

# Przyszłość Laboratorium

Maciej M. Sysło

Dzieci uczą się w działaniu  
i myśląc o tym, co robią

[ang. *children learn by doing  
and thinking about what they do*]

Seymour Papert, 1970

## 1. Laboratoria Przyszłości

Rządowa inicjatywa Laboratoria Przyszłości<sup>1</sup> ma na celu „stworzenie nowoczesnej szkoły, w której zajęcia będą prowadzone w sposób ciekawy, angażujący uczniów oraz sprzyjający odkrywaniu ich talentów i rozwijaniu zainteresowań”, ma również umożliwić uczniom „budowanie [...] kompetencji przyszłości” poprzez „eksperymentowanie i zdobywanie w ten sposób praktycznych umiejętności”<sup>2</sup>. Realizacja tej misji może być jednak utrudniona, gdyż nie przewidziano środków na szkolenia nauczycieli i na obudowę metodyczną kupowanego sprzętu<sup>3</sup>, podczas gdy na samo wyposażenie szkół przeznaczono olbrzymią kwotę 1 mld złotych.

W tym artykule omawiamy podstawy metodyczne zajęć, na których może być wykorzystywane wyposażenie nabywane przez szkoły w ramach tej inicjatywy rządowej. Bazą dla tych rozważań jest podejście konstrukcjonistyczne<sup>4</sup> Seymoura Paperta<sup>5</sup>, który m.in. uważał, że uczeń osiąga najlepsze efekty swojego uczenia się świadomie angażując się w tworzenie, gdyż konstruowanie wiedzy przebiega wtedy szczególnie pomyślnie. Poszerzył w ten sposób konstruktywizm Jeana Piageta, zgodnie z którym uczenie się jest budowaniem przez ucznia nowej wiedzy na bazie pozyskiwanych informacji i własnych doświadczeń oraz w powiązaniu z wiedzą, którą już posiada. W tym rozdziale krótko odnosimy się do idei inicjatywy Laboratoria Przyszłości, a w drugim rozdziale charakteryzujemy metodykę zajęć z różnymi urządzeniami, wyróżniając trzy ich obszary: robotykę, informatykę z urządzeniami wbudowanymi i ruchy makerskie.

W innym artykule bardziej szczegółowo odnosimy się do tej inicjatywy rządowej z perspektywy wybranej szkoły, w której postanowiono wykonać pierwszy krok na drodze ku wdrożeniu Laboratorium Przyszłości na regularnych zajęciach z uczniami<sup>6</sup>.

Oczekiwane w tej inicjatywie „stworzenie nowoczesnej szkoły” może się odbyć tylko „rękami” szkoły, nauczycieli, uczniów i personelu, a do „budowania [...] kompetencji przyszłości” przez uczniów nie wystarczy udostępnić im nabyte wyposażenie. Dla rzeczywistego wykorzystania tych pomocy dydaktycznych niezbędne jest ich metodyczne WŁĄCZENIE do procesu nauczania i uczenia się. Nauczyciel musi czuć się bezpiecznie z nowymi pomocami i kompetentnie w ich stosowaniu, również takie same warunki powinien zapewnić uczniom.

Brak zaplanowanego w tej inicjatywie wsparcia nauczycieli wypełniają w różnym stopniu m.in. dostawcy wyposażenia dla szkół, fundacje, serwisy społecznościowe i inni. Najwartościowszymi materiałami dzielą się między sobą nauczyciele, jednak często mają one charakter promocji konkretnego sprzętu i na ogół są bardzo jednostronne, obciążone zbyt indywidualnym podejściem nauczyciela. Inicjatywy szkoleniowe, na ogół komercyjne, niewiele zmieniają ten obraz. Przeważa w nich „obsługa” sprzętu i scenariusze zajęć „dla każdego” nauczyciela, a każdy nauczyciel jest inny, bo wszyscy jego uczniowie są inni.

1 W tym artykule, odnosimy się do inicjatywy rządowej jako Laboratoria Przyszłości, natomiast w odniesieniu do pojedynczej szkoły piszemy o Laboratorium. Tak też jest w tytule.

2 Cytaty dotyczące Laboratoriów Przyszłości pochodzą z <https://www.gov.pl/web/laboratoria> i z zamieszczonych tam odnośników.

3 Zwraca na to uwagę również Sekcja Informatyki Szkolnej przy PTI w swojej wypowiedzi w kwartalniku Domena 2/2022, s. 28-30

4 Polecamy omówienie najważniejszych idei konstrukcjonizmu w pracy: A. Walat, *O konstrukcjonizmie i ośmiu zasadach skutecznego uczenia się według Seymoura Paperta*, Meritum 4(7)/2007, s. 8-13.

5 Wielokrotnie w tym artykule odwołujemy się do myśli Seymoura Paperta. Większość z nich pochodzi z książki *Burze mózgow*, PWN, Warszawa 1996 (oryginał – 1980).

6 Sysło M.M., Skulska-Wittbrodt D., Śmiełowska-Bohn M., *Uczeń przyszłości w Laboratorium*. Autor tego artykułu był konsultantem na etapie przygotowania do wydarzenia w SP 12 w Gdyni, które pod hasłem UCZEŃ PRZYSZŁOŚCI W DWUNASTCE miało miejsce 8 grudnia 2022 roku. Artykuł ukazuje się w kwartalniku „W cyfrowej szkole” nr 2(16)/2023.

W tym artykule staramy się scharakteryzować obszary szkolnych zajęć, w których może pojawiać się wyposażenie nabywane w ramach tej inicjatywy i być wykorzystane przez uczniów do rozwijania kompetencji przyszłości poprzez angażowanie się w kreatywne działania podczas prototypowania i budowania najróżniejszych obiektów na drodze do konstruowania swojej wiedzy i nabywania umiejętności. Może to stanowić metodyczne ramy dla planowanych lub już dokonanych zakupów przez szkoły, stawiając na pierwszym miejscu osiągnięcia uczniów i cel zajęć, a dopiero na drugim – właściwy dobór odpowiednich pomocy do realizacji obranego celu i oczekiwanych osiągnięć uczniów.

W katalogu wyposażenia inicjatywy Laboratoria Przyszłości znajdują się urządzenia, zestawy elementów i pojedyncze elementy związane nie tylko z technologią, popularnie rozumianą jako technologia cyfrowa, a więc nie tylko drukarki 3D, mikroprocesory i roboty. Są także pomoce, w których technologia cyfrowa jest wbudowana i jako technologia gra drugorzędną rolę (np. w maszynach do szycia), przeważają natomiast zestawy pomocy całkowicie pozbawionych elementów cyfrowych, np. wszelkiego rodzaju klocki, układanki, puzzle. Można mieć wątpliwości, czy rzeczywiście ten ostatni rodzaj wyposażenia przysłuży się „tworzeniu nowoczesnej szkoły”. Odpowiadamy, że TAK, jeśli tylko całość wyposażenia nabytego przez szkołę będzie służyć uczniom w rozwoju ich kreatywności i umiejętności twórczego rozwiązywania problemów oraz budowaniu wiedzy.

W następnym rozdziale dość obszernie omawiamy podejście metodyczne do zajęć w trzech obszarach, do których można zaliczyć wyposażenie nabywane w ramach inicjatywy Laboratoria Przyszłości:

- zajęcia, na których pojawiają się roboty, to tzw. robotyka edukacyjna,
- informatyka z urządzeniami fizycznymi (wbudowanymi),
- działania makerskie.

Od ponad dekady te trzy obszary zajęć szkolnych i pozaszkolnych są przedmiotem intensywnych badań edukacyjnych w szkołach na całym świecie. Realizowana jest w nich idea progresywnej (postępowej) edukacji – *learning by doing* – propagowana od czasów Johna Deweya z przełomu XIX i XX wieku, która ma również na celu wyprowadzenie zajęć poza sformalizowane systemy szkolne. Przykłady z SP 12 w Gdyni opisane w towarzyszącej pracy<sup>7</sup> ilustrują te idee – uczenie się przez tworzenie, przebiegające w niekrępującej przestrzeni pomieszczeń i z nauczycielem jako doradcą.

Trzeba zaznaczyć, że różnice między urządzeniami i pomocami dydaktycznymi występującymi w tych trzech obszarach nie są ostre, obiekty te wyróżnia głównie rola w procesie uczenia się. Wiele z nich, jak roboty i mikroprocesory, może być programowanych lub przynajmniej sterowanych za pomocą komputera lub tabletu. Można je zaliczyć do praktycznych interfejsów oprogramowania, są więc blisko związane z rozwojem informatycznych umiejętności uczniów w zakresie programowania. Należy jednak uwzględnić, że nabywane w Laboratoriach Przyszłości wyposażenie programowalne nie ma na celu nauki programowania. Programowanie w tym przypadku występuje jako narzędzie, służy integracji informatyki z innymi obszarami i ma na celu zwiększenie zainteresowania uczniów praktycznymi efektami programowania urządzeń, które często sami budują. Programowanie jest więc tutaj „językiem” porozumiewania się uczniów z tymi urządzeniami, ale nie jest celem samym w sobie zajęć wspieranych wyposażeniem nabywanym w ramach inicjatywy Laboratoria Przyszłości.

## 2. Uczenie się w działaniu<sup>8</sup>

W tej części artykułu charakteryzujemy wspomniane trzy obszary zajęć, a w podsumowaniu odnosimy się do istoty tych zajęć – ich konstrukcjonistycznego charakteru, wywodzącego się z wczesnych idei Seymoura Paperta, który uważał, że urządzenia fizyczne, jak roboty, mogą „służyć do myślenia z ich pomocą”<sup>9</sup>.

### 2.1. Robotyka edukacyjna

**Robot** to urządzenie, które może automatycznie wykonać pewne czynności. Jest wyposażony w czujniki współpracujące z modułem (procesorem, komputerem) sterującym jego działaniem i ten moduł może być programowany. Robotami często nazywa się urządzenia, w których pewne funkcje są wykonywane automatycznie<sup>10</sup>, jak roboty kuchenne, maszyny do szycia itp., wykonujące z góry określony ciąg czynności i wyposażone w czujniki o charakterze „bezpieczników” pilnujące, aby np. robot kuchenny nie przegrzał się. Wiele robotów w pełni zastępuje człowieka, np.: na liniach produkcyjnych, w szpitalach (jako dozowniki leków, roboty chirurgiczne), pod ziemią (np. w górnictwie), na ziemi (np. przy rozbrajaniu min lub niewypałów) i nad ziemią (jako drony cywilne i wojskowe), w kosmosie (np. na Marsie, w stacjach kosmicznych). Szczególną rolę roboty

7 Sysło M.M., Skulska-Wittbrodt D., Śmiełowska-Bohn M., *Uczeń przyszłości w Laboratorium*.

Artykuł ukaże się w kwartalniku „W cyfrowej szkole” nr 2(16)/2023.

