

Kiedy porażka staje się sukcesem

AGNIESZKA BOROWIECKA • JUSTYNA KAMIŃSKA

Nauczyciele konsultanci
Ośrodek Edukacji Informatycznej
i Zastosowań Komputerów w Warszawie

***Żadna ilość eksperymentów nigdy nie udowodni,
że mam rację, ale pojedynczy eksperyment
może udowodnić, że się mylę.***

Albert Einstein

Ostatnio można zauważyć pewne niepokojące zjawisko, dotyczące praktycznie każdego z nas, w tym także naszych uczniów. Coraz częściej od siebie i innych osób oczekujemy doskonałości. Nawet jeśli stawiane przed nami zadania przekraczają nasze możliwości fizyczne lub umysłowe, to zakładamy, że powinny być wykonane perfekcyjnie, a jakikolwiek błąd jest traktowany jak katastrofa. Prowadzi to często do sytuacji, w której kolejne próby rozwiązania problemów kończą się niepowodzeniem i pogłębiają naszą frustrację. Wygórowane oczekiwania i nieumiejętność radzenia sobie z porażką skutkują pojawianiem się różnorodnych problemów psychicznych i mogą przyczynić się do powstania pokolenia ludzi „uтомnych”, nieodpornych na sytuacje stresowe dnia codziennego.

Jako nauczyciele zazwyczaj skupiamy się na sprawdzaniu poprawności odpowiedzi, co może prowadzić do wzmocnienia u uczniów lęku przed popełnianiem błędów. Tymczasem uznanie porażki za naturalny etap prowadzący do sukcesu sprzyja budowaniu odporności, kreatywności, rozwijaniu umiejętności krytycznego myślenia, a przede wszystkim dociekania naukowego.

Jednym ze sposobów radzenia sobie z tym problemem może być właściwe wykorzystanie eksperymentów w nauczaniu. Zwykle eksperyment kojarzy się z weryfikowaniem hipotezy, polegającym na badaniu próbek w laboratorium z wykorzystaniem odpowiednich przyrządów i odczynników chemicznych. Warto jednak zwrócić uwagę, że eksperymenty dotyczą różnych dyscyplin i obszarów tematycznych, wiążą się z gromadzeniem danych i manipulowaniem zmiennymi, a także mogą być przeprowadzone w środowisku naturalnym – poza laboratorium.

Celem różnych eksperymentów przeprowadzanych w ramach programu nauczania jest głównie pogłębienie uczenia się oraz analiza sposobu, w jaki uczniowie myślą i rozwiązują problemy. Uczeń, przeprowadzając doświadczenie na lekcji, trzyma się ściśle instrukcji i oczekuje otrzymania konkretnych rezultatów. Jeśli otrzyma inny wynik, to nie wie, jaka była tego przyczyna i co powinien zrobić. Zmiana podejścia do eksperymentowania może pozytywnie wpłynąć na wiedzę ucznia i rozwinąć jego umiejętności.

AGNIESZKA BOROWIECKA
JUSTYNA KAMIŃSKA

ZABÓJCZE EKSPERYMENTY

Stephen Snody z Coulter Foundation w 2014 roku zdefiniował pojęcie „zabójczy eksperyment” (ang. *killer experiment*) jako przyjęcie takiego sposobu postępowania, który ma na celu „zabicie” projektu, zanim zostaną zainwestowane w niego znaczne zasoby. Dopuszczamy możliwość niepowodzenia eksperymentu, dlatego próbujemy ulepszać kolejne próby jedynie do momentu, w którym proponowane rozwiązanie wykazuje pewien określony potencjał sukcesu.

Mówiąc o zabójczych eksperymentach, warto wspomnieć o tzw. pułapce kosztów utopionych oraz o faszowaniu danych eksperymentalnych. Przyjrzyjmy się temu bliżej.

