

Stanisław Szablowski

SYMULACJA KOMPUTEROWA W NAUCZANIU
PRZEDMIOTÓW ELEKTRYCZNYCH W SZKOŁACH
ZAWODOWYCH

Modelowanie i symulacja jako komponent procesu kształcenia

U progu nowego stulecia musimy zauważyć i docenić ogromne znaczenie symulacji komputerowej w rozwoju nauki i techniki. Dotychczas od czasów starożytnych panował pogląd, że paradygmat nauki opiera się na teorii i eksperymencie – w chwili obecnej nie jest już on aktualny. Należy zgodzić się z tezą profesora Michała Kleibera¹, który stwierdził, że w XXI wieku teorię i eksperyment uzupełnia symulacja komputerowa. Tezę tę potwierdzają prace badawcze prowadzone w różnych dziedzinach nauki i techniki, wspierane symulacją komputerową. Współczesna symulacja komputerowa jest elementem wielu odkryć naukowych. Bazuje ona na metodologicznej wersji cybernetyki (Z. Biniek 2002), która operuje takimi podstawowymi pojęciami jak *system, struktura, relacja, model, symulacja*.

Prowadzenie badań symulacyjnych z użyciem komputera wymaga przyjęcia pewnych założeń i metod postępowania (Z. Biniek 2002). Proces symulacji komputerowej składa się z wielu etapów i obejmuje:

- definiowanie problemu i celów,
- gromadzenie informacji wejściowych,
- konstrukcję modelu konceptualnego (teoretycznego),
- implementację (komputerową realizację) modelu,
- weryfikację (testowanie) modelu,
- projekt eksperymentów,
- realizację eksperymentów symulacyjnych,
- analizę wyników, dokumentowanie, wdrożenie.

Zauważmy, że wymienione wyżej etapy procesu zawierają w sobie pewne fazy, na które składają się: czynności wstępne, modelowanie, właściwa symulacja komputerowa, czynności końcowe.

Modelowanie i eksperymenty symulacyjne służą nie tylko do badań systemów technicznych, edukacyjnych, społecznych, ale także wspierają procesy uczenia się

¹ „Forum Akademickie”, 7–8/2001, *Wizerunki niepewności* – rozmowa z prof. Michałem Kleiberem.

przedmiotów zawodowych, przyrodniczych i humanistycznych. Oznacza to, że komputerowe pakiety symulacyjne (wirtualne laboratoria) są również środkiem dydaktycznym, przeznaczonym dla nauczycieli i uczniów wszystkich typów szkół. Szczególnie jednak w dydaktyce fizyki, ekonomii i w przedmiotach zawodowych uwzględnia się w coraz większym stopniu komputerowe programy symulacyjne. Przedmiotem analiz w dalszej części niniejszego opracowania będą aspekty dydaktyczne prowadzenia komputerowych eksperymentów symulacyjnych w dziedzinie elektrotechniki i elektroniki.

Jednym z podstawowych pojęć cybernetyki jest modelowanie, które określa się w literaturze jako czynność tworzenia oraz implementacji modeli. Stanowi ono początkowy wycinek procesu symulacji i jest z nią nierozzerwalnie związane. Model jest konstrukcją złożoną z pojęć, cech oraz związków. Pozwala zrozumieć zjawiska, których bezpośrednio nie można postrzegać. Konstrukcje modelowe mogą być przedstawione w formie zapisu matematycznego (model matematyczny), słownego lub graficznego. Model ma ułatwić zrozumienie tego, co podlega obserwacji. Z założenia jest on uproszczonym obrazem rzeczywistości i nie obejmuje wszystkich jej cech. W innym sformułowaniu określa się model jako symulator imitujący działanie urządzenia rzeczywistego lub przebieg określonych procesów rzeczywistych.