8 W tym rozdziale zawarto wybrane fragmenty z przygotowywanej do druku książki Sysło M.M., *Myślenie komputacyjne w praktyce edukacyjnej*, PWN 2023.

9 Pierwszym Paperta „obiektem służącym do myślenia z jego pomocą” był żółw jako „zwierzę” cybernetyczne, sterowane przez komputer.

Później żółw znalazł się na ekranie, sterowany poleceniami języka Logo. Dopiero pod koniec zeszłego stulecia technologia umożliwiła fizyczną realizację wczesnych fascynacji Paperta – był on przy projektowaniu jednych z pierwszych robotów (Lego Mindstorms), zainspirowany zapewne mechanicznymi przekładniami ze swojej młodości (Papert, 1980, s. 31).

10 Tego typu „robotami” są niektóre inne urządzenia, znajdujące się w Katalogu Wyposażenia Laboratoriów Przyszłości.

odgrywają w rolnictwie, umożliwiając sprawniejsze i efektywniejsze osiąganie coraz większych zbiorów – plewią chwasty, nawożą obszary upraw, sadzą, zbierają, a nawet sortują owoce pod względem ich cech wyglądu i jakości. Nowa era rozwoju robotów jest związana z wyposażaniem ich w rozwiązania sztucznej inteligencji, dzięki czemu nabierają „zdolności” uczenia się. Występują już w roli tutora (np. języka angielskiego czy matematyki), a wkrótce mogą pojawić się w szkole w roli nauczyciela. Warto zwrócić uwagę uczniów na te zastosowania robotów, w uzupełnieniu roli robota jako zabawki i pomocy w uczeniu się.

Przywołam tutaj Seymoura Paperta, który w pewnym sensie wyprzedził współczesną epokę robotów w edukacji proponując, by to uczeń odgrywał rolę robota poruszając się po podłodze. Podobnie dzisiaj, zajęcia wprowadzające do robotyki i informatyki polegają na wykonywaniu, często na macie, przez jednego ucznia (jako robota) poleceń innego ucznia. W następnym kroku, „programy” wykonywane na podłodze są przenoszone do programów, które służą do uruchamiania rzeczywistego robota na podłodze lub na ekranie komputera i sterowania jego ruchami<sup>11</sup>. I ponownie warto wrócić do Paperta – gdy uczeń programujący w Logo nie znalazł w nim polecenia rysowania okręgu, Papert „sprowadził” go na podłogę i zapytał, jakby przeszedł po okręgu na podłodze. Wtedy stało się jasne, że wystarczy powtórzyć wiele razy: mały krok do przodu i mały skręt w prawo, a to już są polecenia w Logo.

Powyższe dwa przykłady – uczeń „sterujący” uczniem – robotem i koncepcja okręgu w Logo – dotyczą dwóch ważnych sytuacji problemowych i podejść metodycznych, z którymi spotykają się uczniowie od najmłodszych lat.

Początki sterowania i programowania robotów to pierwsze kroki w sekwencjonowaniu poleceń, które mają na celu pokierowanie robotem w odpowiednim kierunku i wykonanie przy tym zaplanowanych czynności<sup>12</sup>. **Sekwencjonowanie**, od najmłodszych lat, jest ważnym elementem nauki rachowania, jak i czytania i pisania oraz częstym elementem zajęć w edukacji przedszkolnej i wczesnoszkolnej, najczęściej odbywających się w otwartej przestrzeni. Jest to również wstęp do programowania komputerów, polegającego na tworzeniu sekwencji instrukcji. Dużą wagę do umiejętności sekwencjonowania przywiązywał Jean Piaget<sup>13</sup>, który jednak sądził, że dzieci w fazie przedoperacyjnej (w wieku 2-7 lat) mogą nie potrafić sekwencjonować ze względu na ich niezdolność do rozumowania o więcej niż jednym obiekcie naraz. Późniejsze badania pokazały, że znacznie młodsze dzieci układają obrazki czy opowieści z fragmentów, chociaż niekoniecznie potrafią logicznie uzasadnić tworzone sekwencje. Przyjmuje się więc dzisiaj, że dzieci w okresie przedoperacyjnym mogą być w stanie sekwencjonować, jednak nie zawsze można oczekiwać od nich uzasadnienia.

Z kolei, „odkrycie” Paperta, w jaki sposób można utworzyć okrąg w języku Logo, jest przykładem tzw. **dekonstrukcji** – zamierzony obiekt (tutaj okrąg) jest rozkładany na części, z których może być na powrót utworzony przy użyciu dostępnych narzędzi (operacji)<sup>14</sup>. Metodą dekonstrukcji uczniowie mogą dojść do realizacji wielu pomysłów na finalne konstrukcje robotów.

Robotykę należy postrzegać jako działalność interdyscyplinarną, czerpiącą z nauk ścisłych (matematyki, informatyki), przyrodniczych i techniki, oferującą nowe możliwości niemal we wszystkich obszarach nauczania. Zajęcia z robotami służą wspieraniu aktywnych postaw uczniów, rozwijając ich umiejętności krytycznego myślenia, rozwiązywania problemów i współpracy, jako badaczy i twórców nowej wiedzy. Dzięki interaktywnym interfejsom robotów, natychmiast udostępniającym informacje zwrotne, uczeń testuje swoje pomysły konstruując roboty oraz projektując i programując je, by nimi sterować, a wszystko to może wykonywać we własnym stylu i tempie.

Roboty pojawiają się w szkołach już od dłuższego czasu i można je spotkać w różnych miejscach, najczęściej na zajęciach związanych z informatyką, zwłaszcza z programowaniem. Rozbudowane zestawy robotów mogą służyć do bardziej angażującego uczniów majsterkowania i konstruowania robotów. Można wyróżnić kilka grup robotów, uwzględniając ich rolę i miejsce w procesie nauczania i uczenia się.

1. Robot jako **autonomiczny pojazd** zamknięty w obudowie, z sensorami, często migający światłami i wydający dźwięki; chociaż w zamkniętej obudowie, może być rozbudowywany z wykorzystaniem różnych akcesoriów<sup>15</sup>. Ważną cechą takich robotów jest możliwość posłużenia się nimi bez dodatkowego czasu przeznaczonego na ich zbudowanie. Jest to bardzo ważna cecha robotów autonomicznych w przypadku zajmowania się nimi przez najmłodszych uczniów, dla których składanie robotów mogłoby być zbyt trudne (przykłady takich robotów: Dash & Dot, Cue, Ozobot, Genibot).
2. **Zestaw do robotyki** lub **zestaw robota**, czyli zestaw elementów do zbudowania robota. Wiele takich zestawów zawiera mikrokontrolery<sup>16</sup>, dzięki którym roboty tworzone z tych zestawów są programowalne. Z wielu takich zestawów uczniowie mogą budować roboty pierwszej kategorii, przy tym najważniejszą cechą

<sup>11</sup> Przez programowanie robotów rozumiemy tworzenie dla nich programów i jednocześnie sterowanie robotami za pomocą tych programów.

<sup>12</sup> Zauważmy, że ruchy robota uzależnione od wskazań czujników, czyli efekty zdarzeń (ang. *events*) umieszczonych w programie mogą zaburzać sekwencję poleceń dla robota, stanowią jednak znaczące poszerzenie jego możliwych aktywności.

<sup>13</sup> Piaget, J. (1969), *The child's conception of time*. London (oryginał w języku francuskim, 1927).

<sup>14</sup> Nie należy utożsamiać dekonstrukcji z dekompozycją. Tworzenie okręgu przez wielokrotne powtórzenie dwóch kroków można uznać za efekt dekompozycji problemu rysowania okręgu, ale droga do takiego rozwiązania wiedzie przez wcześniejszą dekonstrukcję.

<sup>15</sup> Większość robotów ma „uchwyty” i akcesoria w standardzie klocków Lego, co umożliwia ich łatwą rozbudowę o elementy z innych zestawów tych klocków.

<sup>16</sup> Więcej na temat mikrokontrolerów znajduje się w punkcie 2.2.

takich zestawów jest ich elastyczność i otwartość na pomysły uczniów (przykłady: Lego Spike prime i Lego Spike essential).

3. **Roboty na ekranie** komputera<sup>17</sup>. Niektóre z nich mają tylko wersję ekranową, jak w code.org, a niektóre towarzyszą fizycznym robotom i często mogą być wykorzystane bez tych rzeczywistych, co umożliwia uczniom pracę z nimi poza szkołą, dzięki otwartym i darmowym środowiskom ich wykorzystania.
4. Inne rodzaje urządzeń czy konstrukcji, które mogą pełnić funkcje robotów lub gier, w których pojawia się istota o funkcjach robota (przykład: Scottie Go!).

### 2.1.1. Techniczna strona robotów

Większość robotów edukacyjnych (tych autonomicznych lub składanych z zestawów) to konstrukcje inżynierskie, złożone z elementów i układów mechanicznych oraz elektronicznych. Na ogół są pojazdami z napędem różnicowym, czyli mają dwa koła napędzane niezależnymi silnikami. Wyposażone są w czujniki zbliżeniowe (bliskości), które zapewniają reakcję z otoczeniem i/lub czujniki podłogowe mierzące natężenie światła odbitego od podłoża, po którym się poruszają. W robocie jest umieszczony „komputer” (programowalny układ lub typowy mikrokontroler), który można programować, by sterować robotem w określonym celu<sup>18</sup>. Większości robotów towarzyszą różne akcesoria, o które mogą być rozbudowywane.

Na zajęciach szkolnych na ogół niewiele czasu poświęca się budowie i inżynierii robotów, czyli wewnętrznym mechanizmom ich działania, chociaż pytanie „jak i dlaczego on tak działa” może wzbudzić u uczniów duże zaciekawienie, np. jak skręca on w lewo lub w prawo, a dlaczego nie porusza się w bok. Na wiele takich pytań uzyskują odpowiedź wykonując konkretne zadania, np. poruszanie się Ozobota i Genibota, które odbywa się przez odczytywanie kolorowych linii (Ozobot) lub kart (Genibot), z czasem będzie się kojarzyć z „programowaniem” tych robotów. Więcej możliwości wynikających z inżynierii robotów mają uczniowie składający roboty z zestawów.

