

STEM

w szkole ponadpodstawowej

Paszport do przyszłości





Paszport do przyszłości

Autorka

Agnieszka Chomicka-Bosy, Karolina Żelazowska-Byczkowska

Redakcja i korekta

Katarzyna Gańko

Layout, skład i redakcja techniczna

Paweł Jaros

Projekt okładki

Agnieszka Orłowska

Wydział Wydawnictw, Upowszechniania Zasobów i Promocji

Projekt grafiki na stronie tytułowej

Karolina Żelazowska-Byczkowska

Grafika realizowana przy wsparciu sztucznej inteligencji

Ośrodek Rozwoju Edukacji

Warszawa 2026

ISBN: 978-83-68584-74-5

Publikacja jest rozpowszechniana na zasadach licencji Creative Commons
Uznanie Autorstwa – Użycie Niekommercyjne (CC BY-NC)

Rządowy program wspierania organów prowadzących szkoły i placówki
w rozwijaniu umiejętności cyfrowych dzieci i młodzieży na lata 2025-2029
– „Cyfrowy Uczeń” (Dz.U. 2025 poz. 1254)

Ośrodek Rozwoju Edukacji

Aleje Ujazdowskie 28

00-478 Warszawa

tel. 22 345 37 00

www.ore.edu.pl

Nauka nie jest zabawą dla chłopców ani dla dziewcząt.
Jest zabawą dla wszystkich. Dotyczy tego, gdzie jesteśmy i dokąd zmierzamy.
Podróże kosmiczne przynoszą korzyści nam tutaj, na Ziemi.
I nie zamierzamy na tym poprzestać. Przed nami jeszcze wiele odkryć.

Science is not a boy's game; it's not a girl's game. It's everyone's game.
It's about where we are and where we're going.
Space travel benefits us here on Earth. And we ain't stopped yet.
There's more exploration to come.

– Nichelle Nichols, była ambasadorka NASA i aktorka serialu *Star Trek*

Spis treści

Wstęp	6
ROZDZIAŁ I. Czym jest STEM?	9
ROZDZIAŁ II. Nauczyciel jako przewodnik w STEM-owej podróży	17
ROZDZIAŁ III. Propozycje ćwiczeń, zadań i projektów STEM	29
Zamiast zakończenia	43
Bibliografia	45



Wstęp

Szkoła ponadpodstawowa to etap intensywnego dojrzewania intelektualnego, w którym młodzi ludzie przygotowują się do przekraczania kolejnych granic – edukacyjnych, zawodowych i życiowych. Uczniowie przestają jedynie poznawać świat, a zaczynają świadomie kształtować własną przyszłość. To moment, gdy podejmują decyzje – dotyczące wyboru kierunków dalszego kształcenia, rozwijania talentów, tworzenia pierwszych projektów, uczestniczenia w inicjatywach społecznych, naukowych czy startupowych. W tym czasie edukacja może stać się dla nich **paszportem**, który otwiera możliwość realnego działania, samostanowienia i świadomego poruszania się w świecie technologii, nauki i globalnych wyzwań.

Podejście **STEM** (akronim od pierwszych liter słów **Science, Technology, Engineering, Mathematics**, czyli nauka, technologia, inżynieria i matematyka) nie stanowi odrębnego przedmiotu, lecz konsekwentny sposób organizowania procesu uczenia się, w którym wiedza teoretyczna łączy się z praktyką, refleksją i projektowaniem rozwiązań. STEM wzmacnia umiejętności analityczne, krytyczne myślenie, umiejętność rozwiązywania problemów, pracę zespołową oraz kulturę projektową, czyli kompetencje, które w XXI w. pełnią funkcję nowoczesnej przepustki, umożliwiającej zarówno wejście na rynek pracy, jak i świadome uczestnictwo w świecie akademickim, naukowym, społecznym czy przedsiębiorczym.

Niniejszy poradnik został przygotowany z myślą o nauczycielach szkół ponadpodstawowych, którzy chcą prowadzić edukację w modelu STEM – niezależnie od tego, jakich przedmiotów uczą. W zamierzeniu autorek celem tej publikacji jest wspieranie w projektowaniu zajęć, które:

- łączą treści z nauk ścisłych, przyrodniczych i technologicznych;
- pozwalają uczniom badać realne zjawiska, projektować rozwiązania i analizować dane;
- budują sprawczość i kompetencje przyszłości;
- tworzą przestrzeń do pracy badawczej, eksperymentowania i interdyscyplinarnej współpracy.

Poradnik może być pomocny w:

- planowaniu lekcji łączących wiedzę teoretyczną z praktyką;
- wprowadzaniu projektów, prototypowaniu, analizie danych, modelowaniu i programowaniu;
- tworzeniu interdyscyplinarnych działań możliwych do realizacji w różnych przestrzeniach szkoły: **pracowni STEM, laboratorium, pracowni komputerowej, makerspace, terenie szkolnym czy przestrzeni społecznej**;
- świadomym korzystaniu z technologii edukacyjnych.

STEM a wymagania kształcenia w szkołach ponadpodstawowych

Obowiązujące i projektowane dokumenty programowe dla szkół średnich podkreślają, że edukacja powinna wzmacniać **kompetencje fundamentalne i przekrojowe**, w tym:

- krytyczne myślenie, umiejętność rozwiązywania problemów i analizy danych;
- kreatywność, przedsiębiorczość i kulturę projektową;
- kompetencje matematyczne, cyfrowe i techniczne;
- współpracę, komunikację i odpowiedzialność społeczną;
- umiejętność uczenia się i samodzielnego działania.

Podejście STEM jest zgodne z tymi zapisami i stanowi **praktyczne środowisko ich realizacji**: nie w formie abstrakcyjnej deklaracji, lecz w kontekście realnych projektów, badań i wyzwań, które uczniowie rozwiązują samodzielnie lub w zespołach.

Infrastruktura dla przyszłości: pracownie STEM w szkołach ponadpodstawowych

Rządowy program „**Cyfrowy Uczeń**” (**Dz.U. z 2025 r. poz. 1254**) zakłada, że w latach 2025–2029 szkoły średnie otrzymają nowoczesne wyposażenie umożliwiające prowadzenie edukacji STEM:

- dostęp do profesjonalnych pracowni STEM i makerspace;
- wsparcie dla nauczycieli w obszarze technologii edukacyjnych i rozwiązań projektowych;

- centralne zasoby dydaktyczne udostępniane na Zintegrowanej Platformie Edukacyjnej (ZPE).

Infrastruktura nigdy nie zmieni edukacji sama z siebie. To metody pracy, kultura projektowa i odpowiednio zaprojektowane zadania sprawiają, że narzędzia przestają być rekwizytami, a stają się narzędziami badania, kreowania i rozwiązywania rzeczywistych problemów.

Dlaczego STEM jest paszportem?

W projektach STEM uczniowie nie tylko zdobywają wiedzę, ale też ćwiczą, jak będą ją wykorzystywać w przyszłości. Tworzą prototypy, prowadzą analizę danych, badają zjawiska fizyczne i biologiczne, konstruują roboty, piszą algorytmy, projektują modele, testują rozwiązania energetyczne, mierzą parametry środowiskowe, analizują dane społeczne, podejmują decyzje projektowe i technologiczne. To wszystko sprawia, że edukacja jest realnym treningiem życia w świecie nauki, przedsiębiorczości i technologii.

STEM daje uczniom coś więcej niż wiedzę: kompetencje, które działają jak **paszport**, umożliwiające swobodne podróżowanie między dyscyplinami, sektorami, środowiskami i kulturą innowacji.

Dzięki temu uczniowie szkół ponadpodstawowych:

- uczą się w sposób aktywny i projektowy;
- zdobywają samodzielność, odpowiedzialność i sprawczość;
- przygotowują się do dalszego kształcenia w naukach ścisłych, technicznych i przyrodniczych;
- wchodzą w świat technologii i badań;
- rozumieją, że **innowacje zaczynają się od ciekawości, nie od gotowej wiedzy**;
- zyskują narzędzia i świadomość, które pozwalają przekraczać granice własnych możliwości i otaczającej rzeczywistości.

ROZDZIAŁ I. Czym jest STEM?

STEM to podejście edukacyjne, którego celem jest przygotowanie uczniów do funkcjonowania we współczesnym, złożonym świecie. Poprzez integrację czterech kluczowych obszarów wiedzy – nauk przyrodniczych, technologii, inżynierii i matematyki – uczniowie nie tylko zdobywają wiedzę przedmiotową, ale także rozwijają równie ważne kompetencje, takie jak umiejętność analizowania informacji, krytycznego myślenia i rozwiązywania problemów.

Terminu STEM używa się zarówno w kontekście pracy z dziećmi, młodzieżą, studentami, jak i do charakteryzowania rodzaju karier zawodowych (Marrero, Gunning, Germain-Williams, 2014).



Ilustracja 1. Akronim STEM. Opracowanie własne z wykorzystaniem programu Canva dla edukacji



Czy wiesz, że...

W latach 90. XX w. zamiast akronimu STEM amerykańska Narodowa Fundacja Nauki (National Science Foundation) używała skrótu „SMET”? Brzmienie tego akronimu było zbyt bliskie do słowa „smut” oznaczającego m.in. brud, sadzę. Wystarczyło zmienić kolejność liter... i problem został rozwiązany. Od 2011 r. używany jest akronim STEM (Donahoe, 2013; Sanders, 2009).

S – Science

„Science” oznacza obszar nauk przyrodniczych oraz sposób dochodzenia do wiedzy charakterystyczny dla tych nauk, a więc metodą badania naukowego. Jej etapami są:

- formułowanie pytań i problemów badawczych;
- stawianie hipotez;
- planowanie i prowadzenie doświadczeń, pomiarów i obserwacji;
- analiza wyników z wykorzystaniem narzędzi statystycznych i cyfrowych;
- krytyczna interpretacja danych i wyciąganie wniosków na podstawie dowodów.

W szkołach ponadpodstawowych uczniowie nie tylko obserwują zjawiska, lecz także dopasowują do nich równania, wykresy, prawa, a potem weryfikują je w kolejnych eksperymentach. Nauczyciele biologii, chemii, fizyki czy geografii mogą szczególnie wykorzystywać STEM do wzmacniania uczenia opartego na dociekaniu (Inquiry-Based Learning, IBL), w którym uczeń pracuje jak młody naukowiec: formułuje pytania, projektuje procedury, korzysta z narzędzi badawczych, a następnie prezentuje wyniki w formie raportu, plakatu, prezentacji czy artykułu.