Procesy uczenia są przedmiotem analiz wielu teorii pedagogicznych i psychologicznych. Przedstawiona powyżej metodyka prac symulacyjno-eksperymentalnych wykazuje podobną strukturę, według której przeprowadza się badania naukowe. W związku z tym, na podstawie analogii, słuszne wydaje się przyjęcie założenia, że uczenie się wspomagane symulacją komputerową można rozpatrywać w kontekście takich teorii pedagogicznych, które porównują ten proces do twórczego badania. Tak rozumiane uczenie się jest domeną konstruktywizmu i kognitywizmu. Pogląd ten prezentują m.in. de Jong i W.R. van Joolingen (1998), którzy dokonali w Holandii analiz skuteczności symulacji komputerowej w uczeniu się. Traktują oni uczenie się wspomagane symulacją komputerową jako kognitywny proces, w którym zachodzi naukowe odkrywanie rzeczywistości (ang. *scientific discovery learning*). Zdaniem autorów w takim sposobie uczenia się, wywodzącym się z teorii konstruktywizmu, występują wszystkie etapy badań naukowych, uwzględniające rozwiązywanie problemów.

Uczenie się kognitywne oparte jest na założeniach psychologii poznawczej. Kognitywistyka bliska jest pogładowi, który poznanie i zrozumienie działania jakiegoś systemu łączy z umiejętnością budowy jego funkcjonalnego modelu (W. Duch 1998). Kognitywistyka traktuje m.in. modelowanie jako proces starający się wyjaśnić funkcjonowanie ludzkiego umysłu.

Konstruktywizm jest teorią uczenia się, poznawania i zdobywania wiedzy. Jego podstawą jest założenie, że to uczeń sprawuje kontrolę nad własnym uczeniem się oraz konstruowaniem znaczeń. Wiedza jest odkrywana i reodkrywana, konstruowana i rekonstruowana przez uczącego się. Uczniowie poszerzają swoje możli-

wości tworzenia i kreowania indywidualnej wiedzy, która jest dla nich zrozumiała. Konstrukttywizm zakłada, że uczeń jest samodzielnym i aktywnym podmiotem, który korzystając z różnych źródeł informacji konstruuje swój własny system wiedzy i swoją osobowość. Nauczyciel nie jest mu potrzebny jako źródło wiedzy, lecz jako osoba, która stawia zadania poznawcze, doradza, motywuje i kieruje różnymi rodzajami aktywności ucznia (E. Piotrowski 2003).

Propozycje modeli uczenia się-nauczania wspomaganego symulacją komputerową

Do uczenia się-nauczania wspomaganego symulacją komputerową stosuje się, jak już wspomniano, odpowiednie środki dydaktyczne w postaci arkusza kalkulacyjnego i specjalistycznych pakietów symulacyjnych. Rozważmy w pierwszej kolejności specyfikę uczenia się elektrotechniki z pomocą arkusza kalkulacyjnego.

W arkuszu kalkulacyjnym symulowanymi modelami mogą być obwody elektryczne stało- i zmiennoprądowe z parametrami RLC. Dane wejściowe podlegają zmianom w szerokich granicach. Informacja pojawiająca się na wyjściu modelu podlega również zmianom zgodnie z przetwarzanymi algorytmami. Dane wejściowe to: napięcia, prądy, moce wydzielane na różnych elementach obwodu. Obwody elektryczne są opisane równaniami matematycznymi – równania te kodowane w odpowiedni sposób stają się algorytmami obliczeniowymi (formułami). Podstawą utworzenia symulowanego modelu jest znajomość opisu matematycznego obwodu, która wynika z praw elektrotechniki.

Bazując na teorii konstrukttywizmu, ogólną strukturę lekcji z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego możemy zaproponować następująco:

1. czynności organizacyjne:
 - uświadomienie celów lekcji, wprowadzenie w tematykę, wytworzenie zaciekawień.
2. czynności przygotowawcze:
 - kontrola zasobu wiedzy uczniów,
 - stworzenie sytuacji problemowej, uświadomienie problemu i określenie trudności do pokonania,
 - tworzenie hipotez.
3. modelowanie i symulacja komputerowa:
 - utworzenie modelu matematycznego za pomocą równań opisujących obwody i zjawiska elektryczne,
 - określenie zmiennych wejściowych i wyjściowych,
 - transformacja zmiennych oraz całego modelu matematycznego,
 - utworzenie modelu wirtualnego w arkuszu kalkulacyjnym,

- prowadzenie symulacji na modelu wirtualnym.
- 4. weryfikacja i ocena hipotez:
 - sprawdzanie, czy wytworzone wcześniej pomysły mają swoje uzasadnienie w sferze empirycznej.
- 5. podsumowanie i zakończenie lekcji:
 - ocena pracy uczniów,
 - wspólna ocena lekcji.