### 2.1.2. Roboty w edukacji

Współczesne roboty zawdzięczają swoją popularność wśród uczniów możliwościom sterowania ich działaniem. Mają one jednak znacznie szersze zastosowania w edukacji, niż tylko nauka programowania. Zajęcia z nimi mogą mieć charakter interdyscyplinarny i obejmować m.in. wybrane zagadnienia z fizyki (prawa fizyki w działaniu robotów), techniki i mechatroniki (współdziałanie elementów mechanicznych z elektronicznymi), matematyki (obliczanie parametrów ruchu, jak odległość, kąty skrętów, prędkość) i przyrody (zbieranie pomiarów cech środowiska). Wyzwalają przy tym u uczniów kreatywność i innowacyjne spojrzenie na możliwe zachowanie i działanie robotów, a ponad wszystko wzbudzają zaciekawienie możliwościami kierowania tymi istotami. Samo programowanie robotów jest zaś okazją do praktycznego projektowania rozwiązań i ich debugowania na „żywym” organizmie tych urządzeń. Wraz z obudową metodyczną, roboty mogą służyć integracji narzędzi technologicznych w obszarach określanych akronimem STEAM (ang. *Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics*). Korzystając z coraz bardziej złożonych robotów uczniowie poznają nowe i innowacyjne rozwiązania techniczne, co staje się dla nich zachętą do ich własnych inwencji i w przyszłości może ich skierować na pozycje aktywnych twórców, z pozycji tylko „konsumentów” tych produktów technicznych. Inne możliwości integracji robotyki daleko wykraczają poza informatykę i STEAM. Mogą być związane np. z czytaniem i pisanem, rozmowami, tańcem, muzyką i sztuką, niektóre roboty są do tego „zdolne” (patrz przykłady w code.org i microbit.org). Zajmowanie się robotami kształci umiejętności obejmujące również krytyczne myślenie o złożonych problemach, generowanie kreatywnych rozwiązań i skuteczne komunikowanie rozwiązań, obecnie uważane za niezbędne na wszystkich poziomach kształcenia i pracy zawodowej. Duże znaczenie ma również kształtowanie przez uczniów własnych opinii o miejscu i roli robotów w ich najbliższym otoczeniu, jak i w społeczeństwie, w szczególności w „towarzystwie” ze sztuczną inteligencją.

### 2.1.3. Roboty w podstawie programowej

W obowiązującej podstawie programowej roboty występują jawnie w zapisach podstaw informatyki i techniki, ale mogą być wykorzystane na zajęciach nie tylko tych przedmiotów. Mogą też uczestniczyć w zabawach uczniów, a bawiąc – mogą uczyć.

Zwróćmy uwagę na zapis w podstawie programowej edukacji wczesnoszkolnej (klasy 1-3) w dziale VII Edukacja informatyczna (punkt 2, podpunkt 1):

*uczeń: programuje wizualnie: proste sytuacje lub historyjki według pomysłów własnych i pomysłów opracowanych wspólnie z innymi uczniami, pojedyncze polecenia, a także ich sekwencje sterujące obiektem na ekranie komputera bądź innego urządzenia cyfrowego.*

<sup>17</sup> Zwróćmy uwagę, że w podstawie programowej edukacji informatycznej w edukacji wczesnoszkolnej zaleca się zajęcia z robotami właśnie na ekranie komputera.

<sup>18</sup> Większości robotów towarzyszy własne środowisko programistyczne. Ich programowanie odbywa się często na urządzeniu mobilnym w języku blokowym przypominającym Scratcha. Dla wielu robotów utworzono również aplikacje umożliwiające programowanie w Pythonie i w innych językach. Ułożone programy są zwykle przenoszone do robotów kanałem Bluetooth lub kablem USB.

Tym „obiektem na ekranie komputera bądź innego urządzenia cyfrowego” może być robot, np. w większości łamigłówek code.org występują postacie, które można uznać za roboty.

Roboty mogą więc służyć rozwijaniu znaczenia podstawowych pojęć informatycznych (jak sekwencja kroków, algorytm liniowy, warunek, powtórzenie, iteracja, algorytm) i być dla uczniów „widocznym” wsparciem w debugowaniu programów, które mają nimi sterować.

W podstawach informatyki dla kolejnych etapów edukacyjnych znajdujemy zapisy odnoszące się do spiralnego rozwoju umiejętności: uczeń: „formułuje i zapisuje w postaci algorytmów” i „projektuje, tworzy i zapisuje w wizualnym języku programowania program sterujący robotem lub innym obiektem na ekranie komputera” (klasy IV-VI); „projektuje, tworzy i testuje oprogramowanie sterujące robotem lub innym obiektem na ekranie lub w rzeczywistości” (klasy VII-VIII); „do realizacji rozwiązań problemów [...] wykorzystuje również elementy robotyki” (szkoły ponadpodstawowe). W podstawie techniki (klasy IV-VI) zapisano: uczeń: „konstruuje, m.in. z gotowych elementów, zabawki, roboty, modele mechaniczno-elektroniczne, w tym programowalne”.

#### 2.1.4. Zajęcia z robotami

Roboty, jak każda czysta technologia, nie wpływają bezpośrednio na uczenie się, wymagają edukacyjnego (metodycznego) wsparcia. Można je wykorzystać na wiele sposobów, a każdy z nich ma swoje edukacyjne cele i metody stosowania oraz wymaga odpowiednio przygotowanego nauczyciela, w tym także strony technicznej takich zajęć. Wyróżnimy te najważniejsze.

1. *Robotyka jako obiekt* – uczniowie poznają budowę i funkcje robotów z perspektywy ich konstruowania, programowania i sterowania nimi oraz jako obiekty z elementami sztucznej inteligencji. Właściwym miejscem dla takich zajęć jest technika (w klasach IV-VI), przedmioty zawodowe w technikach, a także zajęcia będące przygotowaniem do konkursów z robotami.
2. *Robot jako narzędzie* – w realizacji celów edukacyjnych wybranych przez nauczyciela do zajęć prowadzonych pod jego nadzorem, według jego scenariuszy na tematy związane z zapisami podstawy programowej. Nie wyklucza to indywidualnej kreatywności uczniów, jak również pomysłów nauczyciela wykraczających poza podstawę.
  - 2.1 *Zajęcia informatyczne* – w ramach przedmiotu informatyka roboty występują jako narzędzia, czyli „wykonawcy” algorytmów. Wiąże się to z ich programowaniem w różnych środowiskach i „debugowaniem” ich zachowania na podstawie obserwowanych efektów.
  - 2.2 *Poznawanie pojęć z zakresu STEAM*; a więc z zakresu różnych przedmiotów: matematyki (np. obliczenia parametrów ruchu robota), fizyki (np. odbicie praw fizyki w budowie i ruchach robotów), przyrody (np. zbieranie i przetwarzanie danych z otoczenia).
3. *Zajęcia z robotami w indywidualnym stylu* – można tutaj zaliczyć zajęcia pozalekcyjne i pozaszkolne (np. w klubach zainteresowań), podczas których uczniowie mają okazję uwolnić nieskrępowaną kreatywność w realizacji swoich indywidualnych pomysłów i projektów. W szczególności może to być wykorzystanie robota przez ucznia według własnego uznania w swoim uczeniu.

Jak niemal każda klasyfikacja w edukacji, nie są to rozłączne obszary. W szczególności, pierwszym etapem w każdym z tych obszarów jest zapoznanie się uczniów z wybranym robotem i przygotowanie go do pracy (czyli punkt 1 powyżej), by móc korzystać z jego funkcji. Ten początek zajęć jest bardzo atrakcyjny dla uczniów. W najprostszej sytuacji polega to na postawieniu robota w stan gotowości, czyli naładowaniu go i pobraniu oraz uruchomieniu odpowiednich aplikacji. Bardziej złożone jest zbudowanie robota z zestawu elementów, w tym wmontowanie silników i czujników oraz połączenie wszystkich elementów w funkcjonalną całość. Korzystając z robota autonomicznego lub zbudowanego samodzielnie, w trakcie jego wykorzystywania uczniowie mogą go rozbudowywać o różne akcesoria, niezbędne do wykonywania przez robota założonych działań. Nawet najprostszy robot jest połączeniem materiałów inżynierskich, mechanicznych z częściami programowalnymi. W trakcie budowania robota, a nawet tylko podczas przygotowania go do pracy, ma miejsce **projektowanie**, w jaki sposób robot ma działać, czyli opracowanie algorytmu, a następnie programu, według którego robot ma wykonać zamierzone przez uczniów czynności, osiągnąć przewidziany cel, a więc dać się sterować dla osiągnięcia tego celu. W przypadku bardziej złożonych konstrukcji, przy programowaniu robota uczniowie poznają pojęcia z zakresu inżynierii, matematyki i informatyki, jak również z innych przedmiotów związanych na przykład charakterem danych zbieranych przez czujniki robotów z otoczenia. Poznają również w uproszczonej wersji współczesne rozwiązania technologiczne, m.in. systemy otwarte z interakcją i wymianą informacji, systemy wbudowane wykorzystywane m.in. w ich najbliższym otoczeniu (patrz punkt 2.2.)

#### 2.1.5. Myślenie komputacyjne a robotyka

Zajęcia z robotami to coś więcej, niż tylko zajmowanie się ich fizycznymi konstrukcjami. „Ożywienie” takiej konstrukcji-robota wymaga jego uruchomienia, a później zaprogramowania lub tylko korzystania z gotowych aplikacji

do jego sterowania, by wykonywał odpowiednie ruchy. To z kolei wymaga wcześniejszego obmyślenia planu, jak te ruchy mają być zorganizowane. Ten plan to nic innego jak algorytm, który następnie jest albo wykonywany z użyciem gotowych mechanizmów, albo jest implementowany, czyli służy do zaprogramowania robota, by nim sterować.

Już to podsumowanie ilustruje, że zajęcia z robotami mogą być skutecznym sposobem kształtowania sposobów rozumowania, charakterystycznych dla **myślenia komputacyjnego**. Podczas obmyślenia, budowania i programowania robotów uczniowie identyfikują podobne układy elementów i podobne sytuacje, stosując sekwencjonowanie poleceń, instrukcji warunkowych i pętli, budując w ten sposób algorytmy ich ruchów. Skompletowanie robota i jego zaprogramowanie wymaga od uczniów uruchomienia procesu logicznego myślenia w perspektywie zamierzonej konstrukcji finalnej, jej budowy i oczekiwanego działania. Nieco prościej, ale podobnie przebiega wykorzystanie robotów autonomicznych i sterowanie nimi.

