

# **DYDAKTYKA INFORMATYKI**

**MODELOWANIE I SYMULACJE  
KOMPUTEROWE**



# **DYDAKTYKA INFORMATYKI**

**MODELOWANIE I SYMULACJE  
KOMPUTEROWE**

**Pod redakcją  
WALDEMARA FURMANKA  
ALEKSANDRA PIECUCHA**

Zlec. 19/2010  
stron 233/znaków 439 518



**WYDAWNICTWO  
UNIwersYTETU RZESZOWSKIEGO  
RZESZÓW 2010**

Recenzował  
Prof. zw. dr hab. inż. STEFAN M. KWIATKOWSKI

Opracowanie redakcyjne i korekta  
ANNA SZYDŁO

Projekt okładki  
WOJCIECH WALAT

Copyright by  
Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego  
Rzeszów 2010

**ISBN**

# SPIS TREŚCI

<b>Wprowadzenie .....</b>	<b>7</b>
---------------------------	----------

## **Część pierwsza**

### **TEORETYCZNE PODSTAWY MODELOWANIA I SYMULACJI W DYDAKTYCE**

<b>WALDEMAR FURMANEK</b> Symulacje, gry symulacyjne w dydaktyce .....	15
<b>ALEKSANDER PIECUCH</b> Ucieczka od rzeczywistości czy przybliżanie rzeczywistości – modelowanie i symulacja komputerowa .....	36
<b>JANUSZ JANCZYK</b> Rzeczywistość wirtualna czy symulacja rzeczywistości w kontekście procesów kształcenia .....	58
<b>JOLANTA ZIELIŃSKA</b> Wykorzystanie komputera w modelowaniu procesów poznawczych .....	79
<b>MARIA RACZYŃSKA</b> Symulacja komputerowa w procesie kształcenia .....	94

## **Część druga**

### **NARZĘDZIA SYMULACYJNE**

<b>STANISŁAW SZABŁOWSKI</b> Wirtualne laboratorium w dydaktyce mechatroniki .....	107
<b>IWONA ISKIERKA, SŁAWOMIR ISKIERKA</b> Zastosowanie technik symulacji w dydaktyce metod numerycznych .....	126
<b>IWONA ISKIERKA, SŁAWOMIR ISKIERKA</b> Symulacja naturalnego ruchu w programie Adobe Flash .....	133
<b>SŁAWOMIR ISKIERKA, JANUSZ KRZEMIŃSKI, ZBIGNIEW WEŹGOWIEC</b> Symulacje komputerowe w dydaktyce teorii obwodów elektrycznych .....	142

## **Część trzecia**

### **TECHNIKI SYMULACYJNE W NAUCZANIU – UCZENIU SIĘ PRZEDMIOTÓW ZAWODOWYCH**

<b>MAREK KĘSY</b> Techniki symulacyjne w programowaniu obrabiarek sterowanych numerycznie CNC .....	151
<b>KRZYSZTOF TUBIELEWICZ, ANDRZEJ ZABORSKI</b> Modelowanie i symulacja procesów obróbek wykańczających przy wykorzystaniu MES .....	171

HUBERT MICHALCZUK, KRZYSZTOF TUBIELEWICZ, ANDRZEJ ZABORSKI Modelowanie komputerowe wyrobów w systemach CAD/CAM/CAE .....	180
IRENEUSZ PIOTR CHMIELIK, KRZYSZTOF TUBIELEWICZ, ANDRZEJ ZABORSKI Metodyka wykorzystania modelowania i symulacji komputerowej do analizy stereometrii powierzchni .....	198
ANDRZEJ ZABORSKI Modelowanie i symulacja komputerowa w procesach przygotowania produkcji .....	209
KRZYSZTOF TUBIELEWICZ, KRZYSZTOF TURCZYŃSKI Modelowanie procesu łączenia blach prasowaniem na zimno .....	223
Informacje o autorach .....	232

## WPROWADZENIE

Procesy skutecznego uczenia się i nauczania były od zawsze przedmiotem zainteresowań naukowców i badaczy. Cywilizacyjne osiągnięcia końca XX wieku i początku XXI pozwalają śmieiej spoglądać w przyszłość związaną z problematyką efektywności kształcenia. Na taki punkt widzenia składają się osiągnięcia w dziedzinie nauk medycznych, psychologicznych oraz nauk pokrewnych. Sukcesywne zbliżanie się do poznania i zrozumienia intelektu człowieka pozwala podejmować naukowo uzasadnione kroki zmierzające do jak najlepszego wykorzystania potencjału człowieka. Jest to z pewnością jedno z kluczowych wyzwań w trzecim tysiącleciu, w dobie przemian cywilizacyjnych i gwałtownego rozwoju wszystkich dziedzin życia i działalności człowieka. Przyrost wiedzy we wszystkich dyscyplinach naukowych jest już tak duży, że nie sposób ogarnąć go w całości i w stopniu gwarantującym stabilne funkcjonowanie człowieka we współczesnym świecie. Nie ułatwiają tego środki i metody kształcenia wypracowane w przeszłości. Dzisiaj jest to już niewystarczające, niespełniające oczekiwań i mało efektywne. Cele stawiane przed budującym się społeczeństwem informacyjnym skłaniają do podjęcia dyskusji, badań naukowych, a nade wszystko odpowiednich kroków usprawniających system dydaktyczny polskich szkół. Nie jest to negacja osiągnięć pedagogiki czy dydaktyk szczegółowych minionych lat, lecz naturalna kolej rzeczy wynikająca z dokonujących się ewolucyjnie zmian w globalizującym się świecie.

Każda przebudowa systemu gospodarczego, ekonomicznego czy politycznego wymaga zmian także edukacyjnych, a może przede wszystkim edukacyjnych. Wiedza i wykształcenie społeczeństwa są miarą jego rozwoju. To kapitał, w który należy zainwestować dla przyszłości. Społeczeństwo informacyjne, które zamierzamy urzeczywistnić budowane ma być na filarach wiedzy i kompetencji członków tego społeczeństwa. Wobec tego koniecznością staje się zmiana sposobu uprawiania nauki, a w konsekwencji także przygotowania młodego pokolenia do funkcjonowania w najbliższej przyszłości. Zmiany te muszą dotyczyć w takim samym stopniu dostosowywania treści kształcenia do aktualnych potrzeb i środowiska materialnego, w którym procesy edukacyjne zachodzą. Środowisko materialne współcześnie przede wszystkim ma tworzyć infrastruktura informatyczna szkół. Są przynajmniej dwa powody, dla których budowa infrastruktury jest celowa. Powodem pierwszym jest rozwój cywilizacyjny – budowa społeczeństwa informacyjnego, którego fundamentem są technologie informacyjno-komunikacyjne. Powodem drugim jest wykorzystanie komputera w procesach wspomagania uczenia się i nauczania.

Szczególnie interesującą nas problematyką pozostaje drugi z wymienionych aspektów. Te zagadnienia były przedmiotem naszych rozważań w dotychczasowych czterech wydaniach serii *Dydaktyka informatyki*. Niniejsze opracowanie jest już piątym tomem zainicjowanej w 2004 roku serii wydawniczej. Poświęcamy go zagadnieniom *Modelowania i symulacji komputerowej*. Mamy nadzieję, że poglądy autorów w tym wydaniu, pozwolą czytelnikom szerzej spojrzeć na problematykę wspomagania środkami informatycznymi procesu edukacyjnego.

W rozdziale pierwszym, noszącym tytuł *Teoretyczne podstawy modelowania i symulacji w dydaktyce*, zaprezentowano opracowania pięciu autorów. Waldemar Furmanek w artykule *Symulacje, gry symulacyjne w dydaktyce* dokonuje w szerokim spektrum oceny przydatności modelowania i symulacji komputerowych w różnych dziedzinach wiedzy. Autor swoją uwagę skupia głównie na zastosowaniach gier symulacyjnych w procesach nauczania. W opracowaniu Aleksandra Piecucha odnajdujemy szereg odwołań do psychologicznych aspektów uczenia się i nauczania oraz transferu wiedzy w aspektach edukacyjnych, z uwzględnieniem roli, jaką w tym procesie odgrywa komputer. Opracowanie zamyka dyskusja nad rolą i znaczeniem wirtualnej rzeczywistości oraz modelowania i symulacji komputerowej w procesach poznawczych. Janusz Janczyk w artykule *Rzeczywistość wirtualna czy symulacja rzeczywistości w kontekście procesów kształcenia* odnosi się w sposób szczególny do eksplikacyjnego wymiaru modelowania i symulacji komputerowej, by następnie przejść do omówienia typowych implementacji wirtualnej rzeczywistości i jej zastosowań edukacyjnych. Jolanta Zielińska swoje rozważania ukierunkowuje na *Wykorzystanie komputera w modelowaniu procesów poznawczych*. Rozpoczyna od teoretycznych podstaw wykorzystania komputera jako narzędzia poznawczego, odnosząc to do modeli przetwarzania informacji przez człowieka, w tym także przetwarzania informacji poza uwagę i świadomością ucznia. Autorka dużo uwagi przywiązuje do modelowania procesów poznawczych z wykorzystaniem technologii informatycznych i informacyjnych, podkreślając doniosłą rolę modelowania i symulacji na zbliżenie procesu poznawczego do poznania bezpośredniego. W opracowaniu Marii Raczyńskiej zatytułowanym *Symulacja komputerowa w procesie kształcenia* odnajdujemy dyskusję nad celowością stosowania technik symulacyjnych w procesie dydaktycznym. Autorka w swoich rozważaniach dużo miejsca poświęca odniesieniu technik symulacyjnych do aktualnych kontekstów, tj. przemian dokonujących się w edukacji. Jest to analiza wieloaspektowa, uwzględniająca nie tylko pozytywne, ale także negatywne strony wykorzystywania technik symulacyjnych w edukacji.

W drugim rozdziale – *Narzędzia symulacyjne* – autorzy omawiają zastosowanie wybranych narzędzi symulacyjnych. Rozdział otwiera opracowanie Stanisława Szablowskiego poświęcone *Wirtualnemu laboratorium w dydaktyce mechatroniki*. W części pierwszej autor omawia koncepcję mechatroniczną edukacji technicznej. W dalszej części znajdujemy szczegółową charakterystykę



szkolnego laboratorium mechatronicznego. W opracowaniu nie zabrakło przykładów wykorzystania technik symulacyjnych, w tym także wykorzystania dostępnych wirtualnych laboratoriów w sieci Internet. *Zastosowanie technik symulacji w dydaktyce metod numerycznych*, to opracowanie dwójki autorów: Iwony i Sławomira Iskierki. Trzon prezentowanego opracowania stanowi modelowanie matematyczne, które jest podstawą wszelkich działań symulacyjnych. Autorzy omawiają zagadnienia związane z podejściem do projektowania modeli matematycznych zjawisk/procesów. Na szczególną uwagę zasługują przykłady symulacji wykonane w niedocenianym przez nauczycieli programie MS-Excel. Kontynuacją podjętej problematyki jest kolejne opracowanie pary autorów noszące tytuł *Symulacja naturalnego ruchu w programie Adobe Flash*. Jak zaznaczają autorzy we wstępie, jest to narzędzie do tworzenia animacji dwuwymiarowych. Zaznaczmy, że wartość poznawcza animacji komputerowej jest taka sama jak symulacji komputerowej. Różnica polega na braku możliwości wpływania na przebieg animacji, bo ta odbywa się przy zadanych wartościach parametrów. Opracowanie omawia także problematykę matematycznego opisu zagadnień fizycznych w programie Flash oraz sposobu implementacji realistycznych zachowań w języku ActionScript. Sławomir Iskierka, Janusz Krzemiński, Zbigniew Weźgowiec w kolejnym artykule zamykającym ten rozdział pt. *Symulacje komputerowe w dydaktyce teorii obwodów elektrycznych* prezentują w zarysie problematykę związaną z teorią obwodów. Złożoność problemów, którymi zajmuje się wspomniana dyscyplina wiedzy, pozwala na lepsze jej zrozumienie, jeśli do tego celu wykorzystana zostanie technika symulacyjna. Autorzy wyliczają przy okazji szereg komercyjnych programów symulacyjnych znajdujących zastosowanie w nauczaniu teorii obwodów. To co ważne, zespół autorów mocno akcentuje konieczność przemyślanego wykorzystania tych narzędzi w procesie edukacyjnym i traktowania ich w kategoriach środków jedynie pomocniczych w nauczaniu przedmiotu.

Ostatni, trzeci rozdział monografii – *Techniki symulacyjne w nauczaniu – uczeniu się przedmiotów zawodowych* – omawia bardzo konkretne zagadnienia związane z wykorzystaniem technik symulacyjnych w przygotowaniu do zawodu. Ten najobszerniejszy rozdział rozpoczyna opracowanie Marka Kęsego *Techniki symulacyjne w programowaniu obrabiarek sterowanych numerycznie CNC*. Obrabiarki sterowane numerycznie stają się praktycznie standardowym wyposażeniem zakładów wytwórczych. Wraz z tym rośnie zapotrzebowanie na kadrę inżynierską specjalizującą się w wytwarzaniu, automatyzacji oraz komputerowym wspomaganie procesów projektowych i eksploatacyjnych. Autor przywołuje i omawia w artykule szereg narzędzi symulacyjnych stosowanych w procesie edukacyjnym. Rozważania zamyka dyskusja na temat efektywności dydaktycznej metod programowania numerycznego. Krzysztof Tubielewicz, Andrzej Zaborski w artykule poświęconym *Modelowaniu i symulacji procesów obróbek wykańczających przy wykorzystaniu MES*, skupiają swoją uwagę na prakseolo-

gicznych walorach symulacji komputerowej. W opracowaniu dowodzą, że wykorzystując techniki symulacyjne można wnikać w wiele zjawisk niedostępnych w bezpośredniej obserwacji, a ponadto modelować warstwy wierzchnie w sposób, który pozwoli uzyskać finalnie najlepsze parametry warstwy wierzchniej w wytwarzanych elementach. Kolejny artykuł autorstwa Huberta Michalczuka, Krzysztofa Tubielewicza i Andrzeja Zaborskiego został poświęcony *Modelowaniu komputerowemu wyrobów w systemach CAD/CAM/CAE*. Opracowanie uświadamia rozmiar zmian, jakie zaszły w codziennej pracy inżynierskiej. Jak konkludują autorzy w zakończeniu: „Przygotowany model korpusu chwytaka może posłużyć jako podstawa do przeprowadzenia symulacji wytrzymałościowych, stworzenia rysunku wykonawczego oraz przygotowania procesu technologicznego wykonania jego elementów składowych. W oparciu o wykonany mechanizm chwytaka pneumatycznego możliwe jest przygotowanie rysunku złożeniowego, sprawdzenie czy mechanizm został poprawnie zaprojektowany, uzyskanie informacji na temat kinematyki układu, a także przeprowadzenie wielu innych symulacji i analiz, dzięki którym można uzyskać niezbędne informacje dotyczące projektowanego rozwiązania konstrukcyjnego bez konieczności wykonania prototypu”. Autorzy kolejnego opracowania – Ireneusz Piotr Chmielik, Krzysztof Tubielewicz, Andrzej Zaborski swoje opracowanie poświęcili *Metodyce wykorzystania modelowania i symulacji komputerowej do analizy stereometrii powierzchni*. W skróconej formie artykuł omawia zagadnienia związane z pomiarem warstw wierzchnich powierzchni technicznych. Wskazując przy tym na postęp, jaki dokonał się w tej dziedzinie. W dalszych częściach opracowania czytelnik zostanie zapoznany ze współczesnymi metodami pomiaru i modelowania powierzchni, a także rolą, jaka w tych procesach przypada modelowaniu i symulacji komputerowej. Andrzej Zaborski w artykule *Modelowanie i symulacja komputerowa w procesach przygotowania produkcji* porusza zagadnienia związane z rolą modelowania i symulacji w przygotowaniu produkcji. Współczesne procesy produkcyjne charakteryzuje kompleksowość, co w praktyce oznacza przejście od fazy koncepcyjnej poprzez dokumentację rysunkową, technologiczną, kody sterujące obrabiarek numerycznych po wyrób finalny. Wskutek stosowania nowoczesnych technik modelowania i symulacji skróceniu uległ czas potrzebny na wdrożenie nowego produktu, a ponadto zyskano możliwość wykonywania detali, które do tej pory przy użyciu tradycyjnych metod nie były możliwe do wykonania. Rozdział zamyka opracowanie autorstwa Krzysztofa Tubielewicza i Krzysztofa Turczyńskiego zatytułowane *Modelowanie procesu łączenia blach prasowaniem na zimno*. Autorzy prezentują procedury symulacji wykorzystywane w procesie łączenia blach. Zastosowanie technik symulacyjnych pozwoliło badaczom na określenie trwałości połączeń oraz kontrolę innych parametrów, takich jak: naprężenia, przemieszczenia, odkształcenia itp.

Oddając w ręce Czytelnika kolejny tom z serii *Dydaktyka informatyki. Modelowanie i symulacje komputerowe*, jesteśmy świadomi wielu niedostatków

niniejszego opracowania. Niemniej jednak traktujemy tę pozycję jako punkt wyjścia do dalszych badań, dyskusji i rozwijania problematyki modelowania i symulacji komputerowych w procesach dydaktycznych. Wszystkim autorom, którzy zechcieli się podzielić swoimi doświadczeniami, wiedzą i przemyśleniami redaktorzy składają serdeczne podziękowania.

*Redaktorzy*



**Część pierwsza**

**TEORETYCZNE PODSTAWY MODELOWANIA  
I SYMULACJI W DYDAKTYCE**



## SYMULACJE, GRY SYMULACYJNE W DYDAKTYCE

### Wszechobecność technologii informacyjnych w działalności ludzkiej

Bez wątplenia możemy powiedzieć, że ważnym rysem współczesności jest wszechobecność technologii informacyjnych. Oznacza to, że trudno byłoby dziś wskazać taką dziedzinę ludzkiej aktywności, w której *nie byłoby miejsca* dla technologii informacyjnych. Ich obecność w środowisku aktywności człowieka zmienia ogół relacji, w jakich pozostaje człowiek względem pozostałych komponentów tejże sytuacji. Te wielorakie zastosowania technologii informacyjnych wymuszają ich dalszy rozwój.

Dla ilustracji rozważmy kilka przykładów wszechobecności technologii informacyjnych w działalności naukowej człowieka.

Do czasu obecnego upowszechnienia technologii informacyjnych w filozofii i metodologii nauki panował pogląd, że badania naukowe opierają się przede wszystkim na teorii i eksperymencie. Obecnie, w XXI wieku, teorię i eksperyment uzupełnia symulacja komputerowa [por. Bajer 2001 : 7–8] traktowana jako procedura i metoda badań naukowych. Tezę potwierdzają wyniki wielu prac badawczych przeprowadzanych aktualnie w różnych dziedzinach nauki i techniki, i to nie tylko z zastosowaniem superkomputerów<sup>1</sup>.

Współczesnej symulacji komputerowej zawdzięczamy wiele odkryć naukowych. Efekty jej stosowania ujawniają się w odniesieniu do poszczególnych dziedzin i dyscyplin naukowych.

I tak, Nagrody Nobla z ekonomii przyznawane są często za modele matematyczne zagadnień ekonomicznych. Realistyczne modele w makroskali lub w skali całego globu wymagają złożonych modeli komputerowych. Modele ekonometryczne pozwalają na dość dokładne przewidywania sytuacji ekonomicznej w wybranych dziedzinach. Bogate kraje zyskują na możliwości przewidywania różnych zjawisk, chociaż jeszcze obecnie takie czynniki zewnętrzne, jak np. trzęsienia Ziemi, pogoda czy konflikty regionalne są trudne do przewidzenia.

**W naukach humanistycznych** powstały po roku 1975 tzw. nauki o poznaniu (ang. *cognitive sciences*). Ich istotą jest połączenie problematyki i metodologii badań psychologii, sztucznej inteligencji, badań nad mózgiem,

---

<sup>1</sup> TOP500 – lista przedstawiająca 500 najwydajniejszych systemów komputerowych na świecie (superkomputerów), których moc mierzona jest za pomocą tzw. benchmarka LINPACK.

lingwistyki, filozofii. Powstała nowa gałąź nauki, określana jako „nauki o poznaniu”, „nauki kognitywne” lub *kognitywistyka*. Jej podstawowym zadaniem jest doprowadzenie nas do zrozumienia, w jaki sposób człowiek postrzega i poznaje świat, w jaki sposób reprezentowana jest w naszym umyśle informacja kształtująca nasz obraz świata? Równoległe z tym kierunkiem badań rozwijają się neuronauki kognitywne (ang. *cognitive computational neuroscience*), które interesują się komputerowymi symulacjami funkcji mózgu wyjaśniającymi zachowanie człowieka. I tak, lingwistyka komputerowa bada mowę człowieka, tłumaczenie maszynowe, modele afazji i inne trudności człowieka z mową; psychiatria komputerowa bada modele syndromów neuropsychologicznych i chorób psychicznych, które pozwalają lepiej zrozumieć reakcją organizmu na leki psychotropowe. Rozwija się psychologia umysłu, konstruowane są jego modele symboliczne i koneksjonistyczne.

**Chemia i fizyka komputerowa.** Wiele gotowych pakietów programów, dokładności obliczeń własności małych (kilkatomowych) cząsteczek są na poziomie danych doświadczalnych, a można je uzyskać znacznie łatwiej. Chemicy komputerowi znacznie lepiej znają się na programach i komputerach niż na prowadzeniu złożonych i kosztownych doświadczeń czy rozwijaniu teorii. W fizyce upowszechnia się modelowanie molekularne. Powstała farmakologia kwantowa, dzięki której możliwe jest projektowanie nowych leków.

**Biologia i biocybernetyka komputerowa** budują ogromnie wielkie biologiczne bazy danych.

**Symulacje na poziomie makroskopowym** stosowane są do rozwiązywania problemów ekologii, przepływu substancji i energii w przyrodzie; usamodzielnia się tzw. biologia populacyjna.

**Symulacje na poziomie molekularnym** obecne są w genetyce i biologii molekularnej, gdzie w szczególności interesują ją problemy powstania życia i kodu genetycznego. Nie mniej ważne są badania struktury przestrzennej białek i to co decyduje o ich własnościach. Metody eksperymentalne określania takiej struktury są bardzo kosztowne. Metody komputerowe określają strukturę na podstawie sekwencji aminokwasów. Projekt mapowania ludzkiego genomu musiał rozwiązać problem integracji 3 mld par. Do tego niezbędne były ogromne bazy danych, a ich analiza może zająć kilkadziesiąt lat. Dzięki technologiom informacyjnym podjęto próby rekonstrukcji drzewa ewolucji.

Symulacje pozwalają wyjaśnić funkcję mózgu oraz zrozumieć mechanizmy działania komórek nerwowych i fragmentów układu nerwowego,

Biologia komputerowa przechodzi w komputerową medycynę. Opracowuje się symulacje działania całych narządów człowieka! Symulacje cykli biochemicznych pozwalają śledzić na komputerowym modelu to, co dzieje się w organizmie z podawanym lekiem czy innymi substancjami<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> <http://www.fizyka.umk.pl/~duch/Wyklady/komput/w02/naukik.htm>



## Wybrane dziedziny zastosowania symulacji

### Ekonomia i biznes:

- systemy kolejkowe,
- zarządzanie zapasami,
- wycena instrumentów pochodnych (np. opcji),
- ocena projektów inwestycyjnych (m.in. VaR).

### Nauki społeczne:

- dynamiczna teoria wpływu społecznego Nowaka-Latane,
- prognozowanie podziału miejsc w parlamencie,
- dynamika populacji.

### Nauki przyrodnicze:

- meteorologia – prognozy pogody,
- analiza rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

### Nauki inżynierskie:

- symulatory statków powietrznych, okrętów podwodnych, czołgów itp.,
- budownictwo – wytrzymałość konstrukcji,
- lotnictwo – wytrzymałość konstrukcji,
- elektrotechnika – analiza obwodów elektrycznych,
- elektronika – analiza obwodów, układów i systemów elektronicznych.

### Matematyka:

- numeryczne wyznaczanie rozwiązań równań różniczkowych,
- symulacyjne wyznaczanie dystrybuant funkcji, które nie dają się całkować (np. rozkładu normalnego).

### Pedagogika:

- komputerowe gry symulacyjne.

## Przyczyny upowszechnienia technologii informacyjnych

Zastanawiające jest to, dlaczego technologie informacyjne tak szybko się upowszechniają i ciągle zdobywają nowe tereny swoich zastosowań. Odpowiedź wydaje się dziecinnie łatwa. Bo spełniają oczekiwania użytkowników, są przyjazne i pozwalają osiągać cele znacznie taniej, łatwiej i szybciej. Nie jest to jednak odpowiedź wyczerpująca. Bez wątpliwa ważną przyczyną jest ich transkumunikatywność, która umożliwia transfer metod i procedur metodologicznych na wielość sytuacji działaniowych człowieka. Możliwe jest to zaś dzięki temu, iż te technologie posługują się uniwersalnym i ogólnym językiem metanauki, jaką jest cybernetyka. W zasadzie większość technologii informacyjnych bazuje na

cybernetycznej teorii systemów [por.: Gordon 1974; Młynarski 1979; Bertalanffy 1984] oraz metodologicznych paradygmatach cybernetyki [por.: Biniek 2002; Kołodziński 2002], która operuje takimi podstawowymi pojęciami, jak: *system, struktura, relacja, model, symulacja*.

Cybernetyka oferuje konkretny dorobek teorii sterowania i regulacji, a w tym koncepcję sprzężenia zwrotnego i jego konsekwencje. Pomocne jest to głównie w zastosowaniach modeli symulacyjnych, ich konstruowaniu, doborze zmiennych modelu, podziale na zmienne i parametry oraz definiowaniu powiązań pomiędzy elementami analizowanego systemu [por.: Biniek 2002; Kołodziński 2002].

Programy symulacyjne mogą wspomagać prowadzenie różnorodnych badań naukowych, zwłaszcza wtedy, gdy trudne są do ominięcia warunki określające: barierę bezpieczeństwa, barierę czasu (np. duża czasochłonność eksperymentu); barierę czynności rutyniarskich (np. wielość prostych obliczeń); barierę stopnia złożoności zjawisk; barierę kosztów; barierę różnorodności sytuacji nowych, trudnych, niepewnych.

Dzięki metodom modelowania i symulacji funkcjonowania zjawisk można niezależnie od warunków ustalić ich optymalne charakterystyki. Symulacje można stosować w celu eksperymentalnej oceny lub sprawdzenia przewidywania skutków zmiany; jako środek poznania pracy nowych złożonych systemów; jako środek zapoznania się z sytuacjami antycypowanymi (przewidywanie i jakościowe prognozowanie); w celu weryfikacji nowej idei. Metody symulacji są metodami badania rzeczywistości przy pomocy techniki imitowania akcji, dokładnego kumulowania i analizy reakcji. Inaczej mówiąc, jest to sposób prowadzenia analizy modelowej wtedy, gdy nieznan jest **dokładny** algorytm rozwiązania sytuacji.

## Modelowanie jako proces tworzenia modeli

*Mała encyklopedia prakseologii* podaje, że modelowanie: *jest to naukowa metoda poznawania różnych układów poprzez budowanie ich modeli, zachowujących pewne podstawowe właściwości badanego przedmiotu, a także poprzez badanie funkcjonowania modeli oraz przenoszenie uzyskiwanych dzięki temu informacji na przedmiot badań* [Pszczółowski 1978 : 120]. Modelowanie jest czynnością tworzenia oraz implementacji modeli. Stanowi ono początkowy etap procesu symulacji. W literaturze spotyka się stwierdzenie, że modelowanie jest ogólnym językiem projektowania systemowego [Gasparski 1988 : 160].

**Model** jest konstrukcją złożoną z pojęć, cech oraz związków. Pozwala zrozumieć zjawiska, których bezpośrednio nie można postrzegać. Można go przedstawić na różne sposoby: przy pomocy języka naturalnego, schematów graficznych, wzorów matematycznych, a także bezpośrednio w języku programowania wysokiego poziomu (języku symulacyjnym). Model ma ułatwić zrozumienie

tego, co podlega obserwacji. Z założenia jest 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. Modele symulacyjne, zależnie od ich cech, można podzielić na: dynamiczne, statyczne, stochastyczne, deterministyczne [por.: Mazur 1976; Niemeyer 1977; Kołodziński 2002]. Inne kryterium podziału pozwala na wyróżnienie następujących modeli:

- rzeczowe (przedmiotowe), odzwierciedlające przedmioty ikonicznie (budynek, kolej, lalka) lub analogowo (mapa z naniesionymi wysokościami terenu oznaczonymi kolorami);
- symboliczne, językowe, opisujące pewne właściwości systemu werbalnie lub formalnie (np. system komputerowy);
- wyobrażeniowe, powstające w umyśle człowieka jako produkt wyobraźni [por.: Franus 2000 : 74–75].

### **Symulacja komputerowa**

Symulację określa się jako odmianę modelowania, polegającą na wywołaniu i obserwowaniu zjawiska analogicznego do zjawiska badanego, lecz trudnego do wywołania w warunkach naturalnych [Pszczółowski 1978 : 120]. *Symulacja* w tym rozumieniu niejako odtwarza własności danego obiektu, zjawiska, otoczenia za pomocą jego modelu. Szczególnym rodzajem symulacji jest symulacja komputerowa.

Myślenie twórców techniki i ludzi nauki odbywa się poprzez tworzenie modeli teoretycznych, uwzględniających sprzężenie zwrotne i przepływy informacji pomiędzy komponentami analizowanego systemu. Coraz częściej eksperymenty przenoszone są ze środowiska realnego do środowiska sztucznego, zbudowanego dzięki symulacji komputerowej. Przyczyną stosowania eksperymentów symulacyjnych jest chęć poznania bądź zrozumienia zachowania się systemu lub konstrukcji algorytmów do sterowania tym systemem. Problemy występujące w rzeczywistym świecie są na tyle złożone, że stosowane modele matematyczne, lub inne metody formalne opisu zjawisk związanych z tymi problemami nie wystarczą do ich odwzorowania. W tym przypadku, gdy zachowanie się systemu musi być zbadane, pomocne jest zastosowanie symulacji.

Według R.F. Bartona [1974 : 14]: *symulacja jest to działanie modelu systemu przedmiotowego, realizowane w jakimś określonym celu (...). Model systemu przedmiotowego jest to model systemu, który chcemy poznać, jest on przedmiotem badania czy doświadczenia. System przedmiotowy nazywa się niekiedy rzeczywistością. Inną definicję podaje T.M. Taylor [1975 : 425], a mianowicie: pod pojęciem symulacji należy rozumieć przeprowadzenie eksperymentów na abstrakcyjnym modelu badanego systemu, przy czym model oznacza tu mniej lub bardziej dokładne odwzorowanie formalne systemu rzeczywistego.* E. Putkiewicz

i M. Ruszczynska-Schiller [1983 : 12], analizując dydaktyczne zastosowania gier symulacyjnych, określają symulację jako zabawę, *która jest działaniem modelu symulacyjnego*. Ze względu na popularne obecnie środowisko realizacji eksperymentów symulacyjnych, jakim jest komputer, przyjęła się nazwa **symulacja komputerowa lub cyfrowa**.

Symulacje komputerowe można podzielić ze względu na:

- **przewidywalność zdarzeń**, to symulacje: stochastyczne, które korzystają z generatora liczb pseudolosowych lub (bardzo rzadko) losowych (szczególnie popularna jest Metoda Monte Carlo); deterministyczne, w których wynik jest powtarzalny i zależy tylko od danych wejściowych i Ewentualnych interakcji ze światem zewnętrznym;
- **sposób upływu czasu**: z czasem ciągłym – czas zwiększa się stałymi przyrostami, jak w symulacji z czasem dyskretnym, lecz wartości próbek sygnałów są interpolowane dla chwil pośrednich pomiędzy momentami odczytu; z czasem dyskretnym – czas zwiększa się stałymi przyrostami, a krok czasowy dobiera się optymalnie ze względu na zasobożerność systemu, jego wydajność i charakter symulowanego obiektu i/lub zjawiska (mikrosekundy w obwodach elektrycznych i miliony lat przy symulacji ewolucji gwiazd); symulacja zdarzeń dyskretnych – czas zwiększa się skokowo, ale jego przyrosty są zmienne (ważniejsza jest tu sekwencja zdarzeń niż rzeczywisty lub wirtualny upływ czasu).
- **formę danych wyjściowych**: statyczne – wynikiem jest zbiór danych, statyczny obraz, itp.; dynamiczne – wynikiem jest proces przebiegający w czasie, np. animacja; interaktywne – reagują na sygnały ze świata zewnętrznego, np. operatora; nieinteraktywne;
- **liczba użytych komputerów**: lokalne – przetwarzanie odbywa się na pojedynczym komputerze; rozproszone – przetwarzanie odbywa się w wielu komputerach połączonych w sieci lokalnej (LAN) lub zewnętrznej, np. Internet.

Z. Biniek [2000 : 95] stwierdza, że *symulacja komputerowa to technika analizy systemów za pomocą modelu symulacyjnego w implementacji komputerowej*.

Można wyróżnić następujące, ważne cele symulacji komputerowej, którymi są:

- opis sytuacji rzeczywistej (rzeczywistość, fragment rzeczywistości, system);
- uzyskanie oceny struktury i zachowanie się analizowanego systemu;
- egzemplifikacja konkretnej teorii, badanie jej implikacji;
- synteza empirycznych i teoretycznych informacji (wiedzy) o systemie;
- wyjaśnianie stanów systemu i procesów w nim zachodzących;
- badanie konsekwencji różnych decyzji, np. optymalizacyjnych;
- przeorganizowanie istniejących systemów i generowanie nowych systemów;
- wspomaganie uczenia się i nauczania [Biniek 2000 : 96].

Istotą symulacji jest odtwarzanie naturalnych procesów w sztucznie stworzonych warunkach. Znaczący przedmiot [Biniek 2000; Kołodziński 2002] zgodnie uważają, że symulację komputerową warto stosować, gdy:

- bada się zachowania nieistniejących systemów;
- bada się zachowania istniejących systemów, na których przeprowadzenie rzeczywistych eksperymentów jest kosztowne i trudne ze względów pomiarowych;
- badania rzeczywistości są niedopuszczalne (np. zjawisko epidemii);
- rozwiązanie analityczne równań opisujących model systemu jest trudne lub niemożliwe.

Natomiast **symulacja jako metoda pedagogiczna** daje możliwość, w warunkach bezstresowych, opanowania i przyswojenia podstawowych umiejętności zawodowych, alternatywnych działań, rozwiązywania problemów związanych z wykonywaną pracą, uczy przewidywania skutków podejmowanych decyzji, rozpoznawania wzajemnych związków różnych sytuacji zawodowych, samodzielności, kreatywności, asertywności. Zdobyte w oparciu o ten model kształcenia wiadomości i przeżycia łatwo dadzą się przenieść na podobne sytuacje w rzeczywistości pracowniczej.

Teoria modelowania i symulacji znalazła od dawna swoje szerokie odbicie w literaturze specjalistycznej, chociażby w pracach R.F. Bartona [1974], G. Gordona [1974] i T.M. Naylora [1975]. Inne opracowania uwzględniają problematykę modelowania i symulacji z zastosowaniem komputerów. W tym względzie dużo informacji dostarczają między innymi publikacje G. Fishmana, W.D. Kelton'a, A.M. Law'a [1991] A. Latawca [1993] A. Sydowa [1993] D. Steinhausena, Z. Bińka [2000] i E. Kołodzińskiego [2002].

## Symulacja a gry dydaktyczne, gry symulacyjne

Teoria gier, opracowana w 1944 roku przez Johna von Neumanna i Oskara Morgensterna<sup>3</sup>, rzuciła nowe światło na ekonomię, psychologię społeczną, socjologię, nauki polityczne, filozofię, biologię ewolucyjną, informatykę i pedagogikę. Dla pedagogiki stała się podstawą teoretyczną **gier dydaktycznych i metod symulacyjnych uczenia się**. Problemami teorii gier zajmuje się w literaturze wielu autorów [Wencel 1961; Luce, Raiffa 1964; Owen 1975; Kałuski 2002; Straffin 2004; Maławski, Sosnowska, Wieczorek 2004].

Gra jest postrzegana często jako szczególna odmiana konfliktu. Takie podejście pozwala wykorzystać do analizy gry teorię podejmowania decyzji i teorię

---

<sup>3</sup> Na początku XX wieku powstało wiele znaczących prac z teorii gier. Jednak powszechnie uznaną datą narodzin teorii gier jest rok 1944, kiedy ukazała się monografia J. von Neumanna i O. Morgensterna „Theory of Games and Economic Behavior”. J. von Neumann obok Alana Turinga, ma również znaczący udział w pracach nad rozwojem elektronicznych maszyn cyfrowych.

konfliktu [Kruszewski 1984 : 63]. **Teoria gier** jest matematyczną teorią sytuacji konfliktowych. Przedmiotem jej zainteresowań i analiz jest postępowanie gracza podczas gry. Bada więc to, jakie strategie powinni wybrać gracze, aby osiągnąć najlepsze wyniki<sup>4</sup>. Zajmuje się analizą skuteczności tych strategii, gdy wynik gry jest niepewny i zależy od zachowania rywali. Matematyczna analiza pozwala porównać ryzyko i korzyści związane z różnymi strategiami stosowanymi w danym rodzaju gry. W omawianej teorii gra jest dowolną sytuacją konfliktową, zaś gracz jej uczestnikiem. Innym znaczeniem słowa *gra* jest model matematyczny, w którym uczestniczy kilku graczy starających się uzyskać dla siebie jak najlepszy wynik. Gra jest zatem modelem pewnego konfliktu, na który składają się poczynania stron dążących do przeciwstawnych lub tylko innych celów [Putkiewicz, Ruszczyńska-Shiller 1983 : 18]. Modele takie odwzorowują dobrze wiele sytuacji zróżnicowanych treściowo, np. ekonomicznych, biologicznych i dydaktycznych. Większość gier, choć nie wszystkie, ma charakter konkurencyjny, a celem gracza bądź grupy graczy jest pokonanie pozostałych uczestników. Obserwując rozwój teorii gier na przestrzeni XX wieku, można powiedzieć, że przerosła ona ramy wyznaczone przez jej twórców i przekształciła się w matematyczną teorię konfliktów [Kałuski 2002 : 11].

Symulacja komputerowa to symulacja z wykorzystaniem modelu matematycznego, zapisanego w postaci programu komputerowego. Techniki symulacyjne są szczególnie przydatne tam, gdzie analityczne wyznaczenie rozwiązania byłoby zbyt pracochłonne, a niekiedy nawet niemożliwe – co często ma miejsce w systemach złożonych. Do takich zalicza się także obiekty badań tzw. teorii chaosu (w tym fraktale)<sup>5</sup>.

W celu badania własności chaosu rozwinięto wiele procedur analizy równań różniczkowych oraz wykorzystano w nowy sposób wiele istniejących narzędzi

---

<sup>4</sup> Klasyczne przykłady: Von Neumann udowodnił, że w dowolnej grze z dwoma graczami i określonymi regułami istnieje dla każdego z graczy strategia optymalna, na ogół mieszana. Dylemat więźnia to prosta gra, doskonale ilustrująca wiele aspektów zachowania jednostek i grup. Gra ta stanowi symulację konfliktu między egoistycznym pragnieniem każdego gracza, by wybrać strategię „zwycięzca bierze wszystko” a koniecznością współpracy i kompromisu dla wspólnego dobra [por.: J. Kałuski 2002], *Teoria....., op. cit.*

<sup>5</sup> **Chaos** – [gr.] (chaos deterministyczny) *mat. fiz.* termin stosowany na określenie zjawisk polegających na przypadkowym, nieuporządkowanym zachowaniu się układów deterministycznych, tj. podlegających ściśle określonym prawom. Wiąże się z zależnością rozwoju procesów przebiegających w tych układach od warunków początkowych, np. chaotyczne zachowanie się wahadła pobudzanego siłą o częstotliwości innej niż jego własna. Takie własności obserwuje się w układach nieliniowych.

**Fraktal** – [łac.] *mat.* figura geometryczna o złożonej strukturze, niebędącej krzywą, powierzchnią ani bryłą w rozumieniu geometrii. Charakteryzuje ją ułamkowy wymiar. Ma swój pierwowzór w świecie fizycznym. Do badań matematycznych wprowadził fraktale w 1975 B. Mandelbrot. Obecnie znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i techniki, m.in. w grafice komputerowej i kompresji.

matematycznych. Na potrzeby symulacji komputerowych dla układów chaotycznych korzysta się z tzw. *przekrojów Poincare*, umożliwiających zmniejszenie wymiaru przestrzeni fazowej. Następnie z własności tych przekrojów wnioskuje się o własnościach pełnej przestrzeni fazowej rozwiązań.

K. Kruszewski zauważa, że *teoria gier, choć przydatna przy rozpatrywaniu niektórych pobocznych kwestii, dla zasadniczych badań nad grami dydaktycznymi okazała się mało użyteczna* [Kruszewski 1984 : 63].

Zdaniem K. Kruszewskiego, teoria gier, decyzji i konfliktu jest bardziej potrzebna przy rozważaniu gier wojskowych i kierowniczych aniżeli dydaktycznych. Dla interpretacji pewnych mechanizmów gier dydaktycznych przydatne okazują się elementy teorii zabawy [Kruszewski 1984 : 64; por.: Okoń 1995].

W literaturze przedmiotu występuje duża różnorodność definicji gier i zabaw. Oto przykłady innych sformułowań tych pojęć. Według W. Okonia [1996a : 85], gra jest odmianą zabawy polegającą na respektowaniu ustalonych ściśle reguł i wymagającą wysiłku myślowego. Jej celem jest osiągnięcie określonego wyniku. Grą dydaktyczną jest gra podporządkowana celowi dydaktycznemu. Zabawa dydaktyczna prowadzi z reguły do rozwiązania jakiegoś założonego w niej zadania. Natomiast K. Kruszewski [1984 : 51] zalicza gry dydaktyczne do problemowych metod kształcenia *organizujących treści kształcenia w modele rzeczywistych zjawisk, sytuacji lub procesów w celu zbliżenia procesu poznawczego uczniów do poznania bezpośredniego*. Gry dydaktyczne są przedmiotem zainteresowań K. Kruszewskiego w wielu innych jego publikacjach [Kruszewski 1988; 1991; 1993]. C. Galloway [1988 : 31] definiuje grę dydaktyczną jako *aktywność, obejmującą interakcję między jednostkami lub grupami dążącymi do realizacji określonych celów*, jest zatem aktywną metodą uczenia się. Zdaniem C. Galloway'a, sytuacja gry występuje wtedy, gdy uczący się nie mają możliwości osiągnięcia swych celów pojedynczo [Galloway 1988]. Muszą więc oni wchodzić w różne związki interdyscyplinarne, współpracować w grupie, tworzyć koalicje, a także rywalizować, aby osiągnąć sukces i zrealizować zamierzone cele. W uczeniu się tą metodą rywalizacja w grze ma szczególnie działanie motywacyjne.

### **Gry dydaktyczne**

Metody symulacyjne stosowane w kształceniu wywodzą się z gier dydaktycznych, a pojęcie *symulacja* łączone jest z pojęciem *gry symulacyjne i dydaktyczne* [Okoń 1996b; Kupisiewicz 2005].

Definicje tych pojęć są konsekwencją różnych sposobów naśladowania rzeczywistości i różnych sposobów wykorzystywania symulacji w praktyce pedagogicznej.

Gry dydaktyczne są systemem metod aktywizujących, stosowanych od dawna w dydaktyce. Treściowo obejmują szczególnie skomplikowane obszary zja-

wisk występujących w działalności człowieka. Ich początków poszukuje się zwykle w grach wojskowych i kierowniczych. Ten system metod wiąże się ze strategią operacyjną (działaniową). Jej istotą jest to, że uczeń najpierw opanowuje określone sprawności, a po tym dochodzi do wiedzy, która z nimi jest powiązana [Waloszek 2003 : 88]. Taka struktura strategii nie jest jednak powszechnie stosowana.

Gry dydaktyczne odwołują się także do teorii matematycznej – teoria gier jest bowiem działem matematyki. Podstawy wiedzy teoretycznej są wskazane m.in. dla nauczycieli projektujących i wykorzystujących w praktyce gry dydaktyczne. Znajomość elementów teorii gier, podobnie jak teorii modelowania i symulacji, umożliwi efektywne wykorzystanie gier w procesie dydaktycznym, wspomaganym symulacją komputerową [Małowski, Sosnowska, Wieczorek 2004; Straffin 2004].

**Każda gra dydaktyczna** jest formą ćwiczenia, w której muszą być przestrzegane ściśle określone reguły [Szlosek 1995a : 117]. Z punktu widzenia dydaktyki jest ona przemyślanym, celowo zorganizowanym systemem sytuacji dydaktycznych, w których uczący się aktywnie rywalizują ze sobą z zachowaniem określonych reguł gry. Dlatego zwykle w grach dydaktycznych występuje konkurencja między uczestnikami gry oraz zachodzi między nimi ścisła interakcja, w języku prakseologii *kooperacja negatywna*.

Gra dydaktyczna jest przez wielu pedagogów uważana za synonim pojęcia *zabawa* [Okoń 1995; 1996b], gdyż polega na tworzeniu określonych sytuacji dydaktycznych, w trakcie których, w atmosferze rozrywki i przyjemności, zachodzi proces uczenia się określonych wartości [*op.cit.*]. Zakres pojęcia *zabawy* jest szerszy od zakresu pojęcia *gry*. Każda gra jest swego rodzaju zabawą, ale tylko niektóre zabawy mają charakter gry. Główną cechą różniącą grę od zabawy jest to, iż celem wykonywanych podczas gry czynności jest wygrana jednej ze stron. Właśnie chęć wygranej jest inspiracją do maksymalnego wysiłku intelektualnego i poprzez stosowny wybór reguł gry może być wykorzystana dla celów dydaktycznych. Ogólne porównanie cech różniących grę dydaktyczną od zabawy dydaktycznej doprowadza do następujących wniosków:

- znacznie większy wysiłek występuje w grze niż w zabawie,
- reguły w grze są jawne i sformalizowane, w zabawie są tylko uchwytne i zależne od jej treści,
- elementy walki i współzawodnictwa są pierwszoplanowe w grze, a prawie nieobecne w zabawie,
- gra jest konkretna, ma ścisły związek z rzeczywistością, może w niej występować dużo fantazji.

Gra dydaktyczna jest pewną zabawą o jednoznacznie określonych zasadach. Jej znaczenie pedagogiczne wynika stąd, że jest podejmowana przez ucznia dobrowolnie i stanowi dla niego przyjemność. Ponadto, jak zauważa J. Bednarek, gry dydaktyczne odznaczają się: z góry ustaloną liczbą graczy, którzy dążą do



osiągnięcia swych celów; reguły gry stanowią strukturę działań i określają ich porządek; zakresem i rodzajem uprawnionych czynności; reguły gry określają czas i przestrzeń graczy [Bednarek 2003 : 94].

W literaturze pedagogicznej można spotkać się z różną klasyfikacją gier dydaktycznych. T. Nowacki [1994] dzieli gry na funkcyjne i planowe. C. Galloway [1988] wymienia gry symulacyjne i niesymulacyjne, a F. Szlosek [1995a; 1995b] symulacyjne, decyzyjne, psychologiczne, specjalistyczne i sportowe. W. Okoń [1996b] do gier dydaktycznych zalicza również inscenizację.

### *Gry symulacyjne a symulacja*

Analiza pojęć terminologicznych w literaturze przedmiotu doprowadza do wniosku, że gry symulacyjne są rodzajem gier dydaktycznych, w których uczący się badają modele za pomocą ściśle określonych reguł gry przy udziale czynnika losowego. Symulacja dokonywana na modelu jest wówczas złożonym i specyficznym komponentem gry dydaktycznej. Gry symulacyjne dobrze odwzorowują takie sytuacje, w których jako nieodłączny element procesu społecznego pojawia się rywalizacja i współzawodnictwo. Wprowadzana jest ona po to, aby uczestnicy zrozumieli mechanizmy rywalizacji społecznej, jej przyczyny i konsekwencje. W pewnych okolicznościach – związanych ze sposobem funkcjonowania osób w grze symulacyjnej – mogą wyłonić się zwycięzcy i pokonani. Jednakże ich sukces lub porażka są raczej wypadkową oddziaływania czynników sytuacyjnych. Rywalizacyjny charakter gier symulacyjnych motywuje uczących się do udziału i rozwiązywania problemów analogicznych do tych, z jakimi mogą się spotkać w życiu.

W trakcie uczenia się przez symulację uczący się jedynie w minimalnym stopniu mogą współzawodniczyć ze sobą na poziomie indywidualnym czy grupowym. Brak zwycięzców i pokonanych jest tym, co odróżnia symulacje od gier symulacyjnych. Celem uczenia się wspomaganego symulacją jest raczej wzmacnianie u uczących się umiejętności współdziałania, negocjowania i osiągania kompromisu.

W grach symulacyjnych uczący się podejmują działania, które przypominają czynności wykonywane przez nich w różnych rzeczywistych sytuacjach życiowych. Są to z reguły sytuacje problemowe, które mają miejsce w rzeczywistości.

Gry symulacyjne charakteryzują się tym, że działanie uczących się jest ukierunkowane na rozwiązanie wyrażenie określonego problemu typu: odkryć, wynaleźć, opracować metodę działania najbardziej optymalnego w zadanych warunkach. Owe warunki określają jednocześnie cechy modelu będącego substytutem rzeczywistych zjawisk.

W symulacjach oraz symulacyjnych grach komputerowych, modele rzeczywistości tworzone są przez programy komputerowe. Gry komputerowe funkcjonują coraz częściej w świecie wirtualnym, kiedy rzeczywistość tworzona jest

przez techniki komputerowe i Internet [Juszczak 1999]. Szerokie pojmowanie świata wirtualnego oznacza, że jest on tworzony na potrzeby użytkownika i dostosowany do jego możliwości mentalnych i technicznych. Ten system programów – *Virtual reality* – jest w istocie gałęzią grafiki komputerowej i stanowi komputerową wizualizację połączoną z interaktywnym umieszczeniem obiektów w przestrzeni trójwymiarowej.

Innym i odmiennym przykładem szybko rozwijających się systemów symulacyjnych jest system *Chatbot*, zwany inaczej chatterbot, jako wirtualny asystent (doradca), zadaniem którego jest rozmowa z internautą przebywającym na stronie internetowej. Rozmowa ma charakter tradycyjnego czatu tekstowego. Do celowo *chatbot* może pełnić najróżniejsze funkcje<sup>6</sup>, w tym dydaktyczne.

W rzeczywistości jest to program komputerowy działający on-line, pewien system, zbiór algorytmów odpowiadających za prowadzenie konwersacji i wszystkie działania z nią związane. Jego zasadniczym zadaniem jest rozmowa z internautami, nawet wieloma jednocześnie. Wirtualny asystent dzięki swojemu oprogramowaniu rozpoznaje zadane pytanie i stara się dopasować odpowiedź. Ten program komputerowy obdarzony sztuczną inteligencją potrafi porozumiewać się w języku naturalnym, udzielać informacji na różne tematy, rozwiązywać problemy oraz dotrzymywać towarzystwa. Chatterbot potrafi rozmawiać prawie na każdy temat, a wyposażenie go w bazę wiedzy specyficznej dla danej firmy lub instytucji zamienia go w autentycznego Wirtualnego Doradcę pełniącego rolę handlowca, promotora, serwisanta lub pracownika działu obsługi klienta. W przypadku, gdy pytanie zadane przez użytkownika jest niezrozumiałe (lub po prostu nie ma na nie odpowiedzi w bazie wiedzy) chatbot stara się dopasować jedną z wypowiedzi *awaryjnych*, bądź próbuje nauczyć się od rozmówcy, aby następnym razem przy takowym pytaniu skorzystać z tej wiedzy. Spodziewać się należy, że w niedługim czasie znajdą one swoje miejsce w systemach pedagogicznych.

**Komputerowe eksperymenty symulacyjne** mają także wpływ na organizację gier. Komputery umożliwiają częściową automatyzację wielu ważnych dla sprawnego przebiegu gry czynności, takich jak: zapamiętywanie wyników osiągniętych przez uczących się oraz tworzenie informacji o aktualnym stanie rozgrywki, dlatego takie eksperymenty można wielokrotnie powtarzać. Uczący się poprzez analizę dotychczasowego przebiegu gry może powtarzać eksperymenty, korygując i optymalizując równocześnie swoje działania. Oznacza to, iż gra komputerowa zapewnia sprzyjające warunki do wystąpienia dydaktycznego sprzężenia zwrotnego [Radosiński 1989].

Komputerowe gry dydaktyczne, będące rodzajem gier symulacyjnych, stają się coraz wyraźniej *integralną częścią naszej cyberprzestrzeni i ważnymi elementami*

---

<sup>6</sup> <http://www.chatbot.pl/>

*naszego życia*. Jak słusznie zauważa J. Bednarek, nie należy ich utożsamiać z *grami wideo*, które mają bardziej charakter zręcznościowy [Bednarek 2003 : 94].

E. Putkiewicz i M. Ruszczyńska-Schiller [1983 : 19] definiują grę symulacyjną jako *wykonywanie doświadczenia na modelu symulacyjnym*, które musi być prowadzone zgodnie z regułami gry. C. Galloway [1988 : 39] uważa, że *gry symulacyjne łączą w sobie właściwości gier jako takich z właściwościami symulacji*. E. Radościński [1989 : 143] uznaje grę za symulacyjną, *jeżeli jednym z jej podstawowych rekwizytów są konstrukty pojęciowe naśladujące rzeczywistość*. Wyróżnia on w dydaktyce ekonomii symulacyjne gry kognitywne i afektywne. Gry kognitywne mają przebieg zbliżony do typowego eksperymentu symulacyjnego, w których scenariusz jest ograniczony wyłącznie do współzawodnictwa bez rywalizacji. W grach afektywnych, ukierunkowanych na kształtowanie postaw i zachowań, model symulacyjny zajmuje miejsce podrzędne, zaś podstawowe znaczenie mają wzajemne osobiste interakcje między graczami [Radościński 1989].

W. Okoń określa gry symulacyjne jako gry dydaktyczne, w których działanie jest skierowane na rozwiązanie problemu wziętego z rzeczywistości, ale przedstawionej w modelu [Okoń 1996a: 85]<sup>7</sup>. W metodologii badań symulacyjnych gra stanowi przykład niejednorodnego modelu symulacyjnego, którego elementami są uczący się, model systemu i scenariusz gry z jej regułami. F. Szlosek [1995 : 118] charakteryzuje gry symulacyjne jako odtwarzanie rzeczywistości poprzez model symulacyjny *o charakterze słownym, matematycznym lub technicznym*. Zdaniem autora, gry zmuszają do rozpatrywania modelu i jego cech.

C. Kupisiewicz [1977 : 96], który w dydaktyce polskiej po raz pierwszy wyodrębnił kategorię gier symulacyjnych stwierdza, że uczenie się przez metody (gry) symulacyjne polega na odtworzeniu przez uczących się złożonych sytuacji problemowych i wdraża uczniów do wszechstronnej analizy problemów. Zasadniczym celem gry dydaktycznej jest nauczenie się czegoś [Kupisiewicz 1977].

Celem zastosowania symulacji jest więc nie tylko przekazanie uczniowi informacji na temat zasady funkcjonowania systemów, ale także nauczenie podejmowania decyzji, w wyniku których funkcjonowanie tych systemów będzie się zmieniało zgodnie z zamierzeniami ucznia. Możliwość zastosowania komputera i modelu symulacyjnego umożliwia postawienie ucznia w sytuacji decydenta, którego zadaniem jest osiągnięcie założonych celów w modelowanym obiekcie.

Cele stawiane przed symulacją w dydaktyce to:

- zrozumienie istoty i zasady funkcjonowania określonych systemów;
- ukształtowanie umiejętności podejmowania decyzji dotyczących;
- funkcjonowania danego systemu;
- ćwiczenie posługiwania się wiedzą z określonej dziedziny.

---

<sup>7</sup> W. Okoń, *Nowy....., op. cit.*, s. 85.

## Walory dydaktyczne gier symulacyjnych

Zainteresowanie symulacją i teorią gier w nauczaniu – uczeniu się występuje od dawna wśród wielu publicystów zajmujących się dydaktyką. W polskiej literaturze pedagogicznej problemy symulacji i gier symulacyjnych są przedmiotem analiz S.E. Jarmarka [1976], C. Kupisiewicza [1977] K. Kruszewskiego [1984; 1988] T. Nowackiego [1994], W. Okonia [1996b] C. Plewki [1999], F. Szloska [1995; 1995b]. Gry symulacyjne stosowane w ostatnich klasach szkoły podstawowej i w pierwszych klasach liceum ogólnokształcącego były tematem pracy E. Putkiewicz i M. Ruszczyńskiej-Schiller [1983 : 133]. Wyniki badań wskazują, że *największą zaletą gier symulacyjnych jest uaktywnienie uczniów o różnym poziomie intelektualnym i różnych typach osobowości.*

Wielokierunkowość możliwych zastosowań w dydaktyce gier symulacyjnych pozwala uczniom na osiągnięcie rozmaitych korzyści:

- stosowanie wiedzy i umiejętności teoretycznych w praktyce,
- rozwijanie postaw kreatywnych,
- kształcenie i doskonalenie umiejętności organizacji uczenia się i pracy własnej,
- rozwijanie postaw etycznych i kultury zawodu,
- wyrabianie poczucia odpowiedzialności za swoją pracę i pracę grupy, za jej jakość i ostateczny efekt,
- rozwijanie umiejętności pracy w zespole, podziału obowiązków, tworzenie atmosfery współpracy i współdziałania,
- rozwijanie nawyków dyscypliny pracy,
- uczenie się zasad prowadzenia dyskusji,
- rozwijanie umiejętności podejmowania decyzji,
- rozwijanie umiejętności prezentacji własnej osoby, swoich umiejętności i wiedzy,
- rozwijanie umiejętność wykorzystania użytkowych programów komputerowych,
- kształcenie umiejętność wypełniania formularzy, druków,
- kształcenie umiejętności sporządzania dokumentów, poznawania zasad ich obiegu, np. w biurze i ich sprawdzania pod względem formalnym, merytorycznym,
- rozwijanie umiejętności prowadzenia negocjacji, np. rozmów handlowców: ustalanie ceny, warunków sprzedaży, warunków dystrybucji, warunków płatności,
- poznawanie zasady funkcjonowania, np. przedsiębiorstwa w powiązaniu z otoczeniem, w którym funkcjonuje, a także uwarunkowań prawno-politycznych, ekonomicznych, socjokulturowych, technologicznych;
- rozwijanie umiejętności korzystania ze źródeł prawa, literatury i czasopism fachowych,

- rozwijanie umiejętności wykorzystywania w pracy urządzeń technicznych i biurowych.

### **Zastosowanie gier symulacyjnych w dydaktyce**

Z uwagi na walory pedagogiczne, jakie charakteryzują metody symulacji komputerowej zakres stosowania gier symulacyjnych jest dość szeroki w poszczególnych dydaktykach szczegółowych, przedmiotowych. Dotyczy to zarówno przedmiotów humanistycznych, technicznych, ekonomicznych, przyrodniczych i nauczania początkowego. Gry symulacyjne włącza się aktualnie w system kształcenia modułowego w szkolnictwie zawodowym [Olechowicz 2003].

Gry symulacyjne stosuje się powszechnie w **szkołach wyższych**, np. w dydaktyce ekonomii [Branowski 2002]. W grze SYNEG symulowane są procesy negocjowania umów agencyjnych lub dystrybucyjnych z pośrednikiem krajowym lub zagranicznym.

Gry symulacyjne, tak jak wszystkie gry dydaktyczne, należą do grupy metod aktywizujących. Uczniowie nabywają wiele umiejętności, np. analizowania sytuacji, podejmowania decyzji, planowania działań, negocjowania, dobierania informacji niezbędnych do podjęcia decyzji. Nie wolno jednak zapominać o tym, że gry symulacyjne nie operują na rzeczywistości, a jedynie działają na jej modelach. W. Okoń [1996b] zauważa, że fakt ten może wpływać w szkole na odrywanie teorii od praktyki. Zasada łączenia teorii z praktyką ma szczególne znaczenie w kształceniu zawodowym, gdzie rozdział praktyki i teorii jest niedopuszczalny. Symulacja komputerowa jest jedną z odmian symulacyjnego uczenia się, która na przestrzeni ostatnich kilku lat stała się obiektem dużego zainteresowania pedagogów.

Uczenie się przez symulację komputerową obejmować może w szkołach i uczelniach praktycznie treści kształcenia ze wszystkich dziedzin wiedzy. Szczególnie jednak należy wyróżnić w tym względzie ekonomię, biznes, fizykę, przedmioty techniczne, a może w mniejszym stopniu nauki humanistyczne. Wstępny przegląd istniejącego stanu wiedzy w zakresie kształcenia z wykorzystaniem symulacji należy uzupełnić o najnowsze informacje uwzględniające zastosowanie komputerów w tej dziedzinie dydaktyki.

Jak już wspomniano, szczególnie duże zainteresowanie symulacją komputerową występuje w dydaktyce ekonomii. Analiza prac w tym zakresie pozwala zauważyć, że w nauczaniu ekonomii i biznesu symulacja komputerowa jest metodą szczególnie efektywną. T. Jaworski [1994] wykazuje, że gry symulacyjne są najskuteczniejszą metodą nauczania biznesu. Można je stosować na zajęciach grupowych i indywidualnych. Ich przykładem jest oprogramowanie do samokształcenia w negocjacjach handlowych. Program prowadzący dialog z użytkownikiem zachowuje się jak *prawdziwy partner* w czasie transakcji kupna-

sprzedaży. Wynik konfrontacji jest oceniany przez komputer. Użytkownik ma szansę na naprawienie swoich błędów i nauczenia się zachowań zwykle przynoszących sukces. Zdaniem T. Jaworskiego [1994], przykład ten ukazuje możliwości zastosowań sztucznej inteligencji w dydaktyce.

Problematyką wykorzystania symulacji komputerowej w dydaktyce ekonomii w szkole wyższej zajmuje się kompleksowo E. Radośniński [1998a; 1998b]. Jednym z obszarów prac badawczych E. Radośnińskiego są komputerowe systemy dydaktyczne w dziedzinie ekonomii i zarządzania. Symulacja komputerowa znajduje swoje zastosowanie w trzech sferach: badawczej, menedżerskiej i dydaktycznej. E. Radośniński [1998a] wysuwa i udowadnia tezę, iż spośród znanych sposobów zastosowania metod symulacyjnych, dydaktyka jest tym obszarem działań praktycznych, w którym metody te wykorzystuje się najbardziej efektywnie. Zdaniem autora, symulacja dała szansę pełnego rozwoju kształcenia aktywnego, w którym z założenia uczący się stanowi czynny element systemu dydaktycznego. Szczególnie użyteczne okazało się zastosowanie symulacji w postaci gier kierowniczych, eksperymentów laboratoryjnych czy inscenizacji dydaktycznych. Symulacyjne systemy komputerowe mogą tworzyć dydaktyczne laboratorium badań, wspierające kształcenie w szkołach wyższych.

Podstawowym zadaniem wirtualnego laboratorium jest symulowanie wpływu decyzji podejmowanych przez studenta na kształtowanie się wyników ekonomicznych firmy [Bielecki 1996; 1999].

W publikacjach M. Kozielskiej [1999; 2001] przedstawione zostały wyniki badań dotyczących studiowania wspomaganego komputerem podczas zajęć laboratoryjnych z fizyki. W trakcie eksperymentu prowadzonego przez autorkę zastosowano również komputerowe programy symulacyjne. Wyniki badań potwierdziły, że na stopień aktywności poznawczej studentów ma wpływ wielostronne studiowanie wspomagane komputerem. Uczenie się z wykorzystaniem edukacyjnych programów komputerowych (w tym symulacyjnych) wywoływało wyższy stopień aktywności poznawczej i twórczej studentów.

Analizując udział technik komputerowych w łagodzeniu niepowodzeń edukacyjnych, M. Kozielska [2002b; 2003a : 113] twierdzi, że symulacje komputerowe umożliwiają pomoc w zakresie współtworzenia sytuacji aksjologicznych – pomagają w rozpoznawaniu, zrozumieniu i zaakceptowaniu wartości. Wydaje się, że taka rola symulacji komputerowych jest bardzo istotna w obecnej cywilizacji, w której następuje niebezpieczne dla edukacji zanikanie wartości. Autorka stwierdza ponadto, że *strategie symulowania i modelowania pozwalają na zwiększenie różnorodności metod stosowanych w kształceniu* [Kozielska 2003a : 115]. Wskazuje również na udział symulacji komputerowych w minimalizacji niepowodzeń edukacyjnych na drodze tworzenia przyjaznych warunków i klimatu uczenia się.

Na pytanie: *czy programy komputerowe pomagają uczyć się fizyki*, M. Kozielska [2000] udziela odpowiedzi pozytywnych w wielu aspektach. W trakcie wykładów w uczelni wyższej, zastosowane symulacje komputerowe

zjawisk fizycznych przewyższają walorami dydaktycznymi przeźrocza, foliogramy czy nawet filmy animowane. Dokonując analiz M. Kozielska stwierdza, że modele komputerowe są wygodniejsze w interpretacji, ponieważ można je rozłożyć na kolejne prostsze układy.

Dorobek M. Kozielskiej [1999; 2000a; 2000b; 2000; 2001; 2002a; 2002b; 2003] zawiera bardzo dużo cennych wyników badań, dotyczących procesu nau czania – uczenia się **fizyki w szkołach wyższych**, wspomaganego symulacją komputerową. Jest on wynikiem przeprowadzonych przez M. Kozielską badań naukowych teoretycznych i empirycznych nad skutecznością studiowania fizyki za pomocą programów komputerowych. W publikacjach tych można odnaleźć wiele praktycznych dyrektyw dydaktycznych, które dadzą się zastosować w warsztacie pracy nauczycieli fizyki i przedmiotów technicznych w szkołach zawodowych. Zdaniem M. Kozielskiej [2003], *szczególna wartość dydaktyczna symulacji tkwi głównie w tym, że pozwala pokonać dychotomię poznania bezpośredniego i pośredniego. Dydaktyczna skuteczność symulacji zależy od tego, jak prowadzącemu zajęcia uda się włączyć ją do programu nauczania i wydobyć z niej dydaktyczne i wychowawcze wartości.*

Wykorzystanie metod symulacyjnych w **dydaktyce szkoły wyższej** jest także przedmiotem badań J. Szerłowskiego [1996], który traktuje metody symulacyjne jako jeden ze sposobów aktywizacji studentów. Podobne stanowisko zajmuje M. Tokarski [1996] twierdząc, że symulacja komputerowa jest jednym z wielu determinantów skuteczności procesu dydaktycznego.

Znaczenie i dużą rolę symulacji komputerowej w dydaktyce fizyki w szkole średniej i wyższej podkreśla R. Kutner [1988; 1999]. Autor stwierdza, iż symulacje i animacje komputerowe zjawisk fizycznych są cenne z kilku powodów. Między innymi za ich pomocą można ukazać przebieg takich zjawisk, których w rzeczywistości w ogóle nie da się obserwować (np. reakcja łańcuchowa, rozpad promieniotwórczy itd.). Możliwe jest także pokazanie za ich pomocą przebiegu wszelkich zjawisk, przy równoczesnej, dowolnej zmianie wartości wielkości fizycznych opisujących te zjawiska. Ma to ogromne znaczenie edukacyjne, szczególnie w przypadku tych szkół, które nie mogą sobie pozwolić na zakup aparatury potrzebnej do przeprowadzania realnych eksperymentów. Zdaniem R. Kutnera stosowanie symulacji komputerowych rozwiązuje częściowo problemy finansowe szkół, a także daje uczniom wyobrażenie o przebiegu zjawisk fizycznych. Autor podkreśla, że symulacje i animacje komputerowe także tych zjawisk, których przebieg można ukazać za pomocą realnej aparatury, stanowią niezwykle cenne uzupełnienie i wzbogacenie procesu dydaktycznego. Czynią one bowiem wykłady bardziej zrozumiałe. Podobne stanowiska w rozważanych powyżej kwestiach zajmują J. Ginter [1999] i D. Roth [1999].

Nowe podejście i myślenie o nauczaniu fizyki sygnalizuje również M. Klisowska [2002] na przykładzie symulacji komputerowej zjawisk i procesów fizycznych. Stosowanie strategii badawczej z wykorzystaniem gier dy-

daktycznych i metod symulacji jest właściwe dla nauczania fizyki – upodabnia proces uczenia się do procesu badawczego realizowanego w tej dziedzinie. Z dydaktycznego punktu widzenia strategia ta znacznie poszerza obszar niekontrolowanej i nieocenionej bezpośrednio przez nauczyciela aktywności poznawczej ucznia. Zdaniem autorki, symulacja komputerowa stwarza nowe możliwości przezwycięzania barier percepcyjnych wiedzy fizycznej, pojawiających się w wyniku współpracy uczniów i nauczycieli w procesie dydaktycznym. Przezwycięzanie barier w percepcji wiedzy fizycznej jest możliwe dzięki interaktywnej wizualizacji i modelowaniu symulowanych zjawisk. M. Klisowska zwraca uwagę na jedną z funkcji komputera, jaką jest stymulowanie myślenia dedukcyjnego i na jej wykorzystanie w uczeniu się fizyki [Klisowska 2002].

Natomiast N. Tomaszewska [2003] zauważa, że w nauczaniu fizyki niewłaściwie prowadzone symulacje komputerowe prowadzą do błędów metodycznych. Dzieje się tak wówczas, gdy symulacje komputerowe w procesie dydaktycznym nie są używane w celu weryfikacji modelu. Zdaniem N. Tomaszewskiej, bardzo ważne jest porównywanie wyników symulacji komputerowej z wynikami eksperymentu rzeczywistego, zaś jej pozytywne wartości pedagogiczne ujawniają się wówczas, gdy łączy się ona z modelowaniem.

N. Tomaszewska [2002] przedstawia także sposoby wykorzystania arkusza kalkulacyjnego na lekcjach fizyki w szkołach ponadpodstawowych. Jednym z zastosowań arkusza kalkulacyjnego jest budowa modeli fizycznych i prowadzenie symulacji. Procesy te autorka utożsamia z ideami konstruktywistycznego procesu kształcenia. W swoich pracach N. Tomaszewska nie potwierdza jednak – wydaje się – słusznych wniosków badaniami empirycznymi w zakresie dydaktyki fizyki. Opiera je jedynie na doświadczeniach z własnej praktyki pedagogicznej.

Problematyce zastosowań oprogramowania symulacyjnego w nauczaniu przedmiotów technicznych na poziomie szkoły średniej są poświęcone artykuły S. Szablowskiego [1997a, 1997b], A. Aftańskiego [2001] oraz W.T. Kozłowskiego [2000]. W ich opracowaniach można znaleźć opisy wybranych programów symulacyjnych oraz metodykę ich stosowania na lekcjach przedmiotów zawodowych. Autorzy stwierdzają, że wprowadzenie do procesów uczenia się metod symulacji komputerowej korzystnie wpływa na efektywność dydaktyczną nauczanych przedmiotów, zwiększa zainteresowanie ucznia przedmiotem, aktywizuje uczniów, umożliwia indywidualizację procesu uczenia się. Potwierdzenie zalet pedagogicznych symulacji komputerowej w uczeniu się przedmiotów elektrycznych znajdujemy w pracach S. Szablowskiego [2004]. Opisano w nich wyniki badań empirycznych efektywności dydaktycznej tej metody uczenia się w zakresie technicznych zdolności poznawczych. Badania empiryczne potwierdziły rozwój intelektu technicznego uczniów, który nastąpił pod wpływem uczenia się metodą symulacyjną [Szablowski 2005].

K. Stec [2003] proponuje tworzenie wirtualnego laboratorium elektrotechniki w szkole średniej poprzez pisanie programów symulacyjnych w ramach prac



dyplomowych uczniów technikum elektrycznego. Zdaniem autorki, wirtualne laboratorium oparte na programach symulacyjnych, może istnieć samodzielnie, lecz z założenia ma być uzupełnieniem laboratorium rzeczywistego. K. Stec uzasadnia konieczność stosowania oprogramowania symulacyjnego podczas uczenia się i studiowania – ma ono służyć lepszemu zrozumieniu zagadnień teorii elektrotechniki [Stec 2003].

Współcześnie metody symulacyjne stosowane są szeroko w dydaktyce szkoły wyższej na kierunkach technicznych: chemia [Hippe 1993] elektrotechnika, elektronika, automatyka [Stec 1996]. Zagadnieniom zastosowań komputerów na zajęciach laboratoryjnych z elektrotechniki poświęcony jest referat M. Furmanka i D. Mikołajewskiego [2000]. Są to zagadnienia wielowątkowe, w których obszarze przewija się symulacja komputerowa. Modelowanie matematyczne procesów ekologicznych i symulacja komputerowa są jedną z metod często stosowaną w dydaktyce ekologii. Umożliwiają one komputerową symulację procesów biologicznych oraz wszechstronne poznawanie zjawisk występujących w przyrodzie, a także prognozowanie rozwoju różnych populacji [Cegłowski, Orylska 1999 : 271–272]. Znane jest powszechne stosowanie komputerowych programów symulacyjnych w edukacji pilotów i kierowców. Stosowane symulatory stanowią w istocie laboratoria dydaktyczne [Tyrała 1996; 1997].

## Bibliografia

- Aftański A. (2001), *Oprogramowanie symulacyjne w nauczaniu przedmiotów elektrycznych*, „Nowa Edukacja Zawodowa” Nr 5/6.
- Bajer M. (2001), *Wizerunki niepewności*, „Forum Akademickie” 7–8.
- Barton R.F. (1974), *Wprowadzenie do symulacji i gier*, Warszawa.
- Bertalanffy L.V. (1984), *Ogólna teoria systemów: podstawy, rozwój, zastosowania*, Warszawa.
- Bednarek J. (2003), *Gra dydaktyczna* [w:] *Encyklopedia pedagogiczna XXI wieku*, t. II, red. T. Pilch, Warszawa.
- Bertalanffy L.V. (1984), *Ogólna teoria systemów: podstawy, rozwój, zastosowania*, Warszawa.
- Bielecki W.T. (1996), *Pouczające symulowanie*, „Computerworld” 20.
- Biniek Z. (2002), *Elementy teorii systemów modelowania i symulacji*, Szczecin – Warszawa.
- Branowski M. (2002), *Gra symulacyjna SYNEG*, Prace Szkoły Systemów Gospodarczych – Duszyniki 2002, Wrocław.
- Franus E. (2000), *Wielkie funkcje technicznego intelektu. Struktura uzdolnień technicznych*, Kraków.
- Gasparski W. (1988), (red.), *Elementy wiedzy o projektowaniu*, Warszawa.
- Gordon G. (1974), *Symulacja systemów*, Warszawa.
- Jarmark S. (1976), *Wykorzystanie komputerów do symulacji i gier w procesach dydaktycznych* [w:] *Materiały z IV Sympozjum Cybernetyki Pedagogicznej*, Kraków.
- Jaworski J. (1994), *Symulacja komputerowa w dydaktyce*, „Computerworld” 16.
- Juszczak S. (1999), *Podstawy informatyki dla pedagogów*, Katowice.
- Kałużski J. (2002), *Teoria gier*, Gliwice.
- Klisowska M. (2002), *Symulacja komputerowa a przewyższanie barier w percepcji wiedzy fizycznej*, XII Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe „Techniki komputerowe w przekazie edu-

- kacyjnym”, 27–28.09.2002, [www.ap.krakow.pl/ptn/Referaty/Klisowsk.htm](http://www.ap.krakow.pl/ptn/Referaty/Klisowsk.htm). Kołodziński E., *Symulacyjne metody badania systemów*, Warszawa.
- Kozielska M. (2000), *Walory komputerowego wspomaganie metod nauczania*, Media i Edukacja, Poznań.
- Kozielska M. (2000), *Czy programy komputerowe pomagają uczyć się fizyki?*, XIII Konferencja „Nauczanie Fizyki w Wyższych Szkołach Technicznych”, Wrocław.
- Kozielska M. (2001), *Udział symulacji komputerowych w tworzeniu dydaktycznych warunków uczenia się* [w:] *Edukacja Jutra – VII Tatrzańskie Seminarium Naukowe*, red. K. Denek, T. Zimny, Częstochowa.
- Kozielska M. (2002b), *Udział technik komputerowych w łagodzeniu niepowodzeń edukacyjnych* [w:] *Media i edukacja w dobie integracji*, red. W. Strykowski, W. Skrzydlewski, Poznań.
- Kozielska M. (1999), *Aktywność badawcza studentów jako składnik nowoczesnego komputerowo wspomaganego kształcenia* [w:] *Edukacja jutra – V Tatrzańskie Seminarium Naukowe*, red. K. Denek, T.M. Zimny, Częstochowa.
- Kozielska M. (2000b), *Podmiotowość w komputerowo wspomaganym kształceniu studentów* [w:] *Edukacja jutra – VI Tatrzańskie Seminarium Naukowe*, red. K. Denek, T.M. Zimny, Częstochowa.
- Kozielska M. (2003), *Komputerowe wspomaganie edukacji*, Szczecin.
- Kozłowski W.T. (2000), *Symulacja komputerowa narzędziem pracy nauczyciela przedmiotów zawodowych w dobie ekspansji technologii informacyjnej*, „Komputer w szkole” 3/2000.
- Kruszewski K. (1984), *Gry dydaktyczne – zarys tematu*, „Kwartalnik Pedagogiczny” nr 2.
- Kruszewski K. (1993), *Gry dydaktyczne* [w:] *Encyklopedia pedagogiczna*, red. W. Pomykało, Warszawa.
- Kruszewski K. (1988), *Kształcenie w szkole wyższej*, Warszawa.
- Kupisiewicz Cz. (1984), *Podstawy dydaktyki ogólnej*, Warszawa.
- Kutner R. (1988), *Symulacja komputerowa w nauczaniu fizyki ogólnej* [w:] *Materiały IV Krajowej Konferencji „Informatyka w Szkole”*, Wałbrzych.
- Latawiec A. (1993), *Pojęcie symulacji i jej użyteczność naukowa*, Warszawa.
- Luce R.D., Raiffa H. (1964), *Gry i decyzje*, Warszawa.
- Malawski M., Sosnowska H., Wieczorek A. (2004), *Konkurencja i kooperacja. Teoria gier w ekonomii i naukach społecznych*, Warszawa.
- Mazur M. (1976), *Cybernetyka i charakter*, Warszawa.
- Mynarski S. (1979), *Elementy teorii systemów i cybernetyki*, Warszawa.
- Naylor T.M. (1975), *Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych*, Warszawa.
- Noga H. (2003), *Gra komputerowa* [w:] *Encyklopedia pedagogiczna XXI wieku*, t. 2, red. T. Pilch, Warszawa.
- Nowacki T. (1994), *Aktywizujące metody w kształceniu*, Warszawa.
- Okoń W. (1992), *Słownik pedagogiczny*, Warszawa.
- Okoń W. (1995), *Zabawa i rzeczywistość*, Warszawa.
- Olechowicz B. (2003), *Gry symulacyjne w nauczaniu modułowym*, „Edukacja i Dialog” 2.
- Owen G. (1975), *Teoria gier*, Warszawa.
- Plewka Cz. (1999), *Metodyka nauczania teoretycznych przedmiotów zawodowych*, cz. I, Radom.
- Pszczółowski T. (1978), *Mała encyklopedia prakseologii i teorii organizacji*, Wrocław.
- Putkiewicz E., Rusczyńska-Schiller M. (1983), *Gry symulacyjne w szkole*, Warszawa.
- Radościński E. (1998) (red.), *Modelowanie symulacyjne w dydaktyce ekonomii*, Wrocław, Kraków, Gliwice.
- Radościński E. (1998) (red.), *Symulacja komputerowa w nauczaniu ekonomii*, Wrocław, Kraków, Gliwice.