Symulowany model powinien projektować w arkuszu kalkulacyjnym uczący się – są to wówczas jego działania twórcze, wymagające zaangażowania procesów myślowych, wyobraźni i rozumienia modelu matematycznego w celu jego transformacji do modelu wirtualnego. Modele, matematyczny i wirtualny, są modelami abstrakcyjnymi. Sytuacje problemowe dla ucznia powstają w fazach tworzenia modelu matematycznego, transformacji zmiennych i tworzenia symulowanego modelu wirtualnego. Na etapie myślenia twórczego uczeń:

- dostrzega i formułuje problemy,
- tworzy model matematyczny obwodu,
- dokonuje transformacji zmiennych i modelu matematycznego na model wirtualny, czyli równania matematyczne przekształca w formuły,
- zapisuje i przetwarza formuły w arkuszu kalkulacyjnym,
- projektuje tabele i wykresy.

Z twórczym myśleniem technicznym związane jest zrozumienie obwodu elektrycznego, np. roli źródła i odbiornika, podstawowych pojęć dotyczących wielkości elektrycznych: napięcia, natężenia prądu, mocy. Wirtualny model obwodu w arkuszu kalkulacyjnym jest modelem abstrakcyjnym, transformacja zmiennych i modelu matematycznego na model wirtualny wymaga udziału wyobraźni technicznej. Model wyobraźniowy obwodu jest schematem wyobraźniowym w postaci tabeli i wykresów. Wyobrażenia powstające w fazie myślenia twórczego stanowią obrazową reprezentację obwodu. Wyobraźnia techniczna zaangażowana jest w tworzenie modeli wirtualnych elementów obwodu i przyrządów pomiarowych.

Wytwarzanie modeli wirtualnych w arkuszu kalkulacyjnym jest specyficznym procesem projektowania. Wynikiem projektu nie jest konstrukcja, schemat elektryczny, lecz ciąg liczb zapisanych w tabelach oraz zinterpretowanych graficznie. Zmienne tabele i wykresy tworzą język graficzny wspomagający rozumienie własności obwodów, są one konstruktem modelowym zapisanym w języku symbolicznym.

Rozważmy teraz specyfikę uczenia się elektrotechniki za pomocą specjalistycznych pakietów symulacyjnych. Komputerowe programy symulacyjne wspomagające uczenie się przedmiotów elektrycznych spełniają funkcję wirtualnego laboratorium przedmiotowego (A. Aftański 2001; S. Szablowski 1997a, 1997b, 2000). Programy symulacyjne występują w wielu różnych wersjach i posiadają mniej lub bardziej zaawansowane procedury analizy układów.

Ogólną strukturę lekcji w laboratorium wirtualnym, uwzględniającą konstruktywistyczne uczenie się, proponujemy w następującym układzie:

1. czynności organizacyjne:
 - uświadomienie celów lekcji, wprowadzenie w tematykę, wytworzenie zaciekawień.
2. czynności przygotowawcze:
 - kontrola zasobu wiedzy uczniów,
 - stworzenie sytuacji problemowej, uświadomienie problemu i określenie trudności do pokonania,
 - tworzenie hipotez.
3. modelowanie i symulacja komputerowa:
 - utworzenie modelu wyobraźniowego,
 - transformacja zmiennych i modelu wyobraźniowego,
 - utworzenie modelu wirtualnego (symbolicznego),
 - prowadzenie symulacji na modelu wirtualnym.
4. weryfikacja i ocena hipotez:
 - sprawdzanie, czy wytworzone wcześniej pomysły mają swoje uzasadnienie w sferze empirycznej.
5. podsumowanie i zakończenie lekcji:
 - ocena pracy uczniów,
 - wspólna ocena lekcji.