Koszty utopione (ang. *sunk costs*) to koszty, które zostały poniesione i nie mogą zostać odzyskane. Mogą wiązać się z opracowaniem nowego produktu, wydatkami na promocję, uzyskiwaniem licencji itp. Ich istnienie może wpływać na

podejmowanie decyzji związanych z danym przedsięwzięciem. Pułapka (efekt) kosztów utopionych jest związana z tendencją ludzką do trwania przy podjętych decyzjach, jeśli w ich realizację włożyli duży wysiłek lub znaczne zasoby. Z takim postępowaniem spotykamy się również w życiu codziennym. Jeśli wydaliśmy dużo pieniędzy na zakup wycieczki, udział w imprezie, bilety na sztukę itp., to do ostatniej chwili nie chcemy z nich zrezygnować, nawet jeśli z wiarygodnego źródła dowiadujemy się, że będziemy rozczarowani wynikami (zła pogoda i warunki bytowe podczas wycieczki, nieodpowiadający nam przebieg spotkania, słaba gra aktorska lub nieinteresująca nas tematyka sztuki). Myśl o zmarnowaniu pieniędzy u większości z nas powoduje, że kontynuujemy działania, choć inny sposób spędzenia czasu mógłby nam przynieść większą satysfakcję.

Klasycznym przykładem pułapki utopionych kosztów jest historia związana z konstrukcją i użytkowaniem samolotów Concorde.



Fotografia 1. Concorde linii British Airways kończący swój ostatni lot 26 listopada 2003 roku
Źródło: Wikimedia Commons, <https://tiny.pl/3g84svdt>

KIEDY PORAŻKA STAJE SIĘ SUKCESEM

Samoloty pasażerskie Concorde miały służyć do realizacji idei transportu naddźwiękowego. Powstały w wyniku porozumienia między Francją i Wielką Brytanią, a w ich produkcji brały udział państwowe konsorcja lotnicze Aérospatiale i British Aircraft Corporation. Pierwsze próbne loty miały miejsce w 1969 roku, natomiast loty pasażerskie rozpoczęły się siedem lat później. Warto zwrócić uwagę, że wyprodukowano jedynie 20 samolotów i chociaż część lotów była rentowna (w wybranych latach British Airways potrafiło wypracować zysk na poziomie ok. 750 mln funtów), to nie udało się zrównoważyć poniesionych kosztów. Nie bez znaczenia były tu wzrost ceny paliwa, olbrzymi hałas emitowany przez samoloty, katastrofa Concorde'a 25 lipca 2000 roku pod Paryżem oraz zamachy z 11 września 2001 roku i związane z nimi spadek zaufania do lotów samolotem. Ostatni lot Concorde'a odbył się 26 listopada 2003 roku.

Eksperymenty powinny być prawidłowo zaplanowane, musimy dokładnie określić, jakie dane są potrzebne i jakich wyników oczekujemy. Jeśli poja-



Fotografia 2. Źródło: Pixabay, <https://tiny.pl/nwpmjspj8>

wiąją się rozbieżności, na przykład otrzymujemy wyniki niezgodne z założeniami, często mamy chęć pójścia na skróty – zignorowania niekorzystnych danych lub sfalszowania badania w taki sposób, by wydawało się, że odnieśliśmy sukces. Jest to

problem pojawiający się podczas wielu rzeczywistych i ważnych badań, takich jak klonowanie komórek macierzystych. W 2005 roku doktor Woo-Suk Hwang, koreański ekspert ds. klonowania ogłosił, że na Uniwersytecie Narodowym w Seulu udało się stworzyć specjalne komórki macierzyste, które można by wykorzystać do „naprawy” uszkodzonych komórek pacjentów. Komórki miały powstać w wyniku sklonowania materiału genetycznego pozyskanego od osób dorosłych. Rewelacje te zostały odrzucone przez współpracowników oraz współautora badań Roh Sung-li, którzy stwierdzili, że dane zostały sfabrykowane, ponieważ kolonie komórek wyginęły. W marcu 2006 Uniwersytet w Seulu pozbawił Woo-Suk Hwanga profesury, toczyła się również przeciw niemu sprawa karna.

ZABÓJCZE EKSPERYMENTY W EDUKACJI

Wprowadzenie zabójczych eksperymentów do edukacji polega na przyjęciu sposobu myślenia, dzięki któremu porażka nie jest traktowana jako klęska, ale

pomoc w dojściu do poprawnego rozwiązania. Jednocześnie wiedza o tym, kiedy pomysł można dalej rozwijać lub modyfikować, a kiedy powinniśmy go „zabić”, jest szczególnie przydatna dla uczniów i mogą ją z powodzeniem wykorzystać w przyszłości.

