



Metody planowania eksperymentu

Wiedza ogólna o eksperymentacie naukowym

Beata Bochentyn, Bogusław Kusz*

1. Podstawowe pojęcia z zakresu metodologii badań w nauce i w technice

Przed przystąpieniem do planowania, a następnie wykonania eksperymentu naukowego, niezbędne jest zapoznanie się z podstawowymi pojęciami związanymi z tym tematem.

Naukowe podejście – działanie zgodne z zasadami nauki.

Metoda naukowa – uporządkowany proces przeprowadzania eksperymentu/dowodu/analizy problemu.

Przedmiot badań – to, co nas interesuje pod względem naukowym (zjawiska, relacje, właściwości materii).

Zebranie danych w eksperymencie – oglądanie, zapisanie lub rejestrowanie wszystkich wyników testów.

Obserwacja – oglądanie i nagrywanie tego, co widzimy.

Dane – zestawy liczb i informacji zebranych podczas eksperymentu.

Analiza – ostrożne przeglądnięcie informacji w poszukiwaniu wzorców lub nowych rozwiązań.

Interpretacja – użycie wszelkich możliwości i wiedzy, aby jak najwięcej wywnioskować z danych eksperymentu.

Projektowanie eksperymen-

tu – wymyślenie doświadczenia oraz zaplanowanie, jak go wykonać i jak sprawdzić jego rezultat.

Przeprowadzenie eksperymentu – wykonanie eksperymentu.

Badanie – proces obserwacji i studiowania przedmiotu badań często podczas zmiany warunków zewnętrznych i wewnętrznych tego obiektu.

Publikacja – powiadomienie innych osób o naszym eksperymencie poprzez opisanie go.

Weryfikacja – możliwość sprawdzenia poprawności i powtarzalności doświadczenia.

Hipoteza – wymyślona idea, która może tłumaczyć dane zjawisko/doświadczenie.

Kontrolne parametry – elementy podmiotu badań niezmiennie w czasie wykonania eksperymentu.

Zmienne parametry – parametry mające wpływ na wynik doświadczenia, a ich kontrolowana zmiana daje informację o ich wpływie na obiekt.

Przewidywanie – odgadywanie zdarzeń, które mogą nastąpić w eksperymencie.

Analiza błędów i niepewności – spojrzenie na doświadczenie pod kątem szukania, oceny i ewentualnej elimina-

cji błędów i niepewności doświadczenia.

Ponowna ocena – spojrzenie na doświadczenie po jego przeprowadzeniu, w celu sprawdzenia poprawności założeń, wykonania i rezultatów.

Wnioski – zestawienie najważniejszych wyników doświadczenia i ich szersza ocena.

Warto podkreślić, że podejście naukowe do dowolnego problemu daje największą szansę na wartościowy wynik i na osiągnięcie sukcesu. Nawet tzw. „życiowe” problemy z zakresu relacji międzyludzkich można rozwiązywać zgodnie z metodologią naukową.

2. Schemat działania w systemie: przygotowanie – wykonanie – podsumowanie eksperymentu

Każdy problem można próbować rozwiązać metodą naukową. Warto kierować się schematem, w którym sekwencyjnie „wypełniamy” tabelkę (Tabela 1.).

3. Źródła wiedzy niezbędnej do prawidłowego przeprowadzenia eksperymentu

Doświadczenie i wiedza ludzkości przechowywana jest i przekazywana za pomocą mowy, słowa pisanego oraz obrazu. Olbrzymia ilość

Tabela 1. Schemat działania

Problem:
Hipoteza:
Przedmiot badań:
Plan eksperymentu:
Kontrolne parametry:
Zmienne parametry:
Sposób rejestracji danych:
Wykonanie eksperymentu – rejestracja danych:
Wykonanie obliczeń, tabel, rysunków oraz ocena błędów i niepewności pomiarów:
Dyskusja-analiza i interpretacja danych:
Analiza błędów i niepewności:
Wnioski końcowe:

Uwaga: Powyższy schemat tylko ułatwia działanie i nie jest przejawem tzw. „schematycznego myślenia”. Nieszablone myślenie i działanie jest czasami niezbędne na etapie zauważenia problemu, postawienia hipotez, zaplanowania i wykonania eksperymentu.



informacji zgromadzona jest w pamięci ludzi i komputerów, w książkach i materiałach audio-wizualnych. Problemem jest tylko dotarcie do odpowiedniego źródła, selekcja potrzebnych informacji i ich zrozumienie.