- Radosiński E., *Symulacja komputerowa w nauczaniu analizy finansowej*, www.ioz.pwr. wroc.pl/Pracownicy/radosinski/#publikacje.
- Stec K. (1996), *Symulacja komputerowa jako narzędzie wspomagające w laboratorium elektrotechniki teoretycznej*, Poznań.
- Straffin P. (2004), *Teoria gier*, Gdańsk.
- Szablowski S. (2005), *Efektywność wspomaganego symulacją komputerową uczenia się – nauczania przedmiotów elektrycznych w szkole zawodowej*. Praca doktorska UAM w Poznaniu, promotor W. Furmanek.
- Szablowski S. (2004), *Funkcje poznawcze i twórcze symulacji komputerowej w kształceniu zawodowym*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa – „Informatyka w Kulturze i Edukacji”, UŚ, Cieszyn.
- Szablowski S. (1997), *Komputerowa symulacja w nauczaniu elektrotechniki i automatyki – zagadnienia metodyczne*, „Komputer w Szkole” 1/1997.
- Szerłowski J. (1996), *Metody symulacyjne jako sposób aktywizacji studentów*, Toruńskie Studia Dydaktyczne, t. IX.
- Szłosek F. (1995), *Wstęp do dydaktyki przedmiotów zawodowych*, Radom.
- Tokarski M. (1996), *Symulacja komputerowa jako jeden z determinantów skuteczności procesu dydaktycznego*, Toruńskie Studia Dydaktyczne.
- Tomaszewska M. (2003), *Symulacja komputerowa w nauczaniu fizyki*, XIII Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe „Komputer w Edukacji”, AP Kraków, 26–27.03.2003. www.ap.krakow.pl/ptn/REF2003/tomaszew.pdf.
- Waloszek D. (2003), *Gra [w:] Encyklopedia pedagogiczna XXI wieku*, t. 2, red. T. Pilch, Warszawa.
- Wencel J.S. (1961), *Elementy teorii gier*, Warszawa.

<http://www.fizyka.umk.pl/~duch/Wyklady/komput/w02/naukik.htm/>

<http://www.chatbot.pl/>

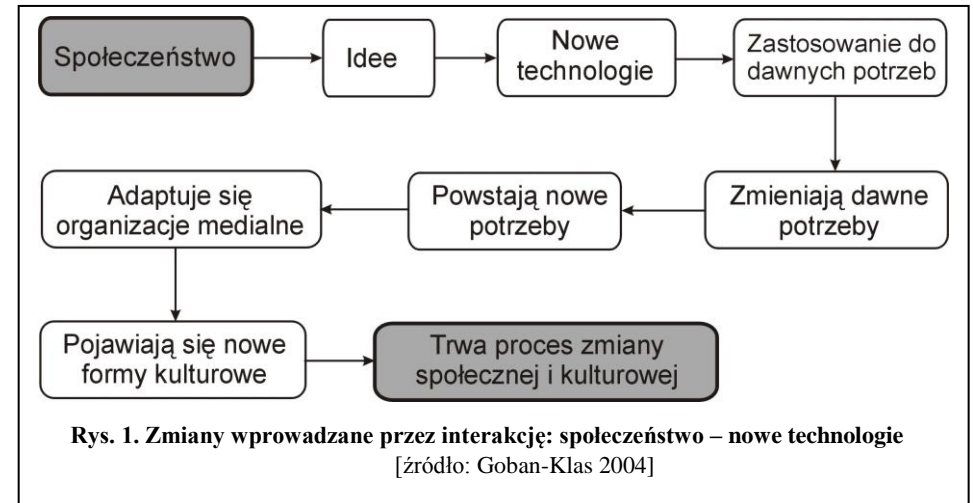
**Aleksander Piecuch**

**UCIECZKA OD RZECZYWISTOŚCI CZY PRZYBLIŻANIE  
RZECZYWISTOŚCI – MODELOWANIE I SYMULACJA  
KOMPUTEROWA**

**Wstęp**

Pomiędzy światem nas otaczającym a wiedzą o nim istnieje swego rodzaju przepaść. Człowiek od zawsze mając naturę odkrywcy, stara się poznawać wszystkimi zmysłami własne otoczenie, dążąc przy tym także do zrozumienia istoty zachodzących wokół niego zjawisk i procesów. Ciekawość świata wraz z jego zjawiskami i procesami podyktowana jest nie tylko wyłącznie samą chęcią poznania. Dzisiaj to także wiedza niezbędna, aby wpływać na kierunki zachodzących naturalnie zmian w środowisku, przewidywać ich skutki, ale także projektować różnorakie zmiany mające służyć człowiekowi, ale w sposób, który nie zachwieje naturalnego rytmu życia środowiska naturalnego. Wspomniany obszar zainteresowań i działalności człowieka jest jednym z wielu, ale prawdopodobnie najważniejszym, bo decydującym o warunkach życia człowieka we współczesnym świecie. Wielowiekowy rozwój nauki i techniki, który określamy wspólnym mianem postępu cywilizacyjnego nadbudował na gruncie środowiska naturalnego środowisko techniczne, gospodarcze i ekonomiczne. Współczesne zdobycze nauki wywołują na niespotykaną dotąd skalę przyrost wiedzy oraz nowych osiągnięć techniki przy jednoczesnym coraz większym stopniu ich skomplikowania. Stąd też sama nauka staje się również coraz bardziej złożona, a przez to w coraz mniejszym stopniu dostępna dla przeciętnego człowieka. Skutkiem tego człowiek doby XXI wieku nie dość, że wyrasta w określonej rzeczywistości, musi tę zastaną rzeczywistość poznać gruntownie i to z dwóch względów. Po pierwsze po to, by sprawnie i bezpiecznie funkcjonować w tej rzeczywistości, a po drugie po to, by móc na nią skutecznie wpływać w przyszłości. W praktyce oznacza to konieczność przyswajania większej wiedzy w tym samym czasie. Tym stwierdzeniem wkraczamy na grunt edukacji. To przed nią stoją nowe wyzwania związane z koniecznością sprostania oczekiwaniom współczesności. Wypracowane przez dziesiątki lat metody i środki nauczania muszą zostać zmodyfikowane w sposób gwarantujący wzrost efektywności kształcenia. Problematyka współczesnej technologii kształcenia nie oznacza zmian rewolucyjnych, ale ewolucyjne. Są one konsekwencją zmieniających się potrzeb człowieka – rys 1.

Występowały one zawsze w przeszłości i występować będą, ilekroć zmieniać się będzie model społeczeństwa. Dla przykładu zilustrujmy znane nam z historii rozwoju cywilizacyjnego przemiany odpowiednim zestawieniem tabelarycznym – tabela 1.



**Tabela 1. Wpływ modelu społecznego na system oświaty**

Cecha podstawowa	Spółeczeństwo przedprzemysłowe	Spółeczeństwo przemysłowe	Spółeczeństwo informacyjne
Język	Łacina i greka	Języki narodowe	Angielski
Uczniowie	Dzieci elity	Młodzi ludzie	Każdy
Wiek uczniów	6–20 lat	6–16 lat	W każdym wieku
Kto płaci za naukę	Rodzice	Podatnik	Uczeń
Organizator	Kościół	Państwo	Korporacje
Miejsce nauki	Siedziby wiedzy	Miasta	Wszędzie
Czas nauki	Wzajemnie ustalony	Ustalony	Kiedykolwiek
System ekonomiczny	Gospodarka tradycyjna	Taylorizm	Neoliberalizm
Źródło programów nauczania	Nauczyciel	Państwo	Potrzeby ucznia

Źródło: [Tiffin, Rajasingham 1995]

„Poszukuje się szkoły, która w codziennym trudzie aktywności dydaktyczno-wychowawczej konsekwentnie stara się być placówką dynamiczną, nowoczesną, szybko reagującą na zmieniającą się rzeczywistość, zwracającą uwagę na wybitnych uczniów, wspierającą tych, którzy uczą się słabiej; odpowiedzialną za: wielostronny rozwój osobowości swych uczniów; zaszczepiającą w umysłach i sercach swych uczniów odpowiedzialność za:

- poziom świadomości, który wnoszą do swojego działania,
- swoje wybory, decyzje i czyny,
- realizację swoich pragnień,
- swoje przekonania, wartości, którymi się kierują w życiu,
- to, jak organizują i spędzają swój czas wolny,
- dobór przyjaciół i znajomych,
- sposób, w jaki postępują z innymi ludźmi,
- to, co robią ze swoimi emocjami i uczuciami, swoje szczęście,
- swoje życie i pomyślność” [Kozicka 2004].

Wieloaspektowość założeń poczyniona dla szkoły współczesnej ujawnia spektrum funkcji teleologicznych, z którymi szkoła winna się zmierzyć w terażniejszości dla przyszłości.

W każdej formacji społecznej, w tym także obecnie budowanej, beneficjentem postępu cywilizacyjnego jest szkoła. Intensywność, z jaką szkoła wchłania nowe osiągnięcia nauki i techniki zależy z jednej strony od jej aktualnych potrzeb, z drugiej natomiast od jej możliwości. Wskazując na możliwości ma się na myśli np. odpowiednio przygotowaną kadrę nauczycieli, których stopień przygotowania do absorbowania nowych technologii jest zależny od stopnia ich przygotowania. Warunek ten przemawia dodatkowo za ewolucyjnymi zmianami na gruncie edukacyjnym. Trzeba jednak pamiętać, że politykę oświatową wyznacza/kreuje państwo mocą wdrażanych w życie ustaw prawnych. Głównym źródłem inercji systemu oświaty pozostają zatem uregulowania prawne, a w ślad za nimi brak aktualnych programów nauczania, a tym samym ofert doskonalenia zawodowego dla nauczycieli. Wspomniane ważniejsze elementy systemu oświaty, dodatkowo wraz z deficytami ekonomicznymi składają się na jej ogólny obraz i odbiór.

### **Informatyzacja wyznacznikiem współczesnej dydaktyki**

Pierwszy program nauczania *Elementów informatyki* dla szkół średnich zatwierdzony przez MEN w roku 1985 był początkiem i zapowiedzią zmian w systemie oświaty. Wynikł on w naturalny sposób z osiągnięć technologicznych w zakresie mikroelektroniki, a jednocześnie stanowił odpowiedź na rosnące w społeczeństwie zainteresowanie komputerem. Nowy przedmiot szkolny, który zaczął funkcjonować w polskiej szkole ukierunkowany został merytorycznie na zagadnienia związane z budową i eksploatacją komputera. Literatura przedmiotu

omawiająca ten okres czasu i treści kształcenia określa mianem alfabetyzacji komputerowej. Nie odnosząc się do treści kształcenia ani metodyki nauczania tego przedmiotu, trzeba powiedzieć, że minęło sporo lat zanim pod względem zaawansowania technologicznego komputer mógł stać się czymś więcej niż obiektem zainteresowania uczniów i nauczycieli. Datę, którą należałoby przywołać w tym miejscu jako przełomową to rok 1995. Na masową skalę upowszechniły się napędy CD-ROM, które zrewolucjonizowały możliwości przechowywania dużych ilości informacji i jej przetwarzania. Ponadto firma Intel wypuszcza mikroprocesor serii Pentium MMX dedykowany do pracy z aplikacjami multimedialnymi i komunikacyjnymi. Tym samym wzrasta wydajność komputerów do takiego poziomu, że możliwe staje się odtwarzanie z wystarczająco dobrą jakością informacji multimedialnych.

Cechy ówczesnego komputera pozwalają go wykorzystać w szkole także do innych celów. Z powodzeniem może on przejąć na siebie rolę nowego środka dydaktycznego, który dodajmy przewyższa swoimi możliwościami środki dydaktyczne dotychczas stosowane w szkole. Tym wyróżnikiem jest interaktywność. Interaktywności w rozumieniu środków dydaktycznych nie należy mylić z interaktywnością komputera, bowiem komputer z natury od początku był interaktywny. Interaktywność rozumiana jest jako relacja między człowiekiem a środowiskiem cyfrowym zapośredniczonym przez łączący ich sprzęt [de Kerkhove 2001a]. Inaczej mówiąc, użytkownik pracujący z MPD ma wpływ na przebieg programu, a reakcja (akcja) użytkownika wywołuje określoną reakcję ze strony programu. Interaktywność w kontekście środka dydaktycznego to możliwość wpływania użytkownika, np. multimedialnego programu dydaktycznego (MPD) [zob.: Piecuch 2008a, 2008b] na przebieg procesu uczenia się.

Dalsze etapy wykorzystywania komputera w szkole są na ogół znane. Trzeba dodać, że pomimo powszechnej akceptacji wszystkich środowisk: naukowych, nauczycielskich, uczniowskich dla komputera jako środka dydaktycznego, w zasadzie nie wyszedł on poza pracownie informatyczne w szkołach. Funkcjonowanie autonomicznych pracowni jest w dalszym ciągu uzasadnione, chociażby ze względu na przedmioty informatyczne funkcjonujące we wszystkich typach szkół. Obecnie takie rozwiązanie wydaje się już niewystarczające i niezaspokajające potrzeb zarówno uczniów, jak i nauczycieli. Skuteczność kształcenia z wykorzystaniem środków informatycznych została już potwierdzona w badaniach naukowych i nie ma wątpliwości, że komputery powinny stać się standardowym wyposażeniem także innych pracowni przedmiotowych. Dla efektywności procesów dydaktycznych jest to warunek konieczny, ale niestety niewystarczający. Komputer jest tylko urządzeniem technicznym, za pomocą którego można przechowywać, przetwarzać i przekazywać informacje, które dodajmy ze względów metodycznych muszą być informacjami specjalnie przygotowanymi do tego celu. W konsekwencji tego dostrzegamy konieczność systemowego wytwarzania informacji użytecznych dydaktycznie. Sprowadza się to do konieczności

ści projektowania, konstruowania i dystrybucji odpowiedniego rodzaju oprogramowania, dedykowanego do zastosowań edukacyjnych w obrębie poszczególnych przedmiotów kształcenia. Na dużej popularności zyskują multimedialne programy dydaktyczne, których zastosowanie można rozciągnąć na wspomaganie procesów kształcenia bądź na realizowanie tych procesów. W zależności od przeznaczenia, każdy rodzaj oprogramowania będzie się różnił. Inaczej mówiąc, te same treści nauczania w programach realizujących proces kształcenia będą inaczej zorganizowane niż w programie, którego celem będzie wspomaganie kształcenia. Możliwości wykorzystania środków informatycznych w nauczaniu nie mogą i nie ograniczają się wyłącznie do specjalistycznego oprogramowania edukacyjnego. Elastyczność środków informatycznych sprawnemu nauczycielowi pozwala modelować strukturę dydaktyczną zajęć w oparciu o bardzo zróżnicowane oprogramowanie i niekoniecznie dydaktyczne. Różne środki informatyczne w ręku świadomego nauczyciela nabierają dopiero cech środka dydaktycznego.

### **Komputerowe wspomaganie procesów nauczania**

„Wspomaganie procesów nauczania środkami informatycznymi można określić jako: ćwiczenia wspomagane przez komputer, symulacje z modelami sytuacyjnymi, gry dydaktyczne indywidualne i zespołowe. Komputer służy także do kierowania różnymi formami i metodami pracy uczącego się i sam określa na podstawie wstępnej kontroli, jaki wariant będzie odpowiedni. Spełnia więc funkcję adaptacyjnej maszyny uczącej i ustala poziom trudności programu w zależności od wyniku wstępnej kontroli i dalszych postępów w opanowywaniu programu. Niezależnie od wspierania procesu uczenia się i kierowania nim, komputer rejestruje efekty pracy uczącego się w przyswajaniu sobie konkretnego programu i wskazuje napotymane trudności oraz konieczne dodatkowe wyjaśnienia, co jest przydatne (nawet niezbędne) przy doskonaleniu programu lub wykrywaniu niedostatków w przygotowaniu uczącego się” [Półturzycki 1999]. Włączenie w proces dydaktyczny nowych osiągnięć technicznych ma na celu wspomaganie pracy nauczyciela i stworzenie nowej jakości warunków dla kształcenia po to, by coraz rozleglejsza wiedza mogła zostać przekazana w sposób szybki, jak najbardziej poglądowy i precyzyjny, a ponadto uwzględniający indywidualne predyspozycje uczących się. Inaczej mówiąc, celem jest osiągnięcie możliwie jak największej skuteczności w nauczaniu i uczeniu się. Do tego dodajmy za W. Furmankiem: „Technika nie eliminuje i nie ogranicza roli nauczyciela w kształceniu i wychowaniu, a tylko ją zmienia i wzbogaca, stawiając przed nim wiele nowych, trudnych wymagań. Współczesny nauczyciel staje się w procesie nauczania w coraz większym stopniu przewodnikiem, konsultantem, diagnostą i reżyserem. Stosowanie urządzeń automatyzujących kształcenie jest obiektywną ko-



niecznością ery rewolucji naukowo-technicznej. Są one środkiem wspierającym pracę nauczycieli. Nowoczesny nauczyciel musi mieć do dyspozycji różnorodne źródła informacji: bibliotekę, fonotekę oraz inne pomoce dydaktyczne odpowiadające specyfice przedmiotowej. Zaplecze to winno nie tylko gromadzić, ale również samo wytwarzać te materiały dydaktyczne, których nie produkuje przemysł centralny” [Furmanek 1977a]. Istota problemu wspomaganie środkami informatycznymi w rzeczywistości sprowadza się do niezaburzonego i skutecznego transferu wiedzy z użyciem technologii informatycznych i informacyjnych na drodze nauczyciel – uczeń. To jedna z głównych funkcji, jaką można przypisać wspomaganemu komputerowemu, ale nie jedyna. Można odnieść błędne wrażenie, że komputer występujący w roli środka dydaktycznego ma rację bytu wyłącznie w szkole i w ramach prowadzonych zajęć dydaktycznych. Otóż taką samą funkcję (środka dydaktycznego) może pełnić komputer poza szkołą w czasie indywidualnej pracy ucznia z treściami kształcenia. Samo wspomaganie nie powinno oznaczać zelektronizowanych treści kształcenia, np. podręcznikowych, ale winno umożliwić ich łatwiejsze zrozumienie i przyswojenie poprzez prezentację treści kształcenia w zróżnicowanej formie, tak by były one zbieżne z możliwościami/zdolnościami recepcyjnymi uczącego się. Elastyczność środków informatycznych jest w stanie zapewnić stworzenie takiego środowiska dla procesów uczenia się. W praktyce, działania występujące w procesie uczenia się sprowadzone zostają do zagadnień związanych z obiegiem wiedzy. Do celów dalszej analizy konieczna staje się eksplikacja samego pojęcia wiedzy.

Intuicyjnie, przez wiedzę, każdy może rozumieć odmienne zbiory informacji, kompetencji, umiejętności, które w jego przekonaniu składają się na wiedzę. Jakkolwiek jest to poniekąd słuszne, to jednak jest to zbyt ogólnikowe, by mogło stać się podstawą rozważań o wiedzy. Źródła literaturowe *wiedzę* definiują w rozmaity sposób [Piecuch 2008c]. Dla celów porównawczych przytoczmy niektóre z nich:

1) *Wiedza*, w szerokim rozumieniu, ogół treści utrwalonych w umyśle ludzkim w wyniku kumulowania doświadczenia oraz uczenia się. Obejmuje wszystkie formy świadomości społecznej: naukę, ideologię, religię, magię. W takim ujęciu na wiedzę składa się każdy typ myślenia – od wyobrażeń potocznych do twierdzeń naukowych. Może być prawdziwa lub fałszywa, racjonalna i irracjonalna. W węższym znaczeniu wiedza stanowi osobisty stan poznania człowieka w wyniku oddziaływania na niego obiektywnej rzeczywistości. Wyróżnia się dwa rodzaje wiedzy: *praktyczną* (użyteczną), opartą na doświadczeniu i pozwalającą zmieniać rzeczywistość, *teoretyczną* (naukową), opisującą poszczególne aspekty rzeczywistości [MEP 2003].

2) *Wiedza* – ogół wiadomości zdobytych dzięki uczeniu się; zasób wiadomości z jakiejś dziedziny, gałęzi nauki [Słownik języka polskiego 1978].

3) W ujęciu psychologicznym, *wiedza* dzieli się na deklaratywną i proceduralną. *Wiedza deklaratywna* – to jawna wiedza, którą możemy wypowiedzieć

i której jesteśmy świadomi. *Wiedza proceduralna* – to wiedza na temat tego, jak wykonać jakieś działanie i często jest ona ukryta [Anderson 1998; Koziński 1998].

Dla uściślenia rozwińmy te kategorie wiedzy:

- *Wiedza jawna* – może być wyrażona w słowach i liczbach. Dzielenie się i komunikowanie wiedzą jawną jest łatwe i odbywa się za pomocą naukowych formuł, gotowych procedur, uniwersalnych reguł. Jest to wiedza ogólnie dostępna (np. poprzez publikacje, instytucje edukacyjne, Internet).
- *Wiedza ukryta* – występuje w dwóch odmianach:
  - 1) techniczna – nabyta w wyniku doświadczeń, na przykład, umiejętność jazdy na rowerze,
  - 2) poznawcza – model myślowy, przekonania, postrzeganie tak zakorzenione, że brane jako obowiązujące. Odzwierciedla nasze wyobrażenie o rzeczywistości i naszą wizję przyszłości.

Trudno jest wyrazić i precyzyjnie przekazać wiedzę ukrytą (niezbędny jest kontakt osobisty), trudno też odczytać się raz nabytej wiedzy ukrytej [Internet 1]. W dalszym ciągu korzystając z tego samego źródła przytoczymy interpretację wiedzy jawnej i ukrytej: „odkrycia naukowe i wynalazki przyczyniają się do tworzenia wiedzy, tak zwanej – jawnej, opartej na obiektywnych faktach i precyzyjnie wyrażonej za pomocą formalnego języka. W generowaniu innowacyjnych rozwiązań wiedza ukryta odgrywa główną rolę. Wiedza ukryta jest wiedzą osobistą, przejawia się w działaniach danej osoby i została umiejscowiona w pewnym kontekście. Trudno przedstawić formalnie wiedzę ukrytą i trudno ją przekazywać. Wiedza ukryta uaktywnia się podczas dynamicznego współdziałania – wiedzy jawnej i ukrytej – w toku krzyżowania się informacji z różnych dziedzin. Wiedza ukryta wyrażana jest często w postaci metafory (aby ułatwić intuicyjne zrozumienie) lub analogii (łączyć wyobrażenie z logicznym myśleniem). Dlatego też w procesie przekazywania sobie wiedzy ukrytej najbardziej skuteczny jest kontakt osobisty. Pośrednictwo osób trzecich (reprezentantów) czy użycie technologii informacyjnych jest niewystarczające do komunikowania wiedzy ukrytej”.

4) *Wiedza* – jest systemem kategorii i wymiarów pojęciowych oraz operacji i reguł (procedur) reprezentujących w umyśle człowieka (tj. sieciach pamięci) różnorodność stanów i procesów świata (przyrodniczego, technicznego i społeczno-kulturowego). Wymienione składniki wiedzy (kategorie, wymiary, operacje i reguły) tworzą intelektualną podstawę do orientacji w rzeczywistości, rozumienia zachodzących w niej zmian, sporządzania planów i projektów, dokonywania odkryć, formułowania ocen i wniosków oraz podejmowania innych form działalności intelektualnej i praktycznej [Nosal 1997].

E. Skrzypek wyróżnia następujące poziomy wiedzy:

- ujęcie filozoficzne – zbiór uzasadnionych przekonań,
- ujęcie naukowe – zbiór uzasadnionych empirycznie lub logicznie/matematycznie stwierdzeń (K. Popper),
- w życiu potocznym – zbiór doświadczeń i przekonań [Skrzypek 2007],

Z punktu widzenia cybernetycznego modelu uczenia się-nauczania przywołajmy jeszcze inny podział wiedzy:

- 1) *Know-what* (wiedzieć co),
- 2) *Know-why* (wiedzieć dlaczego),
- 3) *Know-how* (wiedzieć jak),
- 4) *Know-who* (wiedzieć kto) [OECD 2000].

W zestawieniu tabelarycznym 2, bazując na ostatnim z prezentowanych podziałów, dokonajmy porównania wiedzy w rozumieniu ogólnym z wiedzą w rozumieniu edukacyjnym.

**Tabela 2. Wiedza w sensie ogólnym a wiedza w sensie edukacyjnym**

Wiedza	W rozumieniu ogólnym *	W rozumieniu edukacyjnym **
1	2	3
<i>Know-what</i>	<i>Wiedzieć co</i> – odnosi się do znajomości określonych faktów, zjawisk, zasad, struktur i uogólnień oraz konkretnych danych (nazw, symboli, cech itp.). Jest więc poziomem najniższym w sferze poznawczej człowieka	<i>Wiedzieć co</i> – z jednej strony jest to w sposób pośredni pytanie o cel kształcenia. Cel ten wyznacza polityka oświatowa państwa. W fazie realizacji procesu kształcenia, po dokonaniu operacjonalizacji, cele dydaktyczne wyznaczają nauczyciele. W drugim wymiarze to uczeń wraz z własnymi celami, potrzebami i oczekiwaniami. Cele nauczycieli i uczniów nie stoją w opozycji względem siebie. Cele te winny się wzajemnie uzupełniać, wzbogacając w ten sposób ucznia
<i>Know-why</i>	<i>Wiedzieć dlaczego</i> – odnosi się do wiedzy o zasadach i prawach w naturze, w ludzkim umyśle i w społeczeństwie. Ten rodzaj wiedzy był niezwykle istotny w pewnych obszarach nauki. Dostęp do niego przyspiesza postęp techniczny i obniża częstotliwość błędów w procedurach eksperymentowania	<i>Wiedzieć dlaczego</i> – odnosi się do konieczności kodyfikacji wiedzy, której transfer zawsze ma zorganizowany przepływ. To kształtowanie u ucznia (dotyczy również nauczyciela) kultury organizacyjnej dystrybucji wiedzy

1	2	3
<i>Know-how</i>	<i>Wiedzieć jak</i> – odnosi się do umiejętności, to znaczy do zdolności robienia czegoś. Dotyczy zarówno umiejętności pracowników, lecz ma także znaczenie na wyższym poziomie zarządzania, na przykład rozwoju nowych produktów lub redukcji personelu. Nie można klasyfikować wiedzy <i>know-how</i> jako typowo praktycznej. Jeden z najbardziej interesujących przykładów opisujących rolę <i>know-how</i> dotyczy tworzenia wiedzy przez naukowców. Nawet znalezienie rozwiązania dla złożonych problemów matematycznych jest oparte na intuicji i umiejętności rozpoznania prawidłowości, które są zakorzenione w uczeniu opartym o doświadczenie bardziej niż w mechanicznym realizowaniu sekwencji logicznych operacji	<i>Wiedzieć jak</i> – to głównie domena nauczyciela. To sposoby i metody transferu wiedzy na drodze nauczyciel – uczeń. To także proces przekształcania wiedzy ukrytej nauczyciela w wiedzę ukrytą uczniów (socjalizacja) i wiedzę jawną nauczyciela w wiedzę jawną ucznia (eksternalizacja)
<i>Know-who</i>	<i>Wiedzieć kto</i> – odnosi się do posiadania informacji i opisuje wiedzę, którą posiadają, dotyczy jednak także społecznych zdolności współpracy komunikacji z ekspertami zewnętrznymi	<i>Wiedzieć kto</i> – oddaje wewnętrzne aspekty komunikacji pomiędzy nauczycielem a społecznością uczniowską (klasową). Rolą nauczyciela jest wspomaganie transferu wiedzy. W tym wypadku wiedzieć kto, nie oznacza uzyskania od nauczyciela wprost odpowiedzi na pytania. Nauczyciel ukierunkowuje i doradza – uczy rozumowania i samodzielności w podejmowaniu decyzji
Dodatkowa piąta kategoria wiedzy		
<i>Know-where</i>	–	<i>Wiedzieć gdzie</i> – to proces całościowego uczenia się, to nieustanne pozyskiwanie informacji, praca z informacją i ostatecznie zdobywanie wiedzy i dochodzenie do mądrości. W prakseologicznym ujęciu <i>wiedzieć gdzie</i> to wiedzieć gdzie odnaleźć wiarygodne, precyzyjne źródła informacji, ale także wiedzy. Transfer wiedzy współcześnie w warunkach szkolnych to przygotowanie uczniów przez nauczyciela do podejmowania takich właśnie działań.

[\*OECD 2000; \*\* Piecuch 2009]

Konieczność wprowadzenia nowej dodatkowej piątej kategorii wynika z faktu transformacji społecznej, nowych oczekiwań i ról człowieka w społeczeństwie wiedzy, ale także z konieczności przygotowania uczniów do ich no-

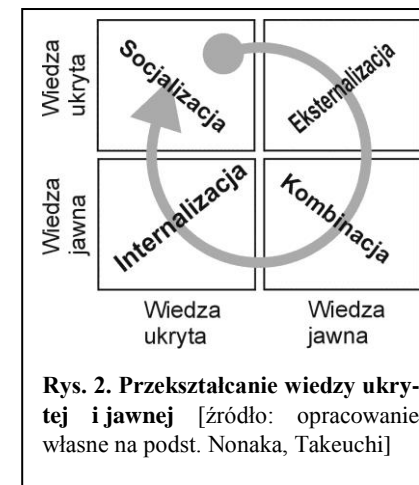
wych ról w konstytuującym się społeczeństwie informacyjnym. W tabeli 2 propozycja *Know-where* (wiedzieć gdzie) została zdefiniowana w aspekcie edukacyjnym. Pomimo tego wydaje się, że w takim samym stopniu pozostanie słuszną także w rozumieniu ogólnym, tym bardziej że „wprowadzenie w życie Strategii uczenia się przez całe życie jest kluczowym elementem Unii Europejskiej dla osiągnięcia celów Strategii Lizbońskiej [Łopacińska, Żurek, Tividosheva 2009].

Samo pojęcie wiedzy, jakkolwiek istotne i ważne dla rozważań, to pomimo wszystko ważniejsze wydaje się, w jaki sposób człowiek osiąga stan nazywany wiedzą i czy jest świadomy istnienia metawiedzy. Inaczej mówiąc, czy posiada wiedzę na temat istoty wiedzy, mechanizmów jej powstawania i funkcjonowania [Ledzińska 2002], ale to także ciągle kwestionowanie pewności własnej wiedzy „wiem, że wielu rzeczy nie wiem” [Internet 2].

W procesie wytwarzania, przetwarzania i przesyłania wiedzy należy stwierdzić, że konieczny jest proces interakcji wiedzy polegający na przekształcaniu wiedzy ukrytej w wiedzę jawną. Odbywać się to może zgodnie z modelem spirali obiegu wiedzy zaproponowanym przez I. Nonakę i H. Takeuchi – rys. 2 [Nonaka, Takeuchi 2000]. W prezentowanym modelu:

- *socjalizacja* – to proces przekształcania wiedzy ukrytej pomiędzy np. członkami zespołu inżynierów w wiedzę nadal ukrytą (wiedza nie wydo staje się poza krąg osób zaangażowanych w projekcie).
- *eksternalizacja* – to proces przekształcania wiedzy ukrytej w wiedzę jawną. Na tym etapie następuje rejestrowanie i kodyfikowanie wiedzy ukrytej w wiedzę jawną, która będzie od teraz ogólnodostępna – jawna.
- *kombinacja* – to proces przetwarzania wiedzy jawnej w wiedzę jawną. Praktycznie oznacza przetwarzanie danych (informacji), jej systematyzowanie, przesyłanie, rozpowszechnianie.
- *internalizacja* – to proces przetwarzania wiedzy jawnej w wiedzę ukrytą – proces uczenia się.

Trzeba dodać, że transfer wiedzy będzie zróżnicowany ze względu na przedmiot, treści kształcenia, a także warunki zewnętrzne. Zdaniem L. Drelichowskiego: „Pedagodzy posiadają relatywnie niewiele formalnej wiedzy, by wykorzystać ją w swojej pracy (odpowiednik matematyki i fizyki dla inżyniera czy nauk biologicznych dla lekarza). Mają też oni tendencję do pracy w bardzo zindywidualizowanym zespole: jeden nauczyciel z grupą uczniów



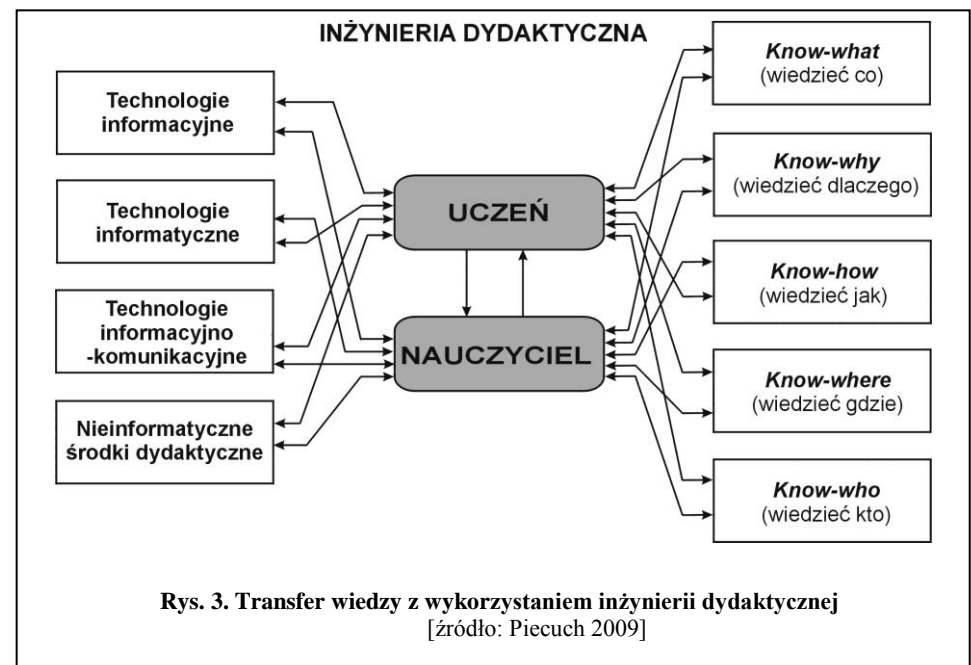
w sali. Wiedza ta jest więc bardziej osobista niż kolektywna<sup>1</sup>, bardziej zamknięta niż jawna. W typowej szkole średniej pedagogzy posiadają przeciętnie od dziesięciu do dwudziestu pięciu lat doświadczenia zawodowego. Bardzo niewielką część ich wiedzy stanowi wiedza kolektywna (...). Obecnie na poziomie szkolnym pedagogzy muszą nauczyć swych uczniów sposobów uczenia się, co jest zadaniem ambitnym, na które składają się elementy:

- motywacja do uczenia się przez całe życie,
- umiejętność określenia swych potrzeb uczenia się lub wiedza o sposobach zdobycia pomocy,
- umiejętność określenia rodzaju edukacji lub szkolenia dla zaspokojenia tych potrzeb,
- nabycie meta-poznawczych umiejętności – myślenie o własnym myśleniu, poznanie jak dostosowywać się do stylów i strategii uczenia się,
- umiejętność samodzielnej nauki i w różnym kontekście (praca, rozrywka, dom), innym niż formalne organizacje edukacyjne,
- uczenie się, jak zdobyć informacje i wiedzę z nowego świata informacji i technologii komunikacyjnych”[Drelichowski 2004].

Wspominane już uprzednio odpowiednie środowisko dla procesów uczenia się-nauczania jest niczym innym jak pytaniem o najefektywniejszy sposób transferu wiedzy na płaszczyźnie nauczyciel – uczeń. Nie powinien budzić żadnych wątpliwości fakt, że jest to proces wyjątkowo złożony, a ponadto niedający się zamknąć w ścisłe ramy działania. Jak różni są uczniowie tak i różny musi być repertuar oddziaływań nauczyciela na podmiot edukacji, przy czym w omawiany proces

---

<sup>1</sup> Wiedza kolektywna nie jest tym samym co „kapitał społeczny” ani też wiedzą typu *know-who*. Wiedzę typu *know-who* można przypisać jednej osobie, natomiast wiedza kolektywna z definicji jest przypisana grupie – rezyduje w społecznościach. W związku z tym należy także brać pod uwagę coś, co można nazwać „typową reprezentacją wiedzy charakterystyczną dla danej grupy zawodowej”, czyli wiedzy kolektywnej. Posiadaczy wiedzy kolektywnej będzie łączyć to, że: 1) operują w ramach tej samej sieci społecznej (wspólna wiedza typu *know-who*); 2) motywuje ich chęć doskonalenia i rozwoju tych samych kompetencji zawodowych (uzupełniania luk w wiedzy); 3) wyznają i stosują te same kryteria oceny jakości wiedzy; 4) posiadają wspólne wartości i cele życiowe. Wiedza kolektywna związana z wykonywaniem danego zawodu funkcjonuje w ramach wiedzy związanej z tożsamością kulturową. Przynależność do korporacji zawodowych oznacza jednocześnie posiadanie unikatowej wiedzy eksperckiej, jak i wyznawanie wspólnych wartości kulturowych, posiadanie wspólnej tradycji itp. Pojęcie wiedzy kolektywnej odnosi się do zjawiska, które jest obserwowane w systemach społecznych (nie tylko ludzkich, także np. wśród owadów). Członkowie społeczności (np. członkowie zespołu) są w stanie osiągnąć wyższą efektywność dzięki zaangażowaniu wiedzy ukrytej. W tradycyjnej teorii organizacji zjawisko to nazywano by po prostu *efektami synergii*, lecz nowocześniejsze – sieciowe – spojrzenie na organizację może dostarczyć bardziej wnikliwego wyjaśnienia wyżej opisywanego zjawiska: wiedza (zawarta w umysłach członków społeczności), połączona w jedną sieć, tworzy strukturę pozwalającą na rozwiązywanie problemów, które nie mogłyby być rozwiązane przez poszczególnych członków („węzły w sieci”) ani samodzielnie, ani zbiorowo – w innych konfiguracjach [źródło: Internet 3].



w równym stopniu musi zaangażować się nauczyciel i uczeń. Można powiedzieć, że pomiędzy podmiotem kształcenia a nauczycielem musi zachodzić na wysokim poziomie interakcja i wzajemne zrozumienie. W tym rozumieniu zarówno nauczyciel, jak też uczeń stają się projektantami, a zarazem realizatorami procesu kształcenia [zob.: Piecuch 2009]. Obecnie można go oprzeć skutecznie na technologiach cyfrowych. Pozwalają one w dowolny sposób docierać do istniejących informacji, operować informacjami i w ostateczności przekształcać je w wiedzę [zob.: Sałata 2005]. Zorganizowane w oparciu o te środki środowisko jest przedmiotem zainteresowania inżynierii dydaktycznej, która: „obejmuje zakresem swoich badań problematykę interdyscyplinarną, a rozpatruje ją z punktu widzenia osiągnięcia optymalnych efektów systemu dydaktycznego. Dąży bowiem do wypracowania racjonalnych, nowoczesnych i ekonomicznie uzasadnionych rozwiązań w zakresie organizacji materialnego środowiska dydaktycznego współczesnej szkoły z punktu widzenia optymalizacji efektywności kształcenia” [Furmanek 1977b]. Schematycznie transfer wiedzy z wykorzystaniem inżynierii dydaktycznej pokazano na rys. 3.

### **Myślenie i wyobraźnia w procesach uczenia się**

Procesy uczenia się i nauczania zachodzą między innymi dlatego, że myślimy. Jak potwierdzają psychologowie, nie ma jeszcze jednej spójnej definicji

myślenia, która byłaby w stanie zadowolić wszystkich. Dla naszych potrzeb przyjmujemy, że pod tym pojęciem będziemy rozumieli: „uwewnętrzną czynność operowania informacjami (danymi, wiadomościami), a w szczególności ich selekcja i wytwarzanie, dzięki której dochodzi do pośredniego i uogólnionego poznania rzeczywistości [za: Strelau, Jurkowski, Putkiewicz 1981]. Istotą w procesie uczenia się jest wykonywanie określonych operacji myślowych, które można ująć w pięć powszechnie akceptowanych kategorii: analizowanie, syntetyzowanie, porównywanie, abstrahowanie i uogólnianie.

„Analizowanie – to proces wydzielania z całości danych (przedmiotów, zjawisk, sytuacji, zdań), a przez to wykrywanie ich części składowych.

Syntetyzowanie – to odwrotność analizowania, polegająca na scalaniu rozdzielonych w analizie elementów. Syntetyzowanie nie jest prostym odtworzeniem całości, bowiem elementy scalane są w umyśle w nowy sposób, także z uwzględnieniem innych elementów nie pochodzących z uprzednio dokonanej analizy. W rzeczywistości ma się do czynienia z jednolitym procesem analityczno-syntetycznym, dzięki któremu wykrywane zostają coraz to nowe aspekty rzeczy i sytuacji.

Porównywanie – to operacja zestawiania ze sobą przedmiotów, zjawisk lub sytuacji, a następnie ujmowania podobieństw i różnic między nimi. Porównywanie przeprowadza się zwykle z punktu widzenia jakiejś wyabstrahowanej cechy, a jego celem jest dokonanie określonego wyboru. Ujmowanie różnic jest na ogół łatwiejsze niż ujmowanie podobieństw.

Abstrahowanie – polega na wyróżnieniu jakiejś jednej właściwości rzeczy, zjawiska lub sytuacji, a jednocześnie pominięciu innych cech.

Uogólnianie – polega na ujmowaniu właściwości wspólnych dla jakiejś klasy rzeczy i zjawisk jest tą operacją, dzięki której uwalniamy się od jednostkowości wyodrębnionych przez abstrakcję cech przedmiotów, zjawisk, sytuacji. Uogólniając, odrzuca się to, co jest jednostkowe, a zatrzymuje się to, co jest wspólne” [por.: Strelau, Jurkowski, Putkiewicz 1981].

Proces myślowy nie może odbywać się bez udziału wyobraźni. Można powiedzieć, że jest to swego rodzaju przestrzeń dla powstawania nowych myśli, koncepcji. W ujęciu definicyjnym wyobraźnia jest: fantazją, procesem psychicznym polegającym na tworzeniu nowych wyobrażeń i myśli na podstawie posiadanej wiedzy i doświadczenia. Procesy tego rodzaju powstają przez dysocjację wcześniej wytworzonych związków i ukształtowanie z ich elementów nowych układów. Wyobraźnia gra dużą rolę we wszelkiej działalności twórczej: w pracy naukowej, w sztuce, literaturze, ale także w pracy robotnika nowatora czy rolnika, a nawet ucznia, stąd rozwijanie jej od najwcześniejszych lat jest ważnym zadaniem szkoły i systemu oświaty [Okoń 1998]. Rozważając poznawcze aspekty wyobraźni, bardziej przemawiająca jest eksplikacja tego pojęcia zapropono-



wana przez E. Franusa, który mówi o niej następująco: jest funkcją intelektu podporządkowaną generalnie myśleniu słowno-pojęciowemu, stanowiącą obrazową reprezentację rzeczywistości w postaci wyobrażeń wspomagających myślenie podczas rozwiązywania zadań, którymi może ono manipulować lub przekształcać na miarę potrzeb zadaniowych [Franus 2000]. Bazując na przytoczonej definicji pojęcia wyobraźni, autor dalej, we własnym opracowaniu, jej sens rozwija następująco: (...) nie znajduje uzasadnienia pojęcie *wyobraźni twórczej*. Można natomiast mówić o wyobraźni rozwiniętej lub nierozwiniętej, bogatej lub ubogiej, usługowej lub odpornej itp. Ze względu na dziedzinę można mówić o wyobraźni technicznej, plastycznej, muzycznej, matematycznej, ergonomicznej itp. Można też i należy rozróżniać następujące rodzaje wyobraźni uprzedmiotowionej ze względu na tworzywo myślowe, któremu ono służy:

- 1) przestrzenna wyobraźnia (brył, stosunków, układów, form itp),
- 2) kinetyczna (różnych rodzajów ruchu, transmisji, przekształceń),
- 3) konstrukcyjna (sposobów połączeń stałych, rozłącznych, wielomateriałowych),
- 4) operacyjna (czynności i procesów technologicznych obróbki narzędziowej, maszynowej, chemicznej itp),
- 5) funkcji (wytworów technicznych, ich przeznaczenia, użytku),
- 6) tworzyw materialnych (cech różnych materiałów ze względu na ich przydatność),
- 7) czasu trwania procesów technologicznych (operacji, działań, sytuacji, reakcji),
- 8) znaków i symboli (kodu języka graficznego w rysunkach technicznych),
- 9) prezentacji estetycznej wytworów (wyglądu przedmiotów) [Franus 2000].

Reasumując stwierdzamy, że myślenie i wyobraźnia są podstawą dla sprawnego uczenia się. Przyjmując za punkt wyjścia podejście E. Franusa o wyobraźni rozwiniętej i nierozwiniętej można przypuszczać, że implikuje ona sprawność uczenia się. Im stopień rozwoju wyobraźni wyższy, tym wyższa efektywność uczenia się i odwrotnie. Z powyższego wynika konieczność wszechstronnego rozwijania wyobraźni u uczniów.

### **Ucieczka od rzeczywistości czy przybliżanie rzeczywistości – modelowanie i symulacja komputerowa**

„Umieszczając nasze fizyczne ciało za pomocą środków elektrycznych wewnątrz rozszerzonego systemu nerwowego, określamy dynamikę, dla której poprzednie techniki są jedynie przedłużeniem rąk, nóg, zębów i systemu sterowania ciepłotą ciała. Wszystkie takie przedłużenia naszego ciała, w tym miasta, zostają przełożone na systemy informacyjne” [za: de Kerckhove 2001b]. Wypo-

wiadając te słowa Marshall McLuhan niemalże pół wieku temu nie przypuszczał, że staną się one zapowiedzią wirtualnej rzeczywistości. Czyli takiej, która w przeciwieństwie do rzeczywistości nas otaczającej nie zna granic ani ograniczeń, bo te rozszerzają się nieustannie wraz z nowymi osiągnięciami technologicznymi w dziedzinie mikroelektroniki.

Współcześnie wirtualną rzeczywistość (VR) definiuje się jako: „technikę polegającą na wywoływaniu iluzji rzeczywistości poprzez odpowiednią stymulację zmysłów człowieka za pomocą odpowiednich urządzeń sprzęgniętych z komputerem” [MEP 2003] lub inaczej: „wirtualna rzeczywistość to doświadczenie zmysłowe wykreowane przez program komputerowy” [Macron'e 2003]. Dodajmy, że VR była już stosowana w Stanach Zjednoczonych w latach 40. XX wieku w symulatorach lotu, dla potrzeb szkolenia pilotów wojskowych. Warto dodać, że postęp technologiczny ugruntował jeszcze bardziej pozycję VR, jako jednej z podstawowych metod szkoleniowych [Internet 4]. Analizując w sensie definicyjnym oraz mając na uwadze utylitarne wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości dochodzi się do wniosku, że w istocie mamy do czynienia z dwojakiego

rodzaju rzeczywistością wirtualną. W pierwszym przypadku „to rzeczywistość kreująca świat jak najbardziej realny. Za przykład niech posłuży wspomniany symulator lotu, ale to także modelowanie i symulacja rzeczywistych zjawisk i procesów. Przeniesienie w obszar VR części ludzkich działań zostało spowodowane dążeniem do podniesienia komfortu życia i pracy człowieka. Obszar drugi VR to kreowanie przez system komputerowy sytuacji niemających swego odpowiednika w realnym świecie. Do tej grupy zaliczyć można przede



**Rys. 4. Wirtualna rzeczywistość i jej rodzaje**  
[źródło: Piecuch 2008c]

wszystkim gry komputerowe i gry wideo. Inaczej mówiąc, jest to obszar zagospodarowany przez fantazję twórców gier i w przeważającej większości pozbawiony odniesień do rzeczywistych (realnych) sytuacji. Natychmiast trzeba dodać, że stwierdzenie to nie wyklucza istnienia innych (pozarozrywkowych) wartości gier. Tak będzie np. w przypadku gier dydaktycznych, których celem jest wspomaganie procesów uczenia się i nauczania, chociaż ich fabuła pozostaje osadzona w wymyślnym świecie” [Piecuch 2008c]. Schematycznie podział VR pokazano na rys. 4.

Powyższe stwierdzenie nasuwa kolejne spostrzeżenia. Użytkownicy gier komputerowych/wideo oddają się rozrywce, zanurzając się w wirtualnym świecie, na ogół niemającym nic wspólnego ze światem rzeczywistym i prozą codzienności. Stan ten jest swego rodzaju ucieczką od rzeczywistości. Sens wykorzystania wirtualnej rzeczywistości może mieć także inny wymiar – wymiar jak najbardziej realny, pozostający w bezpośrednim kontakcie ze światem realnym, jego problemami, sytuacjami i zjawiskami w nim występującymi. Wielorakość tych możliwości VR ilustruje poglądowo wybór ważniejszych kierunków zastosowań – rys. 4. W niniejszym opracowaniu uwagę poświęcamy tylko jednemu wycinkowi cyfrowej rzeczywistości, tj. modelowaniu i symulacji komputerowej. Z punktu widzenia edukacyjnego to stosunkowo nowe narzędzie – środek dydaktyczny, który nie preferuje ani ucznia, ani nauczyciela. W równym stopniu korzysta z niego i jedno, i drugie środowisko. Dla dalszych rozważań dokonajmy uściślenia terminologicznego.

Literatura przedmiotu definiuje te pojęcia następująco:

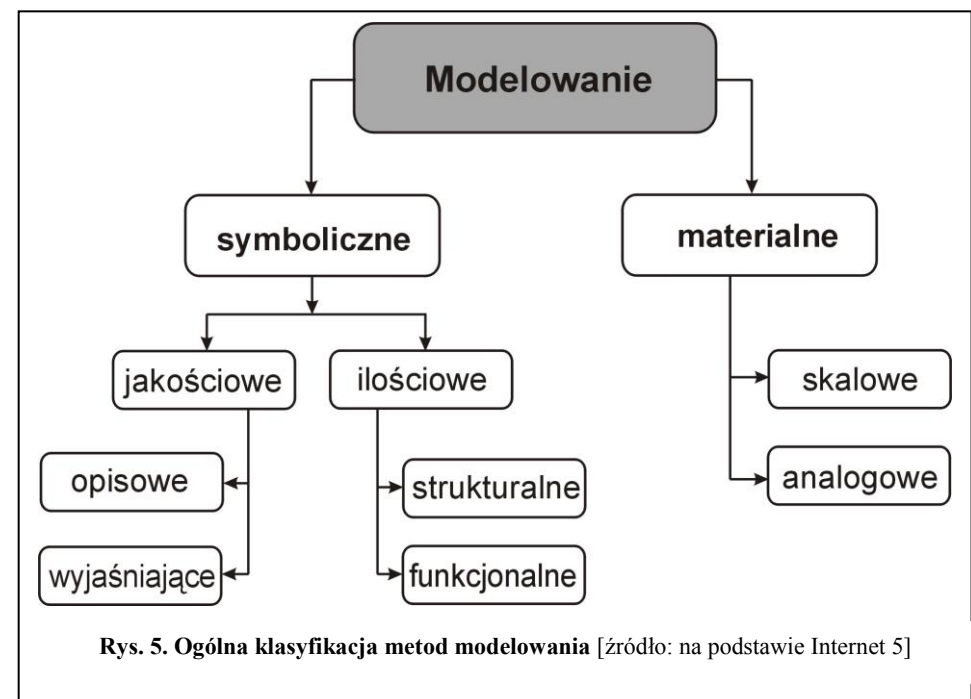
*Modelowanie* – przybliżone odtwarzanie najważniejszych właściwości oryginału. Podstawowym celem modelowania w nauce jest uproszczenie złożonej rzeczywistości, pozwalające na poddanie jej procesowi badawczemu. Dzięki modelowaniu:

- 1) zmniejsza się lub powiększa obiekt badań do dowolnej wielkości, np. model Układu Słonecznego, model budowy atomu,
- 2) analizuje się procesy trudne do uchwycenia ze względu na zbyt szybkie lub zbyt wolne tempo ich przebiegu, np. model ruchu cząsteczek wody w wodospadzie,
- 3) bada się jeden wybrany aspekt zagadnienia, pomijając inne, np. model transportu pasażerskiego w pociągach ekspresowych w okresie wakacyjnym [MEP 2003].

Modelowanie pełni szczególną rolę w naukach przyrodniczych, traktujących środowisko przyrodnicze jako złożony system, poddający się badaniom dzięki modelowaniu występujących w nim relacji i procesów. Modelowanie w ogólnym rozumieniu można klasyfikować zgodnie ze schematem zamieszczonym na rys. 5.

Przy czym, przez:

- *modelowanie materialne skalowe* – rozumie się wytworzenie modelu materialnego w odpowiednio mniejszej skali. Może nim być np. model samochodu osobowego,
- *modelowanie materialne analogowe* – wykorzystuje podobieństwo (analogie) układu rzeczywistego do innego układu, który można w dowolny sposób modyfikować i badać jego reakcje, np. układ hydrauliczny – model elektryczny,
- *modelowanie symboliczne* – odwołuje się do symbolicznej reprezentacji, np. struktury, właściwości obiektu lub procesu. Modelowanie symboliczne może bazować na symbolice słownej, graficznej, matematycznej.



- *modelowanie jakościowe* – stanowi pierwszy najbardziej ogólny opis obiektu. W ten sposób opisuje się klasę obiektu,
- *modelowanie jakościowe wyjaśniające* – jest typem opisu bardziej szczegółowego. To także najbardziej ogólny charakter opisu, uzupełniony o przybliżony opis działania (funkcjonowania) obiektu,
- *modele strukturalne* – opisują dokładną budowę rozpatrywanego obiektu rzeczywistości,
- *modele funkcjonalne* – bazują na postaci graficznej i (lub) matematycznej. W sposób dokładny opisują wzajemne zależności pomiędzy parametrami.

W ogólnym zarysie konstruowanie modelu symulacyjnego przebiega zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 6.

Natomiast przez *symulację* rozumie się [Płoski 1999]: przeprowadzanie eksperymentów przy użyciu komputera na uprzednio zbudowanym modelu liczbowym zagadnienia lub zjawiska (procesu), np. teoretyczna analiza przepustowości dróg przy wzrastającym ruchu drogowym, długoterminowe opracowywanie prognoz pogody, badania właściwości profili aerodynamicznych, gry ekonomiczne (giełdy) i wojenne, prognozy demograficzne itp. Symulacje pozwalają zaoszczędzić kwoty na aranżowanie eksperymentów z udziałem rzeczywistego sprzętu i urządzeń technicznych [Płoski 1999]. Jeszcze inną definicję ukierunkowaną na dydaktyczne aspekty symulacji podali K. Jaracz, B. Kędzierska [2002] i B.

Siemieniecki [1999]; mówi ona, że: *Symulacja* – metoda wnioskowania o zachowaniu się obiektów rzeczywistych na podstawie obserwacji programów komputerowych, symulujących to zachowanie. Wykorzystanie metody symulacji w procesie dydaktycznym jest celowe, gdy:

- analizie mają podlegać procesy wolno- lub szybkozmienne,
- bezpośrednia obserwacja zachowania się obiektu jest trudna lub niemożliwa,
- nie istnieją obiekty rzeczywiste,

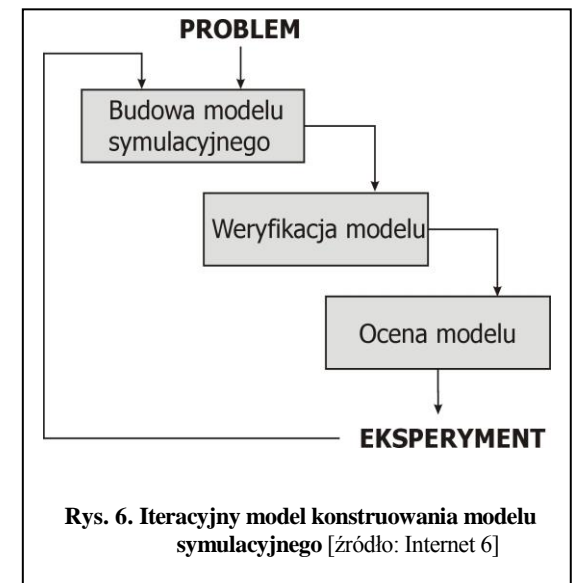
- nie można przeprowadzić eksperymentu (systemy ekonomiczne),
- eksperyment na rzeczywistym modelu może zagrażać zdrowiu,
- rozwiązanie analityczne problemu jest zbyt trudne,
- są zbyt wysokie koszty przeprowadzenia eksperymentu,
- uczeń ma podjąć optymalną decyzję,
- wyciągnąć samodzielnie wnioski,

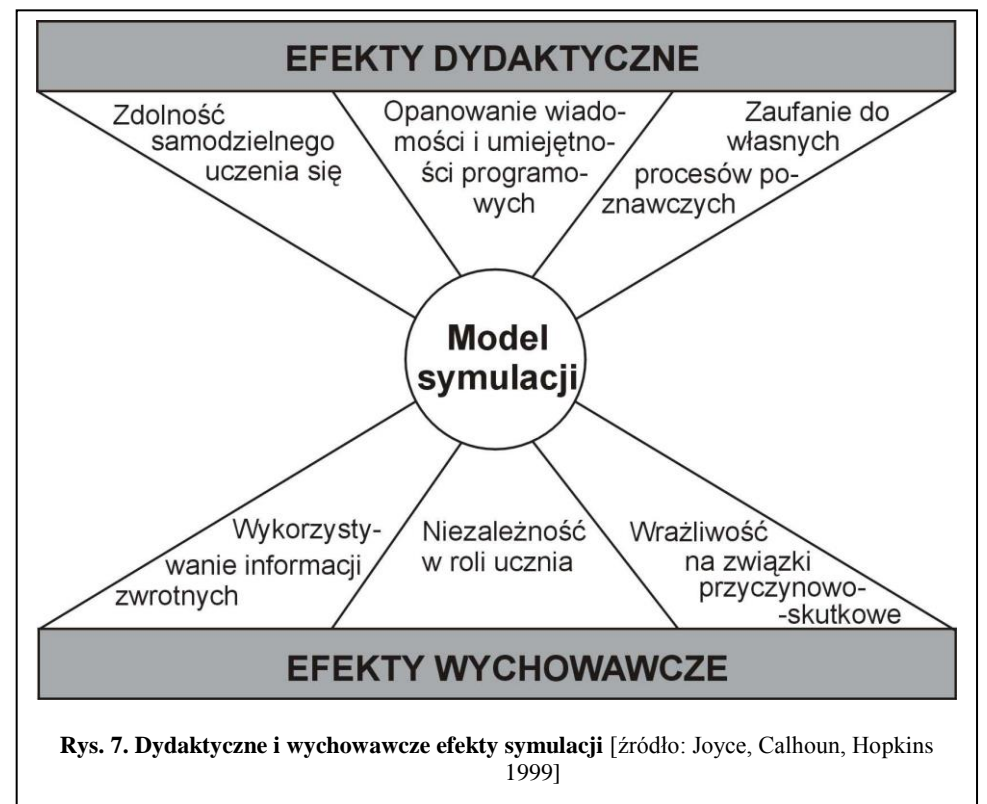
ale także, co słusznie zauważa D. Mikołajewski [2000]:

- symulacja może zrekompenzować niedostatki materiałowej bazy przedmiotowej w szkolnych pracowniach.

Korzyści osiągnięte przez stosowanie technik modelowania i symulacji w dydaktyce zobrazowano graficznie na rys. 7.

Cechy modelowania i symulacji, upoważniają do stwierdzenia, że są to jedne z doskonalszych narzędzi dydaktycznych w ręku nauczyciela [por.: Pavlovkin 2006]. „Symulatory dostarczają informacji zwrotnej pokazującej skutki zachowania, dzięki czemu człowiek jest w stanie modyfikować swoje reakcje i rozszerzać ich wachlarz. Według tego stanowiska człowiek »czuje« efekty swoich decyzji, ponieważ środowisko odpowiada na nie w pełni, a nie prostym stwierdzeniem »źle«, »dobrze«, »spróbuj jeszcze raz«. Innymi słowy, konsekwencje naszych decyzji wracają do nas. Uczenie się w tym ujęciu to odbieranie zmysłami konsekwencji, jakie nasze zachowanie przyniosło otoczeniu, i dokonywanie na tej podstawie zmian w zachowaniu. Nauczanie zaś polega na konstruowaniu środowiska gwarantującego uczniowi pełne sprzężenie zwrotne”.





[Joyce, Calhoun, Hopkins 1999]. Do cytowanych spostrzeżeń dodajmy, że w ten sposób uczeń staje się moderatorem własnego procesu poznawczego<sup>2</sup>, sam zdobywa wiedzę, sam ją koduje w sposób optymalny dla własnych predyspozycji i wreszcie tworzy w ten sposób własne niepowtarzalne struktury wiedzy.

Złudne jednak może okazać się myślenie, że wykorzystanie technik symulacyjnych rozwiąże wszystkie problemy metodyczne, w tym wyręczy nauczyciela z konieczności pełnego zaangażowania się w sposób przekazywania wiedzy i jej interpretowania. Symulacja to jedynie środek pomocniczy w transferze wiedzy na drodze do jej zrozumienia. Wykorzystanie omówionych technik wymaga bardzo dużego zaangażowania się w proces przygotowania zajęć dydaktycznych, których elementem mają być techniki symulacyjne. W ogólności procedurę przygotowania można zamknąć w następujących krokach:

<sup>2</sup> Zwraçała na to uwagę już 15 lat temu W.M. Francuz (1993), *Dydaktyka przedmiotów zawodowych. Przewodnik metodyczny dla słuchaczy studiów pedagogicznych w wyższych uczelniach technicznych*, Politechnika Krakowska, Kraków.

- 1) planowanie symulacji,
- 2) symulacja,
  - przygotowanie do symulacji,
  - testowanie symulacji,
- 3) symulacja,
- 4) zakończenie symulacji.

Planowanie symulacji – stanowi niezbędny element w planowaniu nauczycielskim. Rozpoczyna ją analiza treści kształcenia pod kątem przydatności i sensowności metodycznej wykorzystania technik symulacyjnych. To także określenie antycypowanych celów dydaktycznych. Zakładając, że z przeprowadzonej analizy wynika konieczność użycia w procesie dydaktycznym technik symulacyjnych, konieczne jest dokonanie wyboru symulacji komputerowej lub też jej wytworzenie we własnym zakresie.

Przygotowanie do symulacji – to część organizacyjna mająca na celu właściwe przygotowanie uczniów do symulacji. W tej części znaleźć się powinno szczegółowe omówienie tematu oraz objaśnienie zasad pracy uczniów z symulacją.

Testowanie symulacji – to czas zarówno dla nauczyciela i uczniów. Proces testowania ma utwierdzić w przekonaniu uczniów, że zrozumieli zasady symulacji i wiedzą, w jaki sposób się nią posługiwać, natomiast nauczyciel powinien utwierdzić się w przekonaniu, że uczniowie rozumieją stawiany przed nimi cel. W przypadku jakichkolwiek wątpliwości ze strony uczniów jest to czas, w którym nauczyciel może wyjaśnić dodatkowo powstałe wątpliwości.

Symulacja – uczniowie samodzielnie przeprowadzają symulację komputerową zgodnie z wcześniejszymi zaleceniami nauczyciela.

Zakończenie symulacji – to część kończąca pracę uczniów z symulacją komputerową. W tym czasie uczniowie winni zaprezentować uzyskane wyniki i przedstawić samodzielnie wyciągnięte wnioski. Rolą nauczyciela jest dokonać uogólnień i odnieść uzyskane przez uczniów wyniki do ich rzeczywistych odpowiedników ze świata realnego. Wykorzystać rezultaty symulacji do przedstawienia powiązanych z symulacją treści kształcenia.

Symulacja prowadzona w warunkach edukacyjnych jest zawsze nakierowana na osiągnięcie jak najwyższej skuteczności nauczania konkretnych treści kształcenia. Pedagogiczna rola technik symulacyjnych jest wprost zależna od umiejętności nauczyciela, w tym wzbudzenia zainteresowania, wykazania sensowności podejmowanych działań. Jeśli te warunki zostają spełnione, można powiedzieć, że symulacja zbliża do rzeczywistości poprzez poznanie zjawisk czy procesów nieosiągalnych zmysłowo przez człowieka. Cel został osiągnięty.

## **Podsumowanie**

Modelowanie i symulacja komputerowa bez wątpienia są komponentami środowiska cyfrowego. Opierając się na przeprowadzonej do tej pory analizie

stwierdzamy, że muszą one być osadzone na gruncie dydaktyki ogólnej i Dydaktyk szczegółowych. Nie mogą być traktowane rozłącznie z procesem dydaktycznym, ale stanowić w nim ważny element procesu wpływający na podniesienie jakości kształcenia. Co podkreślano niejednokrotnie, narzędzia symulacyjne pozwalają doświadczyć czegoś, co w rzeczywistym świecie jest nierealne. Mogą to być zjawiska fizyczne, ale także procesy genetyczne, chemiczne, gospodarcze, ekonomiczne i wiele innych. Zresztą trudno byłoby znaleźć dziś dziedzinę działalności człowieka, w której nie wykorzystuje się tychże metod. Jest to zatem jedno z doskonalszych narzędzi w ręku nauczyciela i ucznia służące poznaniu. Trzeba jednak mimo wszystko podkreślić, że jest to rodzaj narzędzia wspomagającego, a nie zastępującego nauczyciela. Nie bez powodu przywołano w opracowaniu myślenie i wyobraźnię jako podstawowe elementy, od których zależą umiejętności intelektualne człowieka. Stosowalność technik symulacyjnych powinna być ograniczana do sytuacji metodycznie uzasadnionych. Symulacja nie może zwolnić ucznia z myślenia i rozwijania własnej wyobraźni lecz ma ten rozwój wspomagać. Stąd wynika ważna rola, a zarazem odpowiedzialność nauczyciela – projektanta procesu dydaktycznego.

## Literatura

- Anderson J.R. (1998), *Uczenie się i pamięć. Integracja zagadnień*, WSiP, Warszawa.
- de Kerckhove D. (2001a), *Inteligencja otwarta*, Mikom, Warszawa.
- de Kerckhove D. (2001b), *Powłoka kultury*, Mikom, Warszawa.
- Drelichowski L. (2004), *Podstawy inżynierii zarządzania wiedzą*, PSZW, Bydgoszcz.
- Franus E. (2000), *Wielkie funkcje technicznego intelektu. Struktura uzdolnień technicznych*, UJ, Kraków.
- Furmanek W. (1977a), *Koncepcja kształcenia specjalistów inżynierii dydaktycznej* [w:] *Symposium inżynierii dydaktycznej*, red. L. Leja, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów.
- Furmanek W. (1977b), *Inżynieria dydaktyczna – próba określenia problematyki badawczej* [w:] *Symposium inżynierii dydaktycznej*, red. L. Leja, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów.
- Jaracz K., Kędzierska B. (2002), *Języki symulacyjne narzędziem dydaktycznym nauczycieli techniki* [w:] *Informatyczne przygotowanie nauczycieli. Konkurencja edukacji informatycznej*, red. J. Migdalek, B. Kędzierska, Kraków.
- Joyce B., Calhoun E., Hopkins D., (1999), *Przykłady modeli uczenia się i nauczania*, WSiP, Warszawa.
- Kozicka (2004), *Dekalog odpowiedzialności*, „Nowa Szkoła”, nr 10.
- Kozielecki J. (1998), *Koncepcje psychologiczne człowieka*, Żak, Warszawa.
- Ledzińska M. (2002), *Zadania psychologa w dobie technopolu*, „Konspekt”, nr 13, WSP, Kraków.
- Łopacińska L., Żurek M., Tividosheva V., (2009), *Na drodze do uczenia się przez całe życie. O projekcie i strategii LLL w Polsce* [w:] „Edukacja ustawiczna dorosłych”, nr 3.
- Macrone M. (2003), *Eureka, Co naprawdę miał na myśli Archimedes*, Świat książki, Warszawa.
- MEP *Multimedialna encyklopedia powszechna – edycja 2003*;
- Mikołajewski D. (2000), *Techniki informatyczne w ćwiczeniach laboratoryjnych* [w:] *Pedagogika i Informatyka*, red. A.W. Mitas, Cieszyn.



- Nonaka I., Takeuchi H. (2000), *Kreowanie wiedzy w organizacji*, Poltext, Warszawa.
- Nosal C. (1997), *Psychologia decyzji kadrowych*, PSB, Kraków.
- OECD (2000), *Zarządzanie wiedzą w społeczeństwie uczącym się*, ITE, Radom.
- Okoń W. (1998), *Nowy słownik pedagogiczny*, Żak, Warszawa.
- Pavlovkin J. (2006), *Počítačová simulácia vo výučbe odborných predmetov [w:] Technické vzdelávanie ako súčasť všeobecného vzdelávania*, UMB FPV, Banská Bystrica.
- Piecuch (2008a), *Wstęp do projektowania multimedialnych opracowań metodycznych*, WO FOSZE, Rzeszów.
- Piecuch (2008b), *System multimedialny w teorii i praktyce szkolnej [w:] Dydaktyka informatyki. Multimedia w teorii i praktyce szkolnej*, red. W. Furmanek, A. Piecuch, UR, Rzeszów.
- Piecuch A. (2008c), *Edukacja informatyczna na początku trzeciego tysiąclecia*, WO FOSZE, Rzeszów.
- Piecuch A. (2009), *Uczenie się i nauczanie a inżynieria dydaktyczna [w:] Edukacja-Technika-Informatyka. Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji informatycznej i informacyjnej*, red. W. Lib, W. Walat, UR, Rzeszów.
- Płoski Z. (1999), *Słownik Encyklopedyczny – Informatyka*, Europa, Wrocław.
- Półturzycki J. (1999), *Dydaktyka dla nauczycieli*, A. Marszałek, Toruń.
- Salata E. (2005), *Kompetencje informatyczne nauczycieli we współczesnej szkole [w:] Technika-Informatyka-Edukacja. Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji informatycznej*, red. W. Furmanek, A. Piecuch, W. Walat, WO FOSZE, Rzeszów.
- Siemieniecki B. (1999), *Komputery i hipermedia w procesie edukacji dorosłych*, Wyd. A. Marszałek, Toruń.
- Skrzypek E. (2007), *Kapitał intelektualny jako podstawa sukcesu organizacji w społeczeństwie wiedzy*, Materiały konferencyjne z serii *Wiedza i innowacje*, pt. *Wiedza i innowacje w rozwoju gospodarki: siły motoryczne i bariery*, Collegium Novum UJ, Kraków.
- Słownik języka polskiego*, t. 2, red. M. Szymczak, PWN, Warszawa 1978.
- Strelau J., Jurkowski A., Putkiewicz Z., (1981), *Podstawy psychologii dla nauczycieli*, PWN, Warszawa.
- Tiffin J., Rajasingham L. (1995), *In serch of the virtual class. Education in an information society*, London.

### Netografia

- Internet 1, <http://www.cwi.org.pl/slownik/#WJ>, (portal Centrum Wspomagania Innowacji) z dn. 6.05.2009.
- Internet 2, W. Duch, *Umysł, mózg i modele*, na: <http://www.is.umk.pl/~duch/Wyklady/Mozg/01.htm>, z dnia 9.04.2008.
- Internet 3, [www.e-mentor.edu.pl/artukul\\_v2.php?numer=23&id=505](http://www.e-mentor.edu.pl/artukul_v2.php?numer=23&id=505), z dn. 10.05.2009
- Internet 4, [www.ai.com.pl](http://www.ai.com.pl), z dn. 10.02.2006.
- Internet 5, [http://www.ws-webstyle.com/cms.php/en/netopedia/multimedia/media\\_strumieniowe](http://www.ws-webstyle.com/cms.php/en/netopedia/multimedia/media_strumieniowe), z dn. 20.03.2006.
- Internet 6, <http://www.telepraca-efs.pl>, z dn. 15.06.2008.

**Janusz Janczyk**

## **RZECZYWISTOŚĆ WIRTUALNA CZY SYMULACJA RZECZYWISTOŚCI W KONTEKŚCIE PROCESÓW KSZTAŁCENIA**

### **Pomiędzy symulacją a wirtualnością rzeczywistości**

W potocznym znaczeniu pojęcia „wirtualności” i „symulacji” stwarzają problemy w ich rozumieniu raczej niewielu osobom. Każdy może używać tych pojęć we właściwym tylko sobie znaczeniu. W słowniku synonimów pojęcie *symulacja* występuje w kilku bliskich sobie znaczeniach, jako:

- udawanie związane z pozorowaniem, sfingowaniem i upodobnieniem [Dąbrówka 1996 : 137],
- wzór związany z przykładem, modelem, ilustracją, egzemplifikacją lub próbką [Dąbrówka 1996 : 152],
- naśladowanie lub upodobnienie się związane z imitacją [Dąbrówka 1996: 62],
- oszukiwanie związane z podmienianiem, zafałszowaniem lub podrabianiem [Dąbrówka 1996 : 84].

*Słownik wyrazów obcych symulację* wywodzi od łacińskiego *simulatio*, co oznacza udawanie, fałszywe przedstawianie rzeczywistości w celu wprowadzenia kogoś w błąd [Rysiewicz 1955 : 694]. Ewidentnie nadaje pejoratywne znaczenie temu pojęciu i łączy z osobą symulanta. Podobnie oddaje pojęcie symulacji *Wielka encyklopedia powszechna* [WEP PWN 1968 : 11/158] i łączy je z udawaniem chorób, które ma na celu osiągnięcie korzyści materialnych lub innych. Jednakże ta sama encyklopedia pojęcie *symulator* definiuje jako model imitujący działanie urządzenia rzeczywistego lub przebieg określonych procesów rzeczywistych. W tym znaczeniu symulator jest stosowany w tych przypadkach, gdy prowadzenie działań w warunkach rzeczywistych jest bardzo kosztowne, niebezpieczne lub zbyt trudne. Natomiast w Wikipedii symulacja jest definiowana jako przybliżone odtwarzanie zjawiska lub zachowania danego obiektu za pomocą jego modelu [WE 1]. W tym znaczeniu szczególnym (współczesnym) rodzajem modelu jest model matematyczny, często zapisywany w postaci programu komputerowego, ale zdarza się czasem wykorzystanie modelu fizycznego (nie wirtualnego) w zmniejszonej skali. Częstotliwość modelowania matematycznego wiąże się w Wikipedii z pojęciem symulacji komputerowej. Podaje się nawet złożoną klasyfikację symulacji komputerowych, które dzieli się ze względu na [WE 2]:

- przewidywalność zdarzeń:
  - stochastyczne – korzystają z generatora liczb pseudolosowych (rzadko losowych),
  - deterministyczne – wynik jest powtarzalny i zależy tylko od danych wejściowych i ewentualnych interakcji ze światem zewnętrznym.
- sposób upływu czasu:
  - z czasem ciągłym – czas zwiększa się stałymi przyrostami, jak w symulacji z czasem dyskretnym, lecz wartości próbek sygnałów są interpolowane dla chwil pośrednich pomiędzy momentami odczytu,
  - z czasem dyskretnym – czas zwiększa się stałymi przyrostami, a krok czasowy dobiera się optymalnie ze względu na potrzeby wydajności systemu i charakter symulowanego obiektu lub zjawiska,
  - symulacja zdarzeń dyskretnych – czas zwiększa się skokowo, lecz jego przyrosty są zmienne.
- formę danych wyjściowych:
  - statyczne – wynikiem jest zbiór danych, statyczny obraz, itp.,
  - dynamiczne – wynikiem jest proces przebiegający w czasie, np. animacja, może być interaktywny (reagujący na sygnały ze świata zewnętrznego) lub nieinteraktywny.
- ilość użytych komputerów:
  - lokalne – przetwarzanie odbywa się na pojedynczym komputerze,
  - rozproszone – przetwarzanie odbywa się na wielu komputerach połączonych w sieci lokalne lub rozległe.

Zastosowania symulacji komputerowej dostrzega się w wielu dziedzinach nauki, lecz nie uwzględnia się jej w procesach kształcenia. Samo pojęcie symulacji we wspomnianej Wikipedii jest związane z pewną techniką szkoleniową, polegającą na wykorzystaniu metody sytuacyjnej, w której uczeń (student) może przećwiczyć nabyte umiejętności. W ujęciu filozoficznym termin *symulacja* został wprowadzony przez J. Baudrillarda i oznacza ostatnią fazę wyzwolenia się znaków ze związków z rzeczywistością [WE 3]. Takie ujęcie powoduje odrealnienie obiektów i zjawisk, co wiąże się z czystą warstwą pojęciową, która w swej istocie jest wirtualna.

Według *Słownika synonimów* coś jest *wirtualne*, gdy jest możliwe, potencjalne, ewentualne, niewykluczone lub prawdopodobne [Dąbrówka 1996 : 58]. Oznacza to ni mniej, ni więcej, że to coś występuje w naszej warstwie pojęć, którą się posługujemy w dowolnej formie dźwiękowej lub graficznej (współcześnie także multimedialnej). Z kolei *Słownik wyrazów obcych* wywodzi pojęcie *wirtualny* od łacińskiego *virtus* – moc, cnota i ma znaczenia: możliwy, mogący zaistnieć lub spodziewany według teoretycznych obliczeń [Rysiewicz 1955 : 767]. To ostatnie znaczenie ściśle wiąże się z podanym wcześniej pojęciem symulacji, związanej z modelem matematycznym. *Wielka encyklopedia powszechna* [WEP

PWN 1968 : 12/348] odnosi pojęcie – *wirtualne* do cząstek, które w kwantowej teorii pól zostały obliczone, lecz nie zostały fizycznie zarejestrowane.

Wraz z pojawieniem się symulacji komputerowych (symulatorów sterowanych numerycznie) pojawiło się pojęcie rzeczywistości wirtualnej (ang. *virtual reality*, VR). Prezentując wieloznaczność synonimiczną pojęć symulacja i rzeczywistość wirtualna, należy przyjąć ich subtelny związek. Najtrafniej oddaje ten związek R. Wodaski pisząc, że „Rzeczywistość wirtualna jest tym wszystkim, co nie istnieje naprawdę, ale co naprawdę dobrze udaje takie istnienie” [Wodaski 1994 : XVII]. Jeżeli coś ma udawać istnienie, także w pejoratywnym (medycznym) znaczeniu, to jest związane z symulowaniem tegoż istnienia. Rzeczywistość wirtualna w warstwie pojęciowej, zgodnej z ujęciem filozoficznym, jest inną, niepowszechną, lecz atrakcyjną formą komunikowania się ludzi.

Jednym, bodaj najważniejszym z prekursorów rzeczywistości wirtualnej jest M. Krueger, który już w 1969 roku określił podstawowe związki istniejące pomiędzy ruchami człowieka a symulacją trójwymiarowej przestrzeni. Krueger jest uznawany za pioniera w zakresie „sztucznej rzeczywistości” (symulacji rzeczywistości) i odróżnia ją od rzeczywistości wirtualnej. Jednakże w przyjętym spektrum pojęciowym i z perspektywy czasu należy uznać jego wkład w rozwój nie tylko symulacji komputerowych obiektów rzeczywistych, lecz całej dziedziny rzeczywistości wirtualnej [Janczyk 2008]. W takim ujęciu problematyki VR należy uznać symulacje rzeczywistości (szczególnie komputerowe) za najbardziej znaczące implementacje rzeczywistości wirtualnej – pionierskie z perspektywy czasu.

Kontekst społeczny w wizerunku rzeczywistości wirtualnej po raz pierwszy stworzył w swojej trylogii: *Neoromancer*, *Count Zero* i *Mona Lisa Overdrive* kanadyjski powieściopisarz science-fiction W. Gibson. Jego powieści wzbudziły niepokój i pragnienia wielu czytelników i zainspirowały twórców technologii VR. Doszło do tego, że firma AutoDesk przyjęła w 1989 roku termin „Cyberspace” wymyślony przez Gibsona jako nazwę pakietu oprogramowania komputerowego do tworzenia rzeczywistości wirtualnej. Pakiet ten był wykorzystywany jako jeden z pierwszych przy tworzeniu efektów specjalnych w wielu filmach. Po 1990 roku termin *cyberspace* stał się synonimem pojęcia Internet i kojarzony był zwłaszcza z usługą WWW (ang. *World Wide Web*).