Dzięki robotom możliwa staje się wczesna nauka programowania, w tym np. odpowiedniego sekwencjonowania czynności, będącego pierwszym krokiem w myśleniu komputacyjnym. Szczególną rolę w programowaniu robotów odgrywa natychmiastowa i widoczna reakcja robota na polecenia programu, ułatwiająca ewentualne modyfikacje podczas debugowania, jak i służąca weryfikacji przyjętej koncepcji rozwiązania.

Myślenie komputacyjne jest ściśle powiązane z procesem kreatywnego rozwiązywania problemów, na który składają się: zbieranie informacji, definiowanie problemu, generowanie pomysłów i ich ocena oraz analiza, opracowywanie rozwiązania i podjęcie działań związanych z jego wdrożeniem. W zajęciach z robotem można wyróżnić etapy na odpowiednim poziomie posłużenia się przez uczniów kreatywnością i myśleniem komputacyjnym. Są one znacznie prostsze, gdy robot jest autonomiczny. Poniższe etapy są szczególną postacią etapów rozwiązywania problemów:

- 1) zrozumienie zadania/problemu postawionego zwykle w języku naturalnym przez siebie lub przez nauczyciela,
- 2) generowanie pomysłów (okazja do kreatywności), czyli możliwych rozwiązań zadania,
- 3) określenie, jak robot ma się zachowywać w środowisku fizycznym, realizując określony w poprzednim punkcie wybrany sposób rozwiązania postawionego problemu,
- 4) konstruowanie robota (majsterkowanie) na podstawie schematu konstrukcji (co to ma być?) z uwzględnieniem schematu funkcjonalnego (jak to ma funkcjonować?),
- 5) opracowanie programu, który przełoży określone wcześniej zachowanie robota w polecenia dla niego, i przesłanie programu do robota,
- 6) wykonanie programu, ocena jego zachowania w odniesieniu do postawionego problemu, ewentualnie debugowanie programu lub konstrukcji robota,
- 7) etap refleksji uczniów i podsumowania przebiegu wykonania zadania; nauczyciel moderuje dyskusję i skłania uczniów do określenia, czego faktycznie się nauczyli.

Powyższe etapy mogą przebiegać w podanej kolejności, ale możliwe są również bezpośrednie przejścia z dowolnego etapu do dowolnego innego, także wstecz. Zależy to tylko od przebiegu procesu rozwiązywania problemu i pojawiających się potrzeb, a zwłaszcza trudności i wyzwania.

Odwołując się do myślenia komputacyjnego jako podejścia do rozwiązywania problemów, na powyższych etapach rozwiązywania zadań z robotami uczeń powinien: *myśleć abstrakcyjnie*, zaniedbując mało istotne w danej chwili kwestie i ewentualnie do nich wracać; *myśleć algorytmicznie* jak skonstruować robota i jak ma działać, jak to działanie robota przełożyć na jego *zaprogramowanie* i *sterowanie* nim, *debugować*, czyli modyfikować tworzone elementy rozwiązania (konstrukcje i programy), gdy tylko wykryje taką potrzebę lub błędy w testowaniu. Na każdym etapie jest oczekiwana kreatywność uczniów, zwłaszcza w odniesieniu do problemów o charakterze inżynierskim (konstrukcyjnym) i informatycznym (obliczeniowym), które mogą pojawić się niespodziewanie.

## 2.2. Informatyka z urządzeniami wbudowanymi

Często nie uświadamiamy sobie, że urządzenia którymi się posługujemy, są wyposażone w czujniki i elementy wykonawcze (aktuatory), służące im do „komunikacji” z nami oraz z otoczeniem. Na przykład program w ekspresie do kawy sprawdza odpowiedni poziom wody i mleka oraz ziaren kawy za pomocą czujników, natomiast użytkownik na ogół ma możliwość wyboru rodzaju kawy i jej ilości – te ustawienia są dodatkowymi danymi dla programu sterującego ekspresem.

Otoczają nas urządzenia mobilne i systemy interaktywne, które mogą komunikować się z otoczeniem również za pośrednictwem połączeń sieciowych (przewodowych lub bezprzewodowych) lub tylko za pośrednictwem Bluetooth. Takie urządzenia znajdują zastosowanie w każdej dziedzinie życia – w pracy, komunikacji i transporcie, medycynie, codziennych czynnościach, a także w rozrywce. Wspierają i wzbogacają nasze możliwości,

a w wielu przypadkach całkowicie zmieniają sposób wykonywania wielu czynności. Częścią takich urządzeń są tzw. **systemy wbudowane**<sup>19</sup>.

Ten zarysowany postęp technologiczny znajduje również odzwierciedlenie w edukacji. Tak pojawiła się **informatyka z urządzeniami wbudowanymi** (fizycznymi) (ang. *physical computing*) – dalej w skrócie **informatyka z urządzeniami**, która obejmuje projektowanie, konstruowanie i instalację interaktywnych obiektów ze świata rzeczywistego z wykorzystaniem programowalnych modułów. Jest to znaczące poszerzenie robotyki edukacyjnej – budowane urządzenia nie muszą mieć charakteru robotów, które w edukacji najogólniej służą „automatyzacji” pewnych czynności na wzór ich wykonywania przez człowieka.

W ten sposób uczenie się zostaje podniesione do poziomu, na którym konkretyzuje się to, co wirtualne, świat wirtualny łączy się z fizycznym, a artefakty uczenia się stają się fizycznie namacalne i dostępne. Takie podejście promuje uczenie się w kreatywny i praktyczny sposób. Istotną rolę w tym podejściu odgrywają pojęcia i metody związane z systemami wbudowanymi i interakcją. Uczeń buduje swoje fizyczne, a więc namacalne urządzenie, często oryginalne, i programuje je, by działało zgodnie z przyjętymi przez niego założeniami. Realizuje się w ten sposób idea konstrukcjonizmu – uczeń: „nabywa zarówno poczucia panowania nad fragmentem najnowocześniejszej najpotężniejszej techniki [w odniesieniu do programowania, uwaga MMS], jak też nawiązuje zażyły kontakt z niektórymi z najgłębszych idei nauk przyrodniczych, matematyki i sztuki budowania intelektualnych modeli.” (Papert 1980, s. 25). Ponadto te idee „mogą być wykorzystane jako narzędzia w myśleniu przez całe życie” (Papert 1980, s. 97).

Informatyka z urządzeniami poszerza znaczenie pojęć informatycznych i znaczenie samej informatyki, wyzwala kreatywność uczniów. Uświadamia im istnienie wbudowanych i interaktywnych systemów w ich środowisku oraz umożliwia tworzenie czegoś przydatnego, co mogą wykorzystać w swoim środowisku. Wraz z inteligentnymi obiektami sterowanymi sztuczną inteligencją oraz internetem rzeczy, nowe treści stają się przystępne dla kształcenia informatycznego w szkołach.

Tworzenie urządzeń wbudowanych jest uczeniem się wysoce interaktywnym, ponieważ rzeczywisty przedmiot natychmiast odzwierciedla sukcesy i problemy w nauce, a tym samym pozwala każdemu uczniowi uczyć się we własnym tempie w realizacji indywidualnych celów.

Urządzenia z systemami wbudowanymi nie występują *explicite*, z nazwy, w obecnie obowiązującej podstawie programowej informatyki<sup>20</sup> – informatyka z urządzeniami to nowa i nieznaną koncepcją wśród większości nauczycieli i dydaktyków informatyki. Można jednak poszerzyć znaczenie zapisu „[uczeń] steruje robotem lub innym obiektem na ekranie lub w rzeczywistości” w podstawie dla klas VII-VIII i szkół ponadpodstawowych na takie urządzenia, w szczególności będące konstrukcjami zbudowanymi na bazie **mikrokontrolerów**<sup>21</sup>.

Zajęcia z urządzeniami wbudowanymi poszerzają holistyczne spojrzenie na informatykę i mogą znacznie poszerzyć krąg uczniów interesujących się informatyką, na co istotny wpływ może mieć miejsce tych urządzeń w rzeczywistym świecie uczniów, poza edukacją. Łączą więc szeroko pojmowany świat technologii ze światem jego programowania i sterowania nim. Wartością dodaną takich zajęć jest poznawanie przez uczniów procesów funkcjonowania świata rzeczywistego, przejawiającego się w urządzeniach, które ich otaczają.



Na szczególną uwagę zasługuje inicjatywa rządu Wielkiej Brytanii z początku drugiej dekady XXI wieku, by wyprodukować specjalną płytę (układ) – mikrokontroler z wieloma czujnikami, programowalny na specjalnej platformie, który stanowiłby „brytyjski komputer szkolny”. Tak powstał układ **BBC micro:bit**. Ta płytka może być wykorzystana do tworzenia systemów wbudowanych o przeróżnym przeznaczeniu, programowalnych w języku blokowym, Pythonie i Java Script<sup>22</sup>. Obecnie

ten układ stanowi podstawowy budulec wielu uczniowskich rozwiązań<sup>23</sup>, które służą do uczenia się informatyki z urządzeniami fizycznymi, a zwłaszcza do budowania własnych urządzeń z tym układem, jako urządzeń wbudowanych. Przykładowo dużą popularnością cieszy się inicjatywa *do your :bit* (zrób swój :bit), promująca

19 System wbudowany (ang. *embedded system*) to system komputerowy specjalnego przeznaczenia, często przejawiający funkcje nazywane „inteligentnymi”, będący integralną częścią obsługiwanego przez niego sprzętu. Zwykle jest oparty na mikrokontrolerze zaprogramowanym do wykonywania tylko pewnych zadań. Obecnie takie systemy znajdują zastosowanie w niemal wszystkich dziedzinach, m.in. w układach sterujących pracą silników i komputerów pokładowych, sprzętem medycznym i pomiarowym, urządzeniami domowymi (kuchenkami, zmywarkami), systemami alarmowymi i sprzętem komputerowym.

20 Inicjatywa Laboratoria Przyszłości umożliwia szkołom zakup odpowiednich elementów i urządzeń do zajęć informatycznych z urządzeniami wbudowanymi.

21 Mikrokontroler to programowalny układ elektroniczny. Dostępnych jest wiele takich układów, które mogą być wykorzystane przez uczniów do budowania własnych systemów wbudowanych. Najpopularniejszymi takimi układami są Arduino i BBC micro:bit.