Źródła wiedzy, z których najczęściej korzystamy:

- informacje własne, ludzi z otoczenia, współpracowników, szefa zespołu, innych badaczy;



- bazy publikacji w internecie lub w bibliotekach: np. ACM, Emerald, Ibuk, Knovel Library, Science, Nature, ACS Publications – American Chemical Society, EBSCO, Elsevier Science Direct, IEEE Xplore, IMPAN, IOPSCIENCE, Ovid Biomedical Collections, ProQuest (ABI Inform Complete) RSC, Springer LINK + Kluwer, Wiley, AIP/APS



- publikatory: internet, gazety, radio, telewizja...

4. Od sformułowania problemu badawczego do sukcesu...

a/ Problem naukowy i problem nienaukowy. Znaczenie problemu.

Problem badawczy lub cel badań to dobrze zdefiniowany obszar/zakres badań. Znaczenie problemu może być duże,

małe, trywialne, żadne.

Pseudonauka – w oczach nauki, nie spełnia kryteriów oceny naukowości, które są stosowane przez tę ostatnią. Pseudonaukę charakteryzują zwykle następujące cechy, z których każda może wystąpić razem z innymi lub osobno:

- głoszenie prawdziwości teorii, zanim zostaną one zweryfikowane;

- głoszenie teorii, które są tak skonstruowane, że nie da się ich zweryfikować naukowo;

- głoszenie teorii, które zostały negatywnie zweryfikowane eksperymentalnie;

IKA POL



Wesołych Świąt
i Szczęśliwego Nowego Roku








Przedstawiciel w Polsce Firmy IKA WERKE GmbH

Działalność firmy obejmuje doradztwo techniczne, dystrybucję i handel sprzętem laboratoryjnym, pomiarowo-analitycznym i produkcyjnym.

- **sprzęt laboratoryjny** – mieszałki magnetyczne, mieszałki mechaniczne, homogenizatory, wytrząsarki, młynki, łaźnie wodne, płyty grzewcze, pompy próżniowe i perystaltyczne, wyparki, ekstraktory substancji stałych, reaktory laboratoryjne
- **sprzęt pomiarowo-analityczny** – zgniataarki, elektrolizery, termogravimetry, kalorymetry, analizatory laboratoryjne C, S, N, O, H, CO₂
- **sprzęt produkcyjny** – pojemnościowy (homogenizatory, turbotrony, rototrony), przepływowy (homogenizatory, dispax reaktory, młyny koloidalne), emulgatory (mieszalniki o poj. of 10-400 l, dla substancji o różnej lepkości)

IKA POL
02-793 Warszawa, ul. Przy Bazantarni 4/6,
Biuro Obsługi Klienta: 02-886 Warszawa, ul. Rybaltów 14,
tel.: 22 649 24 05, fax: 22 859 14 39,
e-mail: info@ikapol.pl, www.ikapol.pl, www.ika.com







- głoszenie teorii, które stoją w jawnej sprzeczności z teoriami dobrze udokumentowanymi eksperymentalnie;
- odmowa poddania własnych teorii weryfikacji eksperymentalnej,
- odmowa dostarczenia własnych dowodów,
- głoszenie wadliwie skonstruowanych teorii – niepodających się falsyfikacji lub łamiących zasadę tzw. brzytwy Ockhama.

b/ Badania podstawowe i praktyczne (aplikacyjne)

Podstawowe badania wiążą się z podstawowym pytaniem. Czy warto inwestować w poszukiwanie bozonu Higgsa, tachionu lub grawitonu, kiedy tyle ludzi głoduje? Może lepiej zainwestować w badania lepszego odbiornika 3D TV? Odpowiedź jest jedna. Warto i trzeba. Nigdy nie wiadomo, czy wiedza podstawowa nie do wykorzystania w obecnej chwili, za kilka, kilkadziesiąt lat nie stanie się podstawą wielkich aplikacji.



c/ Co zbadać?