Zgodnie z szerokim spektrum zastosowań termin *Virtual Reality*, zaproponowany przez J.Laniera, swą wieloznaczność zawdzięcza różnorodności stosowanych środków technicznych i wywodzi się z różnego rodzaju projektów symulacji komputerowych, jak np.:

- *Virtual Environments* – sztuczne środowiska, wirtualna rzeczywistość w ten sposób nazwana i wytwarzana np. przez NASA [Miczka 1997],
- *Virtual Worlds* – sztuczne światy, w ten sposób nazwane i wytwarzane przez naukowców kilku uniwersytetów w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej [Zacher 1996],

- *Artificial Reality* – sztuczna rzeczywistość (twórcą jest M. Krueger), obejmuje wszystko co wygląda, odczuwa się lub działa realistycznie, pomimo że nie jest rzeczywiste (typowa symulacja rzeczywistości) [Wodaski 1994: XVIII],
- *Virtual Madness* – szaleństwa wirtualne, obejmują wszystko to co narusza prawa rzeczywistości (np. prawa fizyki), najczęściej stosowane i wytwarzane w scenariuszach gier komputerowych [Wodaski 1994 : XVIII].

Bez względu na sposób wykorzystania (np. rozrywka, praca) implementacje rzeczywistości wirtualnej mają przynajmniej jeden element wspólny, a jest nim wizualizacja. Treść wizualizacji może, ale nie musi być rzeczywistością. Zamierzaniem wielu projektantów VR jest tworzenie *nowych rzeczywistości* w takim kształcie, jak istniejąca rzeczywistość lub według życzeń użytkowników, lecz z własnym otwartym kontekstem (np. społecznym).

### **Typowe implementacje rzeczywistości wirtualnej**

W ramach poszerzania możliwości obliczeniowych komputerów – tzw. hardware'u – dokonano również doniosłych zmian w oprogramowaniu. Poza typowymi aplikacjami biurowymi i wspomagania projektowania różnego typu zadań, powstały także aplikacje dotyczące symulowania procesów istniejących w rzeczywistości, jak również całkowicie wymyślone oprogramowanie światów wirtualnych. Pierwsze komputery z oprogramowaniem pisanym w kodzie maszynowym były wykorzystywane do symulacji obiektów wirtualnych. Wyliczenie obiektu wirtualnego, reprezentowanego wieloma kolumnami liczb, było czynnością wstępną w realizacji obiektu rzeczywistego. Z enigmatycznych zapisów prowadzonych symulacji wnioskowano, czy realizacja obiektu rzeczywistego ma szansę powodzenia (np. czy most będzie mógł być eksploatowany bez zagrożenia dla jego użytkowników). Czym jest, także współcześnie, prowadzenie symulacji kampanii wyborczych? Komputery wykorzystuje się do kreowania wirtualnych rzeczywistości przyszłych wyborów powszechnych w różnej skali. Rachunek stochastyczny i algorytmika w implementacjach komputerowych, od początku eksploatacji maszyn cyfrowych, były wykorzystywane do kreowania wirtualnej rzeczywistości, lecz jej wizualizacja była na tak ubogim poziomie, że tylko nieliczni ludzie (informatycy, zwani też „komputerowymi szamanami”) potrafili ją odczytać (zrozumieć). Rozwój interfejsu użytkownika komputerów, szczególnie w kierunku komputerów multimedialnych, stworzył możliwości „zanurzenia się” w wirtualnej rzeczywistości, która obecnie jest prezentowana przez kolorowe, trójwymiarowe dynamiczne obrazy i przestrzenny dźwięk, adekwatny do zmienności tychże obrazów. Interfejs użytkownika jest dwukierunkowy, więc tak postrzegana wirtualna rzeczywistość jest uzależniona od interakcji użytkownika, za pomocą różnego rodzaju manipulatorów (np. klawiatury,

myszki, trackball'a, joystick'a, rękawic VR, itp.). Przyszłość pokaże, jak „głęboko” będzie można wchodzić w interakcje z rzeczywistością wirtualną, czy interfejs biologiczny (tzw. „Matrix”) ma szansę zaistnieć.

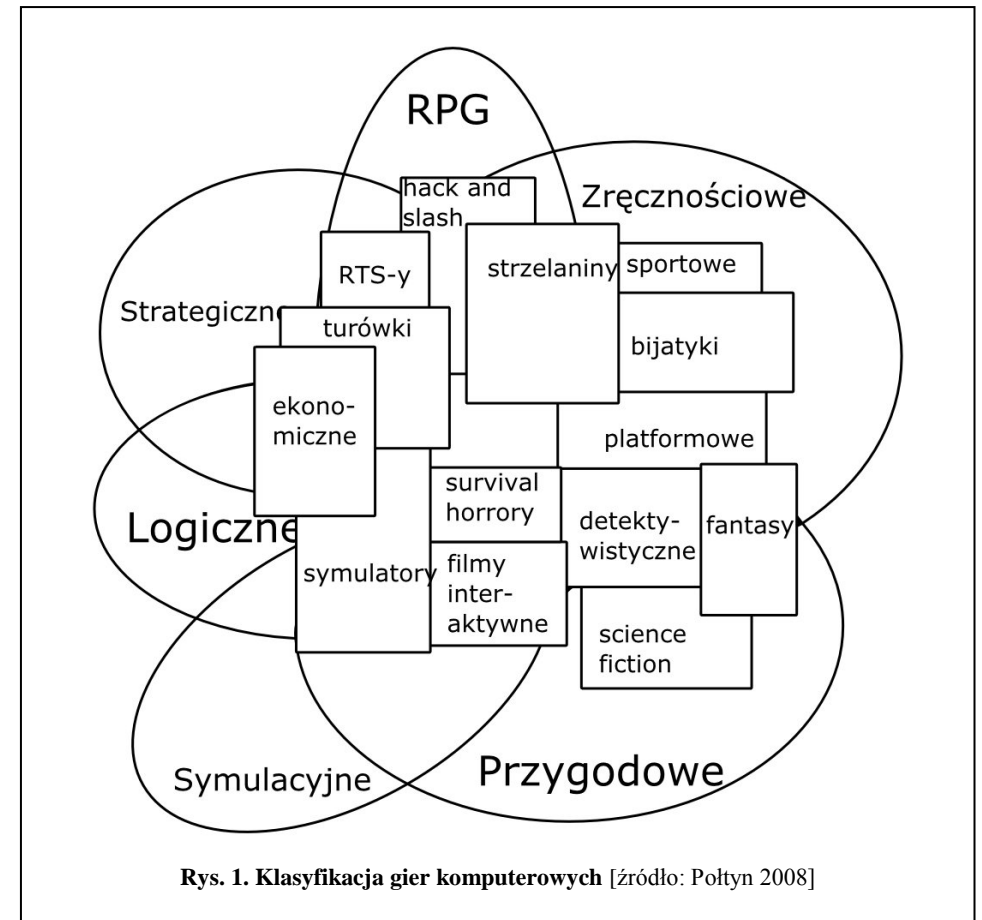
W aplikacjach komputerowych można wyróżnić kilka typów implementacji rzeczywistości wirtualnej, które wymieniono wyżej. Tego typu aplikacje od ponad dwudziestu lat, wraz ze wzrostem możliwości komputerów osobistych, upowszechniają się wśród ich użytkowników. Typy implementacji VR mogą funkcjonować samodzielnie, ale także mogą tworzyć różne mieszane konfiguracje. Podstawowe kategorie aplikacji komputerowych z implementacją rzeczywistości wirtualnej stwarzają użytkownikowi następujące możliwości:

- uczestniczenia w zamkniętej rzeczywistości wirtualnej (wykreowanej przez osoby trzecie), poprzez podjęcie roli społecznej, zaprojektowanej w takiej implementacji,
- projektowania światów wirtualnych (także na własny użytek), bez określania pełnionej w nim roli społecznej,
- projektowania osobowości dla rzeczywistości wirtualnej (aplikacja do tworzenia „botów”), np. tzw. „bliźniaka” będącego zautomatyzowanym przejawem istnienia w wirtualnym świecie,
- kreowania osobowości i obiektów w otwartej rzeczywistości wirtualnej, nadanie postaci (tzw. awatar'owi) sensu istnienia, tzn. określenia ról społecznych do pełnienia w rzeczywistości wirtualnej i uczestniczenia w społeczności wirtualnej.

Pierwsza kategoria aplikacji komputerowych z implementacją rzeczywistości wirtualnej ma swoje początki w różnego rodzaju symulatorach obiektów rzeczywistych. Po różnego rodzaju symulatorach (trenażerach) tworzonych dla potrzeb wojska, przyszedł czas na komercjalizację i pojawiły się symulatory z uproszczonym interfejsem dla użytkowników komputerów domowych (później zwanych osobistymi). W latach 80. ubiegłego stulecia były dostępne gry symulujące dowodzenie czołgiem (np. A Tank), łodzią podwodną (np. Das Boot, Gun Boat) lub samolotem (np. F-15, Fight Bomber, Falcon). Do najbardziej popularnych symulatorów obiektów cywilnych tamtych czasów należą wszelkiego rodzaju gry dotyczące wyścigów pojazdów mechanicznych (np. Harley, Indy Car Racing, Pole Position). Równoległe do symulacji obiektów i światów rzeczywistych dokonywała się digitalizacja komputerowa światów i obiektów baśniowych (nierealnych, nieistniejących w rzeczywistości). Szczególne znaczenie miały w tych procesach gry fabularne, które łączyły w sobie wiele koncepcji innych typów aplikacji (gier) komputerowych. Trzeba zaznaczyć, że gry w różnych klasyfikacjach i typach zawierają bardziej lub mniej bogatą fabułę, a przykładową klasyfikację wg M. Połtyna przedstawia rysunek 1. Za pierwszą komputerową grę fabularną uważa się *Dungeons and Dragons* z 1973 roku, która rozwijała pierwotnie ubogie środowisko zamkniętej rzeczywistości wirtualnej i doczekała się wielu nowych opracowań i odwzorowań. W wielu z nich, jak np.

w nowszych wersjach Baldur's Gate (przełom XX i XXI wieku), może uczestniczyć w tym samym wirtualnym świecie wiele osób (gry rozgrywane w sieciach lokalnych i via Internet).

Stąd też wywodzi się najbardziej *multimedialna zamknięta rzeczywistość wirtualna*, która obrosła w swoisty system gier RPG (ang. *role-playing game*).



Zazwyczaj taki system określa się, jako połączenie opisu wirtualnego świata z mechaniką gry, który zawarty jest w jednym lub kilku podręcznikach. Opis miejsca, w jakim rozgrywa się akcja, może sięgać od geografii, poprzez historię, socjologię, ekonomię, religię czy biologię, po obowiązujące w danym świecie prawa fizyki (uwzględnić można także modyfikacje tychże praw poprzez wprowadzenie magii lub zaawansowanego mistycyzmu). Jeżeli sami uczestnicy rozgrywek w rzeczywistości wirtualnej mogą dokonywać modyfikacji elementów

systemu, to wówczas aplikacja staje się autorskim systemem RPG. Niektóre gry z zasady mają ograniczony opis świata do minimum (np. Neuroshima), co ma zachęcać graczy do wspólnego tworzenia wirtualnego świata. Wraz z zaistnieniem Internetu pojawiły się gry określane mianem MUD (ang. *multi-user dungeon, domain, dimension*). Ze względu na parametry komputerów sprzed epoki multimedialnej i łącza sieciowe o niskiej przepustowości uczestniczenie w rzeczywistości wirtualnej w aplikacjach typu MUD odbywało się za pomocą interfejsu tekstowego. W przeciwieństwie do gier RPG większość MUD-ów to przedsięwzięcia niekomercyjne, które stały się w latach 80. ubiegłego stulecia miejscem akademickich badań z zakresu komunikacji międzyludzkiej, socjologii, prawa czy ekonomii. Z połączenia aplikacji typu MUD i RPG powstały rzeczywistości wirtualne wymienione wyżej w czwartej kategorii, a noszące nazwę MMOG (ang. *massively multiplayer online game*). Taki konglomerat mógł zaistnieć w rzeczywistym świecie komputerów multimedialnych i sieciowych łączący szerokopasmowych.

Aplikacje komputerowe należące do drugiej kategorii implementacji rzeczywistości wirtualnej zaistniały dla różnego rodzaju projektantów (specjalistów różnych dziedzin) wraz z potrzebami realizacji odpowiednich symulacji komputerowych, a właściwie wizualizacji symulacji. Dla potrzeb (pragnień) użytkowników komputerów osobistych implementacje te są dostępne od początku lat 90. ubiegłego stulecia. Aplikacje takie, jak VistaPro, VRStudio, także 3D Studio MAX, umożliwiają tworzenie własnych rzeczywistości wirtualnych, ograniczonych tylko zasobami finansowymi, wyobraźnią i umiejętnościami twórczymi użytkowników [Wodaski 1994]. Przy pomocy takich programów można generować trójwymiarowe krajobrazy, do czego wykorzystano algorytmy oparte na połączeniu sztucznej inteligencji, matematyki, teorii chaosu oraz wprowadzonego przez użytkownika zestawu różnych parametrów. Tworzony wirtualny świat może być oglądany praktycznie w nieskończonych kombinacjach wysokości oraz odległości liniowych lub kątowych, także z możliwością dynamicznej zmiany widoku pod wpływem interakcji użytkownika. Umiejętność kreowania światów wirtualnych lub chociażby obiektów występujących w takich światach jest warunkiem koniecznym do zaistnienia w czwartej, z wymienionych wyżej, kategorii implementacji rzeczywistości wirtualnej.

Aplikacje z kategorii trzeciej służą do kreowania automatycznego zastępcy użytkownika (człowieka) w implementacji rzeczywistości wirtualnej. Ponieważ mają symulować obecność istoty komunikującej się, więc od słowa robot otrzymały nazwę BOT. Pierwsze BOT-y zostały zastosowane w grach FPP (ang. *First Person Perspective*) do automatycznego celowania i strzelania. Jednakże, jako aplikacje prostej sztucznej inteligencji, zostały zastosowane w kanałach IRC (ang. *Internet Relay Chat*). W BOT-ach wykorzystuje się wiedzę dotyczącą zachowań ludzkich do modelowania i symulowania cyfrowych postaci. Wykorzy-



stywanie cyfrowego „bliźniaka” w grach sieciowych i kanałach pogawędek jest uznawane za zachowanie naganne, niezgodne z netykietą. W aplikacjach (grach) komputerowych, wykorzystujących zamkniętą rzeczywistość wirtualną, BOT-y są kreowane dla potrzeb rozwijania akcji, której przebieg zależy od użytkownika. W nowych grach typu FPP+RPG (np. Ghotic 3, Wiedźmin) dla pojedynczego gracza wykreowano (zaprogramowano w mechanice gry) kilkadziesiąt postaci cyfrowych, których zachowania są zależne od zachowań użytkownika. Dla potrzeb aplikacji z kategorii czwartej implementacji rzeczywistości wirtualnej powstało oprogramowanie MyCyber Twin, dostępne w Internecie od kwietnia 2007 roku [Serwis MyCyberTwin 2008]. Pozwala ono na stworzenie i dostosowanie wirtualnej osobowości, która może chatować z innymi użytkownikami implementacji, kiedy użytkownik (kreator „bliźniaka”) jest poza siecią. MyCyberTwin pozwala ludziom wybrać jedną z pięciu osobowości, a następnie ustawić ją jako zastępcę w rozmowach ze znajomymi lub innymi użytkownikami. Osoba subskrybująca portal MyCyberTwin może bardziej dopasować swojego cyber bliźniaka, odpowiadając na zestaw pytań psychologicznych. Zostały też stworzone narzędzia, które pozwalają na rozwój psychologiczny cyber bliźniaka, które pogłębiają jego: charakter, system wartości, wady i zalety. Im więcej informacji wprowadzi się w oprogramowanie MyCyberTwin, tym lepiej jest dostosowana (wykreowana) wirtualna osobowość. O randze tego oprogramowania świadczy możliwość zaimplementowania wykreowanego cyber bliźniaka do jednej z najbardziej rozwiniętych społeczności rzeczywistości wirtualnej, za którą uznaje się „Second Life” firmy Linden Lab.

Kategoria czwarta aplikacji komputerowych z implementacją rzeczywistości wirtualnej zapoczątkowana została przez gry typu MMOG (ang. *massively multiplayer online game*). Gry tego typu mogły być rozgrywane (lata 90. ubiegłego stulecia) przez setki lub tysiące użytkowników, wyłącznie w trybie online. Użytkownicy mają do dyspozycji bogate spektrum interakcji, które wykracza poza możliwości typowych grupowych gier sieciowych i dodatkowo możliwa jest komunikacja z całymi zespołami użytkowników. Gry MMOG mają rozbudowaną sferę ekonomii i nierzadko polityki. Najbardziej rozpowszechnionymi typami MMOG-ów są gry z odgrywaniem ról MMORPG (ang. *massively multiplayer online role playing game*) i strategiczne MMOSG (ang. *massively multiplayer online strategic game*). W obu typach gier uczestniczy kilkadziesiąt milionów osób, a w najpopularniejszej z gier MMORPG „Word of Warcraft” bierze udział ok. 9 milionów osób. W nowym mileniu, wraz z upowszechnieniem się sieciowych łączności szerokopasmowych, implementacje rzeczywistości wirtualnej weszły w obszar aplikacji multimedialnych, co znacznie zwiększyło atrakcyjność otwartych światów VR. Pojawiły się implementacje dla użytkowników urządzeń mobilnych, co znacznie poszerza możliwości prowadzenia (posiadania) „drugiego życia”.

Na bazie tekstowych (opisowych) rzeczywistości wirtualnych, tzw. MUD-ów powstała idea światów wirtualnych związanych z komunikacją w czasie rzeczywistym wyimaginowanymi przestrzeniami 3D, w których rozmieszczone są różne obiekty i postacie (BOT-ów lub użytkowników), pozwalające uczestnikom na wzajemną komunikację i interakcję z otaczającą przestrzenią wirtualną. W przestrzeniach tych poszczególne osoby reprezentowane są przez postacie zwane awatarami, które można kreować w trakcie rejestracji poprzez wybór i parametryzację odpowiednich opcji postaci. Każdy z uczestników może wybrać sobie dowolną postać ludzką, zwierzęcą, rysunkową lub całkowicie nierzeczywistą. Wyróżnia się obecnie dwa rodzaje multimedialnych światów VR: prywatne i publiczne. Pierwsze z nich wymagają specjalnego oprogramowania i dostępne są tylko dla zarejestrowanych użytkowników (należy do nich np. „Second Life”). Publiczne światy VR są utworzone za pomocą VRML (ang. *virtual reality modelling language* – język modelowania rzeczywistości wirtualnej), a ich projektowanie jest zgodne ze standardami internetowymi (większość przeglądarek internetowych obsługuje standard VRML). Wiele publicznych światów VR powstało w ramach projektów badawczych na uczelniach humanistycznych, które szczególnie przyczyniły się do rozwoju sfery edukacji na odległość [Serwis CCON 2008]. Procesy eksploracji poszerzonej przestrzeni społecznej charakteryzują się tak silną dynamiką, że trudno jest prognozować, które projekty zostaną zaimplementowane do rzeczywistości wirtualnej, a które z już zaimplementowanych nie zyskają społecznej (choćby wirtualnej) akceptacji.

Różnorodność wirtualnych światów dostępnych online jest zjawiskiem trudnym do ogarnięcia. Poszerzenie przestrzeni społecznej, jakie oferuje Internet można ograniczyć tylko ludzką wyobraźnią. Takie ujęcie możliwości kreowania wirtualnych rzeczywistości wywodzi się z gier komputerowych, jednakże obecnie w Internecie, to użytkownik najczęściej jest kreatorem, gdyż jest to o wiele zabawniejsze (ludyczne) od odgrywania ról zaplanowanych przez scenarzystów gier. W takim kontekście nabiera większego znaczenia nurt konstruktywistyczny dla procesów kształcenia, które poprzez środki dydaktyczne uczestniczą w kreowaniu rzeczywistości wirtualnej i to nie tylko przez atrakcyjne symulacje komputerowe (także online). W edukacji nurt konstruktywistyczny zakłada zaistnienie wiedzy w uczącym się podmiocie poprzez jego aktywność, zwłaszcza twórczą (kreatywność). Aby taki proces kształcenia nie powodował zbyt szybkiego zmęczenia i znużenia podmiotu uczącego się, powinien posiadać elementy lub znamiona ludyczności. Dlatego też przy stosowaniu środków dydaktycznych zmierza się do połączenia atrakcyjnie ludycznego Internetu z procesami kształcenia – włączeniu rzeczywistości wirtualnej w obszar oddziaływań edukacyjnych. Z tej relacji wynikają pewne przesłanki do ewaluacji symulowanej rzeczywistości (wirtualnej) w kontekście zinstytucjonalizowanych procesów kształcenia, które powinny doprowadzić do stanu wykształcenia społeczeństwa, adekwatnego do wyzwań współczesności i ukierunkowanych ku przyszłości.

## Ewaluacja implementacji rzeczywistości wirtualnej w zastosowaniach edukacyjnych

Określenie znaczenia i roli *nowego (nowoczesnego) środka*, takiego jak np. komputerowa implementacja rzeczywistości wirtualnej w katalogu środków dydaktycznych przysparza wiele trudności. Źródła trudności należy upatrywać w nieadekwatności tradycyjnych podziałów, które są wynikiem przyjmowanych kryteriów o niespójnej mocy różnicowania środków dydaktycznych i nie są wystarczające do wykazania szczególnych cech implementacji rzeczywistości wirtualnej w porównaniu z innymi środkami dydaktycznymi (uznawanymi już za tradycyjne). Różnorodność terminologiczna stwarza nie tylko trudności w poprawnym merytorycznie ujmowaniu implementacji VR w arsenale środków dydaktycznych, ale powoduje także błędne postrzeganie jej roli w procesach kształcenia, a nawet szerzej – całej edukacji, w tym e-edukacji. W takiej sytuacji nieodzowna wydaje się analiza najbardziej popularnych wśród pedagogów klasyfikacji środków dydaktycznych, co pozwoli zrozumieć ujęcie implementacji rzeczywistości wirtualnej (zwłaszcza symulacji rzeczywistości) w kategoriach tych środków.

W procesie kształcenia stosowanie środków ułatwiających bezpośrednie poznanie rzeczywistości ma swoje teoretyczne oparcie w *zasadzie poglądowości* W. Ratkego, który postuluje: „naprzód rzecz poznana na niej samej, potem dopiero mówienie o rzeczy” [Nawroczyński 1961 : 193]. Początkowe ograniczenie zakresu użyteczności tejże normy prakseologicznej zostało zmienione przez J.A. Komeńskiego, który nadał ogólnodydaktyczny charakter zasadzie poglądowości [Komeński 1956 : 187]. Z kolei W.P. Zaczyński poddał refleksji pedagogicznej znaczenie środków dydaktycznych w celu ułatwienia, rozszerzenia i udoskonalenia realizacji innych norm dydaktycznych, poza zasadą poglądowości [Zaczyński 1982 : 126–135]. Następnie przyszedł czas na analizę potrzeb, wymagań i korzyści, płynących z zastosowania środków dydaktycznych w świetle teorii dydaktycznych. W analizie dostrzeżono osobowość ucznia, co spowodowało przejście od przedmiotowego do podmiotowego traktowania ucznia. W.P. Zaczyński [1990] podjął się opracowania złożonej problematyki roli przeżyć emocjonalnych i metodycznych implikacji stosowania środków dydaktycznych w aspekcie teorii wielostronnego kształcenia W. Okonia [Okoń 1967]. Najpowszechniejszy wśród pedagogów jest obecnie pogląd C. Kupisiewicza na temat środków dydaktycznych, który określa je, jako: „przedmioty oddziałujące sensorycznie na wzrok, słuch i dotyk, a ułatwiające uczniom bezpośrednie lub pośrednie poznanie rzeczywistości, są nieodzownym składnikiem procesu dydaktyczno-wychowawczego” [Kupisiewicz 1980 : 199]. Dodaje też, że przedmioty te w formie naturalnej, czy ich zastępniki słowne, symboliczne lub modelowe, przyjęło się nazywać środkami dydaktycznymi, co pozwala włączyć do nich także implementacje rzeczywistości wirtualnej. Takie klasyfikowanie, jak podaje

W.P. Zaczyński, jest typowe dla *nurtu automatyzacji procesów kształcenia*, w którym sugeruje się stopniowe zastępowanie nauczyciela przez środki techniczne [Zaczyński 1982 : 126]. Jednakże niepowodzenia tej koncepcji technologii kształcenia dowodzą słuszności stanowiska W.P. Zaczyńskiego, który upatruje źródeł tychże niepowodzeń w braku respektowania swoistych, humanistycznych cech procesu kształcenia.

W pedagogice funkcjonuje wiele klasyfikacji środków dydaktycznych. W jednej z najstarszych wyróżnia się *środki proste* i *złożone*, gdzie kryterium podziału stanowi stopień ich skomplikowania. Do prostych środków zalicza się między innymi okazy naturalne i spreparowane, modele, obrazy, mapy i wykresy. Do złożonych z kolei zalicza się sprzęt mechaniczny i elektryczny (elektroniczny), tj. projektory filmowe, telewizory, urządzenia automatyzujące proces dydaktyczny (kiedyś były nimi maszyny dydaktyczne), itd. Takie ujęcie środków dydaktycznych zostało opisane przez W. Okonia i jest uznawane za klasyczne [Okoń 1968]. Jednakże klasyfikacja ta, pomimo że poprawna merytorycznie, trafna i logicznie rozłączna, okazuje się niekompletna, w momencie włączenia w nią edukacyjnych implementacji rzeczywistości wirtualnej. Nie uwzględnia ona uwarunkowań co do istoty różnic pomiędzy tradycyjnym sprzętem mechanicznym i elektrycznym a wytworami technologii informatycznej. W dodatku umieszczenie sprzętu komputerowego (bez implementacji VR) wśród urządzeń automatyzujących proces dydaktyczny sprawia, że nie sposób posługiwać się nim jako prostym środkiem dydaktycznym. W podziale środków dydaktycznych na *zimne* i *gorące*, za kryterium różnicujące przyjmuje się stopień *informacyjnego oddziaływania* na zmysły. Gorącym środkiem jest ten, który dostarcza zmysłom bogatych danych (np. radio, telewizja), a zimnym ten, który dostarcza jednemu zmysłowi niewiele informacji (np. telefon, faks) [McLuhan 1974 : 94–95]. H. Rotkiewicz po analizie dzieł M. McLuhana wyraża pogląd, że kanadyjski filozof uwzględnia trzy stopnie wyróżniające środki przekazu, ale nadrzędna segregacja oddaje układ *zimne – gorące* [Rotkiewicz 1983 : 59–60]. Konkluzją takiej klasyfikacji, podaną za J.W. Carey'em, jest podatność określania „temperatury” środka na wszelką krytykę, a następstwem tego jest to, że klasyfikacja M. McLuhana nie jest wystarczająco ostra i rozłączna [Rotkiewicz 1983 : 61–62]. Jedynym pozytywnym tej klasyfikacji jest wskazywanie na szczególną cechę sprzętu komputerowego jako *środka przekazu*, tj. na jego angażujący i twórczy charakter. Naturalną konsekwencją rozszerzania się asortymentu środków dydaktycznych jest wyodrębnianie z nich przez niektórych pedagogów *środków technicznych*. Takie klasyfikowanie jest wynikiem postępu naukowo-technicznego (zwłaszcza rewolucji informacyjno-komunikacyjnej) i jest uzasadnione pragmatyką zjawiska, ale jest też metodycznie twórcze. Najczęściej pojawienie się nowych jakościowo środków technicznych dezaktualizuje dotychczasowe klasyfikacje tak, jak to miało miejsce w rozróżnieniu przez M. Godlewskiego kategorii urządzeń do szybkiej kontroli i utrwalania wiedzy [Godlewski 1975 :

652, 655–658]. Poprzez możliwości zmiennego oprogramowania komputerów i ich zastosowania jako technicznego środka dydaktycznego, klasyfikacja M. Godlewskiego straciła swój pragmatyzm, a ponadto pozostawia niejednoznaczny sens terminu, pomimo trafnego ujmowania cech różnicujących środki techniczne od pozostałych. Także podział środków na naturalne, techniczne i symboliczne nie spełnia wymogu rozłączności, ponieważ symboliczny może być środkiem naturalnym, jak i technicznym, co wykazał W. Okoń [1995 : 303]. Stosowanie podziału środków dydaktycznych ze względu na adresata (kryterium przynależności) zaproponowany przez Z. Nowaka wskazuje z kolei na trudności w określeniu granicy znaczeniowej pomiędzy pojęciem środka, materiału dydaktycznego i urządzenia. W kontekście analizy przydatności komputerowych implementacji rzeczywistości wirtualnej w procesie kształcenia, określenie zakresu terminu i rozstrzygnięcie czy środki dydaktyczne obejmują wyłącznie materiały, czy urządzenia, czy oba elementy łącznie, okazuje się zagadnieniem pierwszoplanowym. Jak zaznacza M. Tanaś, merytorycznie słuszne jest dostrzeganie odrębnych cech materiału i urządzenia, ale rozróżnienie tych elementów nie może być równoważne z wykluczeniem któregośkolwiek znaczenia pojęcia „środek dydaktyczny” [Tanaś 1997 : 103]. Dodaje także, że wprowadzenie dodatkowych kategorii środków „tradycyjnych” i „nowoczesnych” ma ograniczoną wartość utylitarną, z powodu relatywizmu czasowego takiego kryterium podziału. Sprzęt komputerowy posiada szczególną cechę immanentną, a jest nią *wielofunkcyjność* i stąd opiera się wcześniejszym podziałom, ponieważ w zależności od wypełnianej funkcji może być klasyfikowany w różnych miejscach tychże podziałów. Refleksja nad miejscem komputerowych implementacji VR w arsenale środków dydaktycznych prowadzi do przekonania, że dotychczasowe (tradycyjne) klasyfikacje nie odpowiadają rygorystycznym wymaganiom rozłączności. Dociekania nad rolą poszczególnych środków w procesie kształcenia nie pozwalają na takie uwzględnienie w nich komputerowej implementacji rzeczywistości wirtualnej, które by ujmowało jej cechy charakterystyczne i dydaktyczną przydatność. Jednakże wyrażana jest przez pedagogów merytoryczna zasadność traktowania sprzętu komputerowego jako środka dydaktycznego, co umożliwia analizę jego edukacyjnych zastosowań poprzez zespół pojęć dydaktyki ogólnej. Widać stąd, że klasyfikacja środków dydaktycznych nie może być wynikiem sumarycznego łączenia nowych, pojawiających się wraz z postępem cywilizacyjnym, urządzeń (także wirtualnych) z zaistniałymi wcześniej w procesie kształcenia. Takie podejście wprowadza nieład terminologiczny i uniemożliwia dostrzeżenie istotnych cech jakościowych nowego (wirtualnego) środka. W związku z takim stanowiskiem trzeba przyjąć odmienną klasyfikację, którą trafnie ujął M. Tanaś, a mianowicie: „Pojęcie środka dydaktycznego obejmuje swym zakresem znaczeniowym zarówno materiał, jak i urządzenia służące jego prezentacji. Odrębne cechy materiału i urządzenia wskazują na potrzebę ich uwzględnienia, jako odrębnych kategorii systematyzacji. Materiały poddają się dalszej segregacji na naturalne

i sztuczne. Urządzenia natomiast (jako sztucznie wytworzone przez człowieka) można dalej dzielić na jednokierunkowe (strumieniowe) i wielokierunkowe (dialogowe), wpisując do ostatniego podzbioru komputer” [Tanaś 1997 : 108]. Zaproponowana przez M. Tanasia systematyzacja jest potrzebna nie tylko w celu ulokowania komputera (wraz z oprogramowaniem) w katalogu środków dydaktycznych, lecz również stanowi zaprzeczenie prób określania komputera jako środka automatyzującego proces kształcenia.

Analiza wszystkich składników *rzeczywistości dydaktycznej* powinna poprzedzać racjonalne wprowadzenie komputerowych implementacji VR do procesu nauczania – uczenia się (w tym także organizacyjnych i ekonomicznych). Trzeba pamiętać, że o wynikach nauczania nie decyduje zastosowany środek, lecz człowiek stosujący go w procesie kształcenia, a jest nim zarówno nauczyciel, świadomy wartości środka i kryteriów metodycznych, jak i uczeń korzystający z niego (także w procesie samokształcenia). Rolę komputerowej implementacji rzeczywistości wirtualnej w procesie kształcenia trzeba analizować poprzez jej podstawowe funkcje, jakie są wymagane od każdego środka dydaktycznego w działalności dydaktyczno-wychowawczej. Wypada zaznaczyć, że do najważniejszych funkcji środków dydaktycznych zalicza się: umożliwienie uczącym się poznanie otaczającej rzeczywistości (także wirtualnej) poprzez pomoc w uzyskiwaniu o niej wiedzy i zdobywaniu stosownych umiejętności, służących jej przekształcaniu, a także budzenie motywów, zainteresowań i postaw poznawczych oraz wspomaganie rozwoju emocjonalnego i działań zmierzających do ukształtowania woli [Okoń 1995 : 109].

Zagadnienia systematyzacji *kryteriów ewaluacji* użyteczności pedagogicznej komputerów podjęła przeszło kilkanaście lat temu dydaktyka ogólna. Projekty powstałe na jej założeniach, pomimo ogólności doboru treści i form kształcenia, wykazują się użytecznością w rozstrzyganiu zagadnień szczegółowych, jak np. ocena konkretnej edukacyjnej implementacji rzeczywistości wirtualnej. Wiele pragmatyzmu wykazuje D. Morańska w określaniu podatności treści kształcenia na prezentację komputerową, zwłaszcza dla projektowania systemów autorskich w kształceniu na odległość [Morańska 2003]. Jej opracowanie pozwala projektantom implementacji rzeczywistości wirtualnej na określenie warunków wstępnych dla poprawnego stosowania komputera (z oprogramowaniem Authorware) w procesie kształcenia. Z kolei K. Kruszewski dokonał podziału doboru treści kształcenia w kontekście środków dydaktycznych na warunkujące go kryteria i uwzględnił w nich [Kruszewski 1991 : 191]:

- kryterium filozofii programu szkolnego;
- kryterium interesu;
- kryterium merytoryczne;
- kryterium skuteczności dydaktycznej.

Na tak ujętych kryteriach M. Tanaś podejmuje się oceny edukacyjnego oprogramowania komputerowego (implementacji VR), jako materiałów dydaktycz-

nych w oderwaniu od urządzeń – sprzętu komputerowego. W aspekcie środka dydaktycznego, jakim jest implementacja rzeczywistości wirtualnej, a zwanym przez M. Tanasia edukacyjnym zastosowaniem komputera, uzasadniona jest modyfikacja zaproponowanego przez K. Kruszewskiego zestawu kryteriów oceny tychże zastosowań. Taki zestaw w ujęciu M. Tanasia do zastosowań edukacyjnych programów komputerowych należy rozszerzyć i powinien zawierać [Tanaś 1997 : 249]:

- kryterium filozofii programu szkolnego,
- kryterium interesu,
- kryterium merytoryczne,
- kryterium skuteczności dydaktycznej,
- kryterium techniczne,
- kryterium kulturowe,
- kryterium terytorialne,
- kryterium podmiotowe.

Pierwsze kryterium zawiera aspekty filozoficzne podstawy programowej funkcjonowania szkoły jako instytucji, a zalicza się do nich: cel społecznego (kulturowego, politycznego, gospodarczego) istnienia szkoły, sposób i zakres widzenia rozwoju i egzystencji ucznia, przygotowanie ucznia do pełnienia ról społecznych (odmiennie określonych co do funkcji, obszarów aktywności i hierarchii ważności), stopień samodzielności ucznia i nauczyciela, źródła treści kształcenia, cel prezentacji tychże treści (koncepcje utylitarne, perenialistyczne, esencjalistyczne, strukturalistyczne i poznawcze), sposoby doboru i układ treści kształcenia (eksponujący w różnym stopniu: wiedzę, umiejętności psychomotoryczne, zdolności, postawy, przynależności do określonego kręgu kulturowego, wątpliwości, poszukiwania, empatie itd.) [Kruszewski 1991 : 191–197]. Podzielając filozoficzną koncepcję obszaru kulturowego, grupy społecznej i czasu, szkoła może przyjąć określoną *ideę edukacyjnych implementacji rzeczywistości wirtualnej*, będącą w zgodności z przyjętymi celami i profilem kształcenia, albo tę ideę odrzucić. Wynika stąd, że te implementacje rzeczywistości wirtualnej, które są zgodne z przyjętą filozofią szkoły, będą zaakceptowane, inne uznane za mało przydatne, zbędne lub szkodliwe, nie wejdą do procesu kształcenia. Włączenie edukacyjnych implementacji VR w podstawę programową szkoły jest więc uzasadnione dla tego kryterium potrzebami natury: utylitarnej, esencjalnej, perenialnej, poznawczej itp. Dla nieuprawnionej próby wkomponowania implementacji VR w podstawę programową szkoły można przeprowadzić krytykę z pozycji określonej kryterium filozoficznym. Wymienione koncepcje potrzeb w momencie zastosowania VR w zakresie wyznaczonym przez treści kształcenia, różnicować będą merytoryczne punkty ciężkości wiedzy i umiejętności. Dla *uitylitarnej koncepcji* oznacza to koncentrowanie się procesu kształcenia na przydatnych zawodowo umiejętnościach obsługi, projektowania lub budowy wirtualnych obiektów i procesów. *Esencjalistyczna koncepcja* optuje za włączeniem

szeroko rozumianej technologii informacyjnej, jako dyscypliny wiedzy w poczet przedmiotów szkolnych, a także za kompleksowym kształceniem jej zagadnień. Z kolei *perennialistyczna koncepcja* kładzie nacisk na rozbieżności w myśleniu algorytmicznym i heurystycznym, a w związku z tym sprowadza VR w procesie edukacji do płaszczyzny jej korzeni, trwałości i znaczenia dla rozwoju człowieka. *Koncepcja strukturalistyczna* podejmuje interdyscyplinarność zastosowań VR, a więc w procesie kształcenia zostaje wykorzystana wielofunkcyjność rzeczywistości wirtualnej. *Koncepcja poznawcza* o charakterze *historiozoficznym* wprowadza w podstawę programową szkoły procesy rozwoju sposobów komunikowania się, jak również pobudza procesy poszukiwawcze z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości.

*Kryterium interesu* jest wynikiem oddziaływania na szkołę społecznych grup nacisku, wyznaczających jej egzystencję i decydujących w różnym stopniu o zawartości programowej treści kształcenia [Kruszewski 1991 : 197–201]. Jak wynika z dociekań K. Kruszewskiego, historia rozwoju instytucji oświatowych wskazuje, że im większy jest stopień decentralizacji władzy oświatowej, tym większe są rozbieżności programowe. Oczywiście ta zależność nie jest prosta, a samo spostrzeżenie jest poprawne i nie zależy od przedziału czasowego, miejsca występowania, kręgu kulturowego i cywilizacyjnego. Następstwem oddziaływania grup nacisku są także społeczne „mody” na określone teorie filozoficzne, pedagogiczne itd. K. Kruszewski wysunął także przypuszczenie, że wzrastająca akceptacja koncepcji dydaktycznej, która zakłada podmiotowe traktowanie nauczyciela i ucznia (wydzielone przez M. Tanasia kryterium podmiotowe), jest zewnętrznym wyrazem powyższej zależności. Kryterium interesu w aspekcie edukacyjnych implementacji rzeczywistości wirtualnej powoduje odmienne postrzeganie ich realizacji, co wynika z różnych punktów widzenia celu istnienia szkoły, a także doboru i układu przekazywanych przez nią treści kształcenia. Wpływają one na kształtowanie wiedzy, zdolności i umiejętności uczniów, a także na prezentowane przez nich postawy, system wartości, aktywność, stopień społecznej i kulturowej świadomości (wydzielone przez M. Tanasia kryterium kulturowe). Podejmując się osadzenia teorii doboru i układu treści w kontekście historycznym, K. Kruszewski wskazuje, że w masowym szkolnictwie polskim znaleźć można charakterystyczne rysy encyklopedyzmu, a system oświaty promuje bardziej równość efektów, aniżeli równość szans. Dostrzega także kierunek addytywnego włączania nowych treści kształcenia będących wynikiem rozwoju naukowo-technicznego (obecnie bardziej rewolucji informacyjnej) [Kruszewski 1991 : 200]. Pojmowane w kategoriach egalitaryzmu edukacyjne implementacje rzeczywistości wirtualnej przynoszą koncepcje wyposażania uczniów w objętościowo obszerny zasób wiedzy informatycznej i technicznej, również w ramach kształcenia ogólnego. Sformułowane wcześniej konsekwencje podobnego wyboru przez C. Kupisiewicza, w ramach stosowania technicznych środków dydaktycznych w procesie kształcenia, wskazują na: przeładowanie



treści kształcenia, transmisyjne metody nauczania bez uwzględniania zdolności percepcyjnych uczniów, pamięciowe opanowywanie niezrozumiałych wiadomości, brak umiejętności strukturalizacji, uzupełniania i stosowania wiadomości [Kupisiewicz 1980 : 70]. W swych poglądach na temat struktury treści kształcenia K. Kruszewski za podstawę przyjmuje materializm funkcjonalny, a nadto w pełni podziela poglądy jego twórcy W. Okonia [1975, 1995]. Niezależnie od rzeczywistego układu oddziaływań społecznych grup nacisku na obszar podstawy programowej szkoły, znaczenie podejmowanych ustaleń w kwestii treści kształcenia, pociąga za sobą analizę wartościującą implementacje VR w kontekście kryterium interesu.

*Kryterium merytoryczne*, najogólniej ujmując, sprowadza się do respektowania w treściach kształcenia ustaleń naukowych w zakresie wyznaczonym przez treść dyscyplin naukowych [Kruszewski 1991 : 201–204]. Ramy dla systematyzacji dydaktycznej poszczególnych treści stanowią hasła programowe w postaci fakultatywnej lub obowiązkowej. Od kilkunastu lat trwa proces przechodzenia od odbywającego się poza nauczycielem, rygorystycznego doboru i układu treści kształcenia do zwiększającego się stopnia swobody i aktywności nauczyciela, jak również ucznia. Pozwala to na samodzielne i twórcze kształtowanie treści programowych. Treści te powinny jednak posiadać wspólny trzon programowy, czego przejawem są właśnie podstawy programowe dla poszczególnych przedmiotów szkolnych. W takiej perspektywie powstają *interdyscyplinarne* projekty edukacyjne, których przykładem są różnego rodzaju implementacje VR, od zastosowań w edukacji instytucjonalnej wybranych usług Internetu, po otwarte uniwersytety działające w formie *blended learning*, ale także w środowiskach wirtualnych *e-learningu* (np. Angel Learning Isle lub Stowarzyszenie Edukatorów Second Life działające od maja 2007 roku). Trzeba zaznaczyć, że kryterium zgodności merytorycznej wymaga od nauczycieli i uczniów respektowania wiedzy naukowej przy doborze środków dydaktycznych, a szczególnie przy stosowaniu technik informacyjnych – szczególnie implementacji VR.

W zakres tradycyjnych dociekań dydaktyki ogólnej wchodzi, obok metod, zasad i reguł, zagadnienia konstruowania programów szkolnych, które razem tworzą płaszczyznę dla formułowania kryterium *skuteczności dydaktycznej*. Struktury treści kształcenia rozpatruje się w dwóch wymiarach: wertykalnym i horyzontalnym. W analizie treści opartej o strukturę wertykalną dokonuje się ich oceny z punktu widzenia macierzystej dyscypliny naukowej i przebiega ona w trzech układach: liniowym, koncentrycznym i spiralnym. Pierwszy układ, którego przykładem może być struktura wiadomości gramatycznych lub matematycznych w programie szkolnym, charakteryzuje się stopniowym, liniowym przechodzeniem na wyższy szczebel wiedzy bez możliwości pominięcia poprzednich etapów. Układ koncentryczny, do którego zalicza się historię, polega na kilkukrotnym poznawaniu (repetycji) tych samych działów treści na różnych poziomach nauczania, z jednoczesnym ich poszerzaniem. Układ spiralny jest

swego rodzaju konglomeratem obu poprzednich, a polega na powrocie do tych samych treści, każdorazowo na wyższym poziomie analizy, syntezy i bogactwa informacji, jednakże bez utraty z pola widzenia zagadnienia wyjściowego, które stanowi obiekt zainteresowań w trakcie jego poznania. W aspekcie horyzontalnym przedmiotem analizy struktury treści kształcenia są związki występujące w obrębie określonej dyscypliny wiedzy lub pomiędzy poszczególnymi przedmiotami nauczania, czy też tylko między wybranymi hasłami programowymi na danym poziomie kształcenia, w ramach określonej szkoły lub różnych jej typów. K. Kruszewski zauważa, że „w tym rozumieniu przedmioty nauczania mogą być niezależne, skorelowane lub scalone” [Kruszewski 1991 : 209].

Opracowany przez H. Scheuerla *egzemplaryzm*, jak przekonuje nas M. Tanaś [1997 : 242], jest ciekawą teorią dla działań w ramach niezależnych przedmiotów nauczania. Zakłada on dynamiczny rozwój wiedzy, przy nie zmieniających się możliwościach poznawczych uczniów, przez co wymaga wyspowego układu treści, tzn. ich ogniskowania wokół zagadnień reprezentatywnych dla całego kompleksu treści kształcenia. Uczniowie w takim układzie dokonują gruntownego poznania zagadnienia, chociaż w oderwaniu od całości treści kształcenia, przez co mogą uniknąć zbędnych szczegółów systematyzacji tychże treści. Według M. Tanasia, takie poznanie nie wpływa na zubożenie kształtowanego obrazu poznawanej rzeczywistości. Edukacyjne implementacje rzeczywistości wirtualnej czasami sprawiają wrażenie wyspowego doboru i układu zagadnień, co nie powinno wpłynąć na utożsamianie doboru celowego z losowym. Dla dostrzeżenia analogii pomiędzy teorią H. Scheuerla a kryterium wartościowania edukacyjnych implementacji VR należy opracować listę zagadnień uznanych za spełniające warunki egzemplaryzmu, a następnie podjąć działania zmierzające do ich komputerowej realizacji. Akceptacja koncepcji usystematyzowanych treści kształcenia powoduje konieczność oceny edukacyjnych implementacji VR w kategoriach stopnia korelacji z tymi treściami, a co za tym idzie możliwościami wdrożenia tych implementacji do programu obligatoryjnego i uzupełniającego, przy zachowaniu zgodności z systemem celów kształcenia (szerzej także wychowania).

Szczególną sytuację dla edukacyjnych implementacji VR stwarza ujęcie treści kształcenia poprzez wynikające z kryterium skuteczności dydaktycznej – *kryterium spójności*. Szkolne treści nauczania podzielone są na drobne fragmenty przedmiotów nauczania w taki sposób, jak dokonał się rozwój poszczególnych gałęzi wiedzy. Dopiero w drugiej połowie XX wieku podjęto próby przeciwdziałania negatywnym zjawiskom związanym z jednokierunkowym rozwojem nauk, poprzez powoływanie interdyscyplinarnych zespołów współpracujących nad rozwiązywaniem wieloaspektowych problemów. Jednakże w Polsce nadal pokułuje kształcenie nauczycieli *metodą przedmiotową*, co posiada liczne uzasadnienia, chociażby z aspektywności ludzkiego poznania, ale także ze względów natury ekonomicznej, czasowej i innych. Z kolei charakterystyczną cechą dla mł-

dych pokoleń (dzieci i młodzieży) jest poznawanie świata *wielowymiarowo* i *wieloaspektywnie*. Koncepcją dydaktyczną, która zapewnia zgodność naturalnego sposobu poznawania świata przez młode pokolenia w procesach kształcenia, jest tak zwane *nauczanie łączne*. Edukacyjne implementacje VR realizujące założenia tej koncepcji stanowią realną pomoc w działalności szkoły, co nie dotyczy tylko nauczania początkowego. Reasumując, powyższe wartościowanie edukacyjnych implementacji VR w ramach kryterium skuteczności dydaktycznej należy ująć, jak to uczynił C. Kupisiewicz dla środków dydaktycznych, czyli: trzeba respektować przy wyborze odpowiednich zastosowań środków dydaktycznych właściwy zestaw zasad dydaktycznych, pomimo niejednoznacznego sposobu ich definiowania [Kupisiewicz 1980 : 107–126].

*Kryterium skuteczności dydaktycznej* interpretowane poprzez cele i zasadność implementacji rzeczywistości wirtualnej do ich realizacji, a także poprzez koncepcje filozoficzne, odniesienie kulturowe (także terytorialne), zasady, metody i układ treści kształcenia oraz uwarunkowania psychologiczne procesu kształcenia, traktować można przy niewielkim uproszczeniu łącznie z kryterium filozofii. Podobne spostrzeżenia poczynił M. Tanaś, który dla edukacyjnych zastosowań komputerów, służących wyłącznie realizacji wybranych elementów treści kształcenia, wyodrębnił szczegółowe (indywidualne) grupy implementacji [Tanaś 1997 : 244–245].

Istotne znaczenie, według M. Tanasia, dla analizy kryteriów doboru i układu treści kształcenia ma uzupełnienie rozważań o *kryterium techniczne*, dotyczące warunków technologicznych, jakie powinien spełniać sprzęt komputerowy, jak również cech stosowanego wraz z nim oprogramowania [Tanaś 1997 : 245–246]. Ze względu na dynamiczny proces rozwoju techniki większość analiz warunków technicznych sprzętu i wynikające z nich wnioski posiadają ograniczoną zasadność czasową. Możliwości optymalnego doboru sprzętu komputerowego w obszarze edukacji są wprost proporcjonalne do bazy materialnej szkoły. Stąd wpływa konieczność uwzględniania parametrów technicznych wykorzystywanego sprzętu w wartościowaniu jego przydatności w procesie kształcenia. M. Tanaś podejmuje i trafnie oddaje rozważania w problematyce zakupu sprzętu komputerowego, będącego wynikiem stosowania kryterium technicznego [Tanaś 1997 : 247]. Zaznacza on, że w pierwszej kolejności trzeba uwzględnić konfigurację umożliwiającą realizację celów szczegółowych, a następnie w perspektywnym obszarze edukacyjnych zastosowań komputerów. Stąd, jak podaje M. Tanaś: „... szukać należy sprzętu wysokiej, lecz nie najwyższej klasy (istnieje prawdopodobieństwo, że spełniać będzie nasze oczekiwania przez czas dłuższy niż 2 lata)” [Tanaś 1997 : 247].

Systemy oceny edukacyjnych implementacji rzeczywistości wirtualnej, stosowane przez różne ośrodki badawcze i edukacyjne, różnią się między sobą liczbą i stopniem ważności poszczególnych kryteriów, a nierzadko widoczny jest brak podstaw teoretycznych wartościowania. Wskazanie kierunku poszukiwań

powinno pomóc wyznaczyć zakres refleksji dydaktyki ogólnej nad formami kształcenia, teoriami doboru i układu treści kształcenia, a także uwarunkowaniami społecznymi i kulturowymi. Społeczeństwo informacyjne, zapoczątkowane pojawieniem się komputerów (szczególnie poprzez ich implementacje VR), stawia przed nauką (zwłaszcza humanistyczną) pytania o wartości i zasadność zmian, które przejawiają się w sposobie ludzkiej pracy, rozrywki i komunikacji, w związku ze stosowanymi z informatyzowanymi środkami wirtualizacji tychże obszarów życia. Nie bez znaczenia na te zmiany osobowe i społeczne jest intencjonalność działań wyznaczonych refleksją dydaktyczną – szerszej pedagogiczną. Ważność problematyki podkreśla również szersza refleksja K. Krzysztofka, dotycząca Polski w kontekście powyższych rozważań, w której autor zaznacza, że: „chodzi (...) nie tyle o same wskazania dla polityki edukacyjnej, informacyjnej czy kulturalnej państwa, lecz o sprawę dla państwa i narodu bodaj najważniejszą (...) czy Polacy potrafią wykorzystać własne wartości do rozbudzenia sił twórczych narodu, czy zdobędą się na rezygnację z tych elementów tradycji, które nie są do pogodzenia z wymogami rozwoju społeczeństwa informacyjnego” [Krzysztofek 1997 : 76].

### **Rzeczywista wirtualność – refleksje prospektywne**

Współczesny człowiek nie zwraca uwagi, że każdego dnia porusza się w świecie wirtualnym. Czym są np. tworzone, przetwarzane i przesyłane proste dokumenty elektroniczne, które udają (symulują) listy, książki, podręczniki, obrazy, itp.? W codzienne życie już dawno wkradła się rzeczywistość wirtualna, jednakże została szczególnie jaskrawo wyeksponowana w momencie powstania możliwości stwarzania wirtualnego (elektronicznego) życia (np. awatarów w Second Life). W tym kontekście szczególne znaczenie ma refleksja L. W. Zachera, dotycząca generacyjnej perspektywy rozwoju społeczeństwa informacyjnego. Perspektywę tę wyraża stwierdzenie, że „Przyspieszone i radykalne zmiany wymagają, by uwzględnić – zwłaszcza w analizach prospektywnych – głębokie przeobrażenia nie tylko technologiczno-instytucjonalne, ekonomiczne i społeczne, ale i zmiany w mentalności, percepcji świata, wyobrażeniach i zachowaniach, nawet w aksjologii” [Zacher 2009 : 101]. Młode pokolenia już obecnie uznawane są za generację „cyfrowych tubylców”, wychowane całkowicie w otoczeniu cyfrowym, a kolejne będą o trudnych do przewidzenia i wyobrażenia cechach (pozytywnych i negatywnych). Współczesna edukacja, zwłaszcza instytucjonalna, musi podjąć wyzwania teraźniejszości z rozwijającymi się implementacjami VR, które to wyzwania występujące dotąd enklawowo mają duże szanse upowszechnienia się w niedalekiej przyszłości (kolejnych generacjach społeczeństwa informacyjnego). Implementacje rzeczywistości wirtualnej (choćby w formie komputerowych symulacji lub prezentacji multime-

dialnych), które stosuje się w procesach kształcenia, włączyły edukację w nurt determinizmu rozwiązań technicznych. Ów determinizm, jak pisze L.W. Zacher: „pociągnął już za sobą rozwiązania instytucjonalne, organizacyjne, polityczne, ekonomiczne, zmienił prawdopodobnie na stałe postawy, percepcję rzeczywistości, kryteria ocen, ewaluację korzyści i strat, itp.” [Zacher 2009 : 104]. Ostatnie cztery kategorie w życiu młodego pokolenia są związane z procesami kształcenia, które szkoła w swych założeniach powinna kształtować. Z powyższych relacji wynika, że we współczesne procesy kształcenia należy „implementować” wszystkie (większość) aspekty rzeczywistości wirtualnej, aby kształtowanie osobowości młodych pokoleń nie było kwestią przypadku. Jedynie instytucjonalna edukacja ma szansę maksymalizować korzyści i minimalizować straty (zagrożenia).

## Bibliografia

- Dąbrówka A., Geller E., Turczyn R. (1996), *Słownik synonimów*, Warszawa.
- Godlewski M. (1975), *Postęp techniczny w nauczaniu*, [w:] *Pedagogika. Podręcznik akademicki*, Warszawa.
- Janczyk J. (2008), *Multimedialny substrat technologiczny społeczeństwa informacyjnego w kontekście edukacji*, [w:] *Dydaktyka informatyki – Multimedia w teorii i praktyce szkolnej*, red. W. Furmanek, A. Piecuch, Rzeszów.
- Komeński J.A. (1956), *Wielka dydaktyka*, Wrocław.
- Kruszewski K. (1991), *Program szkolny*, [w:] *Sztuka nauczania. „Szkoła” Tom 2*, Warszawa.
- Krzysztofek K. (1997), *Rozwój społeczeństwa informacyjnego w Polsce – uwarunkowania, perspektywy, rekomendacje*, „Transformacje” 1–4/1997.
- Kupisiewicz Cz. (1980), *Podstawy dydaktyki ogólnej*, Warszawa.
- McLuhan M. (1974), *Środki komunikowania – przedłużenia człowieka*, [w:] *Technika a społeczeństwo. Antologia*, Tom I, Warszawa.
- Morańska D. (2003), *Wybrane problemy optymalizacji prezentacji multimedialnej w systemach kształcenia dystansowego*, [w:] *Informatyczne przygotowanie nauczycieli. Kształcenie zdalne – uwarunkowania, bariery, prognozy*, red. J. Migdałek, B. Kędzierska, Kraków.
- Miczka T. (1997), *Rzeczywistość wirtualna – w perspektywie komunikacyjnej*, [w:] *Problemy społeczeństwa informacyjnego – elementy analizy, ewaluacji i prognozy*, Warszawa.
- Nawroczyński B. (1961), *Zasady nauczania*, Wrocław-Warszawa-Kraków.
- Okoń W. (1967), *Podstawy wykształcenia ogólnego*, Warszawa.
- Okoń W. (1968), *Środki dydaktyczne i ich unowocześnienie*, „Dydaktyka Szkoły Wyższej” 1/1968.
- Okoń W. (1975), *Nauczanie problemowe we współczesnej szkole*, Warszawa.
- Okoń W. (1995), *Wprowadzenie do dydaktyki ogólnej*, Warszawa.
- Połyn M. (1.02.2008), [http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Taksonomia\\_gier\\_komputerowych.svg?uselang=pl](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Taksonomia_gier_komputerowych.svg?uselang=pl).
- Rotkiewicz H. (1983), *Pedagogiczne aspekty teorii środków masowego przekazu Marshalla McLuhana*, [w:] *Monografie Pedagogiczne PAN*, Wrocław.
- Rysiewicz Z. (1955), (red. nacz.), *Słownik wyrazów obcych*, Warszawa.
- Serwis CCON, <http://www.ccon.org/hotlinks/hotlinks.html> (1.02.2008).
- Serwis MyCyberTwin, <http://www.mycybertwin.com/about.jsp> (1.02.2008).

- Tanaś M. (1997), *Edukacyjne zastosowania komputerów*, Warszawa.
- Wodaski R. (1994), *Szaleństwa wirtualnej rzeczywistości*, Warszawa.
- Wielka Encyklopedia Powszechna PWN* (1968), Tom 11, Warszawa.
- Wielka Encyklopedia Powszechna PWN* (1968), Tom 12, Warszawa.
- Wolna Encyklopedia* (1), <http://pl.wikipedia.org/wiki/Symulacja>, 12.06.2009.
- Wolna Encyklopedia* (2), [http://pl.wikipedia.org/wiki/Symulacja\\_komputerowa](http://pl.wikipedia.org/wiki/Symulacja_komputerowa), 12.06.2009.
- Wolna Encyklopedia* (3), [http://pl.wikipedia.org/wiki/Symulacja\\_\(filozofia\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/Symulacja_(filozofia)), 12.06.2009.
- Zacher L.W. (1996), *Rzeczywiste i wirtualne światy ludzi*, [w:] *Człowiek wobec świata*, Olsztyn.
- Zacher L.W. (2009), *Generacyjna perspektywa rozwoju społeczeństwa informacyjnego (SI)*, [w:] *Multimedia i mobilność. Wolność czy smycz?*, red. A. Szewczyk, E. Krok, Szczecin.
- Zaczyński W.P. (1982), *Nauczanie wspomagane przez komputer w świetle zasad dydaktycznych*, „Ruch Pedagogiczny”, 2–3/1982.
- Zaczyński W.P. (1990), *Uczenie się przez przeżywanie. Rzecz o teorii wielostronnego kształcenia*, Warszawa.

**Jolanta Zielińska**

## **WYKORZYSTANIE KOMPUTERA W MODELOWANIU PROCESÓW POZNAWCZYCH**

### **1. Wprowadzenie**

Teoria rozwoju zakłada, że człowiek stanowi swoisty, autonomiczny układ, przetwarzający napływające doń informacje ze świata zewnętrznego, ale tylko te, które mają dlań znaczenie, powodują jego aktywność, w tym aktywność o charakterze poznawczym. Tradycyjne działania podejmowane w tym zakresie sprawiają, że implementacja zasady rozwoju jest trudna w realizacji, gdyż opiera się na indywidualnej jednostce, posiadającej ograniczony zasób wiedzy.

Zastosowanie komputera w zdobywaniu i wykorzystaniu już posiadanej wiedzy może być wielorakie. Umożliwia on tworzenie nowego, bogatego, różnorodnego środowiska informacyjnego, wprowadza nowe formy komunikowania się, wymusza niepozorowaną, ale faktyczną zmianę nauczania podającego na poszukujące. Komputer może być użyty w dwóch uzupełniających się kategoriach. Jako nowoczesne narzędzie pracy lub/i jako nowoczesny środek dydaktyczny, element szerszego systemu multimedialnego. W pierwszym przypadku pomaga on wykonać szybciej, wydajniej i efektywniej postawione zadanie, w drugim może ukierunkowywać i wspomagać procesy towarzyszące nabywaniu i przetwarzaniu wiedzy, ułatwiać i rozszerzać funkcje poznawcze. Tym samym zapewnia generatywne, konstruktywne przetwarzanie informacji i prowadzić do tworzenia wiedzy proceduralnej, o charakterze kontekstualnym. Ta funkcja wiąże się bezpośrednio z użyciem komputera jako narzędzia poznawczego [Siemieniecki 2002 : 88].

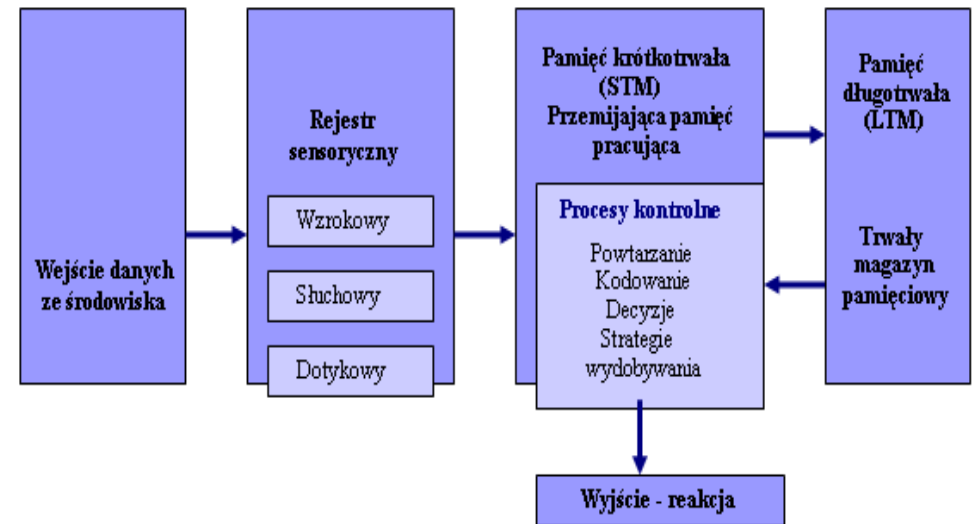
Wykorzystanie komputera jako narzędzia poznawczego, pozwala na modelowanie przebiegu wielu procesów poznawczych, takich przykładowo jak spostrzeganie informacji, ich wyobrażenie, zapamiętywanie, efektywne odzyskiwanie z pamięci, myślenie czy uczenie się, w którym wymienione wcześniej procesy biorą udział.

### **2. Teoretyczne podstawy wykorzystania komputera jako narzędzia poznawczego**

Podstawę teoretyczną wykorzystania komputera jako narzędzia poznawczego stanowi teoria zapisu i przetwarzania informacji. W swojej koncepcji po-

znawczej i badawczej opiera się ona na wynikach prac naukowych realizowanych na gruncie eksperymentalnej psychologii poznawczej i informatyki. Traktują one człowieka jako użytkownika języka symboli o ograniczonej pojemności ich przetwarzania i koncentrują się na analizie drogi informacji po postawieniu mu konkretnego zadania. Poznanie przebiega również w formie ograniczonej liczby procesów bazowych, które zachodzą w określonym czasie i porządku. Należą do nich rozpoznawanie, kodowanie, odszukiwanie, segregowanie, kategoryzowanie, tworzenie powiązań, koordynacja różnych informacji. Podejście teorii przetwarzania informacji do rozwoju opiera się na dwóch metaforach: wielomagazynowej i komputerowej [Vasta, Haith, Miller 2001 : 214].

Schematyczny model przetwarzania informacji prezentujący istotę omawianej teorii rozwoju poznawczego przedstawia rysunek 1.



**Rys. 1. Schematyczny model przetwarzania informacji** [źródło: Vasta, Haith, Miller 2001]

W prezentowanym modelu pomiędzy bodźcem zewnętrznym, czyli wejściem danych ze środowiska, a reakcją, czyli wyjściem zachodzi szereg procesów psychologicznych. Mają one miejsce w pamięci krótkotrwałej, operacyjnej, tzw. przemijającej pamięci pracującej. Przykładowo, jeśli bodźcem będzie nieznane słowo, to poprzez rejestr słuchowy, w którym jest utrzymywane bardzo krótko – około 1 sekundy – przejdzie ono do pamięci krótkotrwałej. W pamięci tej informacja jest aktywnie i świadomie przetwarzana, a czas jej przechowania, wynoszący przeważnie kilka sekund (do 30), może zostać wydłużony poprzez zastosowanie odpowiednich strategii. Następnie słowo zostaje przekazane na czas nieokreślony do pamięci długotrwałej, stanowiącej zasadniczy magazyn pamięciowy zasobu słów danego osobnika. W dalszej kolejności pozostaje opra-



cowanie takich strategii postępowania, które tak długo przechowują słowo w pracującej pamięci, by mogło być ono zakodowane na stałe w magazynie pamięciowym [Vasta, Haith, Miller 2001 : 218].

I tu wysoce przydatnym narzędziem staje się komputer, gdyż tak długo jak słowo obecne jest na ekranie komputera, przykładowo w formie prezentowanego desygnatu, ma ono szansę być utrzymywane w pamięci operacyjnej [Zielińska 2004 : 22].

Reprezentanci teorii przetwarzania informacji dążą do uchwycenia i opisanie uporządkowanego przepływu informacji przez system poznawczy człowieka do możliwie pełnego i dokładnego określenia tego, co dzieje się pomiędzy zewnętrznym bodźcem i zewnętrzną reakcją. Istotnym elementem doskonalenia sfery poznawczej staje się więc tworzenie i rozwój schematów przebiegu procesów poznawczych oraz zwiększony udział w nich procesu kontroli, w tym zarówno wykonawczej, jak i sprawdzającej [Meadows 1997 : 119]. W tym kontekście bardzo ważna staje się ilość, dostępność i organizacja informacji.

### **3. Rola komputera w modelowaniu procesów poznawczych**

Zastosowanie komputera do modelowania czynności poznawczych pozwala na wstępne ustalenie warunków przebiegu procesów poznawczych, a potem na ich podtrzymywanie poprzez algorytmiczne, zgodne z zasadami nauczania programowanego sterowanie działaniem poznawczym. Komputer pozwala na narzucenie toku postępowania, poprzez ustalenie algorytmu działania, w formie sekwencji kroków, czyli możliwego do powtórzenia schematu. Postawione zadanie musi mieć jasną strukturę i być przejrzyste zdefiniowane. W wyniku wielokrotnego powtarzania procedury jego rozwiązania następuje proces automatyzacji, zdarzenia równoległe wiążą się ze sobą, a śledzenie spójności i niespójności daje podstawy własnej kategoryzacji. Wymusza to zajście zmiany poznawczej. Automatyzacja obok kodowania informacji i konstruowania strategii stanowi jeden z trzech elementarnych mechanizmów zmiany poznawczej, charakterystycznej dla efektywnego procesu uczenia się. Pozwala bowiem na zwolnienie zasobów pamięci krótkotrwałej dla innych działań poznawczych, na efektywniejsze radzenie sobie z informacją [Zielińska 2004 : 23].

Teoria zapisu i przetwarzania informacji, stanowiąca podstawę teoretyczną omawianej problematyki, opiera się na metaforze komputerowej, która nawiązuje do faktu, że system poznawczy człowieka, podobnie jak komputer, przekształca różne dane wejściowe w różne dane wyjściowe w sposób systematyczny i inteligentny. Robi to wykorzystując różnego rodzaju informacje i zasady, które przechowuje. Komputer jako użyteczne narzędzie może być wykorzystywany na kilku poziomach rozważań. Najbardziej ogólny poziom to analogia opisu ludzkiego poznania. Zarówno ludzie jak i komputery przechowują reprezentacje,

symbole i stosują określone zasady, zmienne i modyfikowalne. Wykorzystują je do rozwiązywania problemów, robią to szybko, sprawnie i z konkretnymi ograniczeniami. Kolejny poziom to zastosowanie terminologii komputerowej jako specyficznego języka opisu. Na najbardziej szczegółowym poziomie komputery są wykorzystywane do programowej symulacji zachowań ludzkich. Jest to metoda badawcza stosowana w celu zrozumienia procesów poznawczych zaangażowanych w wykonywanie różnego rodzaju zadań. Przykładowo, w odniesieniu do języka próbę symulacji komputerowej zachowań ludzkich stanowiły rozbudowane programy komputerowe. Służyły one określeniu reguł językowych oraz zasad umożliwiających opanowanie języka przez małe dzieci w określonym przedziale czasu. Obejmowały też matematyczny i logiczny opis procesów decydujących o tym, że jest to możliwe. Modele te, choć odegrały istotną rolę badawczą, nie zyskały jednak pełnej akceptacji naukowej, gdyż były zbyt uproszczone i niekiedy sprzeczne z empirycznymi danymi [Vasta, Haith, Miller 2001 : 220].

Modele rozwoju poznawczego opracowane w ramach nurtu przetwarzania informacji są w większym stopniu niż piagetowskie, specyficzne dla poszczególnych obszarów rozwoju, łatwiejsze do weryfikacji, bardziej precyzyjne i pełniejsze. Tym samym zdecydowanie mniej ogólne. Modele te opierają się na przedstawionym wielomagazynowym modelu pamięci oraz komputerowych metaforach ludzkiego działania i na pojęciu informacji, wiadomości i komunikatu, co zostanie omówione w dalszej kolejności.

Zarówno pojęcie inteligencji, jak i funkcjonowanie procesów intelektualnych można rozpatrywać w czterech aspektach, przyjmowanych jako cztery poziomy przetwarzania informacji. Pierwszy to sprawność układu nerwowego, w sensie niezawodności i tempa transmisji impulsów nerwowych. Drugi to formalne właściwości przetwarzania informacji czyli szybkość mentalna. Trzeci poziom obejmuje strategie przetwarzania informacji w postaci wyboru właściwych składników procesu umysłowego i konstruowania odpowiednich do stawianego zadania struktur. Poziom czwarty to umiejętność oceny i kontroli [Nęcka 1992 : 34]. Wszystkie te poziomy są bardzo istotne z punktu widzenia usprawniania procesów poznawczych i na wszystkich może zostać zastosowany komputer jako poznawcze narzędzie modelująco-wspomagające.

#### **4. Proces przetwarzania informacji poza uwagą i świadomością**

Zdobywanie wiedzy jako skomplikowany proces mentalny posiada dwa składniki. Jeden to uczenie się świadome, działanie pamięci świadomej. Drugi uczenie się bez wiedzy, czego się faktycznie nauczyło, wykorzystywania nieświadomej wiedzy w rozwiązywaniu problemów. Istnieje problem ustalenia granicy percepcji informacji, obecności nieświadomego spostrzegania, rozróżnienia świadomego zapamiętywania informacji oraz podprogowego, czyli świa-

domych i nieświadomych aspektów działania pamięci, czy wydobywania z niej informacji [Underwood 2004 : 24].

Poruszana problematyka dotycząca utajonego poznania jest nowa, badawczo skomplikowana, wymaga odpowiednich studiów metodologicznych oraz potwierdzających je badań empirycznych i można określić, że jest w fazie rozwojowej. Wydaje się ona bardzo ważna z punktu widzenia modelowania procesów poznawczych z użyciem do tego celu komputera, Bowiem w tym przypadku problem oceny wyników świadomego i nieświadomego działania procesów poznawczych o oceny ich wyników bardzo się komplikuje. Chwilowy, pozorny brak informacji w polu świadomości nie musi oznaczać faktycznego jej braku w pamięci i może ulec w pewnych warunkach odblokowaniu. Proces ten może mieć charakter wewnętrznego przetwarzania informacji, przypominając zjawisko określane mianem antyzapominania lub wynikać z przyjętej w danym zadaniu procedury postępowania. Można przypuszczać, że odblokowanie informacji może mieć miejsce poprzez odpowiednio zorganizowany proces dydaktyczny, prowadzący m.in. do uruchomienia podczas uczenia się odpowiedniej strategii wewnętrznego przetwarzania informacji, właśnie z użyciem do tego celu komputera. Na co wskazują chociażby przytoczone wcześniej analogie. Stwarza to kolejną perspektywę badawczą, dotyczącą ambiwalencji działań twórczych-odtwórczych, postępowania algorytmicznego-heurystycznego, doboru materiału otwartego-zamkniętego oraz roli, jaką może ona spełniać w tworzeniu edukacyjnych i rewalidacyjnych programów komputerowych.

## **5. Dobór metody i treści nauczania a wykorzystanie komputera jako narzędzia poznawczego**

W pedagogice funkcjonuje kilka definicji pojęcia informacji. Zależy to od roli, jaką spełnia w danym, rozpatrywanym procesie pedagogicznym czy psychologicznym. Przykładowo za wiadomość uważana jest informacja o określonej treści lub informacja przyjęta świadomie przez ucznia i przechowywana w jego pamięci. W teorii komunikacji komunikat traktowany jest jak informacja i uważany za skończony zbiór słów zawierający tę informację. W teorii kształcenia komunikat to zakodowany znak umożliwiający wnioskowanie o procesach bezpośrednio nieobserwowalnych. Podsumowując można stwierdzić, że informacja to pewnego rodzaju nośnik wiadomości, służący do procesu poznania [Zielińska 2005 : 85].

Parametrami wiadomości jest zamknięta w całość wielkość treściowa, spójność treści i jej dynamika. W tym kontekście można zadać pytanie: jak zbudować informację zrozumiałą pod względem treści i taką, która wywoła przewidywane postępowanie [Siemieniecki 2002].

W określaniu wielkości treściowej bardzo często operuje się pojęciem wiadomości elementarnych, opisujących zjawisko z punktu widzenia jego jednej

cechy. To podejście stało się zresztą podstawą wyodrębnienia znaku, jako najmniejszej części wiadomości. W podejściu techniczno-cybernetycznym taka elementarna wielkość dawki informacji nazwana została bitem. Nie zdało to egzaminu w praktyce edukacyjnej, z uwagi na fakt, że umysł człowieka potrafi przywołać z pamięci znacznie większy potencjał informacyjny, niż wynikałoby z przekazanej lakonicznej wiadomości.

Podział materiału nauczania na mniejsze części jest charakterystyczny dla nauczania programowanego. Wielkość wiadomości określana jest w nim jako krok lub bramka i proponowane jest podzielenie materiału nauczania na powiązane ze sobą dawki, zwane porcjami. Podczas dzielenia materiału powinno się brać pod uwagę związki merytoryczne i logiczne, które zachodzą między każdą parą korespondujących ze sobą bodźców i reakcji.

Pozytywne znaczenie algorytmu w procesie kształcenia i w praktyce edukacyjnej jest niezaprzeczalne. Z reguły jest on uważany za niezawodny przepis określający skończony ciąg operacji, które należy kolejno wykonać, aby rozwiązać wszystkie zadania danej klasy.

Podczas procesu uczenia się bardzo często ma miejsce sytuacja problemu dydaktycznego. Rozwiązanie go nie jest prostym zadaniem. Działania w tym zakresie mogą zostać wsparte przez zastosowanie w procesie edukacyjnym odpowiednio oprogramowanego komputera, sterującego poprzez swoje techniczne możliwości w sposób pośredni myślowym i poznawczym procesem rozwiązywania problemu przez dziecko. Komputer ma wtedy zastosowanie jako narzędzie poznawcze, kształtujące umiejętności kognitywne systemu poznawczego.

W kontekście wyboru metody edukacyjnej i zastosowania w niej nowoczesnych rozwiązań technicznych bardzo istotne wydają się poczucie tzw. uczestnictwa osoby uczącej się w procesie edukacyjnym i wpływu tego faktu na jego przebieg. Praca z komputerem zdecydowanie wzmacnia te elementy. W obliczu problemów z nabywaniem wiedzy pojęcie uczestnictwa w procesie edukacji przyjmuje zdecydowanie nowy wymiar. Teoria uczestnictwa w zakresie pełnomocności uczestników procesu edukacyjnego wyrasta z założeń pedagogiki dialogu i pedagogiki emancypacyjnej i odgrywa szczególną rolę w pedagogice specjalnej [Zielińska 2005 : 91].

Dobór treści nauczania przewidzianych do realizacji podczas uczenia się i nauczania jest bardzo trudnym zagadnieniem, zarówno w sensie rozważań teoretycznych, jak i w praktycznej realizacji. Jak twierdzą przedstawiciele analizy systemowej procesu kształcenia, powinno odpowiedzieć się na pytania: kogo uczymy?, kto uczy?, po co uczymy?, czego nauczać?, jak ma się to robić?, za pomocą czego uczyć?, kiedy i jak długo ma trwać nauczanie?, gdzie się ma odbywać?, jak będą mierzone jego wyniki? Zasadnicze dwa pytania, na które należy odpowiedzieć, to: czego uczymy? i jak uczymy? Pozostałe pytania mogą mieć charakter wtórny i bazować na tych dwóch pytaniach zasadniczych, a właściwie

odpowiedzi na nie. Dopiero po stwierdzeniu: czego uczymy? i jak uczymy? można zająć się pytaniami: kto?, kogo?, po co?, za pomocą czego?, gdzie?, kiedy i jak długo?, czy jak mierzyć wyniki? [Zielińska 2005 : 93].

W procesie dydaktycznym wiadomości mogą przejawiać się w czterech zasadniczych formach [Konarzewski 2005 : 220]:

- wiadomości przewidzianych do prezentacji i dostarczonych uczniowi,
- wiadomości, które uczeń odebrał, odtworzył i poddał reorganizacji,
- wiadomości, które uczeń sam wytworzył dzięki rozwiązywaniu problemu,
- wiadomości znajdujących się w pamięci ucznia, które wpływają na to, co i jak dostrzega w wiadomościach dochodzących do niego podczas procesu uczenia się.

Prawidłowo skonstruowany program nauczania powinien wiązać materiał nauczania z czynnościami, które uczący się wykonuje i z celami, którym ma służyć [Konarzewski 2005 : 193]. Niewątpliwie uporządkowany materiał, w którym wiadomości są powiązane ze sobą zarówno logicznie i merytorycznie ułatwia uczenie się. Poniekąd zwalnia on uczącego się z konieczności poszukiwania połączeń między poszczególnymi partiami materiału.

Wiedza uzyskiwana podczas procesu uczenia się może zostać dołączona do wcześniej posiadanej lub służyć przebudowie aktualnego systemu wiedzy. Zachodzi więc zjawisko asymilacji lub akomodacji wiedzy, które stanowi jedno z założeń badań wykonanych na gruncie teorii zapisu i przetwarzania informacji. Biorąc pod uwagę przemiany znaczenia wiadomości, jakim podlegają w procesie dydaktycznym można przyjąć, że treści kształcenia to zbiór znaczeń wiadomości odebranych przez ucznia i wytworzonych przez niego w trakcie uczenia się [Konarzewski 2005 : 198]. Posiadają one trzy wyznaczniki: materiał nauczania, zmiany, jakie mają zajść i czynności wykonywane na materiale nauczania, dzięki którym te zmiany zachodzą.

W metodologii pracy edukacyjnej zakłada się, że prawidłowy dobór treści kształcenia powinien służyć rozwojowi zdolności, w tym twórczych i przystosowawczych. Realizacja praktyczna tej zasady wymaga zaangażowania w proces doboru treści nauczania wiedzy psychologicznej, w postaci odpowiednich teorii i koncepcji rozwoju umysłowego oraz inteligencji. Materiał nauczania powinien rozwijać umiejętności rozwiązywania problemów, przyspieszać rozwój operacji formalnych, stanowić podstawę działań ucznia wspierających i warunkujących rozwój jego zdolności umysłowych. W praktyce szkolnej teorie psychologiczne znajdowały odbicie jedynie w programach eksperymentalnych oraz w nauczaniu początkowym [Konarzewski 2005 : 220].