W edukacji zabójcze eksperymenty pomagają uczniom rozwijać krytyczne myślenie, kreatywność oraz odwagę w podejmowaniu ryzyka. Zamiast powielać znane i opisane w podręcznikach instrukcje doświad-

czeń, uczniowie są zachęceni do tworzenia własnych eksperymentów i zmierzania się z ich wynikami. Kolejne próby przeprowadzane przez uczniów powinny być systematycznie ulepszane, przy czym zakładamy możliwość niepowodzenia i konieczność przerywania eksperymentu oraz całkowitego

AGNIESZKA BOROWIECKA
JUSTYNA KAMIŃSKA

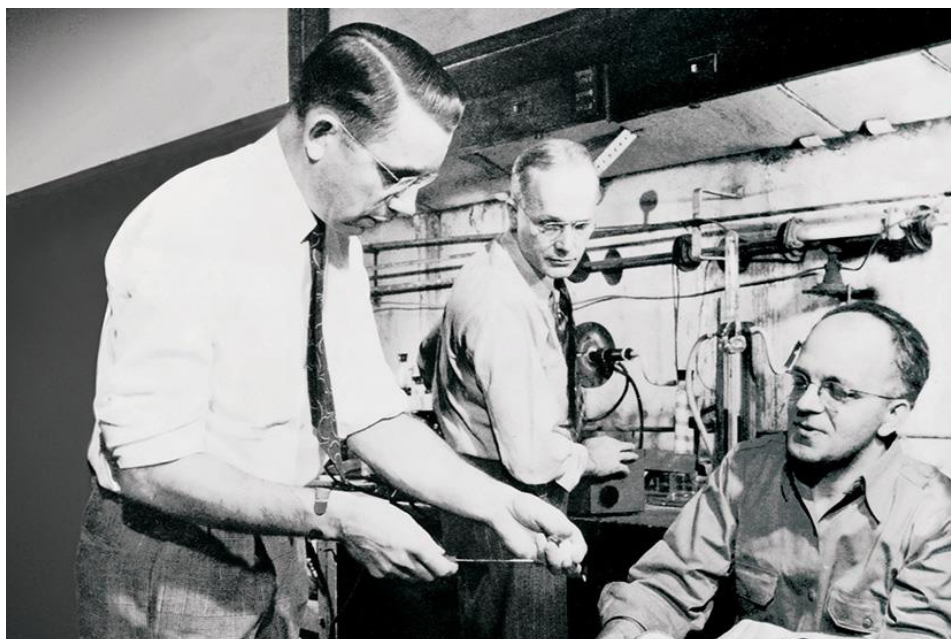
przebudowania jego założeń. Oznacza to, że nie tylko uczy się poprzez sukcesy, ale także, a może przede wszystkim, dzięki błędom.

Jednym z przykładów nieoczekiwanego sukcesu w wyniku „porażki” było odkrycie teflonu, materiału szeroko stosowanego w różnych dziedzinach życia, od powłok na patelnie po zaawansowane technologie. Roy Plunkett eksperymentował z gazem – tetrafluoroetylenem (TFE) w celu stworzenia nowego czynnika chłodniczego. Ku jego zaskoczeniu, pozostawiona na noc mieszanina gazów zestaliła się, tworząc woskową substancję. Choć początkowo mogło się to wydawać porażką, gdyż nie udało się uzyskać zamierzonego gazu, po dokładnych badaniach odkryto, że nowa substancja ma niezwykle właściwości. W rezultacie teflon stał się jednym z najbardziej popularnych materiałów na świecie, wykorzystywanym w wielu gałęziach przemysłu.