Najlepiej badać tzw. „teren dziewiczy” – dotychczas niezbadany. Można także sprawdzać eksperymentalnie przemyślane hipotezy, weryfikować doświadczenia innych, wykonać badania lepiej niż inni uzyskując dokładniejsze wyniki. Przy wyborze tematu badawczego pomoże własna ciekawość, umiejętność wyszukiwania in-

formacji i czytania ich ze zrozumieniem, umiejętność kojarzenia faktów. Ograniczeniem, a nawet barierą nie do przekroczenia przy wyborze tematu może być brak pieniędzy, możliwości aparaturowych, brak współpracowników i... niechęć środowiska.

d/ Motywacja, czyli dlaczego ja?

Może dlatego, że:

- 1/ masz oryginalny, wart sprawdzenia pomysł;
- 2/ masz aparaturę i dobry zespół współpracowników;
- 3/ masz możliwości, doświadczenie i szukasz wyzwań;
- 4/ tak cię coś zainteresowało, że możesz poświęcić dużo czasu na opanowanie nowej dziedziny oraz zaryzykować czas i pieniądze;
- 5/ zdobyłeś pieniądze na wykonanie badań – granty Ministerstwa, UE, zlecenia z przemysłu.

e/ Źródła pomysłów

Natchnienie, analiza wyników innych badaczy, czytanie publikacji naukowych i popularnonaukowych, rozmowy w czasie konferencji lub w laboratorium to najczęstsze źródła pomysłów. Historia postępu ludzkości jest pełna przykładów pomysłów udanych i nieudanych, ukradzionych, zapomnianych i przeczących prawom fizyki. Warto uważać, aby ktoś nie wykradł waszego pomysłu. Podczas pracy zespołowej pamiętać, kto jest autorem pomysłu, nad którym pracuje zespół. Wykradanie pomysłów lub zapomnianie o źródle pomysłu jest dosyć częste, rodzi nieporozumienia i niechęć. Takie nieetyczne zachowania są przyczyną rozpadu zespołów i pożywką do nienawiści.

Zalecana jest ostrożność przed publikacją pomysłów, idei, technologii, wyników. Zawsze warto przed publikacją zastanowić się, czy można naszą pracę/pomysł zastrzec patentem.

f/ Możliwości i warunki pracy w zespole



Stan obecnej wiedzy, stopień komplikacji i przenikanie się zagadnień z różnych dziedzin wiedzy wymusza pracę w zespole. Najlepiej, aby zespół składał się z odpowiednich ludzi o dużej motywacji i przygotowaniu. Umiejętnie dobrani współpracownicy zapewnią dostęp do wiedzy na dany temat oraz zagwarantują odpowiedni poziom komunikacji i wymiany informacji (spotkania, dyskusje). W przypadku tajności badań konieczny jest szczególnie duży poziom zaufania w zespole. W takim zespole można zapewnić możliwie największą jawność w pracy przy poszanowaniu zasad poufności (pracownik w niezbędnym zakresie musi wiedzieć, co robi i co inni robią).

g/ Względy moralne

Podjęty temat badań może skutkować konfliktem między jego wymaganiami i skutkami, a sumieniem, moralnością lub światopoglądem badacza. Szczególnie wrażliwe pod tym względem są badania związane z życiem, zdrowiem i psychiką czło-

wieka (np. klonowanie, kiedy zaczyna się życie i kiedy następuje śmierć, środki sterylizacji psychiką...), badania nad narzędziami do zabijania (np. broń masowego rażenia: A – atomowa, B – biologiczna, C – chemiczna). Warto sobie uświadomić, że ograniczanie (zakaz) nic nie daje. Czasami opóźnia wydarzenie, ale mu nie zapobiega.

h/ Kiedy porzucić dany temat badawczy?

Łatwo zrezygnować nie można. Problemy są zawsze (aparaturowe, nieoczekiwane wyniki lub brak wyników, błędy, brak funduszy...). Trzeba jednak wiedzieć, kiedy się wycofać z danej tematyki. Trzeba racjonalnie ocenić, czy podjęta droga prowadzi do celu, czy jednak jest ślepym zaułkiem. Wycofanie się z pewnych rozwiązań albo zaniechanie całkowite tematu jest trudne, ale czasami konieczne, aby nie stracić entuzjazmu, mnóstwa czasu i pieniędzy na nierozwiązywalne problemy lub badania oparte na błędnych założeniach. Z drugiej strony największe wynalazki i odkrycia były owocem zanegowania zastanej wiedzy.