T – Technology

W szkole ponadpodstawowej to świadome korzystanie z narzędzi cyfrowych i pomiarowych w celu zbierania, analizy i prezentacji danych oraz projektowania rozwiązań. Mogą to być m.in.:

- czujniki i interfejsy pomiarowe (temperatura, pH, natężenie światła, przyspieszenie);
- oprogramowanie do analizy danych i modelowania (arkusze kalkulacyjne, programy statystyczne, symulatory fizyczne i chemiczne);
- narzędzia CAD, programy do projektowania 3D, oprogramowanie inżynierskie (szczególnie w technikach);
- środowiska programistyczne, platformy do kodowania, roboty, mikrokontrolery;
- narzędzia do tworzenia wizualizacji danych i dokumentacji projektów (prezentacje, raporty, infografiki, portfolio cyfrowe).

Technologia w STEM w szkołach ponadpodstawowych to również świadomość wyboru narzędzia do zadania: uczniowie uczą się decydować, kiedy warto użyć arkusza kalkulacyjnego, kiedy symulatora, kiedy wykresu interaktywnego, a kiedy prostego doświadczenia z użyciem podstawowych przyrządów.

E – Engineering

W szkołach ponadpodstawowych inżynieria może wybrzmiewać szczególnie mocno – zwłaszcza w technikach, szkołach branżowych oraz liceach o profilach politechnicznych czy przyrodniczych. Choć nie funkcjonuje tam osobny przedmiot o nazwie „inżynieria”, to sposób pracy uczniów może w pełni odzwierciedlać jej rzeczywisty charakter. W praktyce oznacza to przechodzenie krok po kroku przez kolejne etapy projektowania – dokładnie tak, jak pokazuje to cykl **Engineering Design Process (EDP)**: od identyfikacji problemu, przez gromadzenie informacji, generowanie rozwiązań i tworzenie prototypów, aż po testowanie, udoskonalanie i prezentację efektów.

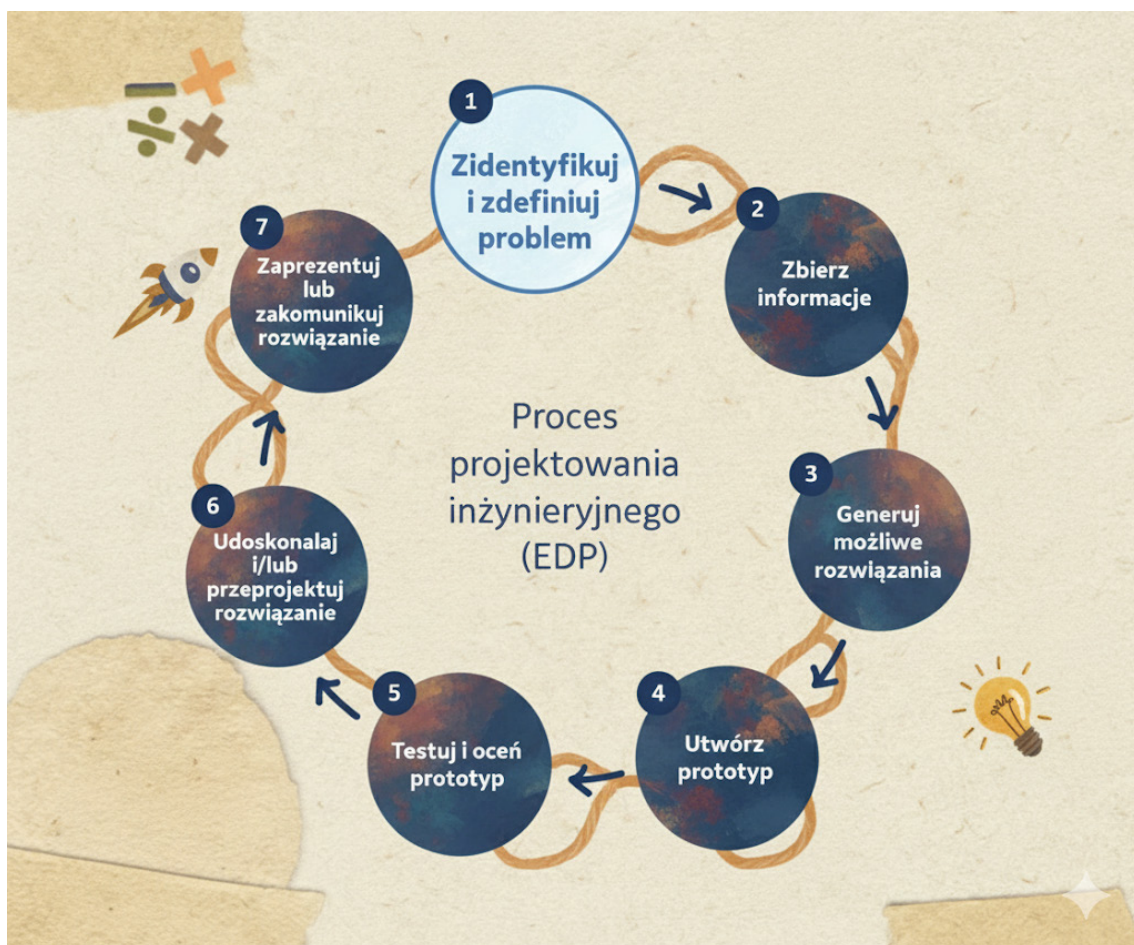
Inżynieria w STEM na tym etapie edukacyjnym naturalnie łączy się zarówno z przedmiotami ścisłymi (matematyka, fizyka), jak i zawodowymi (np. mechatronika, elektryka, budownictwo, informatyka, mechanika), a także z projektami społecznymi – szczególnie wtedy, gdy uczniowie tworzą prototypy rozwiązań dla swojej lokalnej społeczności. Taki sposób pracy pozwala im dostrzec, że projekt techniczny to podróż wieloetapowa, w której błędy, modyfikacje i po-

nowne próby są nieodłączną i wartościową częścią procesu. Grafika obrazująca EDP podkreśla tę cykliczność i konieczność powrotów do wcześniejszych etapów, co pokazuje uczniom, że inżynieria to nie jednorazowy pomysł, lecz dynamiczny proces twórczy.



Czy wiesz, że...

Engineering Design Process (EDP) to proces projektowania inżynierskiego.



Ilustracja 2. Proces projektowania inżynierskiego. Opracowanie własne z wykorzystaniem programu Canva dla edukacji

M – Mathematics

Na poziomie ponadpodstwowym matematyka coraz wyraźniej ujawnia swój charakter uniwersalnego języka opisującego świat – pozwala rozumieć zmiany, zależności, trendy, a także przewidywać skutki różnych decyzji. W środowisku STEM pełni rolę narzędzia, które pomaga porządkować dane pomiarowe pochodzące z fizyki, che-

mii, biologii czy geografii, umożliwia tworzenie modeli zjawisk za pomocą funkcji, wykresów czy – na poziomie rozszerzonym – równań różniczkowych oraz bardziej zaawansowanych metod statystycznych. Jednocześnie wspiera proces podejmowania decyzji poprzez analizę ryzyka, kosztów, efektywności i optymalnego wykorzystania zasobów, a także stanowi fundament programowania i zrozumienia działania algorytmów.

Dzięki STEM matematyka zaczyna realnie funkcjonować w inżynierii, informatyce, medycynie, ekonomii, a także w badaniach społecznych i środowiskowych, gdzie abstrakcyjne równania i wykresy zaczynają nabierać znaczenia, bo wiążą się z rzeczywistymi danymi, projektami, eksperymentami i wyborami, jakie uczniowie podejmują w trakcie działań projektowych.



Czy wiesz, że...

Coraz częściej można spotkać się również z akronimem **STEAM**. Dodana litera **A** pochodzi od słowa *arts* i obejmuje sztukę, design oraz kreatywne formy ekspresji. Pomysł rozszerzenia STEM o komponent artystyczny pojawił się w środowiskach edukacyjnych i projektowych, które zauważyły, że innowacyjność technologiczna wymaga nie tylko ścisłego myślenia, ale również wyobraźni, kreatywności i wrażliwości estetycznej. Dlatego STEAM podkreśla, że rozwiązania inżynierskie i naukowe są pełniejsze, kiedy łączą logikę z twórczością. Co ciekawe, samo dodanie litery „A” było także próbą podkreślenia, że twórczość i projektowanie nie są dodatkiem do nauki, ale jej integralnym elementem (Marrero i in., 2014; Bojarska-Sokołowska, 2024).

Podróż od teorii do działania, czyli dlaczego warto wprowadzać STEM w szkołach ponadpodstawowych

STEM dla uczniów szkół ponadpodstawowych staje się **paszportem do przyszłości**: zestawem kompetencji i sposobów myślenia, które pozwalają swobodnie poruszać się w świecie nauki, technologii i innowacji. W liceach, technikach i szkołach branżowych otwiera prze-

strzeń do rozwijania ciekawości badawczej, pracy projektowej i realnych działań o charakterze naukowym, technicznym czy społecznym. Uczniowie widzą, że matematyka, nauki przyrodnicze, technologie cyfrowe i myślenie inżynierskie tworzą wspólny język opisywania i kształtowania rzeczywistości, a równania, modele, wykresy i dane zaczynają mieć wyraźne odniesienie do projektów, decyzji i problemów, z którymi mierzą się w praktyce.

Jednocześnie praca z młodzieżą w tym wieku wymaga świadomości, że to czas intensywnych przemian rozwojowych. Nastoletni uczniowie odkrywają świat i siebie samych, są skłonni podejmować ryzyko, eksperymentować i twórczo działać – co staje się ogromnym atutem, jeśli te naturalne tendencje zostaną odpowiednio ukierunkowane. Ich energia, potrzeba działania i żywa emocjonalność mogą stać się bogatym zasobem edukacyjnym, o ile lekcje i projekty są zorganizowane tak, aby dawać im strukturę i poczucie bezpieczeństwa. W tym wieku potrafią już planować, analizować dane, prowadzić argumentacyjne dyskusje, współpracować i brać odpowiedzialność za własną naukę czy pracę zespołu.

Dlatego tak dobrze sprawdza się tu **cykl uczenia się Davida Kolba**, który opisuje proces zdobywania wiedzy jako sekwencję doświadczania, refleksji, konceptualizacji i powrotu do działania. STEM doskonale wpisuje się w tę logikę: uczniowie konstruują prototypy, testują je, analizują wyniki, formułują wnioski i wracają do kolejnych iteracji projektu. Z każdym cyklem działają coraz bardziej świadomie – nie tylko pod względem technicznym, lecz także organizacyjnym i emocjonalnym. Takie podejście sprzyja rozwijaniu samoregulacji, współpracy i komunikacji, ponieważ praca zespołowa wymaga negocjowania racji, planowania, radzenia sobie z trudnościami i wzajemnego wspierania się.