Przyjrzyjmy się kilku doświadczeniom chemicznym, możliwym do przeprowadzenia w szkolnej praktyce. Uczniowie mogą badać reakcje chemiczne oraz wpływ różnych czynników na ich szybkość, próbując przeprowadzić rozkład nadtlenu wodoru (H_2O_2) przy użyciu katalizatora, np. tlenku

manganu(IV) (MnO_2). Warto zacząć od postawienia hipotezy, np. *Dodanie tlenku manganu(IV) (MnO_2) przyspieszy rozkład nadtlenu wodoru na wodę i tlen.* Co mogłoby pójść nie tak? Jeśli podczas pierwszej próby uczniowie użyją za małej ilości katalizatora lub przeprowadzą reakcję w zbyt niskiej temperaturze, mogą nie zaobserwować znaczącej zmiany szybkości rozkładu. To mogłoby zostać odebrane jako porażka eksperymentu. Jednak takie niepowodzenie może być cenną lekcją, zachęcającą do dalszego testowania zmiennych jak ilość katalizatora lub temperatura otoczenia.

W szkole podstawowej możemy próbować badać, czy rodzaj cieczy wpływa na intensywność reakcji z sodą oczyszczoną. Uczniowie mogą założyć, że każda ciecz o odczynie kwasowym, taka jak ocet, sok cytrynowy czy napój gazowany, będzie reagować z sodą oczyszczoną w podobny sposób, wydzielając pęcherzyki gazu – tlenku węgla (IV). W trakcie eksperymentu mogą jednak zauważyć różnice w intensywności reakcji. Na przykład sok cytrynowy może wywołać mniejsze musowanie niż ocet, a reakcja z napojem gazowanym może być ledwo widoczna. Takie wyniki mogą być dla uczniów zaskoczeniem, szczególnie jeśli oczekiwali podobnego efektu w każdej próbce.



Fotografia 3. Dr Roy Plunkett i dwóch innych chemików z koncernu chemicznego DuPont. Źródło: https://tiny.pl/1x9_1wbh

KIEDY PORAŻKA STAJE SIĘ SUKCESEM



Fotografia 4. Źródło: Pexels, <https://tiny.pl/t8nd6g7w>

Innym przykładem eksperymentu może być badanie dotyczące wpływu temperatury na rozpuszczalność soli w wodzie. Intuicja zwykle nam podpowiada, że w wyższej temperaturze zawsze rozpuści się więcej substancji. W trakcie eksperymentu może się jednak okazać, że różnice między wynikami dla ciepłej i zimnej wody są mniejsze, niż uczniowie przewidywali. Uzyskanie wyników niezgodnych z oczekiwaniami jest szansą na zastanowienie się nad czynnikami wpływającymi na przebieg doświadczenia. Może potrzebne są bardziej precyzyjne pomiary? Może warto powtórzyć eksperyment, zmieniając warunki? Uczniowie dowiadują się, że w nauce kluczowe jest zadawanie pytań i gotowość do poprawiania swoich założeń.

Podobne eksperymenty możemy przeprowadzać na lekcjach różnych przedmiotów, przy czym lepsze efekty osiągniemy, jeśli nawiążemy do zdarzeń lub miejsc wpływających na wyobraźnię uczniów lub związanych bezpośrednio z ich codziennym życiem. Przykładem takiego działania były lekcje prowadzone przez nauczycieli nauk przyrodniczych w Casey Middle School w Kalifornii. *Czy polecilibyś znajomym spoza miasta, by*

wybrali się do Boulder Creek? To pytanie stało się punktem wyjścia do przeprowadzenia cyklu zajęć dotyczących czystości wody, ograniczonych zasobów, oczyszczania i ponownego wykorzystywania wody przez społeczność. Uczniowie stawiali różne hipotezy, które później weryfikowali. Część z nich uważała, że woda jest zdrowa, ponieważ jest przejrzysta. Badanie próbek wody ze strumienia, sprawdzenie wpływu warunków atmosferycznych na jakość wody, dyskusja i porównanie swoich danych z danymi zebranymi przez inne grupy pozwoliło im zweryfikować tę hipotezę. Uczniowie byli bardziej zaangażowani w naukę i mieli szerszy kontekst do zrozumienia materiału, niż podczas słuchania wykładu czy zapoznawania się z faktami opisanymi w podręcznikach.