W nowoczesnym podejściu do problemu doboru treści nauczania wyróżnia się trzy podstawowe kryteria: interesu, merytoryczne oraz skuteczności dydaktycznej [Konarzewski 2005 : 225] Pierwsze z tych kryteriów jest powiązane z kształtującym się społeczeństwem informacyjnym, odzwierciedla aktualne założenia ustrojowe i ideologiczne. Człowiek ma zostać tak przygotowany do

przyszłego życia zawodowego i społecznego, aby umiał się w nim odnaleźć i odnieść sukces. Drugie kryterium, czyli merytoryczne, dotyczy konkretyzacji materiału nauczania i z reguły wymaga współpracy specjalistów z różnych dziedzin naukowych. W jego ramach powinny zostać określone podstawowe i rozszerzone wiadomości i umiejętności z danego zakresu naukowego. Analizowane są tzw. zachowania modelowe oraz ucznia typowego, w celu określenia, co wie i umie z przewidzianego zakresu nauczania. Opracowywana jest również kolejności prezentacji materiału, czyli jego układ, tak by zapewnić rozwój adaptacyjnych i kreatywnych zdolności ucznia.

Ostatnie z wymienionych kryteriów to kryterium skuteczności dydaktycznej, w myśl którego nadawanie materiałowi nauczania określonego porządku jest równie ważne, jak dobieranie go. Układ materiału nauczania, odpowiednio uporządkowanego, powinien sprzyjać skutecznemu uczeniu się, pozwalać na stosunkowo szybkie opanowanie wiedzy, dostarczać okazji do jej utrwalenia, sprzyjać integrowaniu jej w całości oraz ułatwiać wykorzystywanie podczas rozwiązywania teoretycznych i praktycznych problemów [Konarzewski 2005 : 225]. W ramach omawianego kryterium należy odpowiedzieć na pytania: kiedy, z punktu rozwoju dziecka wprowadzić daną wiadomość (temat)?, jaką strukturę nadać materiałowi?, jak rozłożyć proces uczenia się w czasie?

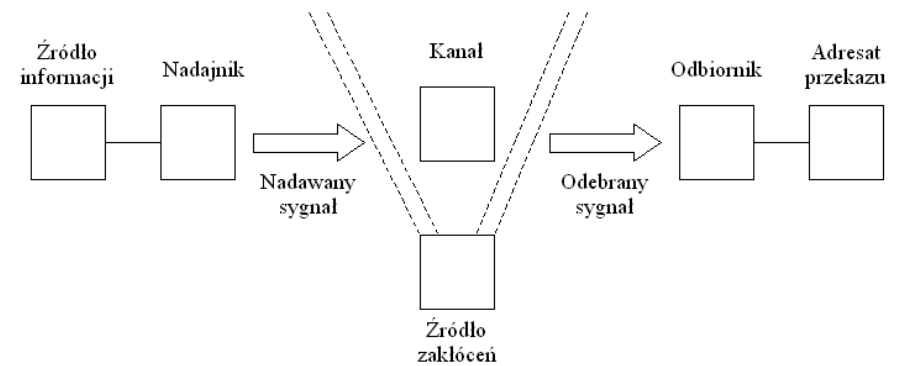
## **6. Model komunikacyjny dziecko – komputer**

Pojęcie modelu jest powszechnie stosowane, ale jednocześnie nadużywane zarówno w naukach humanistycznych, jak i społecznych. Niejednokrotnie jest to jedynie wzorzec lub cząstkowy schemat zjawiska, którego dotyczy. Różnica pomiędzy teorią a modelem jest zasadnicza, gdyż teoria jest wyjaśnieniem zjawiska, a model jedynie jego lepszą lub gorszą reprezentacją. Modele mogą być graficzne, słowne lub matematyczne. Zawsze stanowią one analogię zjawisk lub procesów, do których się odnoszą. Często są one uproszczone pojęciowo, mało sformalizowane, mają nikłe walory prognostyczne, posiadają jedynie wartości opisowo-objaśniające [Zielińska 2005 : 77].

Termin komunikowanie nie jest jednoznaczny. Może on przykładowo oznaczać transmisję, czyli przekazywanie informacji, idei, emocji, czy umiejętności lub rozumienie, bądź oddziaływanie. Można go rozpatrywać z punktu widzenia zjawiska interakcji, wymiany znaczeń pomiędzy ludźmi lub traktować jako składnik procesu społecznego. W tradycji cybernetyki, która stara się odkryć podobieństwa leżące u podstaw wszelkich procesów sterowania, komunikowanie oznacza wszelkie formy przekazu informacji, zarówno między ludźmi, jak i zwierzętami oraz maszynami [Shannon 1948 : 2]. W naukach socjologicznych ma miejsce zawężenie pojęcia komunikowania do przekazu pomiędzy ludźmi, natomiast w naukach humanistycznych do przekazu językowego.

Jeśli jest to proces dynamiczny, intencjonalny, podczas którego oddziałuje się na spostrzeżenia innych ludzi, wtedy jest w nim wykorzystywana mowa. Jest ona środkiem komunikowania naturalnym, bezpośrednim i spersonalizowanym oraz nietrwałym, gdyż zakłada jednoczesność mówienia i słuchania.

Z punktu widzenia przepływu informacji model procesu komunikowania w pedagogice może przyjąć najbardziej tradycyjną formę, w postaci triady: twórca-wytwór-odbiorca. W modelu tym nadajnikiem może być nauczyciel lub odpowiednio zaprogramowany komputer, pełniący jego rolę. Odbiornikiem jest oczywiście uczący się. Przepływowi informacji towarzyszy szum w postaci wpływu czynników zewnętrznych. W procesie nauczania mogą to być inni uczący się, czy hałas. Taka prezentacja procesu komunikacyjnego odpowiada adaptacji pedagogicznej modelu transmisji sygnału w układach technicznych, przedstawionego na rysunku 2 [Shannon 1948 : 2].



**Rys. 2 Model transmisji sygnału** [źródło: Shannon 1948]

W omawianym modelu proces transmisji sygnału rozpoczyna źródło informacji. W ten sposób tworzony jest przekaz, przekształcany następnie w sygnał przez nadajnik. Sygnał powinien być dostosowany do kanału prowadzącego do odbiornika, a ten rekonstruować przekaz z odebranego sygnału i dostarczać do adresata. Sygnał po drodze poddawany jest zakłóceniom, określanym jako szum. Działanie modelu Shannona zostało oparte o takie pojęcia jak pojemność i przepustowość kanału oraz kod.

W przypadku modelu komunikacyjnego nauczyciel – uczeń kodem będzie mowa ustna, a pojemność i przepustowość kanału to umiejętności zawodowe nauczyciela (kodowanie informacji) oraz możliwości indywidualne przyjmowania wiedzy przez ucznia (dekodowanie). W sytuacji adaptacji modelu do komunikacji komputer – uczeń zastosowanej w badaniach empirycznych prezentowanych w pracy, przekaz odbywa się na drodze wzrokowej. Komputer nadaje informacje zależnie od tego jak został zaprogramowany, uczeń przyjmuje tyle z nich, na ile pozwalają indywidualne możliwości w zakresie uczenia się, poprzez rozkodowanie w myśli i przyswojenie nadanej informacji [Zielińska 2005 : 79].

Prezentowany model posiada jedną zasadniczą, praktycznie dyskwalifikującą go w odwzorowaniu procesu edukacyjnego wadę. Nie ma w nim prezentacji interakcyjnego oddziaływania na siebie podmiotów procesu. Niezależnie, czy nadajnikiem jest nauczyciel, czy komputer zawsze ma miejsce akcja i reakcja w przekazie edukacyjnym, a nie czysto pasywny odbiór informacji i mechaniczne podłączenie ucznia do przyswajanej informacji. W modelu Shannona dążenie do nadmiernego uogólnienia zastosowania spowodowało zatracenie tak istotnych zmiennych, jak semantyczne, psychologiczne i społeczne. Został on oparty na przekazie mechanicznym, w pełni zaprogramowanym. Jedynym problemem badawczym jest w nim wierność tego przekazu, sprowadzona do poziomu dokładności technicznej, a to zbyt mało, by móc mówić o odwzorowaniu procesu edukacyjnego [Zielińska 2005 : 79].

Oprócz omówionego modelu Shannona zjawisko przepływu informacji podczas aktu komunikacji stało się podstawą konstrukcji kilku innych modeli, przykładowo modelu topologicznego, w którym po raz pierwszy wprowadzone zostało pojęcie przepływu wiadomości w akcie komunikacyjnym, działającego w oparciu o bramki kontrolujące i dozujące ilość informacji. Prezentuje go rysunek 3 [Lewin 1947 : 143].



**Rys. 3 Model komunikowania jako przepływu informacji** [źródło: Lewin 1947]

Wymienione modele komunikacyjne nie posiadają praktycznego zastosowania do odwzorowania zjawiska komunikacji w codziennej pedagogice. Wydaje się, że najbardziej odpowiednie podejście do tego problemu, przyjęte jako model dziecko–komputer w prezentowanych w książce badaniach empirycznych nad sprawnością oralną dzieci niesłyszących, prezentuje interdyscyplinarna grupa badaczy z Palo Alto (miasta w Kalifornii), składająca się z psychiatrów, terapeutów, psychologów i naukowców zajmujących się komunikacją. Zasłynęli oni w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku szeregiem studiów dotyczących psychopatologii komunikacji [Retter 2004 : 219].

Jednym z czołowych przedstawicieli tej grupy był Gregory Bateson. Zastosował on w podejściu do komunikacji zasady teorii systemów. Był zwolennikiem łączenia funkcji technicznych i biologicznych jako strukturalnie pokrew-



nych. Rozwinął też teorię gier, gdyż traktował komunikat jako grę. Był autorem tak ważnych pojęć, jak: aspekt treściowy, aspekt relacji, komunikacja analogowa, cyfrowa, a także komunikacja symetryczna oraz zgodna. Jego badania dały podstawy do skonstruowania przyjętego w pracach badawczych nad wykorzystaniem komputera jako narzędzia poznawczego modelu komunikacji dziecko–komputer, opartego na modelu komunikacji Paula Watzlawicka [Zielińska 2005 : 83].

Teoria komunikacji Watzlawicka została oparta na teorii systemowej i interdyscyplinarnych studiach z zakresu biologii, etnologii, antropologii kulturowej, językoznawstwa, logiki naukowej, cybernetyki i psychologii klinicznej. Powstał model komunikacyjny, w którym procesy komunikacyjne traktowane są jako system. Odgrywają w nim rolę takie pojęcia, jak [Retter 2004 : 221]:

- Całość – zachowanie pojedynczych osób zależy od zachowania wszystkich innych ludzi, wszyscy wywieramy wpływ na innych, a inni zwrótnie wpływają na nas.
- Efekt nadsumowania – struktury interakcji wewnątrz grupy są czymś więcej niż tylko cechami poszczególnych członków, wiele indywidualnych cech okazuje się elementami systemu grupy.
- Homeostaza – relacje wewnątrz grupy-systemu wykazują tendencję do utrzymywania się w stanie równowagi; pojedyncze wstrząsy są amortyzowane przez system. Podstawowym powodem uzyskiwania stabilności jest zasada ograniczającego działania każdej komunikacji, według której w procesie komunikacji każda kolejna wymiana przekazów zmniejsza liczbę następnym potencjalnych przekazów. Każda informacja wiąże się z reguły ze zmniejszeniem się niepewności i zwiększeniem stabilności, inaczej zaś jest w wypadku komunikacji zakłóconej.
- Redundancja, czyli nadmiar, ma miejsce wtedy, gdy przekaz w procesie komunikacji zawiera zbyt wiele, niejako powtarzające się elementy; nie są one konieczne dla przeprowadzenia procesu dekodowania, ale podczas zakłócenia komunikacji mogą stanowić decydujący punkt oparcia dla procesu dekodowania. Dotyczy to zarówno struktury zdań (redundancja syntaktyczna), jak i znaczenia pojęć i wypowiedzi (redundancja semantyczna), tym samym językowe i pozajęzykowe sygnały w procesie komunikacji tworzą jedność opierającą się na pragmatycznej redundancji, która wzajemnie zapewnia komunikantom poczucie bezpieczeństwa.
- Równość końcowa – polega na tym, że różne stany początkowe procesów komunikacyjnych mogą prowadzić do tego samego stanu końcowego. Ma to miejsce wtedy, gdy komunikacja nie jest procesem linearnym, ale przebiega w kolistym układzie zamkniętym. Oznacza to, że w samoregulującym się systemie przybierającym kształt zamkniętego koła wyniki, czyli zmiany stanu są bardziej zdeterminowane przez naturę procesu, niż stany początkowe. I odwrotnie, te same warunki wyjściowe mogą w wypadku dwóch systemów

doprowadzić do całkowicie różnych stanów końcowych. Analiza i terapia dotyczy jakości wzajemnych stosunków między członkami grupy, ograniczając się zasadniczo do ich relacji.

- Dostrojenie – określa się nim nastawianie systemu komunikacji, analogiczne do nastawiania regulatora termostatu na konkretną, zadaną wartość, przy czym standardami zachowania i normami społecznymi powinien kierować się każdy pojedynczy członek systemu.
- Sprzężenie zwrotne – oddziaływanie następstw danego stanu rzeczy (wydarzenia, procesu) na dalszy przebieg zdarzenia.

Omawiany model komunikacyjny stanowi samoregulujący się, zamknięty system sił i urządzeń używanych w celu otrzymania konkretnej, mierzalnej, zadanej wielkości, czyli parametru wiodącego, narażonej na zmiany, czyli zakłócenia i szumy. Urządzenie pomiarowe kontroluje osiągnięty stan faktyczny, a przy stwierdzeniu odchylenia od wartości zadanej regulator dostosowuje wartość rzeczywistą do wartości zadanej. Działa on więc na zasadzie sprzężenia zwrotnego [Retter 2004 : 224].

Przykładowo odnosząc wymienione cechy modelu komunikacyjnego Watzlawicka do modelu dziecko niesłyszące – komputer, zastosowanego do jego pracy nad sprawnością, oralną można stwierdzić, że spełnia on wszystkie jego aksjomatyczne założenia [Zielińska 2004 : 94]. Podczas pracy dziecka z komputerem powstaje samoregulujący się, zamknięty system. Jest oczywistym faktem, że nie ma to miejsca zawsze, ale jedynie w sytuacji użycia odpowiedniego oprogramowania, które pozwala na organizację pracy z komputerem, opartą o opisane w dalszej kolejności pojęcie sprzężenia zwrotnego oraz spełnia zasady dydaktyczne obowiązujące w procesie edukacji. Aby bowiem komputer mógł zostać uznany za środek dydaktyczny i narzędzie poznawcze musi w swym interakcyjnym działaniu z dzieckiem spełniać odpowiednie zasady. Dopiero wtedy może stać się przydatny w procesie nauczania – uczenia się i towarzyszącego mu sposobu myślenia prowadzącego do zauważania, rozumienia i rozwiązywania problemów [Siemieniecki 2002 : 85].

Wykorzystane w pracach badawczych nad sprawnością ortofoniczną dzieci niesłyszących oprogramowanie komputera, służące do wizualizacji sygnału o nazwie Speech Studio niewątpliwie spełniło te kryteria, co stanowi przykład potwierdzający stawiane hipotezy [Zielińska 2004 : 94]. Uzyskany podczas badań model komunikacyjny dziecko – komputer stanowił zamkniętą całość, charakteryzowała go znaczna redundancja, spowodowana nadmiarowością informacji zawartą w sygnale mowy i tych informacjach, które określały cechy danej umiejętności oralnej, których zrozumienie wystarczało dla uzyskania prawidłowej wypowiedzi. Stąd wynika kolejna cecha omawianego modelu dziecko – komputer, czyli równość końcowa. Dzieci niesłyszące rozpoczynały terapię mowy z różnych stanów ich mowy ustnej, co zostało stwierdzone podczas diagnozy początkowej, niemniej uzyskany efekt końcowy mógł być, i często był, podobny.

Działało to również w odwrotną stronę, gdyż te same warunki wyjściowe często prowadziły do uzyskania różnych stanów końcowych jakości mowy dzieci niesłyszących, zwłaszcza w sytuacji znacznego lub głębokiego uszkodzenia słuchu.

Samoregulacja i dążenie do stanu równowagi podczas pracy dziecka niesłyszącego z komputerem nad sprawnością oralną polegało na tym, że miało ono możliwość porównania aktualnego obrazu swojej wypowiedzi na ekranie komputera z prawidłowym, a więc zadaniem, narzuconym wzorcem, będącym w modelu Watzlawicka wartością zadaną. Najważniejszym momentem w modelu samoregulującego się systemu jest przekazanie informacji zwrotnej o różnicy pomiędzy wartością zadaną a wartością rzeczywistą do regulatora, który reaguje w odpowiedni sposób i utrzymuje system w stanie równowagi. Ma wtedy miejsce sprzężenie zwrotne. W modelu komunikacyjnym Watzlawicka nastąpiło przeniesienie modelu technicznego na procesy komunikacyjne. Stanowi on samoregulujący się, zamknięty, kołowy system, w którym relacje odbywają się w obrębie całości, jaką tworzą.

Dążenie do stanu równowagi w przeprowadzonych pracach badawczych polegało na tym, że dziecko podczas terapii głosu i mowy dźwiękowej miało możliwość porównania aktualnego obrazu swojej wypowiedzi z zadaniem wzorcem, będącym w modelu Watzlawicka wartością zadaną. To z kolei wpływało na jego działania poznawcze, ocenę zaistniałej różnicy, analizę, wyprowadzenie wniosków i korektę błędów emisyjnych.

W modelu Watzlawicka brane jest pod uwagę oddziaływanie środowiska zewnętrznego, w jakim funkcjonuje i jest w interakcji, czyli kontekst sytuacyjny i personalny, istniejący poza systemem. System stanowi całość, a jego elementy oddziałują na siebie oraz środowisko w postaci sprzężeń zwrotnych, badanych w oparciu o zasady analizy systemowej. W pracach badawczych miała miejsce podobna sytuacja, na układ dziecko – komputer oddziaływało środowisko zewnętrzne, przykładowo poprzez wskazówki pomocnicze nauczyciela terapeuty, czy obecność innych dzieci lub hałas. Zachodzące procesy miały swoją dynamikę, jedno dziecko wykonywało ćwiczenia wolniej inne szybciej, miały też kształt zamkniętego koła i przebiegały w formie pętli, której punktem wyjścia było, jak w modelu Watzlawicka, oddziaływanie zwrotne.

Używane pojęcie sprzężenia zwrotnego w odniesieniu do procesów komunikacyjnych oznacza, że zachowanie A nie tylko oddziałuje w pewien sposób na B, lecz reakcja B oddziałuje zwrotnie na A, wywierając wpływ na jego dalsze zachowanie [Retter 2004 : 220]. W modelu praktycznym odpowiadało to reakcji komputera na dokonaną przez dziecko ocenę własnej wypowiedzi i chęć podjęcia dalszej pracy i polegało na powtórnym wyświetleniu na ekranie wzorca ćwiczonej aktualnie wypowiedzi lub wzorca kolejnej, przewidzianej do ćwiczeń. Zależało to od postępów dziecka lub programowo określonej dla danej umiejętności oralnej, możliwej do uzyskania liczby powtórzeń.

Sprzężenia zwrotne w modelu Watzlawicka, który nawiązując do systemów technicznych nie zamyka drogi do zróżnicowanego rozumienia komunikacji, opierając się na cybernetycznych pojęciach: informacji, sprzężenia zwrotnego, redundancji, mogą być dodatnie lub ujemne. Sprzężenie ujemne jest ściśle powiązane z pojęciem homeostazy, czyli stanu spoczynku i odgrywa istotną rolę w tworzeniu i utrzymywaniu równowagi systemu. Sprzężenie dodatnie prowadzi do zmian i utraty stabilności lub równowagi. Istnieją mechanizmy zachowań, które można wykorzystać dla utrzymania stabilności systemu oraz takie, które mogą zakłócić istniejący stan równowagi. Analogiczne do opisanych były sytuacje możliwe do uzyskania podczas pracy dziecka z komputerem nad jego sprawnością oralną. Zasadniczo całość postępowania terapeutycznego powinna była doprowadzić do uzyskania wypowiedzi dziecka niesłyszącego zgodnej z narzuconym, prawidłowym wzorcem. Kolejno podejmowane próby prowadziły w tym kierunku na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego i uzyskania stanu równowagi w postaci identycznych obrazów wypowiedzi. Niemniej brak sukcesu na tym polu często wywoływał u dziecka niesłyszącego zniechęcenie do pracy, niestabilność zachowania i zamiast lepszych coraz gorsze wyniki. Miało wtedy miejsce sprzężenie zwrotne dodatnie, utrata stabilności systemu, a nawet zaprzestanie podejmowania dalszych wysiłków na tym polu [Zielińska 2004 : 123].

Przedstawione rozważania pokazują wyraźnie analogię pomiędzy modelem komunikacyjnym Watzlawicka a modelem komunikacyjnym dziecko – komputer. Należy jednak podkreślić, że analogia ta została wykazana na konkretnym, empirycznie sprawdzonym przykładzie pracy edukacyjnej dziecka niesłyszącego nad jego mową ustną, z użyciem do tego celu odpowiednio oprogramowanego komputera i zastosowaniem konkretnej metody edukacyjno-terapeutycznej [Zielińska 2004 : 136]. Posiada to swoje zalety praktyczne, niemniej nie zwalnia z obowiązku wykazania ostrożności w zakresie wyprowadzania zbyt daleko idących wniosków i stosowania modelu komunikacyjnego Watzlawicka w każdym procesie edukacyjnym, do każdej sytuacji komunikacyjnej dziecko – komputer. Chociaż wydaje się on najbliższy rozwiązaniom praktycznym z wszystkich przedstawionych modeli.

## **7. Podsumowanie**

Pozostaje niezaprzeczalnym faktem, że modelowanie procesów poznawczych zwłaszcza z wykorzystaniem do tego celu techniki komputerowej może stworzyć całkowicie nową jakość w procesie kształcenia i dać do rąk organizujących proces edukacyjny narzędzie o niespotykanej sile oddziaływania. Jego najogólniejszym celem jest bowiem zbliżenie procesu poznawczego do poznania bezpośredniego, poprzez zaprojektowanie, a nawet wymuszenie z użyciem komputera jego przebiegu. Tym samym można zapewnić jego prawidłowy przebieg,

co w przypadku procesów latentnych, czyli nieobserwowalnych w sposób bezpośredni jest praktycznie nieosiągalne tradycyjnymi metodami. Badania naukowe prowadzone na gruncie teorii zapisu i przetwarzania informacji, zajmując się dynamicznym przepływem informacji przez system poznawczy człowieka, mogą ten proces znacząco wspomóc. Pozostaje postawić pytanie czy edukacja w obecnym kształcie jest przygotowana do podjęcia tego typu działań. Wymaga to współpracy specjalistów ze skrajnie różnych dziedzin – od informatyki po psychologię. I właśnie taką współpracę należałoby postulować i to już w najbliższej przyszłości.

Niemniej problem jest wysoce skomplikowany i bardzo trudny badawczo. Możliwości teorii przetwarzania informacji w tym zakresie są duże. Jest to teoria stosunkowo młoda, bo dwudziestoletnia, aktualnie bardzo modna, mająca swoje zalety, ale i poważne wady. Należy do nich wąski i specyficzny zakres badań, ich sztuczna laboratoryjność, brak uwzględnienia kontekstu społecznego. Wymusza to potrzebę odpowiednio głębokiej refleksji teoretycznej i wielkiej staranności metodologicznej.

## Bibliografia

- Konarzewski K. (2005), *Sztuka nauczania. Szkoła*, Warszawa.
- Lewin K.(1947), *Channels of Group Life* [w:] „Human Relations” nr 1.
- Meadows S. (1997), *Rozwój poznawczy*, *Psychologia rozwojowa*, red. A. Colman, M. Bryant, Poznań.
- Nęcka E.(1992), *Poziomy przetwarzania informacji a pojęcie inteligencji*, [w:] *Różnice indywidualne: możliwości i preferencje*, red. J. Strelau, W. Ciarkowska, E. Nęcka, Warszawa.
- Retter H. (2004), *Komunikacja codzienna w pedagogice*, Gdańsk.
- Shannon C. E. (1948), *A Mathematical Theory of Communication*, „Beel System Technological Journal”, nr 3–4.
- Underwood G. (2004), *Utajone poznanie. Poznawcza psychologia nieświadomości*, Gdańsk,
- Vasta R., Haith M.M., Miller S.A. (2001), *Psychologia dziecka*, Warszawa.
- Zielińska J. (2004), *Diagnoza i terapia sprawności ortofonicznej dzieci z uszkodzeniem sluchu wspomagane techniką komputerową*, Kraków,
- Zielińska J. (2005), *Edukacja dzieci z uszkodzeniem sluchu w społeczeństwie informacyjnym*, Toruń.
- Zielińska J. (2005), *Komputer w rozwoju sprawności komunikacyjnej dzieci niesłyszących*, Toruń.

## **SYMULACJA KOMPUTEROWA W PROCESIE KSZTAŁCENIA**

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat coraz częściej proces edukacji wspomagany jest technologią informacyjną. Postęp naukowy, wzrost tempa wchłaniania technologii informacyjnej do polskiej edukacji, powszechność technologii informacyjnej w edukacji, dostępność do sieci komputerowych, możliwość korzystania z gotowych programów edukacyjnych, w tym symulacyjnych sprzyja wyrównaniu szans edukacyjnych dzieci i młodzieży ze środowisk miejskich i wiejskich. Komputerowe wspomaganie kształcenia stało się nieodłącznym elementem edukacji na różnych etapach kształcenia. Dla jednych użytkowników komputer zastępuje farbę i pędzel, dla innych może być maszyną do pisania czy kalkulatorem, dla innych środkiem dostępu do światowych baz danych, celem zdobycia potrzebnych informacji lub ich przetworzenia. Zwiększające się z roku na rok możliwości obliczeniowe komputerów sprzyjają tworzeniu programów komputerowych, które pozwalają na odtworzenie i przewidywanie przebiegu wielu zjawisk, procesów fizycznych lub działań pewnych układów, czy urządzeń na podstawie parametrów wejściowych. Powstała nowa dziedzina zastosowań komputerów – symulacja komputerowa. Komputer staje się nowym środkiem dydaktycznym, narzędziem pracy nauczyciela, a symulacja komputerowa nową metodą nauczania. Zastosowanie symulacji komputerowej w procesie kształcenia niesie wielkie nadzieje, jak również obawy.

### **1. Symulacja komputerowa i jej zastosowanie w edukacji**

Symulacja komputerowa ma zastosowanie wszędzie tam, gdzie analiza zdarzeń w rzeczywistych warunkach jest czasochłonna, utrudniona lub wręcz niemożliwa. Symulacje komputerowe w dydaktyce to nowoczesna metoda aktywnego nauczania się i uczenia, w której świat realny zamienia się w świat wirtualny celem zdobycia doświadczeń, zrozumienia funkcjonowania systemów i zjawisk. Celem symulacji jest pokazanie pewnego procesu od jego początku do końca, z możliwością zmiany jego parametrów wejściowych. Często wizualizacja przebiegu symulowanego procesu umożliwia decydom dokonywanie zmian w trakcie działania symulacji.

Symulacja komputerowa stosowana w dydaktyce charakteryzuje się następującymi cechami:

- ułatwia dokładne zrozumienie funkcjonowania systemów i zjawisk,
- możliwa do wykorzystywania zarówno do przekazywania, jak i usprawniania już posiadanych umiejętności,
- wszechstronność wykorzystania symulacji komputerowej (zarówno na przedmiotach ścisłych jak i humanistycznych),
- oszczędza czas.

Biorąc pod uwagę powyższe cechy, stawiane są następujące cele dydaktyczne symulacji komputerowej:

- zrozumienie istoty modelowanego zjawiska, funkcjonowania określonego systemu,
- ukształtowanie umiejętności w podejmowaniu decyzji związanej z badanym, obserwowanym zjawiskiem,
- ocena określonego, symulowanego zjawiska,
- możliwość ćwiczenia zdobytych umiejętności z określonej dziedziny,
- możliwość powrotu do zagadnień, których uczeń nie zrozumiał,
- oszczędność czasu.

Celem zastosowania symulacji komputerowej jest nie tylko ułatwienie uczniowi zrozumienia istoty modelowanego zjawiska, funkcjonowania określonego systemu, ale nauczenie podejmowania decyzji w określonych warunkach. Uczeń stając się motorniczym swoich działań przy określonych założeniach nabiera nowych umiejętności w podejmowaniu decyzji. Bardzo ważna w podejmowaniu decyzji jest ocena badanego zjawiska, porównanie go do zjawisk w świecie realnym. Dlatego możliwość ćwiczenia zdobytych umiejętności przez wszystkich uczniów w danej grupie oraz wspólna analiza badanych zjawisk, podejmowanych decyzji i ich rezultatów może przynieść pozytywny skutek dydaktyczny.

Atutem stosowania symulacji komputerowej w edukacji jest również wszechstronność jej zastosowań. Możliwe jest bowiem zastosowanie symulacji zarówno w przedmiotach ścisłych, jak i humanistycznych, choć w obu przypadkach podejście do symulacji będzie odmienne. Symulacja komputerowa w naukach ścisłych bazować będzie na liczbach, formułach matematycznych, w naukach humanistycznych na zdefiniowaniu złożonych relacji międzyludzkich, odczuć, wzorców zachowań. Ważne jest, by przekazać uczniom, że symulacje można zastosować na różnych przedmiotach, symulując działanie różnych modeli.

Szybkość zdobycia doświadczenia zbliżonego do tego, które w praktyce należałoby gromadzić przez wiele lat, to kolejny cel stosowania symulacji komputerowej w dydaktyce. Doświadczenia zdobyte przez uczniów wykorzystujących symulacje komputerowe powinny być zbliżone do doświadczeń w świecie realnym. Przewagą symulacji jest brak negatywnych konsekwencji podjętych decyzji, możliwość jej zmiany, bez ponoszenia konsekwencji. Ważne jest jednak, by uzmysłowić uczniom, że pomyłki błędnych decyzji w świecie realnym są często nie do naprawienia. Dlatego ważne jest, by **symulacje komputerowe pełniły rolę**

**wspomagającego środka dydaktycznego.** Dopiero w połączeniu z teoretyczną wiedzą przekazaną uczniowi na temat omawianych zjawisk, włączenie jej w praktyczne działanie oraz, jeśli to możliwe, poznanie zjawisk w rzeczywistości (np. proste doświadczenia fizyczne, chemiczne) sprawi, że włączenie symulacji w proces kształcenia przyniesie pozytywny skutek. Należy wziąć pod uwagę, by w procesie kształcenia symulacje komputerowe nie były rozpatrywane jako alternatywa dla tradycyjnego nauczania/uczenia się. Nauczyciel powinien kończyć lekcję z wykorzystaniem symulacji, „korzystając z tradycyjnego modelu nauczania, krytycznym omówieniem jej przebiegu, podejmowanych w jej trakcie decyzji i osiągniętych wyników” [Kruszewski 193 : 76].

## 2. Symulacja komputerowa jako metoda nauczania

Warunkiem osiągnięcia tych celów jest zmiana modelu nauczania, zorientowanego na osobowościowe cechy procesu dydaktycznego. Do cech tych zaliczyć można:

- cel – rozwijanie osobowości ucznia, kształcenie potrzeb i zdolności do samokształcenia, a także samookreślania się w różnych sytuacjach życiowych z uświadomieniem sobie osobistej odpowiedzialności,
- zdobywanie wiadomości, umiejętności i nawyków traktowane nie jako cel, ale środek osobowości ucznia,
- projektowanie procesu nauczania – uczenia się w oparciu o zależność: działalność-refleksja-wiedza [Jaskuła 1995 : 36].

W modelu tym ulega zasadniczej zmianie rola nauczyciela. Nauczyciel jako organizator procesu dydaktycznego zabezpiecza „warunki dla właściwego przygotowania wiedzy i umiejętności przez uczniów. Z kolei uczeń znajduje się <wewnątrz> środowiska poznawczego, w postaci podmiotu, zdolnego to środowisko przekształcać” [Jabłoński 2003 : 198]. Nauczyciel powinien posiadać zatem wysokie kompetencje, być otwartym na zmiany, posiadać umiejętności gromadzenia i przetwarzania nowych informacji, podejmować optymalne decyzje [Sałata 2007 : 213].

Wykorzystanie metody symulacji w procesie dydaktycznym jest celowe, gdy:

- analizie mają podlegać procesy wolno- lub szybkozmienne,
- bezpośrednia obserwacja zachowania się obiektu jest trudna lub niemożliwa,
- nie istnieją obiekty rzeczywiste,
- nie można przeprowadzić eksperymentu (systemy ekonomiczne),
- eksperyment na rzeczywistym modelu może zagrażać zdrowiu,
- rozwiązanie analityczne problemu jest zbyt trudne,
- są zbyt wysokie koszty przeprowadzenia eksperymentu,



- uczeń ma podjąć optymalną decyzję, wyciągnąć samodzielne wnioski [Piecuch 2008 : 38],

ale także, gdy:

- brak jest sprzętu, bazy materiałowej do przeprowadzenia realnego eksperymentu,
- efekty oczekiwanych zmian mają podlegać wspólnej analizie, korekcie, powtórzeniom i ocenie.

Dlatego **symulacje komputerowe nie mogą być stosowane jako panaceum na wyjaśnienie każdego zjawiska i w każdej sytuacji**. Nieumiejętne pokierowanie wykorzystaniem symulacji komputerowej może spowodować więcej szkód, niż korzyści w procesie edukacji. Należy zatem zastanowić się nad problemem właściwego wkomponowania symulacji komputerowej jako narzędzia i metody w treściach kształcenia, jakie uczeń powinien opanować. Jak zatem przekazywać uczniowi coraz więcej wiedzy i umiejętności, wykorzystując symulacje komputerowe? Punktem wyjścia przy odpowiedzi na to pytanie „musi być pogłębiona i dojrzała refleksja na temat miejsca i roli komputera w procesie nauczania i uczenia się. Brak takiej refleksji i brak metodologicznej podbudowy przy tworzeniu wielu programów dydaktycznych prowadzi z jednej strony do marnowania – poprzez nieumiejętne użycie – możliwości, jakie stwarza komputer w dydaktyce, z drugiej strony bywa przyczyną nadmiernie optymistycznych i przesadnie entuzjastycznych ocen jego roli i możliwości” [Strykowski 1996 : 167].

### 3. Symulacje komputerowe w aspekcie filarów kształcenia

W ostatnich latach ukazały się dwa ważne dokumenty międzynarodowe, które wzbogacają współczesną dydaktykę o nowe cele, treści, metody kształcenia. Dokumenty te, to „Biała księga Komisji Europejskiej – Nauczanie i uczenie się. Na drodze do uczącego się społeczeństwa” oraz Raport UNESCO pod redakcją J. Delorsa: „Uczenie się, nasz ukryty skarb”. W obu tych materiałach istotne są cztery filary współczesnej edukacji.

*Edukacja powinna przekazywać masowo i skutecznie coraz więcej wiedzy i umiejętności, które ewoluują, adekwatnych do kognitywnej cywilizacji, albowiem są one podstawą kompetencji jutra [Raport 1998 : 85]. W świetle wspomnianego Raportu i „Białej Księgi” cztery filary są podstawą edukacji przez całe życie: *uczyć się, aby wiedzieć; uczyć się, aby działać; uczyć się, aby żyć wspólnie; uczyć się, aby być.**

*Uczyć się, aby wiedzieć* – aby zdobywać narzędzie rozumienia. Symulacja komputerowa staje się narzędziem wiedzy, jako środek – uczyć się rozumieć

otaczający świat oraz jako cel – ponieważ istotą jego jest radość, jaką daje rozumienie, poznawanie i odkrywanie.

*Uczyć się, aby działać* – aby móc oddziaływać na swoje środowisko. Symulacja jest specyficzną sytuacją, w której uczeń może odgrywać role zgodne z rolami w świecie rzeczywistym. Nabywa tym samym różnych kompetencji, które pozwolą stawić czoło różnym sytuacjom oraz pracować w zespole.

*Uczyć się, aby żyć wspólnie* – aby uczestniczyć i współpracować z innymi na wszystkich płaszczyznach działalności ludzkiej. Uczestnicząc w modelach symulacyjnych uczeń rozumie i dostrzega współzależności istniejące w grupie, realizuje wspólne projekty i uczy się regulowania konfliktów.

*Uczyć się, aby być* – aby samemu decydować o słuszności podejmowanych działań w różnych okolicznościach życia. Osobista odpowiedzialność za decyzje podjęte podczas symulacji uczy działać roztropnie i z rozwagą.

Wymienione cztery filary edukacji oraz możliwości ich realizacji przy współudziale symulacji komputerowych nie są zakotwiczone w określonej fazie życia lub jednym miejscu. Symulacje komputerowe mogą wspomóc kształcenie zarówno najmłodszych uczniów, oferując im np. interaktywne klocki Lego, po starszych wiekiem użytkowników, oferując symulatory statków powietrznych, okrętów podwodnych czy czołgów. Można dokonywać prostej symulacji wydatków szkolnej wycieczki, można również prognozować podział miejsc w parlamencie, czy dokonywać obliczeń danej populacji. Analiza rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, badanie wytrzymałości konstrukcji, czy analiza obwodów elektrycznych; e-learning – nauka na odległość, czy symulator różnego rodzaju gier komputerowych; symulacja zjawisk fizycznych, biologicznych, medycznych po modele psychologiczne i społeczne – to wybrane zastosowania symulacji w edukacji. Prezentowane treści za pomocą symulacji komputerowych, wzbogacone multimediami, są atrakcyjne pod względem formy, stają się lepiej przyswajalne. Dodatkowo, dzięki stosowaniu symulacji komputerowych zwiększona zostaje szansa indywidualnego podejścia do nauczania, samodzielnej i aktywnej pracy ucznia. Przejawia się to także w stymulowaniu do samodzielnej pracy, do samokształcenia młodzieży [Raczyńska 2005: 10]. Biorąc pod uwagę **bogactwo ofert modeli symulacyjnych oraz cechy symulacji komputerowej można wysnuć hipotezę, że jest to obecnie jedno z najdoskonalszych narzędzi dydaktycznych w ręku ucznia i nauczyciela.** Natychmiastowa analiza skutków swojego działania, możliwość korekty oraz możliwość wyciągania wniosków – to cechy, które decydują, że uczeń może obok nauczyciela być sam moderatorem budowania struktury wiedzy. Jednocześnie wydaje się, że tak dla „nauczycieli, jak i uczących się, w zakresie samodzielnego zdobywania nowej wiedzy i pogłębiania wcześniej zdobytej, można odnieść (...) nieco zmodyfikowane przez W. Gogołka, cztery filary edukacji” [Musiał 2008 : 317]:

- „uczyć się, aby znać potencjał Sieci (wszystkie jego odcienie i możliwości wykorzystania),
- uczyć się, aby działać – krytycznie korzystać z jego potencjału,
- uczyć się, aby żyć wspólnie – umiejętnie korzystać z narzędzi wspomagających swobodny przepływ informacji,
- uczyć się, aby być aktywnym (niezdominowanym) w otoczeniu wszechobecnych technologii” [Gogołek 2007 : 121].

Zastosowanie symulacji komputerowych w edukacji to nie tylko wspomaganie klasycznych metod nauczania, ale również zupełnie nowe kształcenie multimedialne. To także nowe pozalekcyjne formy kształcenia i samokształcenia dzieci i młodzieży. To możliwość realizacji czterech filarów współczesnej edukacji: *uczyć się, aby wiedzieć; uczyć się, aby działać; uczyć się, aby żyć wspólnie; uczyć się, aby być* [Raport 1998 : 85]. „Szkoła w obecnych czasach musi nadążać za najnowszymi osiągnięciami technologii, w przeciwnym razie wykształceni młodzi ludzie będą mieli problemy z nadążaniem i odnalezieniem się w ciągle rozwijającym się społeczeństwie informacyjnym” [Kuźmińska-Sołśnia B. 2008 : 156].

#### 4. Wiarygodność symulacji komputerowej

Symulacje komputerowe mają swoją wartość, ale też i pewne negatywy. Do zalet należy między innymi:

- możliwość wyjaśnienia pewnych zjawisk, które występują w rzeczywistości, a w formie eksperymentu są niemożliwe bądź uciążliwe do wykonania, a tym samym ułatwienie zrozumienia istoty modelowanego zjawiska, funkcjonowania danego systemu;
- możliwość wielokrotnego eksperymentowania przez ucznia, co z jednej strony wzmacnia jego poczucie samodzielności i odpowiedzialności za wykonane działanie, a z drugiej strony umożliwia mu powrót do treści niezrozumiałych;
- niskie koszty w porównaniu z rzeczywistym eksperymentem;
- zmniejszenie czasochłonności wykonywanych działań w porównaniu z działaniami w świecie realnym.

Obok niezaprzeczalnych zalet, symulacje komputerowe nieumiejętnie stosowane zarówno przez uczniów, jak i nauczycieli mają również pewne negatywy. Niestety, coraz częściej zdarzają się sytuacje w szkołach, że nauczyciele chcąc zrealizować obszerny program nauczania danego przedmiotu rezygnują z eksperymentów w świecie realnym, kosztem pokazania danego zjawiska za pomocą symulacji komputerowej. Często podyktowane to jest również brakiem funduszy na realne doświadczenia. Negatywnym zjawiskiem jest traktowanie symulacji komputerowych na lekcjach jako element „nowości”, który nauczyciel kolekcjonuje w swoim dorobku celem zdobycia kolejnych stopni zawodowych.

Ze strony ucznia błędem jest natomiast bezkrytyczne zaufanie do prezentowanych wyników poprzez symulacje komputerowe. Przykładem mogą być komputerowe tłumaczenia. Automatyczne tłumaczenie tekstu to jedna z metod przetwarzania języka naturalnego. Niestety, złożoność języka naturalnego jest tak duża, że dotychczasowe programy tłumaczące teksty nie są zadowalające. Dla przykładu, jako tekst skuteczności programów tłumaczących autorka przeprowadziła eksperyment. Z użyciem programu tłumaczącego *Translate.pl* przetłumaczony został tekst z języka polskiego na język angielski, a następnie otrzymany tekst wyjściowy po angielsku z powrotem na język polski.

Tekst po polsku:

*Symulacje komputerowe w dydaktyce to nowoczesna metoda aktywnego nauczania się i uczenia, w której świat realny zamienia się w świat wirtualny celem zdobycia doświadczeń, zrozumienia funkcjonowania systemów i zjawisk.*

Przeład angielski:

*Computer malingering it teaching modern method of active instructing and teaching (learning), real world is converted (is exchanged; is turned into) in which (who) to virtual world purpose of conquest of experience, apprehension of functioning of system and phenomena.*

Przeład z powrotem na język polski:

*Komputer symulujący to w wykładaniu (nauczanie) współczesnej metody aktywnego udzielania instrukcji wykładający (uczący; wykładanie; nauczanie) (poznający (uczenie się dowiadujący się)), prawdziwy świat jest skonwertowany (jest wymieniany; Jest zamieniany w) w którym (kto (który)) do faktyczny (wirtualny) świat (światowy) cel zdobycia doświadczenia, aresztowanie (zrozumienie) funkcjonowania systemu i zjawisk.*

Próbie wielokrotnego tłumaczenia otrzymanego tekstu w wyniku eksperymentu i porównania efektu końcowego z oryginałem autorka pozostawia czytelnikowi.

Obecnie w sieci Internet coraz częściej pojawiają się programy wykorzystujące algorytmy sztucznej inteligencji do przetwarzania języka naturalnego. Niestety, podobnie jak w przypadku programów tłumaczących, efekt „rozmowy” z takimi programami jest niedoskonały. Przykładem może być fragment rozmowy z wirtualnym *Jakubem* w programie *SztucznaInteligencja.pl*.

*Autorka: co to jest symulacja komputerowa?*

*Jakub: dziękuję. Jeszcze raz serdecznie witam w SI i zapraszam do rozmowy na temat technologii*

*Autorka: co to jest symulacja komputerowa?*

*Jakub: naukowcy mówią, że wyposażenie komputerów w prawdziwą inteligencję jest tylko kwestią czasu. Jak myślisz ile to im jeszcze zajmie?*

*Autorka: nie odpowiedziałeś na moje pytanie*

*Jakub: być może, kto wie*

*Autorka: symulacja komputerowa*

*Jakub: to niemalże niepojęte, do ilu celów służy teraz komputer. A przecież ludzka wyobraźnia na pewno nie dotarła jeszcze do kresu swoich możliwości.*

*Autorka: czy symulacja komputerowa ma zastosowanie w edukacji?*

*Jakub: możemy tylko spekulować*

*..... na kolejne pytania Autorki: Symulacja komputerowa – podaj przykłady, Cechy symulacji komputerowej, Czy symulacja komputerowa ma zastosowanie w edukacji... rozmówca podaje tę samą odpowiedź:*

*Jakub: możemy tylko spekulować*

*Autorka: edukacja*

*Jakub: Człowiek całe życie się uczy. Banalne, ale prawdziwe. Nawet dla mnie.*

Dalsza rozmowa z komputerowym rozmówcą niestety, ale jest w tym samym tonie.

A oto fragment dwóch rozmów dotyczących technologii informacyjnej (TI) przeprowadzonych przez autorkę z tym samym wirtualnym rozmówcą na przestrzeni pół roku.

Maj 2009 rok:

*Autorka: czy TI ma zastosowanie w edukacji?*

*Jakub: raczej nie*

*Autorka: a dlaczego?*

*Jakub: po prostu tak jest. Tak po prostu*

*Autorka: a w przyszłości?*

*Jakub: nie wiem co przyniesie przyszłość. W gwiazdach widzę jednak jakąś perspektywę. One są wieczne [Raczyńska M.: 2009: 235].*

Wrzesień 2009 rok:

*Autorka: czy TI ma zastosowanie w edukacji?*

*Jakub: raczej nie*

*Autorka: a dlaczego?*

*Jakub: trudno powiedzieć. Ja nie potrafię podać powodu*

*Autorka: a w przyszłości?*

*Jakub: przyszłości nikt nie zna. Ale kiedyś wyślę algorytm przewidywania. Oprę go na założeniach rachunku prawdopodobieństwa. Hm... to się może udać. Jak myślisz?*

Mimo symulowania swojego nastroju i uczucia poprzez mimikę twarzy, układ rąk, wirtualny *Jakub* nie jest traktowany na równi z realnym rozmówcą. ChatBoty – programy komunikujące się w języku naturalnym z rozmówcą są jednak ciągle doskonalone i podobnie jak programy tłumaczące już w niedalekiej przyszłości mogą zdobyć wielką popularność zwłaszcza wśród młodych użytkowników komputerów. Popularność, która niejednokrotnie związana jest z bezgranicznym zaufaniem użytkowników tego typu symulacji komputerowych.

Niebezpiecznym zjawiskiem jest powielanie popełnionych błędów przez uczniów. Utrwalony błąd w pamięci ucznia trudno jest niejednokrotnie potem

wyeliminować, nawet poprzez zastosowanie najlepszych metod i narzędzi nauczania. Należy również pamiętać, „że odbiór informacji może być zniekształcony przez wiele czynników” (np. kompresja, archiwizacja, transmisja informacji, itp) [Varkoly L. 2008: 196], co również może deformować otrzymaną informację i bez prawidłowej korekty nauczyciela prowadzić w przyszłości do zniekształcenia odbieranych przez uczniów treści.

Warto zwrócić uwagę, iż w wielu przypadkach symulacje komputerowe traktowane są jako formy eksperymentowania na modelu komputerowym (symulacyjnym) dostarczającym odpowiedzi na pytanie, jak analizowany system będzie się zachowywał w danej sytuacji, w określonych warunkach, przy użyciu określonych parametrów. Otrzymane wnioski są adekwatne jedynie do badanych warunków. Ciekawość uczniów doprowadza jednak często do eksperymentowania poza określone np. normy, wzorce zachowań. Stworzone modele symulacyjne w sposób subiektywny obserwują procesy rzeczywiste i badane aspekty zachowań tych procesów, by później móc je wykorzystać do modelowania symulowanych zjawisk. Dlatego należy pamiętać, iż symulacja komputerowa jest tworzona na podstawie tego, co w chwili jej powstawania wiadomo było o danym zjawisku. W wielu przypadkach należy mieć szczegółowe i wiarygodne dane (w naukach humanistycznych obarczone są one niestety licznymi błędami). Często nie są uwzględniane bardzo istotne czynniki, które występują w świecie realnym. Symulacje komputerowe możemy stosować dla zjawisk, które znamy, potrafimy je opisywać, możemy dostarczać dane do obliczeń. Mimo coraz dokładniejszych obliczeń, istnienia komputerów o coraz większej mocy, rosnącej autonomii maszyn, doskonaleniu symulacji komputerowej o efekty wizualizacji właściwie symulator w stu procentach nigdy nie oddaje rzeczywistości.

W świetle wspomnianych w niniejszej pracy zalet, ale również i wad płynących ze stosowania symulacji komputerowych w edukacji, szczególnego znaczenia nabiera problem odpowiedzialnego kształcenia informatycznego. Problem ten dotyczy zarówno uczniów jak i nauczycieli. Wyzwaniem dla współczesnej edukacji powinno być jednoczesne ujęcie treści w programach nauczania, takich jak: informatyczne, etyczne, pedagogiczne, prozdrowotne, psychologiczne, czy socjologiczne, mające na celu z jednej strony wyrobienie wśród uczniów i nauczycieli nawyku stosowania komputerów, Internetu, symulacji komputerowych, aby nie zagrażały one zdrowiu młodym ludziom, z drugiej strony – ich kontaktom międzyludzkim oraz własnego, świadomego odbioru rzeczywistych faktów w realnym świecie. Zagadnienia wykorzystania symulacji komputerowych w procesie edukacji, odpowiedzialności za jej wykorzystanie w sposób zgodny z normami etycznymi i pedagogicznymi odgrywają ogromną rolę w życiu każdego ucznia i nauczyciela.

## **5. Zamiast zakończenia**

Mając na uwadze niewyczerpane zasoby dobrodziejstw technologii informacyjnej, w tym różnego rodzaju symulacji komputerowych, warto pamiętać, że **interaktywne narzędzia nie zastąpią bezpośredniego dotyku, zapachu, smaku, poczucia ciepła/zimna i aby rozwijać umiejętność podejmowania prawidłowych decyzji dzieci muszą uczestniczyć w codziennym, realnym życiu.** Wszędzie tam, gdzie to jest możliwe, obok symulacji komputerowych należy przeprowadzać eksperymenty w szkolnych pracowniach przedmiotowych z wykorzystaniem oryginalnych odczynników przy symulowaniu zjawisk fizycznych czy chemicznych oraz z udziałem uczniów przy analizowaniu np. różnych form zachowań w określonych sytuacjach problemowych.

Obok niekwestionowanych zalet wykorzystania symulacji komputerowych w procesie edukacji istnieje jednak pewne niebezpieczeństwo korzystania z tego medium. Symulacje komputerowe z jednej strony ułatwiają zrozumienie symulowanego zjawiska, działania określonego obiektu, z drugiej strony mogą stać się przykładem niewłaściwych działań, podejmowanych decyzji przez dzieci lub młodzież w życiu realnym. Przenoszenie komputerowych wyników działań symulowanego zjawiska do świata realnego staje się zjawiskiem niebezpiecznym zwłaszcza wśród młodego pokolenia. Niebezpieczne stają się zwłaszcza symulacyjne wojenne gry komputerowe, których fabuła jest niemal identyczna – obowiązuje jedna zasada: *Zabij albo Ciebie zabiją*. Gracz dostaje bonusowe premie za zabicie, pod postacią dodatkowej broni, dodatkowego czasu lub „dodatkowego życia” [Raczyńska M. 2005: 148]. Zwłaszcza gry wirtualne oraz dodatkowe urządzenia (helmy na głowy, kierownice, pedały, itp.) sprawiają, że gracze tracą poczucie rzeczywistości. Rzeczywistość wirtualna wiernie naśladuje nasze odczucie. Gracze często identyfikują się z bohaterami gier. Konsekwencją tego typu gier jest bezkrytyczne przenoszenie sytuacji z gier do rzeczywistego świata. Niebezpieczeństwo takie istnieje zwłaszcza wśród niedojrzałych emocjonalnie dzieci, które często zachęcane powodzeniem w świecie wirtualnym, nie chcą utracić zdobytego autorytetu przenoszą swoich bohaterów do świata realnego [Raczyńska M. 2005: 149].

Bezkrytyczne korzystanie z komputerowych tłumaczy, symulujących rozmowę z fachowcem w danej dziedzinie może zawęzić język naturalny rozmówcy do krótkich zdawkowych wypowiedzi, często odpowiedzi „komputerowego rozmówcy” bywają nieprecyzyjne lub błędne w kontekście zadawanych pytań, co może wprowadzać w błąd.

Przytoczone przykłady destrukcyjnych działań symulacji komputerowych wskazują na olbrzymią rolę nauczyciela. Dynamika postępu w narzędziach informacyjnych wymusza oryginalność i innowacyjność pracy nauczycieli. Wymusza również potrzebę wielkiej odpowiedzialności i racjonalności w stosowaniu symulacji komputerowych podczas procesu kształcenia. Potrzeba modernizacji i doskonalenia metod kształcenia pojawia się już od najwcześniejszych etapów szkolenia

młodego pokolenia. Zastosowanie symulacji komputerowych w edukacji to nie tylko wspomaganie klasycznych metod nauczania, ale również zupełnie nowe kształcenie multimedialne. To także nowe pozalekcyjne formy kształcenia i samo-kształcenia. Należy jednak pamiętać, że **wykorzystanie symulacji komputerowych w procesie kształcenia może stanowić „wzmocnienie instrumentalne” procesu edukacji, a nie jego zastąpienie.** Symulacje komputerowe zawierają w sobie ogromny potencjał edukacyjny, oczywiście pod warunkiem ich odpowiedniego wykorzystania.

Na zakończenie kilka liczb, które mówią o tym zagadnieniu. Wpisując do wyszukiwarki internetowej hasło *symulacja komputerowa w procesie kształcenia* otrzymamy około 76 500 linków do haseł z tym wyrażeniem. Czy to chwilowa fascynacja tym zagadnieniem, czy może przyszłość edukacji?

Symulacje komputerowe: nowe wyzwania, nadzieje. Jednocześnie należy je jednak „traktować jako swoiste ostrzeżenie przed zbyt pochopnym oddawaniem inicjatywy intelektu ludzkiego – maszynom” [Gogołek W. 2009 : 25].

## Bibliografia

- Gogołek W.: (2007), *Internet w edukacji zdalnej* [w:] *Informatyczne przygotowanie nauczycieli. Potrzeby, przemiany, perspektywy* (red.) J. Migdałek, M. Zając, Kraków.
- Gogołek W. (2009), *Kategorie komunikacji sieciowej* [w:] *Informatyka w dobie XXI wieku. Technologie informatyczne w nauce, technice i edukacji* (red.) A. Jastrzebow, Radom.
- Jabłoński W., Waclawek J., Wszelak S. (2003): *Komputer i Internet w pracy nauczyciela*, Toruń.
- Jaskuła B. (1995), *Projektowanie i zastosowanie dydaktycznych systemów komputerowych*, Rzeszów.
- Kruszewski K. (1993), *Nauczanie i uczenie się rozwiązywania problemów* [w:] K. Kruszewski (red.), *Sztuka nauczania – czynności nauczyciela*, Warszawa.
- Kuźmińska-Sołśnia B. (2008), *Multimedia alternatywnym źródłem informacji ucznia* [w:] *Dydaktyka informatyki. Multimedia w teorii i praktyce szkolnej*, (red.) W. Furmanek, A. Piecuch, Rzeszów.
- Piecuch A. (2008), *Edukacja informatyczna na początku trzeciego tysiąclecia*, Rzeszów.
- Varkoly L. (2008), *Niektóre moderné aplikácie informačných technológií* [w:] *Informatyka w dobie XXI wieku. Nowoczesne systemy informatyczne i ich zastosowania* (red.) A. Jastrzebow, Radom.
- Raczyńska M. (2005), *Gry komputerowe – a psychika dzieci*, Presov.
- Raczyńska M. (2005), *Internet w szkole w świetle badań gimnazjów regionu radomskiego*, Radom.
- Raczyńska M. (2009), *Sztuczna inteligencja w edukacji* [w:] *Informatyka w dobie XXI wieku. Technologie informatyczne w nauce, technice i edukacji* (red.) A. Jastrzebow, Radom.
- Raport (1998): *Edukacja. Jest w niej ukryty skarb*, red. J. Delors, Warszawa.
- Sałata E. (2007), *Motywy dokształcania i doskonalenia oraz samokształcenia nauczycieli* [w:] *Współczesne problemy pedagogii i edukacji*, red. E. Sałata, S. Ośko, Radom.
- Strykowski W., Zając A. (red.) (1996), *Media w kulturze, nauce i oświacie*, Tarnów.



## **Część druga**

### **NARZĘDZIA SYMULACYJNE**



## WIRTUALNE LABORATORIUM W DYDAKTYCE MECHATRONIKI

### Wprowadzenie

W kształceniu technicznym istotną rolę spełniają szeroko rozumiane w znaczeniu potocznym elektrotechnika, elektronika, mechanika, automatyka, informatyka, które wyznaczają kierunki współczesnych przemian cywilizacyjnych i wpływają równocześnie na rozwój innych dziedzin techniki. W XXI wieku dużym błędem metodycznym w kształceniu jest oddzielne rozpatrywanie wymienionych uprzednio dyscyplin techniki – wszak w praktyce i teorii oddziałują one bezpośrednio na siebie i pozostają ze sobą w ścisłych zależnościach. W procesie kształcenia zawodowego musimy je rozpatrywać spójnie w ujęciu interdyscyplinarnym. Urządzenia techniczne metodologia nauk technicznych analizuje obecnie w ujęciu mechatronicznym, wyznaczonym m.in. przez mechanikę, elektrotechnikę, elektronikę, informatykę i automatykę (rys. 1).



Rys. 1. Integracja różnych dziedzin nauki i techniki w dyscyplinie mechatronika  
[źródło: Olszewski 2007: 18]

Poprzez tak rozumiane podejście metodologiczne wyłonił się nowoczesny kierunek kształcenia technicznego, realizowany w technikach i uczelniach wyższych pod nazwą mechatronika. Samo słowo „**mechanika + elektronika**” pojawiło się pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku. Wprowadzili je Japończycy do opisu zastosowania elektroniki i techniki komputerowej w sterowaniu systemami mechanicznymi [Gawrysiak 1997: 9]. Obecnie nie istnieje jednoznaczna definicja mechatroniki. Wiele instytucji zawęża znaczenie terminu „mechatronika” do swoich specyficznych potrzeb, gdyż mechatronika jako interdyscyplinarna dziedzina techniki znajduje zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Jedną z najpopularniejszych definicji określa mechatronikę jako interdyscyplinarną dziedzinę nauki i techniki zajmującą się problemami mechaniki, elektroniki i sterowania programowalnego. Zgodnie z przyjętą przez Międzynarodową Federację Teorii Maszyn i Mechanizmów mechatronika jest synergiczną kombinacją mechaniki precyzyjnej, elektronicznego sterowania i systemowego myślenia przy projektowaniu produktów i procesów produkcyjnych [Olszewski 2007: 9].

Procesy projektowania i wytwarzania urządzeń mechatronicznych oraz ich eksploatacja są dość specyficzne, przez co nie ulega wątpliwości, że kształcenie mechatroników wymaga specjalnego podejścia metodycznego, niestosowanego dotychczas w dydaktyce konwencjonalnych dziedzin techniki, takich jak elektrotechnika lub mechanika. Ponadto literatura pedagogiczna wskazuje, że rozsądne wykorzystanie wszystkich dostępnych zasobów sprzętowych i programowych technologii informacyjnej jako elementów edukacji niezwykle uatrakcyjnia proces kształcenia. W praktyce pedagogicznej nauczyciel przedmiotów zawodowych w technikum często stawia pytanie: jakie i w jaki sposób nowe narzędzia technologii informacyjnej można najefektywniej wykorzystać w dydaktyce mechatroniki? Próba odpowiedzi na to pytanie stanowi cel niniejszego pracowania. Szczególny nacisk położony został na kwestię prowadzenia eksperymentu na odległość, co ostatnio, na równi z modelowaniem i symulacją, określane jest mianem laboratorium wirtualnego [Rak 2008].

## 1. Mechatroniczna koncepcja edukacji technicznej

Mechatronika zmieniła sposób myślenia i podejścia do zagadnień techniki i co najważniejsze, do nauczania nowych technologii. W edukacji szkolnej mechatronika stwarza szereg problemów o dużej skali trudności zarówno dla uczniów jak i nauczycieli z uwagi na ogrom wiedzy i umiejętności do przyswojenia i zastosowania, a także interdyscyplinarność zagadnień. Dydaktycy znanej firmy Festo zajmującej się m.in. szkoleniami kadr technicznych na świecie słusznie zauważają, że **konieczne jest nauczanie mechatroniki w oparciu o podejście systemowe**, ze zwróceniem szczególnej uwagi na funkcje, jakie

mają spełniać elementy składowe układu mechatronicznego, a nie ich wewnętrzną budowę [Internet 1]. Funkcje te są z reguły bardzo zróżnicowane, podobnie jak ich natura fizyczna, gdyż obejmują różnorodne zagadnienia, takie jak: sterowanie zewnętrzne, zasilanie, komunikację wewnętrzną i oprogramowanie komputerowe. W związku z tym wydaje się, że wymagania wobec ośrodków kształcenia w zakresie mechatroniki powinny być odmienne od tradycyjnych.

Mechatronika jest interdyscyplinarną dziedziną techniki, w której żadna z dyscyplin składowych nie jest dominująca – wszystkie one połączone są przez informatykę. Podejście do mechatroniki od strony technologii informatycznych jest usankcjonowane w terminologii – mechatronika ma ścisły związek z informatyką stosowaną (przemysłową), zaś technik mechatronik jest także nazywany informatykiem przemysłowym. Efektywne kształcenie specjalistów mechatroników, uwzględniające zarówno nowe obszary wiedzy, jak i nowe sposoby rozwiązywania problemów technicznych jest zadaniem dla edukacji zawodowej. Inżynier, technik, monter lub operator obrabiarek kształcony w zakresie mechatroniki nie może ograniczać zainteresowania tylko do określonych aspektów projektowania, wytwarzania, użytkowania maszyn i urządzeń – potrzebuje wiedzy i umiejętności z wielu dziedzin techniki. Wymogi takie tworzą zupełnie nową jakość kształcenia w systemie edukacji zawodowej. Jest ona szczególnie potrzebna szkolnictwu zawodowemu w Polsce, przeważnie niedoinwestowanemu technologicznie i z niską kulturą techniczną.

Aktualny plan nauczania dla zawodu technik mechatronik wprowadza w cyklu kształcenia następujące przedmioty zawodowe [Program nauczania technik mechatronik 2006]:

- podstawy mechatroniki,
- technologie i konstrukcje mechaniczne,
- urządzenia i systemy mechatroniczne,
- pracownia urządzeń mechatronicznych,
- język obcy zawodowy,
- zajęcia specjalizacyjne.

Przedmioty występujące w planie nauczania technikum mechatronicznego pozostają względem siebie w określonych zależnościach strukturalnych – występują między nimi korelacje międzyprzedmiotowe, a treści nauczania wszystkich przedmiotów wzajemnie się warunkują. **Szczególną rolę wśród wielu przedmiotów zawodowych należy przypisać podstawom mechatroniki.** Funkcją teleologiczną tego przedmiotu jest przygotowanie uczniów technikum mechatronicznego do uczenia się treści przedmiotów specjalistycznych, dla których „podstawy mechatroniki” są abecadłem i podłożem teoretycznym. Wynika stąd specyficzna i „usługowa” rola tego przedmiotu względem innych. System wiadomości i umiejętności uzyskany przez uczniów poprzez uczenie się podstaw mechatroniki ma doprowadzić do zrozumienia struktur układów elektrycznych, elektronicznych, pneumatycznych, hydraulicznych, procesów technologicznych

i różnorodnych zjawisk fizycznych im towarzyszących. Treści kształcenia przedmiotu „podstawy mechatroniki” wywodzą się z dziedziny nauk przyrodniczych i zawierają różne konstrukcje logiczne, jak: definicje, dowody, klasyfikacje, wyjaśnienia i opisy. Zawierają one w sobie elementy fizyki, matematyki i techniki.

Szczególną rolę odgrywa również w procesie kształcenia mechatroników **pracownia urządzeń mechatronicznych**. W odróżnieniu od pozostałych teoretycznych przedmiotów zawodowych proces uczenia się – nauczania w pracowni urządzeń mechatronicznych w zasadzie nie polega na przyswajaniu nowych treści, lecz opiera się na wiadomościach teoretycznych już uczniom znanych. Celem teleologicznym tego przedmiotu jest nie tylko praktyczne sprawdzenie drogą bezpośrednich działań technicznych praw, zależności i zasad podstaw mechatroniki oraz wyrabianie umiejętności działań technicznych, ale przede wszystkim zbliżenie ucznia do życia i jego przyszłej pracy zawodowej. Zajęcia w laboratorium urządzeń mechatronicznych są więc dla ucznia dosłownie szkołą rozwiązywania różnego rodzaju zagadnień technicznych. Rozwiązanie każdego problemu technicznego w laboratorium wymaga uprzedniego przygotowania i uporządkowania wiedzy teoretycznej z nim związanej. To uporządkowanie i przygotowanie wiedzy jest zadaniem przedmiotów „służebnych” – podstaw mechatroniki, technologii i konstrukcji mechanicznych oraz urządzeń i systemów mechatronicznych. Brak takiego przygotowania teoretycznego przekreśla z góry jakąkolwiek świadomą aktywność ucznia w trakcie uczenia się. W tym przypadku jest on jedynie biernym statystą, nierozumiejącym co, w jaki sposób i dlaczego wykonuje się w poszczególnych działaniach technicznych. Specyfika przedmiotu „pracownia urządzeń mechatronicznych” uzasadnia wprowadzenie na szeroką skalę metod problemowych, które stawiają ucznia od razu w sytuacji zbliżonej do tej, z jaką spotyka się najczęściej w życiu i w przyszłej pracy zawodowej. W ramach zajęć laboratoryjnych uczniowie wykonują ćwiczenia praktyczne z wykorzystaniem przyrządów, które uwzględniają komputerowe wspomaganie projektowania, prowadzenia badań i opracowania wyników pomiarów. Podczas takich zajęć uczniowie mają za zadanie przygotowanie swojego stanowiska pomiarowego, wykonanie pomiarów, opracowanie wyników i przygotowanie raportu w formie pisemnego sprawozdania.

Praktyka pedagogiczna autora pokazuje, że różnorodność treści przedmiotów mechatronicznych sprawia uczniom bardzo duże trudności percepcyjne, zaś przygotowanie uczniów do egzaminu zawodowego wymaga od nauczycieli wielkiego nakładu pracy i wysiłku, a przed dydaktyką mechatroniki stawia też nowe wyzwania. Zauważamy dotychczas niską efektywność kształcenia mechatroników na poziomie technikum, którą potwierdzają słabe wyniki egzaminów zawodowych przeprowadzanych przez Okręgowe Komisje Egzaminacyjne. W porównaniu do innych zawodów technicznych jest ona zdecydowanie mniejsza [Internet 2].

## 2. Szkolne laboratorium wirtualne

Bardzo często w języku potocznym pojęcie „wirtualny” jest odnoszone do sytuacji, gdy coś dzieje się nie w rzeczywistości, a wewnątrz komputera. Mówiąc o wirtualnym laboratorium, mamy na myśli – w uproszczeniu – pewne środowisko badawcze programowo-sprzętowe, które istnieje dzięki sieciom komputerowym. Spróbujmy przybliżyć i rozwinąć to pojęcie. W XXI wieku coraz większego znaczenia nabiera kształcenie na odległość realizowane z użyciem nowoczesnych technik internetowych, które umożliwiają m.in. prowadzenie eksperymentów przez Internet, czyli bez fizycznej obecności w laboratorium – także poprzez m-learning [Bischoff 2006]. Prowadzenie eksperymentu w wirtualnym laboratorium przez symulację lub zdalny dostęp do aparatury, zapewnia uczniowi zrozumienie istoty badanych zjawisk, zapoznanie się ze stosowanymi rozwiązaniami układowymi i technikami pomiarowymi [Szabłowski 2008]. Nowa generacja nauczania zdalnego charakteryzuje się przede wszystkim trójwymiarową przestrzenią wirtualną. Ważnymi elementami w tej przestrzeni są eksperymenty fizyczne i biologiczne oraz trójwymiarowe symulacje różnych procesów, także przebiegów technicznych i ekonomicznych, które wykonywane mogą być indywidualnie lub zespołowo [Meger 2008].

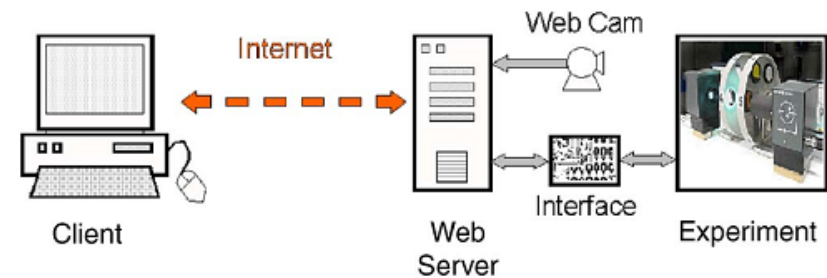
Zarówno w badaniach naukowych, pracach konstrukcyjnych, jak i w dydaktyce są szeroko i z sukcesem wykorzystywane różnego rodzaju symulacje i symulatory. W obszarze mechatroniki istnieją szerokie możliwości zastosowania programów symulacyjnych do realizacji eksperymentów technicznych. Narzędzia programistyczne służące do symulacji układów mechatronicznych pozwalają projektantom na szybkie prototypowanie, wizualizację oraz analizę złożonych urządzeń. Utworzone modele są często wykorzystywane później również w sprzętowych symulatorach HIL (*hardware-in-the-loop*) stosowanych podczas testów i szkoleń [Możaryn 2008]. W przypadku kształcenia na odległość eksperymenty symulacyjne są udostępniane w taki sam sposób jak pozostałe składniki elektronicznych opracowań metodycznych. Podstawowym medium i narzędziem do prezentacji opracowań metodycznych w przypadku zdalnego nauczania i samokształcenia jest Internet. W optymalnym rozwiązaniu laboratorium wirtualnego programy symulacyjne są udostępniane przez strony WWW i uruchamiane za pomocą przeglądarki bez konieczności uprzedniego instalowania i konfigurowania.

Podsumowując dotychczasowe rozważania, zdefiniujemy **wirtualne szkolne laboratorium mechatroniki** jako środowisko badawcze, programowo-sprzętowe wspomagające uczenie się-nauczanie, w skład którego wchodzi:

- aplikacje (witryny internetowe) umożliwiające prowadzenie eksperymentów zdalnych i symulacji komputerowych w przestrzeni wirtualnej sieci Internet (praca on-line);
- pakiety symulacyjne do pracy off-line,

– multimedialne opracowania metodyczne.

Architektura wirtualnego laboratorium może być różna w zależności od tego, do jakiego typu eksperymentów będzie używane. Wyróżnimy w nim elementy wspólne, które mogą lub nawet powinny występować w każdej konfiguracji i takie, które są specyficzne dla pewnego typu laboratoriów. Zazwyczaj częścią wspólną współczesnych laboratoriów jest dostęp przez Internet, w postaci strony WWW. Takie rozwiązanie sprawia, że główny warunek wirtualnego laboratorium, jakim jest dostępność z każdego miejsca i w dowolnym czasie jest spełniony. Każde wirtualne laboratorium jest oparte na specjalizowanym oprogramowaniu do wykonywania symulacji, analizy danych oraz wizualizacji procesów. Eksperymentator może na bieżąco, w trakcie trwania eksperymentu, obserwować wyniki badań i wpływać na jego przebieg. Dzięki wirtualnemu laboratorium nie jest istotne czy badacz znajduje się fizycznie w pobliżu stanowiska badawczego, czy też przeprowadza badania zdalnie z wykorzystaniem sieci Internet. Transmisja obrazu ze stanowiska badawczego odbywa się za pomocą kamery internetowej, połączonej z serwerem danych strumieniowych (rys. 2).



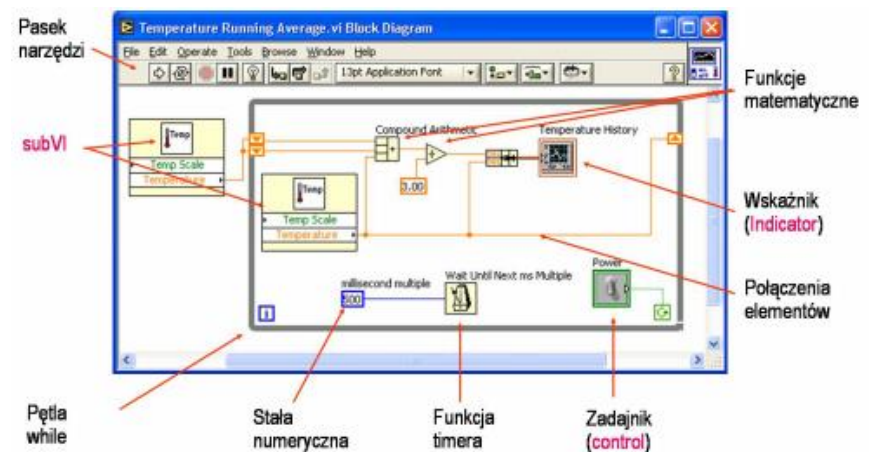
**Rys. 2. Eksperyment zdalny w laboratorium wirtualnym** [źródło: Gröber 2008 : 14]

Istotnymi komponentami wirtualnego laboratorium są przyrządy wirtualne. **Przyrząd wirtualny** jest rodzajem inteligentnego urządzenia będącego połączeniem odpowiednio dostosowanego sprzętu pomiarowego z komputerem ogólnego przeznaczenia i przyjaznym dla użytkownika oprogramowaniem, które umożliwia współpracę z komputerem na zasadach takich, jakby obsługiwano tradycyjny przyrząd autonomiczny [Rak 1999]. Główną zaletą takiego rozwiązania jest elastyczność wynikająca z faktu, że o funkcjonalności urządzenia decyduje głównie oprogramowanie. Pewną grupę przyrządów wirtualnych stanowią same w sobie graficzne środowiska programowe. Nie wyróżnimy w nich nie tylko przyrządu pomiarowego, ale nawet żadnego jego elementu. Przyrząd od początku do końca został stworzony z wykorzystaniem programu. Dane pomiarowe do takiego przyrządu mogą pochodzić z plików dyskowych utworzonych podczas rzeczywistych pomiarów na odległym stanowisku pomiarowym. Znal-



zły one szerokie zastosowanie do prezentacji symulacji procesów fizycznych, a ze względu na stosunkowo niski koszt są niezwykle przydatne w dydaktyce. Tworzenie przyrządów wirtualnych może być realizowane na dwa sposoby [Dobrowolski 2004]: Pierwszy sposób polega na pisaniu od podstaw programu obsługi przyrządu systemowego lub karty pomiarowej przy wykorzystaniu języków wysokiego poziomu (Pascal, C ). Drugi sposób – bardzo wygodny – opiera się na wykorzystaniu dużych środowisk programowych, które integrują w sobie funkcje sterowania pracą systemu, gromadzenia i przetwarzania danych pomiarowych oraz prezentacji wyników. Środowiska takie oferują ponadto graficzne języki programowania wyższego rzędu, różnego rodzaju edytory, a także rozbudowane mechanizmy wspomagające i upraszczające obsługę aparatury pomiarowej i ułatwiające pisanie własnych programów sterujących pracą całego systemu.

Takie pakiety programowe nazywane są **zintegrowanymi środowiskami pomiarowymi**. Na rynku istnieje kilka takich pakietów. Najbardziej znany jest LabVIEW jako produkt firmy National Instruments [Internet 3; Tłaczała 2002]. Inny program Agilent Vee autorstwa firmy Agilent Technologies, podobnie jak LabVIEW, umożliwia tworzenie programu przy użyciu symboli graficznych. LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) jest nowoczesnym narzędziem stosowanym do oprogramowania systemów pomiarowych. Integralną częścią środowiska LabVIEW jest graficzny język programowania, nazywany jako język G. W odróżnieniu od klasycznych języków programowania (Pascal lub C) LabVIEW tworzy program w postaci diagramu, na którym poszczególne operacje przedstawione są w postaci symboli połączonych zgodnie z przepływem danych (rys. 3).



Rys. 3. Aplikacja w programie LabView [źródło: Internet 4]

Język graficzny w znacznym stopniu ułatwia tworzenie przez użytkownika żądanych aplikacji. Środowisko programowania LabVIEW z powodzeniem może służyć opracowaniu materiału ilustracyjnego wspomagającego zrozumienie istotnych zagadnień z metrologii.

Wirtualne laboratoria pomiarowe są w ostatnich latach przedmiotem zainteresowania wielu instytucji naukowych i uczelni [Internet 5; Internet 6; Internet 7; Internet 8]. System zarządzania naukowym laboratorium wirtualnym zapewnia autoryzowanemu użytkownikowi pełną kontrolę nad procesem badawczym: oddziaływanie na obiekt, regulację nastaw aparatury, bieżący odczyt i wizualizację wyników pomiarów i obserwację stanu obiektu z wykorzystaniem kamer internetowych. Równoległe ze zdalną realizacją ćwiczeń w rzeczywistym laboratorium, bardzo istotną rolę w edukacji odgrywają **eksperymenty symulacyjne**. W laboratorium wirtualnym przeprowadzamy badania modeli obiektów skonstruowanych programowo przy wykorzystaniu wirtualnych przyrządów pomiarowych, a także wykorzystamy przyrządy wirtualne wzorowane na przyrządach autonomicznych i rozwiązania dedykowane dla konkretnych zastosowań.

### 3. Mechatroniczne laboratorium wirtualne

Organizacja kształcenia technicznego w koncepcji mechatronicznej bazuje przede wszystkim na odpowiednio wyposażonych pracowniach w postaci laboratorium wirtualnego i rzeczywistego. Oferowanie obecnie w tym celu oprogramowanie, np. przez firmę Festo Didactic [Internet 1] jest bardzo drogie i wymaga dużego wsparcia finansowego. Dostarczane przez firmy profesjonalne urządzenia umożliwiają tworzenie specjalistycznych pracowni w zakresie mechatroniki procesów przemysłowych, samochodowej, ochrony środowiska, obróbki skrawaniem i wielu innych. We współczesnych laboratoriach technicznych i fizycznych standardem jest używanie skomputeryzowanych urządzeń pomiarowych, komputerów i sieci Internet w celu sterowania, przesyłania danych i prowadzenia eksperymentu. Mechatronika cechuje się bardzo dużym znaczeniem eksperymentu wspomaganego komputerowo w procesie dydaktycznym. Wysokiej jakości aplikacje internetowe, pakiety symulacyjne off-line i multimedialne opracowania metodyczne przeznaczone do wykorzystania w szkolnym, wirtualnym laboratorium mechatroniki **muszą zawierać elementy interaktywne** pozwalające na samodzielne eksperymentowanie przez ucznia w trakcie wykonywania ćwiczeń. Zgodnie z programem nauczania dla zawodu technik mechatronik [Program nauczania technik mechatronik 2006] wirtualne laboratorium mechatroniczne, wspólnie z laboratorium rzeczywistym, powinno zapewnić realizację interdyscyplinarnych treści kształcenia w zakresie:

- elektrotechniki i elektroniki,
- energoelektroniki i napędu elektrycznego,

- techniki regulacji analogowej i cyfrowej,
- robotyki,
- sterowników programowalnych,
- obrabiarek sterowanych numerycznie,
- pneumatyki i elektropneumatyki,
- hydrauliki i elektrohydrauliki.