Wyjaśnimy teraz, jak wygląda proces modelowania w wirtualnym laboratorium. Specyfika modelowania jest tutaj inna niż w arkuszu kalkulacyjnym. Biblioteka wirtualnego laboratorium zawiera zbiór symboli wszystkich elementów i przyrządów. Z każdym elementem jest związany zestaw jego parametrów, które można modyfikować – umożliwia to dowolne modelowanie własności danego elementu. Przyrządy pomiarowe w programach symulacyjnych mają takie same funkcje jak przyrządy rzeczywiste i wymagają takiego samego sposobu obsługi. Praca uczniów w wirtualnym laboratorium odpowiada ich działaniu w laboratorium rzeczywistym – wykonują oni te same działania tylko w sferze wirtualnej. Obsługa programów jest intuicyjnie prosta. Programy zawierają edytor schematów, który posiada różne funkcje ułatwiające edycję, np. obracanie, wyświetlanie nazwy, przesuwanie elementów. Tworzenie schematu obwodu elektrycznego odbywa się całkowicie w sposób graficzny. W tym celu wybiera się z biblioteki symbole elementów i wstawia je do obszaru roboczego. Następnie wykonuje się połączenia w tworzonym obwodzie. Weryfikacja działania modelu kończy etap modelowania.

Ostatnim etapem pracy w wirtualnym laboratorium jest symulacja działania układu. Wyniki symulacji można obserwować na przyrządach pomiarowych, oscyloskopach i analizatorach w postaci przebiegów czasowych.

Rozwijanie umiejętności projektowania układów jest jednym z podstawowych celów nauczania elektrotechniki. W każdym elemencie projektowania modeli w la-

laboratorium wirtualnym występuje ciągle ocieranie się o twórczość. Elementy pracy twórczej występują w fazie wytwarzania i sprawdzania pomysłów rozwiązań projektowych. Projektowanie jest twórczym procesem rozwiązywania problemów technicznych, w którym szczególną rolę odgrywa wyobraźnia techniczna. Można wyróżnić w nim fazę koncepcyjną i konstrukcyjną (S.M. Kwiatkowski 1991).

Faza koncepcyjna projektowania obejmuje analizę sytuacji problemowej i tworzenie hipotez rozwiązań problemu. Wówczas uczeń przygotowuje opis konstrukcji, tworzy model wyobrażeniowy układu (obraz myślowy). W fazie konstrukcyjnej uczący się opracowuje założenia projektu wstępnego, przygotowuje warianty projektu, wybiera wariant optymalny, ocenia i sprawdza projekt. Proces konstruowania w laboratorium wirtualnym polega na tym, że uczeń:

- wybiera z menu program u elementu obwodu,
- dokonuje myślnych operacji: przenoszenia, kopiowania, obracania elementów, zastępowania danego elementu innym, dodawania nowego elementu, kasowania,
- wykonuje połączenia elementów oraz je modyfikuje lub usuwa,
- opisuje elementy obwodu, wprowadza wartości zmiennej w elementach.

Ostatecznym efektem pracy ucznia w fazie konstrukcyjnej jest utworzenie modelu wirtualnego (symbolicznego), który jest reprezentowany w postaci schematu. Model wirtualny jest zakodowany w określonym języku symboli stosowanych w elektrotechnice.

Projektowanie może być twórczością obiektywną wówczas, gdy jego efektem są nowe, nieznanne oryginalne układy. Projektowanie rozumiane jako twórczość dydaktyczna zachodzi wtedy, gdy uczeń projektuje układy już znane, ale jednak dla niego samego są one czymś nowym. Taka sytuacja zachodzi podczas pracy w laboratorium wirtualnym. Podczas projektowania w laboratorium wirtualnym przy uwzględnieniu skutków natury psychofizycznej, istotną jest transformacja modelu wyobrażeniowego na model symboliczny ze szczególnym zaangażowaniem wyobraźni technicznej.

