemi (np. źródła energii, klimat globalny)■ Zmiany w obrębie systemów Ziemi (np. płyty tektoniczne, cykle geochemiczne, siły konstruktywne i destruktywne)■ Historia Ziemi (np. skamieliny, pochodzenie i ewolucja)■ Ziemia w Kosmosie (np. grawitacja, Układ Słoneczny)■ Historia i skala Wszechświata (np. rok świetlny, teoria Wielkiego Wybuchu)

- Wiedza o **procedurach badawczych** (*procedural knowledge*) to znajomość podstawowej metodyki badań naukowych, jak planowanie doświadczeń i obserwacji, określanie niepewności pomiaru i znaczenia próby kontrolnej, znajomość sposobów analizy i prezentacji wyników (tabela 4).

Tabela 4. Wiedza o procedurach badawczych

- Pojęcie zmiennych, w tym zmiennych zależnych, niezależnych i kontrolnych
- Pojęcia pomiaru, np. pomiary ilościowe, obserwacje jakościowe, wykorzystanie skali
- Sposoby oceny i minimalizacji niepewności w nauce, takie jak powtarzanie i uśrednianie pomiarów
- Mechanizmy zapewniające powtarzalność pomiarów (zgodność kolejnych pomiarów) oraz ich dokładność (zgodność między zmierzoną wielkością a jej rzeczywistą wartością)
- Sposoby przedstawiania danych za pomocą tabel i wykresów oraz ich właściwe wykorzystanie; kontrola zmiennych i ich rola w projektowaniu eksperymentu
- Wykorzystanie badań randomizowanych w celu uniknięcia błędnych wyników i zidentyfikowania możliwych mechanizmów przyczynowych; wybór odpowiedniej metody dla danego pytania badawczego, np. eksperymentalnej lub terenowej

- Wiedza o **poznaniu naukowym** (*epistemic knowledge*) to zrozumienie logicznych podstaw metody naukowej, w tym stawiania pytań badawczych i hipotez oraz weryfikacji hipotez za pomocą obserwacji i doświadczeń, a także mechanizmów samokontroli nauki dzięki wzajemnej weryfikacji wyników.

Umiejętności

Na kompetencje przyrodnicze mierzone w badaniu złożyły się trzy główne umiejętności, opisane poniżej.

- **Wyjaśnianie zjawisk przyrodniczych w sposób naukowy.** Podając, rozpoznając lub oceniając wyjaśnienia różnorodnych zjawisk z zakresu przyrody i techniki, uczeń potrafi: (1) przywołać z pamięci i zastosować odpowiednią wiedzę naukową, (2) wskazać, wykorzystać lub stworzyć model lub inną reprezentację wyjaśniającą dane zjawisko, (3) formułować i uzasadniać odpowiednie przypuszczenia, (4) stawiać hipotezy, (5) objaśniać potencjalne następstwa wiedzy naukowej dla społeczeństwa.
- **Planowanie i ocena poprawności procedur badawczych.** Opisując i oceniając badania naukowe i proponując sposoby odpowiedzi na pytania badawcze, uczeń potrafi: (1) wskazać problem podejmowany w określonym badaniu naukowym, (2) odróżnić pytania, na które można odpowiedzieć w sposób naukowy, od tych, które nie mają takiego charakteru, (3) podać sposób naukowego poszukiwania odpowiedzi na określone pytanie badawcze, (4) ocenić różne sposoby naukowego poszukiwania odpowiedzi na określone pytanie badawcze, (5) opisać i ocenić, w jaki sposób naukowcy starają się zagwarantować rzetelność danych oraz obiektywizm i uniwersalność wniosków.
- **Interpretacja danych i dowodów naukowych.** Analizując i oceniając dane naukowe, tezy i argumenty, podane w różnej formie, a także wyciągając odpowiednie wnioski, uczeń potrafi: (1) przetworzyć dane naukowe podane w jednej formie w inną formę, (2) analizować i interpretować dane i wyciągać odpowiednie wnioski, (3) wyodrębnić założenia, wskazać dowody i określić wnioskowanie w tekstach dotyczących nauki, (4) odróżnić argumenty bazujące na dowodach i teoriach naukowych od tych opartych na innych podstawach, (5) ocenić wiarygodność naukową tekstów z różnych źródeł (gazet, czasopism, internetu itp.).