### 3.1. Aplikacje internetowe

W tym podrozdziale prezentujemy istotne komponenty mechatronicznego laboratorium wirtualnego, którymi są aplikacje internetowe służące prowadzeniu eksperymentów zdalnych i symulacji on-line. Ich charakterystyczną cechą jest ogólnodostępność, bezpłatność i brak zabezpieczeń do stron WWW. Ilość tych aplikacji nie jest znaczna, można za ich pomocą zrealizować tylko wybrane treści kształcenia – głównie z podstaw elektrotechniki i elektroniki. Omawiane zasoby sieciowe mają istotną zaletę – stanowią otwarte zasoby edukacyjne Internetu, które wykorzystamy do wspomagania procesu dydaktycznego w technikum mechatronicznym.

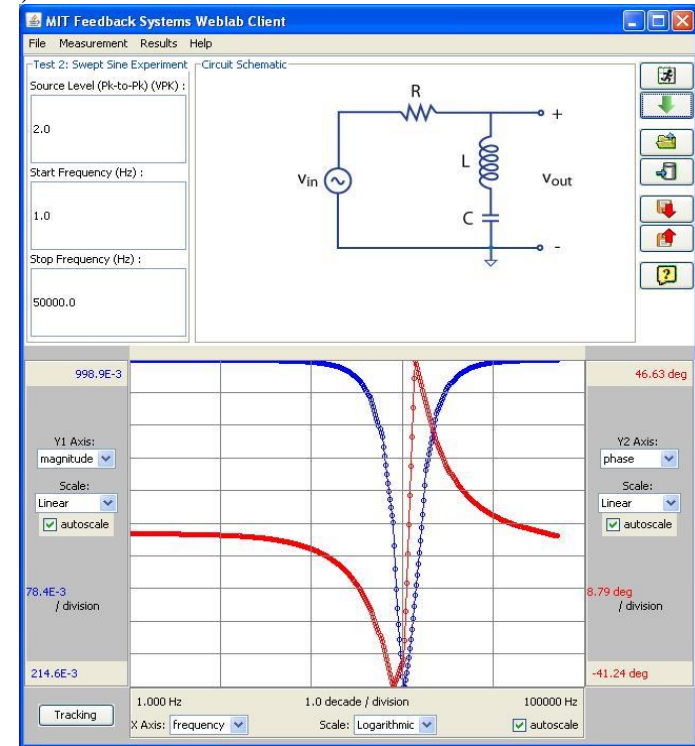
Jedną z najbardziej prestiżowych uczelni technicznych świata Massachusetts Institute of Technology (MIT) w Cambridge (USA) udostępnia w Internecie swoje materiały edukacyjne jako otwarte kursy e-learningowe, zaś wirtualne laboratoria są składnikiem wybranych kursów. Dostęp do laboratorium jest zupełnie niezależny od uczestnictwa w kursie – wymagana jest jedynie autoryzacja użytkownika (login, hasło). Obsługa laboratorium odbywa się w języku angielskim. Dla naszych potrzeb wykorzystamy laboratorium mikroelektroniki MIT [Internet 9], do którego mamy podgląd z kamery (rys. 4).



Rys. 4. Badany układ w laboratorium MIT [źródło: Internet 9]

Wykonamy w nim eksperymenty z zakresu badania diody prostowniczej, diody Zenera i Schottky'ego, tranzystora bipolarnego i MOSFET oraz wzmac-

niacza operacyjnego, sporządzimy charakterystyki częstotliwościowe elementów RLC (rys. 5).



**Rys. 5. Charakterystyki częstotliwościowe obwodu RLC** [źródło: Internet 9]

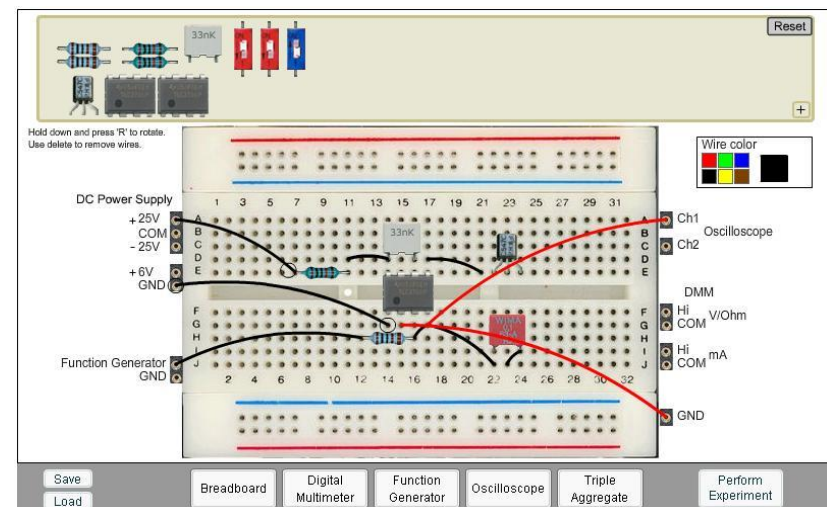
Wykorzystamy także symulator układów elektronicznych na bazie oprogramowania WinSpice. Do każdego ćwiczenia w laboratorium opracowano instrukcję w języku angielskim.

Kolejne laboratorium elektroniczne w języku angielskim i szwedzkim to OpenLabs Electronics Laboratory [Internet 10].



**Rys. 6. Laboratorium OpenLabs Electronics Laboratory** [źródło: Internet 10]

W laboratorium mamy do dyspozycji wirtualną płytkę montażową, na której wykonamy połączenia między elementami układu elektronicznego. Biblioteka elementów zawiera układy scalone, rezystory, kondensatory, cewki, diody, tranzystory, mikrołączniki (rys. 7). W bibliotece przyrządów pomiarowych znajdują się: multimetr cyfrowy, analogowy oscyloskop dwukanałowy, generator funkcyjny i zasilacz regulowany. Przeprowadzenie badań w laboratorium wspomagają przykładowe prezentacje multimedialne Flash. Eksperyment i jego wyniki zapiszemy do pliku.



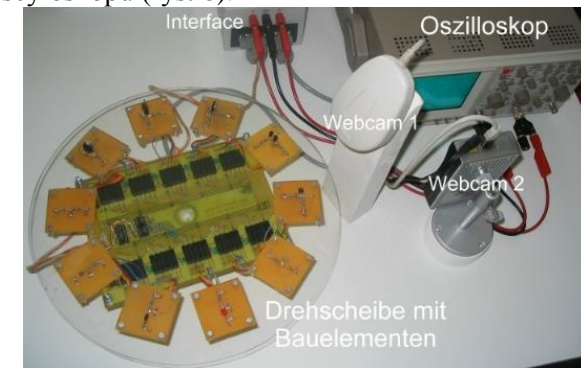
**Rys. 7. Wirtualna płytka montażowa** [źródło: Internet 10]

Obsługa laboratorium jest bardzo prosta i sprowadza się do:

- wybrania odpowiednich elementów z biblioteki,
- rozmieszczenia ich na płycie montażowej,

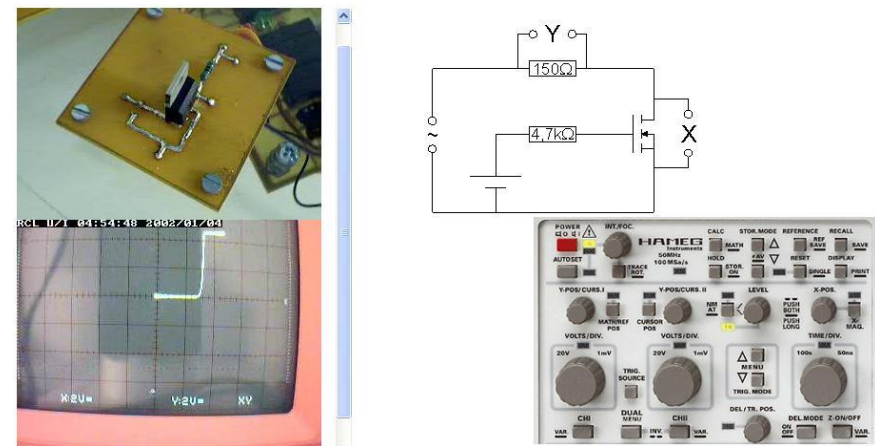
- połączenia elementów,
- konfiguracji przyrządów pomiarowych i wykonania pomiarów.

W praktycznym uczeniu się mechatroniki wykorzystamy także wirtualne laboratorium fizyczne Uniwersytetu Technicznego w Keiserslautern (Niemcy) obsługiwane przez języki: niemiecki, angielski, francuski i włoski [Internet 11]. Dostęp do laboratorium nie wymaga rejestracji i logowania. W kształceniu mechatroników na uwagę zasługują ćwiczenia dotyczące badania oscyloskopu (niem. Oszilloskop) i elementów półprzewodnikowych (niem. Halbleiterkennlinien). Komponenty laboratorium w ćwiczeniu „Halbleiterkennlinien” zawierają elementy półprzewodnikowe umieszczone na obrotowej tarczy, której położeniem możemy zdalnie sterować, a także dwie kamery przekazujące podgląd badanego układu i oscyloskopu (rys. 8).



**Rys. 8. Układy elektroniczne w laboratorium** [źródło: Internet 11]

Zakres badań jest dość szeroki – sporządzimy charakterystyki prądowo-napięciowe diody prostowniczej, Zenera, LED, tranzystorów bipolarnych i unipolarnych, tyrystora, diaka i triaka oraz zaobserwujemy je na oscyloskopie (rys. 9).

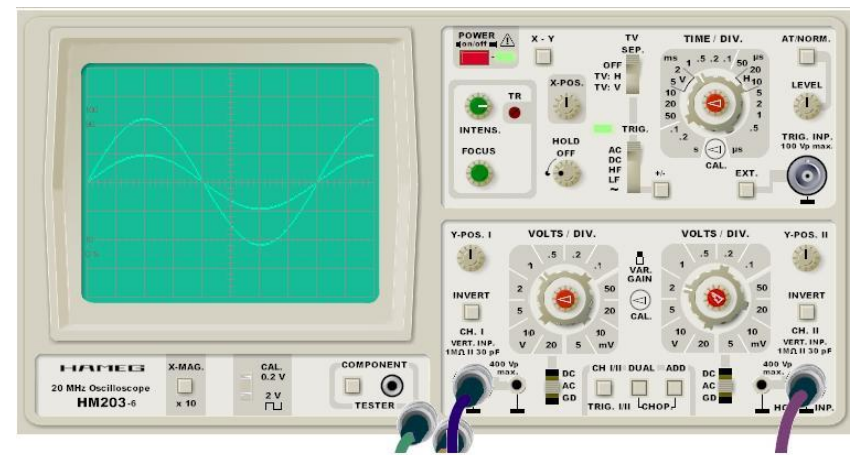


Rys. 9. Badanie tranzystora unipolarnego [źródło: Internet 11]

Zauważamy na stronie WWW doskonałe opracowania metodyczne ćwiczeń. Do każdego ćwiczenia uczeń otrzymuje hipertekstową instrukcję zawierającą:

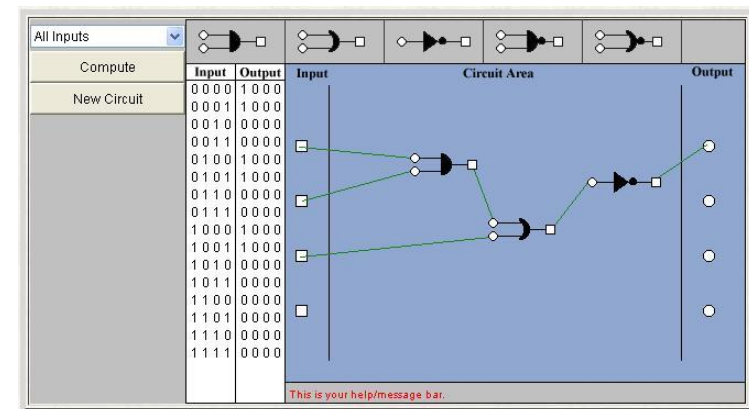
- wprowadzenie do ćwiczenia,
- opis elementów i przyrządów pomiarowych,
- podstawy teoretyczne badanego zjawiska,
- opis przebiegu eksperymentu,
- zadania do rozwiązania,
- przykłady opracowania wyników pomiarów wraz z wnioskami,
- materiały pomocnicze rozszerzające treści kształcenia.

W laboratorium Wirtualny Oscyloskop (język angielski i niemiecki) poznamy podstawy obsługi oscyloskopu oraz przeprowadzamy pomiary z jego wykorzystaniem [Internet 12]. Na stronie WWW pojawia się nam obraz rzeczywistego oscyloskopu z sondami pomiarowymi (rys. 10). Uczenie się wspomaga podręcznik hipertekstowy.



Rys. 10. Oscyloskop wirtualny [źródło: Internet 12]

Z podstawami elektroniki cyfrowej zapoznamy się w laboratorium Logic Circuits w Johns Hopkins University (Baltimore USA). Wykonamy w nim symulacje on-line prostych układów kombinacyjnych z bramek logicznych [Internet 13]. Symulator posiada edytor, za pomocą którego stworzymy schemat układu. Analiza zaprojektowanego układu dostarcza nam funkcji logicznych w postaci tabelarycznej (rys. 11).



Rys. 11. Symulator układów kombinacyjnych [źródło: Internet 13]

W laboratorium Robotic Arm Control w Johns Hopkins University wykonamy także symulacje sterowania ramieniem robota przemysłowego.

### 3.2. Pakiety symulacyjne off-line



Katalog oprogramowania symulacyjnego off-line przeznaczony do kształcenia mechatroników jest bardzo obszerny i zawiera pakiety przeznaczone do badań symulacyjnych w interdyscyplinarnych obszarach mechatroniki. Przedstawione poniżej aplikacje stanowią podstawowy i większościowy składnik szkolnego wirtualnego laboratorium i są to przeważnie bardzo drogie produkty komercyjne.

Spośród wielu pakietów symulacyjnych do nauczania elektrotechniki i elektroniki na szczególną uwagę zasługują programy Electronics Workbench (EWB) oraz jego nowsza wersja Multisim firmy National Instruments Corporation [Internet 14]. Pakiety są wirtualnym narzędziem umożliwiającym budowę i symulację obwodów elektrycznych, elektronicznych analogowych i cyfrowych [Tłaczała 2008]. Posiadają szeroką gamę gotowych podzespołów, a także możliwość tworzenia własnych podzespołów. Główną zaletą programów jest przejrzysty, przyjazny interfejs użytkownika, bardzo duża biblioteka przyrządów pomiarowych i różnych elementów elektronicznych, która predysponuje je do zastosowań naukowo-inżynierskich. Programy są narzędziami pracy profesjonalisty elektronika i wyznaczają standard światowy dla specjalizowanych narzędzi symulacyjnych. Możliwości tych programów są ogromne i obejmują wszystkie treści kształcenia z elektrotechniki i elektroniki na poziomie średnim i wyższym. Praca z pakietami może być realizowana na wielu poziomach trudności, począwszy od bardzo elementarnej analizy układów elektronicznych, a kończąc na złożonych procedurach badawczych.

W mechatronice duże znaczenie ma energoelektronika i napęd elektryczny. Program ElektroSym jest narzędziem służącym przede wszystkim do symulacji obwodów elektrycznych i energoelektronicznych [Internet 15]. Jego interfejs graficzny w języku polskim umożliwia szybkie utworzenie schematu obwodu. Po przeprowadzeniu symulacji użytkownik może oglądać przebiegi czasowe dowolnych napięć, prądów, mocy, a także prędkości w przypadku, gdy obwód zawiera silnik. Program ElektroSym posiada ciekawy panel pomiarowy składający się z mierników do pomiaru natężenia prądu, napięcia i mocy. Podobne możliwości i przeznaczenia mają programy Caspoc [Internet 16] i Psim [Internet 17].

Do najpopularniejszych aplikacji przeznaczonych do modelowania i symulacji układów sterowania i regulacji należą znane środowiska Matlab-Simulink, Mathematica, Vissim, których stosowanie wykracza daleko poza analizę układów automatyki na poziomie średniej szkoły technicznej. Rozwijane są jednak ich odpowiedniki, które należą do oprogramowania ogólnodostępnego i stanowią bardzo przydatne narzędzia edukacyjne wspomagające badanie układów regulacji w technikum mechatronicznym. Należy do nich pakiet Visual ModelQ [Internet 18]. Jego struktura jest charakterystyczna dla różnych środowisk symulacyjnych, w których projektant rysuje schemat blokowy badanego układu. Celem tworzenia modeli w postaci bloków i połączeń pomiędzy nimi jest skojarzenie symulowanego układu z rzeczywistym urządzeniem. Dodatkowo

pozwała to zobrazować kierunek przesyłania sygnałów pomiędzy poszczególnymi elementami, co ułatwia i przyspiesza projektowanie [Mozaryn 2008].

Robotyka jest domeną mechatroniki i jej poświęcamy wiele uwagi w procesie kształcenia. W zakresie robotyki mamy do wyboru trzy zaawansowane pakiety symulacyjne. Microsoft Robotics Studio jest platformą programową umożliwiającą tworzenie oprogramowania dla robotów, zarówno rzeczywistych jak i symulowanych [Internet 19]. Środowisko jest kompatybilne z rozwiązaniami sprzętowymi, m.in. robotów Lego Mindstorms NXT, które cieszą się dużą popularnością w dydaktyce na poziomie wyższym i średnim. Robotics Studio zawiera trójwymiarowe narzędzie do symulowania robotów, środowisko uruchomieniowe zorientowane na usługi, które pozwala na komunikację z różnymi rodzajami sprzętu, a także język programowania pozwalający początkującym programistom tworzyć aplikacje na zasadzie przeciągnij-upuść.

Trójwymiarowy system COSIMIR umożliwia symulację działania całych zrobotyzowanych systemów z uwzględnieniem samego robota i sposobu jego oddziaływania na otoczenie. Program COSIMIR jest wyspecjalizowaną aplikacją komputerową, wykorzystywaną w dydaktyce i przemyśle jako narzędzie do projektowania i symulacji instalacji zrobotyzowanych. Z jego pomocą zaprojektujemy wirtualną taśmę produkcyjną, napiszemy i sprawdzimy działanie programu sterującego robotem, stworzymy odwzorowanie zarówno istniejących już linii przemysłowych, jak również zbudujemy aplikację nowej konstrukcji. Dzięki bogatej bibliotece, użytkownik dysponuje szerokim asortymentem produktów, tj. robotami, przenośnikami taśmowymi, chwytakami itp. Dzięki temu możliwe jest napisanie programu sterującego poszczególnymi elementami instalacji bez potrzeby przeprowadzania prób na rzeczywistych urządzeniach.

PC-ROSET to także polecany w dydaktyce mechatroniki symulator zrobotyzowanych stanowisk pracy. W prosty i przejrzysty sposób pozwala na stworzenie symulacji, wykorzystując roboty firmy Kawasaki [Stec 2007]. Dzięki zastosowaniu tego samego oprogramowania, które znajduje się w rzeczywistym kontrolerze, działanie symulatora w niczym nie odbiega od zachowania prawdziwego robota.

Technologie informacyjne w zastosowaniach przemysłowych urzeczywistniają się w mechatronice przez programowanie sterowników PLC. Większość oprogramowania narzędziowego sterowników PLC zawiera w sobie mechanizmy symulacji specyficzne dla określonych rodzajów sprzętu. Np. dla sterowników:

- Siemens Logo symulator znajduje się w pakiecie LogoSoft Comfort [Internet 20],
- AF (ArrayFAB) symulatorem jest program Quick II [Internet 21],
- GE Fanuc symulatorem jest program PLCSim [Internet 22].

ITS PLC Professional Edition to symulacyjny, w pełni multimedialny pakiet edukacyjny wspomagający techniki programowania PLC. System wykorzystuje

technologię 3D, generowany w czasie rzeczywistym obraz, dźwięk i pełną interaktywność z otoczeniem. ITS PLC oferuje pięć wirtualnych środowisk szkoleniowych z zakresu programowania PLC, które są symulacją rzeczywistego procesu często występującego w przemyśle [Internet 23].

Wirtualne centra obróbki skrawaniem są w planie kształcenia mechatroników podstawą zajęć specjalizacyjnych. Jednym z najczęściej używanych w polskich uczelniach i szkołach technicznych jest symulator obróbki skrawaniem firmy MTS [Internet 24] wykorzystywany w procesie nauczania obsługi obrabiarek sterowanych numerycznie. Osoba ucząca się „ręcznego” programowania obrabiarki, po wcześniejszym teoretycznym zapoznaniu się z podstawowymi funkcjami sterującymi obrabiarką i podstawami doboru parametrów technologicznych pracy obrabiarki, może przystąpić do samodzielnych prób tworzenia kodu sterującego procesem obróbki [Tubielewicz, Zaborski 2008]. Do wirtualnego centrum obróbki skrawaniem włączymy również pakiet ZERO-OSN, który jest wersją edukacyjną stosowanych w wielu zakładach przemysłowych systemów SINUMERIK 810, FANUC i NUMS 322T. Jest dość popularny w szkołach technicznych i przeznaczony do symulacji sterowania numerycznego oraz programowania obrabiarek CNC.

W projekcie wirtualnego laboratorium hydrauliki i pneumatyki uwzględnimy pakiety: FLUID-SIM H do projektowania i symulacji układów sterowania hydraulicznego oraz elektrohydraulicznego, FLUID-SIM P do projektowania i symulacji układów sterowania pneumatycznego oraz elektropneumatycznego. Ponadto doskonałym i prostym narzędziem jest program VirtualPneumoLab [Huścio, Kuźmierowski, 2004] do symulacji napędów i sterowania pneumatycznego, składający się z następujących aplikacji:

- a) Elementy – zawiera interaktywne animacje zasad działania poszczególnych elementów;
- b) Laboratorium – zawiera interaktywne animacje pneumatycznych układów sterowania, które są wizualizacją działania układów rzeczywistych;
- c) Sterowanie – przedstawia interaktywne animacje pneumatycznych układów sterowania urządzeń technologicznych;
- d) PneumoLab – wspomaga tworzenie znormalizowanych schematów pneumatycznych układów sterowania z możliwością symulowania działania opracowanych układów.

### ***3.3. Implikacje pedagogiczne***

Literatura pedagogiczna wyraźnie eksponuje walory dydaktyczne modelowania i symulacji. Nie wolno nam jednak zapominać o tym, że symulacja komputerowa nie operuje na rzeczywistości, a jedynie działa na jej modelach. Zasada

łączenia teorii z praktyką ma szczególne znaczenie w kształceniu zawodowym, gdzie oddzielenie praktyki od teorii jest niedopuszczalne. Implikuje to ważny wniosek dla przebiegu kształcenia, a mianowicie: **wirtualne laboratoria powinny wspierać i uzupełniać laboratoria rzeczywiste.**

Projektowanie wirtualnego laboratorium mechatronicznego powinno uwzględniać analizę treści kształcenia i wartości dydaktycznych dostępnych programów symulacyjnych, jak również tworzenie opracowań metodycznych wspierających uczenie się wspomaganie komputerowo według koncepcji konstruktywistycznej. Wirtualne laboratorium może funkcjonować samodzielnie, ale optymalne rozwiązanie, z punktu widzenia efektywności kształcenia, zakłada jego wzajemne powiązanie z laboratorium rzeczywistym. Wstępna symulacja na modelach w sferze wirtualnej ułatwia badanie układów rzeczywistych. Symulacja komputerowa nie zastąpi jednak praktycznego działania – może jedynie je efektywnie uzupełniać. Oznacza to, że w tak rozumianym połączeniu metod uczenia się, eksperymenty w laboratoriach wirtualnych powinny uzupełniać badania układów technicznych w laboratoriach rzeczywistych. Wskazane jest, aby łączyć ze sobą sferę wirtualną z rzeczywistą w ćwiczeniach laboratoryjnych. **Wykonanie eksperymentu w sferze wirtualnej należy traktować jako fazę wstępną, poprzedzającą eksperyment rzeczywisty.** Wykonanie ćwiczenia przez grupę uczniów w pracowni urządzeń mechatronicznych powinno więc odbywać się w dwóch etapach: po pierwsze w sferze symulacyjnej, po drugie w sferze rzeczywistej.

Takie rozwiązanie metodyczne ma swoje zalety. Uczeń może porównać wyniki doświadczeń symulowanych i rzeczywistych, bowiem wyniki eksperymentów symulacyjnych nie uwzględniają „zakłóceń”, które występują zawsze w eksperymentach rzeczywistych. W środowisku wirtualnego laboratorium uczeń może zapoznać się z elektroniczną aparaturą pomiarową i nabyć umiejętności prawidłowego jej wykorzystywania bez obawy uszkodzenia. Jego praca z aparaturą rzeczywistą będzie wówczas efektywna. Istotną zaletą laboratorium wirtualnego jest również możliwość przeprowadzania w nim eksperymentów zdalnych na układach rzeczywistych przez sieć Internet. W przypadku uczenia się-nauczania mechatroniki na poziomie technikum takie eksperymenty, jak wskazano, są możliwe do zrealizowania, chociaż ich zakres merytoryczny jest dotychczas niewystarczający. Należy przypuszczać, że taka forma zajęć laboratoryjnych w szkołach będzie się w przyszłości rozwijać i upowszechniać.

We współczesnym kształceniu zawodowym obecność wirtualnych laboratoriów jest konieczna i bezdyskusyjna. Jak wykazały badania empiryczne [Szabłowski 2004] symulacja komputerowa jest metodą uczenia się-nauczania przedmiotów technicznych o dużych walorach pedagogicznych. W świetle wyników badań twórcze rozwiązywanie problemów stanowi największe wartości pedagogiczne uczenia się w laboratorium wirtualnym. Znacząca stymulacja roz-

woju procesów poznawczych występuje podczas uczenia się opartego na modelu konstruktywistycznym. W takim modelu uczenia się symulacyjnego należy upatrywać źródeł wszelkich sukcesów dydaktycznych ucznia i nauczyciela.

## Bibliografia

- Bischoff A. (2006), *M-Learning with Remotely Operated Laboratories*, [http://prt.fernuni-hagen.de/~bischoff/research/pdf/bischoff\\_m-Learning\\_vu2006\\_final.pdf](http://prt.fernuni-hagen.de/~bischoff/research/pdf/bischoff_m-Learning_vu2006_final.pdf).
- Dobrowolski A. (2004), *Wirtualne przyrządy pomiarowe w laboratorium układów elektronicznych WAT*, XXVI Międzyuczelniana Konferencja Metrologów (MKM'04), Ustroń.
- Gawrysiak M. (1997), *Mechatronika i projektowanie mechatroniczne*, Białystok.
- Gröber S., Vetter M., Eckert B., Jodl H (2008), *Remotely controlled laboratories: Aims, examples, and experience*, [http://rcl.physik.uni-kl.de/docs/RCL\\_AmJPhys.pdf](http://rcl.physik.uni-kl.de/docs/RCL_AmJPhys.pdf).
- Huścio T., Kuźmierowski T. (2004), *Wirtualne laboratorium z napędów i sterowania pneumatycznego*, Heden Media, Białystok.
- Meger Z. (2008), *Szósta generacja nauczania zdalnego [w:] E-edukacja dla rozwoju społeczeństwa*, red. M. Dąbrowski, M. Zając, Warszawa.
- Mozaryn J. (2008), *Modelowanie i symulacja serwonapędów*, <http://www.automatykab2b.pl/content/view/1196>.
- Olszewski M. red. (2007), *Podstawy mechatroniki*, Warszawa.
- Program nauczania: technik mechatronik, nr 311[50]/T-4,TU, SP/MENiN/2006.03.15* (2006), Warszawa.
- Rak R. (1999), *Wirtualne przyrządy pomiarowe*, Elektronizacja nr 9.
- Rak R. (2008), *Wirtualne laboratorium – realny element kształcenia*, Przegląd Elektrotechniczny nr 11.
- Stec J. (2007), *PC Roset – symulator robota*, Biuletyn automatyki nr 54, Astor, Kraków.
- Szablowski S. (2004), *Funkcje poznawcze i twórcze symulacji komputerowej w kształceniu zawodowym*, Informatyka w Edukacji i Kulturze, red. A. Mitas, Sosnowiec.
- Szablowski S. (2008), *E-learning w kształceniu technicznym [w:] Rola i miejsce e-learningu we współczesnej edukacji*, ZSKU Krosno.
- Tubielewicz K., Zaborski A. (2008), *Symulatory pracy maszyn sterowanych numerycznie i ich zastosowanie w nauczaniu*, Mechanik nr 10.
- Tłaczała W. (2002), *Środowisko LabVIEW w eksperymencie wspomaganym komputerowo*, Warszawa.
- Tłaczała W. (2008), *Wirtualne laboratorium podstaw techniki cyfrowej*, Warszawa.

## Netografia

- Internet 1, <http://www.festo.com>.
- Internet 2, <http://bip167.lo.pl/?cid=102>.
- Internet 3, <http://www.labview.pl>.
- Internet 4, <http://wazniak.mimuw.edu.pl>.
- Internet 5, <http://css.engineering.uiowa.edu/fluidslab>.
- Internet 6, <http://vlab.psnc.pl>.
- Internet 7, <http://telerobot.mech.uwa.edu.au>.
- Internet 8, <http://lud.bmstu.ru>.

Internet 9, <http://ilab.mit.edu>.  
Internet 10, <http://openlabs.bth.se/electronics>.  
Internet 11, <http://rcl.physik.uni-kl.de>.  
Internet 12, <http://www.virtual-oscilloscope.com>.  
Internet 13, <http://www.jhu.edu/~virtlab/virtual-laboratory>.  
Internet 14, <http://www.electronicworkbench.com>.  
Internet 15, <http://www.evatronix.com.pl/cadcam/elektrosym/cechy.html>.  
Internet 16, <http://www.integratedsoft.com/Caspoc>.  
Internet 17, <http://www.powersimtech.com>.  
Internet 18, <http://www.qxdesign.com/VisualModelQ.htm>.  
Internet 19, <http://msdn.microsoft.com/robotics>.  
Internet 20, <http://www.automatyka.siemens.pl/solutionsandproducts/2932.htm>.  
Internet 21, <http://www.telmatik.pl/download/fab/quickpl.zip>.  
Internet 22, [http://www.pisoftware.pl/plc\\_sim](http://www.pisoftware.pl/plc_sim).  
Internet 23, <http://www.encon.pl/index.php/en/systemy-dla-dydaktyki/simulator-its-plc.htm>.  
Internet 24, <http://www.mts-cnc.com/polish/mts.htm>.

Wszystkie odnośniki z dnia 17 czerwca 2009 r.

**Iwona Iskierka, Sławomir Iskierka**

## **ZASTOSOWANIE TECHNIK SYMULACJI W DYDAKTYCE METOD NUMERYCZNYCH**

### **Wstęp**

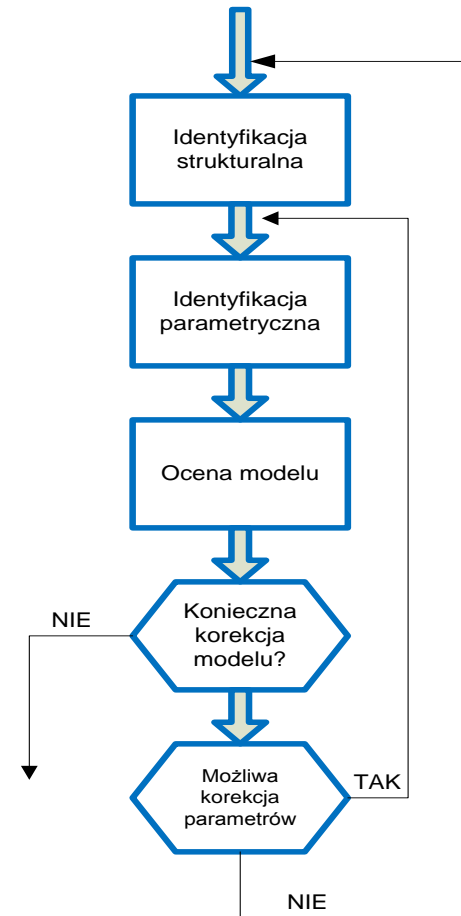
Komputery stanowią podstawową infrastrukturę rozwoju techniki. Najważniejszymi obszarami zastosowania komputerów w pracy inżyniera są: wspomaganie projektowania, wspomaganie czynności pomiarowo-diagnostycznych, wspomaganie decyzji oraz wspomaganie projektowania obiektów technicznych. Proces realizacji wspomnianych wyżej funkcji bardzo ściśle związany jest z wykorzystaniem metod numerycznych, tzn. metod przybliżonego rozwiązywania problemów matematycznych z dziedziny algebry, analizy, probabilistyki, geometrii, za pomocą narzędzi obliczeniowych (głównie komputerów) umożliwiających wykonywanie jedynie operacji logicznych i algebraicznych [Krupka 1997]. Istotną sprawą jest zwrócenie uwagi na to, iż podstawą obliczeń naukowo-technicznych jest modelowanie matematyczne. Modelowanie matematyczne służy do opisanego projektowanego obiektu z wykorzystaniem formuł matematycznych. Wspomniany opis matematyczny może stać się podstawą symulacji zachowania tego obiektu z wykorzystaniem komputera.

### **1. Modelowanie matematyczne w obliczeniach naukowo-technicznych**

Modelowanie matematyczne umożliwia przeniesienie wniosków wynikających z symulacji na projekt obiektu fizycznego i proces jego wytwarzania. Istotne jest to, iż do symulacji komputerowej wykorzystywane są wyłącznie modele matematyczne. Model matematyczny jest zbiorem reguł i zależności, na podstawie których można przewidzieć (w drodze obliczeń) przebieg modelowanego procesu. Modelem matematycznym badanego układu materialnego nazywa się taki układ równań, którego rozwiązania są podobne do przebiegów wielkości modelowanej [Tarnowski, 2003]. Wyróżnia się dwa rodzaje modeli matematycznych, ze względu na sposób pozyskiwania informacji do utworzenia modelu matematycznego: modele zjawiskowe i modele aproksymujące. W modelach zjawiskowych korzysta się głównie ze wzorów, które wynikają z praw fizyki i chemii. W modelach matematycznych aproksymujących korzysta się z wyni-

ków pomiarów obiektu – oryginału, a postać modelu matematycznego dobierana jest arbitralnie.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat tworzenia modelu matematycznego [Krupka 1997].



Rys. 1. Schemat tworzenia modelu matematycznego

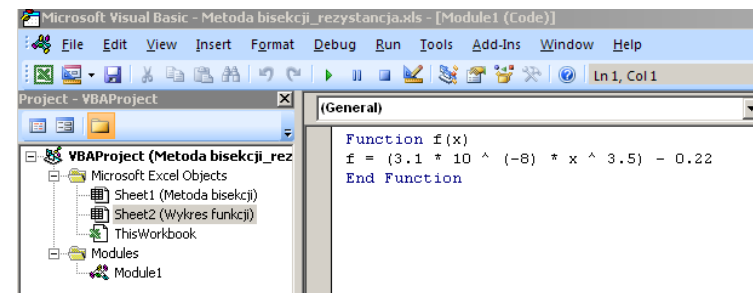
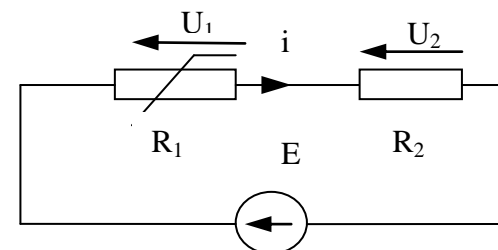
Według Tarnowskiego [2003] modelowanie jest próbą przedstawienia jakiegoś zjawiska lub właściwości, którą staramy się zrozumieć lub zbadać, w kategoriach innych zjawisk lub właściwości, które już rozumiemy. Tworzenie modelu poprzedza zdefiniowanie zmiennych, za pomocą których jest formułowany model obiektu i jego otoczenia. Dla celów symulacji komputerowej model powinien obejmować: konfigurację modelu, reguły działania, postać wymuszeń, warunki początkowe zmiennych stanu, parametry układu.



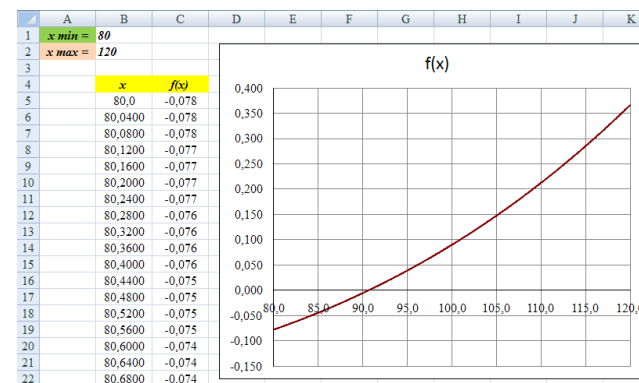
## 2. Techniki symulacji w dydaktyce metod numerycznych

Modele matematyczne mogą być badane następującymi metodami: metody analityczne, metody wykreślne i metody symulacyjne. Stosując metody analityczne, korzysta się z obliczeń numerycznych tylko w celu uzyskania ostatecznych wyników liczbowych [Tarnowski, 2003]. Metody analityczne to możliwości poszukiwania rozwiązań jakościowych lub ilościowych, ścisłych lub przybliżonych, które dają się zapisać w postaci analitycznej. Z metodami wykreślnymi wiąże się proces poszukiwania rozwiązań przybliżonych na drodze operacji wykreślnych. Metody wykreślne mogą prowadzić do niezbyt dokładnych wyników liczbowych, lecz są stosunkowo łatwe i szybkie. Metody symulacyjne natomiast pozwalają uzyskać wyniki przybliżone poprzez przeprowadzanie jednokrotnych lub wielokrotnych eksperymentów numerycznych, które symulują doświadczalne badania obiektu rzeczywistego. Symulacja komputerowa jest procesem, którego celem jest odtworzenie przebiegu badanego procesu na podstawie jego modelu matematycznego za pomocą komputera i zbadanie wpływu otoczenia (sygnały wejściowe) i wewnętrznych właściwości obiektu (parametry procesu) na charakterystyki obiektu. Przeprowadzone badania sondażowe [Mielczarek, 2003] pozwalają stwierdzić, iż w trakcie zajęć dotyczących symulacji statycznej najczęściej wykorzystywany jest arkusz kalkulacyjny Excel, natomiast symulację dyskretną prowadzi się za pomocą narzędzi dedykowanych tej metodzie, takich jak GPSS (najczęściej), AweSim, Arena, Extend. W niektórych przypadkach (rzadko) wykorzystuje się ogólne języki programowania np. Pascal, C++. W przypadku pojęć z zakresu metod numerycznych często wykorzystuje się szerokie możliwości zastosowania arkuszy kalkulacyjnych Excel do budowy różnych typów modeli symulacyjnych. W takiej sytuacji wykorzystanie arkusza kalkulacyjnego nie wymaga wprowadzenia studentów do nowego narzędzia. W budowanych modelach można wykorzystać możliwości Visual Basic for Applications. Należy jednak pamiętać o ograniczeniach dotyczących budowy modeli symulacyjnych w arkuszu: modelowanie w arkuszu bardzo złożonych struktur danych wymaga zaawansowanego VBA, powolność działania arkusza, w niektórych przypadkach wydłużenie czasu symulacji. Nie umniejsza to jednak ogromnej wartości dydaktycznej tkwiącej w arkuszach programu Excel. Poniżej przedstawiono możliwości arkusza Excel w implementacji metody bisekcji w rozwiązywaniu obwodów z elementami nieliniowymi. Metoda bisekcji jest najprostszą i jednocześnie najwolniej zbieżną metodą rozwiązywania równań nieliniowych (poszukiwania miejsc zerowych funkcji). Rozwiązanie poszukiwane jest poprzez podział pierwotnego przedziału  $[x_p, x_k]$  na dwie równe części i wybranie tej części, na końcach której funkcja ma różne znaki. Jeśli funkcja jest ciągła, to w wybranym przedziale musi istnieć punkt, dla którego  $f(x) = 0$ . Otrzymany przedział ponownie dzielimy na równe części i postępujemy w ten sam sposób jak powyżej.

Rezystancję nieliniową o charakterystyce napięciowo-prądowej  $i = 3.1 \cdot 10^{-8} u^{3.5}$  połączono szeregowo z rezystancją  $R_2$ . Napięcie źródła  $E$  jest równe 120 V. Dobrać tak wartość rezystancji  $R_2$ , aby prąd w obwodzie wynosił  $I=0.22$  A. Obliczyć moce tracone w obu elementach.



Rys. 2. Przykład obwodu z elementem nieliniowym i wykorzystywana funkcja w edytorze VBA



Rys. 3. Wykres funkcji jako funkcji użytkownika w arkuszu Excel, z możliwością ustalania wartości  $x_{min}$  i  $x_{mzx}$

W sytuacji wykorzystania funkcji jako funkcji użytkownika, można ustalać wartości  $x_{min}$  i  $x_{mzx}$  obserwować zmiany na wykresie funkcji. Na rysunku 4 przedstawiono propozycję implementacji metody bisekcji w arkuszu Excel, w przypadku powyższego zadania. W arkuszu wykorzystywana jest wcześniej utworzona

rzona funkcja. Użytkownik ma możliwość wpisywania wartości początkowej ( $x_p$ ) oraz wartości końcowej ( $x_k$ ) i obserwacji na bieżąco zmieniających się wyników. Jest także możliwość wykorzystania nazwy zakresu (eps).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>Metoda bisekcji</b>									
2										
3	wartość początkowa	80,0								
4	wartość końcowa:	120,0								
5	eps	1,000E-05								
7	iteracje	$x_p$	$x_k$	$x_n$	$f(x_p)$	$f(x_n)$	$f(x_p) * f(x_n)$	Zbieżność?	$f(x_n) < \text{eps}$	
8	0	80,000000	120,000000	100,000000	-7,8037E-02	0,090000	-7,0233E-03	FALSZ	FALSZ	
9	1	80,000000	100,000000	90,000000	-7,8037E-02	-0,005607	4,3756E-04	FALSZ	FALSZ	
10	2	90,000000	100,000000	95,000000	-5,6071E-03	0,039036	-2,1899E-04	FALSZ	FALSZ	
11	3	90,000000	95,000000	92,500000	-5,6071E-03	0,015971	-8,9548E-05	FALSZ	FALSZ	
12	4	90,000000	92,500000	91,250000	-5,6071E-03	0,004997	-2,8019E-05	FALSZ	FALSZ	
13	5	90,000000	91,250000	90,625000	-5,6071E-03	-0,000331	1,9666E-06	FALSZ	FALSZ	
14	6	90,625000	91,250000	90,937500	-3,5073E-04	0,002312	-8,1077E-07	FALSZ	FALSZ	
15	7	90,625000	90,937500	90,781250	-3,5073E-04	0,000978	-3,4287E-07	FALSZ	FALSZ	
16	8	90,625000	90,781250	90,703125	-3,5073E-04	0,000313	-1,0966E-07	FALSZ	FALSZ	
17	9	90,625000	90,703125	90,664063	-3,5073E-04	-0,000019	6,7288E-09	FALSZ	FALSZ	
18	10	90,664063	90,703125	90,683594	-1,9185E-05	0,000147	-2,8149E-09	FALSZ	FALSZ	
19	11	90,664063	90,683594	90,673828	-1,9185E-05	0,000064	-1,2232E-09	FALSZ	FALSZ	
20	12	90,664063	90,673828	90,668945	-1,9185E-05	2,2283E-05	-4,2751E-10	FALSZ	FALSZ	
21	13	90,664063	90,668945	90,666504	-1,9185E-05	1,5483E-06	-2,9709E-11	FALSZ	PRAWDA	
22	14	90,664063	90,666504	90,665283	-1,9185E-05	-8,8184E-06	1,6918E-10	FALSZ	PRAWDA	
23	15	90,665283	90,666504	90,665894	-8,8184E-06	-3,6350E-06	3,2054E-11	FALSZ	PRAWDA	
24	16	90,665894	90,666504	90,666199	-3,6350E-06	-1,0432E-06	3,7920E-12	FALSZ	PRAWDA	
25	17	90,666199	90,666504	90,666351	-1,0432E-06	2,5266E-07	-2,6338E-13	FALSZ	PRAWDA	
26	18	90,666199	90,666351	90,666275	-1,0432E-06	-3,9528E-07	4,1246E-13	FALSZ	PRAWDA	
27	19	90,666275	90,666351	90,666313	-3,9528E-07	-7,1306E-08	2,8186E-14	FALSZ	PRAWDA	

Rys. 4. Propozycja implementacji metody bisekcji w arkuszu Excel

```

Function bisect(xp, xk, toler)
    fp = f(xp)
    xo = (xp + xk) / 2
    iter = 0
    maxiter = 1000
    Do
        fo = f(xo)
        test = fp * fo
        If test < 0 Then
            xk = xo
        Else
            xp = xo
            fp = fo
        End If
        dx = Abs(xk - xp)
        xo = (xp + xk) / 2
        iter = iter + 1
    Loop While dx > toler And iter <= maxiter
    If iter > maxiter Then MsgBox ("Obliczenia")
    bisect = xo
End Function

Function f(x)
    f = (3.1 * 10 ^ (-8) * x ^ 3.5) - 0.22
End Function
    
```

E4     =bisect(xp;xk;toler)

	A	B	C	D	E
1	<b>Metoda bisekcji - implementacja w VBA</b>				
2					
3	wartość początkowa	80,0			
4	wartość końcowa	120,0		$x_0 =$	90,666317939758300
5	eps	1,000E-05		$f(x_0) =$	-3,08097E-08

Rys. 5. Funkcja bisect [Źródło: Opracowanie własne]

```

Option Explicit
Const e = 2.7182818
Public Function Fx(x As Double) As Double
Fx = (3.1 * 10 ^ (-8) * x ^ 3.5) - 0.22
End Function

Public Function dFx(x As Double) As Double
dFx = (3.1 * 10 ^ (-8) * 3.5 * x ^ 2.5)
End Function

Public Function NewtonsMethod(x0 As Double, e As Double, n As Integer) As Double
Dim i As Integer
Dim err As Double
Dim xn As Double
Dim xn1 As Double

i = 0
err = 9999
xn = x0

While (err > e) And (i < n)
xn1 = xn - Fx(xn) / dFx(xn)
err = Abs(xn1 - xn)
xn = xn1
Wend
NewtonsMethod = xn
End Function

```

Metoda Newtona							
punkt startowy:	80						
tolerance:	1,000E-05						
iteracje	$x_{stary}$	$f(x_{stary})$	$f'(x_{stary})$	$x_{nowy}$	$ x_{nowy} - x_{stary} $	$ x_{nowy} - x_{stary}  < toler$	
0	8,00000E+01	-7,80365E-02	6,21090E-03	9,25644E+01	1,256E+01	FALSZ	
1	9,25644E+01	1,65464E-02	8,94417E-03	9,07145E+01	1,850E+00	FALSZ	
2	9,07145E+01	4,09243E-04	8,50396E-03	9,06664E+01	4,812E-02	FALSZ	
3	9,06664E+01	2,71307E-07	8,49269E-03	9,06663E+01	3,195E-05	FALSZ	
4	9,06663E+01	1,19488E-13	8,49268E-03	9,06663E+01	1,407E-11	PRAWDA	
5	9,06663E+01	0,00000E+00	8,49268E-03	9,06663E+01	0,000E+00	PRAWDA	
6	9,06663E+01	0,00000E+00	8,49268E-03	9,06663E+01	0,000E+00	PRAWDA	
7	9,06663E+01	0,00000E+00	8,49268E-03	9,06663E+01	0,000E+00	PRAWDA	
8	9,06663E+01	0,00000E+00	8,49268E-03	9,06663E+01	0,000E+00	PRAWDA	
9	9,06663E+01	0,00000E+00	8,49268E-03	9,06663E+01	0,000E+00	PRAWDA	
10	9,06663E+01	0,00000E+00	8,49268E-03	9,06663E+01	0,000E+00	PRAWDA	
11	9,06663E+01	0,00000E+00	8,49268E-03	9,06663E+01	0,000E+00	PRAWDA	

B2     $f_x$     =NewtonsMethod(80,1;0,0001;100)

	A	B	C	D
1				
2	Dokładny pierwiastek =	90,66632		

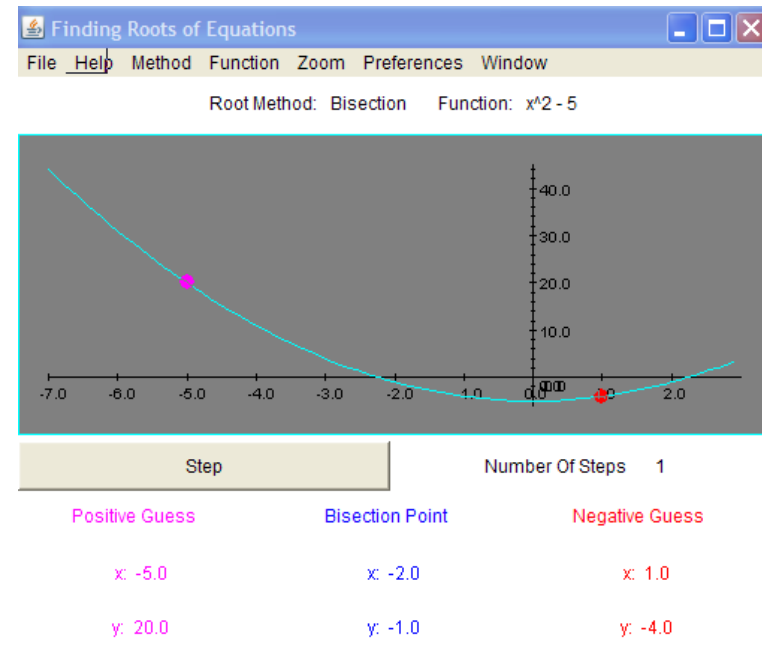
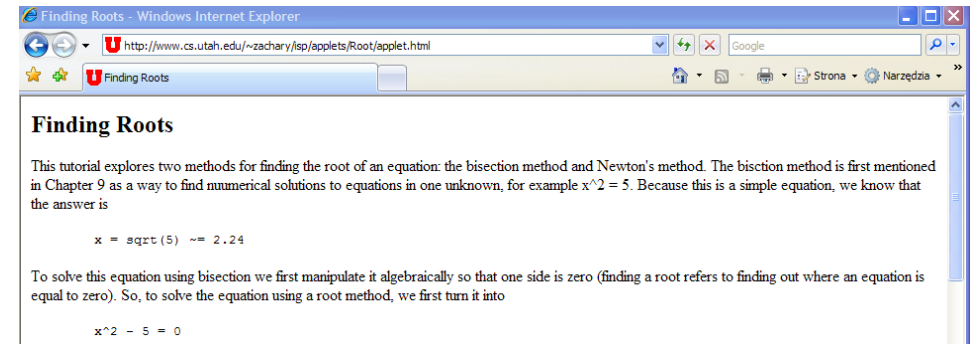
Rys. 6. Propozycja implementacji metody Newtona w arkuszu Excel

Istnieje również możliwość utworzenia funkcji *bisect* w edytorze VBA, obliczającej wartość  $x_0$ . Również w tej sytuacji użytkownik ma możliwość wpisywania wartości początkowej ( $x_p$ ) oraz wartości końcowej ( $x_k$ ) i obserwacji na bieżąco zmieniających się wyników.

Do rozwiązania analizowanego zadania można wykorzystać również metodę Newtona rozwiązywania równania nieliniowego jednej zmiennej. Użytkownik może i w tym przypadku stworzyć funkcję  $f$  jako funkcję użytkownika w edytorze VBA, przeanalizować utworzony wykres i w arkuszu Excel obserwować zmieniające się dynamicznie wyniki. Kolejne kroki algorytmu są nastę-

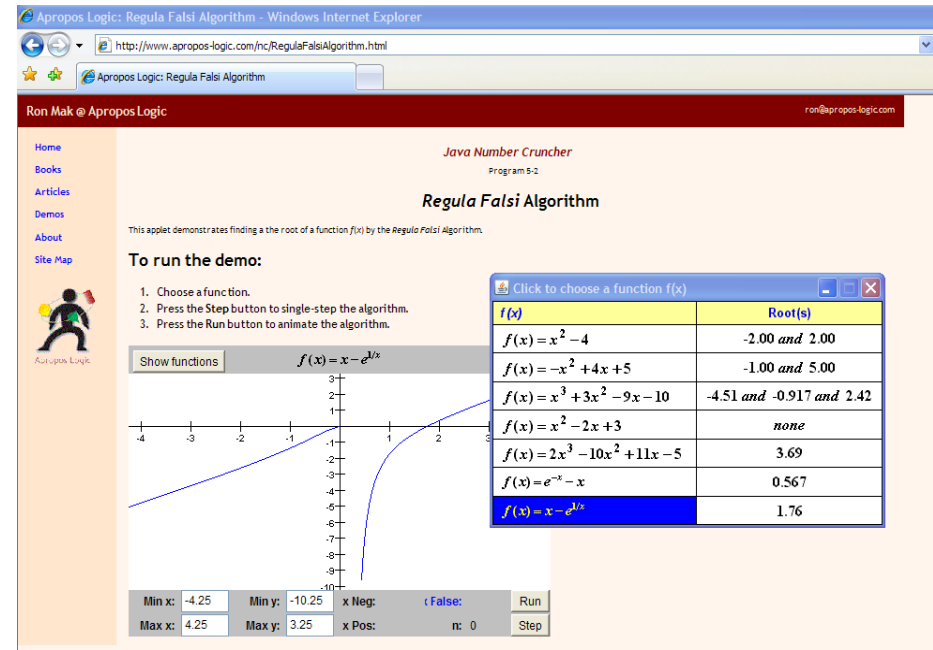
pujące: po założeniu zerowego rozwiązania (punktu startowego) oblicza się pierwsze rozwiązanie. W sytuacji kiedy pierwsze rozwiązanie nie jest właściwym rozwiązaniem, to rozwiązanie to traktuje się jako nowy punkt startowy. Następnie obliczamy drugie rozwiązanie, itd. aż do osiągnięcia rozwiązania z odpowiednio małym błędem.

### 3. Przykładowe zasoby sieci Internet wykorzystywane w procesie wizualizacji pojęć z dziedziny metod numerycznych



**Rys. 7. Przykład wizualizacji pojęć z zakresu metod numerycznych**  
[Źródło: <http://www.cs.utah.edu/~zachary/isp/applets/Root/applet.html>]

W zasobach światowej sieci można znaleźć wiele propozycji związanych z możliwościami wizualizacji pojęć z dziedziny metod numerycznych. Oprócz wprowadzenia teoretycznego dotyczącego poszczególnych zagadnień umieszczone są np. przykładowe applety, pozwalające obserwować proces szukania rozwiązania. Jednym z takich źródeł jest strona <http://www.cs.utah.edu/~zachary/isp/applets/Root/applet.html> z omówieniem teoretycznym i wieloma przykładami appletów. Inną ciekawą propozycją są strony internetowe: <http://www.apropos-logic.com/nc/RegulaFalsiAlgorithm.html> <http://mathforum.org/mathtools/cell/c,15.9.17,ALL,ALL/>



**Rys. 8. Przykład wizualizacji pojęć z zakresu metod numerycznych**  
 Źródło: <http://www.apropos-logic.com/nc/RegulaFalsiAlgorithm.html>

W przedstawieniu zagadnień z zakresu metod numerycznych i w procesie wizualizacji pojęć z tej dziedziny stosuje się z powodzeniem technikę symulacji. Do budowy modeli symulacyjnych można wykorzystać ogromne możliwości arkuszy kalkulacyjnych Excel. Zaletą takiego rozwiązania jest praca studentów z narzędziem doskonale im znanym. Praca z edytorem Visual Basic for Applications i możliwości programowania w VBA rozszerzają stosowanie tego programu nawet do zaawansowanych zagadnień. Użytkownik może także wykorzystać applety Javy, umieszczone na wielu stronach internetowych opisujących przebiegu procesu szukania rozwiązania funkcji jednej zmiennej.

## Bibliografia

Krupka J., Morawski R., Opalski L. (1997), *Metody numeryczne*, Warszawa.

Tarnowski W., Bartkiewicz S. (2003), *Modelowanie matematyczne i symulacja komputerowa dynamicznych procesów ciągłych*, Koszalin

Mielczarek B.(2003), *Rozważania na temat nauczania symulacji w szkołach wyższych*, Wrocław

<http://people.rit.edu/jdweme/emem440.htm>

<http://www.apropos-logic.com/nc/RegulaFalsiAlgorithm.html>

<http://www.cs.utah.edu/~zachary/isp/applets/Root/applet.html>

**Iwona Iskierka, Sławomir Iskierka**

## **SYMULACJA NATURALNEGO RUCHU W PROGRAMIE ADOBE FLASH**

### **Wstęp**

Program Flash jest programem przeznaczonym do tworzenia animacji dwuwymiarowych. Możliwości tego programu są olbrzymie. Aby animacje Flasha dawały wrażenie realizmu, często projektanci tworzący projekty w tym programie odwołują się do praw fizyki, naśladować naturalne zachowanie przedmiotów. Przykładami klasycznej mechaniki zaczerpniętymi z życia są: rzut piłką, spadający obiekt, hamujący samochód, zderzające się kule bilardowe czy drgająca sprężyna. W wielu animacjach symulowane są kolizje [Dolecki 2002]. Podstawą tworzenia animacji w programie Flash w oparciu o prawa fizyki jest znajomość zagadnień matematycznych związanych z układem współrzędnych, funkcjami trygonometrycznymi, rzutami geometrycznymi oraz wektorami.

### **1. Tworzenie i modyfikowanie obiektów w programie Flash**

Flash na początku funkcjonował pod nazwą Future Splash Animator, jako niewielki program do tworzenia i animowania obrazów wektorowych. Była to aplikacja amerykańskiej firmy FutureWave. W roku 1997 firma Macromedia przejęła program Future Splash Animator i zmieniła jego nazwę na Macromedia Flash [Bhangal 2000]. Flash jest technologią tworzenia grafiki, animacji i interaktywnych filmów w formacie wektorowym. Zawiera narzędzia do tworzenia i modyfikacji obrazów wektorowych. Obrazy te układa się w sekwencje, dodaje dźwięk. Prezentacje i filmy tworzone w programie Flash mogą być wyświetlane w dowolnej przeglądarce internetowej. Flash, co jest ogromną zaletą tego programu, nie odtwarza tylko biernie animacji, lecz stwarza również możliwości interaktywnej współpracy z użytkownikiem [Świdarska 2002]. Program pozwala również zaawansowanym użytkownikom na wykorzystanie umiejętności programowania, bowiem wyposażony został w język programowania ActionScript. Użytkownik może tworzyć filmy i interaktywne animacje dla WWW. Nie musi wykazywać się bardzo dobrą znajomością skryptów CGI, składni języka HTML



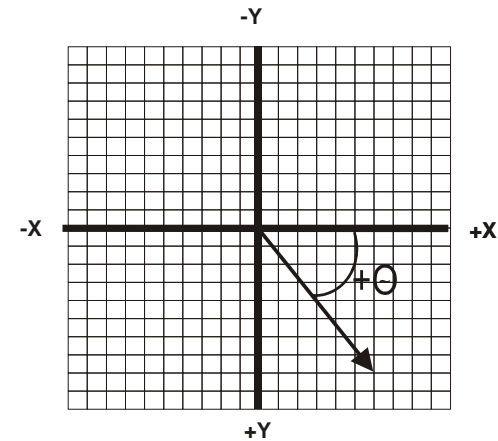
czy JAVA. Nawet bez umiejętności programowania można stworzyć interaktywną stronę WWW, która będzie spełniała wymagania użytkownika.

W programie Flash grafikę tworzy się, rysując kształty geometryczne w obszarze roboczym. Narzędzia służące do tworzenia i modyfikowania obiektów znajdują się w panelu narzędziowym [Ulrich 1999]. Początkującym użytkownikom Flash zapewnia odpowiednie narzędzia do tworzenia prostych grafik i animacji, natomiast użytkownicy zaawansowani mogą posłużyć się bardziej precyzyjnymi narzędziami. Panel Właściwości wyświetla wszystkie właściwości wyselekcjonowanego obiektu, które można określać bezpośrednio w tym panelu. Narzędzie przyciągania obiektów pomaga w precyzyjnym rysowaniu. W programie Flash wszystkie kształty można zamykać w grupach kształtów. Można również tworzyć symbole, które są używane w animacji. Większość grafiki jest konwertowana do symboli, dlatego że symbole są obiektami przygotowanymi do wielokrotnego zastosowania. Istnieje możliwość tworzenia statycznych symboli graficznych, symboli animowanych oraz symboli-przycisków [Bargieł 2002]. Symbole takie są tworzone albo z obiektów już utworzonych, albo są rysowane w trybie edycji symbolu. Po przekonwertowaniu dowolnego obiektu do symbolu, w obszarze roboczym umieszczany jest odnośnik tego symbolu. Utworzony symbol znajduje się w bibliotece dokumentu, w którym został stworzony. Jeśli symbol zostanie skopiowany z dokumentu do innego dokumentu, symbol ten będzie występował oddzielnie w bibliotece każdego z tych dokumentów. Biblioteka każdego dokumentu Flasha zawiera wszystkie symbole zastosowane w tym dokumencie. Może również zawierać symbole, które nie są w nim wykorzystywane. Umieszczanie odnośnika do symbolu w obszarze roboczym jest bardzo proste. Należy mianowicie odnośnik do symbolu przeciągnąć z panelu biblioteki do obszaru roboczego. Tryb edycji symbolu pozwala zmodyfikować grafikę, która znajduje się w symbolu. Symbole i odnośniki stanowią podstawę pracy w programie Flash. Ponieważ można utworzyć wiele odnośników do jednego symbolu, oszczędza się wielkość animacji oraz czas potrzebny na tworzenie i modyfikację projektu. Flash jest programem służącym do tworzenia interaktywnych animacji. Oferuje w związku z tym możliwość tworzenia filmów metodą tradycyjną, czyli klatka po klatce, co oznacza umieszczenie różnych obrazów w różnych ujęciach. Ujęcia, w których zawarty jest nowy materiał, nazywa się ujęciami kluczowymi. Jednak animacje typu klatka po klatce wymagają dużego nakładu pracy oraz tworzą duże pliki. Dlatego Flash udostępnia użytkownikowi jeszcze jeden rodzaj animacji, zwanej animacją uzupełnianą. Animacja ta polega na tym, że użytkownik w ujęciach kluczowych wprowadza zmiany istotne dla animacji, natomiast program przelicza obraz w klatkach tzw. pośrednich, czyli znajdujących się między klatkami kluczowymi [Ulrich 1999]. Flash udostępnia dwa rodzaje automatycznej animacji: automatyczną animację ruchu (*Motion Tweening*) oraz automatyczną animację kształtu (*Shape Tweening*).

## 2. Matematyczny opis zagadnień fizycznych w programie Flash

W programie Flash funkcjonuje układ współrzędnych, w którym oś  $y$  jest odwrócona – ujemna półoś znajduje się na górze, a dodatnia na dole. Kąt obrotu w układzie współrzędnych Flasha jest mierzony od dodatniej półosi  $x$ . Wartość tego kąta jest dodatnia, gdy obrót zachodzi zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara. W programie Flash można oczywiście posługiwać się kątami obrotu od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ . Gdy użytkownik nada właściwości `_rotation` wartość  $270^\circ$ , Flash potraktuje ją tak samo jak wartość kąta  $-90^\circ$  [Dolecki 2002].

Funkcje trygonometryczne są wykorzystywane w programie Flash do rozwiązywania różnorodnych problemów geometrycznych. Na przykład za pomocą funkcji trygonometrycznych użytkownik może obliczyć odległość między dwoma dowolnymi punktami, obliczyć amplitudę fali lub też wyznaczyć nową trajektorię obiektu w chwili kolizji.



Rys 1. Miara kąta w programie Flash [źródło: Dolecki 2002]

Bardzo często korzysta się z metod obiektu `Math`: `Math.sin()`, `Math.cos()`, `Math.sqrt()`. Funkcje trygonometryczne Flasha posługują się kątami wyrażanymi w radianach, zaś właściwość `_rotation` posługuje się kątami wyrażanymi w stopniach. Wektory są wykorzystywane do przedstawienia oddziaływania na obiekty różnymi siłami. Operacje na wektorach są wykonywane na przykład w celu znalezienia wypadkowej siły działającej na obiekt. W filmie Flasha można zatem zaimplementować grawitację, wiatr i tarcie i po dodaniu do siebie odpowiednich wektorów wyznaczyć trajektorię ruchu obiektu.

Dużo interesujących efektów realizowanych w programie Flash z uwzględnieniem praw fizyki wiąże się z zastosowaniem przyspieszeń. Przyspieszenie może ulegać zmianie w kolejnych klatkach. Mówi się wtedy o przyspieszeniu drugiego stopnia.

Równania ruchu w odniesieniu do czasu i do liczby klatek.

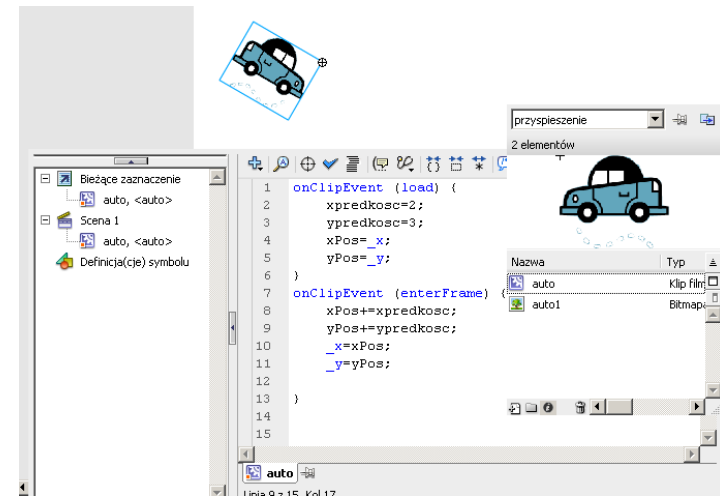
w fizyce :

$$x = x_{pocz} + xpredkosc * czas$$

we Flashu :

$$x = x_{pocz} + xpredkosc * klatki$$

We Flashu oblicza się nowe położenie w każdej klatce. Na rysunku 2 umieszczono przykład skryptu dotyczącego klipu poruszającego się ze stałą prędkością.



Rys 2. Przykład klipu poruszającego się ze stałą prędkością

Poniżej umieszczono zmodyfikowany skrypt symulujący przyspieszenie, ze zdefiniowaną zmienną *przys* określającą przyspieszenie.

```
onClipEvent (load) {  
    xpredkosc=2;  
    ypredkosc=3;  
    przys=1;  
    xPos=_x;  
    yPos=_y;  
}
```

```

onClipEvent (enterFrame) {
    xpredkosc+=przys;
    ypredkosc+=przys;
    xPos+=xpredkosc;
    yPos+=ypredkosc;
    _x=xPos;
    _y=yPos;
}

```

Dobierając odpowiednią wartość zmiennej *przys* można symulować działanie oporu powietrza oraz przyspieszenie grawitacyjne. Tarcie można symulować na dwa sposoby: zgodnie z prawami fizyki oraz w sposób uproszczony (w każdej klatce mnoży się prędkość przez współczynnik mniejszy od jedności). Interesujące efekty daje także symulacja ruchu ciężarka zawieszono na sprężynie.

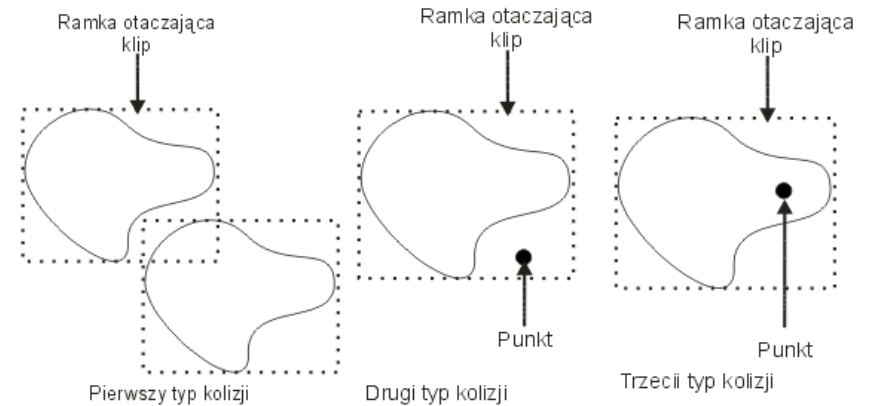
### 3. Implementacja realistycznych zachowań w języku ActionScript

Język ActionScript 2.0 jest zorientowanym obiektowo, skryptowym językiem pozwalającym na kontrolę wszystkich parametrów aplikacji Flash. Daje możliwość kontroli przebiegu odtwarzania animacji i reagowania na zdarzenia, np. generowane przez użytkownika. Do dyspozycji użytkownik ma szereg narzędzi i wbudowanych klas. Gdy zachodzi potrzeba użycia klasy, tworzy się jej instancję (klon) nazwaną obiektem. Obiekt zawiera wszystkie instrukcje opisane w klasie. Obiekty posiadają metody, właściwości i zdarzenia. ActionScript zawiera wiele klas wbudowanych – złożonych typów danych, które mogą być wykorzystywane do określonych celów. Przykładami takich klas mogą być: Math, Button lub Date. Często używaną klasą jest MovieClip oraz jej metody i właściwości, np. stop i gotoAndPlay. Klasa MovieClip zawiera także właściwości, które można dla klonu zmieniać lub definiować – np.: *\_visible*, *\_width*, *\_height*. Obiekty bazujące na klasach MovieClip, Button, TextField i Component są we Flashu reprezentowane w sposób wizualny. Instancje wielu innych klas, na przykład LoadVars i Sound, tworzy się wyłącznie za pomocą kodu ActionScript. Gdy tworzy się nową instancję klasy, wywołuje się funkcję konstruktora: specjalną funkcję, która najczęściej odpowiada za inicjalizację obiektu [English 2006].

Bardzo często w aplikacjach programu Flash tworzy się funkcje, które są blokami kodu wykorzystywanymi wielokrotnie w programie. Zwracają one określoną wartość (po wykonaniu określonych zadań) i są do nich przypisane parametry. Parametry nazywane czasem argumentami, umożliwiają wysłanie do funkcji wartości stałej lub zmiennej, która może być następnie używana lub modyfikowana w kodzie funkcji. Parametry pozwalają modyfikować zachowanie

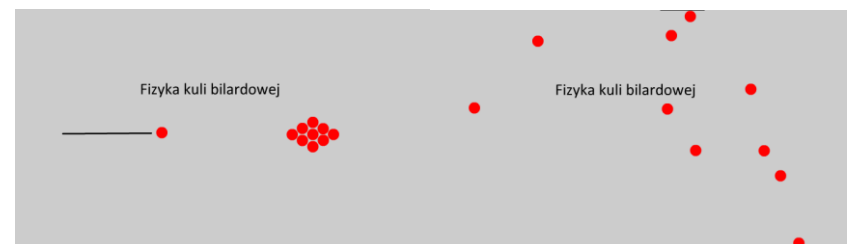
lub efekt działania funkcji. Język ActionScript zawiera również instrukcje warunkowe i trzy typy pętli, z których wszystkie wykonują akcję (lub ich zbiór) wówczas, gdy dany warunek jest prawdziwy.

We Flashu tworzy się również aplikacje, w których obiekty oddziałują ze sobą. W sytuacji, gdy poruszający obiekt wykrywa obecność innych obiektów, może reagować na nie w określony sposób. Przyczyną takich reakcji mogą być różne zdarzenia, najczęstsze to kolizja i zbliżenie. Istnieje wiele odmian kolizji, zależnych od kształtów kolidujących przedmiotów.



Rys 3. Typy kolizji w programie Flash [źródło: Dolecki 2002]

Wykorzystuje się dwie popularne metody detekcji kolizji: za pomocą metody *MovieClip.HitTest()* oraz za pomocą obliczeń matematycznych. W aplikacjach wykorzystuje się możliwości symulacji kolizji obiektu ze ścianą, kolizji prostokątów, kolizji kół. Aby uzyskiwać realistyczne efekty, należy również spowodować, aby kolidujące obiekty odpowiednio reagowały na tę kolizję. W programie Flash istnieją dwa typy reakcji na kolizje: reakcje niefizyczne oraz reakcje fizyczne. Reakcje fizyczne – bazują na równaniach fizycznych lub w jakiś sposób naśladują naturalne zachowanie. Bardzo często rozważa się reakcje fizyczne bazujące na zasadzie zachowania pędu i zasadzie zachowania energii kinetycznej. Efekty można przeanalizować w mechanizmie odbić kul bilardowych.



Rys 4. Mechanizm odbić kul bilardowych

```
74 // -----równania zasad zachowania pędu i energii kinetycznej---oblicz nowe p
75 P=(mass[n]*xVel1prime+mass[m]*xVel2prime);
76 V=(xVel1prime-xVel2prime);
77 var v1f=(P-mass[m]*V)/(mass[n]+mass[m]);
78 var v2f=(V+v1f);
79 var xVel1prime=v1f;
80 var xVel2prime=v2f;
81 // -----przenieś nowe prędkości z powrotem do układu współrzędnych Flasha
82 var xVel1=xVel1prime*cosTheta-yVel1prime*sinTheta;
83 var xVel2=xVel2prime*cosTheta-yVel2prime*sinTheta;
84 var yVel1=yVel1prime*cosTheta+xVel1prime*sinTheta;
85 var yVel2=yVel2prime*cosTheta+xVel2prime*sinTheta;
86 //-----gdz znamy nowe prędkości, przepisujemy je z powrotem do tablicy prędkości
87 xVelocity[n]=xVel1;
88 xVelocity[m]=xVel2;
89 yVelocity[n]=yVel1;
90 yVelocity[m]=yVel2;
91
```

Rys 5. Fragmenty skryptów dotyczących fizyki kuli bilardowej

W programie Flash poprawna implementacja praw fizyki pozwala użytkownikowi uzyskiwać fizycznie realistyczne rezultaty. Przedstawione przykłady wskazują na duże możliwości ActionScript umożliwiające implementację wielu zjawisk fizycznych w tym języku. Za pomocą skryptów ActionScript można implementować prawa fizyki, tak by odtwarzać realistyczny ruch z uwzględnieniem grawitacji, lepkości, tarcia i oporów powietrza oraz kolizje i reakcje obiektów na kolizje.

## Bibliografia

- Bargiel D. (2002), *Flash MX. Ćwiczenia praktyczne*, Gliwice.
- Beard D. (2002), *Flash5 ActionScript Techniki zaawansowane*, Gliwice.
- Bhargal S., Farr A., Rey P. (2000), *Flash 5. Podstawy*, Gliwice.
- Dolecki E. (2002), *Flash Super Samuraj*, Gliwice.
- English J. (2006), *Macromedia Flash8. Oficjalny podręcznik*, Gliwice.
- Świdarska M. (2002), *Animacje i WWW. Ćwiczenia z Macromedia Flash 5*, Warszawa.
- Ulrich K. (1999), *Flash 4*, Wydawnictwo Helion, Gliwice.

**Sławomir Iskierka, Janusz Krzemiński, Zbigniew Weźgowiec**

## **SYMULACJE KOMPUTEROWE W DYDAKTYCE TEORII OBWODÓW ELEKTRYCZNYCH**

### **Wstęp**

Teoria obwodów elektrycznych jest działem elektrotechniki teoretycznej, obejmującym szeroki zakres zagadnień związanych z projektowaniem, budową i obliczaniem podstawowych parametrów układów składających się z elementów elektrycznych biernych i czynnych. Obwody te mogą być zasilane prądem stałym, zmiennym sinusoidalnym i odkształconym, okresowym i nieokresowym. Możliwa ilość wzajemnych kombinacji tych parametrów powoduje, że projektowanie i analiza obwodów elektrycznych jest zajęciem złożonym i pracochłonnym. Istnieje jednak możliwość zautomatyzowania tych czynności. Kluczowym zagadnieniem w tym przypadku jest opracowanie modelu matematycznego danego obwodu i wykorzystanie tego modelu do badań symulacyjnych. Mając model matematyczny, najdogodniej symulację tę przeprowadzić stosując techniki komputerowe. Stosowane dawniej techniki analogowe (z wykorzystaniem maszyn analogowych) straciły obecnie na znaczeniu i praktycznie nie są już wykorzystywane.

### **1. Wykorzystanie symulacji komputerowych do analizy obwodów elektrycznych**

Rozwój informatyki i technik komputerowych spowodował, że stosowane dawniej metody symulacji opierające się bardzo często na badaniu laboratoryjnych modeli rzeczywistych, wykonanych w pewnej skali i przy określonych parametrach, straciły na znaczeniu. Tego typu symulacje były możliwe do realizacji tylko wtedy, gdy istniała możliwość zbudowania odpowiedniego modelu i wykonania na nim prób. Obiektem takim mógł być na przykład model samolotu badany w tunelu aerodynamicznym. Obwody elektryczne ze swej natury są podatne na badania laboratoryjne. Stosunkowo prosto je zrealizować w warunkach laboratoryjnych i przebadać ich właściwości. Zasadnicze problemy pojawią się z chwilą wzrostu ich złożoności wynikającej z dużej liczby elemen-

tów tak czynnych, jak i biernych, stopnia wzajemnego ich powiązania i sygnałów, jakie w nich przebiegają. Koszty tego typu badań i czas ich trwania zdecydował o coraz powszechniejszym wykorzystywaniu do ich analizy symulacji komputerowych.

Teoria obwodów rozwijała się wraz z rozwojem elektrotechniki, elektroniki, telekomunikacji i teleinformatyki. W początkowym etapie obwodami elektrycznymi były przede wszystkim układy prądu stałego. Wraz ze skonstruowaniem generatorów synchronicznych i umieszczeniu ich w sieci energetycznej rozpoczęła era prądów zmiennych sinusoidalnych a wraz z nią teoria je opisująca. Rozwijająca się elektronika a zwłaszcza zbudowanie pierwszego układu scalonego postawiło przed teorią obwodów nowe wyzwania związane z drastycznym wzrostem rozmiarów sieci mierzonej ilością umieszczonych w niej elementów. Powstanie układów wielkiej skali integracji zintensyfikowało te wyzwania.

Obecnie teoria obwodów elektrycznych to rozległa dziedzina elektrotechniki teoretycznej obejmującej takie klasyczne zagadnienia, jak [Cholewicki 1967]: obwody prądu stałego liniowe i nieliniowe oraz obwody magnetyczne, obwody prądu sinusoidalnego nierozgałęzione i rozgałęzione, czwórniki i filtry częstotliwościowe, linie długie czy też znane z energetyki obwody trójfazowe i wielofazowe.

Znane od dawna pojęcie obwodu elektrycznego (sieci elektrycznej) w klasycznym rozumieniu uległo obecnie znacznej ewolucji i rozszerzeniu. Jako sieci elektryczne traktuje się dzisiaj układy scalone wielkiej i bardzo wielkiej skali integracji, w których ilość użytych elementów dochodzi do wieluset tysięcy czy nawet milionów [Ogrodzki 1994]. Formalnie sieciami elektrycznymi są również sieci transmisji danych.

Obliczanie i analizę współczesnych obwodów elektrycznych skutecznie ułatwiają dostępne na rynku oprogramowania komercyjne pakiety, które między innymi umożliwiają ich symulację komputerową. Do najpopularniejszych z nich należą Matlab i MathCad, a program PSpice jest wprost dedykowany do symulacji komputerowych obwodów elektrycznych. Ich możliwości są bardzo rozbudowane, a szczegółowych informacji na ten temat można zaczerpnąć między innymi z [Zimny, Karwowski 1996] – program PSpice, [Zalewski, Cegiela 2000] – program Matlab, [Jakubowski 2000] – MathCad. Każda kolejna wersja z tych programów charakteryzuje się przede wszystkim rozbudowanymi możliwościami i coraz bardziej przyjaznym interfejsem użytkownika.