i/ Koszt eksperymentu

Można zainwestować czas, pieniądze, dużo pieniędzy. Badania są kosztowne, a wynik może być niepewny. Czy warto? W skali kraju europejskiego jakim jest Polska, warto przeznaczyć więcej niż obecnie Polska przeznaczająca (0,8% PKB) na wydatki związane z badaniami i rozwojem. Strategia europejska, aby osiągnąć poziom 3% PKB w krajach UE,



jest dobrą ideą umożliwiającą konkurencję z Chinami i innymi rodzącymi się potęgami gospodarczymi.



j/ Przeszukiwanie baz danych (badanie literatury)

W poszukiwaniu informacji i wiedzy sensu stricto naukowej pomagają dobre wyszukiwarki w bazach danych (np. Elsevier Science, Kluwer, Science...) i w internecie (np. google scholar). Powszechnie stosowaną miarą wartości i ważności publikacji naukowych jest fakt, w jakim czasopiśmie została opublikowana. Ważne jest, aby czasopismo było z tzw. listy filadelfijskiej (listy JCR) o znacznym współczynniku oddziaływania – (impact factor – IF, ustalany przez Instytut Filadelfijski). Obecnie stosunkowo łatwo jest dotrzeć do informacji. Trudniej jest wyłowić z morza nieistotnych, nieciekawych i czasami błędnych te najważniejsze i potrzebne dane.



5. Metoda naukowa

Proces, w którym badacze zmierzają do skonstruowania niezawodnej i spójnej, ale nie arbitralnej reprezentacji wszechświata, musi spełniać pewne warunki, aby uznać go za metodę naukową. Metoda naukowa jako metoda poznawcza zawiera cztery elementy.

1. Obserwacja zjawiska lub grupy zjawisk.
2. Sformułowanie hipotezy wyjaśniającej obserwację i zaproponowanie modelu fizycznego lub matematycznego obserwacji.
3. Użycie zaproponowanego modelu do przewidzenia podobnego zjawiska, innej obserwacji lub stanu.
4. Przeprowadzenie niezależnych eksperymentów dla weryfikacji i walidacji hipotezy i modelu.

W przypadku, gdy hipoteza dotycząca szerszej grupy zjawisk bądź obiektów zostanie potwierdzona, to jej uogólnienie może mieć status prawa przyrody/fizyki. A gdy kilka podobnych praw dotyczy tych samych zjawisk bądź obiektów, to można im nadać wyższy status teorii naukowej.

5.1. Obserwacja zjawiska lub grupy zjawisk

Otoczający nas świat zapewnia szereg doznań. Wszystkie zmysły przekazują do mózgu informacje, a mózg je przetwarza i często generuje odpowiedź (czasami nie ma odpowiedzi, bo bodziec był nieistotny lub zaginął pośród innych). Obserwacja otaczających zjawisk lub grupy zjawisk jest warunkiem koniecznym do przetrwania i rozumnego działania człowieka. W trakcie rozwoju cywiliza-

cji możliwości obserwacji człowieka rosły wraz z rozwojem wiedzy i techniki. Dzięki mikroskopom obserwujemy nanoświat, dzięki teleskopom obserwujemy wszechświat, dzięki laserom zdarzenia dziejące się w czasie femtosekund. Dzięki pamięci ludzi, komputerów, muzeów i bibliotek obserwacje są gromadzone dla użytku teraźniejszego i przyszłego.

5.2. Sformułowanie hipotezy wyjaśniającej obserwację i zaproponowanie modelu fizycznego lub matematycznej obserwacji

Hipoteza – przewidywanie na podstawie danych, doświadczenia i intuicji. Hipoteza prosta – np. uogólnienie obserwacji. Hipoteza złożona przewiduje zależności i skutki powiązań.

Cecha hipotezy: jest to próbny pomysł, nie prawo. Hipoteza musi być zweryfikowana. Duże prawdopodobieństwo potwierdzenia hipotezy lub głębokie wewnętrzne przekonanie nie zastąpi dowodów.

5.3. Użycie zaproponowanego modelu do przewidzenia podobnego zjawiska, innej obserwacji lub stanu

Jeśli hipoteza ma podstawy naukowe, to powinna dać możliwość przewidzenia zachowania się obiektu czy przebiegu zjawisk w przyszłości. Na przykład: hipoteza, że...