Wymagania poznawcze

W założeniach teoretycznych zadania opisano także pod względem wymagań poznawczych (*cognitive demand*). Określają one, jak złożone rozumowanie trzeba przeprowadzić, by rozwiązać zadanie. Wyróżniono trzy poziomy wymagań poznawczych:

- **niski** – rozumowanie jednostopniowe, np. przywołanie z pamięci określonych faktów, twierdzeń lub pojęć, szukanie prostej informacji w tekście, tabeli lub przedstawieniu graficznym;
- **średni** – wykorzystanie wiedzy konceptualnej do opisanie lub wyjaśnienia danego zjawiska, wybór określonej procedury obejmującej co najmniej dwa kroki, porządkowanie i prezentacja danych, interpretacja i wykorzystanie prostych zbiorów danych, schematów i wykresów;
- **wysoki** – analiza złożonych informacji lub danych, synteza i ocena dowodów naukowych, uzasadnianie, wnioskowanie na podstawie różnych źródeł informacji, planowanie działań w celu rozwiązania określonego problemu badawczego.

Należy zwrócić uwagę, że wymagania poznawcze nie są tożsame z trudnością zadania, która jest oszacowana na podstawie jego rozwiązywalności. Zadanie może mieć wysoką trudność i niskie wymagania poznawcze, np. kiedy sprawdzana wiedza jest nieznaną większości uczniów, a od ucznia wymaga się jedynie prostego, jednostopniowego rozumowania, jak chociażby przywołania określonego faktu. Możliwa jest również sytuacja, gdy odpowiedź na pytanie wymaga analizy złożonych informacji, czyli ma wysoki poziom wymagań poznawczych, np. konieczne jest, aby uczeń odnalazł wiele informacji lub danych, ale jednocześnie zadanie nie jest trudne pod względem wymagań w zakresie wiedzy niezbędnej do jego rozwiązania, ponieważ jest ona łatwa do przypomnienia.

Pomiar kompetencji w naukach przyrodniczych

Charakterystyka i struktura testu i zadań wykorzystanych w badaniu

Na test sprawdzający umiejętności rozumowania w naukach przyrodniczych składają się zadania skonstruowane według ściśle określonych schematów. Każde z nich rozpoczyna się wprowadzeniem, zawierającym przedstawienie poruszanego tematu oraz informacje potrzebne do odpowiedzi na pytanie, jak np. tabele, wykresy czy schematy. Wiele zadań utworzonych na potrzeby badania w 2015 roku (pierwsza edycja badania komputerowego) jest interaktywnych i zawiera animacje lub symulacje. Wprowadzenie tego typu zadań ma na celu odwzorowanie złożoności procesów zachodzących w środowisku.

W badaniu użyto 115 zadań. Wszystkie były wykorzystane w badaniu PISA 2015. Większość z nich (76) została specjalnie opracowana na potrzeby komputerowej wersji testu, pozostałe wykorzystano przed 2015 rokiem w tradycyjnych, papierowych zeszytach testowych. Trzydzieści dwa zadania wymagały oceny przez kodera, pozostałe były zadaniami zamkniętymi, kodowanymi automatycznie.

Kwestią o podstawowym znaczeniu jest to, aby test w odpowiednich proporcjach zawierał zadania służące ocenie poszczególnych składowych pomiaru. Poniżej zestawiono zakładane rozkłady punktów pod względem kategorii wiedzy (tabela 5) oraz mierzonych umiejętności (tabela 6).

Tabela 5. Zakładany rozkład punktacji w zależności od kategorii treści nauki oraz wiedzy naukowej w badaniu PISA w zakresie rozumowania w naukach przyrodniczych

Wiedza naukowa	Układy			
	nieożywione	ożywione	Ziemia i Kosmos	razem
Treści nauki	20–24%	20–24%	14–18%	54–66%
Procedury badawcze	7–11%	7–11%	5–9%	19–31%
Poznanie naukowe	4–8%	4–8%	2–6%	10–22%
Razem	36%	36%	28%	100%

Tabela 6. Zakładany rozkład punktacji w podziale na mierzone umiejętności w badaniu PISA w zakresie rozumowania w naukach przyrodniczych

Umiejętności	Udział punktów
Wyjaśnianie zjawisk przyrodniczych w sposób naukowy	40–50%
Planowanie i ocena procedur badawczych	20–30%
Interpretacja danych i dowodów naukowych	30–40%
Razem	100%

Określenie poziomów umiejętności uczniów i trudności zadań

Sposób opracowania (skalowania) wyników przyjęty w badaniu PISA pozwala przedstawić na jednej skali trudność zadania oraz wynik ucznia. Ponieważ w edycji 2015 każde zadanie zostało przeanalizowane pod względem wymagań poznawczych, pozwoliło to wyróżnić i opisać poziomy umiejętności badanych piętnastolatków (tabela 7).