22 Strona tego układu: <https://microbit.org>. Wkrótce strona będzie dostępna w języku polskim.

23 Na początku 2022 roku z płytki BBC micro:bit korzystało ponad 60 mln uczniów na całym świecie.

wykorzystanie układu micro:bit w systemach wbudowanych, związanych z ochroną środowiska i realizacją Globalnych Celów Zrównoważonego Rozwoju. Rośnie liczba robotów, w których płytki BBC micro:bit stanowi podstawowy moduł, służący do programowania robota. Programowanie tego układu jest możliwe również w środowisku języka Scratch.

Istotną cechą rozwiązań z układem micro:bit jest jego „kompletność” – ta niewielka płytka zawiera większość czujników i interfejsów niezbędnych do budowy uczniowskich urządzeń, które w przypadku innych płytek muszą być dodatkowo konstruowane. Ponadto te płytki mogą być programowane w języku blokowym i tekstowym na dedykowanej platformie. W praktyce jedna godzina lekcyjna jest wystarczająca, by zbudować z tej płytki urządzenie o danym przeznaczeniu, oprogramować je i sprawdzić praktycznie. Jest to duża zaleta tego układu w porównaniu do innych mikrokontrolerów.

Zajmowanie się rozbudowanymi układami elektronicznymi na bazie mikrokontrolerów może być bardzo atrakcyjne dla uczniów. Umożliwia im bowiem zrozumienie i zgłębienie wielu kwestii i rozwiązań, które spotykają podczas posługiwania się zamkniętymi konstrukcjami, takimi jak komputery, tablety czy smartfony, jak również urządzeniami tylko pośrednio związanymi z komputerami i procesorami. Z kolei z punktu widzenia kształcenia informatycznego, tworzenie wbudowanych urządzeń interaktywnych umożliwia uczniom jednocześnie projektowanie sprzętu i oprogramowania już na poziomie szkoły. Punkt ciężkości przesuwa się więc z czystego programowania na takie aspekty, jak struktura, właściwości i wymagania systemów wbudowanych.

### 2.3. Ruchy makerskie

Technika w szkołach ogólnokształcących, podstawowych i średnich w kolejnych reformach systemu edukacji w Polsce nie była konsekwentnie rozwijana jako przedmiot szkolny. Kiedyś nazywane „pracami ręcznymi”, te zajęcia faktycznie zachowały tę swoją cechę<sup>24</sup>, bez specjalnego nacisku, jaki ma być cel zajęć w odniesieniu do osiągnięć uczniów. Podstawa programowa techniki określa zakres tematyczny zajęć tego przedmiotu, ale przeszkodę w realizacji stanowi w większości szkół ubogie wyposażenie pracowni do tych zajęć<sup>25</sup>.

Koncepcjom „prac ręcznych” można zarzucić brak odniesienia do podejścia konstruktywistycznego, a więc budowania przez uczniów swojej wiedzy, a zwłaszcza do podejścia konstrukcjonistycznego, czyli mobilizowania i aktywizowania uczniów w inspirującym ich środowisku wytworów fizycznych, służących ich uczeniu się, indywidualnej, jak i zespołowej kreatywności. Te dwa podejścia powinny zainspirować szkoły przy budowaniu swoich laboratoriów przyszłości, jako środowisk uczenia się oraz organizacji w nich kształcenia. Konstrukcjonizm to coś więcej niż popularne prace ręczne czy majsterkowanie – aby rzeczywiście stał za aktywizowaniem myślenia i uczenia się uczniów, powinien stanowić teoretyczne podstawy planowania, projektowania i realizacji zajęć przez nauczycieli.

Zrozumienie i uczenie się na bazie własnego doświadczenia, w przeciwieństwie do przekazu od nauczyciela lub z innego źródła, jak podręczniki, jest podstawowym założeniem robotyki edukacyjnej i informatyki z urządzeniami fizycznymi, a ogólnie – **ruchów makerskich** (ang. *maker movement*), którym poświęcony jest ten punkt artykułu. Wbrew prostej interpretacji nazwy – ruchy twórców – podejście makerskie w edukacji nie polega tylko na wyjaśnieniu, jak korzystać z różnych narzędzi i jak utworzyć dany produkt, ale w jaki sposób środowiska twórców mogą się stać miejscem konstruowania własnej wiedzy uczniów.

Podejście makerskie może dostarczać nowych dróg realizacji tradycyjnych treści, jak i wprowadzać całkiem nowe. Ponadto ma szansę zmienić praktyki nauczania przez przemyślenie środowisk nauczania i uczenia się, zachowania uczniów i możliwości pomocy uczniom w ich uczeniu się. Procesy tworzenia towarzyszące uczeniu się mogą aktywniej angażować uczniów i pomóc im w konstruowaniu swojej wiedzy. Tworzenie z różnych materiałów i w różnych środowiskach prowadzi do interdyscyplinarnego uczenia się. W postaci projektów makerskich mogą być realizowane projekty z dyscyplin STEAM, zwłaszcza nauk przyrodniczych, technicznych i artystycznych. Nacisk na techniczną stronę zajęć wcale nie ma na celu kształcenia inżynierskiego, ale ma być edukacją twórców, znajdujących swoje pasje i satysfakcje z wytwarzania produktów własnych zainteresowań i wyobraźni.

Ruchy makerskie są uznawane za jedno z najbardziej obiecujących kierunków rozwoju i wykorzystania technologii na rzecz edukacji. Zmiany na lepsze nie następują jednak w edukacji samoistnie, czego przykładów mamy wiele<sup>26</sup>. Jak w przypadku każdej interwencji w edukację, przychodzącej na ogół spoza edukacji, ruchy makerskie wymagają wsparcia edukacją – pedagogiką i dydaktykami przedmiotowymi. Niezbędne są więc coraz bardziej zaawansowane koncepcje i formy nauczania.

Filozofia ruchów makerskich jest oparta na filozofii człowieka, który od zarania historii zawsze coś tworzył, konstruował, budował – tworzenie było zawsze częścią człowieczeństwa. Nastanie wirtualnych przestrzeni dla aktywności i efektów twórczości człowieka nie odsunęło na bok wytwarzania rzeczy fizycznych, a wręcz

24 Z wyjątkiem fragmentów tych zajęć, które od jakiegoś czasu dotyczą bezpieczeństwa uczniów na drogach oraz zdobywania przy tej okazji karty rowerowej.

25 Te braki ma szansę uzupełnić sprzęt nabywany w ramach inicjatywy Laboratorium Przyszłości.

26 Wiele technologii wprowadzonych do szkół na przestrzeni ostatnich 30 lat nie przyniosło spodziewanych korzyści uczącym się. Tak było ze specjalnymi uczniowskimi laptopami i ich sieciami, jak i z tablicami interaktywnymi. Technologii niewspartej i niezintegrowanej z edukacją nie można jednak obwiniać, że nie przynosi efektów edukacyjnych.



wzmocniło potrzebę kreowania i wykonywania namacalnych efektów w procesie fizycznego wytwarzania. Kreatywne rozwiązania w postaci fizycznej, zwykle w odpowiedzi na ważne społeczne zapotrzebowanie, są nie tylko osiągnięciami ich twórców, ale stanowią często o dobrobycie społeczeństw.

Wypada wspomnieć, że Seymour Papert był również prekursorem ruchów makerskich w edukacji, gdy na przełomie XX i XXI wieku uczestniczył w tworzeniu Laboratorium Konstrukcjonistycznego Uczenia Się (CLL – *Constructionist Learning Laboratory*) w centrum dla osądzonych nastolatków w stanie Maine (USA), którego celem było stworzenie środowiska projektowania i tworzenia wytworów, czym mogliby się zająć i dzielić osadzeni. Przyjęto, że konstruktywistyczne uczenie się zachodzi nawet wtedy, gdy uczący się, jak i ich opiekunowie, nie są świadomi samej teorii, ale bezpośrednio uczestniczą w doświadczeniach, realizując praktyczne projekty, majsterkują w poszukiwaniu innowacyjnych rozwiązań. Ponadto w latach dziewięćdziesiątych idee Logo jako narzędzia wyrażania siebie w postaci obiektów na ekranie, zostały rozciągnięte na świat fizyczny w postaci zestawów robotów Lego Mindstorms<sup>27</sup>, wyposażonych w mikrokontrolery i czujniki.

Uczeń jako twórca (ang. *maker*) staje przed postawionym mu zadaniem obmyślenia i zaprojektowania rozwiązania, a następnie utworzenia go przy użyciu tradycyjnych materiałów (jak papier, drewno czy tkaniny), ewentualnie łączonych (fizycznie lub funkcjonalnie) z elementami techniki cyfrowej, jak lutowanie elementów, cięcie laserowe, drukowanie 3D. Praca wykonywana własnymi rękami ma silną moc wytrwałego dążenia do sukcesu, uczy zaradności w sytuacjach napotykania trudności, umożliwia uczniom poznawanie i śledzenie procesów wytwórczych, jak i zapoznawanie się z własnościami materiałów, z którymi pracują. Takie zajęcia powinny odbywać się w pomieszczeniach przygotowanych do tego rodzaju prac i odpowiednio wyposażonych<sup>28</sup>.

Ruchy makerskie mają na celu m.in. przybliżenie uczniom sposobów rozwiązywania problemów, z którymi mogą spotkać się w dorosłym życiu, gdzie oczekuje się od pracowników otwarcia na współpracę z innymi, inwencji w wykonywaniu nawet rutynowych czynności, kreatywnego rozwiązywania problemów, pracy w różnych miejscach i warunkach. Tradycyjne zajęcia szkolne przebiegające w trybie klasowo-lekcyjnym pod dyktando nauczyciela, z uczniami pracującymi na ogół indywidualnie nad tymi samymi zadaniami, kontrastują ze współczesnymi miejscami pracy. Podejście czerpane z filozofii ruchów makerskich ma szansę to zmienić.