Dyspozycje psychiczne uczniów rozwijane podczas uczenia się metodą symulacji komputerowej

Czynności psychiczne, które służą uczniom do zdobywania informacji, budowania wiedzy są procesami poznawczymi. Do podstawowych procesów poznawczych zalicza się odbieranie wrażeń, spostrzeganie, myślenie i procesy pamięci. Metoda symulacyjna należy do grupy metod aktywizujących (problemowych). Na lekcjach prowadzonych tą metodą zadaniem nauczyciela powinno być stymulowanie rozwoju u uczniów pożądanych cech psychicznych, tj. myślenia technicznego, wyobraźni technicznej i rozumienia, czyli podstawowych funkcji intelektu technicznego (E. Franus 2000).

Organizujemy sytuacje dydaktyczne z metodą symulacyjną w głównej roli w taki sposób, aby zachęcić uczniów do krytycznego, twórczego myślenia i rozwijania ich kreatywności. Uczenie się elektrotechniki z pomocą symulacji komputerowej powinno być formą ćwiczeń myślowych polegających na samodzielnej obróbce intelektualnej problemu. Uczniowie mają wykorzystywać w pełni zdolności myślenia technicznego i rozwijać je w określonym kierunku. Kierunek ten wytycza zdolność myślenia kategoriami elektrotechniki oraz zdolność dostrzegania, pamiętania, wyobrażania sobie tego, co jest związane z tymi treściami. Punktem wyjścia jest założenie, że wszelki sukces uczniów ma swoje źródło w procesach myślowych. Krytyczne myślenie ma być skutecznym narzędziem urzeczywistniania celów, rozwiązywania problemów, podejmowania inteligentnych decyzji oraz pozwolić dokonać właściwych wyborów. Bardzo ważnym zadaniem metody symulacyjnej jest rozwinięcie kreatywności, której miernikiem jest nastawienie odkrywcze i wynalazcze – problemy stają się wówczas dla uczniów źródłem nowych możliwości rozwoju. Kreatywność uczniów powinna przelamać utarte schematy myślowe i traktować zagadnienia w sposób nowatorski. Informacja podana uczniom przez nauczyciela na lekcji nie jest jednak wiedzą. Staje się ona wiedzą wówczas, gdy umysły uczniów poddadzą ją intelektualnej obróbce i transformacji.

Procesy myślowe uczniów na lekcjach powinny być przez nauczyciela ukierunkowane na intelektualną obróbkę problemów – „programowanie problemów” i dać odpowiedź na przykładowe pytania:

- czy zaakceptowałem problem?
- co wiem o tym problemie?
- czy i jak potrafię ten problem zdefiniować?
- jakie widzę inne rozwiązania problemu?
- które rozwiązanie problemu jest optymalne?
- jakie efekty przynosi realizacja wybranego rozwiązania?

Istotne znaczenie ma formułowanie przez uczniów różnych ujęć problemu, patrzenie na niego z różnych punktów widzenia. Dotyczy to zarówno problemów prostych i złożonych – ich rozwiązywanie przez uczniów powinno wystąpić na wszystkich lekcjach prowadzonych metodą symulacji. Z rozwiązywaniem problemów technicznych związane jest zaś ściśle myślenie techniczne.

Powodzenie w rozwiązywaniu zadań wymaga rozwijania zdolności poznawczo-twórczych. Jedną z najważniejszych cech intelektu jest zdolność dostrzegania problemów i formułowania pytań – dzięki niej uczeń spostrzega luki w strukturze sytuacji (J. Koziński 1992). Wysoki poziom tej zdolności jest charakterystyczny dla intelektu twórczego. Strategia problemowa lekcji wspomaganą symulacją komputerową stawia przed nauczycielem wysokie wymagania – jego zadaniem jest także wspieranie rozwoju u uczniów zdolności dostrzegania problemów. Dostrzeganie sytuacji problemowych na lekcjach jest jednym z głównych działań ucznia w sferze poznawczo-twórczej. Uczniowie nie dostają gotowych, już sformulowa-

nych problemów, mają sami dokonać ich intelektualnej obróbki. Uczniowie powinni na lekcjach rozwijać zdolność ich dostrzegania, stawać się wrażliwym na problemy. Sformułowanie przez nich problemu w postaci pytania sprawia, że staje się on dla nich bardziej czytelny. Taka organizacja lekcji wzmacnia aktywność twórczą ucznia. Uczniowie stają się badaczami naukowymi, poznają interesującą ich rzeczywistość – struktura lekcji uwzględnia najważniejsze etapy pracy badawczej.