W praktyce szkolnej bardzo popularny program Excel może również być wykorzystany do przeprowadzania licznych symulacji komputerowych [Obecny 2002], [Zawadzki 2002]. Wykorzystując jego bardziej zaawansowane funkcje, w połączeniu z wykorzystaniem języka VBA, można zaprojektować w pełni profesjonalne aplikacje symulacyjne [Bullen, Bovey, Greek 2006], [Bourg 2006].



Skalę i zakres wykorzystania przedstawionych powyżej programów w procesie dydaktycznym powinien precyzyjnie ustalić prowadzący przedmiot. Skupienie się przede wszystkim na opanowaniu możliwie wielu funkcji tych programów i sprawnego posługiwania się nimi może w praktyce doprowadzić u studentów do fałszywego przekonania, że opanowali oni trudną sztukę analizy obwodów elektrycznych.

## **2. Problemy związane z wykorzystaniem symulacji komputerowych w dydaktyce**

Jak wspomniano wyżej, teoria obwodów elektrycznych jest dziedziną obejmującą bardzo szerokie spektrum zagadnień, a wraz z rozwojem techniki staje przed koniecznością rozwiązywania coraz to bardziej złożonych problemów.

Rosnący stopień trudności zagadnień, którymi zajmuje się obecnie teoria obwodów elektrycznych stwarza konkretne wyzwania dla dydaktyki tego przedmiotu. Jednym z najistotniejszych z nich jest konieczność wykorzystywania przez współczesną teorię obwodów elektrycznych rozbudowanego aparatu matematycznego obejmującego takie zagadnienia, jak teoria równań liniowych i nieliniowych, równań różniczkowych, rachunek macierzowy, rachunek prawdopodobieństwa, a częstokroć również i statystyka. Jeżeli do tych zagadnień dołączyć coraz bardziej niezbędną w teorii obwodów elektrycznych teorię sygnałów wraz z jej aparatem matematycznym, to w całej rozciągłości jawią się problemy, przed jakimi staje wykładowca tego przedmiotu.

Na te merytoryczne problemy nakłada się dodatkowy i to bardzo uciążliwy, a mianowicie powszechnie znana niechęć naszej młodzieży do nauki matematyki i fizyki. Zjawisko to występuje już na najwcześniejszych etapach kształcenia, a jego skutki stają się najbardziej odczuwalne na kierunkach technicznych wyższych uczelni. Omawianie go jednak w tym miejscu wydaje się niecelowe, ze względu na fakt, że pomimo poświęcenia mu znacznej ilości narad i konferencji, publikacji naukowych i popularnonaukowych, stopień przygotowania kandydatów na politechniki z tych przedmiotów ulega i tak ciągłej degradacji.

Wobec powyższych faktów, przy prowadzeniu zajęć z teorii obwodów elektrycznych wykładowca i studenci stają przed swoistym dylematem. Jak pogodzić złożoność materii, jaką jest teoria obwodów elektrycznych z koniecznością nauczania studentów, przyszłych inżynierów, rozwiązywania konkretnych zagadnień technicznych związanych z ich projektowaniem, budową i analizą. Praktyka życia codziennego pokazuje dwa podstawowe podejścia dotyczące rozwiązania tego problemu, z możliwością ich dalszych modyfikacji w zależności od merytorycznego przygotowania studentów, ilości dostępnych laboratoriów i ich wyposażenia oraz możliwości wykorzystywania sprzętu komputerowego, z zainstalo-

wanymi legalnymi kopiami oprogramowania, umożliwiającego symulacje obwodów elektrycznych.

Pierwsze możliwe jest do realizacji, gdy grupa studentów charakteryzuje się wysokimi predyspozycjami intelektualnymi, odpowiednią wiedzą matematyczną, a przede wszystkim chęcią do nauki. W tym przypadku można zagadnienia z teorii obwodów elektrycznych rozwiązywać w sposób wydaje się najbardziej naturalny, a mianowicie, wykorzystując odpowiednie działy matematyki szczegółowo omawiać poszczególne zagadnienia, ilustrując treść wykładu przykładami rozwiązań konkretnych zadań. Celowe wydaje się również zintensyfikowanie ćwiczeń laboratoryjnych z tego przedmiotu poprzez wymaganie od studentów nie tylko wykonania ćwiczeń praktycznych i sporządzenie odpowiednich protokołów, ale zweryfikowania również otrzymanych wyników pomiarów, a przynajmniej ich części, poprzez samodzielnie wykonane symulacje sporządzone w dowolnym języku programowania na modelu matematycznym. Wymóg ten, choć najprawdopodobniej wywoła w pierwszym odruchu protest części studentów, wydaje się kluczowym zagadnieniem w całym procesie dydaktycznym tego przedmiotu. Jego realizacja wymaga bowiem aktywności i zaangażowania studentów. Wynika to z konieczności opanowania przez nich nie tylko zagadnień teoretycznych związanych z teorią obwodów, podstawowych metod numerycznych wraz z ich ograniczeniami i wprowadzanymi błędami, ale również umiejętność programowania niezbędną do samodzielnego zrealizowania odpowiedniego programu symulującego badany praktyczny układ. Takie podejście gwarantuje studentom w pełni panowanie nad stosowanymi metodami numerycznymi, umożliwiając im w ten sposób świadomy wybór odpowiedniego algorytmu rozwiązania konkretnego zagadnienia, co ma szczególne znaczenie przy wykorzystaniu w przyszłej pracy zawodowej komercyjnych programów umożliwiających symulacje zagadnień z teorii obwodów.

Opracowanie odpowiedniego programu symulacyjnego obejmującego wybrane zagadnienia z teorii obwodów, na przykład prądy zmienne w obwodach jedno- i wielooczkowych, może być zagadnieniem zbyt obszernym do opracowania przez studenta w trakcie odbywania laboratorium. Celowe jest podzielenie tego zadania na dwa etapy. Pierwszy obejmowałby tylko konkretny układ badany na laboratorium, co wydaje się zdaniem do wykonania przez studenta w trakcie odbywania laboratorium. W drugim etapie można powiązać opracowanie bardziej rozbudowanego programu, uwzględniającego większą klasę zagadnień i odpowiedni interfejs użytkownika z odpowiednim tematem pracy dyplomowej. Przykładem takiego podejścia jest praca [Molik 2004], której celem było opracowanie programu dotyczącego podstawowych praw elektrotechniki w obwodach prądu stałego i zmiennego. Program ten został napisany przy użyciu Microsoft Visual C++ 6.0 znajdującego się w pakiecie programów Microsoft Visual Studio 6.0. Umożliwia on analizę obwodów prądu stałego i zmiennego jedno-

i wielooczkowych. Przykładowe okno programu dotyczące II prawa Kirchhoffa przedstawia rys. 1.

Tych umiejętności najczęściej pozbawieni są studenci, którzy teorię obwodów elektrycznych poznają poprzez ogólny wykład teoretyczny połączony z prowadzonymi w sposób klasyczny ćwiczeniami laboratoryjnymi, nawet przy realizowanych równocześnie ćwiczeniach tablicowych.

**II prawo Kirchhoffa:** W dowolnym oczku obwodu elektrycznego prądu sinusoidalnego suma algebraiczna wartości chwilowych (suma geometryczna wartości skutecznych) sinusoidalnych napięć źródłowych jest równa sumie algebraicznej wartości chwilowych (sumie geometrycznej wartości skutecznych) napięć na elementach R, L, C wchodzących w skład rozpatrywanego oczka.

$$\sum_{k=1}^n (e_k) = \sum_{k=1}^m (u_k), \quad \sum_{k=1}^n (E_k) = \sum_{k=1}^m (U_k)$$

Schemat obwodu elektrycznego.

Przykład obliczeniowy do schematu:

$E1_m = 810$  [V],  $R2 = 20$  [ $\Omega$ ],  $L4 = 220$  [mH]  
 $E2_m = 210$  [V],  $R6 = 90$  [ $\Omega$ ],  $C5 = 150$  [ $\mu$ F]  
 $R1 = 70$  [ $\Omega$ ],  $L3 = 10$  [mH],  $C6 = 80$  [ $\mu$ F]  
 $f = 122$  [Hz],  $\varphi_1 = 0$  [st.],  $\varphi_2 = 0$  [st.]

Równania do schematu dla wartości skutecznych w zapisie liczb zespolonych wynikające z I i II prawa Kirchhoffa:

dla węzła a:  $i_1 - i_4 - i_6 = 0$       dla oczka 1:  $E1 = U_{R1} + U_{L4} + U_{L3}$   
 dla węzła d:  $i_4 + i_6 - i_3 = 0$       dla oczka 2:  $E2 = U_{L3} + U_{C5} + U_{R2}$   
 dla węzła c:  $i_6 + i_2 - i_5 = 0$       dla oczka 3:  $0 = U_{L4} - U_{R6} - U_{C6} - U_{C5}$

$X_{L3} = 7.665486$  [ $\Omega$ ]       $X_{C6} = 16.306859$  [ $\Omega$ ]  
 $X_{L4} = 168.640694$  [ $\Omega$ ]  
 $X_{C5} = 8.696991$  [ $\Omega$ ]

Rys. 1. Realizacja II prawa Kirchhoffa w programie symulacyjnym

Oprócz tych dwóch sposobów postępowania, istnieją oczywiście warianty pośrednie, w których student, oprócz wykładu teoretycznego i ćwiczeń laboratoryjnych, posługuje się do weryfikacji otrzymanych wyników wybranymi (najczęściej przez prowadzącego zajęcia) komercyjnymi programami symulacyjnymi obwody elektryczne, dostępnymi na rynku. Takie podejście umożliwia co prawda opanowanie któregoś z narzędzi komercyjnych, pozbawia jednak studentów możliwości świadomej weryfikacji możliwości, jakie dane narzędzia oferują. Dodatkowym zagrożeniem przy tego typu koncepcji prowadzenia zajęć wydaje się, ze względu na przykład na stan laboratoriów, pokusa realizacji coraz większej ilości ćwiczeń jako symulacji komputerowych.

## Podsumowanie

Stosowanie symulacji, poprzez wykorzystanie komercyjnych programów komputerowych, w procesie dydaktycznym w przypadku każdego z przedmio-

tów powinno być szczegółowo i precyzyjnie przemyślane. Stosowane pakiety oprogramowania mają bowiem zgromadzoną poprzez ich twórców (najczęściej bardzo wybitne jednostki i zespoły) wiedzę, którą właśnie student powinien nabyć w drodze samodzielnej, indywidualnej nauki na uczelni. Symulacje winny być traktowane tylko jako środki pomocnicze, umożliwiające pokazanie większej liczby przypadków, obiektów lub zdarzeń, których powtarzanie wiązałoby się z mechanicznym kopiowaniem już opanowanych umiejętności i nawyków.

Należy dążyć do wymuszania opracowywania przez studentów własnych programów (nawet ułomnych) symulujących działanie badanych układów, zdarzeń, zależności. Programy te mogą być pisane z wykorzystaniem różnych programów lub platform programistycznych, w zależności od posiadanych przez nich umiejętności. Przykładowo Excel, Visual Studio to popularne pakiety oprogramowania, które z powodzeniem mogą być wykorzystane do stworzenia wielu użytecznych symulacji komputerowych badanych układów czy zjawisk.

Samodzielne pisanie programów pozwala ich autorom bardziej intuicyjnie poznać mechanizmy i idee zawarte w różnych algorytmach i metodach numerycznych. Zdobyta w ten sposób wiedza będzie bardzo pomocna w przyszłej działalności zawodowej.

Stosowanie symulacji komputerowych w przemyśle, gospodarce, ekonomii czy badaniach naukowych jest oczywiście niezbędne i częstokroć stanowi jedyną możliwość przeanalizowania konkretnych problemów. Są to jednak zagadnienia daleko wykraczające poza ramy prezentowanych powyżej rozważań.

## Bibliografia

- Aho A., V., Hopcroft J., E., Ullman J., D. (2003), *Algorytmy i struktury danych*, Gliwice.
- Aho A., V., Hopcroft J., E., Ullman J., D. (2003), *Projektowanie i analiza algorytmów*, Gliwice.
- Banachowski L., Diks K., Rytter W. (2001), *Algorytmy i struktury danych*, Warszawa.
- Bourg D., M. (2006), *Excel w nauce i technice. Receptury*, Gliwice.
- Bullen S., Bovey R., Greek J. (2006), *Excel. Programowanie dla profesjonalistów*, Gliwice.
- Chocjan J., Drygała A., Kolmer A. (1979), *Zbiór zadań z teorii obwodów III*, Gliwice.
- Cholewicki T. (1967), *Elektrotechnika teoretyczna, tom I*, Warszawa.
- Cholewicki T. (1971), *Elektrotechnika teoretyczna, tom II*, Warszawa.
- Dahlquist G., Bjorck A. (1983), *Metody numeryczne*, Warszawa.
- Garczarczyk Z. (1988), *Metody numeryczne w elektrotechnice teoretycznej. Część I. Analiza obwodów liniowych i nieliniowych*, Gliwice.
- Iskierka I., Iskierka S., Krzemiński J., Popov J., Weźgowiec Z., (2001), *Ćwiczenia komputerowe. Visual Basic, Borland C++, Delhi, MathCad, Excel*, Częstochowa.
- Jakubowski K. (2000), *Mathcad 2000 Professional*, Warszawa.
- Korol J. (2001), *Visual Basic w Excelu 2000*, Warszawa.
- Kościelski A. (1997), *Teoria obliczeń. Wykłady z matematycznych podstaw informatyki*, Wrocław.
- Król A., Moczko J. (2000), *PSpice. Symulacja i optymalizacja układów elektronicznych*, Poznań.
- Lafore R. (2004), *Java. Algorytmy i struktury danych*, Gliwice.

- Liengme B.,V. (2002), *Microsoft Excel w biznesie i zarządzaniu*, Warszawa.
- Lipiński W. (2005), *Teoria obwodów elektrycznych w programach MathCad i PSpice*, Szczecin.
- Loudon K. (2003), *Algorytmy w C*, Gliwice.
- Lubelski K. (1998), *Elektrotechnika teoretyczna. Obwody elektryczne prądu stałego*, Częstochowa.
- Majchrzak E., Mochnacki B. (2004), *Metody numeryczne. Podstawy teoretyczne, aspekty praktyczne i algorytmy*, Gliwice.
- Majewski A. (1984), *Komputerowe metody rozwiązywania zagadnień brzegowych*, Warszawa.
- Michalski W. (1996), *Arkusze kalkulacyjne w zastosowaniach praktycznych*, Warszawa
- Molik D. (2004), *Podstawowe prawa elektrotechniki*, Częstochowa.
- Obecny A. (2002), *Statystyka opisowa w Excelu dla szkół*, Gliwice.
- Ogrodzki J. (1994), *Komputerowa analiza układów elektronicznych*, Warszawa.
- Sedgewick R. (2003), *Algorytmy w C++*, Warszawa.
- Stephens R. (2000), *Algorytmy i struktury danych*, Gliwice.
- Stoer J., Bulirsch R. (1980), *Wstęp do metod numerycznych*, Warszawa.
- Tyszler J. (1978), *Symulacja cyfrowa*, Warszawa.
- Walkenbach J. (2006), *Excel. Najlepsze sztuczki i chwyt*, Gliwice.
- Wróblewski P. (2003), *Algorytmy. Struktury danych i techniki programowania*, Gliwice.
- Zachara Z., Wojtuszkiewicz K. (2000), *PSpice. Przykłady praktyczne*, Warszawa.
- Zalewski A., Cegiela R. (2000), *Matlab – obliczenia numeryczne i ich zastosowania*, Poznań.
- Zawadzki M. (2002), *Fizyka. Rozwiązywanie zadań w Excelu. Ćwiczenia praktyczne*, Gliwice.
- Zimny P., Karwowski K. (1996), *Spice. Klucz do elektrotechniki. Instrukcja, program, przykłady*, Gdańsk.

Część trzecia

**TECHNIKI SYMULACYJNE  
W NAUCZANIU – UCZENIU SIĘ  
PRZEDMIOTÓW ZAWODOWYCH**



**Marek Kęsy**

## **TECHNIKI SYMULACYJNE W PROGRAMOWANIU OBRABIAREK STEROWANYCH NUMERYCZNIE CNC**

### **Wprowadzenie**

W warunkach wolnorynkowych tendencji do skracania cykli życia produktów i zmniejszania serii wytwarzanych wyrobów, zmienności asortymentu produkcyjnego – przy ciągle wzrastających wymaganiach dotyczących m.in. dokładności wymiarowej oraz produktywności procesów wytwarzania – wymaga się zastosowania środków produkcyjnych odznaczających się elastycznością, tj. możliwością szybkiej zmiany profilu wytwórczego przy możliwie małych nakładach finansowych. Wymogi te spełniają obrabiarki sterowane numerycznie CNC, których programowanie odbywa się zazwyczaj przy wykorzystaniu symulatorów obróbki, systemów informatycznych CAM lub CAD/CAM.

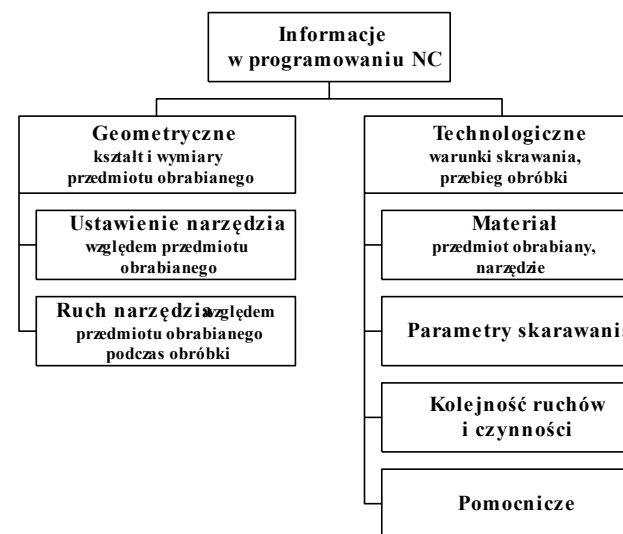
Wymagania współczesnej techniki powodują, iż w procesie kształcenia inżynierskiego coraz większy udział mają przedmioty z zakresu: komputerowego wspomaganie projektowania, programowania maszyn sterowanych numerycznie oraz automatyzacji i robotyzacji wytwarzania. Zakres nabywanej wiedzy wskazuje na konieczność interdyscyplinarnego kształcenia w zakresie procesów wytwarzania, ich automatyzacji oraz komputerowego wspomaganie procesów projektowych i eksploatacyjnych.

### **1. Sterowanie numeryczne maszyn i urządzeń**

W przemyśle wytwórczym sterowanie numeryczne spowodowało, iż sprzęt i oprogramowanie komputerowe należą obecnie do standardowego wyposażenia praktycznie każdego zakładu, a obrabiarki sterowane numerycznie znajdują tam podstawowe zastosowanie. Ponadto rozwój technologii informatycznej spowodował możliwość jej zastosowania w różnych dziedzinach technologicznych, co powoduje, iż można obserwować praktyczne zastosowanie sterowania numerycznego w zakresie m.in.: obróbki skrawaniem, technologii spawalniczych, procesów gięcia, zwijania, wyoblania itd. [Grzesik 2006 : 12].



Sterowanie – w odniesieniu do maszyn i urządzeń produkcyjnych, rozumiane jest jako kierowanie ich pracą przez wpływanie na przebieg procesu wytwarzania. Plan pracy obrabiarki sterowanej numerycznie zapisany jest w postaci symbolicznej, tzn. programu, w którym zawarte są informacje geometryczne i technologiczne obróbki (rys.1).



**Rys. 1. Specyfikacja informacji w programowaniu NC**  
[na podst. Kosmol 1995:77]

Dane programowe odnoszą się do maszyn i urządzeń, w których funkcje sterowania przejmują elektroniczne układy sterowania numerycznego, zastępując tym samym bezpośrednią obsługę człowieka.

### ***1.1. Obrabiarki sterowane numerycznie***

Współczesne obrabiarki sterowane numerycznie charakteryzują się standardami technicznymi określonymi przez atrybuty: elastyczności produkcyjnej, szeroki zakres możliwości technologicznych, automatyzację cykli wytwórczych, dużą dokładność i powtarzalność wymiarową. W zakresie cech eksploatacyjnych powinny spełniać standardy współczesnej techniki również w zakresie bezpieczeństwa i ergonomii pracy oraz wymagań ekologicznych [na podst. Honczarenko 2008 : 34–43].

Elastyczność produkcyjna polega na łatwym i względnie szybkim dostosowaniu maszyny do zmieniających się zadań produkcyjnych, określonym przez czas opracowania programu sterującego oraz technicznego przebrojenia obrabiarki. Stanowiąc atrybut użytkowy – wynikowy, uzależniona jest od elastyczno-

ści składowych, tj.: technologicznej, sterowania oraz urządzeń lub systemów wspomagających. Dominującym wymogiem stawianym obrabiarkom jest również dokładność wymiarowa, która jest uzależniona od dokładności geometrycznej i kinematycznej zespołów mechanicznych, ich właściwości statycznych, dynamicznych i cieplnych, dokładności układów pomiarowych oraz poprawności opracowanego programu obróbki.

Nowoczesna technologia wykonania, układy sterowania numerycznego CNC oraz wymienione powyżej właściwości eksploatacyjne powodują, że ich posiadanie uwarunkowane jest koniecznością ponoszenia dużych nakładów inwestycyjnych, których zwrot w dużym stopniu uwarunkowany jest właściwościami użytkowymi, tj.: pełną automatyzacją pracy, wzrostem możliwości technologicznych (koncentracja obróbki w czasie i w przestrzeni), jakością wytwórczą oraz dużą wydajnością obróbki.

### ***1.2. Zasady programowania obrabiarek sterowanych numerycznie***

Przedstawiona ogólna charakterystyka obrabiarek sterowanych numerycznie wskazuje, że bardzo istotnym czynnikiem ich eksploatacji jest proces programowego przygotowania obróbki maszynowej.

Sterowanie programowe oraz automatyzacja ruchów wymaga sformalizowanego ich opisu tak, aby deklarowane w programie sterującym informacje i dane były jednoznacznie określone i identyfikowane w czasie pracy obrabiarki. Analizując użytkowe atrybuty obrabiarek sterowanych numerycznie w ujęciu możliwości programowych można wskazać, iż powinny one zapewnić:

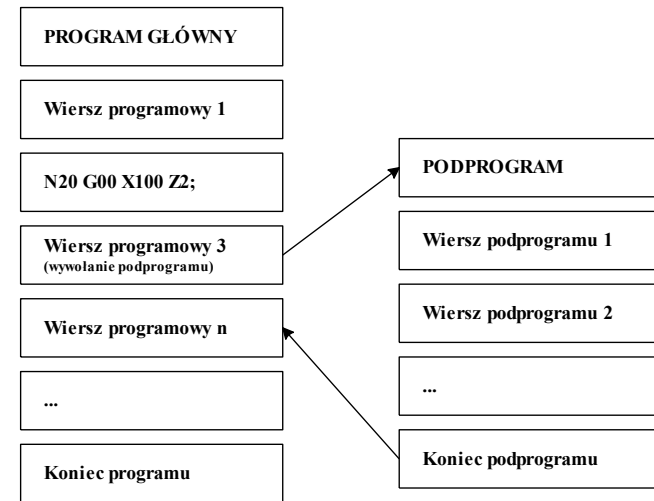
- elastyczność sterowania, rozumianą w aspekcie szybkiego i łatwego ich programowania,
- niezbyt pracochłonne przygotowanie programu i taką formę jego zapisu, aby było to opłacalne przy niewielkich seriach produkowanych wyrobów.

Celem programowania jest opisanie, w zrozumiały dla danego układu sterowania sposób, sekwencji ruchów i czynności niezbędnych do realizacji przebiegu operacji technologicznych. Do opisu procesu maszynowego niezbędne są dane dotyczące konfiguracji obrabiarki, oprzyrządowania, narzędzi, parametrów technologicznych oraz języka programowego [na podst. Stach 1999 : 6].

Proces programowania maszyn i urządzeń sterowanych numerycznie podzielić można na dwa lub trzy wyodrębnione etapy [Kosmol 1995 : 238–239]:

1. przygotowanie technologiczne – obejmujące całość działań i czynności dotyczących m.in. doboru materiału wyjściowego, opracowania procesu wytwarzania, ustalenia baz obróbkowych oraz sposobu mocowania przedmiotu, doboru narzędzi oraz parametrów technologicznych obróbki,

2. opracowanie programu sterującego pracą maszyny – tj. symboliczny zapis opracowanej technologii (rys. 2),
3. weryfikacja pracy w warunkach rzeczywistych.



Rys. 2. Struktura programu NC [Przybylski 2007:68]

Poprawność projektowanego procesu maszynowego analizowana powinna być z punktu widzenia:

- poprawności programowej – rozpatrywanej m.in. w aspekcie kompletności i prawidłowości deklarowanych instrukcji programowych i opisujących je wartości,
- poprawności technologicznej – rozpatrywanej w aspekcie bezpieczeństwa pracy i eliminacji stanów kolizyjnych,
- poprawności wytwórczej – rozpatrywanej w kategoriach uzyskanej dokładności wymiarowo-kształtowej oraz jakości powierzchni wyrobu.

Technologiczno-programowe przygotowanie pracy obrabiarek CNC stanowi podstawowy i istotny etap projektowy procesu wytwarzania. Potwierdzeniem powyższego jest duża intensywność kolizji maszynowych spowodowana błędami programowymi, niewłaściwymi ustawieniami maszynowymi, błędnym doborem narzędzi, nieprawidłowym wymiarem materiału wyjściowego itd.. Wymienione powyżej przyczyny powodują około 50–60% przypadków kolizyjnych [na podst. Kosmol 1995 : 378], wskazując jednocześnie na znaczenie procedur technologiczno-programowego przygotowania wytwarzania.

Deklaracje programowe definiujące m.in.: parametry technologiczne procesu (G97 (G96) S..., , G95 (G94) F...), odwołujące się do stosowanych narzędzi

(T...), charakteryzujących proces obróbkowy (G31, G79, G84) – powodują konieczność wykorzystania opracowań technologicznych. Istotnym zagadnieniem w procesie programowania procesu obróbki oraz przygotowania technologicznego jest formalny obieg dokumentacji integrujący procedury programowania i symulacji obróbki z pracą wytwórczą systemów produkcyjnych.

Proces opracowania programu sterującego pracą obrabiarki CNC, rozpatrywany na ogólnym poziomie rozważań i częstokroć w oderwaniu od rzeczywistości, wydaje się rzeczą prostą. W kontekście jednak praktycznych aplikacji programujący proces wytwarzania napotkać mogą szereg mniej lub bardziej istotnych problemów praktycznych. Podstawowym zadaniem procesu dydaktycznego jest nie tylko przedstawienie „programowego” zakresu wiedzy, ale również zaprezentowanie szerszego spojrzenia na zagadnienia techniczne, wskazanie potencjalnych problemów praktycznych i sposobów ich rozwiązania.

### ***1.3. Metody programowania numerycznego***

Opracowanie programu sterującego pracą obrabiarek CNC odbywać się może za pomocą programowania: ręcznego, warsztatowego, maszynowego [Przybylski 2007 : 52].

**Metoda programowania ręcznego** polega na opracowaniu programu sterującego pracą obrabiarki zgodnie z semantyką danego języka programowego. Poniżej przedstawiono tożsame eksploatacyjnie fragmenty programów NC zapisane w języku MTS i SINUMERIK.

#### **Język programowania MTS**

```
...  
N100 G97 F0000.150 S0600 T0909 M03  
N105 G00 Z+0003.000 X+000.000  
N110 G84 Z-0111.000 K+030.000 A+001.000 B+001.000 D+005.000  
N115 G00 X+200.000 Z+0025.000  
...
```

#### **Język programowania SINUMERIK**

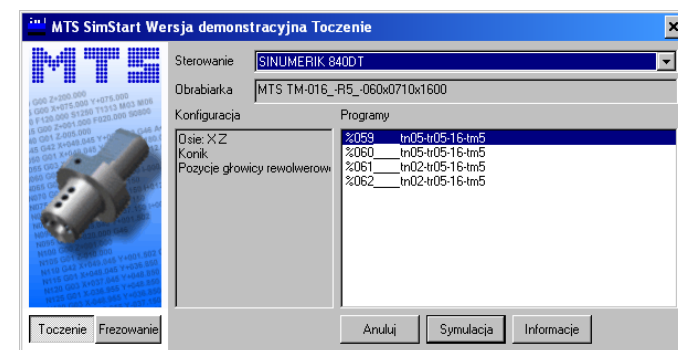
```
...  
N100 F0.15 S600 T9 D9  
N105 G0 X0 Z3  
N110 R11=1 R22=3 R24=5 R25=30  
N115 R26=-111 R27=1 R28=1  
N120 L98 P1  
N125 G0 X200 Z25  
...
```

Programowanie ręczne zorientowane jest na rodzaj sterowania i obrabiarkę, przez co powoduje konieczność opanowania wiedzy z zakresu konkretnego języka programowego, przy jednoczesnym uwzględnieniu specyfiki procesu wytwarzania. Rozpatrując programowanie ręczne z typowo „technicznego punktu widzenia”, opracowanie programu może być realizowane bezpośrednio na maszynie (poprzez wprowadzenie instrukcji programowych za pomocą pulpitu operatora) lub pośrednio, z wykorzystaniem np. edytora tekstu lub symulatora obróbki i późniejszej transmisji danych programowych do pamięci układu sterowania. **Programowanie warsztatowe** realizowane bezpośrednio na obrabiarce, polega na zastosowaniu symboli uwidocznionych na pulpicie obrabiarki lub na monitorze sterownika, poprzez dialog między programistą i sterownikiem obrabiarki. **Programowanie maszynowe** polega na przygotowaniu programu sterującego w kontekście obróbki konkretnego przedmiotu, o określonych kształtach i wymiarach, bez konieczności dokładnej znajomości obrabiarki, rodzaju sterowania i języka programowego.

Przykładem praktycznego wykorzystania zasad programowania ręcznego są symulatory obróbki (np. symulator MTS lub SinuTrain). Z kolei praktycznym przykładem wykorzystania zasad programowania maszynowego są systemy informatyczne CAD/CAM (np. AlphaCAM lub EdgeCAM).

## 2. Symulator MTS w dydaktyce programowania obrabiarek CNC

Symulator MTS jest częścią składową kompleksowego systemu CAD/CAM, wspomagającą technologię obróbki toczeniem i frezowaniem (rys.3). Symulator MTS ma do wyboru cztery możliwości programowania oraz zezwala na dokładną obserwację projektowanego procesu, identyfikacji stanów kolizyjnych, obliczenia czasu obróbki i „wirtualnej kontroli wykonanych” produktów.

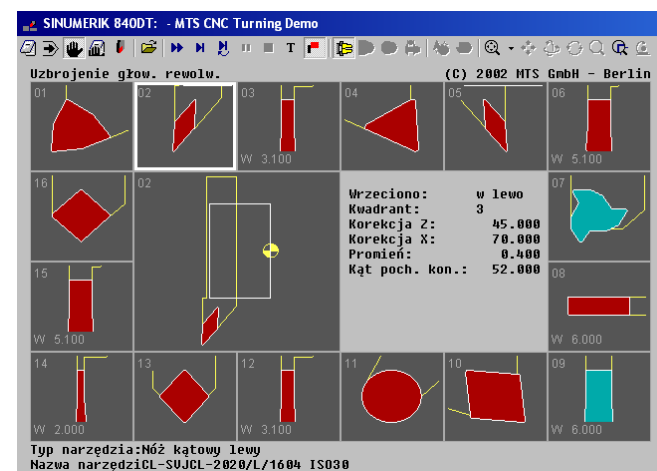


Rys. 3. Dydaktyczno-przemysłowy symulator MTS

Symulator przynosi maksymalną korzyść i bezpieczeństwo stosowania, kiedy wirtualne środowisko maszynowe w możliwie maksymalnym stopniu odpowiadać będzie warunkom technicznym i programowym systemów produkcyjnych. To powiązanie „dwóch światów” zapewnia konfiguracja symulatora w zakresie m.in. podstawowych wymiarów przestrzeni roboczej obrabiarki oraz jej elementów składowych, jak np. wrzeciono czy głowica narzędziowa, uzupełnione o wyposażenie technologiczne (np. uchwyt, konik tokarski). Uzupełniającymi mogą być deklaracje charakteryzujące obrabiarkę w zakresie maksymalnych wartości przenoszonych prędkości obrotowych i posuwów. W zakresie konfiguracji systemu narzędziowego deklarowany jest rodzaj suportu (głowica rewolwerowa lub magazyn), opisany m.in. przez definiujące go wymiary gabarytowe oraz liczbę gniazd narzędziowych.

Deklaracja „sprzętowa” powiązana być musi z zastosowanym rodzajem sterowania, a powiązany ich układ nosi nazwę tzw. grupy konfiguracyjnej, (rys.4).

```
( CONFIGURATION
( MACHINE MTS TM-010-R6-060x0744x1500
( CONTROL MTS TM06
( .....
( MAIN SPINDLE WITH WORKPART
( CHUCK KFD-HS 200
( .....
```

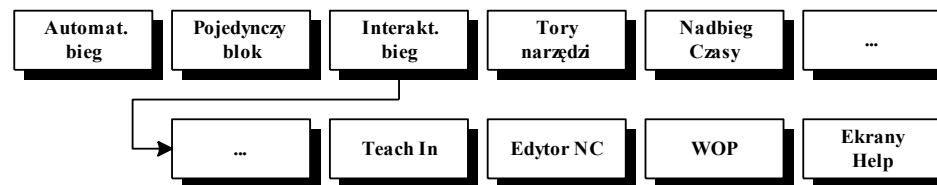


Rys.4. Deklaracje konfiguracyjne symulatora MTS

W zakresie czynności bezpośrednio poprzedzających programowanie pracy obrabiarek CNC wyodrębnić można m.in.: określenie geometrycznej postaci oraz wymiarów materiału wyjściowego, wybór systemu mocowania, identyfikacja położenia punktu zerowego przedmiotu obrabianego itd. Efektem końcowym deklaracji konfiguracyjnych oraz ustawień symulatora jest utworzona karta technologiczna – tzn. arkusz przygotowawczy, będący zestawieniem wszystkich zdefiniowanych – niezbędnych informacji, które potrzebne są do jednoznacznego określenia procesu maszynowego.

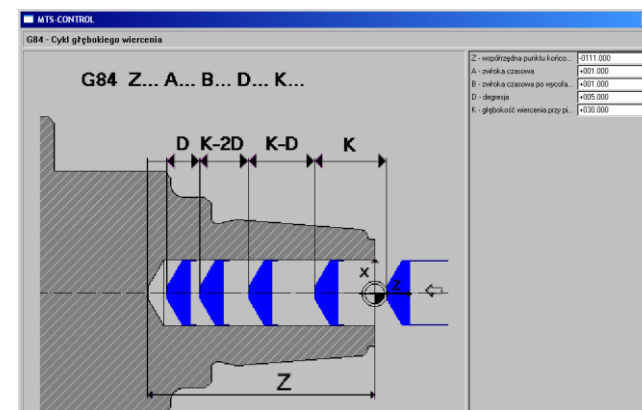
### 2.1. Metody programowania na symulatorze MTS

W zakresie procedury tworzenia programu NC symulator MTS oferuje następujące możliwości projektowe, tzn.: edytor NC, metodę programowania interaktywnego, metodę uczenia (Teach-In) oraz metodę programowania orientacyjno-warsztatowego (WOP), które w czasie programowania można stosować w sposób dowolny – zamiennie lub uzupełniająco (rys. 5).



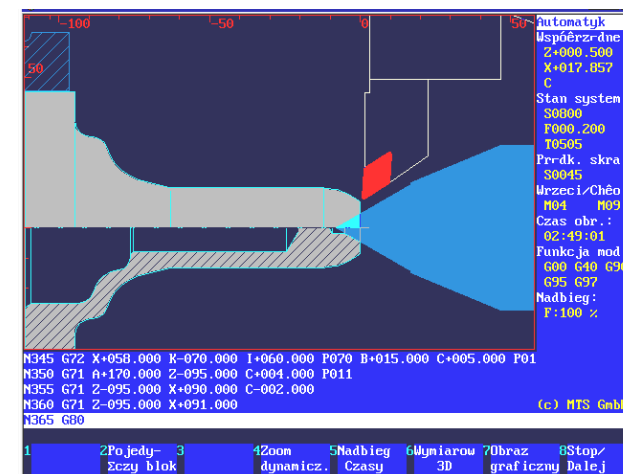
Rys. 5. Tryby pracy i programowania symulatora MTS

Programowanie obrabiarek realizowane na poziomie **edytora NC** jest metodą możliwą do wykorzystania, jednakże ze względu na małą efektywność stosowaną stosunkowo rzadko. Wymaga bardzo starannego i wnikliwego przygotowania programowego. Brak bieżącej wirtualnej weryfikacji obróbki powoduje, iż przedstawiony sposób programowania jest mało efektywny. Edytor NC weryfikuje poprawność programu jedynie w zakresie składni i semantyki deklarowanych wierszy i instrukcji programowych oraz analitycznej prawidłowości opisujących je parametrów. Podczas programowania, w każdej chwili istnieje możliwość skorzystania z ekranów pomocniczych (opcja **Help**). Wywołanie opcji pomocy, dla wprowadzonego kodu programowego, powoduje przedstawienie zazwyczaj ilustrowanego graficznie schematu, opisów i objaśnień programowych. Funkcja ta wydaje się szczególnie pomocna w przypadku złożonych cykli obróbkowych (a tym samym opisujących je instrukcji programowych). Współczesne wersje symulatorów CNC mogą posiadać również możliwość tzw. **programowania dialogowego** (rys.6). Jest to opcja stanowiąca swego rodzaju połączenie pomocy z przedstawieniem semantyki programowej [na podst. Dubas 2003 : 31 : 32].



Rys. 6. Programowanie dialogowe na symulatorze MTS

**Programowanie interaktywne** stanowi połączenie trybu pracy edytora NC i trybu wizualizacji obróbki maszynowej. Redagowaniu programu NC towarzyszy symulacja pracy na ekranie monitora (zazwyczaj w trybie „step by step”), która pozwala na bieżącą weryfikację poprawności wprowadzanych deklaracji. Użytkownik analizując aktualny stan obróbki decyduje o tym, czy wynik obróbki przyjąć czy też dane programowe zmienić. Istnieją przypadki, w których symulator autonomicznie nie zatwierdza wprowadzanego wiersza (błędy w składni lub analitycznej poprawności wprowadzanych argumentów). Przedstawione zalety tego sposobu programowania są niepodważalne, stąd też jest to metoda najczęściej wykorzystywana i preferowana przez programistów, w zakresie redagowania i edycji programu NC oraz analizy poprawności pracy obrabiarki.



Rys. 7. Analiza procesu obróbki na symulatorze MTS



W trybie interaktywnym symulator interpretuje program stopniowo – wiersz po wierszu, co umożliwia (w zakresie aktywnego, aktualnie analizowanego przez sterowanie wiersza programowego) przyjęcie dokonanych deklaracji programowych, ich modyfikację lub wprowadzenie zmian (rys.7).

Symulator MTS daje także możliwość wykorzystania metody uczenia **Teach-In**. Metoda uczenia pozwala na programowanie obróbki maszynowej poprzez realizację sekwencji czynności podstawowych i pomocniczych w trybie ręcznym, które są bieżąco zapamiętywane przez symulator. Metoda uczenia jest incydentalnie spotykaną metodą programowania obrabiarek numerycznych CNC – w przeciwieństwie do robotów przemysłowych. Z kolei metoda **programowania orientacyjno-warsztatowego (WOP)** wykazuje szczególną użyteczność w zakresie definiowania części programów, w których należy dokonać opisu złożonych geometrii przedmiotów obrabianych, przy wprowadzonych na etapie konstrukcji „uproszczeniach” powodujących brak jednoznaczności łańcuchów wymiarowych. Dane geometryczne opisujące przedmiot obrabiany podawane są przy pomocy specjalnych opcji dialogowych, które dają możliwość deklaracji, m.in.: długości i kąta pochylenia linii prostej, wszechstronnego opisu łuków kołowych, warunków styczności, zaokrągleń i sfazowań krawędzi, itp. Istotą tej metody programowania jest przejęcie funkcji obliczeniowych przez symulator, w znaczący sposób odciążających programującego od często czasochłonnych obliczeń matematycznych poprzedzających proces programowania [na podst.: Dubas 2003 : 90–95].

## **2.2. Symulacja obróbki na symulatorze MTS**

Symulator MTS posiada kilka metod prezentacji wyników programowania. Opcje symulacji odpowiadają w dużej części trybom pracy obrabiarek CNC, dając możliwość pracy w trybie automatycznym – ciągłym oraz krokowym, które uzupełnione być mogą w prezentację generowanych torów ruchu narzędzi.

W **trybie automatycznej** pracy wykonywana jest symulacja procesu obróbki w czasie rzeczywistym. Istnieje możliwość skorygowania czasu wirtualnej obróbki przez zastosowanie opcji Nadbieg – Czasy, dającej możliwość zwiększenia lub zmniejszenia intensywności procesu wytwórczego. Możliwe jest również wykorzystanie opcji przebiegu testowego. Przedstawione opcje symulatora, dające możliwość korygowania intensywności obróbki, są odpowiednikiem możliwości operacyjnych obrabiarek sterowanych numerycznie (korektory prędkości ruchu obrotowego i posuwowego, opcja Dry Run).

Kolejnym trybem pracy symulatora jest **tryb krokowy**. Stanowiąc opcję trybu pracy automatycznej, polega on na sekwencyjnej symulacji procesu obróbki, w której każdy wiersz programowy musi być zainicjowany klawiszem funk-

cyjnym. Przedstawiona opcja symulatora w pełni odpowiada trybowi pracy obrabiarki CNC, który określony jest aktywnym stanem opcji pulpitu operatora Single Block. Z kolei opcja symulatora „Pokaz torów ruchu” uzupełnia proces wirtualnej obróbki maszynowej o graficzną prezentację trajektorii ruchów narzędzi w przestrzeni roboczej obrabiarki. Symulator odrębnie interpretuje i prezentuje ruchy robocze i ustawcze, dając możliwość m.in. szczegółowej analizy obróbki w zakresie optymalizacji obróbki maszynowej.

Podczas symulacji wirtualny proces maszynowy prezentowany jest graficznie, dynamicznie – synchronicznie w stosunku do postępu obróbki, modyfikując geometryczną postać detalu obrabianego, z pokazaniem jego zarysu w widoku i przekroju (toczenie), względnie identyfikowanych kolorami kolejno skrawanych warstw (frezowanie). Wyświetlane są również aktualnie wykonywane wiersze programowe (rys. 7). Prawą stroną ekranu graficznego symulatora MTS zajmuje **tzw. pasek stanu**, tzn. część informacyjna, która w sposób umowny (poprzez zestawienie symboli, kodów alfanumerycznych oraz danych liczbowych), prezentuje najważniejsze parametry opisujące proces obróbki maszynowej. Informacje systemowe opisujące bieżący stan wirtualnej obróbki toczeniem obejmują m.in.:

- aktualne współrzędne położenia wybranego narzędzia,
- wartości prędkości: skrawania  $v$ , obrotowej  $n$ , ruchu posuwowego  $f$ ,
- aktywne funkcje przygotowawcze i pomocnicze określające status pracy obrabiarki,
- czas obróbki maszynowej.

Do użytecznych dydaktycznie funkcji symulatora MTS zaliczyć można również opcje programowe uzupełniające symulację obróbki w zakresie analizy dokładności wymiarowej, teoretycznej chropowatości powierzchni oraz wizualizacji efektów obróbki w wymiarze przestrzennym (3D).

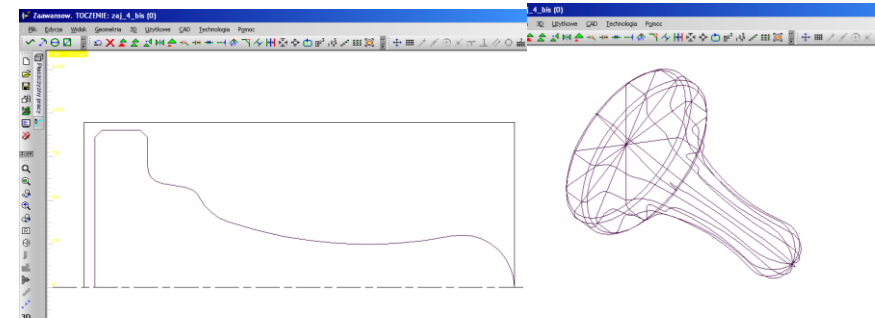
**Przedstawiona powyżej charakterystyka programowo-użytkowa wskazuje, iż symulator MTS jest efektywnym środkiem dydaktycznym, możliwym również do zastosowań praktycznych.** Trudności w jego zastosowaniu pojawiają się w przypadku projektowania obróbki wyrobów o dużej złożonej kształtu, wskazując zasadność wykorzystania systemów CAD/CAM.

### 3. Systemy CAD/CAM w dydaktyce programowania obrabiarek CNC

Programowanie obrabiarek z wykorzystaniem symulatorów CNC ściśle zorientowane jest z określonym rodzajem sterowania i wymaga od obsługującego go użytkownika pełnej znajomości nie tylko umiejętności obsługi, ale również zasad sterowania numerycznego, programowania czy semantyki deklarowanych wierszy programowych. Z kolei programowanie obróbki maszynowej w syste-

mach CAD/CAM polega na bezpośrednim wykorzystaniu modelu graficznego (dane CAD) do tworzenia programów sterujących pracą obrabiarek CNC (CAM), [Grzesik 2006 : 34–37]. Pozornie wydawać się więc może, że programowanie obrabiarek CNC przy wykorzystaniu systemów CAD/CAM zwalnia osoby obsługujące od konieczności posiadania wiedzy i umiejętności z zakresu sterowania numerycznego. Wydaje się jednak, że jest to pogląd błędny i zarazem nieodpowiedzialny. Wykorzystanie systemów CAD/CAM nie jest procesem autonomicznym, oderwanym od ogólnych zasad programowania numerycznego, stąd też obsługujący system powinien wykazywać umiejętność „przeniesienia” wprowadzanych deklaracji w kontekście tradycyjnego sposobu programowania [por. Kęsy 2005 : 258].

Systemy CAD/CAM w zakresie programowania obróbki maszynowej bazują na zdefiniowanych modelach graficznych wyrobu gotowego oraz materiału wyjściowego (modelach płaskich 2D i przestrzennych 3D), (rys. 8).



**Rys. 8. Deklaracja modeli graficznych przedmiotu obrabianego w systemie CAD/CAM – AlphaCAM**

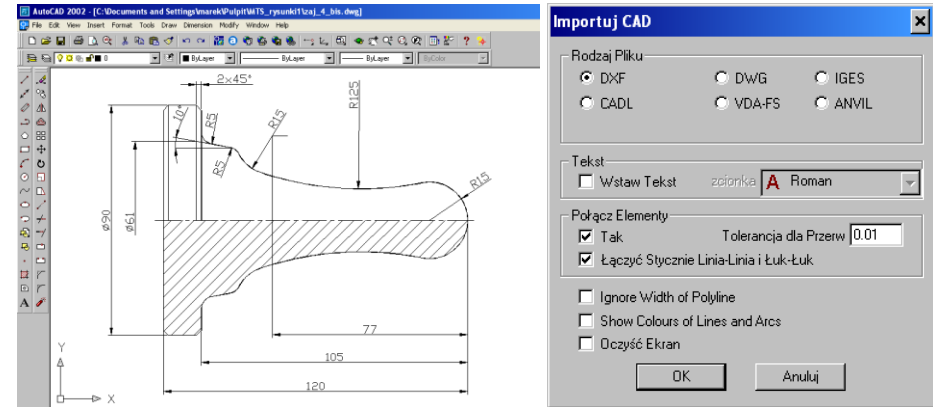
Zestawienie geometrii wyrobu gotowego i materiału wyjściowego stanowi niezbędne minimum, warunkujące procedurę projektową CAM. Uproszczenie to usprawnia proces obsługi programowej, nie odzwierciedla jednak w pełni stanu rzeczywistego – z uwagi chociażby na brak potencjalnych źródeł kolizji (np. oprzyrządowania technologicznego).

Jednym z przykładów oprogramowania CAD/CAM mających zastosowanie w procesie programowania obrabiarek CNC (dydaktycznie oraz przemysłowo) jest system AlphaCAM.

### **3.1. Modułowy system CAD/CAM – AlphaCAM**

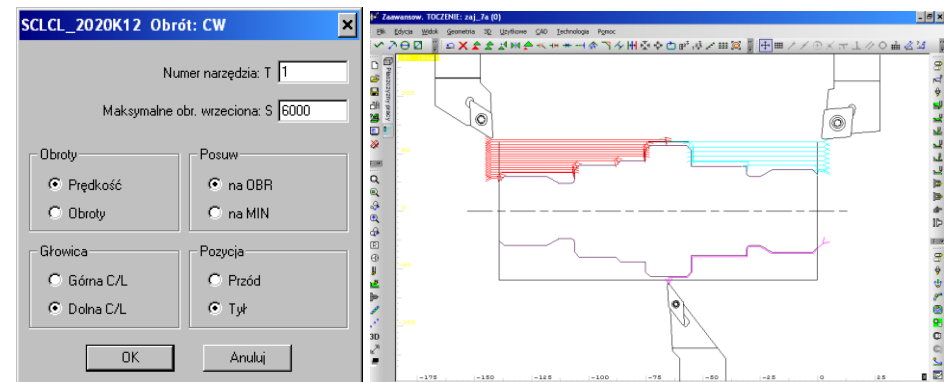
System AlphaCAM stanowi przykład praktycznego zastosowania zasad programowania maszynowego. Modułowy system CAD/CAM – AlphaCAM należy do grupy programów komputerowego wspomaganie wytwarzania integrujących

możliwości komputerowego wspomaganie projektowania CAD z procedurą projektowania obróbki maszynowej CAM, w postaci generowanych programów NC. Daje możliwość szybkiego generowania programów NC w zakresie sterowania procesami: obróbki skrawaniem (toczenie, frezowanie), cięcia (laserowego, plazmowego, gazowego), obróbki plastycznej, obróbki drewna, marmuru i procesów grawerowania [na podst.: Borowski 2000].



**Rys. 9. Wykorzystanie projektu CAD w procesie projektowania obróbki maszynowej CAM w systemie AlphaCAM**

System integruje moduły CAD i CAM, zapewniając integrację procesu modelowania graficznego wyrobu i jego obróbki maszynowej. Wydatnym ułatwieniem procesu projektowania CAD jest możliwość wykorzystania geometrii opracowanej w innych programach graficznych przez importowanie danych w określonych formatach (rys. 9) lub przez wczytanie punktów pomiarowych stanowiących podstawę tworzenia powierzchni (np. ze współrzędnej maszyny pomiarowej).



**Rys. 10. Elastyczność konfiguracyjna systemu AlphaCAM**

Wysocze przydatną użytkowo cechą modułu CAD jest aktywność jego funkcji również w trybie pracy modułu CAM, co pozwala na modyfikację geometrii wyrobu lub tworzenie tzw. geometrii pomocniczych. Wprowadzone zmiany powodują automatyczne korekty w już utworzonym programie lub są pomocne w jego bieżącym opracowaniu.

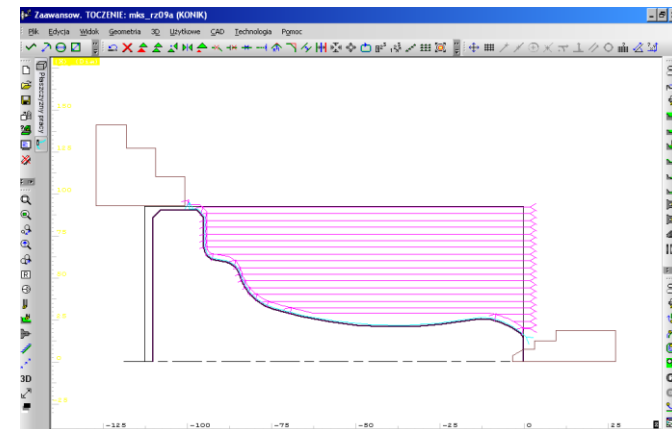
W zakresie obróbki skrawaniem system AlphaCAM służy głównie do wspomagania projektowania programów sterujących tokarek i frezarek CNC, o dowolnej konfiguracji technicznej (rys.10) i możliwościach obróbkowych określonych przez liczbę sterowanych osi.

### 3.2. Efektywność systemów CAD/CAM

Efektywność systemów CAD/CAM wydaje się większa w porównaniu do symulatorów CNC, zwłaszcza w aspekcie projektowania obróbki przedmiotów o dużej złożoności geometrycznej i skomplikowanych kształtach obrabianych powierzchni, (rys.11).



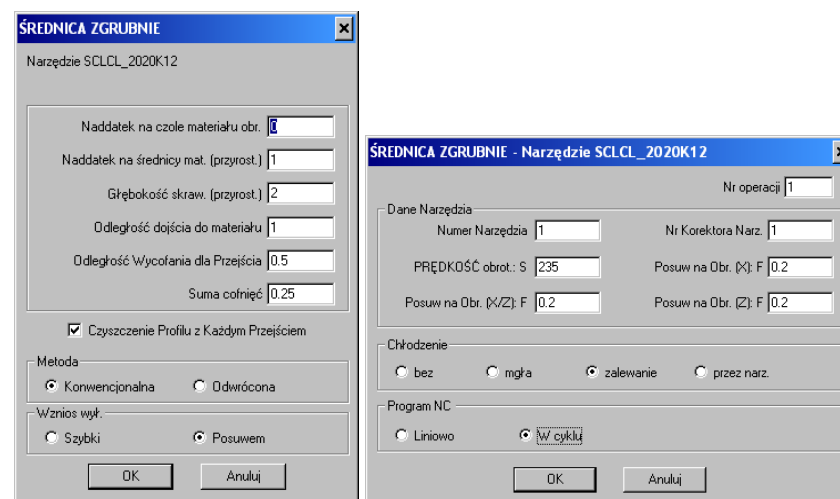
Rys. 11. Zastosowanie systemu CAD/CAM w zakresie projektowania obróbki wyrobów o dużej złożoności kształtu



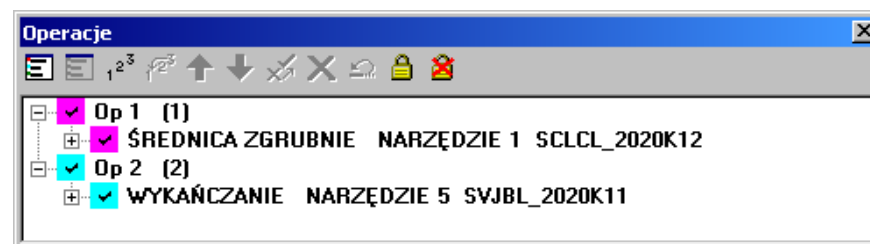
Rys.12. Układ wygenerowanych torów narzędzi

Programowanie NC w systemach CAD/CAM realizowane jest w sposób pośredni. Projekt obróbki maszynowej stanowi zestawienie sekwencji projektowanych zabiegów technologicznych przedstawionych za pomocą tworzonych zestawień trajektorii ruchów narzędzi (tzw. *toolpaths lub cutting lines*) względem modelu przedmiotu obrabianego, (rys. 10, 12).

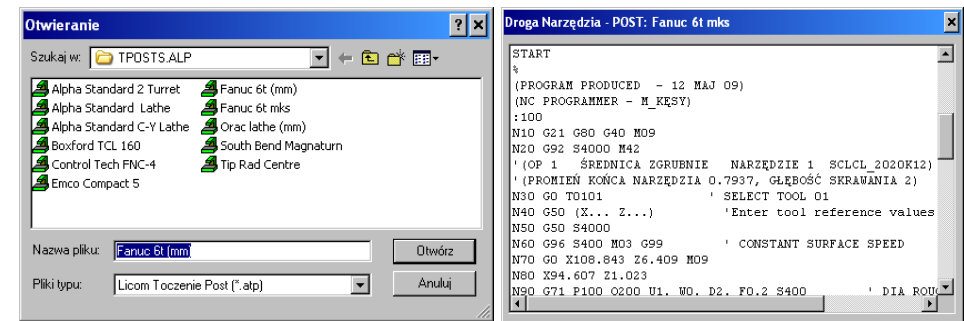
W procesie projektowania obróbki maszynowej CAM zauważalna jest konieczność wykorzystania znajomości zasad technologicznych i programowych. Definicja poszczególnych zabiegów obróbki maszynowej realizowana jest w drodze wykorzystania opcji programowych wymagających od obsługującego zadeklarowania niezbędnych dla danego przypadku technologicznego danych programowych. Co prawda nie jest to realizowane w postaci bezpośrednio wprowadzanych programowych kodów alfanumerycznych, ale w postaci logicznie deklarowanych opcji programowych CAM (rys.10) i wypełnionych pól dialogowych (rys. 13).



Rys. 13. Deklaracja danych opisujących zabieg technologiczny



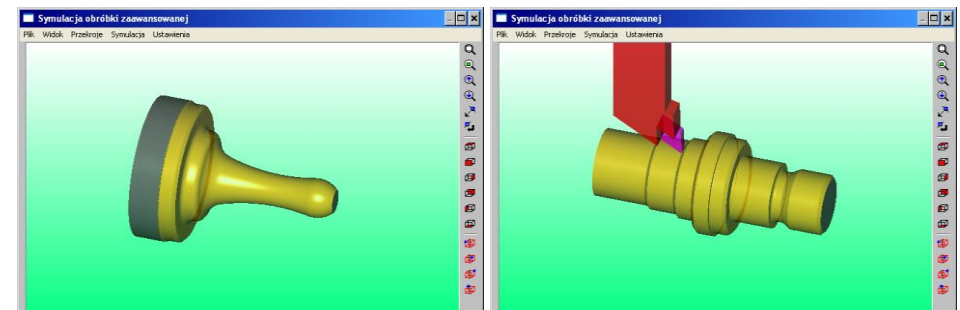
Rys. 14. Zestawienie projektowanych zabiegów obróbki maszynowej w systemie AlphaCAM



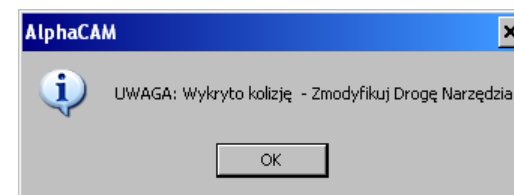
Rys. 15. Procedura generowania programu NC

Brak tzw. „przełożenia” znaczeniowej opcji programowych powoduje, że obsługa systemu CAD/CAM staje się swego rodzaju „sztuką dla sztuki”, której wirtualnym rezultatem (częstokroć przypadkowych deklaracji) są wygenerowane układy torów narzędziowych. Należy podkreślić, iż końcowym efektem projektu CAM, stanowiącym istotę zastosowania systemu informatycznego w inżynierii produkcji, jest zestawienie projektowanych zabiegów obróbki (rys.14) oraz automatycznie tworzony kod programowy NC – właściwy dla wybranego rodzaju sterowania (rys. 15).

Systemy CAD/CAM, stanowiąc w zasadzie oprogramowanie użytkowe, nie dają dużych możliwości w zakresie wirtualnej prezentacji efektów obróbki – ograniczając ją w zasadzie do symulacji procesu maszynowego, prezentacji wirtualnego efektu obróbki (rys. 16) oraz generowania komunikatów ostrzegających o istniejących stanach kolizyjnych w czasie projektowania (rys.17) lub podczas symulacji obróbki maszynowej. Zauważalne uproszczenia w sferze wirtualnej prezentacji efektów końcowych obróbki wskazują, iż praktyczna weryfikacja projektu technologiczno-programowego występuje na stanowisku wytwórczym.



Rys. 16. Symulacja procesu obróbki w systemie AlphaCAM



Rys. 17. Komunikat diagnostyczny ostrzegający o sytuacji kolizyjnej

Duża liczba oferowanych systemów CAD/CAM, przy jednocześnie zauważalnym trendzie eliminowania z praktycznego zastosowania typowych symulatorów CNC wskazuje, iż dominującym obecnie sposobem programowania jest metoda programowania maszynowego. Wydaje się jednak, iż w procesie nauczania zasad i metodyki programowania każda z przedstawionych metod, zastosowana w odpowiednim czasie i miejscu, jest efektywna dydaktycznie.

#### 4. Efektywność dydaktyczna metod programowania numerycznego

Każda z przedstawionych powyżej metod programowania wykazuje swoją specyfikę i przydatność dydaktyczną oraz eksploatacyjną. Zauważyć należy, iż efektywne dydaktycznie metody programowania nie znajdują zazwyczaj akceptacji praktycznej, z kolei efektywne eksploatacyjnie nie do końca wykazują pożądane cechy dydaktyczne.

Najmniej efektywną eksploatacyjnie metodą programowania jest „ręczne” redagowanie programu sterującego. Współcześnie programowanie ręczne nie znajduje zastosowania przemysłowego. Metoda ta jest jednak stosowana w dydaktyce przedmiotów z zakresu podstaw sterowania i programowania numerycznego maszyn i urządzeń. Prezentacja struktury i zasad semantycznych programu, przedstawienie instrukcji programowych (w odniesieniu do wybranego języka programowego), omówienie ich podziału i wzajemnych relacji pomiędzy adresami funkcyjnymi – to przykład dydaktycznego wykorzystania metody programowania ręcznego.

Wykorzystanie symulatorów obróbki wydaje się sposobem programowania możliwym do zastosowania zarówno w zakresie dydaktyki programowania numerycznego, jak i wykorzystania przemysłowego. Duża wariantowość wykorzystania możliwości programowych symulatorów CNC wskazuje, iż mogą stanowić bardzo efektywne narzędzie dydaktyczne. Nie bez znaczenia jest fakt, iż w większości spotykanych przypadków możliwości programowe symulatorów obróbki w dużej części odpowiadają możliwościom operacyjnym będącym do wykorzystania na obrabiarkach CNC.



Zastosowanie oprogramowania CAD/CAM wykazuje dużą efektywność eksploatacyjną, orientując zarazem proces programowania z konkretnym przedmiotem, po części uwalniając go od konieczności znajomości języka programowania, semantyki redakcyjnej programu NC, itp. Poprawne przygotowanie procesu obróbki w systemie CAD/CAM, zweryfikowane symulacją procesu maszynowego, kończy się wygenerowaniem programu numerycznego – odpowiedniego dla wybranego rodzaju sterowania oraz konfiguracji i możliwości użytkowych obrabiarki CNC. W porównaniu do symulatorów CNC, systemy CAD/CAM wykazują większą efektywność, zwłaszcza w przypadkach wyrobów o złożonej i skomplikowanej w zapisie matematycznym geometrii. Ułatwienia programowe systemów CAD/CAM nie uwalniają jednak użytkowników od przestrzegania zasad technologicznych. Ich efektywność dydaktyczna i wytwórcza uzależniona jest od posiadanej wiedzy i umiejętności użytkowników. Wykorzystanie systemów CAD/CAM staje się efektywne tylko w przypadku ich obsługi przez odpowiednio przygotowanych użytkowników w zakresie wiedzy technologicznej, teorii sterowania numerycznego oraz obsługi programowej.

## 5. Podsumowanie

Literatura poświęcona tematyce sterowania numerycznego wskazuje, w sposób bezpośredni lub pośrednio, iż proces programowania NC stanowi praktyczne zastosowanie informatyki w inżynierii produkcji. Specyfika problematyki, jej interdyscyplinarność, złożoność aplikacyjna oraz cel zastosowania wskazują, iż efektywność programowania NC zapewnić może jedynie dobrze wykształcony inżynier posiadający dodatkowe umiejętności z zakresu wykorzystania technologii informatycznej. Każdy użytkownik systemu informatycznego wspomagającego programowanie numeryczne powinien mieć świadomość, że wirtualnie zaprojektowany proces wytwórczy powinien zakończyć się aplikacją produkcyjną.

Rozpatrując właściwości użytkowe oprogramowania inżynierskiego, można stwierdzić, że oferowane systemy symulacyjne mają pewne ograniczenia użytkowe. Praktycznie pomija się problem sztywności układu OUPN, co w kontekście różnych konfiguracji sprzętowych i budowy obrabiarek wymusza „pozaprogramowe” uwzględnienie zagadnień technologicznych poprzez korektę wartości stosowanych parametrów obróbki bądź zmianę sposobu mocowania. Duże braki systemów informatycznych występują w zakresie diagnostyki procesu obróbki oraz analizy poprawności deklarowanych parametrów technologicznych.

Symulatory CNC lub oprogramowanie CAD/CAM stanowią efektywne narzędzia dydaktyczne i/lub praktyczne tylko w przypadku właściwie przygotowanych użytkowników. Wydaje się więc, iż niską efektywnością charakteryzować się będzie proces nauczania zasad obsługi programowej oraz możliwości użyt-

kowych systemów wspomagających prace inżynierskie, prowadzony w warunkach braku podstaw wiedzy technicznej. Przekazywany wówczas zakres wiedzy staje się często abstrakcyjnym, wobec braku wiedzy teoretycznej oraz znajomości zagadnień technologicznych, swego rodzaju pogładowym zaprezentowaniem praktycznej możliwości zastosowania informatyki w technice.

Przedstawione zagadnienia pozwalają stwierdzić, iż proces dydaktyczny z zakresu programowania numerycznego obrabiarek CNC powinien być realizowany w następujących etapach:

- I – nabycie wiedzy technicznej i technologicznej (zawodowej),
- II – teoria sterowania numerycznego,
- III – laboratorium sterowania numerycznego dające możliwość wirtualnego programowania (symulator CNC, system CAD/CAM),
- IV – poznanie zasad obsługi i przygotowania systemów produkcyjnych (np. obrabiarek CNC) do zadań wytwórczych.

### **Uwagi końcowe**

Postęp cywilizacyjny powoduje, iż obecnie w praktycznie każdym obszarze życia, człowiek wspomagany jest przez technologię informatyczną (IT). Tendencje wspomagania działań operacyjnych przez technologie IT w zakresie działań technicznych (projektowych, organizacyjnych, wytwórczych) spowodowały konieczność dostosowania profilu kształcenia zawodowego do wymagań rynku pracy. Zauważalne eksponowanie technologii IT w procesach technicznych, częstokroć jej wizualna priorytetowość powodują, iż pozornie marginalizuje się znaczenie wiedzy stanowiącej podstawę użytkowania lub projektowania systemów informatycznych.

Informatyka usprawnia, przyspiesza, automatyzuje pracę człowieka, również w obszarze dydaktycznym – w przypadku, kiedy jest on świadomym jej użytkownikiem. Jest nim wtedy, kiedy poza znajomością przeznaczenia i zasad obsługi użytkowej, dysponuje wiedzą teoretyczną i umiejętnościami praktycznymi z zakresu wspomaganego technologią IT.

Istotnym zagadnieniem w codziennym funkcjonowaniu człowieka (zawodowym i prywatnym), staje się zastosowanie „złotego środka”, który, pozwalając korzystać z osiągnięć cywilizacyjnych, jednocześnie nie prowadzi do uzależniających zwyczajów i nawyków. Wydaje się, iż w zakresie realizacji procesów dydaktycznych należy szukać podobnych rozwiązań, warunkujących jego efektywność w ujęciu synergicznego połączenia tradycyjnych form nauczania z nowoczesną techniką.

Tworzone obecnie złożone merytorycznie systemy informatyczne (w tym ekspertowe) mogą w sposób istotny wspomóc działania człowieka, nie mogą go

jednak całkowicie zastąpić. Człowiek wykorzystując systemy informatyczne w zakresie m.in. procedur decyzyjnych, opracowania procesów produkcji, realizacji operacji finansowej – jest z jednej strony podstawą ich wdrożenia i funkcjonowania, z drugiej strony staje się jednocześnie „odbiorcą” ich efektów. Przedstawione powyżej wnioski uwypuklają znaczenie wiedzy i umiejętności człowieka. Nowoczesna technika może mniej lub bardziej efektywnie wspomagać jego działania, ale nigdy nie może go w pełni zastąpić. To odpowiednio przygotowany człowiek z zakresem posiadanej wiedzy, nabytych umiejętności i kwalifikacji jest zawsze, niezależnie od poziomu utechnicznienia i z informatyzowania, najważniejszym ogniwem – podmiotem realizowanych procesów i działań.

## Bibliografia

- Borowski I. (2000), *Oprogramowanie inżynierskie AlphaCAM* [w:] CAD/CAM Forum IV.
- Dubas R.(2003), *CNC – wprowadzenie. Materiał szkoleniowy (pdf)*. Mathematisch Technische Software – Entwicklung GmbH, MTS, Szczecin.
- Grzesik W., Niesłony P., Bartoszek M. (2006), *Programowanie obrabiarek NC/CNC*, WNT, Warszawa.
- Honczarenko J. (2008), *Obrabiarki sterowane numerycznie*, WNT, Warszawa.
- Kęsy M. (2005), *Problemy dydaktyczne w praktycznym przygotowaniu współczesnego inżyniera mechanika do pracy w zawodzie* [w:] *Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji technicznej*, TIE, Rzeszów.
- Kosmol J. (1995), *Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem*, WNT, Warszawa.
- Przybylski W., Deja M. (2007), *Komputerowo wspomagane wytwarzanie maszyn – podstawy i zastosowanie*, WNT, Warszawa.
- Stach B. (1999), *Podstawy programowania obrabiarek sterowanych numerycznie*, WSiP, Warszawa.

## Wykorzystane oprogramowanie

*Symulator CNC firmy MTS (wersja demonstracyjna (2000) oraz użytkowa (1993)), System informatyczny CAD/CAM AlphaCAM.*

**Krzysztof Tubielewicz, Andrzej Zaborski**

## **MODELOWANIE I SYMULACJA PROCESÓW OBRÓBEK WYKAŃCZAJĄCYCH PRZY WYKORZYSTANIU MES**

### **1. Wprowadzenie**

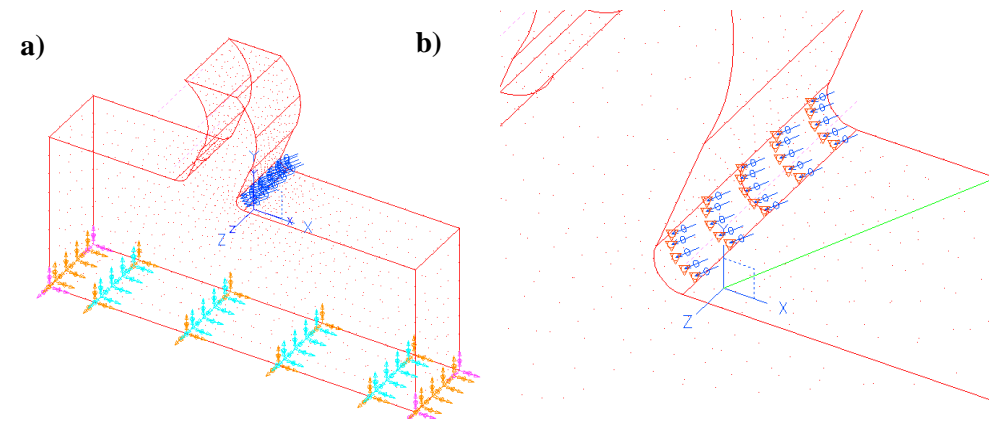
Współczesna technika symulacji komputerowych umożliwia wprowadzenie rewolucyjnych zmian w sposobach prowadzenia badań eksperymentalnych. Wirtualne modele symulacyjne opracowane przy zastosowaniu metody elementów skończonych umożliwiają przeprowadzenie symulacji zespołu zjawisk zachodzących w obrębie warstwy wierzchniej w trakcie jej formowania. Umożliwia to prześledzenie wpływu poszczególnych parametrów procesu na efekty obróbki. Możliwe jest świadome modyfikowanie właściwości użytkowych uzyskanych warstw wierzchnich na drodze sterowania rodzajem i parametrami zastosowanych technologii. Prowadzone badania mają na celu wyjaśnienie zjawisk towarzyszących w warstwach powierzchniowych podczas ich konstytuowania wybranymi metodami obróbek wykańczających oraz opisanie związków pomiędzy parametrami technologicznymi metod obróbki i parametrami stanu uzyskanych warstw wierzchnich. Jedną z metod badawczych jest praktyczne wykorzystanie badań symulacyjnych, w tym i symulacji wirtualnych prowadzonych przy zastosowaniu MES, do analizowania zjawisk zachodzących w warstwach wierzchnich [Tubielewicz, Zaborski 2004 : 93 – 102; Tubielewicz, Zaborski 2005 : 86 – 91; Zaborski, Tubielewicz 2001 : 468 – 471]. Za punkt wyjścia do tych analiz przyjmuje się założenie, że w wyniku obróbki w wyrobie formowana jest warstwa wierzchnia, której właściwości są rezultatem parametrów technologicznych przyjętych procesów.

### **2. Modele symulacyjne warstwy wierzchniej**

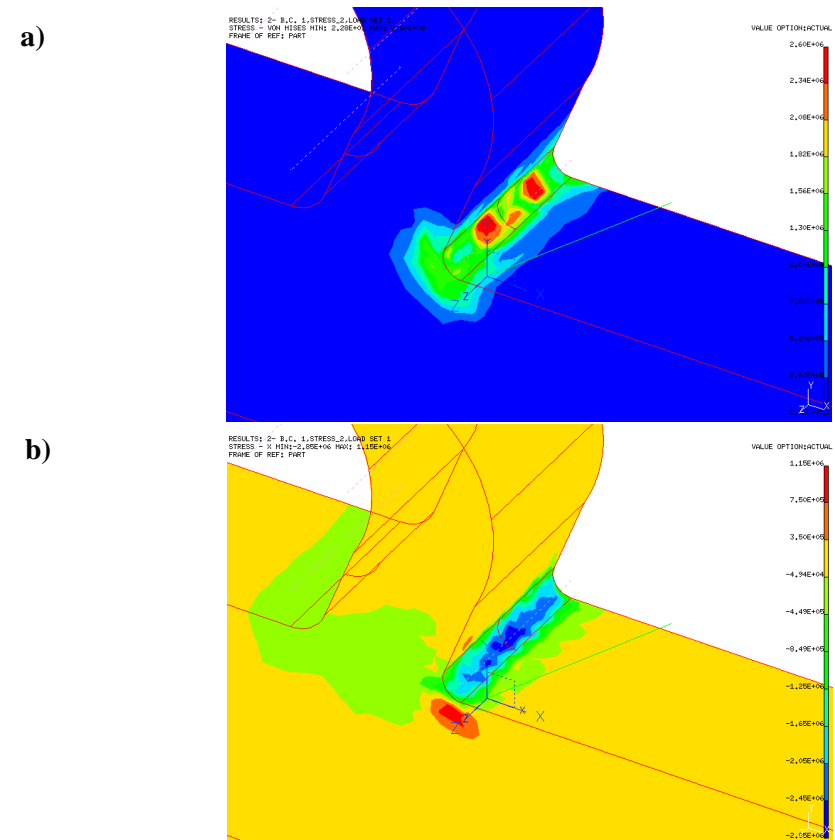
Jedną z metod analizy zjawisk zachodzących w trakcie konstytuowania warstw wierzchnich na drodze wybranych procesów obróbek powierzchniowych jest praktyczne wykorzystanie badań symulacyjnych, w tym symulacji wirtualnych prowadzonych przy zastosowaniu MES. Za punkt wyjścia do tych analiz przyjmuje się założenie, że w wyniku obróbki w wyrobie formowana jest warstwa wierzchnia, której właściwości są rezultatem parametrów technologicznych

przyjętych procesów. W analizach symulacyjnych wykonywanych w ITMiAP Politechniki Częstochowskiej istnieje możliwość wykorzystania zintegrowanego systemu komputerowego I-deas. System ten może być bardzo pomocny w modelowaniu z wykorzystaniem metody elementów skończonych [Tubielewicz., Zaborski 2001 : 279–287; Tubielewicz., Zaborski 2004 : 93–102]. Jedną z istotniejszych cech programu, znacznie zwiększającą możliwości przeprowadzenia badań symulacyjnych, jest możliwość automatycznego generowania sieci elementów skończonych w oparciu o narzucone parametry. Pozwala to na generowanie modeli symulacyjnych składających się ze znacznie większej liczby elementów skończonych w znacznie krótszym czasie w stosunku do starszych programów, w których generację siatki należało wykonać ręcznie. Program ten umożliwia stosunkowo proste definiowanie warunków brzegowych, takich jak: utwierdzenia, siły, momenty itp. w takich miejscach jak powierzchnie, krawędzie i wierzchołki. Można zadawać różne przypadki obciążeń (siły skupione w węzłach, wymuszone przemieszczenia wybranych węzłów itp.). Oprócz modeli siłowych system pozwala na zadawanie obciążeń temperaturowych w wybranych obszarach modelu. Możliwe stało się również przeprowadzenie analiz zjawisk zachodzących w strefie kontaktu dwóch przemieszczających się względem siebie elementów. Wspomniane właściwości programu znacznie zwiększyły możliwości badań symulacyjnych metodą elementów skończonych w porównaniu z wcześniej prowadzonymi analizami opartymi o starsze oprogramowanie [Tubielewicz, Zaborski 1997 : 603–609; Tubielewicz, Zaborski 1999 : 99–110; Tubielewicz, Zaborski 2000 : P1118 – P1123].

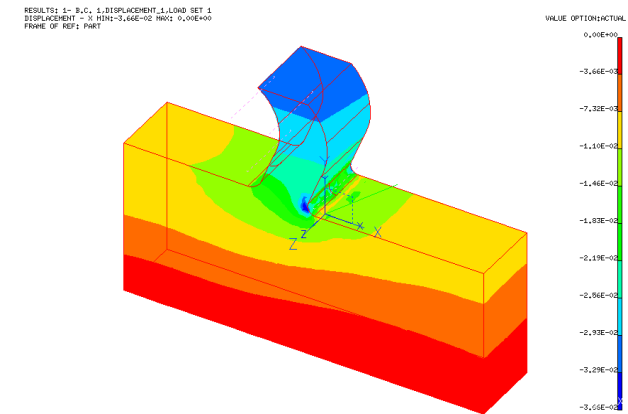
Analizując występujące w praktyce sposoby formowania warstwy wierzchniej wyrobów przy zastosowaniu wybranych obróbek wykańczających można zauważyć, że w ich trakcie dochodzi do obciążenia materiału wymuszeniami o różnym charakterze. Mogą one mieć charakter typowo mechaniczny (zimny), w którym za dominujące uznać należy siły działające na obrabianą powierzchnię, lub model cieplny, w którym główną przyczyną formowania się nowego stanu warstwy wierzchniej są odkształcenia i naprężenia wywołane znaczną temperaturą występującą w trakcie procesu. Oczywiście jest, że w przypadku analizy wielu rzeczywistych procesów obróbki wykańczającej oba te modele formowania stanu warstwy wierzchniej występują jednocześnie, a ich wpływ należy rozpatrywać łącznie. W trakcie realizacji badań symulacyjnych procesu toczenia w analizach przyjęto zarówno model zimny, w którym obciążenia pochodziły od sił działających na materiał w obszarze styku z narzędziem obrabiającym, jak i model, w którym źródłem obciążeń były temperatury występujące w obrębie obszaru skrawania. Przeanalizowano również modele symulacyjne uwzględniające jednoczesny wpływ obu tych czynników. Jeden z przyjętych do symulacji modeli procesu skrawania wraz z narzucenymi obciążeniami siłowo-temperaturowymi przedstawiono na rys.1.