Warto przy tym pamiętać, że wiek nastoletni charakteryzuje się dużą wrażliwością na ocenę i silnym poczuciem bycia obserwowanym. Dla części uczniów niepowodzenie może wydawać się zagrożeniem dla wizerunku, a błąd – powodem do wycofania. W STEM dzięki różnorodności możliwych strategii, wariantów i rozwiązań proces uczenia staje się bezpieczny poznawczo i emocjonalnie. Nie opiera się na jednym „poprawnym wyniku”, ale na wysiłku, wielu iteracjach, re-

fleksji i zdolności do współpracy. Sukces może ujawnić się na wielu płaszczyznach: w analizie danych, w precyzji wykonania prototypu, w komunikacji, w udoskonaleniu pomysłu czy w dobrej organizacji pracy zespołowej. Trzeba pamiętać, że każda z tych form ma wartość i należy ją zauważyć.

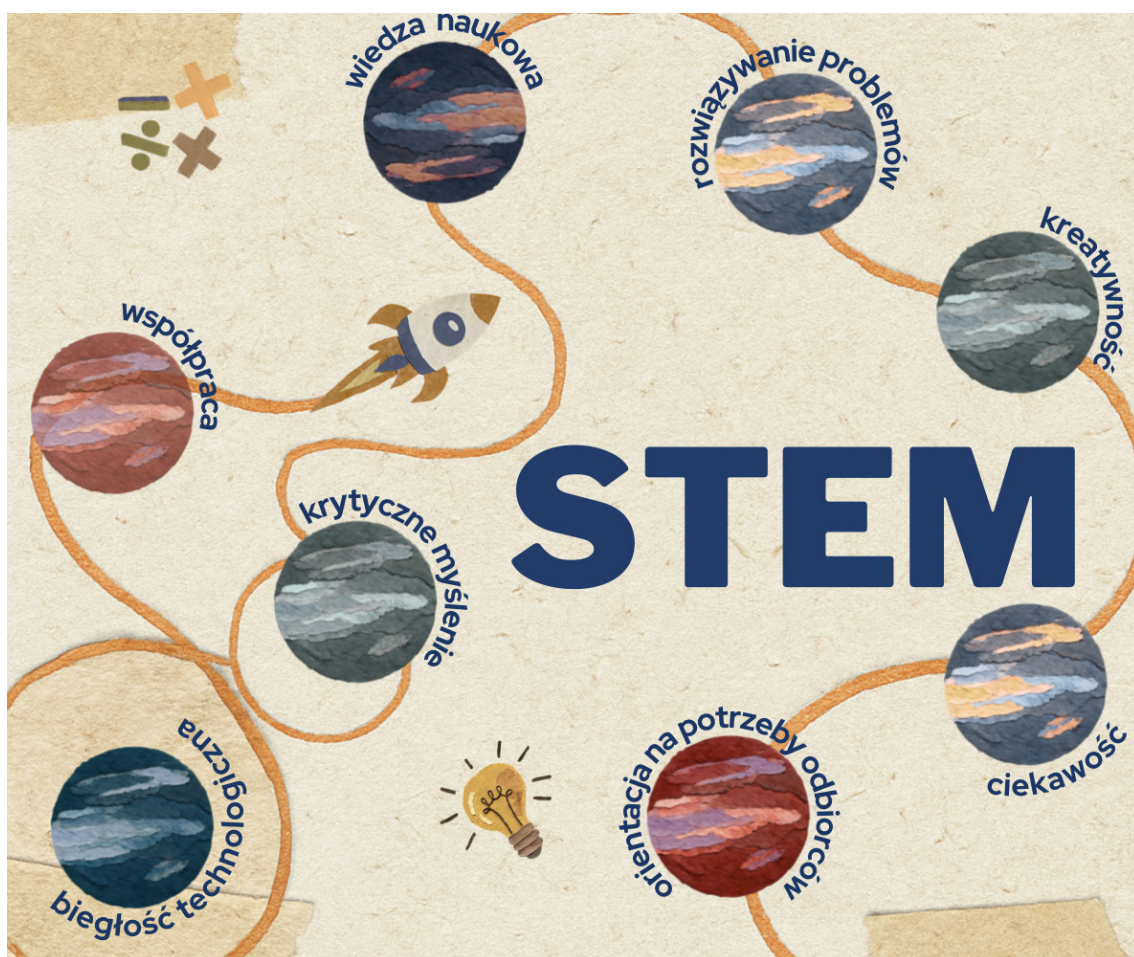
W rezultacie **STEM w szkołach ponadpodstawowych rozwija nie tylko wiedzę matematyczną, naukową czy inżynierską, lecz także odporność psychiczną i społeczną**. Uczy, że warto próbować, zadawać pytania, kwestionować, negocjować, współtworzyć i doceniać różnorodne style myślenia. Dzięki temu szkoła staje się przestrzenią, która przygotowuje młodych ludzi nie tylko do studiów i zawodów przyszłości, ale przede wszystkim do odpowiedzialnego, świadomego i twórczego udziału w świecie.

Kamienie milowe i punkty kontrolne – STEM jako droga rozwoju kompetencji kluczowych

Przeglądając materiały dotyczące edukacji STEM, znajdziemy różne listy kompetencji, które rozwijają się w trakcie takich działań. W materiałach **Arduino Education** mowa jest o sześciu fundamentalnych umiejętnościach: rozwiązywaniu problemów, myśleniu krytycznym, kreatywności, ciekawości poznawczej, myśleniu logiczno-matematycznym oraz kompetencjach inżyniersko-projektowych. Według **Indeed Editorial Team** STEM obejmuje dziesięć kluczowych kompetencji, wśród których znajdują się m.in. badania naukowe, analiza danych, rozwiązywanie problemów, kreatywność, kompetencje matematyczne, biegłość technologiczna, projektowanie w duchu design thinking, praca zespołowa, dociekliwość i orientacja na potrzeby odbiorców. Z kolei w dokumentach **Komisji Europejskiej** podkreśla się, że edukacja STEM wspiera rozwój podstawowych kompetencji i umiejętności przekrojowych, takich jak rozwiązywanie problemów, krytyczne myślenie i współpraca, stanowiących fundament nowoczesnej, interdyscyplinarnej edukacji.

Na poziomie szkoły ponadpodstawowej wszystkie te perspektywy służą przygotowaniu młodego człowieka do samodzielnego działania. STEM wyposaża uczniów w kafenię umiejętności, dzięki czemu

mogą oni wybierać własne kierunki samorealizacji. Rozwój tych umiejętności przebiega etapami, które można traktować jak kamienie milowe. Najpierw młodzi uczą się obserwować zjawiska i zadawać trafne pytania, później zaczynają projektować i testować własne rozwiązania, a z czasem przechodzą do świadomej analizy danych, oceny skuteczności działań i krytycznej refleksji nad ich konsekwencjami. Każdy projekt staje się punktem kontrolnym: sprawdzianem, na ile potrafią łączyć różne dyscypliny, współpracować, argumentować i wprowadzać zmiany w oparciu o dowody. W ten sposób **STEM staje się mapą rozwoju kompetencji**, prowadzącą od ciekawości do sprawczości, od eksperymentu do świadomego, odpowiedzialnego działania w świecie pełnym wyzwań technologicznych i społecznych.



Ilustracja 3. STEM – mapa rozwoju kompetencji. Opracowanie własne z wykorzystaniem programu Canva dla edukacji

ROZDZIAŁ II. Nauczyciel jako przewodnik w STEM-owej podróży

W szkole ponadpodstawowej rola nauczyciela w edukacji STEM jeszcze wyraźniej przesuwana się od przekazywania treści do wspierania młodych ludzi w podejmowaniu świadomych, niemal dorosłych decyzji. Uczniowie stoją tuż przed wyborem dalszej ścieżki edukacyjnej i zawodowej, przygotowują się do egzaminu maturalnego lub egzaminów branżowych, myślą o rekrutacji na studia albo o wejściu na rynek pracy. Coraz częściej mierzą się z zadaniami długoterminowymi, analizą złożonych danych, samodzielnym planowaniem pracy i swojego czasu oraz projektami zbliżonymi do wyzwań akademickich i zawodowych.

W takim środowisku **nauczyciel STEM staje się mentorem, tutorem i projektantem przestrzeni**, w której uczeń może odkryć własne możliwości.

Mentoring w szkole średniej opiera się na długotrwałej relacji, w której nauczyciel towarzyszy uczniowi w budowaniu tożsamości młodego dorosłego. Pomaga uporządkować zainteresowania i wybory, wskazuje możliwe ścieżki rozwoju, wspiera w podejmowaniu decyzji dotyczących wyboru projektów, profilu klasy czy kierunków dalszej edukacji. Taka relacja sprzyja stawianiu pytań o sens uczenia się danego przedmiotu, o związki między szkolną praktyką a „prawdziwym światem” oraz o sposoby łączenia wiedzy przedmiotowej z realnymi sytuacjami – studiami, pracą, działalnością społeczną czy przedsiębiorczością.

Obok mentoringu pojawia się **tutoring**, który może przyjmować formę indywidualnych spotkań, konsultacji projektowych lub pracy w małych zespołach. Tutor wspomaga ucznia w planowaniu większych przedsięwzięć, monitorowaniu postępów, wprowadzaniu korekt, a także w rozwijaniu strategii organizacji pracy, myślenia naukowego i zarządzania czasem. W obu podejściach najważniejszy jest dialog: nauczyciel nie występuje z pozycji wszechwiedzącego „wykładowcy”, lecz pomocnego towarzysza w drodze, który uważnie słucha i mądrze pyta.

Tak rozumiana rola jest niezwykle spójna z filozofią STEM, opartą na samodzielności, współpracy i iteracyjnym rozwiązywaniu problemów. W szkołach ponadpodstawowych nauczyciel **projektuje środowisko uczenia się**, w którym obok tradycyjnych lekcji pojawiają się projekty interdyscyplinarne, badania naukowe, koła pasji, debaty, hackathony czy konkursy techniczne. Towarzyszy uczniom w pracy badawczej i zamiast podawać gotową ścieżkę postępowania, naprowadza pytaniami, wspiera refleksję, pomaga analizować działania i wzmacnia sprawczość. Dzięki temu młodzi ludzie mogą zauważyć, że kompetencje STEM otwierają im realne możliwości wejścia w dorosłość, że potrafią zaplanować i zrealizować własne przedsięwzięcia.

W tej grupie wiekowej szczególnego znaczenia nabiera perspektywa **growth mindset (nastawienie na rozwój)** opisana przez Carol Dweck (2021). Uczniowie szkół średnich często konfrontują się z przekonaniem, że „albo jestem dobry z matematyki czy fizyki, albo nie”. Nauczyciel STEM może świadomie przeformułowywać taki sposób myślenia, przypominając, że trudność nie oznacza braku zdolności, a błąd jest jedynie informacją o potrzebie zmiany strategii, nie wyrokiem. Słowa „**jeszcze nie umiem**” otwierają przestrzeń do dalszego rozwoju, eksperymentowania i odkrywania nowych sposobów działania. W praktyce oznacza to przyzwolenie na liczne iteracje: poprawianie prototypów, modyfikowanie algorytmów, ponowne obliczenia czy zmianę koncepcji. Kiedy nauczyciel potrafi powiedzieć „tego jeszcze nie wiem, sprawdźmy to razem”, daje uczniom najcenniejszy model – postawę badacza, tak potrzebną w świecie nauki, technologii i przyszłych zawodów.