Zamknięcie szkół i przejście na nauczanie zdalne podczas pandemii wpłynęło na zmianę podejścia do eksperymentowania w klasie. Zamiast korzystać z symulacji i gotowych zestawów danych można przygotować ciekawe zadania dla uczniów do wykonania w domu z wykorzystaniem np. smartfonów. Badanie, jak działa huśtawka, mierzenie oscylacji wahadła lub przyspieszenia dośrodkowego

AGNIESZKA BOROWIECKA JUSTYNA KAMIŃSKA

wirówki do sataty, używanie smartfonu jako mikroskopu – w takich eksperymentach wspomaganych przez technologię uczniowie mają więcej swobody i autonomii. Chętnie opracowują różne metody testowania swoich procedur lub produktów w celu „ujawnienia” usterek. Dzięki temu uczą się, jak postępować, aby eksperyment zakończył się sukcesem.

W internecie możemy znaleźć szereg pomysłów oraz zasobów pozwalających zaplanować i przeprowadzić eksperymenty na lekcji. Laboratorium Napędu Odrzutowego NASA udostępnia scenariusz zajęć, podczas których uczniowie poznają podstawy mechaniki rakiet. Eksperyment polega na wypełnianiu balonu różną objętością powietrza i mierzeniu pokonanego przez niego dystansu. Przymocowany do balonu mikrokontroler pozwala rejestrować ruch. Tak uzyskane dane przesyłamy następnie na komputer, analizujemy i oceniamy w arkuszu kalkulacyjnym. Wykorzystywanie technologii do wizualizacji danych pomaga uczniom w dokonywaniu prognoz na ich podstawie.

Niezależnie od tematyki zajęć celem zabójczych eksperymentów jest wdrożenie nowego sposobu myślenia. Po zapoznaniu uczniów z podstawowymi pojęciami, dajemy im czas na opracowanie hipotez. Możemy ich wspomóc za pomocą pytań naprowadzających, np. Jak działają huśtawki? Jak myślisz, co się stanie, gdy...? Uczniowie powinni umieć decydować o tym, co jest niezbędne do eksperymentowania, ustalić, jakie dane będą gromadzić i jakich wyników się spodziewają. Po przeprowadzeniu eksperymentu i przeanalizowaniu otrzymanych wyników może okazać się niezbędna zmiana założeń lub sposobu gromadzenia danych. Dobrym sposobem jest zaangażowanie uczniów w ulepszanie źle zaprojektowanych eksperymentów oraz przeprowadzenie dyskusji na temat etyki w eksperymentowaniu. Warto pamiętać, że eksperyment nie musi zajmować całej lekcji i może być szczególnie przydatny na zajęciach, na których tradycyjnie nie ma dla niego miejsca.

PODSUMOWANIE

W przypadku niepowodzenia podczas przeprowadzania eksperymentu uczniowie mogą wrócić do swojej hipotezy i zmienić założenia, na przykład modyfikując parametry. Zamiast zniechęcać się, rozwijają dociekliwość oraz swoje umiejętności badawcze. Uczą się, że porażka jest częścią dociekania naukowego, a każda nieudana próba przybliża ich do sukcesu.

Przyjęcie takiego sposobu myślenia pomaga uczniom w postrzeganiu porażek nie jako końca drogi, ale etapu umożliwiającego dalsze doskonalenie. Kluczem jest otwartość na nowe pomysły, cierpliwość w ich testowaniu oraz gotowość do „zabicia” nieudanych projektów, co pozwala skupić się na tych, które mają potencjał. Pokazuje to, że nie zawsze chodzi o natychmiastowy sukces – czasami to właśnie porażka jest najlepszym nauczycielem. ●

BIBLIOGRAFIA

1. *Answers That Are a Little Out of Reach*, <https://tiny.pl/stq2gf61>
2. *Balon – rakietka*, <https://tiny.pl/q811q1gf>
3. Bielański A., *Chemia ogólna i nieorganiczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013
4. *Dochodzenie w sprawie fałszowania danych przeciwko koreańskiemu ekspertowi ds. komórek macierzystych*, <https://tiny.pl/b6v86vmg>
5. *Pułapka utopionych kosztów*, <https://tiny.pl/d4h6k087>
6. *Simple Rocket Science Continued*, <https://tiny.pl/j-rdn3bv>
7. *The History of Teflon™ Fluoropolymers*, <https://tiny.pl/scc-0xsv>
8. Walter B., *Najciekawsze przypadkowe odkrycia naukowe!*, <https://tiny.pl/b1r3hvkp>