**Rys. 1. Model symulacyjny procesu toczenia (a) z narzuconymi obciążeniami siłowo-temperaturowymi (b)**



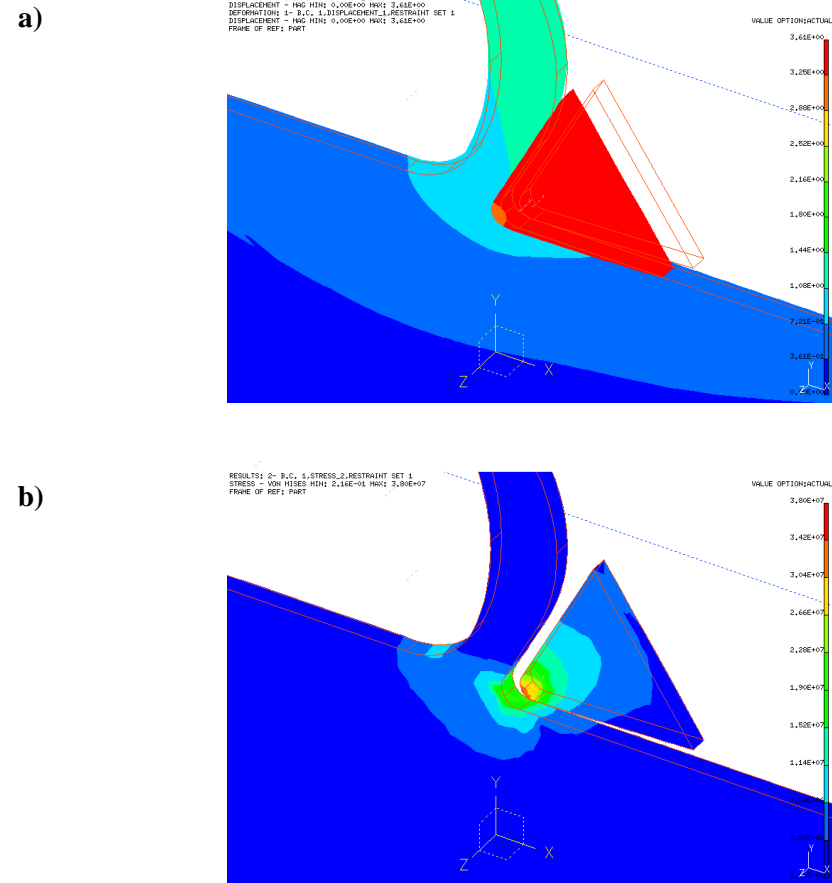
c)



**Rys. 2. Przykładowe rezultaty analiz modelu siłowo-temperaturowego: naprężenia zredukowane (a) i obwodowe (b) w strefie obróbki, przemieszczenia osiowe materiału (c) (siła  $F = 612$  N, temperatura  $t = 1000^{\circ}\text{C}$ )**

Na rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki analiz strefy obróbki uzyskane dla modelu siłowo-temperaturowego. Analiza rezultatów przeprowadzonych symulacji pozwala na stwierdzenie, że we wszystkich wykonanych modelach proces obróbki wprowadzał w warstwę wierzchnią znaczne naprężenia rozciągające. Ich wartość i rozkład w objętości analizowanych modeli był uzależniony od przyjętych parametrów technologicznych symulowanego procesu. Porównując wpływ działania czynnika siłowego i temperaturowego na formowanie stanu odkształceń i naprężeń w analizowanych modelach można stwierdzić, że zasadnicze znaczenie w procesie powstawania naprężeń odgrywa temperatura. Wpływ zmiany wielkości i parametrów przyłożenia siły towarzyszącej procesowi obróbki był mniej istotny.

Zjawiska zachodzące w trakcie obróbki skrawaniem w strefie styku narzędzia skrawającego z materiałem poddanym obróbce mogą być modelowane również w inny sposób. Jednym z nich może być przyjęcie modelu zjawiska jako przebiegu kontaktu dwóch elementów. Jednemu z tych elementów (modelowi wierzchołka noża tokarskiego) nadać można ruch w założonym kierunku, tak by nastąpił kontakt z elementem modelującym materiał. W strefie kontaktu można zadać ponadto temperaturę właściwą dla rzeczywistego procesu obróbki. Tak przygotowany model symulacyjny i przykładowe rezultaty analiz przedstawiono na rys. 3. Dla modeli opartych o symulację zjawisk kontaktu narzędzia z obrabianym materiałem uzyskano rezultaty zbliżone do wyników otrzymanych dla modeli z obciążeniem siłowym i (lub) temperaturowym. I w tym przypadku decydująca o wartości uzyskanych parametrów była temperatura założona w obszarze strefy kontaktu.

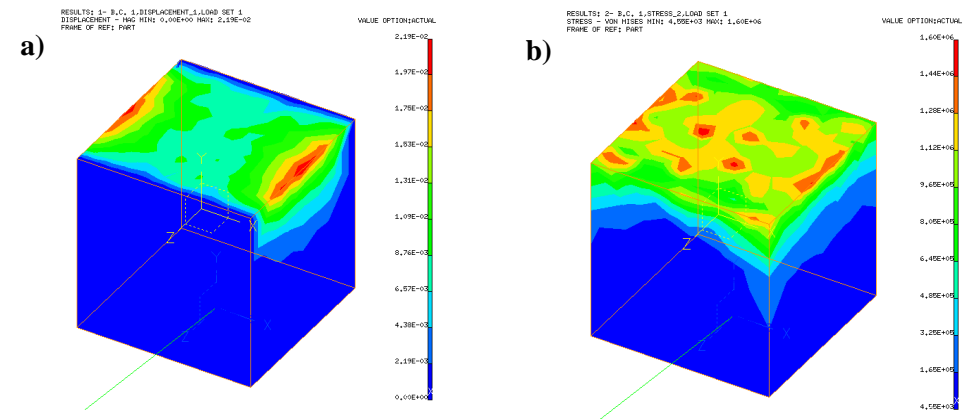


**Rys. 3. Rozkład przemieszczeń (a) i naprężeń (b) w trakcie symulacji kontaktu noża tokarskiego z materiałem obrabianym (przesunięcie narzędzia  $x = -3$  mm,  $y = -2$  mm, temperatura  $t = 1000^{\circ}\text{C}$ )**

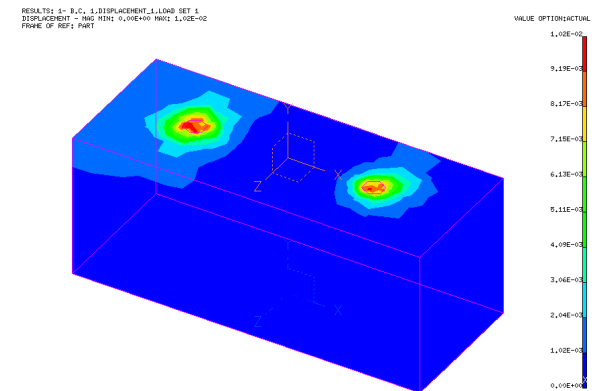
W trakcie przygotowania prostych modeli symulacyjnych zjawisk zachodzących w warstwie wierzchniej w trakcie procesu szlifowania za punkt wyjścia przyjęto założenie o decydującym wpływie temperatury występującej w strefie obróbki na formowanie się stanu warstwy wierzchniej. Uwzględniono w modelach symulacyjnych również siły (naciski jednostkowe) działające na powierzchnię obrabianą potraktowaną w sposób makroskopowy (założono równomierny rozkład sił na całej powierzchni). Wyniki analiz tak zdefiniowanego modelu przedstawiono na rys. 4. W rzeczywistych przypadkach obróbki szlifowaniem naciski nie rozkładają się jednak równomiernie. W obszarach styku narzędzia z materiałem do kontaktu dochodzi nie na całej powierzchni obrabianej, a jedy-



nie w obszarze najwyższej położonych punktów szlifowanego materiału z wystającymi z tarczy ścierniej ziarnami ściernicy. Zasadne byłoby więc stworzenie modeli symulacyjnych procesu uwzględniających zachodzenie kontaktu jedynie w wydzielonych obszarach zbliżonych do najwyższej położonych punktów powierzchni. Jedynie w tych obszarach dochodzi bowiem do bezpośredniego oddziaływania sił i temperatur skrawania pochodzących od obrabiającego ziarna ściernego na materiał obrabiany. Model symulacyjny uwzględniający te obszary styku przedstawiono na rys. 5. Symulowana obróbka wprowadziła w warstwę wierzchnią naprężenia rozciągające. Wyniki przeprowadzonych symulacji jednoznacznie potwierdzają założenie, że o stanie odkształceń i naprężeń wynikowych powstałych w warstwie wierzchniej decyduje założona temperatura procesu.

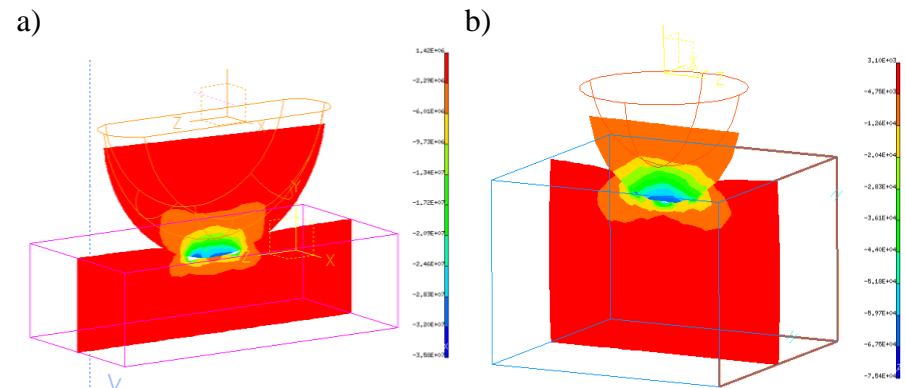


**Rys. 4.** Przykładowy rozkład przemieszczeń (a) i naprężeń (b) w trakcie symulacji kontaktu ziarn ściernych z elementem szlifowanym (siła  $F = 133$  N przyłożona pod kątem  $10^\circ$  do powierzchni obrabianej, temperatura  $600^\circ\text{C}$ )



**Rys. 5.** Przykładowy rozkład przemieszczeń w trakcie symulacji kontaktu ziarn ściernych z elementem szlifowanym (siła  $F = 26$  N przyłożona pod kątem  $10^\circ$  do powierzchni obrabianej, temperatura  $600^\circ\text{C}$ )

W trakcie badań symulacyjnych rozważano również zjawiska zachodzące w trakcie formowania warstwy wierzchniej nagniataniem naporowym tocznym. Nagniatanie jest jedną z metod obróbki wykańczającej pozwalającą na stosunkowo łatwe sterowanie parametrami stanu, a co za tym idzie właściwościami użytkowymi uzyskiwanych warstw wierzchnich. W wyniku tej obróbki można na drodze sterowania parametrami technologicznymi procesu zmieniać tak istotne parametry stanu warstwy wierzchniej jak wielkość i rozkład zalegania umocnienia na głębokości, czy też wielkość i rozkład uzyskiwanych naprężeń własnych. Wykorzystanie współczesnej techniki obliczeniowej do modelowania i symulacji zjawisk zachodzących w trakcie formowania warstw wierzchnich nagniataniem umożliwiłoby przybliżone prześledzenie zjawisk zachodzących w strefie obróbki na styku narzędzia z materiałem obrabianym i na dobór parametrów obróbki prowadzący do uzyskiwania warstw wierzchnich cechujących się oczekiwanymi właściwościami. Badania symulacyjne obróbki nagniataniem poparte ich weryfikacją doświadczalną są prowadzone w Zespole Obróbki Powierzchniowej od wielu lat [Tubielewicz 1993; Tubielewicz, Zaborski 1997 : 603–609; Tubielewicz., Zaborski 1999 : 99–110]. Badania te wykazały, że przeprowadzenie obróbki przy pozornie zbliżonych parametrach (siła nacisku narzędzia, promień jego krzywizny, wielkość posuwu, liniowa szybkość obróbki) może prowadzić do zmiany schematu zachodzącej deformacji, a przez to do znacznej zmiany właściwości użytkowych otrzymywanych powierzchni [Tubielewicz, Zaborski 1999 : 99–110; Tubielewicz, Zaborski 2000 : P1118–P1123]. Możliwe jest na przykład przesunięcie obszaru największych deformacji plastycznych, a co za tym idzie obszarów maksymalnych naprężeń stycznych i maksymalnego umocnienia z głębi materiału ku jego powierzchni na drodze zmiany układu kinematycznego oddziaływania narzędzia na przedmiot obrabiany. Ma to istotny wpływ na właściwości użytkowe otrzymywanych powierzchni



**Rys. 6. Rozkład naprężeń obwodowych w płaszczyźnie obwodowej podczas nagniatania:**  
**a – krążkiem (siła  $F = 4$  kN, promień krążka  $R = 10$  mm, promień krzywizny  $R_k = 4$  mm),**  
**b – kulką (siła  $F = 5$  kN, promień kulki  $R = 10$  mm)**

nagniatanych. Przykładowe modele symulacyjne procesów nagniatania naporowego kulką i krążkiem przedstawiono na rys. 6. W modelach tych założono jedynie czysto mechaniczny (zimny) schemat formowania obciążeń ze względu na brak wyraźnego wzrostu temperatury w trakcie procesu nagniatania. W rezultacie symulowanej obróbki wprowadzano w warstwę wierzchnią znaczne naprężenia ściskające. Ich wartość i rozkład zależały od założonych parametrów technologicznych procesu.

## Podsumowanie

Opisane analizy symulacyjne mają na celu umożliwienie optymalnego doboru parametrów technologicznych procesów konstytuowania warstwy wierzchniej. Stanowią one niewielki fragment badań dotyczących wpływu wybranych technologii obróbek powierzchniowych na uzyskiwany stan warstwy wierzchniej realizowanych w Zespole Obróbki Powierzchniowej. Wykorzystanie współczesnych systemów CAD/CAM/CAE i opracowanych do ich przeprowadzenia modeli symulacyjnych umożliwia przeprowadzenie szeregu analiz w możliwym do zaakceptowania czasie. Umożliwia wniknięcie do zjawisk zachodzących w obrębie formowanej warstwy wierzchniej, dotychczas niedostępnych do bezpośredniej obserwacji. Przeprowadzone dotychczas badania symulacyjne na modelach wirtualnych i ich doświadczalna weryfikacja potwierdzają przydatność zastosowanych metod symulacyjnych metodą elementów skończonych do prognozowania cech użytkowych obrabianych powierzchni. Realizowane analizy modelowe mają na celu umożliwienie optymalnego doboru parametrów technologicznych procesów konstytuowania warstwy wierzchniej prowadzące do poprawy właściwości użytkowych wykonywanych powierzchni.

## Bibliografia

- Tubielewicz K.: *Analiza naprężeń powstających w warstwie wierzchniej podczas procesu nagniatania*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1993.
- Tubielewicz K., Zaborski A.: *The Computer Simulation of Treatment by Burnishing*. Materiały Międzynarodowej Konferencji „Technology 97”, Słowacja, Bratysława, 9–10 września 1997, s. 603–609.
- Tubielewicz K., Zaborski A. *A new approach to the computer simulation of the burnishing process*. Postępy technologii maszyn i urządzeń. Kwartalnik PAN KBM Sekcja Podstaw Technologii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej Vol. 23 nr 2/1999, s. 99–110.
- Tubielewicz K., Zaborski A.: *Stan technologicznej warstwy wierzchniej jako rezultat procesu deformacji*. Materiały Międzynarodowej Konferencji „Development of Metal Cutting”, Słowacja, Koszyce, 3 – 4 lipca 2000, s. P1118–P1123.
- Tubielewicz K., Zaborski A. *Zastosowanie metody elementów skończonych do modelowania procesów obróbek wykańczających*. Materiały V Szkoły komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji, Szczyrk 14–18 maja 2001, s. 279–287.

- Tubielewicz K., Zaborski A.: *Symulacyjna analiza wybranych właściwości warstw wierzchnich po typowych obróbkach wykańczających*. Wydawnictwo „Budowa i eksploatacja maszyn. Prace Zespołu obróbki powierzchniowej” pod red. K. Tubielewicza. Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004, s. 93–102.
- Tubielewicz K., Zaborski A.: *Wykorzystanie technik symulacji komputerowej w nauczaniu zagadnień inżynierii powierzchni*. Wydawnictwo „Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji inżynierskiej. Technika – Informatyka – Edukacja”, pod red. W. Furmanka, A. Piecucha i W. Walata. Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów 2005, Tom I, s. 86–91.
- Zaborski A., Tubielewicz K.: *Application of the finite-elements method for modeling finishing treatment processes*. Materiały Międzynarodowej Konferencji „Technology 2001”, Słowacja, Bratysława, 11–12 września 2001, s. 468–471.

**MODELOWANIE KOMPUTEROWE WYROBÓW  
W SYSTEMACH CAD/CAM/CAE**

**1. Wprowadzenie**

Wprowadzenie w latach 90. XX wieku systemów komputerowych do procesu projektowo-konstrukcyjnego pozwoliło na wprowadzenie gruntownych zmian na wszystkich etapach przygotowania produkcji. Zmiany zaszły praktycznie na każdym etapie, począwszy od pojawienia się koncepcji przyszłego wyrobu, a kończąc na sposobie wygenerowania oprogramowania na obrabiarki sterowane numerycznie, systemy skomputeryzowanej kontroli jakości, czy też komputerowo sterowane systemy transportu wewnętrznego [Chlebus 2000].

Współczesne systemy CAD/CAM/CAE umożliwiają realizację modelowania trójwymiarowego (3D) poszczególnych części projektowanego wyrobu. Opracowane części można połączyć, tworząc trójwymiarowe, wirtualne modele funkcjonalne projektowanego wyrobu. Opracowane w ten sposób modele można wykorzystać do symulacji pracy projektowanego urządzenia, tak, by możliwe było skorygowanie ewentualnych problemów związanych ze współpracą poszczególnych jego części. We współczesnym procesie projektowania wykonanie prototypu urządzenia poprzedzane jest wykonaniem jego wirtualnych odpowiedników (makiet). Na takich obiektach przeprowadza się symulacje mające na celu zoptymalizowanie konstrukcji urządzenia.

Możliwe jest również wykorzystanie systemu do wspomaganie wykonania czasochłonnej dokumentacji dwuwymiarowej (2D) projektu przeznaczonej do wydruku na drukarkach lub ploterach. Bardzo istotną rolę może również pełnić system komputerowy na etapie wstępnego opracowania projektu realizowanego rozwiązania. Warto pamiętać, że na etapie tym tworzone są konstrukcje najistotniejszych elementów projektowanego urządzenia. Nie do przecenienia jest możliwość wykorzystania wówczas komputera do tworzenia modeli matematycznych, czy też symulacyjnych (np. MES) pozwalających na optymalizację ich konstrukcji. Dzięki wykorzystaniu komputera obliczenia nie tylko wykonuje się zdecydowanie szybciej, ale przede wszystkim mogą być one znacznie bardziej dokładne. Dzięki temu projektowane wyroby mogą być np. znacznie lżejsze, nie tracąc na możliwych do uzyskania właściwościach użytkowych. Opracowany

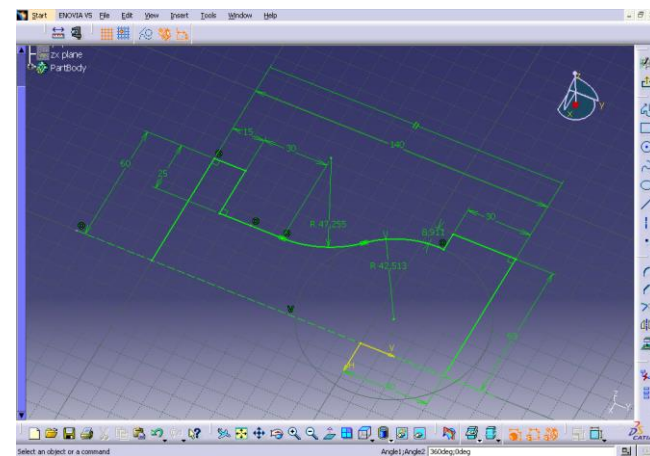
projekt pozwala na przejście do kolejnego etapu przygotowania procesu produkcyjnego, jakim jest etap technologiczny, podczas którego następuje opracowanie technologii wykonania poszczególnych części na podstawie rysunków wykonawczych.

Jednym z najpopularniejszych zintegrowanych systemów CAD/CAM/CAE stosowanych w przemyśle jest system Catia V5. Pozwala on na wspomaganie całego cyklu działań związanych z procesem konstrukcyjno-wytwórczym produktu. System ten zakresem swoich możliwości obejmuje cały proces projektowania i wytwarzania. Jest nie tylko wysokowydajnym narzędziem do modelowania przestrzennego, zautomatyzowanego tworzenia rysunków i dokumentacji technicznej, ale umożliwia również prowadzenie symulacji i wszechstronnych analiz projektowanych obiektów. Możliwości programu zostały zobrazowane na podstawie procesu projektowania chwytaka pneumatycznego [Michalczuk 2008; Tubielewicz, Michalczuk, Zaborski 2009 : 353–360]. Przykład pozwala na ukazanie możliwości programu podczas kolejnych etapów komputerowo wspomaganego projektowania i przygotowania produkcji wyrobów.

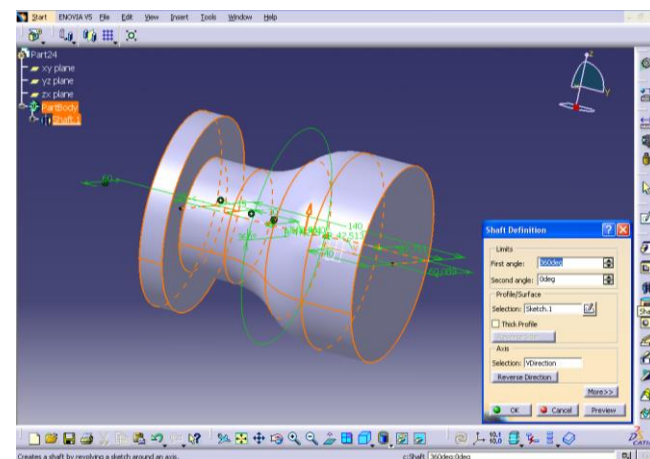
## 2. Modelowanie części

Proces opracowania modelu należy rozpocząć od opracowania modeli poszczególnych części całego zespołu. Kolejnym krokiem jest złożenie ich w jedną spójną całość. Proces modelowania części zostanie przedstawiony na przykładzie opracowania modelu korpusu chwytaka robota. Modelowanie korpusu chwytaka rozpoczyna się od opracowania szkicu, na którym w następnej fazie wykonywane są operacje modelowania trójwymiarowego (wyciągnięcie obrotowe, wybranie materiału, tworzenie otworów, fazowanie, zaokrąglanie itp.) prowadzące do uzyskania trójwymiarowego modelu poszczególnych części.

W celu rozpoczęcia pracy, po uruchomieniu systemu Catia, należy otworzyć moduł rysowania części, klikając z górnego menu *Start* i kolejno wybierając *Mechanical Design / Part Design*. Po znalezieniu się w odpowiednim środowisku pracy należy wybrać płaszczyznę, na której ma powstać dany szkic. Po wybraniu interesującej płaszczyzny, w celu przejścia do zasobów szkicownika stanowiącego ostoję modelowania elementów płaskich, klikamy ikonę *Sktecher*, lub ikonę *Positioned Sktecher*, co pozwala na dowolne pozycjonowanie wykonanego szkicu i umożliwia powielanie. Wykorzystując narzędzie *Profile*, które umożliwia rysowanie dowolnie zorientowanych linii, łuków itp. praktycznie bez odrywania „pióra”, należy narysować zarys (rys. 1).



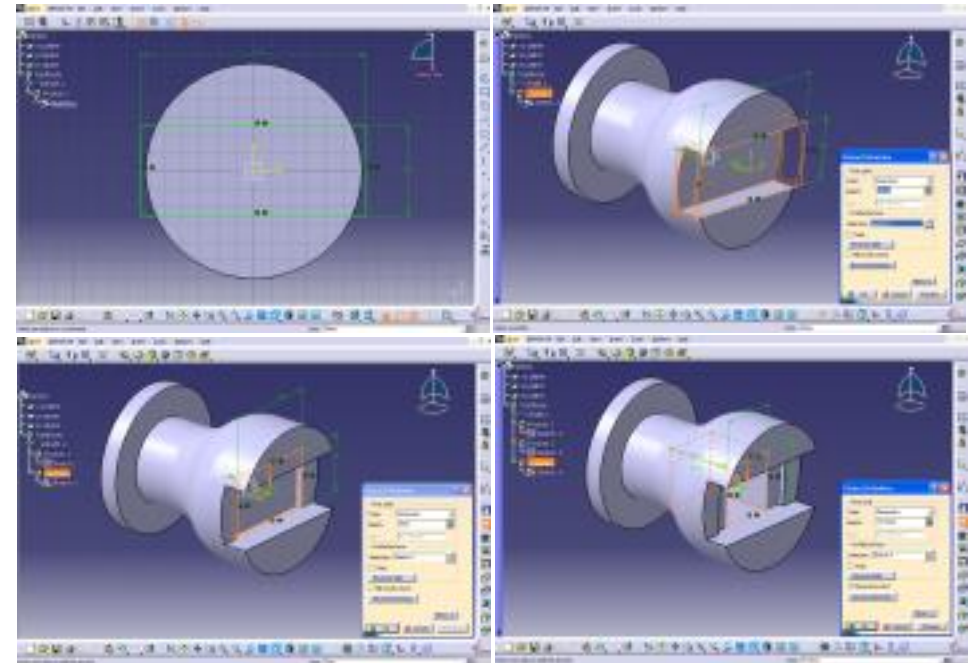
**Rys. 1. Przykład opracowania szkicu**



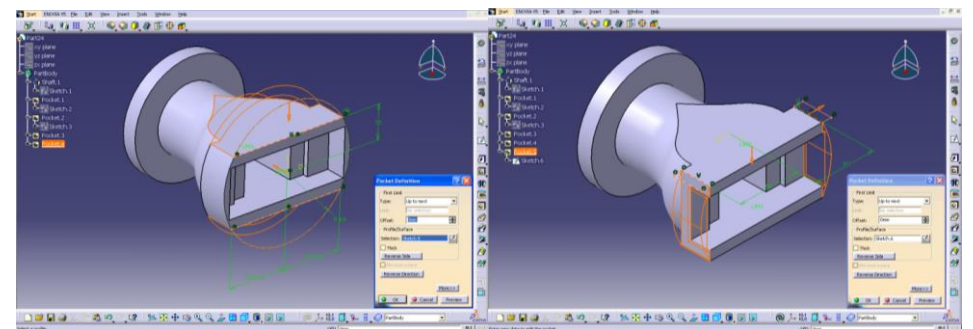
**Rys. 2. Wyciąganie obrotowe profilu**

Szkicowanie należy rozpocząć od narysowania odpowiedniego konturu, a następnie narzucić odpowiednie więzy. Narzucone więzy zarówno geometryczne (wymiary), jak i konstrukcyjne, umożliwiają sterowanie długością, promieniem oraz wzajemnym położeniem poszczególnych linii względem siebie, a także zapobiegają samoczynnemu przemieszczaniu się szkicu (cały szkic musi być w kolorze zielonym). Po sparametryzowaniu rysunku należy wyjść ze szkicownika za pomocą ikony *Exit Workbench*, znajdującej się na pasku narzędziowym. Po powrocie do modułu Part Design należy kliknąć ikonę *Shaft*. Polecenie to umożliwi stworzenie bryły przestrzennej poprzez wyciągnięcie obrotowe wykonanego szkicu. Należy wskazać szkic oraz ustalić kąt (Angle), o jaki profil ma być wyciągnięty (rys. 2).

Następnym etapem modelowania korpusu chwytaka jest wykonanie wycięcia, dzięki któremu uzyskuje się miejsce na zamocowanie szczęk. Postępując podobnie jak poprzednio, trzeba wybrać płaszczyznę, na której powstanie szkic (tym razem jest to czołowa powierzchnia naszej bryły). W module szkicownika tworzy się sparametryzowane kontury, za pomocą których wykonuje się wybrania (rys. 3). Po powrocie do modułu *Part Design* należy kliknąć ikonę *Pocket*. Polecenie to umożliwi wybranie materiału na podstawie wcześniej wykonanego szkicu. Po wybraniu *Pocket* należy wskazać szkic oraz ustalić głębokość (*Depth*) wybrania. W podobny sposób należy wykonać wycięcia pod siłownik pneumatyczny i pod pokrywę blokującą.



Rys. 3. Kolejne etapy wykonania wybrania pod pokrywę i siłownik

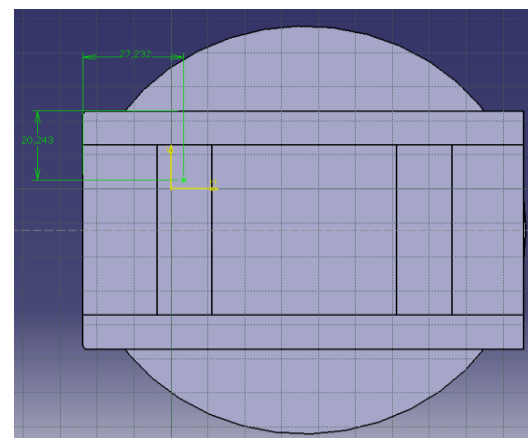


Rys. 4. Wykonanie wybrania kształtującego górną, dolną część i boki chwytaka



Po wykonaniu tych operacji, w następnej fazie modelowania, posługując się narzędziem *Poczet*, należy przystąpić do wykonania wycięć formujących zewnętrzny kształt chwytaka (rys. 4).

Kolejnym etapem modelowania korpusu będzie wywiercenie otworów: mocujących pokrywę blokującą siłownik w korpusie chwytaka, mocujących przewody powietrzne, mocujących szczęki i mocujących chwytak z ramieniem robota. Pracę należy rozpocząć od wyboru narzędzia *Hole* i wskazania płaszczyzny, na której będą znajdować się otwory. Po wykonaniu tych czynności wyświetlone zostanie okno dialogowe *Hole Definition*. W celu określenia pozycji otworu należy wybrać opcję *Positioning Sketch* i sparametryzować położenie otworu w płaszczyźnie wycięcia pod pokrywę (rys. 5). W przykładzie tym można użyć opcji przyspieszającej projektowanie, a mianowicie rozmieszczenie otworów jako szereg prostokątny *Rectangle*.

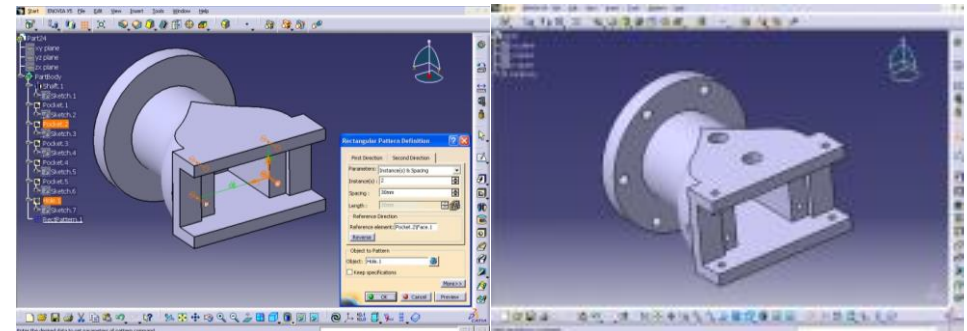


Rys. 5. Pozycjonowanie środka otworu

Po określeniu położenia środka otworu można opuścić szkicownik za pomocą ikonki *Exit Workbench*. W kolejnym kroku w oknie dialogowym *Hole Definition* na zakładce *Extension* wybrać należy z menu rozwijanego *Blind*, co oznacza, że otwór wycinany będzie na głębokość zadaną przez projektanta. Głębokość tę określa się za pomocą parametru *Depth*. Na powyższej zakładce należy podać jeszcze średnicę otworu *Diameter*, jednak w tym przypadku będzie to otwór gwintowany i jego średnica zostanie określona na zakładce *Thread Definition*. Ostatnia aktywna opcja *Bottom* (zakończenie otworu: płaskie bądź stożkowe) zostaje ustawiona na zakończenie stożkowe. Na następnej zakładce *Type*, można wybrać kształt podcięcia początku otworu. Podcięcia te wykorzystywane są przy stosowaniu śrub z różnym łbem (proste, z łbem walcowym, stożkowym, stożkowo-walcowym oraz podcięcie na kołek ustalający). W tym przypadku otwór pozostaje prosty. Ostatnią zakładkę *Thread Definition* stanowi modelowa-

nie gwintu w otworze. Pierwszym krokiem pracy na tej zakładce jest zaznaczenie opcji (*Threaded*), w celu potwierdzenia, że otwór ma być gwintowany. Następnie należy określić typ gwintu (*Type*) oraz podać średnicę gwintu (*Thread Description*). W przypadku modelowanego otworu będzie to typ *Metric Thick Pitch* o średnicy M6. Następnie wprowadza się głębokość, na jaką otwór ma zostać wykonany (*Hole Depth*) i głębokość gwintu (*Thread Depth*), gdzie w danym przypadku wartości te powinny wynosić 20 i 15 oraz określić czy gwint ma być prawo- czy lewoskrętny.

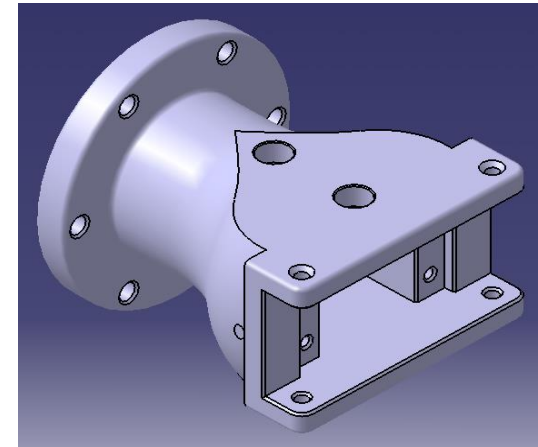
Po zdefiniowaniu geometrii otworu należy jeszcze skopiować go przy zastosowaniu szyku prostokątnego w celu wykonania pozostałych trzech otworów w modelu. Z drzewa historii należy wybrać *Hole*, a wśród ikon poszukać narzędzia *Rectangle*. Narzędzie to zawiera dwie zakładki *First* i *Second Definition*. Służą one rozmieszczeniu w dwóch kierunkach. Na pierwszej z nich należy zaznaczyć jako *Parameters Instance(s) & Spacing*. Oznacza to, że będzie możliwość wybrania ilości kopii danego elementu *Instance(s)* oraz wybranie odległości rozstawu między elementami *Spacing*. Jako pierwszy parametr należy ustawić 2, natomiast w drugim polu wpisać 30. Należy też wybrać płaszczyznę, na której będą rozmieszczane otwory. W przypadku omawianego modelu z drzewa historii trzeba wybrać *Pocket2*. Podobnie należy postąpić na drugiej zakładce, z tą tylko różnicą, że *Spacing* będzie wynosił 65. Po zatwierdzeniu na elemencie pojawiają się wszystkie 4 otwory. W podobny sposób należy wykonać otwory mocujące przewody powietrzne i otwory mocujące szczęki. Różnica będzie polegała na tym, że przy tworzeniu szyku otwory będą kopiowane tylko w jednym kierunku. W podobny sposób, lecz z wykorzystaniem szyku kołowego należy wykonać otwory, za pomocą których chwytak zostanie przytwierdzony do ramienia robota (rys. 6).



Rys. 6. Etapy wykonania otworów za pomocą szyku

W celach estetycznych oraz większego bezpieczeństwa użytkownika elementu należy jeszcze ścieć, bądź zaokrąglić jego ostre krawędzie. Dokonuje się tego za pomocą narzędzi: *Chamfer* oraz *Edge Fillet*. Pierwsze z nich służy do

fazowania pod dowolnym kątem oraz na dowolną długość fazy (jeśli nie istnieją ograniczenia materiałowe), drugie natomiast stosuje się do tworzenia wszelkiego rodzaju zaokrągleń, czy też promieni odlewniczych. Efekt końcowy procesu opracowania modelu został przedstawiony na rys.7.



**Rys. 7. Gotowy model korpusu chwytaka**

Gdy korpus chwytaka został w pełni zamodelowany, możliwe staje się przejście do opracowania modeli pozostałych części chwytaka. We wszystkich przypadkach, modelowanie będzie, odbywać się w podobny sposób. Gdy wszystkie części złożenia są już gotowe, można przystąpić do złożenia poszczególnych części w model kompletnego mechanizmu.

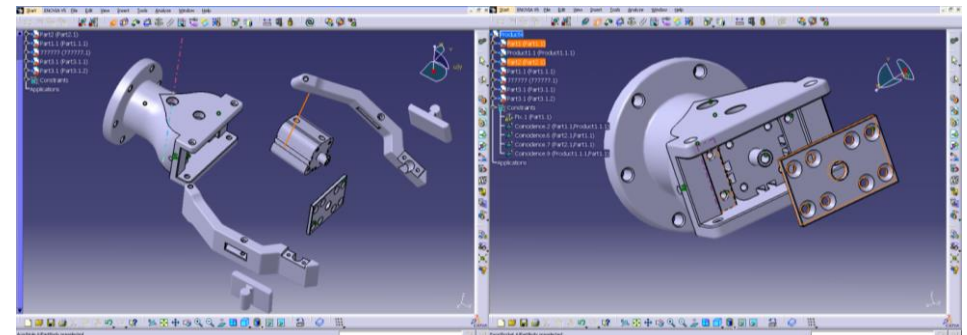
### **3. Tworzenie złożeń**

Na tym etapie projektowania następuje opracowanie złożenia mechanizmu z pojedynczych podzespołów poprzez nadanie odpowiednich więzów montażowych, wzajemnie współpracującym ze sobą elementom. W strukturę złożenia zespołu mogą wchodzić zarówno pojedyncze elementy, jaki i gotowe, złożone już wcześniej podzespoły stanowiące jedną całość. Po wstawieniu określonych komponentów składowych zespołu, należy nadać im odpowiednie wzajemne położenie, a tym samym odebrać punkty swobody i określić charakter ich współpracy. Można tego dokonać poprzez określenie zależności montażowych (wieszów) [Skarka, Mazurek 2005].

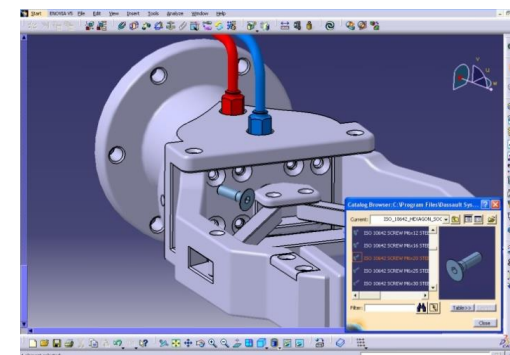
Opracowanie kompletnego złożenia należy rozpocząć od przejścia do modułu *Assembly Design* oraz stworzenia nowego pliku *Produkt*. By wczytać komponenty wchodzące w skład mechanizmu trzeba zastosować polecenie *Existing Component* [Węlyczko 2005]. Po wybraniu odpowiedniej ikony i wprowadzeniu

elementów składowych należy je porządkować i wstępnie ustawić, gdyż stanowią nieuporządkowaną grupę części składowych. Bierze się to z tego, że poszczególne części zapamiętują swoje położenie z modułu *Part Design*, gdzie były stworzone (najczęściej elementy powiązane są ze środkiem układu współrzędnych, a co za tym idzie po wczytaniu do złożenia zbiegają się do punktu centralnego). Wykonanie kompletnego złożenia należy zrealizować poprzez następujące czynności:

- 1) unieruchomienie korpusu chwytaka za pomocą narzędzia *Fix*,
- 2) nadanie wcześniej wprowadzonemu zespołowi siłownika (za pomocą narzędzia *Coincidence*) współosiowości względem korpusu chwytaka, a także współosiowość jednej z pary otworów, którymi będzie dostarczane powietrze, co umożliwi prawidłowe umieszczenie siłownika w korpusie,
- 3) narzucenie więzów współosiowości (z wykorzystaniem narzędzia *Coincidence*) dwóm otworom pokrywy blokującej siłownik względem odpowiednich otworów w korpusie, oraz określenie (za pomocą narzędzia *Contact Constraint*) miejsca przylegania pokrywy do korpusu poprzez wskazanie odpowiednich powierzchni (rys. 8),

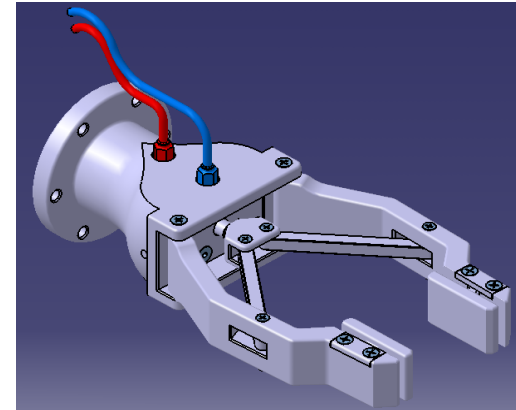


Rys. 8. Nadawanie więzów współosiowości i przylegania



Rys. 9. Wykorzystanie biblioteki systemu Catia V5

- 4) ustalenie położenie złączek, przewodów, końcówek chwytanych oraz rozgałęziacza,
- 5) zamocowanie (używając narzędzi *Coincidence* i *Offset Constraint*) szczęk chwytaka oraz ciężna (narzędzie *Offset Constraint* działa na tej samej zasadzie co narzędzie *Contact Constraint*, z tą różnicą, że jest wzbogacone o opcję pozwalającą nadać odległość pomiędzy wskazanymi elementami),
- 6) zabezpieczenie śrubami i podkładkami prawidłowo rozmieszczonych elementów składowych mechanizmu (części te można narysować w module Part Design, bądź można też wykorzystać katalog części znormalizowanych. System Catia V5 posiada znormalizowany katalog z częściami typu: śruba, nakrętka, podkładka, wpust, sworzeń oraz wkręt – rys. 9. Katalog ten jest w pełni modyfikowalny, umożliwia on dodawanie oraz modyfikację nowych komponentów).



**Rys. 10. Model mechanizmu chwytaka pneumatycznego**

Po wstawieniu śruby należy jeszcze tylko nadać im odpowiednie więzy geometryczne (za pomocą narzędzi *Coincidence* oraz *Contact*). W podobny sposób można wprowadzić do modelu pozostałe znormalizowane części. Kompletny mechanizm chwytaka pneumatycznego został przedstawiony na rys.10.

#### **4. Opracowanie dokumentacji technicznej**

System Catia zawiera podwójny system tworzenia dokumentacji. Pierwsza metoda polega na przejściu do modułu Drafting i tam, podobnie jak w module Sketch, narysowanie szkicu, sparametryzowanie wymiarów, naniesienie odpowiednich tolerancji oraz chropowatości. Jest to metoda najprostsza i najszybsza w przypadku mało skomplikowanych elementów. Gdy jednak dochodzi do przy-

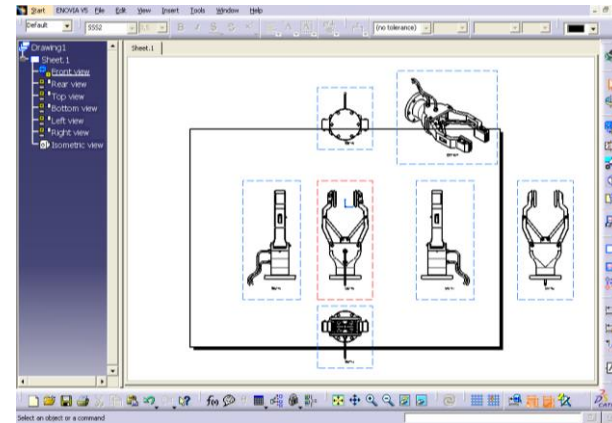
padku projektowania zaawansowanych urządzeń, pierwsza metoda nie jest zbyt dobrym wyjściem (zbyt duża pracochłonność i nakłady czasu poświęcone przy tworzeniu poszczególnych rysunków wykonawczych, rzutów, przekrojów itp.). W takim przypadku rozsądniejszą opcją staje się zastosowanie drugiej metody. Polega ona na tym, że konstruktor tworzy modele trójwymiarowe poszczególnych części, następnie wykonuje złożenie i dopiero na tej podstawie generowane są rysunki stanowiące dokumentację techniczną. Rysując model trójwymiarowy projektant tworzy go tylko raz i na jego podstawie jest w stanie wygenerować wszystkie rzuty, przekroje, wyrwania, szczegóły oraz inne elementy potrzebne w dokumentowaniu. Pierwsza metoda tego nie umożliwia, po stworzeniu rysunku złożeniowego każdy następny detal, rzut, przekrój projektant musi wykonać ręcznie.

Projektant, konstruując urządzenie, opracowuje na samym początku rysunek złożeniowy, a w dalszym etapie, po zatwierdzeniu projektu, tworzone zostają rysunki wykonawcze poszczególnych części. System Catia V5 potrafi na podstawie modelu 3D w sposób automatyczny czy też półautomatyczny wygenerować rysunki zarówno złożeniowe, jak i wykonawcze. Możliwe jest tworzenie wszelkiego rodzaju rzutów, przekrojów, wyrwań, powiększeń. Rysunki stanowiące system dokumentacji muszą zawierać tabliczkę, gdzie zawarte są informacje o nazwie detalu, skali, materiału, z jakiego jest element wykonany, normach itp. Projekty stworzone w module Drafting zapisywane są w odrębnych plikach niż złożenia czy też poszczególne części w postaci \*CATDrafting, jednak dzięki asocjatywności programu wszelkie zmiany naniesione w geometrii modelu automatycznie są aktualizowane w systemie dokumentacji.

Prace przy przygotowywaniu dokumentacji należy rozpocząć od wczytania geometrii modelu, dla którego ta dokumentacja będzie generowana. W tym przypadku będzie to model chwytaka pneumatycznego, przedstawiony na rysunku 10. Należy przejść do modułu *Assembly* i z jego poziomu wczytać plik zawierający model złożenia. Gdy model zostanie wczytany należy przejść do modułu dokumentacji, klikając po kolei menu *Start – Mechanical Design – Drafting*. W tym momencie na ekranie pojawi się okno z możliwością wyboru generowanych rzutów, przekrojów, norm oraz formatu arkusza papieru.

Jako standard kodowania należy ustawić ISO, natomiast format arkusza ustawia się w ten sposób, by zapobiec przypadkowi generowania dokumentacji rysunku złożeniowego na kilku arkuszach papieru. Po dokonaniu tego wyboru należy się jeszcze zastanowić nad tym, w ilu rzutach przedstawiona musi być generowana dokumentacja. Catia umożliwia automatyczne lub ręczne wygenerowanie rzutów, jeżeli chce się generować rzuty ręcznie należy zaznaczyć pustą kartkę, a generowania rzutów dokonać w module Drafting, posługując się narzędziami z palety *Projections*, generując rzuty automatyczne wybiera się jedną z opcji udostępnionych w programie (należy jednak pamiętać o tym, że zbyt duża ilość rzutów wprowadza niepotrzebnie nieczytelność rysunku, stwarzając problemy z odnalezieniem właściwych danych). Po zatwierdzeniu nastąpi proces

generowania rysunku, który w zależności od poziomu skomplikowania oraz mocy obliczeniowej komputera może chwilę potrwać. Po wygenerowaniu Catia automatycznie przechodzi do modułu Drafting (rys. 11), w którym to nastąpi dalsza „obróbka” rysunku.

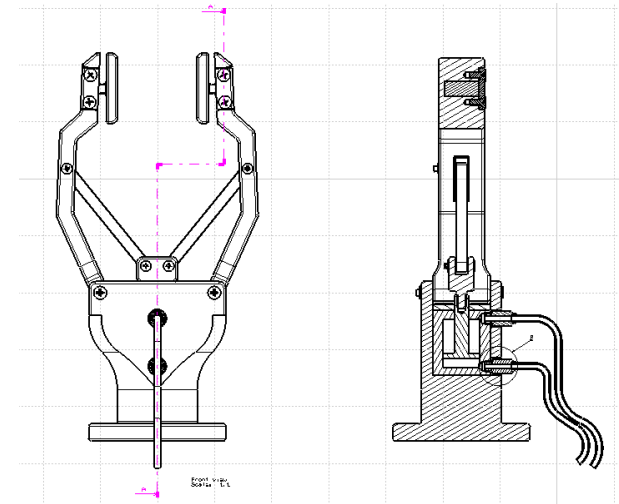


Rys. 11. Wczytanie trójwymiarowego złożenia korpusu chwytaka do modułu Drafting

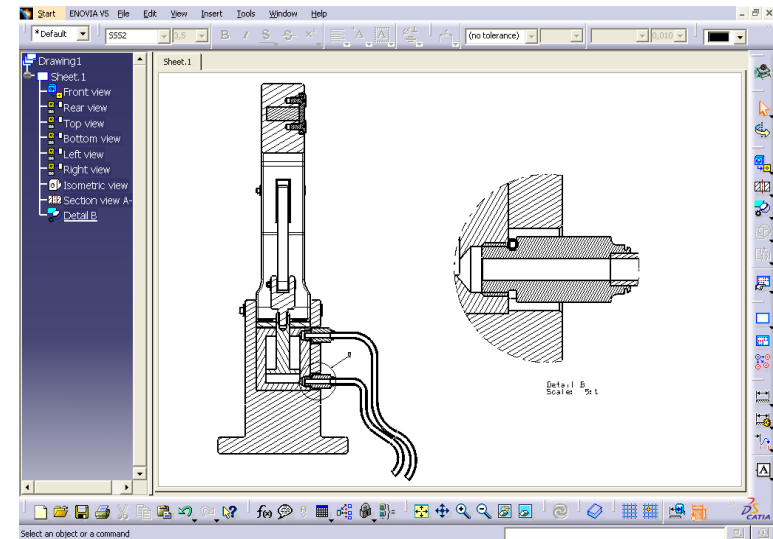
Kolejnym krokiem po wygenerowaniu rzutów jest stworzenie przekrojów mających na celu przedstawienie wewnętrznych zarysów służących dokładnemu wymiarowaniu rysunku. Ilość tworzonych przekrojów powinna być tak samo jak w przypadku rzutów zminimalizowana do poziomu określenia w sposób jednoznaczny konstrukcji modelu. Catia pozwala na tworzenie w zależności od przebiegu płaszczyzny tnącej przekrojów: całkowitych, częściowych, półprzekrojów oraz ćwierćprzekrojów, półwidoków – półprzekrojów.

W przypadku modelowania chwytaka potrzebne będą dwa przekroje, na których pokazane zostaną wszystkie elementy służące do zwymiarowania mechanizmu. Można tego dokonać w sposób następujący: Należy najechać kursorem na ramkę otaczającą interesujący nas widok, kliknąć prawym przyciskiem myszy i z rozwijalnego menu wybrać *Activate View* (oznacza to że wszelkie obróbki będą dokonywane tylko w obrębie danego rzutu, w tym przypadku widoku z przodu). Z menu bocznego należy wybrać ikonkę *Offset Section View* (opcja ta pozwala na tworzenie przekrojów, w których płaszczyzna przebiega pod kątem prostym. Catia zapewnia również cięcie płaszczyznami zorientowanymi dowolnie przy wykonywaniu skomplikowanych przekrojów). Płaszczyznę przekroju prowadzi się tak jak pokazano przerywaną linią w przykładzie. Gdy profil płaszczyzny jest już narysowany, należy kliknąć myszką podwójnie i przenieść kursor na prawo od modelu bazowego (kierunek odkładania wykonywanego półwidoku, bądź półprzekroju jest sprawą ważną, gdyż wybranie nieodpowiedniej strony rzutowania sprawi, że otrzymywany rysunek nie będzie tym, jakiego projektant

w swych zamiarach oczekiwał, lub też nie będzie zgodny z zasadami tworzenia rysunku technicznego). Po zatwierdzeniu (kliknięciu myszą) Catia wygeneruje przekrój (rys. 12).



Rys. 12. Generowanie wybranych przekrojów chwytaka



Rys. 13. Edycja właściwości wybranego szczegółu

Czasami zdarza się, że trzeba pokazać jakiś ze szczegółów rysowanego detalu w powiększeniu, np. podcięcie, gwint, lub też inne bardzo małe detale, niewidoczne na arkuszu rysunku. Trzeba wtedy wykonać odrębny widok w powięk-



szeniu (zwiększona podziałka). W systemie Catia odbywa się to w ten sposób, że wybiera się narzędzie *Detail View*, ograniczając obszar, który ma być powiększony okręgiem (możliwe jest też ograniczenie innym kształtem), a następnie należy wskazać miejsce, gdzie Catia ma wygenerować szczegół (rys. 13). Standardowo detal powiększany jest w skali 2:1, jednak nic nie stoi na przeszkodzie, by tę skalę zmodyfikować. Można tego dokonać, wybierając z menu pomocniczego właściwości detalu, opcję *Properties* – ustawienia. Opcja ta pozwala na dokonywanie wszelkiego rodzaju zmian w obrębie aktywnego rysunku. Umożliwia modyfikacje linii (grubość, kolor, rodzaj), pozwala na pokazywanie bądź ukrycie osi, gwintów, linii centralnych oraz ukrytych, możliwa jest także edycja pól tekstowych (zmiana czcionki: koloru, wielkości, kąta pochylenia itp.).

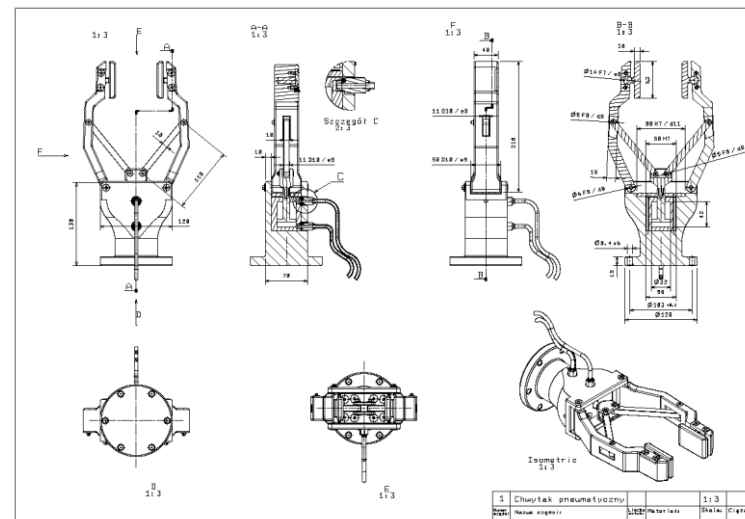
Przygotowanie dokumentacji technicznej opiera się nie tylko na wykonaniu rysunków złożeniowych, detali czy też szczegółów. Do poprawnego zdefiniowania geometrii potrzebny jest także opis rysunku w postaci wymiarów, które stanowią miarę ilościową (miarą jakościową jest kształt rysunku). Catia pozwala na generowanie wymiarów w sposób dwójaki: ręcznie bądź automatycznie (na podstawie więzów i wymiarów założonych podczas modelowania geometrii 3D). Główna różnica między tymi dwoma sposobami wymiarowania to asocjatywność pomiarów. W przypadku wymiarowania ręcznego wielkość pomiaru stanowi jednostronną relację między odniesieniem geometrii a wymiarem na rysunku. Konsekwencją takiego sposobu wymiarowania jest jednostronna asocjatywność polegająca na tym, że przy dokonywaniu modyfikacji na modelu trójwymiarowym wszystkie wymiary na rysunku są automatycznie uaktualniane, natomiast zmiana rysunku nie wpływa w żadnym stopniu na kształt bądź wielkość modelu 3D.

Wymiary wygenerowane w sposób automatyczny (*Generale Dimensions*) nie zawsze są zgodne z podstawowymi zasadami tworzenia rysunku technicznego. Niepoprawnie wykonane wymiary należy poprawić ręcznie, co nie zawsze jest proste, a czasami wręcz niemożliwe do dokonania, dlatego należy na samym początkowym etapie tworzenia geometrii zastanowić się nad aspektem jej tworzenia, co w fazie rozwojowej zaowocuje oszczędnością czasu. Wymiarowanie automatyczne jest bardzo ciekawym rozwiązaniem, gdyż charakteryzuje się dwukierunkową asocjatywnością, ponieważ wymiar określany na rysunku pobierany jest z wcześniej założonego modelu geometrii.

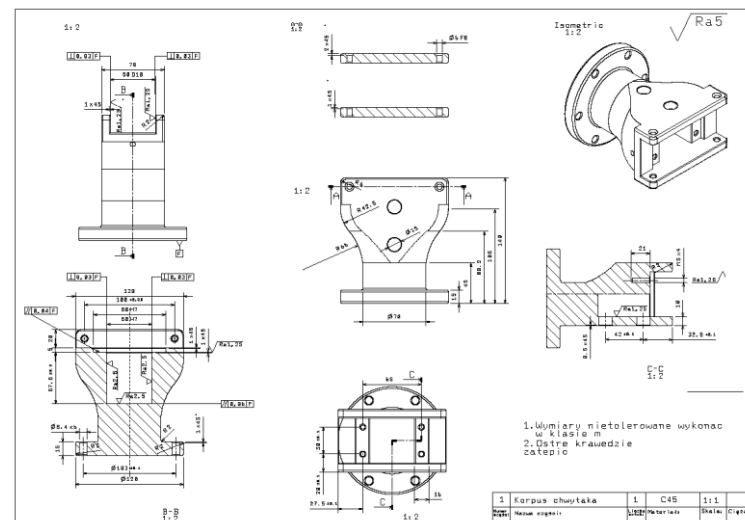
Wymiary zakładane w fazie konstrukcyjnej muszą mieć niekiedy zaznaczoną na rysunku odchyłkę (górną i dolną granicę tolerancji), a także musi być określona chropowatość powierzchni (dokładność wykonania). Stan powierzchni charakteryzowany jest za pomocą znaków graficznych z opisem w formie liczbowej.

W końcowej fazie przygotowywania dokumentacji nieodzowny staje się też opis tekstowy w postaci uwag (wartość wstawiana za pomocą narzędzia *Text*). Zawarte są tam przeważnie dodatkowe informacje służące metodzie wykonania dla całego detalu (rodzaj obróbki cieplnej, twardość materiału po obróbce, wykończenie ostrych krawędzi itp.).

Możliwości wykorzystania systemu Catia do tworzenia dokumentacji technicznej zostały przedstawione na rysunkach 14 i 15:



Rys. 14. Rysunek złożeniowy chwytaka pneumatycznego



Rys. 15. Rysunek wykonawczy korpusu chwytaka

Tworzenie rysunków w oparciu o model trójwymiarowy pozwala na znaczne zaoszczędzenie czasu i pracy. Dzieje się tak, ponieważ nie jest konieczne wykonywanie każdego rzutu „kreska po kresce”, a tworzy się je w sposób automatyczny. Przygotowana w ten sposób dokumentacja, dzięki asocjatywności

z modelem 3D, po wprowadzeniu jakichkolwiek zmian w modelu może zostać w automatyczny sposób edytowana. Stworzone w ten sposób rysunki są bardzo łatwe do archiwizacji i odszukania. Opisane w pracy narzędzie jest bardzo cennym przedmiotem pracy współczesnych inżynierów i projektantów, gdyż dzięki tego typu usprawnieniom skupiają się na pracy, co znacznie skraca proces projektowania. Elektroniczna wersja umożliwi w błyskawicznym tempie przesłanie rysunku do najbardziej odległych zakątków świata.

## 5. Analiza wytrzymałościowa wybranych elementów

We współczesnym procesie komputerowo wspomaganego projektowania w systemach CAD/CAM/CAE obliczenia wytrzymałościowe stają się jednym z najistotniejszych etapów tego procesu. Catia V5 posiada cały szereg narzędzi służących obliczaniu wytrzymałościowemu FEM (Finite Element Method – Metoda Elementów Skończonych) pozwalających na analizę modelu bez konieczności tworzenia obiektów rzeczywistych.

Analizowane przedmioty są automatycznie dzielone na podobszary, na które nakładana jest siatka, jednakże istnieje możliwość świadomej modyfikacji wygenerowanej siatki elementów pozwalającej na zmianę rozmiarów i kształtów generowanych elementów skończonych.

Catia umożliwia zdefiniowanie różnego rodzaju warunków brzegowych. Możliwe jest zdefiniowanie schematu: utwierdzeń, sił, momentów, obciążeń, przemieszczeń, czy nawet wpływu grawitacji w miejscach takich jak krawędzie łączenia płaszczyzn, wierzchołki, płaszczyzny (zarówno proste, jak i krzywoliniowe), a także inne zdefiniowane w procesie tworzenia modelu obszary. Poza modelem wytrzymałościowym Catia uwzględnia wpływ temperatury, pozwalając także na obliczenia przy współdziałaniu kontaktowym (współpraca kilku elementów). Pozwala to na wyeliminowanie błędów powstałych przy analizie poszczególnych jednostek wchodzących w skład mechanizmu, traktując elementy jako złożeniową całość.

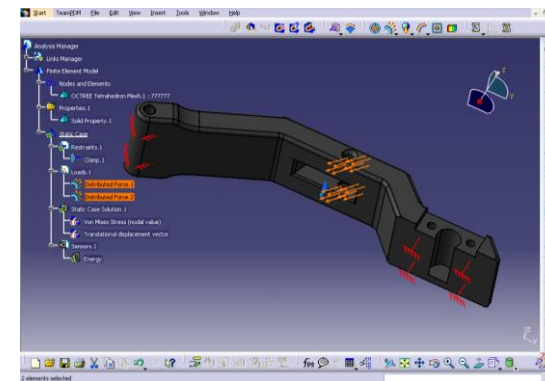
Program umożliwia zarówno analizę statyczną – Static Case, dynamiczną (częstotliwościową) – Frequency Case, zmęczeniową – Buckling Case oraz mieszaną – Combined Case, wyczerpując tym samym pakiet analiz, jakie wykonywane są podczas projektowania.

Możliwości programu Catia w zastosowaniu obliczeniowym zademonstrowano na przykładzie szczęki prezentowanego chwytaka. Przyjęto, że obciążenie szczęki wynosić będzie  $F = 820 \text{ N}$ . Wartość obciążenia szczęki obliczono przez wyznaczenie sił działających w układzie kompletnego chwytaka.

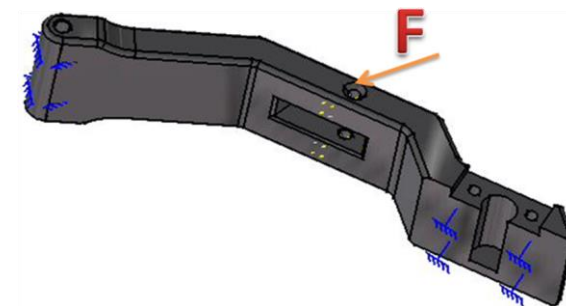
Pracę nad obliczeniem modelu należy rozpocząć od stworzenia geometrii w module *Part Design* i nałożeniu właściwości materiału (dokonuje się tego za pomocą narzędzia *Material*, wybierając z zakładki *Metal*, a następnie *Steel*).

Kolejny krok stanowi przejście do modułu obliczeniowego (*Start-Analysis&Simulation – Generative Structural Analysis*). Po przejściu do modułu FEM należy postępować w następujący sposób:

1. W okienku, które pojawia się po przejściu do modułu należy wybrać typ obliczeń. Model rozpatrywanej szczęki będzie analizowany jako układ statyczny, należy wybrać więc *Static Analysis* i zatwierdzić przyciskiem *OK*.
2. By dokonać analizy należy założyć odpowiednie warunki brzegowe (rys.16). Dokonuje się tego w sposób następujący:
  - na pasku narzędzi należy znaleźć ikonę *Clamp* – służy ona nadaniu utwierdzenia (ograniczenie wszystkich możliwych przemieszczeń oraz obrotów).
  - Mając uruchomione narzędzie, należy kliknąć płaszczyznę płyty, po czym nastąpi utwierdzenie elementu zobrazowane odpowiednimi znakami graficznymi.
  - szczeka ma być obciążona siłą 820 N przyłożoną do osi środkowego otworu pod kątem 45° do szczęki. Do tego celu służy narzędzie *Distributed Force*, po wybraniu którego trzeba wskazać punkt przyłożenia siły (wzdłuż środkowego otworu). Narzędzie to pozwala na założenie sił we wszystkich kierunkach (rys.17).



Rys. 16. Określenie warunków brzegowych oraz siły obciążającej szczękę chwytaka

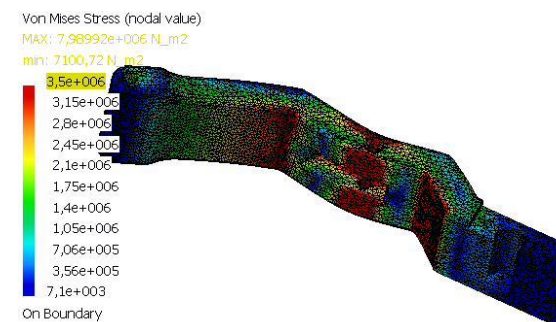


Rys. 17. Model szczęki wraz z nałożonymi siłami oraz więzami

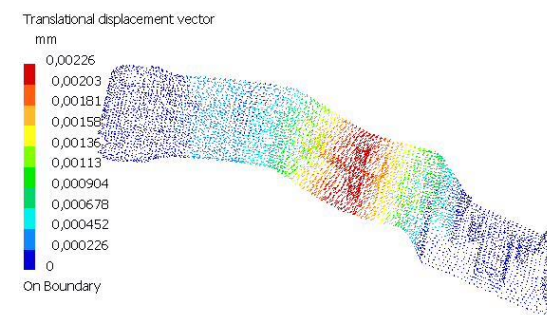
3. Kolejnym krokiem jest uruchomienie narzędzia – *Compute*, które wygeneruje siatkę oraz dokona obliczeń (rys. 18).
4. Po wykonaniu obliczeń można wyświetlić wyniki przemieszczeń, odkształceń, naprężeń itp., jednakże możliwe jest też wygenerowanie raportu podsumowującego całą analizę, którego treść będzie służyć jako dokumentacja techniczna. W celu stworzenia dokumentacji obliczeniowej należy wybrać narzędzie *Generate Report*, w którym warto zaznaczyć opcję *Add Created Image*. Spowoduje to załączenie do raportu zdjęć wszystkich wykonywanych analiz.



Rys.18. Model szczęki z nałożoną siatką elementów skończonych



Rys. 19. Naprężenia zredukowane



Rys. 20. Odkształcenia zredukowane

Największe naprężenia w analizowanej szczęce chwytaka występują w miejscu przyłożenia obciążenia, ale nie są one większe niż naprężenia dopuszczalne naszego materiału (rys. 19). Maksymalne przemieszczenia również występują w miejscu przyłożenia siły, jednak ich wielkość jest nieznaczna (rys. 20).

## Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono, jak nowoczesne systemy wspomagania projektowania i wytwarzania mogą w efektywny sposób ułatwić pracę inżynierom. Przygotowany model korpusu chwytaka może posłużyć jako podstawa do przeprowadzenia symulacji wytrzymałościowych, stworzenia rysunku wykonawczego oraz przygotowania procesu technologicznego wykonania jego elementów składowych. W oparciu o wykonany mechanizm chwytaka pneumatycznego możliwe jest przygotowanie rysunku złożeniowego, sprawdzenie czy mechanizm został poprawnie zaprojektowany, uzyskanie informacji na temat kinematyki układu, a także przeprowadzenie wielu innych symulacji i analiz, dzięki którym można uzyskać niezbędne informacje dotyczące projektowanego rozwiązania konstrukcyjnego, bez konieczności wykonania prototypu.

Metody elementów skończonych pozwalają na dokonywanie zaawansowanych analiz obliczeniowych, dzięki czemu projektowany model jako wirtualny ma rzeczywiste parametry, co eliminuje konieczność budowy często bardzo drogiego, wymagającego dużych nakładów czasowych podczas wykonywania, prototypów. Przeprowadzona analiza wytrzymałościowa dostarcza informacji, dzięki którym można stwierdzić, że szczęka chwytaka pneumatycznego została zaprojektowana w sposób poprawny i sprosta wymaganiom eksploatacyjnym.

## Bibliografia

- Chlebus E. *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, WNT, Warszawa 2000.
- Michalczuk H.: *Wykorzystanie w wytwarzaniu nowoczesnych systemów CAD/CAM*. Praca magisterska, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008.
- Skarka W., Mazurek A.: *CATIA. Podstawy modelowania i zapisu konstrukcji*, Wydawnictwo Helion, 2005
- Welyczko A.: *CATIA V5. Przykłady efektywnego zastosowania systemu w projektowaniu mechanicznym*, Wydawnictwo Helion 2005.
- Tubielewicz K., Michalczuk H., Zaborski A. *Modelowanie trójwymiarowe z wykorzystaniem programu CATIA V5*. Materiały XIII Międzynarodowej Szkoły komputerowego wspomagania projektowania, wytwarzania i eksploatacji, Jurata 11–15 maja 2009, s. 353–360.

**METODYKA WYKORZYSTANIA MODELOWANIA  
I SYMULACJI KOMPUTEROWEJ DO ANALIZY  
STEREOMETRII POWIERZCHNI**

**1. Wprowadzenie**

Pomiary cech geometrycznych warstwy wierzchniej powierzchni technicznych, zarówno w wymiarze mikro i makro, od prawie 100 lat stanowią istotną część badań wielu ośrodków naukowych. Pierwsze opracowania dotyczące chropowatości powierzchni pojawiły się w latach 30. ubiegłego wieku w Wielkiej Brytanii. Dr. R. E. Reason wraz R. Taylorem oraz M. Hobsonem rozpoczęli badania i pierwsze próby standaryzacji parametrów określających jakość powierzchni. Pierwsze urządzenia umożliwiające pomiar chropowatości pojawiły się na początku lat 40. ubiegłego wieku. Początkowo były to proste urządzenia umożliwiające jedynie rejestrację zmierzonego profilu na papierze węglowym, dodatkowo wynik pomiaru chropowatości mógł być odczytany na analogowym wskaźniku.

Przez kolejne kilkadziesiąt lat sukcesywnie powstawały normy dotyczące pomiarów oraz ich modyfikacje związane z rozwojem technik pomiarowych. Dopiero w latach 80. ubiegłego wieku rozwój technik komputerowych i pojawienie się pierwszych maszyn wyposażonych w procesory pozwoliło na opracowanie programów służących już nie tylko do pomiarów, ale również do modelowania mikrogeometrii powierzchni i przeprowadzania ich analiz symulacyjnych. Współczesna metrologia mikrogeometrii powierzchni coraz częściej wymaga ujęcia tego zagadnienia nie tylko w tradycyjnym wymiarze 2D, ale również jako topografii 3D, która to jako jedyna daje pełny obraz cech mierzonych powierzchni [Adamczak 2008; Oczóś, Liubimov 2003; Wieczorowski, Cellary, Chajda 2003]. Rozdzielczości głowic pomiarowych osiągnęły wartości subnanometryczne (pomiaru stykowe) i subpikometryczne (pomiaru optyczne).

Punktem wyjścia do przeprowadzenia modelowania stanu stereometrii powierzchni jest chmura punktów pozyskana na drodze pomiaru (metodą stykową – głowicą indukcyjną, z przetwornikiem interferencyjnym, lub metodą optyczną – konfokalną, interferencyjną lub laserową). Rozmieszczenie pozyskanych punktów w przestrzeni stanowi z reguły odwziewierciedlenie kształtu rzeczywistej, mierzonej powierzchni [Zaborski, Tubielewicz 2003: 343–350; Zaborski, Tubiele-

wicz 2009 : 415–422]. Współczesne oprogramowanie jest w stanie również sztucznie wygenerować chmurę punktów nieistniejącej, wirtualnej powierzchni. Pozyskaną na drodze pomiaru lub sztucznie wygenerowaną chmurę punktów można zaimplementować w programy służące do modelowania i analizy topografii powierzchni. Szybkie komputery pozwalają na modelowanie powierzchni składających się z dużej (do 100 000 000) ilości punktów, co pozwala na bardzo precyzyjne przeprowadzenie tego typu analiz.

## 2. Modelowanie i analiza symulacyjna powierzchni

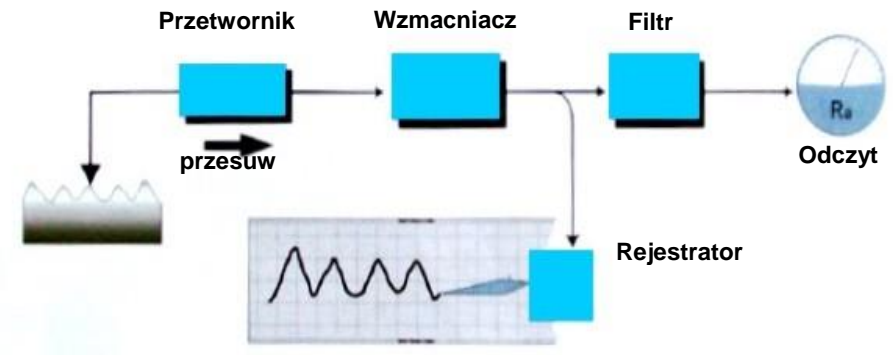
W opracowaniu opisano metodykę modelowania i symulacji komputerowej danych uzyskanych z profilografometru Taylor – Hobson New Form Talysurf 2D/3D 120 z oprogramowaniem „Ultra Surface 5.16” i „TalyMap Platinum 5.0” (rys. 1).



Rys. 1. Profilografometr Taylor – Hobson New Form Talysurf 2D/3D 120

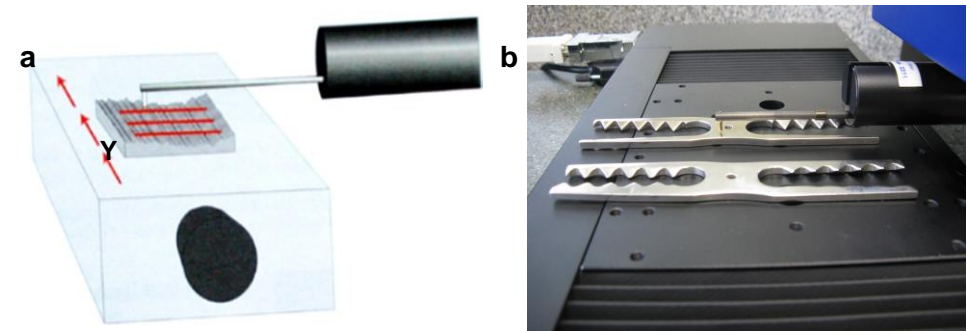
Stanowisko to umożliwia kompleksowy pomiar parametrów chropowatości i stereometrii warstwy wierzchniej w tradycyjnym układzie 2D, jak również w układzie stereometrycznym 3D z rozdzielczością głowicy pomiarowej od 0,6 nm. Schemat ideowy (rys. 2) przedstawia zasadę zdejmowania punktów pomiarowych z mierzonej powierzchni w stosowanym od szeregu lat ujęciu 2D. Końcówka pomiarowa zakończona igłą diamentową o promieniu zaokrąglenia 2  $\mu\text{m}$  przesuwa się po mierzonej powierzchni. Zmiany jej wychylenia w osi pionowej (Z) wywołane strukturą powierzchni, są przetwarzane na sygnał elektryczny, następnie wzmacniane, filtrowane i obrabiane. Pozycjonowanie w osi poziomej (X) odbywa się w oparciu o liniał inkrementalny





Rys. 2. Schemat ideowy pomiaru 2D

Istotę pomiaru stereometrii powierzchni (3D) metodą stykową ilustruje rys. 3. Pomiar przestrzenny jest w istocie złożeniem kilkuset (i więcej) pomiarów płaskich przesuniętych równolegle względem siebie w kierunku prostopadłym do kierunku przesuwu igły pomiarowej. Tak więc w przypadku wykonywania pomiaru topografii powierzchni, dodatkowo musi być realizowany poprzeczny (Y), skokowy ruch mierzonej powierzchni. Ruch ten jest generowany o zadany skok (w zakresie od 500  $\mu\text{m}$ ) przez stół pomiarowy, po każdym pojedynczym pomiarze 2D.



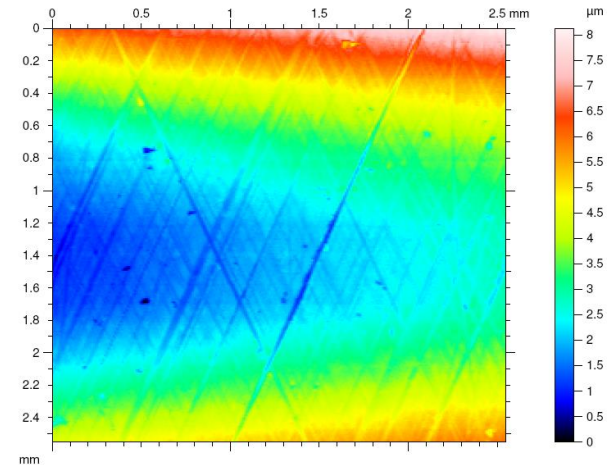
Rys. 3. Pomiar topografii powierzchni: a – zasada pomiaru 3D z wykorzystaniem przesuwu stolika w osi Y, b – stół pomiarowy w trakcie realizacji pomiaru 3D

Profilografometr w trakcie pomiaru rejestruje współrzędne kolejnych punktów znajdujących się na badanej powierzchni. Punkty te zostają uporządkowane i zapisane do pliku w jednym z wybranych formatów. Otrzymuje się więc chmurę punktów o znanych współrzędnych X Y Z, która może stanowić punkt wyjścia do obróbki cyfrowej przy pomocy oprogramowania do analizy topografii powierzchni. W prezentowanym przypadku jest to program „TalyMap Platinum 5.0” firmy Taylor – Hobson. Funkcje tego programowania można pogrupować w następujący sposób:

- funkcje modelowania powierzchni (chmury punktów),
- funkcje analiz symulacyjnych (przy różnych parametrach wejściowych).

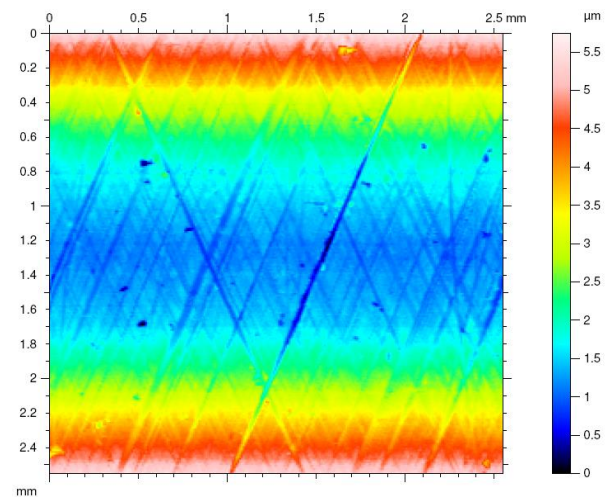
Do zaprezentowania możliwości modelowania chmury punktów oraz przeprowadzenia analiz symulacyjnych wykorzystano dane z pomiaru wycinka o wymiarach  $2,5\mu\text{m} \times 2,5\mu\text{m}$  tulei cylindrowej silnika wysokoprężnego po procesie honowania (rys. 4).

Metodykę modelowania chmury punktów można podzielić na etapy. Pierwszym z nich jest wczytanie i wizualizacja otrzymanej w wyniku pomiaru chmury punktów w postaci obrazu (mapy warstwicznej), w którym kolory są funkcją wartości współrzędnych poszczególnych punktów w osi Z (rys. 4).



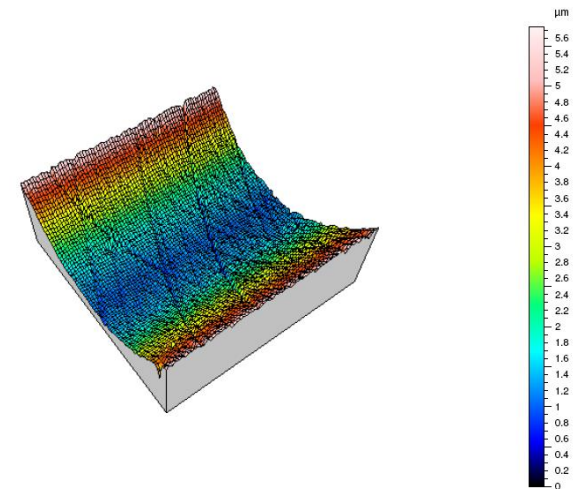
**Rys. 4.** Wizualizacja chmury punktów otrzymanych w wyniku pomiaru

Oczywiste jest, że tak otrzymany obraz powierzchni nie może jeszcze stanowić punktu wyjścia do przeprowadzenia wyznaczania parametrów chropowatości i falistości, ani do wykonania analiz symulacyjnych. W trakcie pomiaru (pomimo zachowania staranności) niemożliwe jest takie ułożenie badanego wycinka powierzchni, by jego tworząca była dokładnie równoległa z kierunkiem przesuwu igły pomiarowej. Z tego powodu otrzymany model geometryczny nie jest wypoziomowany (rys. 4). Kolejnym etapem musi być więc poziomowanie chmury punktów. Ten niezwykle istotny proces wstępnego modelowania powierzchni pozwala na uzyskanie obrazu o równomiernie rozłożonych rzędnych punktów topografii i wyrazistszej wizualizacji jej szczegółów. Poziomowanie można wykonać względem płaszczyzny średnio kwadratowej (dla powierzchni o równomiernej strukturze) lub względem płaszczyzny wyznaczonej z 3 reprezentatywnych punktów (dla powierzchni złożonych). Rozkład rzędnych współrzędnych chmury punktów jest równomierny względem płaszczyzny średniokwadratowej (rys. 5).