Także dobra hipoteza może być bazą do analizy innych podobnych zjawisk np. przez analogię. Na przykład. Hipotezy dotyczące powstania życia na Ziemi mogą być dobrym załącznikiem postawienia hipotez dotyczących życia w innych układach planetarnych.

Weryfikacja hipotez

Hipoteza powinna nie tylko pasować do faktów, ale musi wykazywać zgodność z pozostałymi częściami nauki.

W wielu przypadkach można wykonać doświadczenie sprawdzające hipotezę.

Istnieją jednak hipotezy trudne do weryfikacji drogą bezpośrednich doświadczeń. Wtedy można zbadać następstwa wydedukowane z tych hipotez. Nie jest to sposób idealny, lecz czasami konieczny.

Przykład: *Model atomu wodoru Bohra*. Atomu nie można było zobaczyć, ale można było sprawdzić konsekwencje działania tego modelu, czyli widmo promieniowania wzbudzonego wodoru. Dokładniejsza analiza wyników potwierdzi, że model jest uproszczeniem.

5.4. Hipotezy naukowe – narzędzia weryfikacji

a/ Analiza i synteza

– Analiza

Złożoność rzeczywistości lub jej części jest tak duża, że warto podzielić istniejący obraz na pewną liczbę części, w celu ich oddzielnego przeanalizowania. Zwykle z takim podejściem, analizą, wiąże się konieczność lub zwyczaj upraszczania zagadnień składowych. Często uproszczenia (np. analiza w przestrzeni 2D zamiast 3D) pozwalają na rozwiązanie zagadnienia i dają całkiem niezły obraz rzeczywistości. Podczas analizy, w wyniku np. uproszczenia lub zaniedbania, mogą zniknąć zależności będące istotą zagadnienia/zdarzenia.

Przykład: Prosta analiza problemu budowy mózgu doprowadzi do wyniku w postaci, że mózg składa się z zespołu



różnych atomów. Jednak w trakcie takiej analizy może zniknąć istota zależności między komórkami nerwowymi, czyli istota procesu myślenia.

Poszukiwanie przyczyn zdarzeń – zasady analizy:

– *metoda zgodności*: jeśli okoliczności prowadzące do zdarzenia miały jednakowy lub wspólny czynnik, to można sądzić, że ten czynnik należy do grupy przyczyn,

– *metoda różnicy*: jeśli w dwóch zespołach okoliczności różniących się tylko jednym czynnikiem, zespół z tym czynnikiem prowadzi do zdarzenia, a drugi zespół nie, to ten czynnik może być przyczyną zdarzenia,

– *metoda jednoczesnej zmienności*: jeśli zmienność natężenia danego czynnika wywołuje podobną zmienność skutku, to czynnik ten może być przyczyną.

– Synteza

Składanie prawdy z małych jej fragmentów jest syntezą.

Prawidłowa synteza wymaga, aby składać z właściwych części uwzględniając przy tym ich wzajemne relacje i oddziaływanie. Na przykład zmieszane kości kota i jeża nie są dowodem istnienia kotojeża, tylko złej syntezy dowodów.

b/ Dedukcja i indukcja

Indukcja to typ rozumowania logicznego określane jako wnioskowanie „od szczegółu do ogółu” (z powrotem) charakterystyczne dla nauk empirycznych. Generalnie indukcja (rozumowanie indukcyjne) polega na wyciąganiu reguły, przez spojrzenie na pewną, określoną liczbę przypadków. Uwaga: indukcja może zawodzić. Na przykład: badania olbrzymiej ilości gatunków ssaków wykazały, że są to osobniki żyworodne. Indukcja pozwala na uogólnienie wyników badań: wszystkie ssaki są żyworodne (co nie jest prawdą).

Dedukcja to rodzaj rozumowania logicznego, mającego na celu dojście do określonego

wniosku na podstawie założonego wcześniej zbioru przesłanek. Z prawdziwych przesłanek można wydedukować prawdziwe wnioski. Dedukcja jest prostym wyciąganiem wniosków zawartych w całości wewnątrz swoich założeń. Dlatego w odróżnieniu od indukcji, poprawnie przeprowadzona dedukcja prowadzi do prawdziwych wniosków.