Ruchy makerskie rodziły się w warunkach pozaszkolnych i były luźno związane z tym, co dzieje się w szkołach. Uzasadnione są więc obawy animatorów tych ruchów o akceptację takiego stylu uczenia się w środowiskach formalnej edukacji, w szkołach. Po pierwsze, to podejście może wiele stracić i okazać się niczym nowym, jeśli w prosty sposób zostanie dołączone do galerii narzędzi i podejść zaliczanych do „TIK w edukacji”, takich jak autonomiczne roboty, które poza programowaniem nie pozostawiają uczniom zbyt wiele miejsca na ich twórcze działania. Po drugie, zagrożeniem dla ekspansji tych ruchów może być rozumienie zajęć praktycznych jako czysto technicznych lub zawodowych, drugorzędnych w stosunku do tradycyjnego ogólnokształcącego nauczania i pracy uczniów w klasie, w dużym stopniu nadal metodami podającymi, z niewielkim udziałem konstruktywizmu jako sposobu budowania wiedzy przez uczniów. W warunkach szkolnych jest ważne, by ta przestrzeń edukacyjna związana z „konstruowaniem wiedzy” nie była odizolowana, ale zapewniała integrację z zapisami podstawy programowej nie tylko informatyki, ale także przedmiotów, których dotyczą budowane konstrukcje. W ten sposób przestrzenie makerskie mogą wpłynąć na wzbogacenie tradycyjnych sposobów rozwoju i budowania wiedzy uczniów.

Zwraca się jeszcze uwagę na różnice między pracownikami makerskimi, a tradycyjnymi laboratoriami w szkołach, w których odbywają się zajęcia z przedmiotów przyrodniczych, jak fizyka, chemia, biologia. W tych tradycyjnych na ogół panują dość rygorystyczne zasady wykonywania doświadczeń i uczniowie zwykle dążą do odkrycia na nowo pewnych, wcześniej zweryfikowanych praw, jak np. prawo Ohma, podczas gdy w laboratorium makerskim zakłada się, że uczniowie mają pełną swobodę w swym kreatywnym działaniu.

Dodajmy, że w odróżnieniu od klasycznych pracowni, cechą laboratoriów makerskich jest jeszcze różnorodność narzędzi, materiałów i możliwych działań uczniów. Nawet w przypadku pracowni komputerowej – komputery mogą być identyczne, ale projekty uczniowskie mogą być różne, zwłaszcza gdy dotyczą programowania robota lub symulacji działania urządzeń budowanych przez uczniów. Różnorodność projektów w pracowniach makerskich jest nie do ogarnięcia, od produktów kulinarnych, przez tekstylne, budowlane i robotyczne, po konstrukcje naspikowane elektronicznymi gadżetami (programowalnymi czujnikami, silnikami). Stymulowane często przez wyzwania i problemy z otoczenia uczniów, na ogół obejmują kilka działów (przedmiotów) kształcenia, są więc interdyscyplinarne, wpisując się tym w koncepcje środowisk STEAM. Ich realizacja przebiega indywidualnie lub zespołowo, inicjowana w murach szkoły często rozlewa się poza nią i regularny tryb zajęć w szkole.

Doświadczenia (zwłaszcza amerykańskie) pokazują, że utworzenie pracowni makerskiej i prowadzenie takich zajęć w szkole wymaga zatrudnienia nauczyciela<sup>29</sup>, który będzie zajmował się tylko tym w skali całej szkoły, a obowiązki jego obejmą zarówno dbanie o różnorodne zaplecze techniczne – utrzymanie i zakupy – jak i stronę

<sup>27</sup> Robotykę w postaci zestawów Lego Mindstorms, które pojawiły się już w latach 90., można uznać za pioniera zarówno informatyki z urządzeniami wbudowanymi, jak i ruchów makerskich w edukacji.

<sup>28</sup> P. Blikstein w 2010 roku stworzył na potrzeby edukacji projekt FabLearn, który miał na celu wprowadzenie przestrzeni twórców do szkół. Projekt ten funkcjonuje obecnie w ponad 22. krajach. W Polsce jego koordynacją zajmuje się Centrum Nauki Kopernik w Warszawie.

<sup>29</sup> Podobnie w szkołach zatrudnia się nauczycieli muzyki, plastyki i zajęć fizycznych i to jest zrozumiałe dla decydentów.

merytoryczną i metodyczną różnorodnych tematycznie zajęć. Ten nauczyciel powinien nadać styl pracowni i zajęciom. Nie można w tym liczyć na nauczycieli przedmiotów, nikłe rezultaty wdrożenia ICT i informatyki oraz ich integracji z innymi przedmiotami nie zapowiadają wiele dobrego z ewentualnej integracji ruchów makerskich w ramach różnych przedmiotów. Osobny nauczyciel może zająć się promowaniem podejścia makerskiego, opracowaniem propozycji projektów makerskich i ewentualnie być drugim nauczycielem, gdy nauczyciel innego przedmiotu podejmie się realizacji takich projektów w ramach swojego przedmiotu.

Dwa czynniki zadecydują, czy ruchy makerskie okażą się innowacją w formalnej edukacji, w szkołach. Z jednej strony należy wyzbyć się stereotypowego podejścia do zajęć technicznych i przełamać rozdźwięk między zajęciami praktycznymi a intelektualnymi. Z drugiej zaś uznać, że procesy tworzenia mogą przyczyniać się do powstawania u uczniów pomysłów, kształtowania umiejętności i sposobów ekspresji, a więc wnieść istotne elementy do psychologii rozwojowej, projektowania interakcji, konstrukcjonizmu i edukacji postępowej (progresywnej). Na umiejętności techniczne uczniów nie należy patrzeć tylko jak na ewentualne przygotowanie zawodowe, ale jako sposób wyposażenia ich w „narzędzia” uczenia się i budowania swojej wiedzy.

Realnie patrząc obecna konstrukcja systemu edukacji i struktury obszarów kształcenia (przedmiotów) w Polsce nie jest przygotowana do upowszechniania ruchów makerskich w szkołach. Zajęcia z techniki kończą się po VI klasie szkoły podstawowej i w dalszym kształceniu uczniowie mogą się spotkać z podejściem makerskim dopiero wybierając jedną z nitek kształcenia zawodowego. Obecnie cała nadzieja w ekspansji ruchów makerskich na zajęcia pozalekcyjne w szkołach i w pozaszkolnych klubach zainteresowań. Dodajmy, że w ruchach makerskich upatruje się szansę technicznego zaangażowania dziewcząt<sup>30</sup>. Roboty naśladujące np. samochody czy inne pojazdy, zwykle są „zabawkami” chłopców, natomiast dziewczęta może przyciągnąć tworzenie z wykorzystaniem materiałów codziennego użytku<sup>31</sup>, takich jak tkaniny czy proste materiały budowlane.

#### 2.4. Metodyka zajęć z obiektami fizycznymi

To nie ma być uczenie się czegośkolwiek  
podczas wykonywania czegośkolwiek

[ang. *It is not learning something from doing something*]

W tej części artykułu odnosimy się do kwestii metodycznych, związanych z aktywnościami uczniów i środowiskami uczenia się, w których obok nich i w ich rękach mogą pojawić się fizyczne obiekty, takie jak roboty, mikrokontrolery czy jakiegokolwiek materiały służące wytwarzaniu. Rozważania poniżej, w mniejszym lub większym stopniu odnoszą się do wszystkich trzech sekcji w tym rozdziale – zajęcia z robotami czy informatyka z urządzeniami mają wiele cech ogólnego podejścia makerskiego.

Propozycje zajęć w tym rozdziale stoją najbliżej konstrukcjonizmu, zgodnie z którym uczenie się jest najskuteczniejsze, gdy uczący się świadomie konstruuje wiedzę, rozwijają kompetencje z własnej inicjatywy i aktywnie angażują się w tworzenie czegoś, co ma znaczenie dla nich samych oraz ich bliskich – opracowują i tworzą wartościowe dla nich produkty, które mogą zaprezentować rówieśnikom, znajomym, rodzicom. W takim środowisku zwiększone zainteresowania i motywacje pozytywnie wpływają na kreatywność uczniów, przyczyniając się w konsekwencji do głębszego zrozumienia pojęć i metod informatyki. Co więcej, zajęcia z informatyki z urządzeniami, w szczególności z urządzeniami wbudowanymi, które na co dzień uczniowie spotykają wokół siebie, mogą stać się alternatywą i przeciwwagą dla dominacji „czystej” informatyki i nauki programowania, stanowić połączenie świata wirtualnego z rzeczywistym.

We wszystkich trzech rodzajach środowisk z tego rozdziału zajęcia mają na celu zmianę postaw uczniów z pasywnych obserwatorów i użytkowników w aktywne twórców rozwiązań. Proces tworzenia prowadzi uczniów przez spiralę kreatywnego uczenia się, w której na początku uczeń wyobraża sobie, jak powinna wyglądać rzecz, którą ma stworzyć, następnie przechodzi do jej tworzenia według wcześniej zarysowanego projektu<sup>32</sup>, testuje jej działanie i gotowy już twór udostępnia innym uczniom, a sam przechodzi do refleksji nad własnym wytworem, obmyślając jego modyfikacje, usprawnienia i inne zastosowania. Sugeruje się, by dobór wyzwań dla uczniów uwzględniał ich pasje, zainteresowania i wcześniej rozpoznane przez nauczyciela umiejętności. Zwłaszcza młodych uczniów może pociągać tworzenie rzeczy do zabawy, w tym wspólnej z innymi uczniami. Z kolei starszych uczniów może zainteresować tworzenie obiektów związanych z ich bardziej profesjonalnymi zainteresowaniami, np. związanych z dalszymi etapami kształcenia (np. zawodowego) i przyszłą pracą.

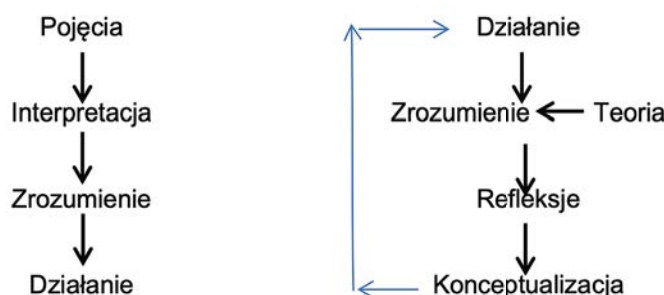
30 Tworzenie, a przy tym uczenie się, może być szansą dla osób, które z różnych powodów stronią od technologii. Mniej zaawansowane technologie i materiały codziennego użytku, jak materiały rzemieślnicze, tkaniny i różne materiały budowlane, mogą obniżyć poprzeczkę tym, którzy uważają, że prace o charakterze inżynierskim są przeznaczone tylko dla rodzaju męskiego.

31 Zajęcia tego typu pojawiają się w ramach przedmiotu technika i mają często bardzo urozmaicony charakter; uczniowie mogą przygotowywać potrawy, szyc ubiory, tworzyć modele z drewna. Nowe szanse stwarza inicjatywa Laboratorium Przyszłości, w ramach której szkoła może nabyć wyposażenie do całej gamy zajęć umożliwiających uczniom rozwój inwencji twórczych i kreatywności oraz tworzenie i produkcję fizycznych obiektów.