Edukacja przyrodnicza, informatyczna, techniczna i matematyczna w STEM

Edukacja przyrodnicza

Biologia, chemia, fizyka, geografia oraz – w zależności od wybranego profilu – również przedmioty zawodowe oparte na naukach przyrodniczych, takie jak ochrona środowiska, analityka, rolnictwo, medy-

cyna, kosmetologia czy gastronomia, tworzą w liceach i technikach przestrzeń do prowadzenia prawdziwej pracy badawczej. To obszar, w którym uczniowie nie tylko poznają teorię, lecz przede wszystkim odkrywają, jak nauki przyrodnicze opisują i wyjaśniają świat w jego złożoności.

W edukacji opartej na STEM i konstruktywizmie młodzi ludzie stopniowo **przejmują rolę badaczy**. Zadają własne pytania, często wynikające z obserwacji zjawisk klimatycznych, lokalnych problemów środowiskowych, zagadnień zdrowotnych czy tematów związanych z energią. Samodzielnie projektują doświadczenia i badania terenowe, korzystając przy tym z nowoczesnych narzędzi pomiarowych – od czujników i aplikacji mobilnych, przez cyfrowe mikroskopy, po szkolne stacje meteorologiczne. W toku pracy uczą się odczytywać i interpretować złożone dane: analizują wykresy, zestawienia pomiarów, serie czasowe czy dane przestrzenne, a następnie konfrontują własne obserwacje z literaturą naukową i dostępnymi bazami źródłowymi.

Celem tak rozumianej edukacji jest zrozumienie, jak nauka pozwala opisywać procesy zachodzące w świecie – zarówno w mikroskali komórki i organizmu, jak i w szerokiej perspektywie ekosystemów, populacji czy globalnych zmian środowiskowych. Dzięki temu STEM rozwija myślenie naukowe, uczy krytycznego patrzenia na dane i przygotowuje uczniów do pracy badawczej na studiach, ale także do odpowiedzialnego uczestniczenia w debacie publicznej dotyczącej zdrowia, energii czy przyszłości planety.

Edukacja informatyczna

W szkołach ponadpodstawowych edukacja informatyczna obejmuje zarówno **rozwijanie myślenia komputacyjnego**, jak i **pracę z zaawansowanymi narzędziami cyfrowymi**: językami programowania, bazami danych, arkuszami kalkulacyjnymi, środowiskami analitycznymi, projektowymi oraz symulacyjnymi. To etap, na którym uczniowie nie tylko poznają narzędzia, lecz zaczynają wykorzystywać je w sposób zbliżony do praktyk inżynierskich, badawczych czy biznesowych.

W duchu STEM kompetencje informatyczne stają się integralną częścią pracy w różnych obszarach. W fizyce i chemii służą do analizy danych pomiarowych i tworzenia symulacji zjawisk, w biologii i geografii do pracy z bazami danych, modelami ekologicznymi czy wizualizacją danych przestrzennych. W matematyce wspierają modelowanie i obliczenia numeryczne, a w przedmiotach zawodowych umożliwiają programowanie sterowników, projektowanie układów, analizę procesów czy podejmowanie decyzji opartych na danych.

Myślenie komputacyjne – rozumiane jako umiejętność dekompozycji problemu, dostrzegania wzorców, budowania algorytmów, upraszczania informacji oraz testowania i poprawiania rozwiązań – może być na tym etapie rozwijane w kontekstach znacznie bliższych realnym wyzwaniom technologii i rynku pracy. Uczniowie zajmują się analizą danych eksperymentalnych, optymalizacją kodu, projektowaniem aplikacji, a także automatyzacją procesów, co nadaje ich pracy autentyczny wymiar praktyczny.

Dzięki temu informatyka staje się językiem opisu i działania, narzędziem pracy badacza, inżyniera, analityka, projektanta czy przedsiębiorcy. W środowisku edukacyjnym opartym na STEM jest nie tyle celem samym w sobie, ile kompetencją przekrojową, która pozwala łączyć wiedzę z różnych dziedzin i przekształcać ją w rzeczywiste rozwiązania. Uczniowie mogą analizować budowę urządzeń, rozpoznawać elementy elektroniczne i zadawać pytania „jak to działa?”. Dzięki temu cyfrowe środowisko wspiera rozwój kreatywności, myślenia komputacyjnego i inżynierskiego, a równocześnie zachęca do odkrywania technologii „od środka”.

Edukacja techniczna

W technikach i szkołach branżowych STEM naturalnie splata się z kształceniem zawodowym, ponieważ to właśnie tam uczniowie najczęściej pracują w warunkach zbliżonych do realnego środowiska technicznego. Projektują, budują i testują urządzenia, instalacje, układy elektroniczne czy konstrukcje budowlane; tworzą systemy mechatroniczne, diagnozują je i usprawniają. Na co dzień pracują z dokumentacją techniczną, normami i schematami, uczą się plano-

wania procesów, wdrażania rozwiązań oraz ich doskonalenia pod kątem bezpieczeństwa, jakości i efektywności. Dzięki temu edukacja techniczna staje się próbą generalną przed funkcjonowaniem w świecie zawodów inżynierskich.

W liceach, choć nie jest zapisana w postaci odrębnych kwalifikacji, edukacja techniczna może przyjmować formę projektów inżynierskich, prac zespołów konstruktorskich, kół robotycznych czy udziału w konkursach i olimpiadach. To przestrzeń, w których STEM nadaje działaniom wyraźną strukturę: rozpoczyna się od pytania i analizy potrzeby, przechodzi przez etap projektowania i budowania prototypów, prowadzi do testowania, wprowadzania iteracji i kończy się prezentacją wyników. Uczniowie doświadczają w praktyce, że proces inżynierski jest drogą wymagającą prób, błędów i ulepszania koncepcji.



Ilustracja 4. Na zdjęciach widać różne sposoby wykorzystania technologii w działaniach STEM: uczniowie pracują z tabletami, komputerami oraz płytkami typu Makey Makey i micro:bit, które umożliwiają tworzenie interaktywnych projektów. Autorka: Karolina Żelazowska-Byczkowska CC-BY-SA

Tak rozumiana edukacja techniczna rozwija kompetencje niezbędne w nowoczesnych zawodach. Uczy myślenia inżynierskiego, w którym każdy projekt staje się systemem zależności, a każde rozwiązanie musi zostać uzasadnione dowodami i obliczeniami. Sprzyja rozwijaniu pracy zespołowej i odpowiedzialności za wspólny efekt. Wzmacnia myślenie systemowe, czyli zdolność do dostrzegania, jak poszczególne elementy projektu wpływają na całość. Uczy też odpowiedzialności za bezpieczeństwo i jakość, które – podobnie jak kreatywność czy innowacyjność – są kluczowe w świecie inżynierii i technologii.

Edukacja matematyczna

W szkołach ponadpodstawowych matematyka wchodzi na poziom bardziej złożonych struktur: funkcji, ciągów, rachunku prawdopodobieństwa, statystyki i elementów analizy. Na profilach rozszerzonych staje się przygotowaniem do studiowania nauk ścisłych, technicznych, ekonomicznych czy przyrodniczych, a więc dziedzin, w których precyzyjny język matematyki jest podstawowym narzędziem pracy.

W perspektywie STEM matematyka przestaje być wyłącznie szkolnym przedmiotem, a zaczyna pełnić rolę wspólnego języka opisu zjawisk i procesów. Pozwala modelować zmiany zachodzące w czasie – zarówno wzrosty wykładnicze, jak i procesy losowe – oraz analizować dane w sposób, który przypomina pracę nad rzeczywistymi raportami. Uczniowie uczą się, jak korzystać ze średnich, median, odchyłeń i korelacji, aby wyciągać wnioski oparte na faktach, nie na intuicji. Matematyka staje się tu także **narzędziem projektowym**: wspiera obliczenia wytrzymałościowe, optymalizację działań, szacowanie kosztów czy analizę ryzyka, czyli elementy niezbędne w projektach inżynierskich i badawczych.

W środowisku STEM uczniowie mają możliwość tworzenia własnych modeli matematycznych opisujących rzeczywiste zjawiska – od procesów epidemiologicznych i ekologicznych po zagadnienia finansowe. Analizują dane z własnych badań lub z otwartych baz, korzystają z narzędzi cyfrowych do obliczeń i wizualizacji, a dzięki temu widzą, że abstrakcyjne wzory mają bezpośrednie przełożenie na świat,

w którym żyją. Tak prowadzona edukacja staje się przepustką do rozumienia rzeczywistości, narzędziem badawczym i kapitałem, który otwiera drogę do wielu kierunków studiów i zawodów przyszłości.

STEM jako przestrzeń rozwoju samodzielności i kultury badawczej

W szkołach ponadpodstawowych uczniowie **stają u progu dorosłości**. To moment, w którym edukacja STEM może w pełni stworzyć środowisko kształtujące odpowiedzialność, samodzielność i świadome podejście do wiedzy.

Projekty uczniowskie zyskują rangę rzeczywistych przedsięwzięć. Wymagają planowania, uzasadniania decyzji, pracy etapowej oraz prezentowania wyników przed konkretnymi odbiorcami – czy to rówieśnikami, czy przedstawicielami uczelni, firm lub instytucji. Kultura projektowa łączy się tu z kulturą badawczą, w której dokumentacja procesu, refleksja i umiejętność krytycznej oceny własnych działań stają się równie ważne jak sam wynik.

Rola nauczyciela polega na **tworzeniu warunków, w których uczniowie mogą stopniowo przejmować inicjatywę**. Mentor pomaga im zaplanować długofalowe działania, dba o to, by nie tracili z oczu celu, oraz wspiera ich w dokumentowaniu drogi aby umożliwić im zrozumienie własnych strategii uczenia się.

Szczególnego znaczenia nabiera przestrzeń uczenia się. Różnorodność miejsc – od klasycznych laboratoriów przyrodniczych, pracowni informatycznych i zawodowych, po makerspace, strefy prototypowania czy miejsca wyciszonej pracy projektowej – pozwala uczniom dobierać środowisko adekwatne do podejmowanego zadania. Ważnym elementem staje się również kontakt ze światem zewnętrznym: uczelniami, firmami, instytutami badawczymi czy organizacjami społecznymi, dzięki którym projekty zyskują realny kontekst i sens.

W tak projektowanej edukacji uczniowie mogą świadomie testować różne role: badacza, projektanta, lidera, analityka czy twórcy. Uczą się rozpoznawać własne potrzeby, preferencje i strategie działania,

co buduje ich metapoznanie i sprzyja dojrzewaniu do odpowiedzialnych decyzji edukacyjnych i zawodowych. Jednocześnie doświadczają realnego wpływu swoich działań – zarówno na życie szkoły, jak i na lokalną społeczność. Zyskują poczucie, że potrafią zaplanować, zrealizować i obronić przedsięwzięcie, które ma znaczenie. A to właśnie fundament kultury badawczej i jeden z najważniejszych efektów edukacji STEM na poziomie ponadpodstawowym.