5.4. Przeprowadzenie niezależnych eksperymentów dla weryfikacji i walidacji hipotezy i modelu

Proces wybrania podmiotu badań, sposobu badań (metodologii), wyboru potrzebnych przyrządów pomiarowych, wykonania badań i analizy wyników jest sensem *metod planowania eksperymentu (DOE – Design Of Experiment)*.

Design of Experiment – ogólna definicja

Projektowanie eksperymentów (DOE) to zespół metod wykorzystywanych do stosowania

eksperymentów w projektowaniu wyrobu i procesu. Polega na stworzeniu matematycznego modelu opisującego jak zachowuje się badany system pod wpływem zmiany parametrów wyrobu lub procesu. DOE zostało stworzone w latach dwudziestych XX w. przez Fishera, a następnie rozwinięte przez Boxa.

6. Metoda naukowa i rola autorytetów w nauce

Najczęściej *autorytet* postrzegany jest jako czynnik stabilizujący więzi społeczne i ma wydźwięk pozytywny. Istnieje jednak niebezpieczeństwo, iż nadmierne zaufanie do *autorytetów* grozi skostnieniem poglądów, a czasem nawet ich zwyrodnieniem. W nauce autorytety odgrywają olbrzymią rolę. Profesorowie, wybitni naukowcy, dziekani i kierownicy katedr dzięki swojej wiedzy, doświadczeniu i władzy w znaczący sposób mogą wpłynąć na poglądy i zachowania młodego naukowca.



Zostań członkiem

Klubu

Polskich Laboratoriów Badawczych

www.pollab.pl

POLLAB



Trzeba pamiętać, że nie zawsze autorytet jest źródłem ostatecznej prawdy. W nauce, tak jak w kodeksie drogowym, obowiązuje zasada ograniczonego zaufania. Pracujemy często na bazie wyników osiągniętych przez innych badaczy, ale zawsze zostawiamy sobie prawo do kwestionowania tej wiedzy. Największe przełomy w wiedzy o naszej rzeczywistości nastąpiły po zakwestionowaniu autorytetów.

7. Metoda naukowa, a związek przyczynowo-skutkowy

Obserwowane zdarzenia są teoretycznie jedyne w swoim rodzaju i niepowtarzalne. Każde zdarzenie ma swoją przyczynę. Powiązanie dwóch zdarzeń w układ: przyczyna-skutek wyznacza kierunek przepływu czasu. Brak przyczyny powinien spowodować brak zdarzenia-skutku.

Naukowe podejście pozwala na obserwację i analizę przyczyny danego zdarzenia. Stwierdzenia typu: to karma, działanie UFO, wynik promieniowania mentalnego, Bóg tak chciał, zapisane w gwiazdach.... utrudniają albo wręcz uniemożliwiają dalszą analizę przyczyn zdarzenia.

8. Prawo przyrody czy tylko hipoteza?

Słowo *prawo* przysługuje hipotezom, które wytrzymały szczegółowe sprawdzenie. Na przykład, prawem jest prawo ciążenia Newtona. Ogólna teoria względności jest bardziej ogólną teorią, co wcale nie umniejsza znaczenia osiągnięcia Newtona. Teoria Newtona świetnie opisuje przyciąganie ciał o małych masach.

Hipoteza, aby być teorią naukową, musi dopuszczać efektywnie falsyfikowalność. Pojęcie *falsyfikowalności* wprowadził Karl Popper, w dziele „Logika odkrycia naukowego”. Falsyfikowalność teorii oznacza, że w ramach tej teorii musi istnieć przewidywany wynik eksperymentu, wyjaśnienie zjawiska lub konsekwencji zdarzenia, który umożliwi stwierdzenie, że teoria jest błędna.

Na przykład:

1. Teoria, że układ planet wpływa na przyszłość poszczególnych ludzi – astrologia. Jest to teoria niefalsyfikowalna według Poppera (nie można przeprowadzić doświadczenia podważającego astrologię), więc jest teorią nienaukową.

2. Teoria ewolucji implikuje stwierdzenie, że na Ziemi nie ma organizmu stworzonego w całości przez Stwórcę. Znaleźnien chociż jednego organizmu o takim pochodzeniu może zanegować całą teorię ewolucji. Jak do tej pory nie odkryto takiego organizmu. Teoria ewolucji jest falsyfikowalna i należy do grupy teorii naukowych.