Tabela 7. Opis poziomów umiejętności na skali kompetencji w naukach przyrodniczych

Poziom i dolna granica przedziału	Charakterystyka umiejętności uczniów na podstawie rozwiązanych zadań
<p>Poziom 6 708 pkt</p>	<p>Uczniowie wykorzystują rozległą wiedzę o treściach naukowych, procedurach badawczych i o rozumowaniu naukowym w celu stawiania hipotez wyjaśniających nieznaną im wcześniej zjawiska, zdarzenia i procesy lub do formułowania prognoz. Interpretując dane i dowody naukowe, potrafią odróżnić informacje istotne od nieistotnych oraz odwołują się do wiedzy nieobjętej szkolnym programem nauczania. Są w stanie stwierdzić, które argumenty dotyczą teorii i faktów naukowych, a które bazują na innych rozważaniach. Analizują alternatywne plany badawcze złożonych eksperymentów, obserwacji terenowych i symulacji, potrafią wybrać najlepszy i uzasadnić swój wybór.</p>
<p>Poziom 5 633 pkt</p>	<p>Uczniowie potrafią wykorzystywać abstrakcyjne pojęcia lub idee naukowe, aby wyjaśnić nieznaną sobie wcześniej zjawiska, zdarzenia lub procesy z wieloma zależnościami przyczynowo-skutkowymi. Wykorzystują bardziej wyrafinowaną wiedzę poznawczą, aby porównać alternatywne schematy eksperymentów i uzasadnić ich wybór. Posługują się wiedzą teoretyczną w celu interpretacji informacji oraz przewidzenia wyniku. Potrafią ocenić różne sposoby naukowego podejścia do tego samego problemu badawczego oraz określić ograniczenia związane z interpretacją danych naukowych, w tym źródła i skutki niepewności.</p>
<p>Poziom 4 559 pkt</p>	<p>Uczniowie wykorzystują bardziej złożone lub abstrakcyjne treści naukowe (podane w zadaniu lub przywołane z pamięci) w celu wyjaśniania bardziej złożonych lub mniej znanych zdarzeń i procesów. Potrafią przeprowadzić doświadczenie z dwoma lub więcej niezależnymi zmiennymi, ale w ograniczonym zakresie. Są w stanie uzasadnić plan eksperymentu, odwołując się do elementów wiedzy o procedurach i rozumowaniu naukowym. Interpretują dane pozyskane z umiarkowanie złożonego zbioru danych albo dotyczące mniej znanego kontekstu, wyciągają odpowiednie, ogólne wnioski, przedstawiają uzasadnienie swojego wyboru.</p>
<p>Poziom 3 484 pkt</p>	<p>Uczniowie wskazują lub tworzą wyjaśnienia znanych zjawisk, odwołując się do umiarkowanie złożonej wiedzy faktograficznej. W sytuacjach mniej znanych lub bardziej złożonych potrafią podać wyjaśnienie, jeśli uzyskają odpowiednią odpowiedź lub pomoc. Wykorzystując elementy wiedzy proceduralnej i poznawczej, potrafią przeprowadzić prosty eksperyment. Rozróżniają zagadnienia naukowe od nienaukowych oraz wskazują dane wspierające określoną tezę naukową.</p>
<p>Poziom 2 410 pkt</p>	<p>Odwołując się do podstawowej, codziennej wiedzy faktograficznej i z zakresu procedur badawczych, uczniowie wskazują odpowiednie wyjaśnienie naukowe, interpretują dane oraz określają pytanie badawcze w prostym doświadczeniu. Wykorzystując podstawową, codzienną wiedzę naukową, potrafią wskazać poprawny wniosek wynikający z prostego zbioru danych. Wykazują się podstawową wiedzą poznawczą, wskazując pytania, na które można odpowiedzieć w sposób naukowy.</p>
<p>Poziom 1a 335 pkt</p>	<p>Uczniowie potrafią wykorzystać podstawowe wiadomości z codziennego życia oraz znajomość procedur badawczych do rozpoznania wyjaśnienia prostego zjawiska. Z odpowiednią pomocą podejmują problemy badawcze z nie więcej niż dwoma zmiennymi. Potrafią zidentyfikować proste zależności przyczynowo-skutkowe i korelacje oraz interpretować graficzne przedstawienia danych, które nie stawiają wysokich wymagań poznawczych. Potrafią dobrać najlepsze wyjaśnienie naukowe dla określonych danych w znanym już kontekście osobistym, lokalnym lub globalnym.</p>
<p>Poziom 1b 261 pkt</p>	<p>Uczniowie dysponują podstawową, potoczną wiedzą i wykorzystują ją jedynie do rozpoznania znanych sobie lub prostych zjawisk przyrodniczych. Potrafią dostrzec proste wzorce w danych, znają podstawowe terminy naukowe, przeprowadzają procedury naukowe na podstawie jednoznacznych poleceń.</p>