Etapy wdrażania STEM w pracy nauczyciela – od pierwszych kroków do własnej wyprawy

Droga nauczyciela STEM może być rozumiana jako proces dojrzewania zawodowego: od osoby korzystającej z gotowych scenariuszy, po refleksyjnego twórcę środowiska edukacyjnego, który świadomie kształtuje kulturę uczenia się. Ten rozwój oznacza przyjęcie paradygmatu zakładającego, że kreatywność, uważność i refleksyjność stają się centralnymi wartościami w pracy pedagogicznej (Perkowska-Klejman, 2015).

Na początku nauczyciel przypomina **podróżnika, który wyrusza w pierwszą wyprawę z mapą i gotowym przewodnikiem**. Korzysta z zewnętrznych materiałów, ma potrzebę trzymania się ustalonego planu, dba o to, aby uczniowie bezpiecznie przeszli przez kolejne etapy doświadczenia, a każdy błąd postrzega raczej jako trudność, a nie element naturalnej eksploracji. Jest to faza, w której dominuje logika kontroli, przewidywalności i realizacji programu – niczym pierwsze loty orbitalne, które nie wykraczają daleko poza zaplanowaną trasę. Jednak kiedy nauczyciel zaczyna dostrzegać, że edukacja to nie tylko realizacja instrukcji, ale odkrywanie nieznanego, otwiera się przed nim możliwość wyruszenia dalej, poza rutynę.

W drugiej fazie nauczyciel **zaczyna zmieniać kurs**, modyfikuje scenariusze, uwzględniając potrzeby klasy i zainteresowania uczniów. Lekcje częściej rozpoczynają się od realnego problemu, kontekstu kulturowego lub pytania badawczego, a młodzi zyskują większą autonomię w wyborze metod, narzędzi i sposobów prezentacji rezultatów. To pierwszy krok ku przekształceniu klasy w społeczność badawczą, w której uczniowie nie tylko wykonują zadania, ale współtworzą

przebieg działań, przejmują odpowiedzialność i uważnie obserwują skutki swoich decyzji.

Kolejny poziom rozwoju to etap, w którym nauczyciel **staje się projektantem wypraw: planuje moduły, wieloetapowe projekty i interdyscyplinarne działania**, uwzględniające cele, zasoby i możliwości szkoły. Współpracuje z innymi nauczycielami, łączy przedmioty, tworzy doświadczenia wychodzące poza jedną klasę czy jedną dyscyplinę, a uczniowskie aktywności stają się częścią dłuższego procesu: badania, tworzenia, testowania, refleksji i ponownego działania. W takiej kulturze edukacji rola nauczyciela przypomina **dowódcę misji lub przewodnika wyprawy naukowej** – nie steruje on każdym ruchem zespołu, ale tworzy warunki do eksploracji, stawia pytania i wspiera proces odkrywania, dbając o bezpieczeństwo i strukturę całej wyprawy.

Jako **refleksyjny praktyk** nauczyciel systematycznie analizuje własną pracę, język, sposób udzielania informacji zwrotnej oraz podejmowane decyzje dydaktyczne. Zachęca uczniów do dokumentowania własnych działań, prowadzenia portfolio i dzienników badawczych, wspiera autorefleksję oraz moderuje dyskusje i debaty, dzięki czemu powstaje kultura dialogu, argumentacji i pracy z danymi. W takiej rzeczywistości szkolnej uczniowie dojrzewają jak młodzi podróżnicy, którzy przygotowują się do dorosłych wypraw: są uważni, krytyczni, twórcy i gotowi do odpowiedzialnego działania.

Perkowska-Klejman (2015) podkreśla, że pedagogika refleksyjna odrzuca instrumentalne rozumienie nauczania – redukujące edukację do przekazywania gotowej wiedzy – na rzecz modelu, w którym nauczyciel i uczeń są współtwórcami procesu. Oznacza to, że nauczyciel nie ogranicza się do przekazu umiejętności; pomaga uczniowi budować własną tożsamość osoby uczącej się, poszukującej i myślącej. To zmiana paradygmatu: uczenie nie jest „transportem wiedzy z punktu A do punktu B”, ale wspólną eksploracją, która wytwarza sens i zrozumienie.

W kontekście STEM ten model nabiera wyjątkowego znaczenia. W świecie szybkich technologicznych zmian, złożonych wyzwań środowiskowych i nieustannie zmieniającego się rynku pracy najwięk-

szą wartością staje się umiejętność myślenia krytycznego, refleksji, twórczego projektowania rozwiązań i samodzielnego prowadzenia badań. Nauczyciel-mentor, który potrafi powiedzieć „tego jeszcze nie wiem, sprawdźmy to wspólnie”, nie tylko przekazuje wiedzę, ale też kształtuje postawę badacza. Uczy, że niepewność nie jest brakiem kompetencji, lecz naturalnym etapem odkrywania. Tak jak w kosmicznej wyprawie, najistotniejsza jest zdolność do nawigowania w nieznanym, a nie gotowe odpowiedzi spisane w atlasie.

STEM-MAPA

nauczyciela szkoły ponadpodstawowej



Praktykuję odwagę edukacyjną – dopuszczam własną niewiedzę, pozwalam uczniom (i sobie) próbować, popełniać błędy i szukać własnych rozwiązań.



Przekazuję kontrolę tam, gdzie to możliwe – dbam o przestrzeń na eksperyment, błąd, zmianę kierunku i naturalną nieprzewidywalność procesu uczenia się.



Jestem uczestnikiem podróży – uczniowskie projekty STEM są także okazją do mojego rozwoju zawodowego i osobistego.



Zaawansowany praktyk – projektuję środowisko sprzyjające współpracy, analizie i samodzielnemu rozwiązywaniu problemów.

Ilustracja 5. STEM-mapa nauczyciela szkoły ponadpodstawowej. Opracowanie własne z wykorzystaniem programu Canva dla edukacji

Tak rozumiana podróż nauczyciela jest przemianą, która realnie wpływa na klimat szkoły i kulturę jej pracy. Tworzy środowisko, w którym uczenie się jest wspólnym przedsięwzięciem, a odpowiedzialność, kreatywność i refleksyjność stają się naturalnym elementem codzienności. W efekcie szkoła przestaje być tylko budynkiem: staje się bazą wypraw, w której każda nowa lekcja to kolejna misja, a kompetencje uczniów rosną jak zasoby zdobywane w edukacyjnym wszechświecie. Uczniowie nie tylko nabywają „umiejętności szkolne”, lecz także otrzymują **paszport do przyszłości**: dokument, który przygotowuje ich do samodzielnego eksplorowania nieznanych obszarów wiedzy, pracy i życia.

Program „Cyfrowy Uczeń” pozwala szkołom tworzyć nową jakość przestrzeni edukacyjnej – realną, nowoczesną i silnie osadzoną w działaniu. Dzięki finansowaniu i standardom wyposażenia szkoła może dysponować kilkoma wyspecjalizowanymi przestrzeniami, które stają się stacjami na trasie uczniowskiej wyprawy. Pracownia STEM do projektowania i prototypowania to miejsce pracy z laptopami, drukarką 3D, ploterem laserowym, skanerem 3D, długopisami 3D, zestawami mikrokontrolerów, stacjami lutowniczymi, klockami mechanicznymi oraz mikroskopami elektronicznymi. Tu uczniowie mogą przejść pełen cykl: od szkicu i modelu cyfrowego, przez prototyp, aż po testowanie i dokumentowanie wyników na monitorze interaktywnym.

Pracownia STEM do konstruowania i programowania robotów wyposaża szkołę w laptopy, tablety, programowalne zestawy robotyczne, kontrolery z czujnikami, multimetry i precyzyjne narzędzia, co umożliwia budowanie i programowanie robotów, pomiary elektryczne i tworzenie własnych układów sterowania. Z kolei przyrodnicza pracownia STEM staje się laboratorium badawczym: laptopy, tablety, przenośne urządzenia pomiarowe z zestawem czujników (temperatura, światło, pH, tlen, CO₂, dźwięk, ruch), mikroskopy cyfrowe, spektrometr, drukarka 3D, oprogramowanie edukacyjne oraz urządzenia do pracy w wirtualnej rzeczywistości pozwalają projektować doświadczenia terenowe i laboratoryjne, przenosić je do świata danych i modeli, a następnie analizować wyniki na monitorze interaktywnym.

W tak wyposażonej szkole „pracownia”, „makerspace” i „laboratorium przyrodnicze” stają się różnymi trybami pracy uczniów: począwszy od szybkiego prototypowania, przez programowanie i robotykę, po badania przyrodnicze wspierane pomiarami cyfrowymi. Nauczyciel – niezależnie od etapu rozwoju zawodowego – może świadomie korzystać z tych przestrzeni. Początkujący sięga po gotowe scenariusze i materiały dostarczane z zestawami, bardziej zaawansowany samodzielnie projektuje zadania wykorzystujące druk 3D, mikrokontrolery, czujniki czy mikroskopy, a refleksyjny praktyk przekształca całą szkołę w spójny ekosystem STEM, w którym sprzęt z programu „Cyfrowy Uczeń” staje się narzędziem do rozwijania sprawczości i podmiotowości uczniów, a nie celem samym w sobie.

ROZDZIAŁ III. Propozycje ćwiczeń, zadań i projektów STEM

Aktywności STEM zaplanowane dla uczniów szkół ponadpodstawowych – takie jak analiza globalnego kryzysu wodnego, projektowanie stabilnych konstrukcji odpornych na wiatr czy tworzenie złożonych maszyn Goldberga i narzędzi chwytających – pozwalają młodzieży pracować w sposób bliski rzeczywistym wyzwaniom naukowym i technicznym. Każde z proponowanych działań zaprasza uczniów do zmierzenia się z innym typem problemu: od globalnych procesów środowiskowych, przez prawa fizyki rządzące konstrukcjami, po precyzyjne mechanizmy i narzędzia wykorzystywane w robotyce czy medycynie:

- W projekcie dotyczącym wody uczniowie śledzą realne dane, budują hipotezy i poszukują technologicznych sposobów na poprawę jakości życia społeczności dotkniętych niedoborami.
- W zadaniu o wieży mierzą się z pytaniem o stabilność konstrukcji i odkrywają, jak działania wiatru przekładają się na projektowanie architektury.
- W pracy nad maszynami Goldberga uczą się planować sekwencje energii i ruchu, a badając skuteczność narzędzi chwytających – poznają fizyczne i mechaniczne zasady odpowiedzialne za precyzję działania urządzeń stosowanych w wielu nowoczesnych zawodach.