3. Teoria „flogistonu” (coś, co jest odpowiedzialne za spalanie) była teorią falsyfikowalną, ale doświadczenia wykazały błędność tej teorii.

9. Przykłady eksperymentu naukowego

9a. Eksperyment „historyczny” uznawany za jedno z pierwszych badań wykonanych zgodnie z zasadami planowania eksperymentu (http://en.wikipedia.org/wiki/Design_of_experiments)

Controlled experimentation on scurvy

In 1747, while serving as surgeon on HMS *Salisbury*, James Lind carried out a controlled experiment to develop a cure for scurvy.

Lind selected 12 men from the ship, all suffering from scurvy. Lind limited his subjects to men who “were as similar as I could have them”, that is he provided strict entry requirements to reduce extraneous variation. He divided them into six pairs, giving each pair different supplements to their basic diet for two weeks. The treatments were all remedies that had been proposed:

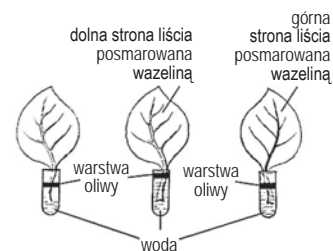
1. A quart of cider every day
2. Twenty five gutts (drops) of *elixir vitriol* (sulphuric acid) three times a day upon an empty stomach
3. One half-pint of seawater every day
4. A mixture of garlic, mustard, and horseradish in a lump the size of a nutmeg
5. Two spoonfuls of vinegar three times a day
6. Two oranges and one lemon every day

The men given citrus fruits recovered dramatically within a week. One of them returned to duty after six days, and the others cared for the rest. The other subjects experienced some improvement, but nothing compared to the subjects who ate the citrus fruits, which proved substantially superior to the other treatments.

9b. Eksperyment opisany w krótki, syntetyczny sposób, ale wystarczający do powtórzenia i zweryfikowania eksperymentu

Matura 2001. ZADANIE 31. (2 pkt.)

Przeprowadzono doświadczenie, które miało wykazać miejsce występowania aparatów szparkowych w liściu. W tym celu w próbkach napełnionych w całości wodą (z warstwą oliwy) umieszczono jednakowej wielkości liście. Część liści posmarowano wazeliną po stronie dolnej, część po stronie górnej, części w ogóle nie posmarowano. Po pewnym czasie uzyskano efekt, który ilustruje poniższy schemat doświadczenia.



Na podstawie analizy wyniku doświadczenia określ, po której stronie liści znajdują się aparaty szparkowe. Odpowiedź uzasadnij.

9c. Eksperyment „z życia wzięty”

Trener pewnego zespołu piłkarskiego **zaobserwował**, że zbyt często napastnik Janek źle wykonuje rzuty karne. Ten duży **problem** dla gracza trener postanowił zbadać na gruncie nauki. Trener przeprowadził szereg **obserwacji** na żywo i za pomocą nagranych fragmentów gry, aby zdefiniować problem i postawić **hipotezy**. Wstępne „statystyki” wykazały, że jest problem. Janek wykorzystuje średnio około 40% strzałów (4 na 10) podczas, gdy jego koledzy wbijają 60% strzałów. Trener pomyślał, że **skutek** w postaci



słabej celności Janka musi mieć jakąś **przyczynę**. Analiza dostępnych danych pozwoliła na postawienie **hipotezy**, że problemem Janka jest zła postawa podczas oddawania strzału. Po konsultacji z **autorytetem** w branży trenerów, panem X, trener postanowił poddać Janka dodatkowemu treningowi postawy.

Po przemyśleniu zagadnienia zaproponował następujące hipotezy:

- **Hipoteza zerowa H_0** : Postawa strzelecka Janka jest dobra i nie ma wpływu na wynik. Dodatkowy trening postawy nie wpłynie na skuteczność Janka.

- **Hipoteza alternatywna H_1** : Janek podczas strzałów wychyla się zbyt mocno do tyłu. Dodatkowy trening postawy zwiększy celność Janka.