Proces uczenia się przedmiotów elektrycznych wspomagany symulacją komputerową ma rozwijać intelekt techniczny ucznia w zakresie zdolności myślenia kategoriami naukowo-technicznymi, operowania wyobraźnią techniczną i umiejętnością rozwiązywania zadań ze zrozumieniem i aktywnością twórczą. W działaniach uczniów na lekcjach jest ściśle zaangażowane myślenie techniczne o strukturze dwufazowej: poznawczej i twórczej. Uczniowie poznają rzeczywistość poprzez myślenie poznawcze w procesie analizy. W elektrotechnice przedmiotem analizy są obwody elektryczne, źródła napięcia, odbiorniki, zjawiska zachodzące przy zmianach parametrów obwodu. Uczniowie poznają wówczas strukturę obwodu i zadania poszczególnych elementów. Faza zadania problemowego obejmująca myślenie poznawcze poprzedza fazę twórczą – procesy syntezy. Czynności intelektualne uczniów umożliwiają opanowanie przez nich specyficznego języka elektrotechniki, terminologii elektrycznej oraz umiejętności tworzenia konstrukcji logicznych przy użyciu symboli, oznaczeń, schematów, wykresów. Sprawność posługiwania się wiedzą przez uczniów, którą uzyskują na lekcjach dotyczy umiejętności:

- rozpoznawania cech układów elektrycznych w różnych stanach pracy,
- dokonywania pomiarów i obliczeń,
- wyjaśniania przyczyn i przewidywania skutków zdarzeń,
- modelowania układów,
- opisywania układów w języku symbolicznym oraz czytania tych opisów.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych rozważań dokonajmy podsumowań. Analiza jakościowa procesów poznawczych pozwala stwierdzić, że występują istotne różnice pomiędzy modelowaniem i symulacją w laboratorium wirtualnym i w arkuszu kalkulacyjnym.

Prowadzenie modelowania w arkuszu kalkulacyjnym wymaga znajomości modelu matematycznego. Model matematyczny jest szczególnym rodzajem modelu symbolicznego, którego algorytm da się zapisać w postaci równań matematycznych. Model wirtualny arkusza kalkulacyjnego jest specyficznym modelem symbolicznym. Za pomocą symboli graficznych (wykresów) i tabel przedstawiane są zmienne wyjściowe – model ten nie jest schematem obwodu. Praca z arkuszem kalkulacyjnym wymaga stosowania głównie reguł algorytmicznych – reguły te tworzą sa-

modzielnie uczący się. Ich znajomość jest konieczna do stworzenia modelu wirtualnego w arkuszu kalkulacyjnym.

W laboratorium wirtualnym uczniowie nie tworzą modelu matematycznego. Model wyobrażeniowy nie wymaga opisu matematycznego. Model wirtualny działa zgodnie ze swoim algorytmem, jednak uczniowie nie projektują i nie wprowadzają do układu tego algorytmu. Podczas projektowania w laboratorium wirtualnym uczniowie wykorzystują głównie reguły i metody heurystyczne – w mniejszym zaś stopniu reguły algorytmiczne.

Walory dydaktyczne programu symulacyjnego – w tym również arkusza kalkulacyjnego – ujawniają się wówczas, gdy jest on drogowskazem rozwiązania określonego problemu i staje się narzędziem programowania modelu poznawanego zjawiska w umyśle ucznia. Na lekcjach, ze względów dydaktycznych, przedmiotem symulacji komputerowej powinny być zdarzenia spełniające wymogi problemów dydaktycznych. Symulowany proces powinno się ująć w sposób odpowiadający wymogom „problemu” – oznacza to, że procesy, obiekty symulowane mają zawierać w sobie problemy. Tak rozumiana symulacja stanie się wówczas metodą weryfikacji hipotezy rozwiązane problemu.