Wspólnym mianownikiem tych aktywności jest także kultura iteracji, czyli sposób myślenia i działania, w którym proces uczenia się opiera się na powtarzalnych cyklach prób, analizy i ulepszania, a nie na dążeniu do idealnego efektu za pierwszym razem. Uczniowie uczą się, że prototyp może wymagać wielu poprawek, że konstrukcja może się przewrócić, a maszyna zatrzymać w połowie działania – i że właśnie z takich sytuacji płynie najwięcej nauki. To doświadczenie wzmacnia ich zdolność do uczenia się na własnych błędach, rozwija odporność psychiczną i uczy świadomego myślenia o procesie, a nie tylko o wyniku.

Etap prototypowania daje uczniom możliwość wchodzenia w rolę osób, które potrafią analizować rzeczywistość, tworzyć rozwiązania, testować je i argumentować swoje wybory. STEM staje się dla nich

przestrzeni, w której mogą budować kompetencje potrzebne w dorosłym świecie: od krytycznego myślenia, przez umiejętność pracy projektowej, po odpowiedzialność za własne decyzje i ich konsekwencje. W ten sposób szkoła staje się miejscem, gdzie młodzi ludzie nie tylko poznają świat, lecz także uczą się wpływać na jego kształt.

Globalny kryzys wody – od analizy do działania

Potrzebne materiały:

- materiał o wybranej organizacji, która działa na rzecz zapewnienia wody społecznościom;
- wybrany materiał ze Zintegrowanej Platformy Edukacyjnej (zpe.gov.pl), np.:
 - [„Inicjatywy na rzecz pokoju, demokracji i praw człowieka”](#),
 - [„Jak ratować środowisko”](#),
 - [„Cele zrównoważonego rozwoju”](#);
- fakty o stanie wód (dane na styczeń 2025 r.; Organizacja Narodów Zjednoczonych, 2025).

Opis aktywności:

Zajęcia rozpoczynają się od omówienia skali globalnego kryzysu wodnego. Nauczyciel podkreśla, że dostęp do bezpiecznej wody pitnej, spełniającej normy sanitarne i zdrowotne, jest uznanym międzynarodowo prawem człowieka oraz jednym z kluczowych warunków zdrowia i godnego życia, a jednak – według danych Organizacji Narodów Zjednoczonych (2025) – aż 2,2 miliarda ludzi nadal pozostaje go pozbawionych. Ta informacja staje się pierwszą „daną”, która staje się impulsem do dalszych poszukiwań i punktem wyjścia do postawienia pytania problemowego: **„jak możemy wykorzystać naukę, technologię, inżynierię i analizę danych, aby zaprojektować rozwiązania wspierające dostęp do bezpiecznej wody?”**.

Dalsza praca polega na poszukiwaniu wiedzy, dzięki której uczniowie mogą sformułować hipotezy wyjaśniające mechanizmy kryzysu. **Analizują dane** dotyczące globalnych zasobów wodnych, czynników prowadzących do ich wyczerpywania, jakości wody w różnych regionach oraz lokalnych systemów zaopatrzenia. Jednocześnie odkrywają, skąd pochodzi woda, którą sami piją, oraz co sprawia, że mogą ją

uznać za bezpieczną. W efekcie ich **hipotezy mogą dotyczyć zarówno przyczyn deficytu wody, jak i potencjalnych sposobów przeciwdziałania jego skutkom.**

Na tej podstawie uczniowie **budują plan badawczy**, który prowadzi ich w stronę projektowania rozwiązania. W małych zespołach określają, jakie dane są im jeszcze potrzebne, które technologie mogą okazać się pomocne, jakie ograniczenia muszą wziąć pod uwagę oraz komu ma służyć proponowane rozwiązanie. W tym momencie **wykorzystują wiedzę z zakresu nauk przyrodniczych, chemii, geografii, informatyki i inżynierii**, aby zaplanować działanie oparte na faktach, analizie i przewidywaniu konsekwencji.

Kiedy plan jest gotowy, uczniowie przechodzą do realizacji doświadczenia badawczego, którym w ich przypadku staje się projektowanie i tworzenie prototypu rozwiązania. Mogą to być modele filtrów wodnych, systemów retencji, aplikacji monitorujących jakość wody, urządzeń internetu rzeczy (ang. Internet of Things, IoT) czy makiet pokazujących działanie instalacji uzdatniających. **Prototyp** nie jest celem samym w sobie – ma pomóc sprawdzić, czy założenia formułowane w hipotezach są trafne, a zastosowana technologia rzeczywiście odpowiada na postawiony problem.

Następnie uczniowie oceniają, na ile projekt odpowiada na potrzeby użytkowników, jakie ograniczenia wynikają z dostępnych materiałów i infrastruktury oraz jakie konsekwencje środowiskowe może mieć jego wdrożenie. Ten etap przypomina **analizę eksperymentu naukowego**, w której liczą się nie tylko dane, lecz także umiejętność ich interpretacji.

Ostatnim krokiem jest **sformułowanie wniosków i rekomendacji** do dalszych działań. Uczniowie zastanawiają się, jak ich pomysły można wykorzystać w skali lokalnej oraz jakie realne kroki można podjąć, by poprawić sytuację w ich własnym otoczeniu. Tworzą krótki plan działania skierowany do społeczności szkolnej lub lokalnej, obejmujący edukację, zmianę nawyków konsumenckich, monitoring jakości wody, współpracę z organizacjami ekologicznymi lub wdrażanie rozwiązań inżynierskich w małej skali.

W **podsumowaniu** dostrzegają również, że współczesne technologie – w tym systemy sztucznej inteligencji – wymagają dużych ilości wody do chłodzenia serwerów, co stawia przed nimi nowe wyzwania w zakresie odpowiedzialności technologicznej. Dzięki temu rozumieją, że ochrona zasobów wodnych nie kończy się na działaniach lokalnych, lecz wiąże się także z globalnymi decyzjami dotyczącymi rozwoju technologii.

Elementy myślenia matematycznego i komputacyjnego:

Elementy myślenia matematycznego:

- analiza danych liczbowych (np. odsetek populacji bez dostępu do wody, zużycie wody na osobę);
- porównywanie wielkości, skal i proporcji (różnice regionalne, skala globalna i lokalna);
- interpretacja wykresów i tabel;
- szacowanie skutków (np. jak zmiana zużycia wody wpływa na dostępność zasobów).

Elementy myślenia komputacyjnego:

- praca na zbiorach danych (wyszukiwanie, selekcja, porządkowanie informacji);
- dekompozycja problemu (rozdzielenie kryzysu wodnego na przyczyny: klimatyczne, infrastrukturalne, społeczne);
- modelowanie rozwiązań (schemat systemu filtracji, retencji, monitoringu);
- projektowanie algorytmu działania (np. „jeśli jakość wody spada, to uruchom filtr/alarm”).

Możliwość modyfikacji aktywności zgodnie z etapami Design Thinking:



Czy wiesz, że...

Design Thinking to metoda projektowania, która skupia się na rozwiązaniu problemów użytkowników i zapewnieniu im pozytywnych doświadczeń dzięki twórczemu procesowi projektowania.

Proces projektowania metodą Design Thinking jest prowadzony z perspektywy użytkownika lub odbiorcy naszego produktu lub innowacji. Design Thinking składa się z kilku etapów, w tym zrozumieniu potrzeb, motywacji, problemów, emocji i zachowań użytkowników, definiowanie problemu, generowania pomysłów, prototypowania i testowania rozwiązań. Metoda ta ma na celu wykorzystanie kreatywności, empatii i współpracy w celu opracowania innowacyjnych rozwiązań, które są dopasowane do rzeczywistych potrzeb użytkowników.



Czy wiesz, że...

STEM i [Design Thinking](#) mają wiele wspólnych cech, takich jak nacisk na rozwiązywanie problemów, eksperymentowanie (testowanie), innowacyjność, współpracę interdyscyplinarną (zwłaszcza z elementami sztuki/humanistyki w STEM – STEAM), wizualizację, iteracyjność i koncentrację na użytkowniku/człowieku. Łączy je też podejście „hands-on”.

Wieża w mieście wiatrów

Potrzebne materiały:

- 4 arkusze A4,
- 2 m taśmy malarskiej,
- metalowy krążek lub podkładka o średnicy 5 cm i wadze ok. 40–55 g,
- wentylator z regulacją prędkości ,
- linijka,
- taśma miernicza (min. 3,5 m),
- nożyczki.

Opis aktywności:

Nauczyciel rozpoczyna zajęcia, odwołując się do przykładów współczesnej architektury, które pokazują, jak istotna jest stabilność wysokich konstrukcji.

W 2010 r. w Dubaju otwarto Burdż Chalifa – najwyższy budynek świata, wysoki na ponad 800 m. Powstał on w miejscu narażonym na sil-

ne pustynne wiatry, co skłania do refleksji nad tym, jak konstrukcja o tak imponującej wysokości może zachować stabilność.

Podobne wyzwania towarzyszyły budowie Shanghai Tower, której spiralny kształt zmniejsza obciążenie wywołane wiatrem i pozwolił znacznie ograniczyć koszty materiałowe. Wieża mierzy przeszło 600 m, ma 128 pięter i musi wytrzymać intensywne podmuchy powietrza działające na nią z wielu stron.

Wprowadzenie tych przykładów prowadzi do postawienia uczniom pytania problemowego: **„jak zaprojektować wieżę, aby była stabilna i odporna na silny wiatr?”**. Uczestnicy otrzymują wyzwanie polegające na zbudowaniu wieży z 4 arkuszy papieru i 2 m taśmy. Konstrukcja powinna utrzymać metalową podkładkę na wysokości minimum 35 cm nad podłożem i być wolnostojąca. Uczniowie mogą modyfikować swoje pomysły, wymieniając materiały na nowe i testując kolejne rozwiązania.

Testowanie odbywa się przy użyciu wentylatora ustawionego na podłodze. Każda konstrukcja jest początkowo umieszczana w odległości około 3 m od urządzenia, a następnie stopniowo przesuwana bliżej, aż zacznie reagować na podmuchy. Uczniowie notują odległość, przy której ich wieża po raz pierwszy traci stabilność, co pozwala porównać skuteczność różnych projektów.

Podczas tej aktywności pojawią się pojęcia związane z działaniem sił na budynki, takie jak **siła boczna** czy **obciążenie wiatrem**. W naturalny sposób nawiązuje to do rzeczywistych metod badawczych, takich jak **testy w tunelu aerodynamicznym**, które inżynierowie wykorzystują do analizy przepływu powietrza wokół konstrukcji. Projektanci korzystają z matematyki, symulacji komputerowych i specjalistycznych modeli, aby ocenić wpływ wiatru na budynek oraz dobrać rozwiązania, które pozwolą mu bezpiecznie kołysać się przy zachowaniu stabilności.