32 Etap tworzenia ma na ogół najmniejszy zakres w przypadku zajęć z robotami (te autonomiczne są niemal gotowe do użycia), z wyjątkiem niektórych zestawów robotów, z których uczniowie dopiero budują roboty, często według własnego pomysłu.

### 2.4.1. Podejście

Na rysunku poniżej zilustrowano obok siebie uproszczone schematy podejścia pedagogicznego: w tradycyjnej szkole (po lewej stronie) i bazującego na podejściu makerskim i z urządzeniami (z prawej strony)<sup>33</sup>. Tradycyjnie lekcja jest na ogół poświęcona określonej tematyce z programu nauczania danego przedmiotu. Po przedstawieniu tematu nauczyciel najpierw wprowadza nowe pojęcia i metody z nimi związane, a następnie ilustruje te pojęcia na przykładach i w rozwiązaniach przykładowych zadań, by zrozumieli je uczniowie. Przyjmując, że tak się dzieje, nauczyciel poleca uczniom samodzielne rozwiązanie dalszych zadań, które mają im pomóc w konceptualizacji omawianych pojęć i metod.



Tok zajęć (lekcji) – tradycyjny i współczesny<sup>34</sup>

Schemat po prawej stronie odnosi się do sytuacji praktycznych i życiowych, takich jak: budowanie różnych urządzeń i posługiwanie się nimi, obliczenia i rozwiązywanie problemów, w tym programowanie, projekty międzyprzedmiotowe, a nawet rozwijanie i podtrzymywanie kontaktów rodzinnych i społecznych. Aktywności uczniów w tych sytuacjach, w szczególności proces uczenia się, rzadko przebiegają tak, jak podczas tradycyjnej lekcji w klasie na wybrany temat. Uczeń nie rozpoczyna od poznania pojęć (i teorii z nimi związanej), by wykorzystać je praktycznie, ale zaczyna „uczyć się” od działania, podejmowania prób „rozwiązania” postawionej (lub wybranej przez niego) sytuacji problemowej. Wyniki jego działań służą za podstawę do refleksji nad tym, co się wydarzyło oraz zrozumienia podejmowanych prób i ich efektów. Uczącemu się może w tym pomóc nauczyciel, przybliżając mu „teorię” stojącą za wykonywanymi działaniami i potrzebną do zrozumienia. Ostatecznie uczący się rozumiejąc, co się dzieje, dochodzi do konceptualizacji pojęć, które się pojawiły w trakcie jego pracy. Wtedy ponownie przejrzeć swoje działania w procesie uczenia się, aby je zweryfikować i ewentualnie udoskonalić, jednocześnie rozwijając zrozumienie występujących pojęć.

Podejście z prawej strony jest charakterystyczne dla zajęć z różnymi urządzeniami, które uczniowie tworzą. Jest odwróceniem tradycyjnych zajęć lekcyjnych, na których najczęściej uczeń jest odbiorcą informacji przekazywanych przez nauczyciela, z niewielką szansą na aktywne konstruowanie własnej wiedzy z tego przekazu. Podczas celowego tworzenia pewnych obiektów uczeń jest aktywny, podejmuje własne działania, nierzadko z wykorzystaniem technologii. Cały proces jest okazją do refleksji nad uczeniem się, zrozumienia i konceptualizacji tego, co uczeń robi i co się dzieje. Refleksja, zrozumienie i konceptualizacja powinny być naturalnym, ale i niezbędnym etapem konstrukcji wiedzy przez ucznia. Jednak nawet jeśli uczniowie są w stanie samodzielnie wyprodukować określony obiekt, to rzadko bywają zainteresowani refleksją nad tym, co robią. Niezbędna jest więc w tym interwencja nauczyciela.

### 2.4.2. A ile nauczył się uczeń?

Zapewne każdego nauczyciela interesuje, czy jeśli uczeń wykonał zadanie (zbudował robota czy inny obiekt, rozwiązał zadanie matematyczne, napisał działający program komputerowy), to czy rozumiał, co robił i co zrobił, czy rozumiał proces wytwarzania, czyli czego się nauczył i jaką skonstruował wiedzę, i dodatkowo, jak myślał. Krótko – czy wykonanie projektu (urządzenia) może być potwierdzeniem tego, że zaszło uczenie się? Te pytania można przenieść na poziom werbalny – czy uczeń potrafi opisać to, co stworzył i czego się nauczył w języku terminów i pojęć, które się pojawiały, czy jest tego wszystkiego świadomy? A ogólnie, czy proces tworzenia określonego obiektu przyczynił się do skonstruowania przez niego pojęć związanych z tym procesem?

Już Jean Piaget<sup>35</sup> w swoich badaniach zauważył, że istnieje różnica między skutecznym zrobieniem czegoś, a zrozumieniem tego, co zostało zrobione, zdolnością do konceptualizacji działania i refleksji nad sukcesem.

33 Bardziej szczegółowy opis przebiegu zajęć w odniesieniu do robotów, ale odpowiedni również dla innych środowisk wytwarzania, zamieszczony został w punkcie poświęconym robotyce.

34 Na podstawie Valente J.A., Blikstein P. (2019), *Maker Education: Where Is the Knowledge Construction?* Constructivist Foundations, 3/14, s. 252-271.

35 Piaget J. (1974/1976), *Grasp of consciousness: Action and concept in the young child*, Psychology Press, London.

(Oryginał po francusku: Piaget J. (1974), *La prise de conscience*, PUF, Paris).

Piaget J. (1978), *Success and understanding*, Harvard University Press, Cambridge MA.

(Oryginał po francusku: Piaget J. (1974), *Réussir et comprendre*, PUF, Paris).

Wyjaśnienie tego, co zostało nabyte w działaniu, nie jest wynikiem samego działania, ale procesu „refleksyjnej abstrakcji” z działania. Według Piageta przejście od wiedzy w formie praktycznej do zrozumienia odbywa się poprzez **uchwycenie (zrozumienie) świadomości** (ang. *grasp of consciousness*), które jest poziomem konceptualizacji, a następuje poprzez mentalną rekonstrukcję aktywności fizycznej – refleksją nad abstrakcją (ang. *reflecting abstraction*). Zachodzi to w procesie przekształcania schematów działania w składające się na nie pojęcia i operacje i prowadzi do koordynacji działań z właściwościami przedmiotów. Uwzględniając coraz bardziej złożone pojęcia, osoba może przejść od pierwszych, przedczesnych sukcesów, do rozumienia pojęciowego. Osiąga to stopniowo w kolejnych fazach, w coraz większym stopniu uwzględniając elementy składające się na zadanie i powiązania między nimi.

W pojmowaniu świadomości Piaget wyróżnił trzy poziomy: (1) działanie materialne bez konceptualizacji, (2) konceptualizację i działanie materialne oraz (3) konceptualizację kierującą działaniem materialnym. Postęp na tych poziomach zależy od rosnącej zgodności między dwoma przeciwstawnymi ruchami: eksterioryzacją, czyli ruchami fizycznymi i przyczynowymi oraz interioryzacją, czyli ruchami logiczno-matematycznymi, które wyrażają cykliczną relację między podmiotem a przedmiotami, gdzie „podmiot uczy się poznawać siebie tylko poprzez działania, a przedmioty stają się rozpoznawalne dopiero dzięki postępowi działań, które mają na niego wpływ”.

Ujmowanie świadomości przez Piageta może być rozumiane jako poznawczy proces asymilacji własnego funkcjonowania lub funkcjonowania innych podczas interakcji z obiektami fizycznymi, ludźmi i sobą. Umieścić on rozumienie świadomości w ramach rozwoju poznawczego, niemal równoważnie do słownej refleksji nad działaniem.

#### 2.4.3. Rola nauczyciela

Uczniowie uczą się tworzenia różnych obiektów (robotów, systemów wbudowanych, tworów makerskich) w autentycznych kontekstach, indywidualnie i we własnym tempie. Takie konstrukcje cechuje interaktywność, umożliwiającą łatwą weryfikację osiągniętego sukcesu. Ale czy to oznacza, że rozumieją pojęcia i zasady tworzenia obiektu oraz zasady jego funkcjonowania? Docelowy obiekt mógł być tworzony według ścisłej instrukcji lub powstawać metodą prób i błędów – jak ocenić skuteczność działania uczniów? W procesie tworzenia niezbędny jest więc nauczyciel, który nakieruje uczniów na głębsze zrozumienie występujących pojęć i mechanizmów funkcjonowania urządzeń. Nauczyciel nie powinien dyktować uczniom jedyne słuszne rozwiązanie, ograniczając w ten sposób samodzielność i inwencję uczniów.

Przed systemami edukacji staje więc wyzwanie, jak odpowiednio przygotować nauczycieli do tej nowej roli facilitatora – opiekuna rozwoju ucznia. Pojawiają się przynajmniej dwa pytania. Po pierwsze skąd nauczyciel może wiedzieć, czy uczeń nauczył się tego, czego miał się nauczyć, jeśli nie można tego wywnioskować z samego produktu, który stworzył? Po drugie interdyscyplinarny charakter produktu i procesu sprawia, że nauczycielom często trudno jest ocenić rozwiązanie i wiedzę wykorzystaną w produkcie – może to być dobrze działający obiekt interaktywny, który używa tylko kilku linijek kodu, ale jest bardzo złożony pod względem wykorzystanej mechaniki i elektroniki oraz powiązań między nimi.

Chociaż realizacja projektu, a nawet prostego zadania utworzenia obiektu może być związana z dużym zaangażowaniem i wysiłkiem ucznia, to jednak nie zawsze prowadzi do uczenia się. Nie jest do końca prawdą powszechny pogląd, że samo wykonanie czegoś jest równoznaczne z poznaniem pojęć i konstrukcji tkwiących w wykonanym artefakcie. Na ogół przyjmuje się bardzo uproszczone postępowanie, że wykonanie zamierzonego produktu kończy projekt (dla ucznia) i jego ocenianie (przez nauczyciela). Niezbędne jest jednak włączenie podejścia konstrukcjonistycznego, czyli wspólnego postępowania uczniów i nauczyciela.