Trener postanowił doświadczalnie zweryfikować hipotezy i w ten sposób upewnić się, czy postawa strzelecka jest dobrze zdiagnozowaną przyczyną problemu i czy odpowiedni trening może zlikwidować problem Janka. Zaprojektował eksperyment:

1. **Doświadczenie 1:**

Wykonanie przez Janka (podmiot badany) oraz trzech jego kolegów (grupa kontrolna) kilku serii np. 5-ciu strzałów na bramkę bronioną przez trzech różnych bramkarzy. Kolejność oddawania strzałów i kolejność bramkarzy powinna być przypadkowa. Warunki określone i takie same dla wszystkich graczy i bramkarzy. Analiza wyników powinna potwierdzić istnienie problemu. Jeśli wyniki nie potwierdzą istnienia problemu, dalsze badania powinny być odwołane.



2. W przypadku gdy problem z postawą strzelecką Janka istnieje, trener przeprowadza intensywne szkolenie poprawiające postawę Janka. Uczy

Janka pochylania się podczas strzału do przodu. Jeśli cel treningu został według trenera osiągnięty, należy zweryfikować hipotezy mówiące o złej postawie jako przyczynie problemów.

3. **Doświadczenie 2:**

Należy wykonać identyczną serię strzałów w warunkach maksymalnie zbliżonych do tych doświadczeń z punktu 1.

Zbieranie danych:

Trener **zapisuje** wyniki np. w tabeli 2.

Analiza błędów

Trener sprawdza, czy wszystkie wyniki uzyskane są w tych samych warunkach. W przypadku nieoczekiwanych zdarzeń mogących wpłynąć na wynik (np. przelatujący nisko samolot podczas strzału) należy test lub jego część powtórzyć.

Ważne pytanie: czy ilość prób w doświadczeniu jest wystarczająca?

Wnioski (bez analizy niepewności pomiaru i obliczenia wyniku końcowego)

Trenerskie doświadczenie z Jankiem jest typowym doświadczeniem, gdzie występuje pierwsza seria pomiarów pewnego obiektu, a po pewnej zamierzonej modyfikacji tego obiektu następuje druga seria pomiarów tego samego obiektu. Takie zestawienie nazywa się próbami zależnymi i do oceny końcowej wyniku należy przystąpić za pomocą analizy statystycznej prób.

Na tym etapie (bez oceny statystycznej) trener może pokusić się o przedstawienie wniosków z badania bazując na swoim doświadczeniu i intuicji. Taka wstępna ocena jest ryzykowna, ale czasami konieczna.

Trener porównał wynik strzelania przez Janka przed (Doświadczenie 1: $J1=3,33$) i po zastosowaniu treningu postawy (Doświadczenie 2: $J4=4$). Według niego wzrost skuteczności strzeleckiej Janka o 20% (grupa kontrolna wzrost o 9%) daje uzasadnioną nadzieję, że problem Janka tkwił w postawie, a odpowiedni trening zlikwidował problem.

Wniosek: Hipoteza zerowa nie jest prawdziwa, a hipoteza alternatywna może być prawdziwa. Trening prawdopodobnie dał pozytywne rezultaty.

Na tym etapie większość trenerów skończy analizę rezultatu badań. Po omówieniu wyniku z trenowanymi zawodnikami, przejdą do dalszego etapu pracy trenerskiej. Nasz trener postanowił opublikować wynik swojej metody treningowej w piśmie „Piłka Kopana”. Dlatego przeprowadził głębszą analizę wyniku badań a prawdziwość hipotez zweryfikował za pomocą testu t-Studenta.

* dr inż. Beata Bochentyn – adiunkt na Wydziale FTiMS Politechniki Gdańskiej, prof. dr hab. inż. Bogusław Kusz prof. nadzw.; Wydział FTiMS Politechniki Gdańskiej

Tabela 2. Wyniki badań możliwości strzeleckich Janka i grupy kontrolnej. Liczba strzałów w każdej serii -5 do bramki bronionej przez bramkarzy A, B, R

Doświadczenie 1				Doświadczenie 2			
Bramkarz	Strzały	Gole		Strzały	Gole		
		Janek	Gr.kontr.		Janek	Gr.kontr.	
A	5	3	3,33	5	3	5	
B	5	3	4	5	3	3,33	
R	5	3	3,7	5	4	4	
B	5	3	3	5	4	3,7	
R	5	4	4	5	4	4	
A	5	2	3	5	5	3	
R	5	3	3,7	5	4	4	
B	5	5	4	5	4	4	
A	5	4	5	5	5	5	
Średni wynik		3,33 J1	3,73 K1		4 J2	4,07 K2	