Symulacja w elektrotechnice umożliwia analizowanie zjawisk i procesów „w bezpiecznych warunkach”. Za pomocą symulacji uczeń analizuje zmiany zachodzące w dynamicznym modelu zjawiska, układu. Na lekcjach prowadzonych metodą symulacji bardzo ważne jest wyodrębnienie istotnych cech symulowanego zjawiska lub obiektu. Zadaniem nauczyciela jest ustalenie, jakie cechy wybranego zjawiska są rzeczywiście ważne i w związku z tym powinny stymulować uczących się do aktywności na lekcji. W trakcie lekcji prowadzonej metodą symulacyjną uczniowie mają duże możliwości oddziaływania na model, który wskutek ich zabiegów i decyzji ulega modyfikacji i zmianom. Staje się on wówczas dynamicznym modelem układów i procesów rzeczywistych. Symulacja zachowania się modelu jest dla uczniów metodą weryfikacji hipotez, umożliwia ich sprawdzenie i ocenę – ułatwia wybranie hipotezy optymalnej.

W tym miejscu należy wyraźnie podkreślić, że uczniowie powinni być na lekcjach twórcami modelu – symulacji nie można bowiem oddzielić od modelowania. Taki rozdział jest poważnym błędem metodycznym. Przeprowadzanie symulacji na modelu bez jego projektowania sprawia, że nie wykorzystujemy w pełni ogromnych walorów pedagogicznych tej metody uczenia się – nauczania przedmiotów elektrycznych. Kończąc rozważania teoretyczno-praktyczne warto zasygnalizować, że wyniki badań empirycznych potwierdziły rozwój technicznych zdolności poznawczych uczniów szkół zawodowych w trakcie uczenia się przedmiotów elektrycznych metodą symulacji komputerowej (S. Szablowski 2004).

Literatura

- Aftański A. (2001), *Oprogramowanie symulacyjne w nauczaniu przedmiotów elektrycznych*, „Nowa Edukacja Zawodowa”, s. 5–6.
- Biniek Z. (2002), *Elementy teorii systemów modelowania i symulacji*, Wyd. Infoplan, Szczecin–Warszawa.
- Duch W. (1998), *Czym jest kognitywistyka?*, „Kognitywistyka i Media w Edukacji” 1.
- Franus E. (2000), *Wielkie funkcje technicznego intelektu. Struktura uzdolnień technicznych*, Wyd. UJ, Kraków.
- de Jong T., van Joolingen W.R. (1998), *Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains*, „Review of Educational Research”, 68 (2), s. 179–201.
- Kozielecki J. (1992), *Myslenie i rozwiązywanie problemów* [w:] *Psychologia ogólna*, red. T. Tomaszewski, PWN, Warszawa.
- Kwiatkowski S.M. (1991), *Komputery w procesie kształcenia umiejętności projektowania*, „Szkoła Zawodowa” 10/1991.
- Piotrowski E. (2003), *Konstrukttywizm jako teoretyczna podstawa procesu kształcenia* [w:] *Proces kształcenia i jego uwarunkowania*, red. F. Bereźnicki, K. Denek, J. Świrko-Pilipczuk, Wyd. Kwadra, Szczecin.
- Szablowski S. (1997a), *Komputerowa symulacja w nauczaniu elektrotechniki i automatyki – zagadnienia metodyczne*, „Komputer w Szkole”, 1/1997a.
- Szablowski S. (1997b), *Programowanie komputerowych systemów automatyki i pomiarów*, „Komputer w Szkole”, 1/1997b.
- Szablowski S. (2000), *Programowanie cyfrowych układów automatyki*, „Komputer w Szkole”, 4/2000.
- Szablowski S. (2004), *Funkcje poznawcze i twórcze symulacji komputerowej w kształceniu zawodowym*, Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Informatyka w Kulturze i Edukacji, UŚ, Cieszyń, 26–28.05.2004.