Kontynuując więc za Piagetem należy przyjrzeć się, jaka powinna być rola nauczyciela przy konstruowaniu wiedzy przez ucznia, jak nauczyciel może mu pomóc w formalizowaniu pojęć. W konkretnej sytuacji, gdy uczeń zbuduje już jakiś obiekt, pojawia się pytanie, jak ocenić (dotychczasową) wiedzę, którą wykorzystał i nową wiedzę, którą stworzył przy tworzeniu tego obiektu. Skąd nauczyciel może wiedzieć, że uczeń zrozumiał i poznał pojęcia, które wystąpiły przy budowaniu swojego obiektu? Czy uczeń potrafi opisać to, co stworzył? Czego się nauczył, czy jest tego świadomy? Czy proces tworzenia określonego obiektu przyczynił się do skonstruowania przez niego pojęć, związanych z tym procesem?

Rola nauczyciela jest ważna zarówno w trakcie tworzenia obiektu przez ucznia, jak i w rozwijaniu jego świadomości stosowania technik i strategii tworzenia oraz pojawiających się pojęć. Samo wykonanie produktu, chociaż ważne, nie jest wystarczające do zbudowania wiedzy przez ucznia, w szczególności rozumienia pojawiających się pojęć i stosowanych metod. Ponadto nauczyciel powinien poświęcić szczególną uwagę wsparciu kształtowania i rozwoju myślenia komputacyjnego u uczniów, zwłaszcza dwóch głównych jego filarów – myślenia abstrakcyjnego i dekompozycji, czyli rozkładu większych przedsięwzięć na czynności prostsze. Abstrakcja może być związana z **dekonstrukcją**, gdy w procesie tworzenia docelowego produktu wykonując pewne eksperymenty, uczeń przechodzi od ogółu – konstrukcji o pewnych cechach funkcjonalnych do szczegółowych rozwiązań, z których będzie budował urządzenie<sup>36</sup> spełniające wyróżnione funkcje.

<sup>36</sup> Tym „urządzeniem” – jak było napisane wcześniej, może być okrąg, który uczeń chce narysować.

Nauczyciel może szukać odpowiedzi na te pytania w obserwacji działań ucznia oraz w interakcji z nim, by zbadać, jak myśli i działa podczas tworzenia swoich osiągnięć. Powinno to polegać na systematycznej obserwacji zachowań ucznia, słownej komunikacji z nim, wyjaśnieniach i ewentualnie manipulacji przedmiotami. Uczniowi mogą być przedstawione dodatkowe wyzwania, które ma podjąć, podczas gdy nauczyciel obserwuje jego działania, by zrozumieć ich znaczenie dla niego. Starając się zrozumieć zachowanie ucznia formułuje hipotezy i potwierdza je lub obala. Na podstawie zebranych informacji i obserwacji nauczyciel może interweniować odpowiednio do sytuacji, co w konsekwencji może ułatwić uczniowi zrozumienie nowych pojęć i konstruowanie nowej wiedzy.

Interakcja między nauczycielem a uczniem zwiększa efektywność uczenia się, poprzez wsparcie ucznia w konstruowaniu jego wiedzy. W przypadku budowania konkretnego urządzenia (np. robota lub rozbudowy mikrokontrolera), pytania nauczyciela do ucznia mogą dotyczyć pojęć związanych z konstrukcją samego urządzenia i jego działaniem, a także ewentualnych modyfikacji, co może wyprowadzać ucznia poza pierwotny projekt, poszerzając znaczenie poznawanych pojęć. Etap testowania urządzenia i/lub programu – jak działa, ewentualne naprawianie usterek w budowie – jest kolejną okazją do poszerzania wiedzy ucznia, związaną np. z rozbudową urządzenia, czyli uogólnieniem w języku myślenia komputacyjnego. Testowanie urządzenia to jednak złożona czynność, jeśli ma rzeczywiście przyczynić się do poszerzenia wiedzy ucznia. Należy w jego ramach określić procedury testowania, zmienne które mają być obserwowane i powiązania między nimi, rodzaj zbieranych danych oraz sposoby ich analizy. Na podstawie wyników tej analizy przez ucznia, nauczyciel w ewentualnej rozmowie z nim, może ocenić poziom zrozumienia występujących pojęć, prawideł działania urządzenia oraz zasadność pomysłów jego udoskonalenia i rozbudowy. Testowaniu cech i prawidłowości działania urządzenia może towarzyszyć komputerowa symulacja jego modelu w odpowiednich aplikacjach komputerowych. Model może być przykładem w pełni poprawnej wersji budowanego przez ucznia urządzenia, a jego symulacja może poszerzyć rozumienie pojęć i powstających konstrukcji. W przypadkach niektórych urządzeń uzupełnieniem modelu i jego symulacji może być zależność fizyczna lub matematyczna między występującymi/badanymi zmiennymi, która może posłużyć do dalszej ich analizy. Za przykład może tutaj posłużyć zaprogramowanie robota Dash z wyrzutnią piłeczek, by celował do kosza z różnych odległości, a więc wyrzucając piłeczki z odpowiednią siłą. Rozszerzeniem w tym przypadku może być zależność fizyczna odległości od siły wyrzutu, której można poświęcić czas na lekcji fizyki.

W procesie tworzenia różnych obiektów, elementy technologii, w szczególności informatyki, mogą pojawić się na różnych etapach w różnym zakresie. Jednoczesne powstawanie obiektu fizycznego i programu podczas realizacji projektu jest na ogół procesem silnie zintegrowanym. Podobnie zintegrowane są i powinny być sposoby myślenia komputacyjnego, towarzyszące realizacji projektu. W tym procesie dochodzi do wzmocnienia sposobów rozumowania, odnoszących się jednocześnie do konstrukcji obiektu (*hardware*) i jego oprogramowania/sterowania (*software*).

Pogłębione spojrzenie na proces uczenia się i jego efekty w kontekście zajęć związanych z wytwarzaniem przeróżnych produktów, w tym programów komputerowych, stawia przed nauczycielami wyzwania związane z przygotowaniem się do zmian w kierunku nowej pedagogiki i dydaktyki, nowego stylu i sposobu pracy. Z kolei decydenci powinni zadbać o odpowiednie wyposażenie szkół i dążyć do zmiany organizacji zajęć przez osłabienie systemu klasowo-lekcyjnego, by znalazło się miejsce na edukację postępową, otwartą na autentyczne sytuacje, promującą indywidualne i osobiste dociekania uczniów i prowadzącą do programów nauczania o istotnym dla nich znaczeniu.

#### 2.4.4. Ocenianie

Ocenianie uczniów powinno uwzględniać wiele elementów. Odnośnie samych produktów może być dwojaki – bazować tylko na produkcie lub uwzględniać również cały proces jego tworzenia. W tym celu nauczyciel może posłużyć się odpowiednią tabelą<sup>37</sup>, którą udostępni również uczniom. Jeśli oceniany jest nie tylko produkt końcowy, ale także proces jego tworzenia, to tabela powinna być bardziej rozbudowana i uwzględniać wyznaczone przez nauczyciela etapy powstawania produktu. Projekty mogą być indywidualne i zespołowe. W tym drugim przypadku ocena poszczególnych uczniów powinna uwzględniać ich wkład w powstający obiekt, ale również elementy współpracy i komunikacji. W przypadku projektów zespołowych ważne jest, by nie dochodziło do marginalizacji niektórych uczniów i dominacji innych, np. w przypadku, gdy niektórzy z nich lepiej sobie radzą z wyróżnioną materią projektu. W tworzeniu różnych obiektów uczniowie mogą korzystać w większym lub mniejszym stopniu z gotowych półproduktów. Wtedy ocena wkładu ucznia może być utrudniona, zwłaszcza przy różnej skali korzystania z takich produktów przez różnych uczniów. Jak w każdej innej sytuacji w szkole, problemem w ocenie wkładu uczniów jest to, w jakim stopniu korzystali z gotowych rozwiązań czerpanych z sieci, np. z gotowego oprogramowania. Czy przy ocenianiu wystarczy sprawdzić, że uczeń rozumie pobrany element, jego działanie i sposób wykorzystania? To decyzja nauczyciela.

Należy skupić uwagę na ocenach bazujących na procesie tworzenia, a nie tylko na samych produktach, biorąc pod uwagę, jak trudno je wytworzyć z dostępnych materiałów za pomocą dostępnych narzędzi, wykorzystując posiadaną i rozwijaną w trakcie tego procesu wiedzę. Szukając relacji między tworzeniem a uczeniem się, cel

<sup>37</sup> Kierowanie pracą uczniów za pomocą tabeli, która ma służyć także do formułowania ich oceny, stoi jednak w sprzeczności z „wolnością” i swobodą działania uczniów w środowiskach twórców.

nauczania powinien poprzedzać wybór technologii i działań, które mają wykonać uczniowie. Zwykle cel edukacyjny może być osiągnięty przy pomocy różnorodnych środków – materiałów i narzędzi.

Należy mieć na uwadze, by tworzenie obiektów nie zamieniło się w czystą ich produkcję bez przełożenia na to, czego uczą się uczniowie w trakcie ich tworzenia. Z punktu widzenia edukacji to podejście powinno być oparte na ocenianiu kształtującym, a nie sprowadzać się do oceny technologii wytwarzania. Podobne założenia czynimy w odniesieniu do programowania – nie służy ono napisaniu programu, ale jest finalnym etapem procesu rozwiązywania problemu, w trakcie którego uczeń poznaje pojęcia informatyczne i struktury komunikacji z komputerem.

Z jednej strony nauczyciele starają się mieć przejrzyste kryteria oceniania uczniów, z kolei uczniowie czują się pod presją oceny, ale ocena daje im poczucie satysfakcji, gdy są nagradzani za swoje wysiłki. Rolą nauczyciela jest pogodzenie swojego podejścia z oczekiwaniami uczniów, aby z jednej strony rzetelnie oceniać zdobywane kompetencje uczniów, a z drugiej strony – nie zakłócać konstrukcjonistycznego uczenia się, wytrącając motywację uczniów do rozwijania własnego uczenia się<sup>38</sup>. Nauczyciel powinien więc przywiązać należytą uwagę do kwestii, jaką rolę w ocenianiu uczniów powinny odgrywać tworzone przez nich produkty – ich wygląd, funkcjonalność (w tym zintegrowane z obiektem oprogramowanie oceniane jako produkt informatyczny), innowacyjność itp., czy powinny pozostawać tylko jako produkty uboczne uczenia się.

prof. dr hab. Maciej M. Sysło  
Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki

<sup>38</sup> Zdaniem Paperta, tradycyjne ocenianie (ocena wyniku uczenia się na stopień) i tradycyjnie rozumiane programy nauczania i ich realizacja stoją na drodze konstrukcjonistycznego uczenia się, prowadząc do obniżania motywacji uczniów i ograniczenia ich swobodnego uczenia się.