Podsumowując pracę, uczniowie opisują, jak planowali swoją wieżę, jakie czynniki uwzględnili i jak przebiegł pierwszy test. Zastanawiają się również, jakie zmiany wprowadzili w projekcie oraz dlaczego były one konieczne. Cały proces pozwala im lepiej zrozumieć, jak prze-

biega praca inżynierów projektujących wysokośćiowce – **od analizy problemu, przez testowanie rozwiązań, aż po ich udoskonalanie.**

W zależności od potrzeb grupy zajęcia można modyfikować, zmieniając liczbę dostępnych materiałów, wysokość wymaganej konstrukcji, rodzaj papieru czy siłę wiatru podczas testów. Dzięki takim wariantom uczniowie mogą głębiej badać, jak różne parametry wpływają na stabilność konstrukcji.

Elementy myślenia matematycznego i komputacyjnego:

Elementy myślenia matematycznego:

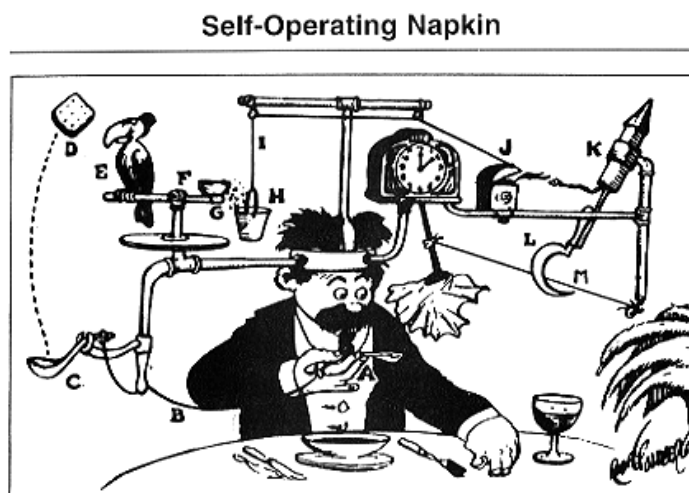
- pomiar wysokości konstrukcji i odległości od wentylatora;
- porównywanie wyników (odległość krytyczna a stabilność);
- analiza zależności między wysokością a odpornością na wiatr;
- tworzenie prostych zestawień tabelarycznych i wykresów.

Elementy myślenia komputacyjnego:

- iteracyjne testowanie i modyfikowanie konstrukcji;
- analiza przyczyn awarii (debugowanie konstrukcji);
- optymalizacja projektu przy stałych ograniczeniach materiałowych.

Maszyna Goldberga jako projekt badawczy STEM

Maszyna Rube’a Goldberga to celowo skomplikowany układ urządzeń lub reakcji następujących po sobie, podobnych do domina, który prowadzi do wykonania bardzo prostej czynności. Nazwa wywodzi się od amerykańskiego ilustratora i wynalazcy, tworzącego humorystyczne rysunki złożonych konstrukcji z elementów codziennego użytku. W jego ujęciu takie maszyny symbolizowały ludzką skłonność do wkładania ogromnego wysiłku w osiągnięcie niewielkiego rezultatu. Goldberg twierdził, że wiele osób wybiera drogę bardziej skomplikowaną, mimo że istnieje rozwiązanie szybsze i mniej pracochłonne.



Ilustracja 6. Rysunek Rube'a Goldberga, opublikowany oryginalnie w „Collier's” 26.09.1931, commons.wikimedia.org



Czy wiesz, że...

W kontekście **STEM** maszyny Goldberga są atrakcyjnym przykładem **myślenia systemowego, zależności przyczynowo-skutkowych, praw fizyki w działaniu** oraz **inżynierskiego projektowania**. Nauka, technologia, inżynieria i matematyka łączą się w jednym procesie – od pomysłu, przez projekt, po testowanie i analizę działania układu.

Potrzebne materiały:

- taśma,
- sznurek,
- kubki papierowe,
- trytytki,
- kulka szklana,
- patyczki laryngologiczne,
- domino,
- kartki A4,
- tuby tekturowe,
- gumki recepturki,
- łyżki plastikowe,
- sprężynki,
- spinacze.

Opis aktywności:

Projekt nad maszyną Goldberga rozpoczyna się od analizy szeregu zjawisk i mechanizmów fizycznych, które odgrywają kluczową rolę w konstruowaniu tego typu urządzeń. Uczniowie obserwują przykłady reakcji łańcuchowych i zastanawiają się, jak połączyć ze sobą różne maszyny proste oraz elementy wykorzystujące energię w sposób przewidywalny i kontrolowany. Fundamentem działania staje się wspólne pytanie badawcze: **„jakie cechy konstrukcyjne maszyny Goldberga pozwalają najskuteczniej przekształcać energię i przekazywać ruch tak, aby kulka mogła samodzielnie dotrzeć do bramki – od początku do końca, bez zewnętrznej interwencji?”**.

W pierwszej części uczniowie formułują hipotezy dotyczące wpływu długości sekwencji, rodzaju wykorzystanych mechanizmów i precyzji wykonania na skuteczność maszyny. Niektórzy przewidują, że konstrukcje bazujące głównie na **energii potencjalnej grawitacji**, zamienianej kolejno na **energię kinetyczną** staczających się przedmiotów, będą bardziej niezawodne. Uczniowie dyskutują również o wpływie tarcia, siły dośrodkowej w elementach wirujących oraz pracy wahadła na przebieg reakcji.

Po sformułowaniu hipotez uczniowie planują przebieg badania. Każdy zespół musi stworzyć maszynę składającą się z **co najmniej siedmiu odrębnych maszyn prostych lub mechanizmów**, przy użyciu **określonych materiałów**.

Do łączenia elementów można używać jednej rolki taśmy, nożyczek, kleju na gorąco oraz noża do tapet. Te ograniczenia materiałowe skłaniają uczniów do myślenia o konstrukcji jak o systemie, w którym każde ogniwo musi pełnić precyzyjnie określoną funkcję, a żaden element nie jest przypadkowy.

Uwaga organizacyjna: Nauczyciel ustala liczbę sztuk poszczególnych materiałów przypadających na jeden zespół. Wybrane limity obowiązują wszystkie zespoły w jednakowym zakresie, tak aby zapewnić równe warunki pracy i możliwość porównywania rozwiązań.

Kolejnym krokiem jest **projektowanie maszyny**, w którym uczniowie muszą zdecydować, jakie typy energii i jakiego rodzaju mecha-

nizmy zostaną wykorzystane do przekazywania ruchu. Tutaj ważne będą przygotowane rysunki pomocnicze pokazujące element mechanizmu i jego działania z kolejnym. Pojawiają się koncepcje dźwigni uruchamianych przez staczającą się kulkę, równi pochyłych kierujących ruch przedmiotów, bloczków zmieniających kierunek siły sznurka, wahadeł inicjujących ruch kolejnych elementów czy sprężyn uwalniających energię w odpowiednim momencie. W trakcie pracy zapisują swoje decyzje konstrukcyjne i przewidywania dotyczące zachowania maszyny.

Po zbudowaniu prototypu uczniowie przeprowadzają wstępne testy, które pozwalają im zidentyfikować najczęstsze punkty awarii. Uczniowie dokumentują poprawki wraz z uzasadnieniem – traktują je jako dane, które później uwzględnią w analizie.

Główna faza eksperymentu polega na przeprowadzeniu serii prób, w których każda maszyna musi wykonać pełną sekwencję ruchu i **doprowadzić kulkę do bramki** bez ingerencji z zewnątrz. Uczniowie **zapisują**, ile prób zakończyło się sukcesem, w jakim czasie przebiegała reakcja oraz w którym miejscu najczęściej dochodziło do przerw. Obserwują, jakie mechanizmy działały stabilnie, a które wymagały precyzyjniejszego montażu. Szczególną uwagę zwracają na miejsca zamiany energii potencjalnej w kinetyczną oraz na punkty, w których ruch musiał zostać przekierowany lub spowolniony. Ten etap warto utrwalić na filmie. Nagranie pozwoli przeanalizować ewentualne awarie oraz zaprezentować działanie maszyny innym osobom – nawet po jej demontażu.

Kiedy wszystkie dane zostaną zebrane, uczniowie **przechodzą do analizy**. Porównują wyniki swojej maszyny z innymi zespołami, starając się zrozumieć, dlaczego jedne rozwiązania były skuteczniejsze od innych, zastanawiają się, co na to wpłynęło. Interpretują rolę energii, tarcia, stabilności mechanizmów i dokładności wykonania. Często zauważają, że najprostsze elementy – równia pochyła, dobrze ustawiona dźwignia czy domino – potrafią być bardziej przewidywalne niż spektakularne, trudne do kontrolowania elementy sprężyste. Na tej podstawie **formułują wnioski** dotyczące optymalnych strategii projektowania maszyn Goldberga oraz zasad, które zwiększają niezawodność reakcji łańcuchowej.

Projekt kończy się **refleksją nad całym procesem badawczym**. Uczniowie opisują, które mechanizmy okazały się najbardziej efektywne, jakie problemy napotkali i co w ich konstrukcji mogłoby zostać ulepszone.

Elementy myślenia matematycznego i komputacyjnego:

Elementy myślenia matematycznego:

- mierzenie czasu trwania sekwencji;
- liczenie skutecznych i nieudanych prób;
- analiza częstości awarii poszczególnych elementów.

Elementy myślenia komputacyjnego:

- projektowanie sekwencji kroków (algorytm);
- zależności przyczynowo-skutkowe;
- debugowanie (identyfikacja punktów przerwania sekwencji);
- iteracyjna optymalizacja działania systemu.

Pomocna dłoń – projekt badawczy nad skutecznością narzędzi chwytających

Zajęcia rozpoczynają się od wspólnej obserwacji gotowego narzędzia chwytającego, które nauczyciel prezentuje jako przykład konstrukcji wykorzystywanej w robotyce, medycynie czy przemyśle.

Uczniowie przyglądają się mechanizmowi działania, próbując dostrzec cechy, które mogą decydować o stabilnym chwycie i precyzyjnym podnoszeniu przedmiotów. W naturalny sposób rodzi się **pytanie badawcze**, które staje się osią całego projektu: „**jakie cechy konstrukcyjne narzędzia chwytającego wpływają najbardziej na jego skuteczność?**”.

Uczniowie formułują przewidywania dotyczące długości ramienia, mechanizmu chwytającego i sztywności konstrukcji, co prowadzi do **stworzenia pierwszych hipotez**. Przewidują m.in., że konstrukcje o większej sztywności będą skuteczniejsze, że mechanizm oparty na „szczypcach” zapewni stabilniejszy chwyt niż mechanizm nożycowy, że bardzo długie narzędzia mogą trudniej utrzymywać stabilność.

Po ustaleniu hipotez uczniowie planują **eksperyment**, który pozwoli im odnieść się do postawionych założeń. Uczniowie tworzą dwa warianty narzędzia różniące się tylko wybraną cechą, szkicują projekt i opisują wszystkie parametry.

Gdy projekty są gotowe, rozpoczyna się **konstruowanie prototypów**. Uczniowie pracują w zespołach, korzystając z dostępnych materiałów (np. tektury, gumki recepturki, sznurka, trytytek, patyczków laryngologicznych i narzędzi: taśmy, kleju na gorąco, nożyczek, nitów do papieru).

Kiedy prototypy są gotowe, uczniowie przechodzą do **eksperymentu właściwego**, który składa się z serii identycznych prób. Każdy wariant narzędzia wykonuje te same zadania: **podniesienie przedmiotu, przeniesienie go i odłożenie w wyznaczone miejsce**. W trakcie każdej próby uczniowie zapisują, czy działanie zakończyło się sukcesem, ile czasu zajęło wykonanie zadania oraz jakie trudności pojawiły się w trakcie. Powstaje w ten sposób zestaw danych, który później będzie podstawą analizy.

Po zakończeniu testów uczniowie przystępują do **analizy danych**, porównując skuteczność obu wariantów narzędzia. Zestawiają czasy wykonania, analizują miejsca awarii i zastanawiają się, czy wyniki potwierdzają ich hipotezy. Uczniowie próbują wyjaśnić, dlaczego jedna konstrukcja działała lepiej, jakie siły fizyczne miały wpływ na rezultaty oraz jakie błędy projektowe mogły zaburzyć pracę mechanizmu.

Na końcu formułują **wnioski badawcze**, które syntetyzują ich wiedzę zdobywaną w trakcie całego procesu. Rozważają, **które cechy konstrukcyjne okazały się kluczowe**, co sprawiało największą trudność i jakie dowody – liczby, obserwacje, porównania – potwierdzają ich interpretację wyników.

Zastanawiają się również, jakie modyfikacje mogłyby zwiększyć skuteczność narzędzia oraz w jakich realnych zastosowaniach ich konstrukcja mogłaby znaleźć miejsce – od robotów pomocniczych po narzędzia chirurgiczne czy urządzenia używane w przestrzeni kosmicznej. Projekt kończy się przygotowaniem dokumentacji: uczniowie przedstawiają oba prototypy, zapisane dane oraz opis analizy

i wniosków. W krótkiej prezentacji podsumowują, czego nauczyli się o projektowaniu narzędzi chwytających i jakie czynniki są kluczowe dla ich działania. Dzięki temu ćwiczeniu rozumieją, że skuteczność konstrukcji zależy od planowania, testowania i interpretowania wyników, dokładnie tak, jak w prawdziwych badaniach naukowych.

Elementy myślenia matematycznego i komputacyjnego:

Elementy myślenia matematycznego:

- porównywanie czasów wykonania zadania;
- liczenie skutecznych chwytów;
- analiza wyników w parach (wariant A vs. B).

Elementy myślenia komputacyjnego:

- projektowanie eksperymentu kontrolowanego (zmienna jedna cecha);
- analiza danych i wnioskowanie;
- iteracyjne ulepszanie konstrukcji na podstawie wyników.



Czy wiesz, że...

Chwytak, czyli popularne narzędzie do zbierania śmieci (ang. *litter picker*), działa dzięki prostemu, ale sprytnemu mechanizmowi – to długa, lekka rączka z metalowym lub plastikowym trzonem i szczypcami na końcu. Po naciśnięciu spustu na rękojeści wewnętrzny system dźwigni i cięgien zaciska szczypce, łapiąc butelkę, puszkę lub papieraek, bez potrzeby schylania się czy dotykania odpadków. To sprawia, że sprząatanie jest wygodne i nie obciąża kręgosłupa – dlatego takie narzędzie łatwo zabrać na spacer, do parku albo na plażę, aby w prosty sposób zadbać o czystość otoczenia.



Ilustracja 7. Chwytak, Tiverton: Lea Road – Litter Picker by Lewis Clarke, CC BY-SA 2.0, commons.wikimedia.org

Zamiast zakończenia

Edukacja STEM w szkole ponadpodstawowej nie jest kolejną „modą”, lecz odpowiedzią na bardzo konkretną rzeczywistość: świat oparty na danych, technologiach, współpracy interdyscyplinarnej i ciągłym uczeniu się. Niezależnie od tego, czy uczą Państwo matematyki, fizyki, biologii, geografii, informatyki, przedmiotów zawodowych, czy języka polskiego lub wiedzy o społeczeństwie – mogą Państwo współtworzyć środowisko, w którym uczniowie uczą się myśleć krytycznie, działać odpowiedzialnie i projektować rozwiązania zamiast jedynie je odtwarzać. STEM w tym ujęciu staje się nie zestawem „efektownych doświadczeń”, ale sposobem organizowania procesu kształcenia tak, by wiedza teoretyczna miała swoje naturalne przedłużenie w praktyce, refleksji i działaniu.

Przedstawione w poradniku propozycje – od projektów badawczych wokół globalnego kryzysu wodnego, przez konstrukcje odporne na wiatr, po złożone maszyny Goldberga i narzędzia chwytające – mają być właśnie narzędziami: punktami odniesienia, które można modyfikować, upraszczać lub rozbudowywać w zależności od profilu szkoły, dostępnej infrastruktury i potrzeb uczniów. Program „Cyfrowy Uczeń” tworzy ku temu nowe warunki sprzętowe, ale to Państwa decyzje dydaktyczne przesądzą o tym, czy pracownie STEM, roboty, czujniki, drukarki 3D czy mikrokontrolery staną się rzeczywistym laboratorium przyszłości, czy jedynie dobrze wyposażonym magazynem.

Zaproszenie do pracy w modelu STEM jest więc zaproszeniem do redefinicji roli nauczyciela – z osoby „realizującej program” w stronę mentora, tutora i projektanta środowiska uczenia się. To Państwo mogą zdecydować, że błąd stanie się w klasie źródłem danych, a nie wyłącznie powodem do obniżenia oceny; że projekty uczniowskie będą okazją do rozmowy o odpowiedzialności, etyce, technologii i przyszłości, a nie tylko ćwiczeniem technicznym; że współpraca między przedmiotami będzie normą, a nie wyjątkiem „na konkurs”.

Nie trzeba zaczynać od spektakularnych przedsięwzięć. Wystarczy jeden moduł poprowadzony inaczej: jedno zadanie, w którym uczniowie sami formułują pytania badawcze, jedna lekcja, podczas

której dane zebrane w terenie stają się materiałem do analizy, jeden projekt, w którym to uczniowie – przy Państwa wsparciu – planują, testują i dokumentują własne rozwiązania. Z czasem takie małe zmiany mogą stać się nowym standardem pracy szkoły.

Mamy nadzieję, że ten poradnik będzie dla Państwa właśnie takim paszportem: dokumentem, z którym można bezpiecznie przekraczać kolejne granice – między przedmiotami, między szkołą a światem zewnętrznym, między „tradycyjną lekcją” a środowiskiem prawdziwej pracy badawczej i projektowej. Zapraszamy do odkrywania STEM we własnym tempie, we współpracy z innymi nauczycielami i z uważnością na uczniowskie głosy. To oni wkrótce będą podejmować decyzje, które ukształtują przyszłość – Państwa rola w przygotowaniu ich do tej odpowiedzialności jest nie do przecenienia.

Bibliografia

Dweck, C. (2021). *Nowa psychologia sukcesu*. Wydawnictwo Muza.

English, L.D. (2016). *STEM education K-12: Perspectives on integration*. „International Journal of STEM Education”, 3(3). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1> [online, dostęp dn. 29.06.2026].

Honey, M., Pearson, G., Schweingruber, A. (2014). *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. National Academies Press.

Kafai, Y.B., Resnick, M. (1996). *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World*. Abingdon-on-Thames: Routledge. p. 360.

Klus-Stańska, D. (2018). *Paradygmaty dydaktyki*. Wydawnictwo Naukowe PWN.

Klus-Stańska, D. (2024). *Dydaktyka i jej paradygmaty. Różnorodne światy szkoły*. Wydawnictwo Naukowe PWN.

Kolb, A., Kolb, D. (2022). *Uczenie na podstawie doświadczenia. Podręcznik dla trenerów, edukatorów, coachów*. Wydawnictwo: Dialogi & Zmysły.

Koonce, D.A., Zhou, J., Anderson, C.D., Hening, D.A., Conley, V.M. (2011). *What is STEM? Paper presented at the 2011 ASEE Annual Conference & Exposition*, Vancouver, BC. <https://doi.org/10.18260/1-2--18582> [online, dostęp dn. 29.06.2026].

Koterwas, A. (2022). *Uczenie oparte na dociekaniu na przykładzie Programu Badawczego Szkoły Międzynarodowej IB*. „Problemy Opiekuńczo-Wychowawcze”, 613(8), s. 66–76. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0745> [online, dostęp dn. 29.06.2026].

Liljedahl, P. (2025). *Budowanie Myślących Klas na lekcjach matematyki*. Fundacja Dobrej Edukacji.

Marrero, M.E., Gunning, A., Germain-Williams, T. (2014). *What is STEM education?* „Global Education Review”, 1(4), p. 1–6.

[Od kodowania do myślenia komputacyjnego. Jak wprowadzać podstawy cyfrowego myślenia na różnych przedmiotach?](#), (2025), artykuł na stronie kompetencycyfrowe.gov.pl [online, dostęp dn. 29.06.2026].

Organizacja Narodów Zjednoczonych. (2025), [Water Facts](#), materiał dostępny na stronie unwater.org [online, dostęp dn. 29.06.2026].

Perkowska-Klejman, A. (2015). *Twórcze i refleksyjne kształcenie pedagogów*. „Przegląd Pedagogiczny”, 1, s. 303–316. DOI: 10.34767/PP.2015.01.24

Resnick, M. (2017). *Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passions, Peers, and Play*. MIT Press. p. 208.

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

Rozporządzenie Ministra Edukacji z dnia 28 czerwca 2024 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie podstawy programowej kształcenia ogólnego dla liceum ogólnokształcącego, technikum oraz branżowej szkoły II stopnia (Dz.U. z 2024 r. poz. 1019).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 września 2025 r. w sprawie szczegółowych warunków, form i trybu realizacji Rządowego programu wspierania organów prowadzących szkoły i placówki w rozwijaniu umiejętności cyfrowych dzieci i młodzieży na lata 2025–2029 – „Cyfrowy Uczeń” (Dz. U. z 2025 r. poz. 1254).

Setiawan, M.A (2020). *Student’s perspective about electrical voltage of fruit cells through STEM*. J. Phys.: Conf. Ser. 1563 012029.

Tytler, R. (2020). *Integrated approaches to STEM education*. „STEM Education for the Twenty-First Century”, p. 21–43). https://doi.org/10.1007/978-3-030-41633-1_2 [online, dostęp dn. 29.06.2026].

Ośrodek Rozwoju Edukacji

Aleje Ujazdowskie 28

00-478 Warszawa

tel. 22 345 37 00

www.ore.edu.pl