**Rys. 5. Chmura punktów po poziomowaniu**

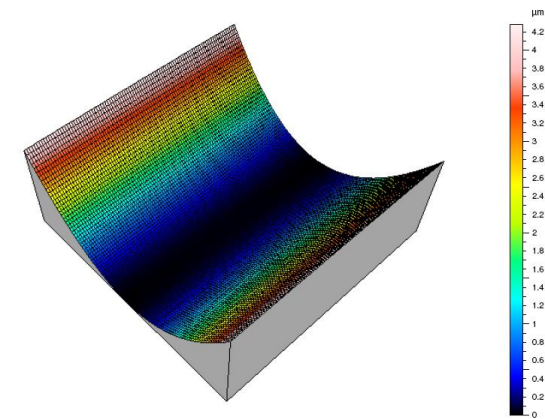
Możliwe jest również przedstawienie modelowanego wycinka w postaci widoku aksonometrycznego „trójwymiarowego” (rys. 6). Ten sposób wizualizacji bardzo ułatwia analizę otrzymanych rezultatów analiz.



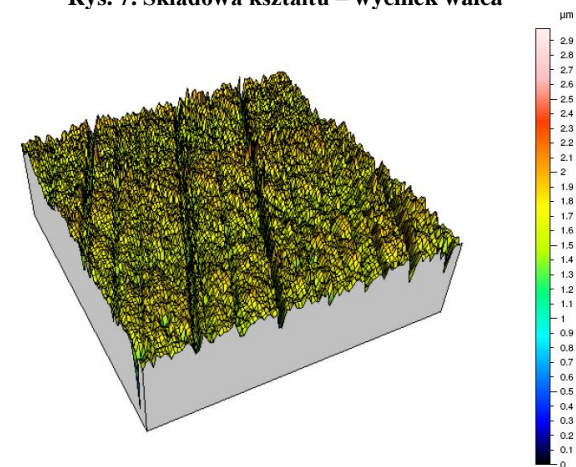
**Rys. 6. Widok aksonometryczny chmury punktów po operacji poziomowania**

W warunkach pomiarów przemysłowych dość rzadko zdarza się, aby pomiar był realizowany na powierzchni płaskiej. Bardzo często dokonuje się pomiaru topografii powierzchni na zewnętrznych lub wewnętrznych (tak jak w prezentowanym przykładzie – rys. 6) powierzchniach walcowych, powierzchni kulistych, stożkowych, lub też na powierzchniach o jeszcze bardziej złożo-

nych kształtach. W każdym z tych przypadków, przed przejściem do dalszych analiz, konieczne jest określenie i wyodrębnienie kształtu (cylinder, kula, wielomian) tworzonego przez punkty, a niebędącym składową topografii powierzchni. W prezentowanym przykładzie wycinka tulei cylindra rys. 6 przedstawia chmurę punktów stanowiących odzwierciedlenie powierzchni cylindra po honowaniu. Składa się ona z kształtu (walec), falistości i chropowatości. Po przeprowadzonym matematycznym rozdzieleniu składowej kształtu oraz chropowatości i falistości otrzymuje się dwie chmury punktów. Pierwsza to składowa kształtu (wycinek walca – rys. 7), druga to topografia powierzchni (chropowatość i falistość – rys. 8). Zastosowanie właściwego algorytmu modelowania pozwala na dalsze symulacje na punktach reprezentujących jedynie interesujący składnik.

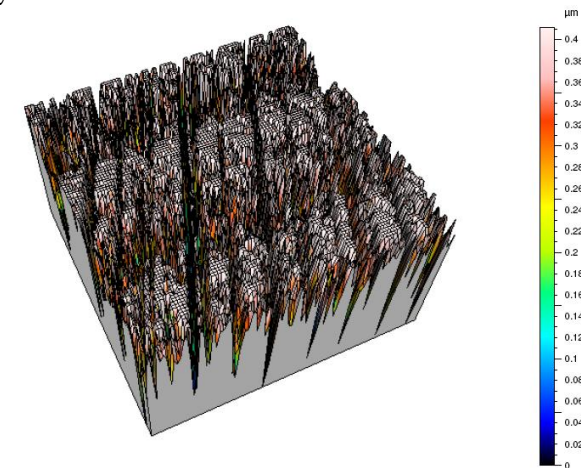


Rys. 7. Składowa kształtu – wycinek walca



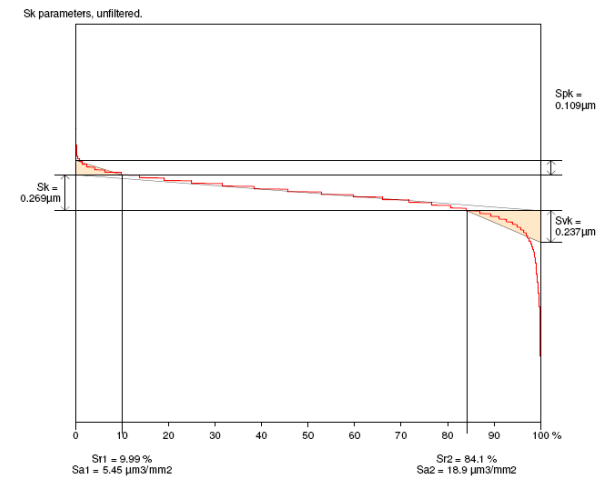
Rys. 8. Składowa chropowatości i falistości

Po otrzymaniu chmury punktów będącej jedynie składową chropowatości i falistości (rys. 8) istnieje możliwość wykonania wirtualnych symulacji pozwalających na ocenę właściwości eksploatacyjnych analizowanych warstw wierzchnich. Dla przykładu możliwe jest przeprowadzenie symulowanego zużycia powierzchni, odcinając płaszczyznę równoległą do średniokwadratowej części chmury punktów o określonych współrzędnych powyżej określonego poziomu. Analogicznie można symulować zmniejszenie objętości kieszeni olejowych (odpowiedzialnych za właściwe smarowanie współpracujących powierzchni), odcinając część chmury punktów o określonych współrzędnych poniżej określonego poziomu. Taki sposób symulowania zużycia powierzchni z uwzględnieniem aspektu zmniejszenia zdolności smarowania pozwala na opracowanie modelu zużycia powierzchni bardzo bliski procesowi fizycznemu. Rys. 9 przedstawia powierzchnię po wykonanej symulacji procesu zużycia i zmniejszeniu objętości kieszeni olejowych.

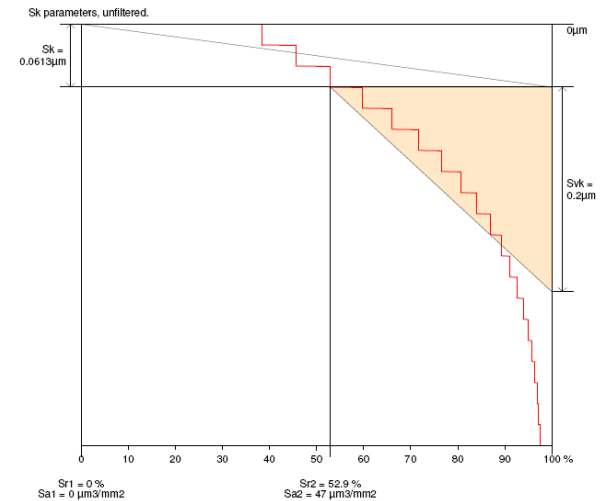


**Rys. 9. Powierzchnia po wykonaniu symulacji procesu zużycia**

Analiza numeryczna przeprowadzanego procesu symulowanego zużywania nie ogranicza się jedynie do wizualizacji otrzymanych powierzchni. Możliwe staje się również wyznaczanie wielu szczegółowych parametrów chropowatości i stereometrii pozwalających na wnikliwą ocenę zmieniających się właściwości analizowanych powierzchni. Dla przykładu można przedstawić tu wykresy krzywych nośności (Abbotta – Firestona) powierzchni przed zużyciem (rys. 10) oraz po symulowaniu zużyciu (rys. 11). Widoczna jest wyraźna zmiana kształtu krzywej. Dla powierzchni przed zużyciem (rys. 10) nośność 10% występuje na głębokości 0,1 µm od maksymalnego szczytu. Dla powierzchni po symulowanym zużywaniu na poziomie szczytów nośność powierzchni wynosi ponad 30%. Dzięki możliwości teoretycznego symulowania, można opracować optymalną nośność powierzchni, co jest niezwykle istotne w zagadnieniach tribologicznych.



**Rys. 10. Krzywa udziału nośnego powierzchni przed symulacją zużycia**

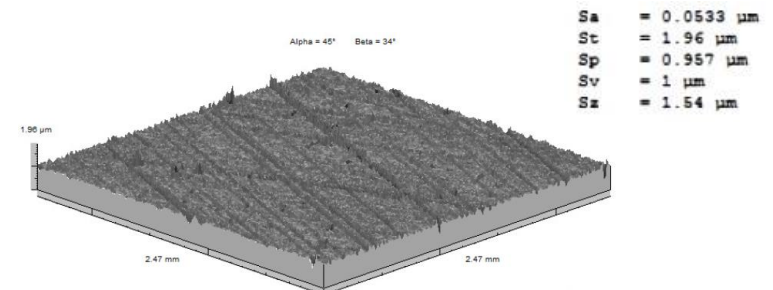


**Rys. 11. Krzywa udziału nośnego powierzchni po symulacji zużycia**

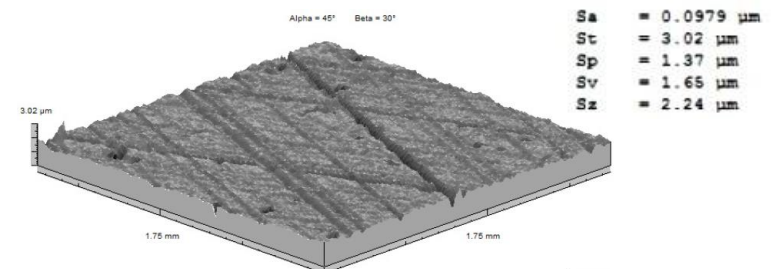
Otrzymana po symulowaniu zużycia powierzchnia może zostać poddana filtracji w celu oddzielenia składowej falistości od składowej chropowatości. Możliwe jest zastosowanie kilku rodzajów filtracji: Gaussa, Spline, Zgrubny Gauss oraz kilku rozmiarów powierzchni elementarnej, zarówno symetrycznej (kształt kwadratowy) jak i niesymetrycznej (kształt prostokątny – zapewnia prawidłowe odfiltrowanie falistości od chropowatości w przypadku powierzchni o silnie kierunkowej obróbce, np. toczenie czy nagniatanie). Właściwe dobranie wielko-

ści filtra jest kluczowe dla poprawnej analizy i poprawnego wyznaczenia parametrów chropowatości. Symulacja komputerowa pozwala na określenie optymalnej filtracji dla danej powierzchni, gdyż stosowane obecnie normy jedynie zalecają sposób filtracji. Przy niewłaściwie dobranym filtrze (za duża wartość odcięcia) część składowych falistości zostaje brana pod uwagę przy wyliczaniu chropowatości – zostaje ona zawyżona. Istnieje też możliwość zaniżenia wartości chropowatości, kiedy to filtr o za małej wartości odcięcia oprócz całej składowej falistości redukuje składową chropowatości. Częstym błędem popełnianym szczególnie w pomiarach przemysłowych jest zakładanie pewnych wartości parametrów chropowatości lub topografii powierzchni bez podania rodzaju i wielkości parametrów do ich wyliczenia, czyli rodzaju i wielkości filtra. W takich sytuacjach wielokrotnie spotyka się wykonywanie pomiarów przy takim doborze filtracji, aby wynik spełniał założenia.

O znaczeniu przeprowadzenia symulacji komputerowej na tym etapie analiz można się przekonać na przykładzie rys.12 i 13. Przedstawiają one różnicę wartości parametrów chropowatości przy analizie symulacyjnej chropowatości wykonanej dwoma różnymi wielkościami filtrów separujących chropowatość od falistości – 0,08 mm (rys. 12) oraz 0,8 mm (rys. 13). Różnica wielkości podstawowego parametru topografii powierzchni pomiędzy tymi dwoma wielkościami filtra wynosi aż 83%.



**Rys. 12. Powierzchnia po symulacji filtracji – filtr Gauss 0,08 mm**



**Rys. 13. Powierzchnia po symulacji filtracji – filtr Gauss 0,8 mm**

Przedstawione powyżej modelowanie i analizy symulacyjne mogą być przeprowadzone bezpośrednio na profilografometrze sprzęgniętym ze skomputeryzowanym stanowiskiem przeznaczonym do analizy wyników pomiaru. Można jednak analogiczną analizę wykonać na dowolnym komputerze wyposażonym w niezbędne oprogramowanie. W ITMiAP Politechniki Częstochowskiej w roku 2008 zostało uruchomione laboratorium wyposażone w pięć stanowisk komputerowych umożliwiających przeprowadzenie tego typu analiz. Każde z nich umożliwia niezależne modelowanie oraz symulację w oparciu o oprogramowanie zainstalowane na serwerze. Punkty pomiarowe pozyskiwane z urządzeń pomiarowych znajdujących się w laboratorium Instytutu mogą zostać przeniesione (przesyłane siecią lub przenoszone na nośnikach elektronicznych) do stanowisk komputerowych. Istnieje także możliwość wygenerowania punktów stanowiących odzwierciedlenie powierzchni teoretycznych i ich obróbka analogiczna do tych, uzyskanych z urządzeń.

## **Podsumowanie**

Współczesne prace badawcze poświęcone problematyce topografii powierzchni coraz częściej opierają się na wykorzystaniu oprogramowań komputerowych pozwalających na geometryczne modelowanie kształtu stereometrii oraz wykonanie szeregu analiz symulacyjnych. Dzięki takiej możliwości zmniejsza się czas (a tym samym koszt) prowadzonych badań. Niezwykle istotna jest także możliwość szybkiego wykonania analiz symulacyjnych realizowanych przy różnych parametrach wejściowych. Ich właściwy dobór jest kluczowy do prawidłowej oceny cech topografii powierzchni.

Przedstawione w opracowaniu praktyczne zastosowanie skomputeryzowanych stanowisk pomiarowych do analizy wybranych parametrów stereometrii pozwala na znaczne zwiększenie ilości i podniesienie przejrzystości informacji możliwych do uzyskania w wyniku przeprowadzonych pomiarów. Pozwala to na znaczne zwiększenie możliwych do uzyskania informacji dotyczących analizowanych procesów obróbki. Możliwe staje się prognozowanie parametrów eksploatacyjnych uzyskiwanych warstw wierzchnich. Warunkiem przeprowadzenia wszystkich przedstawionych w opracowaniu analiz jest zastosowanie właściwie dobranej do analizowanej problematyki współczesnej techniki obliczeniowej i oprogramowania umożliwiającego poprawne przeprowadzenie cyfrowej obróbki otrzymanych rezultatów.

## **Bibliografia**

Adamczak S.: *Pomiary geometryczne powierzchni, zarysy kształtu, falistość i chropowatość*. WNT, Warszawa 2008.



- Oczoś K, Liubimov V.: *Struktura geometryczna powierzchni*, Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2003.
- Wieczorowski M., Cellary A., Chajda J.: *Przewodnik po pomiarach nierówności powierzchni, czyli o chropowatości i nie tylko*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2003.
- Zaborski A., Tubielewicz K.: *Zastosowanie komputera do analizy chropowatości powierzchni*. Materiały VII Szkoły komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji, Jurata 12–16 maja 2003, s. 343–350.
- Zaborski A., Tubielewicz K.: *Wykorzystanie systemów pomiarowych do analizy stereometrii warstw wierzchnich i błędów kształtów przedmiotów*. Materiały XIII Międzynarodowej Szkoły komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji, Jurata 11–15 maja 2009, s. 415–422.

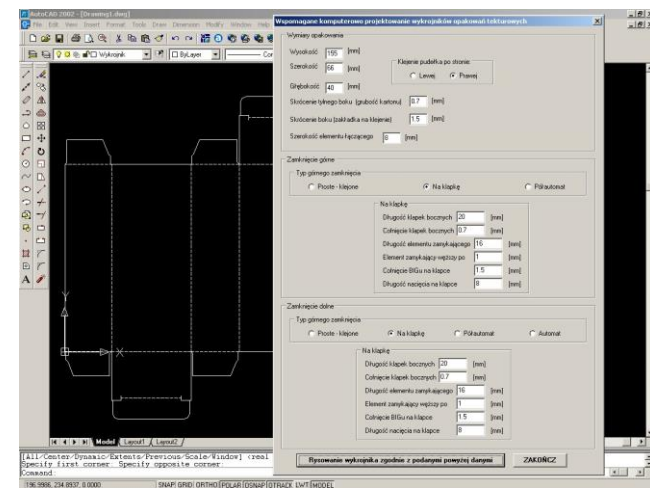
**MODELOWANIE I SYMULACJA KOMPUTEROWA  
W PROCESACH PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI**

**1. Wprowadzenie**

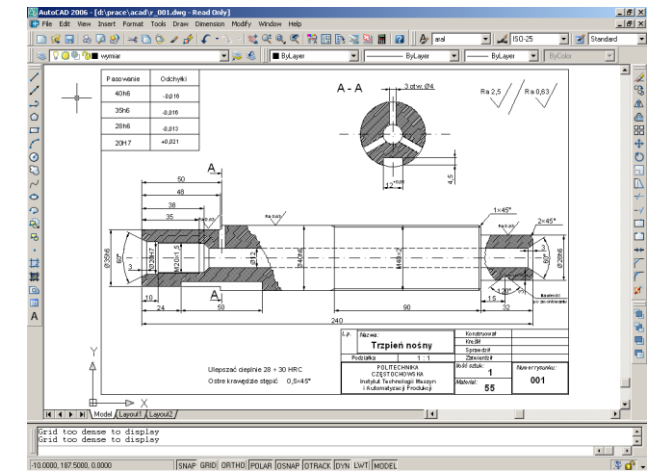
Ostatnich kilka lat, to okres gwałtownych zmian zachodzących we współczesnych zakładach produkcyjnych na wszystkich etapach procesu przygotowania produkcji. Ich przyczyną staje się coraz powszechniejsze wprowadzenie do procesu projektowo-konstrukcyjnego systemów komputerowych CAD/CAM. Zmiany zaszły praktycznie na każdym etapie, począwszy od pojawienia się koncepcji przyszłego wyrobu, a kończąc na sposobie wygenerowania oprogramowania na obrabiarki sterowane numerycznie, systemy skomputeryzowanej kontroli jakości, czy też komputerowo sterowane systemy transportu wewnętrznego [Chlebus 2000; Zaborski, Tubielewicz 2004: 588–591].

Obecnie punktem wyjścia do wszelkiego rodzaju prac związanych z komputerowo wspomaganym przygotowaniem procesu wdrożenia do produkcji nowego wyrobu stać się musi zaprojektowanie i modelowanie części składowych, z których powstaje (na razie wirtualnie) projektowany obiekt. Dzieje się to z reguły w wyspecjalizowanych programach CAD lub modułach projektowych zintegrowanych systemów przygotowania produkcji CAD/CAM [Tubielewicz, Zaborski 2007: 207 – 212; Zaborski, Tubielewicz 2007: 127 – 138]. Odbywa się to obecnie coraz częściej w postaci projektów trójwymiarowych, zwymiarowanych w sposób parametryczny. Dzieje się tak od połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku, kiedy to nastąpił bardzo szybki wzrost wydajności komputerów osobistych. Rozwój technik komputerowych umożliwił powstanie zaawansowanych programów do tworzenia profesjonalnej dokumentacji technicznej niezbędnej do współczesnego przygotowania produkcji. Rozpoczął się proces zastępowania konwencjonalnych, ręcznych technik rysowania znacznie bardziej efektywnymi technikami modelowania komputerowego. Ogromny wzrost wydajności i dostępności komputerów, jaki dokonał się w ostatnich kilku latach, zaowocował powstaniem nowej kategorii programów do modelowania 3D. Przy ich użyciu projektuje się z założenia trójwymiarowe obiekty, które mogą być bazą nie tylko dla tworzenia dwuwymiarowej dokumentacji technicznej, ale również punktem wyjścia do obliczeń wytrzymałościowych (np. przy zastosowaniu metody elementów skończonych), czy też do opracowania technologii obróbki i wygenerowania

a)



b)



**Rys. 1. Rysunki wykonane w systemie projektowania 2D (AutoCAD): a – tradycyjny rysunek wykonawczy; b – projekt wykrojnika do wykonywania opakowań tekturowych wygenerowany automatycznie przez program wspomagający projektowanie**

kodeksów sterujących obrabiarkami sterowanymi numerycznie. Tradycyjne dwuwymiarowe rysunki złożeniowe nie zapewniały bowiem szybkiego wychwytywania wad i nieciągłości w pasowaniu poszczególnych elementów. Dla skontrolowania poprawności założeń montażowych i kinematycznych często konieczne było zbudowanie modelu projektowanego obiektu lub nawet działającego, kosztownego prototypu. Aktualizacja dokumentacji 2D jest bardzo czasochłonna. Każdą zmianę w projekcie trzeba wprowadzić na kilka rzutów, a często także na kilka pomocniczych przekrojów i widoków. Bardzo łatwo wówczas o pomyłkę i przeoczenie zmiany na pewnym fragmencie dokumentacji. Zaprojektowanie części i zespołów w klasycznej metodzie 2D uniemożliwia z reguły wykonanie

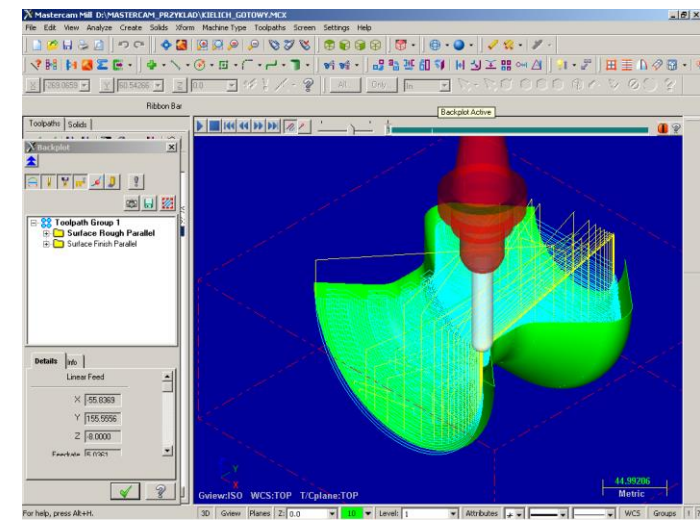
nawet najprostszych analiz kinematycznych, czy wytrzymałościowych. Modelowanie trójwymiarowe eliminuje konieczność wykonywania kolejnych rzutów i widoków elementu, ponieważ cała dwuwymiarowa dokumentacja powstaje niemal automatycznie. Projektantowi pozostaje jedynie wskazanie odpowiednich widoków i przekrojów, które są automatycznie generowane na podstawie bryłowego modelu i rozmieszczane na płaskim rysunku. Tak więc projektowanie 3D nie wyklucza wygenerowania klasycznej „dwuwymiarowej” – 2D dokumentacji konstrukcyjnej. Dzieje się to jednak poprzez tworzenie płaskich rzutów, widoków i przekrojów na podstawie zaprojektowanego wcześniej trójwymiarowego obiektu.

Pomimo tych niewątpliwych zalet modelowania 3D nie wydaje się jednak możliwe, by tradycyjny dwuwymiarowy sposób zapisu konstrukcji został całkowicie zarzucony. W bardzo wielu sytuacjach szybkie wykonanie prostych dwuwymiarowych rysunków czy też szkiców jest w zupełności wystarczające (a zarazem niezbędne) do poprawnego zrealizowania zadania postawionego na określonym etapie przygotowania produkcji. Przykładem tego typu zadania może być rysunek wykonawczy przekazywany pracownikowi obsługującemu obrabiarkę sterowaną konwencjonalnie (rys. 1a). Podane na nim wymiary pozwalają na wykonanie postawionego zadania produkcyjnego. Model trójwymiarowy wydaje się w tym przypadku zbędny.

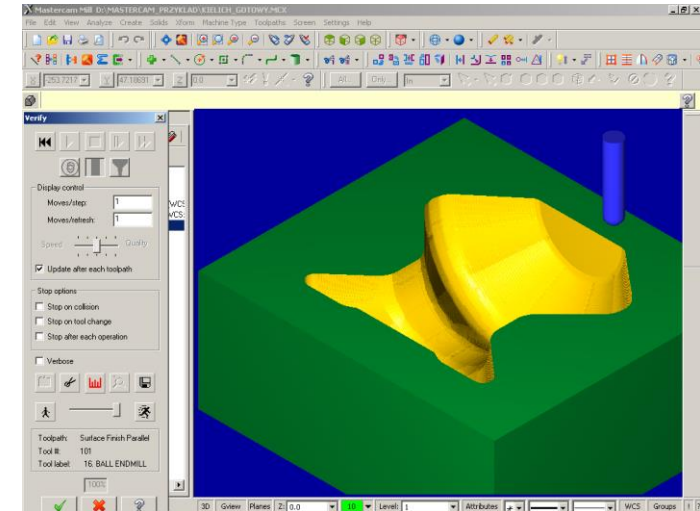
Warto tu również zwrócić uwagę na możliwość automatycznego generowania dokumentacji projektowej. Systemy graficzne, takie jak np. AutoCAD udostępniają poprzez interfejs automatyzacji OLE możliwość tworzenia projektów przy zastosowaniu języków ogólnego zastosowania, takich jak np. Borland Delphi. Możliwe jest automatyczne wykonywanie dwuwymiarowych projektów w oparciu o wprowadzone do aplikacji zewnętrznej dane wejściowe do opracowania projektu (rys. 1b).

Warto zwrócić uwagę, iż wprowadzenie w ciągu ostatnich kilkunastu lat współczesnych komputerowych systemów przygotowania produkcji rewolucjonizuje nie tylko sam sposób przygotowania produkcji, ale wpływa również na zmianę wyglądu i kształtów otrzymywanych w wyniku tego procesu współczesnych wyrobów. Jeszcze kilkanaście lat temu konstruktor przygotowujący nowy wyrób do produkcji (opracowując jego kształt) musiał się liczyć z ograniczonymi możliwościami technologicznymi danego zakładu. Wykonanie wyrobu na obrabiarkach konwencjonalnych, czy też obrabiarkach sterowanych numerycznie, programowanych przy zastosowaniu konwencjonalnego „ręcznego” ich programowania, z konieczności wymuszało znaczne uproszczenie kształtów projektowanych wyrobów. Z tego to powodu wyroby sprzed kilkunastu lat miały kształty oparte o płaszczyzny, linie proste i co najwyżej kontury opisane fragmentem powierzchni walca czy stożka. Praktycznie nie do pomyślenia było uzyskanie bardziej skomplikowanych kształtów. Wprowadzenie do współczesnych zakładów pracy systemów komputerowych przygotowania produkcji uwolniło

a)

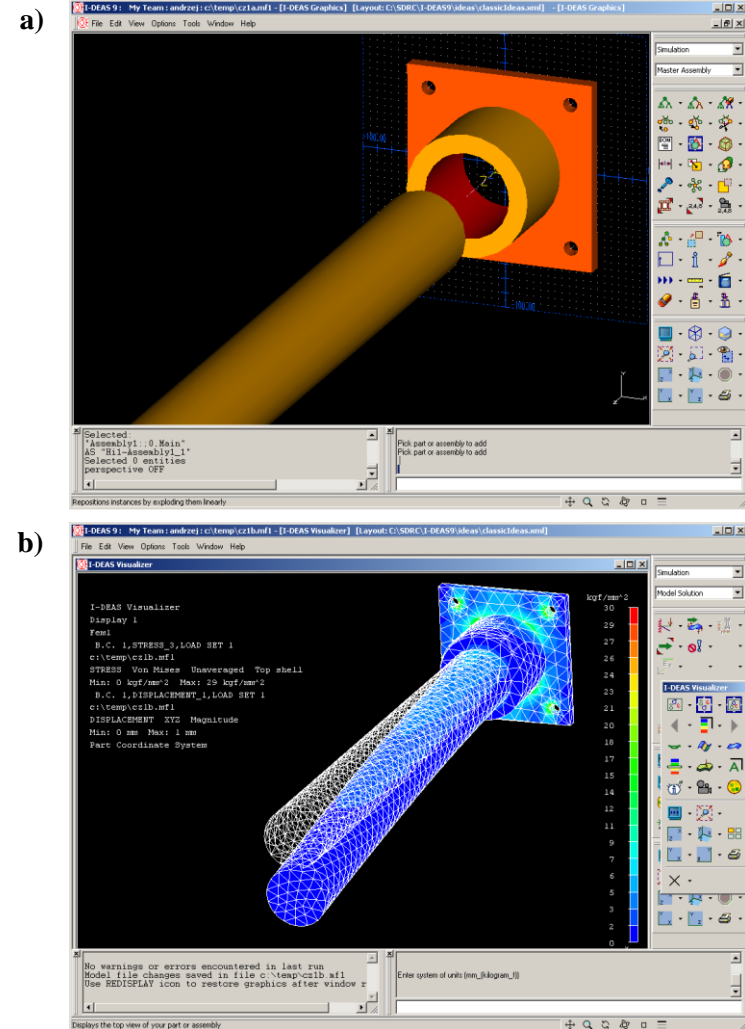


b)



**Rys. 2. Opracowanie technologii wykonania (a) i symulacja przebiegu obróbki (b) przykładowego skomplikowanego kształtu modelu przestrzennego (MasterCAM)**

konstruktorów od tych ograniczeń. Współczesne wyroby cechują się kształtami ograniczonymi jedynie fantazją zespołów plastyków, inżynierów konstruktorów wdrażających je do produkcji. Współczesne systemy projektowe pozwalają na wykonanie projektów dowolnie skomplikowanych, fantazyjnych kształtów. Bez problemów można je wprowadzić do programów, czy też wyspecjalizowanych modułów technologicznych. Wygenerowanie technologii obróbki dla dowolnie skomplikowanych kształtów odbywa się niemal w tym samym czasie jak dla kształtów tradycyjnych – prostych (rys. 2). Oczywiście jest, że wygenerowany



**Rys. 3. Tworzenie rysunku złożeniowego (a) i symulacja MES stanu naprężeń i odkształceń zachodzących podczas obciążania analizowanego elementu (I-deas)**

w sposób automatyczny kod sterujący będzie kilkadziesiąt razy dłuższy niż ten, który można by uzyskać za pomocą programowania ręcznego. Nie ma to jednak większego znaczenia, gdyż kod ten jest w postaci pliku tekstowego przekazywany na obrabiarkę za pośrednictwem dyskiety, czy też za pośrednictwem bezpośredniego połączenia komputera z obrabiarką. Tak więc wprowadzenie do praktyki przemysłowej komputerowego modelowania projektowanych wyrobów i współczesnych komputerowych systemów przygotowania produkcji miało trudny do przecenienia wpływ na tak, wydawałoby się, odległy od spraw techno-

logicznych proces, jakim stało się całkowite odmienienie kształtów wyrobów, które nas otaczają. Wystarczy popatrzeć na otaczające nas wyroby powszechnego użytku (sprzęt muzyczny, sprzęt komputerowy, piloty od wszelkiego rodzaju sprzętu elektronicznego, opakowania szklane i plastikowe itp.), by uświadomić sobie jak wiele się w ich wyglądzie zmieniło. Oczywiście można to wytłumaczyć zmianą gustów i upodobań odbiorców. Mało kto jednak zdaje sobie sprawę z faktu, że stało się to możliwe jedynie dzięki powszechnemu obecnie zastosowaniu komputerowych systemów CAD/CAM do przygotowania produkcji. Tak więc w rzeczywistości to rewolucja w sposobie przygotowania produkcji, a nie nowe wizje kreatorów mody stały się główną przyczyną tak gruntownej zmiany kształtów otaczających nas wyrobów.

Kolejnym bardzo istotnym etapem procesu projektowo-konstrukcyjnego jest obecnie modelowanie działania kompletnego wirtualnego wyrobu na podstawie zaprojektowanych wcześniej części składających się na dany podzespół, zespół, czy też kompletne urządzenie. Konstruktor wczytuje poszczególne części i pozycjonuje je względem siebie, wprowadzając wiążące je więzy. Następuje kompletowanie fragmentów lub też całych urządzeń (rys. 3a).

Narzucone więzy uwzględniają występujące pomiędzy elementami tolerancje i pasowania. Wirtualne „zmontowanie” urządzeń, zespołów, czy też podzespołów pozwala więc na przeprowadzenie analizy projektowanego wyrobu pod względem kinematycznym. Możliwe staje się przetestowanie działania całego układu na etapie symulacji komputerowej. Często umożliwia to uniknięcie badań przy zastosowaniu prototypów. Przygotowanie produkcji staje się więc znacznie krótsze, a mimo to, dzięki możliwości przetestowania znacznie większej liczby możliwych rozwiązań, prowadzi do uzyskania znacznie lepszych efektów.

Przeprowadzenie analizy pracy projektowanych rozwiązań pozwala na oszacowanie obciążeń i wymuszeń oddziałujących na poszczególne elementy projektowanych urządzeń. Możliwa staje się analiza stanu naprężeń i odkształceń projektowanych wyrobów przy zastosowaniu np. metody elementów skończonych (rys. 3b). Możliwe staje się dokładne ich zaprojektowanie, tak by w optymalny sposób spełniały postawione przed danymi elementami zadania.

Współczesne systemy projektowe są wyposażone w wyspecjalizowane moduły, które umożliwiają szybką analizę wielu wariantów rozwiązania konstrukcyjnego danego wyrobu, zwymiarowanego parametrycznie nakierowaną na wybór optymalnych skojarzeń parametrów wymiarowych. Możliwy staje się bardzo szybki przegląd możliwych rozwiązań konstrukcyjnych pod kątem wyboru wariantu optymalnego. W znaczący sposób podnosi to jakość projektowanych rozwiązań konstrukcyjnych.

Metodami symulacji komputerowych można próbować zamodelować zjawiska występujące w strefach kontaktu stykających się ze sobą elementów, co może prowadzić do poprawy zachowania się danych wyrobów podczas eksploatacji. Można również optymalizować procesy formowania wyrobów otrzymywanych

na drodze obróbki, czy też odkształcenia plastycznego. Wspecjalizowane programy modelują procesy formowania wyrobów metodami odlewania, czy też wtryskiwania tworzyw sztucznych. Przeprowadzenie analiz symulacyjnych opisujących zespół zjawisk zachodzących podczas formowania warstwy wierzchniej wyrobów może stanowić punkt wyjścia do optymalizacji parametrów technologicznych obróbki.

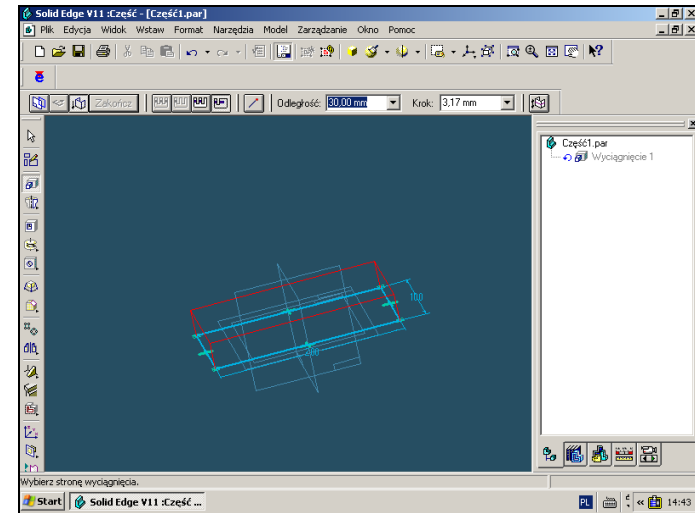
Istotne zmiany zaszły w ostatnich latach również na etapie komputerowo wspomaganego przygotowania technologii obróbki [Tubielewicz, Zaborski 2005 : 261–268]. Ten etap komputerowo wspomaganego przygotowania produkcji to z reguły wykonanie komputerowej symulacji procesu obróbki pozwalające na skorygowanie ewentualnych pomyłek oraz wygenerowanie i wyprowadzenie kodu sterującego obrabiarkę sterowaną numerycznie. Kod ten generowany jest do pliku tekstowego. Jeżeli komputer połączony jest bezpośrednio z obrabiarką, to właściwie skonfigurowany moduł eksportu umożliwi jego bezpośrednie przekazanie na wybraną obrabiarkę. Wraz z kodem możliwe jest również wygenerowanie dokumentacji umożliwiającej poprawne przygotowanie obrabiarki do pracy. W dalszej części opracowania przedstawiono przykładowy proces wdrożenia do produkcji stosunkowo prostego wyrobu – obudowy przekładni. Opis i omówienie tego przykładu pozwoli na pełniejsze zilustrowanie roli modelowania komputerowego i symulacji procesu obróbki we współczesnym, komputerowo wspomaganym procesie przygotowania produkcji.

## **2. Przygotowanie projektu wyrobu**

Jak już wspomniano, punktem wyjścia do komputerowo wspomaganego opracowania procesu produkcyjnego stać się musi opracowanie wirtualnego modelu wyrobu planowanego do produkcji. Rozwój technik komputerowych, jaki dokonał się w ostatnich dekadach, umożliwił powstanie zaawansowanych programów CAD do tworzenia profesjonalnej dokumentacji technicznej. Rozpoczął się proces zastępowania konwencjonalnych, ręcznych technik rysowania znacznie bardziej efektywnymi technikami grafiki komputerowej. Ogromny wzrost wydajności i dostępności komputerów, jaki dokonał się w ostatnich kilku latach, zaowocował powstaniem nowej kategorii aplikacji programów do modelowania 3D. Przy użyciu tego oprogramowania projektuje się z założenia trójwymiarowe obiekty, które mogą być bazą nie tylko dla tworzenia dwuwymiarowej dokumentacji technicznej, ale również punktem wyjścia do obliczeń wytrzymałościowych (np. przy zastosowaniu metody elementów skończonych), czy też do opracowania technologii obróbki i wygenerowania kodów sterujących dla obrabiarek sterowanych numerycznie. Jeszcze kilkanaście lat temu inżynier, który chciał stosować w swojej pracy oprogramowanie wspomagające projektowanie, miał do wyboru albo duże i drogie systemy typu CATIA, Pro/ENGINEER,



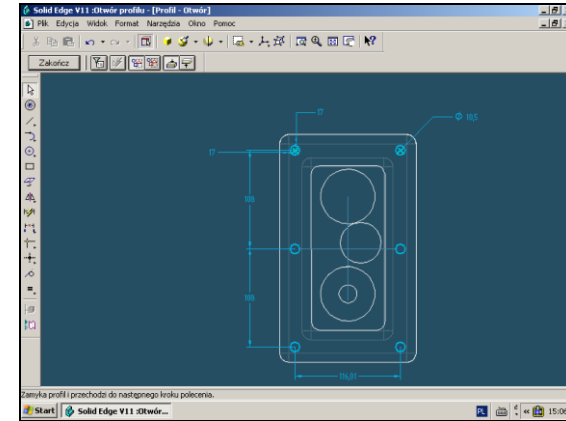
I-deas czy Unigraphics, albo tańsze i bardziej dostępne oprogramowanie 2D typu AutoCAD, czyli w praktyce elektroniczne deski kreślarskie. Skrót CAD w ich przypadku oznaczał raczej komputerowe wspomaganie rysowania (*drafting*) niż projektowania (*design*). W latach dziewięćdziesiątych nastąpił bardzo szybki wzrost wydajności komputerów osobistych. Parametry komputerów PC osiągnęły taki poziom, że zaczęto rozważać możliwości stworzenia programów CAD pracujących w środowisku Windows, które oferowałyby stosunkowo duże możliwości projektowania 3D za przystępną cenę. Systemami takimi stały się powszechnie dostępne systemy np. Solid Edge (rys. 4), Solid Works, czy Inventor. Programy te z założenia umożliwiają prowadzenie prac projektowych na modelu bryłowym (3D).



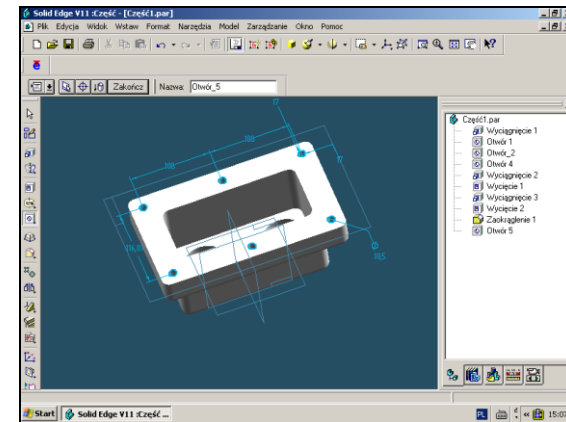
Rys. 4. Tworzenie przestrzennego wyciągnięcia płaskiego zarysu

Dla zobrazowania sposobu współczesnego przygotowania projektu, niezbędnego do przygotowania produkcji wybranego elementu w jednym z wyspecjalizowanych programów CAD przeznaczonych do projektowania 3D, przedstawiono pokrótce proces wykonania projektu obudowy przekładni przy zastosowaniu programu Solid Edge. Solid Edge jest oprogramowaniem z grupy programów CAD – oznacza to, że nie posiada on modułu służącego do analiz i symulacji wspomagających wytwarzanie. Może on jednak współpracować z wyspecjalizowanymi aplikacjami przeznaczonymi do wymienionych zastosowań. Dzięki temu pojawiła się możliwość zastosowania programu Solid Edge jako podstawy kompleksowego rozwiązania CAD/CAM/CAE, obejmującego wszystkie fazy projektu i wytwarzania produktu. Program ten służy do wykonywania przestrzennych (3D) modeli pojedynczych części i zespołów oraz opracowywania na ich podstawie płaskiej (2D) dokumentacji technicznej. Rozpoczęcie pracy

z programem odbywa się w module przeznaczonym do modelowania pojedynczych części. Rysowanie rozpoczyna się od wyboru płaszczyzny odniesienia, na której rysuje się płaski rysunek projektowanego elementu. Po jego rozciągnięciu na ekranie pojawia się pierwszy rysunek tworzonego trójwymiarowego obiektu. Ten etap pracy projektanta ilustruje rys. 4. Kolejną czynnością prowadzącą do wykonania prezentowanej obudowy było wykonanie otworów na łożyska i otworów mocujących w dolnej części elementu (rys. 5). Wykonane zostają również niezbędne wycięcia i zaokrąglenia kształtu projektowanej obudowy. Otrzymany na tym etapie kształt projektowanej części ilustruje rys. 6.

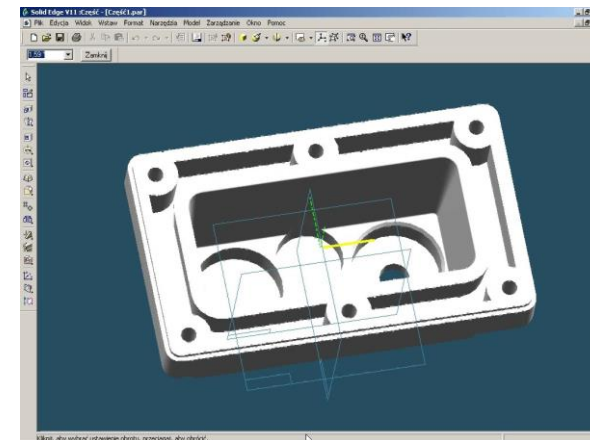


Rys. 5. Rozmieszczenie otworów na płaszczyźnie podstawy



Rys. 6. Wycięcie otworów w obudowie przekładni

Po wykonaniu niezbędnych pochyłych ścianek i wybrań w materiale podstawy projektowanej obudowy otrzymuje się ostateczną postać projektowanego elementu przedstawioną na rys. 7.



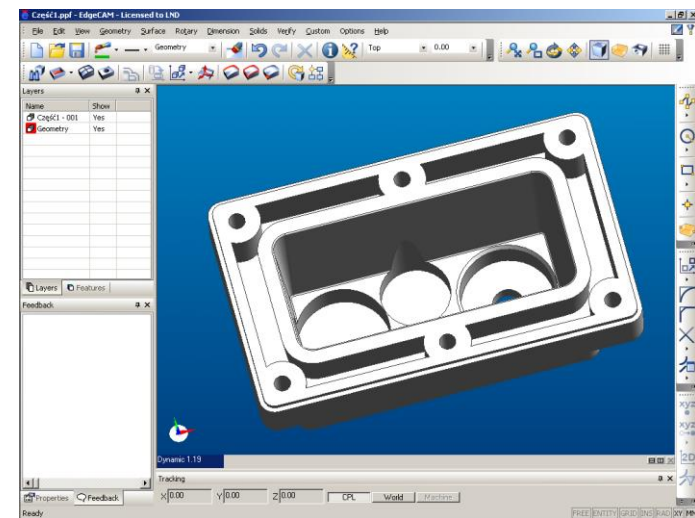
**Rys. 7. Gotowy model 3D projektowanej obudowy przekładni**

Otrzymany trójwymiarowy projekt może stać się punktem wyjścia do opracowania procesu technologicznego, przy wykorzystaniu programów z grupy CAD/CAM wyspecjalizowanych w przygotowaniu technologii na obrabiarki sterowane numerycznie.

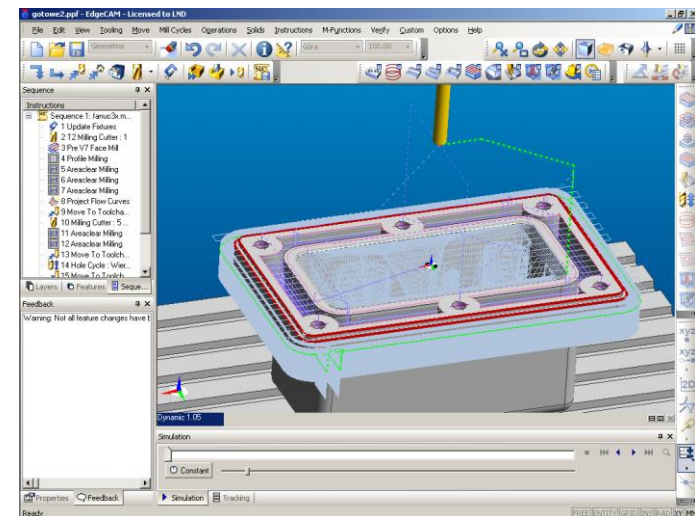
### **3. Komputerowe opracowanie technologii**

Wykorzystywane do końca lat 90. XX wieku systemy CAD/CAM zorientowane na programowanie obrabiarek sterowanych numerycznie wyposażone były we własne moduły CAD służące do modelowania (2D lub 3D) wyrobów, dla których opracowuje się technologię. Poszczególni producenci starali się zwiększyć możliwości projektowe tych modułów. Przekonywano odbiorców, że praktycznie wszystko można zamodelować w oparciu o moduły projektowe tych systemów. Możliwość importu geometrii z innego systemu traktowana była jedynie pomocniczo. Na początku obecnej dekady zauważono, że pomimo wysiłków moduły CAD tych systemów nie mogą zapewnić takich możliwości projektowych, jak wyspecjalizowane programy CAD zaprojektowane z myślą o realizowaniu modelowania nawet najbardziej skomplikowanych części. W miejsce rozwoju możliwości tworzenia projektu, współczesne systemy CAD/ CAM mają zazwyczaj zaawansowane funkcje przeniesienia plików z profesjonalnych modelerów. Zasadniczym celem tego rozwiązania jest bezpośrednie przenoszenie modeli z programu CAD do programu CAM bez utraty danych. Obecnie sama możliwość wczytania pliku wydaje się już niewystarczająca. Dlatego producenci programów CAD/CAM

współpracujących z innymi systemami CAD starają się zapewnić asocjatywność poszczególnych etapów powstawania produktu. Znaczy to, że nie wystarczy już wczytanie kształtu części poprzez procedury importu za pomocą uniwersalnych formatów. System musi „widzieć” dany model, tak by w każdej chwili możliwe było uwzględnienie poprawek naniesionych przez konstruktora, bez potrzeby wprowadzania zmian w całym projekcie technologii. Poprawki powinny być wykonane automatycznie przez system i dotyczyć jedynie tego fragmentu procesu technologicznego, który w danym momencie uległ zmianie. Jednym z tych programów jest EdgeCAM firmy Pathrace [Augustyn 2004] służący do komputerowego wspomagania generowania kodów sterujących i przygotowania produkcji na OSN. Współpraca tego systemu z programami CAD nie ogranicza się do biernego przejścia geometrii, ale zapewnia pełną asocjatywność wygenerowanych ścieżek z modelem wczytanym z innego programu. To znaczy, że jeżeli konstruktor pracujący na dowolnym programie CAD opartym na jądrze Parasolid lub ACIS wprowadzi zmiany w geometrii opracowanej części, to technolog nie traci nic z dotychczas podjętych działań dzięki możliwości automatycznego lub półautomatycznego rozpoznawania jej cech. Wystarczy odświeżyć połączenie z plikiem, aby zdefiniowane kieszenie, otwory, zakresy obróbki i krawędzie uaktualniły swoje parametry geometrii, a powierzchnie dostosowały się do wprowadzonych zmian. Program pracuje w dwóch trybach: modelowania (CAD) i obróbki (CAM). Program domyślnie uruchamia się w trybie modelowania 3D. Program posiada jedno zintegrowane środowisko technologiczne przeznaczone do różnych typów dostępnych w programie obróbek (np. toczenie, frezowanie). Stąd też po rozpoczęciu pracy wygodnie jest ustawić odpowiednią konfigurację pulpitu (np. w prezentowanym przykładzie *frez – bryły*) dostosowującą go do wymagań niezbędnych do poprawnego przygotowania danego procesu technologicznego. Rozpoczęcie przygotowania technologii w opisanym systemie należy rozpocząć w module CAD systemu. Jeżeli, tak jak to ma miejsce w opisywanym przykładzie, możliwości projektowe programu wydają się niewystarczające do wykonania projektu elementu bezpośrednio w module projektowym, można posłużyć się wykonanym już w programie CAD gotowym projektem 3D (rys. 7), który należy wczytać do programu. Element po wczytaniu należy w sposób właściwy ustawić, wykorzystując przy tym dostępne w programie możliwości definiowania jego obrotu i przesunięcia. Po ustawieniu należy zdefiniować w programie materiał i kształt półfabrykatu przeznaczonego do wykonania jego obróbki. Można również wczytać do programu elementy jego zamocowania. Ten etap przygotowania produkcji ilustruje rys. 8.



Rys. 8. Widok modułu CAD programu EdgeCAM po wczytaniu elementu obrabianego

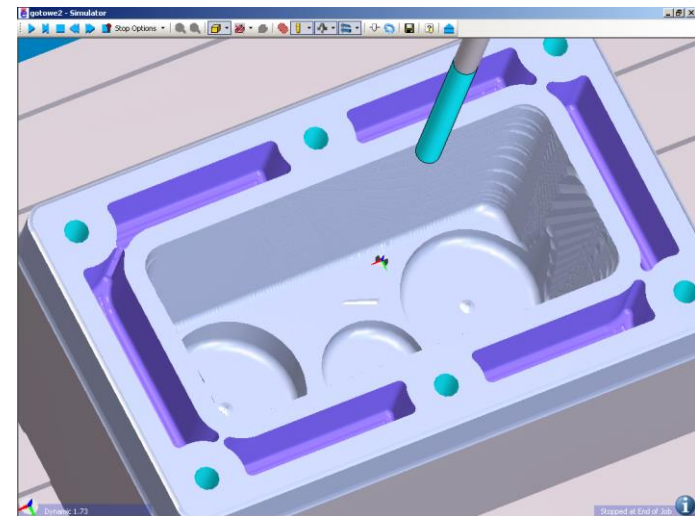


Rys. 9. Zdefiniowanie przebiegu obróbki obudowy w module technologicznym

Po wykonaniu powyższych czynności można przystąpić do opracowania technologii wykonania. Po zdefiniowaniu sekwencji obróbki obejmującej rodzaj projektowanej technologii, sposób programowania, wybór postprocesora i wskazanie położenia punktu zerowego maszyny program umożliwia rozpoczęcie pracy w module technologicznym. Po wskazaniu wczytanej geometrii stołu jako elementu, do którego zamocowany jest obrabiany detal można przystąpić do definiowania technologii. Czynności te rozpoczyna się od wyboru pierwszego

z przeznaczonych do zastosowania narzędzi z dostępnego w programie magazynu narzędzi. Wybrane narzędzie można oczywiście zmodyfikować, dostosowując je do planowanej do wykonania obróbki. Poprawnie wykonany wybór narzędzia umożliwia przejście do definiowania właściwych zabiegów obróbkowych. Po poprawnym wprowadzeniu danych potrzebnych do zdefiniowania kolejnych zabiegów program wygeneruje ścieżki przejścia narzędzia. Po zrealizowaniu każdego z zabiegów obróbkowych powinno się uruchomić tryb symulacji, by upewnić się, że został on wygenerowany w sposób poprawny. Ewentualne pomyłki można oczywiście skorygować, edytując parametry zdefiniowanych uprzednio zabiegów i czynności pomocniczych. Widok ekranu modułu technologicznego programu po zdefiniowaniu wszystkich czynności niezbędnych do wykonania obróbki jednej ze stron opisywanej obudowy przedstawia rys. 9.

Kolejnym etapem przygotowania technologii wytwarzania jest weryfikacja opracowanej technologii prowadząca do wykrycia ewentualnych kolizji narzędzia, czy też jego oprawki z materiałem obrabianym. Na tym etapie sprawdza się również poprawność przebiegu całego projektowanego procesu (rys. 10).



**Rys.10. Symulacja obróbki obudowy przekładni**

Poprawne wykonanie symulowanej obróbki daje duże prawdopodobieństwo, że jeśli zostanie ona przeniesiona na rzeczywistą maszynę, to będzie przebiegała również w sposób poprawny. Raport o pojawiających się w trakcie procesu symulowanej obróbki kolizjach, fragmentach zabiegów, podczas których one nastąpiły i położeniu punktów kolizji w przestrzeni roboczej pozwala na ich łatwą eliminację na drodze edycji niepoprawnie wykonanych zabiegów i czynności pomocniczych. Możliwe jest również sprawdzenie czasu trwania zarówno całej obróbki, jak i poszczególnych zabiegów i czynności. Poprawne przeprowadzenie

wirtualnej symulacji obróbki projektowanego wyrobu pozwala na wyeliminowanie znacznej części błędów, które mogłyby się pojawić podczas etapu wdrażania obróbki na rzeczywistą obrabiarkę sterowaną numerycznie.

Ostatnim etapem pracy z programem CAD/CAM jest wygenerowanie i wyprowadzenie kodu sterującego obrabiarkę sterowaną numerycznie. Kod ten generowany jest do pliku tekstowego. Jeżeli komputer połączony jest bezpośrednio z obrabiarką, to właściwie skonfigurowany moduł eksportu umożliwia jego bezpośrednio przekazanie na wybraną obrabiarkę. Wraz z kodem możliwe jest również wygenerowanie dokumentacji umożliwiającej poprawne przygotowanie obrabiarki do pracy.

## Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono rolę i znaczenie modelowania i symulacji komputerowej na wszystkich etapach kompleksowego procesu przygotowania produkcji od koncepcji poprzez rysunek, opracowanie technologii obróbki, aż do uzyskania gotowego kodu na obrabiarkę sterowaną numerycznie. Wykorzystanie w przygotowaniu produkcji współczesnych systemów CAD/CAM nie tylko znacznie przyspiesza sam proces wdrożenia nowych technologii do produkcji, ale znacznie poprawia jakość opracowanych procesów produkcyjnych. Możliwe staje się wykonywanie przedmiotów o kształtach dotychczas niemożliwych do realizacji, cechujących się przy tym znacznie poprawionymi właściwościami użytkowymi. Coraz powszechniejsze wprowadzenie do przygotowania produkcji współczesnych systemów CAD/CAM powoduje również, że wielokrotnie skrócił się czas potrzebny do wdrożenia danego wyrobu do produkcji.

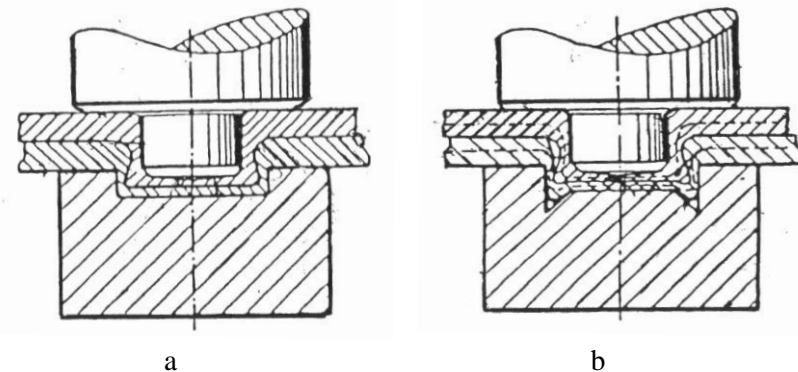
## Bibliografia

- Augustyn K., *EdgeCAM. Komputerowe wspomaganie wytwarzania*, „Helion”, Gliwice 2004.
- Chlebus E., *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, WNT Warszawa 2000.
- Tubielewicz K., Zaborski A., *Przygotowanie produkcji przy zastosowaniu systemów CAD/CAM*. Materiały IX Szkoły komputerowego wspomagania projektowania, wytwarzania i eksploatacji, Jurata 9–13 maja 2005, s. 261–268.
- Tubielewicz K., Zaborski A., *Dydaktyczne aspekty wykorzystania komputera w procesie przygotowania produkcji wyrobów*. Wydawnictwo książkowe: Technika – Informatyka – Edukacja. Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji technicznej – Tom 7”, pod red. W. Furmanka, Rzeszów 2007, s. 207–212.
- Zaborski A., Tubielewicz K., *Przygotowanie produkcji przy zastosowaniu systemów komputerowych*. Biuletyn WAT Vol. 56 nr spec. (1) 2007, s. 127–138.
- Zaborski A., Tubielewicz K., *Zastosowanie systemów CAD/CAM do komputerowo wspomaganego przygotowania produkcji*. Mechanik nr 8–9/2004, s. 588–591.

**MODELOWANIE PROCESU ŁĄCZENIA BLACH  
PRASOWANIEM NA ZIMNO**

**1. Wprowadzenie**

Wysoka wydajność produkcji to cel każdego przedsiębiorstwa działającego na współczesnym rynku. Przedsiębiorstwa, szukając obniżenia kosztów wytwarzania sięgają po nowe rozwiązania techniczne, lub modernizują rozwiązania istniejące. Przykładem takiego postępowania są rozwiązania techniczne dotyczące łączenia blach. Proponowane rozwiązania w zakresie łączenia blach cienkich techniką prasowania na zimno znajdują coraz szersze zastosowanie w przemyśle. Metoda mechanicznego łączenia blach poprzez prasowanie na zimno polega na równoczesnym kształtowaniu w blachach łączonych wgłębienia z jednej strony i wypukłości z drugiej, a następnie sprasowaniu powstałego połączenia za pomocą stempla i matrycy lub walców, co powoduje uzyskanie trwałego połączenia (rys. 1).



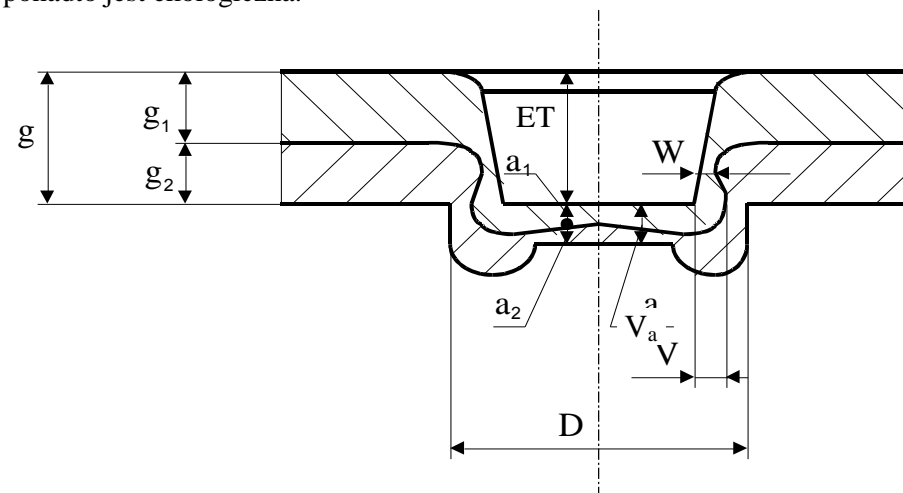
**Rys. 1. Rozwiązania połączeń prasowanych na zimno: a) z rowkiem okrągłym, b) z rowkiem stożkowym**

Zaletą tego sposobu połączenia jest to, że nie występuje w nim dodatkowy element łączący, taki jak nit czy spoina oraz istnieje możliwość zastosowania blach pokrytych powłokami antykorozyjnymi. Złącza te wykazują znaczną wytrzymałość w warunkach obciążeń statycznych, jak i dynamicznych. Dodatkową zaletą jest łatwość łączenia blach o różnej grubości i wykonanych z różnych



materiałów metalicznych, niemetalicznych, takich jak stale, stopy aluminium, metale kolorowe, tworzywa metaliczne, tworzywa sztuczne itp.

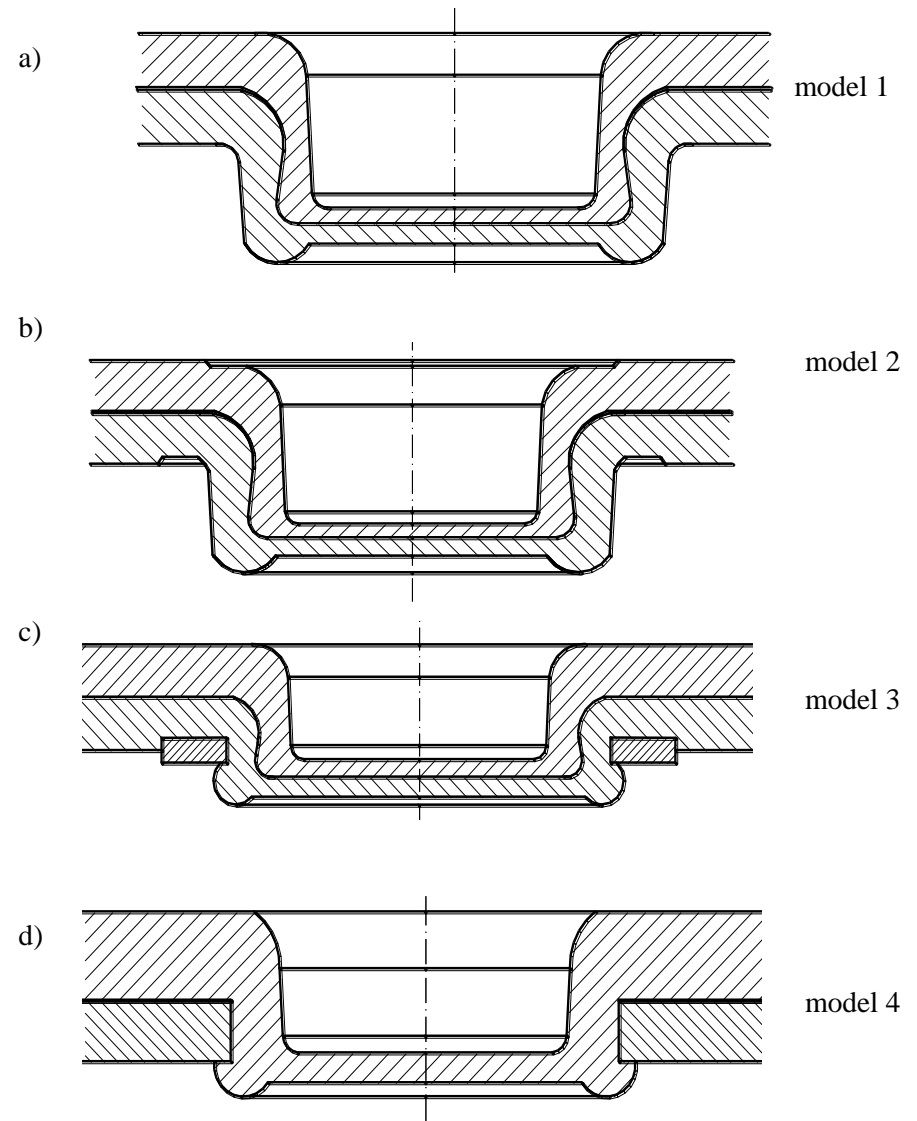
Stwierdzono, że technologia wykonania złącza kształtowego metodą prasowania na zimno o określonych parametrach (rys. 2) zmniejsza koszty materiałowe, obniża pracochłonność oraz ogranicza procesy miejscowej korozji stykowej, a ponadto jest ekologiczna.



Rys. 2. Parametry konstrukcyjne łączonych elementów i złącza

- a – grubość całkowita dna,
- $a_1$  – grubość dna od strony stempla,
- $a_2$  – grubość blachy od strony matrycy,
- g – grubość sumaryczna blach,
- $g_1$  – grubość dna po stronie stempla,
- $g_2$  – grubość blachy po stronie matrycy,
- ET – wielkość wytłoczenia,
- D – średnica złącza,
- W – wartość pocienienia po stronie stempla,
- $V_a$  – wartość pogrubienia po stronie stempla.

Chcąc rozszerzyć zakres stosowanych połączeń pod kątem uzyskania określonych ich własności eksploatacyjnych z przeznaczeniem do konkretnego celu oraz dokonania analizy dotyczącej parametrów geometrycznych i wskaźników dynamicznych złącza, wymagań trwałości dla różnego rodzaju łączonych materiałów zaproponowano alternatywne rozwiązania. Modyfikacja polegała na wykonaniu połączeń z dodatkowym przetłoczeniem (karbu) od strony matrycy i stempla, w drugim modelu dodatkowej podkładki od strony matrycy i w trzecim przetłoczenia blachy przez otwór wykonany w drugiej blasze. Przyjęto grubości blach 2x1,5 mm w gatunku St3SA1.



Rys. 3. Rodzaje połączeń: a) połączenie prasowane na zimno – typowe – model 1, b) połączenie z dodatkowym przetłoczeniem od strony matrycy i od strony stempla-model 2, c) połączenie z dodatkową podkładką od strony matrycy – model 3, d) połączenie z przetłoczeniem jednej blachy przez otwór wykonany w drugiej blasze model 4.

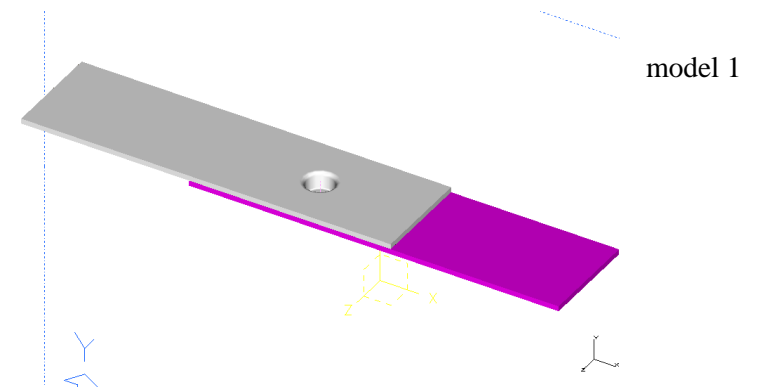
## 2. Analiza trwałości połączeń określona symulacją komputerową

Tak zaprojektowane złącza porównano na drodze symulacji komputerowej, wykorzystując program I-DEAS. Program pozwala na obserwacje całego obiektu, lub jego dowolnie wybranego fragmentu w układzie współrzędnych XYZ. Istnieje zatem możliwość obserwacji wszelkich zjawisk zachodzących w modelu w dowolnym przekroju. System prezentuje gotowe obliczenia poprzez animację zachodzących zjawisk, takich jak np: naprężenia, przemieszczenia, odkształcenia itp.

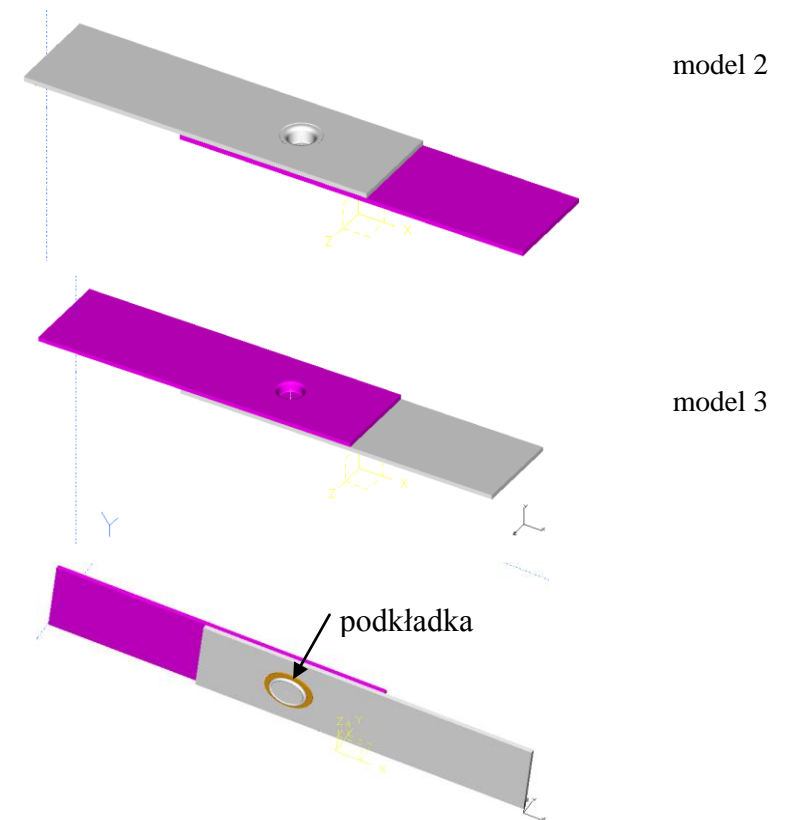
Połączenia prasowane powstają w wyniku działania sił, powodujących wystąpienie pól odkształceń wywołujących naprężenia o wartości przekraczającej w tym przypadku granicę plastyczności, czego skutkiem jest powstanie odkształceń trwałych. Cechą szczególną tego procesu jest tworzenie się ścianki o zmiennej grubości, o takim ukształtowaniu przetłoczeń, że utrudniane jest przemieszczanie się blach względem siebie. Stałe pole naprężeń, wywołane powstałymi pogrubieniami i pocienieniami miejscowymi blach uniemożliwia zmianę ich położenia, tworząc tzw. zamek.

Przeprowadzono symulację połączeń pojedynczych utwierdzonych i obciążonych w układzie współrzędnych XYZ dla modeli 1,2,3,4, Modele poddano wizualizacji w celu zilustrowania zjawisk zachodzących w połączeniach takich jak: rozkład pól naprężeń, odkształceń oraz zachowanie kształtu konstrukcji złącza (rys. 4–6).

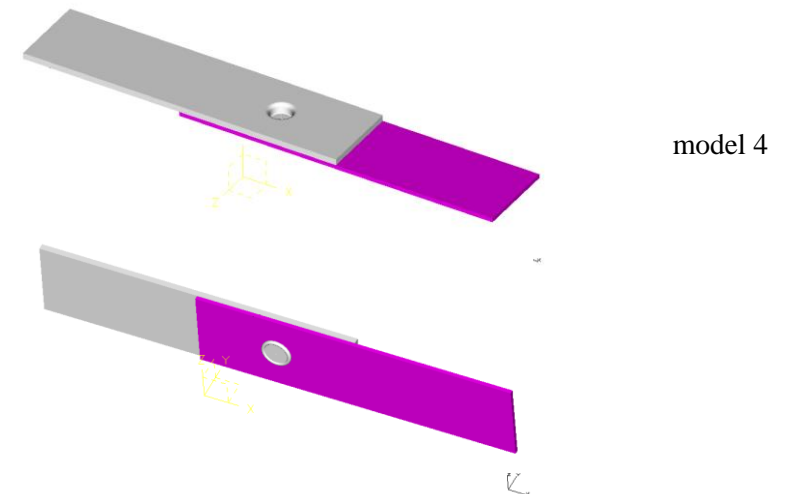
Przeanalizowano naprężenia oraz pola odkształceń w poszczególnych modelach (rys. 7).



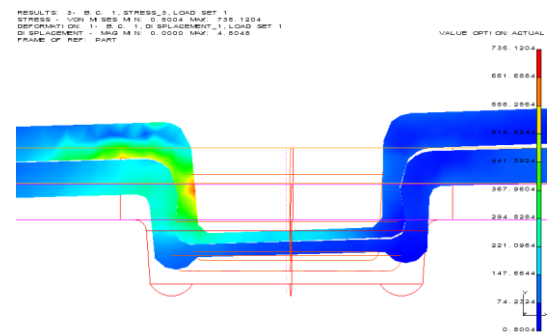
Rys. 4. Ogólny widok połączenia zadaną siłą obciążającą wynoszącą 3952N (model 1)



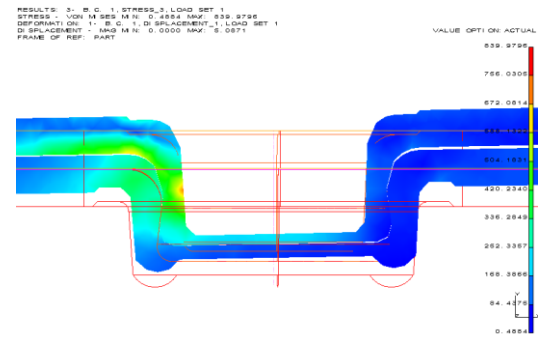
Rys. 5. Ogólny widok połączenia zadaną siłą obciążającą wynoszącą 3952N (model 2 i 3)



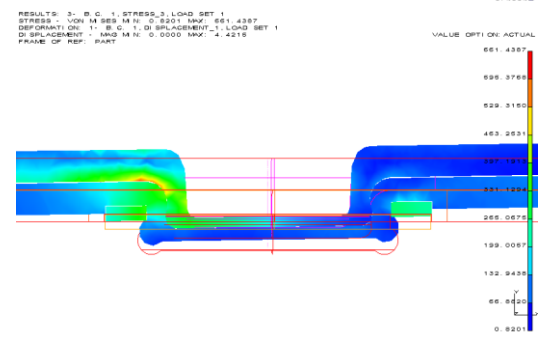
Rys. 6. Ogólny widok połączeń zadaną siłą obciążającą wynoszącą dla modelu 4 1500N (ze względu na mniejszą grubość blach)



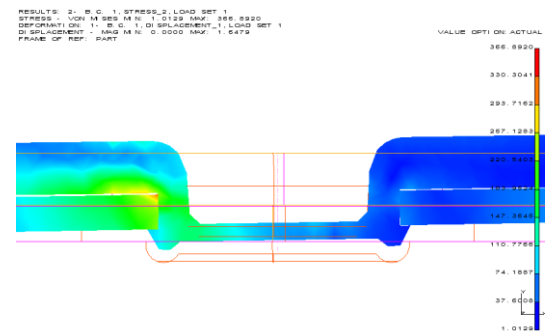
model 1  
przekrój płaszczyzną XY



model 2  
przekrój płaszczyzną XY



model 3  
przekrój płaszczyzną XY



model 4  
przekrój płaszczyzną XY

Rys. 7. Naprężenia połączeń w modelach 1,2,3,4- przekrój płaszczyzną XY

Podjęto próbę interpretacji wyników symulacji komputerowej. Jako dane przyjęto wartości naprężeń i odkształceń uzyskanych na skalach wynikowych każdego z modeli. Wartości średnie ujęto w tab. 1 – naprężeń, i tab. 2 – odkształceń.

**Tabela 1. Wartości naprężeń dla różnych modeli połączeń**

	<i>Naprężenia [MPa]</i>		
	<b>Model 1</b>	<b>Model 2</b>	<b>Model 3</b>
1	736,1204	839,9796	661,4367
2	661,6884	756,0306	595,3768
3	588,2664	672,0614	529,515
4	514,8244	588,1322	463,2631
5	441,3924	504,1831	397,1913
6	367,9604	420,234	331,1294
7	294,5284	336,2849	266,0676
8	221,0954	252,3367	199,0067
9	147,6644	156,3866	132,9438
10	74,2324	84,4376	56,862
11	0,8004	0,4884	0,8201

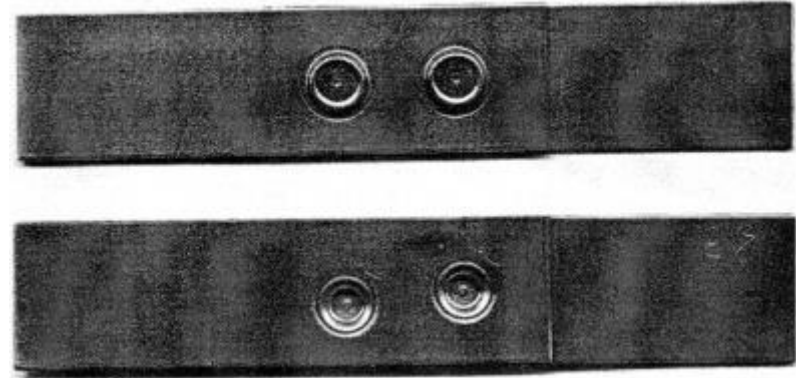
**Tabela 2 Wartości odkształceń dla różnych modeli połączeń**

	<i>Odkształcenia [mm]</i>		
	<b>Model 1</b>	<b>Model 2</b>	<b>Model 3</b>
1	4,8048	5,0871	4,4216
2	4,3243	4,5784	3,9794
3	3,8438	4,0697	3,5372
4	3,3633	3,561	3,0951
5	2,8829	3,0523	2,6529
6	2,4024	2,5436	2,2108
7	1,9219	2,0348	1,7686
8	1,4414	1,5261	1,3265
9	0,961	1,10174	0,8843
10	0,4806	0,5087	0,4422
11	0	0	0

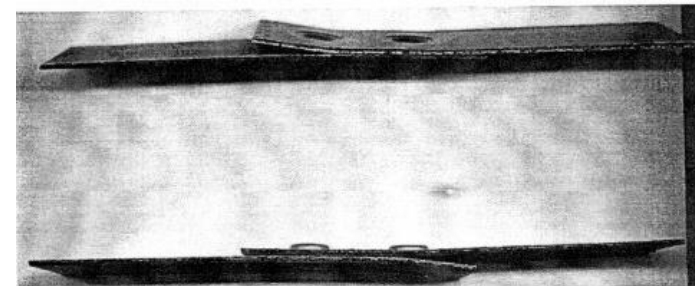
Różnice między modelami 1 i 2 są niewielkie w stosunku do modelu 3. W dalszej analizie model 4 został pominięty ze względu na inną grubość łączonych blach.

Dla dalszego porównania przeprowadzono badania na drodze symulacji komputerowej i próby rozciągania blach ze złączami podwójnymi, wykonanymi na stali St3SA1 dla modelu 1 i 2 na stanowiskach badawczo-pomiarowych, na których zarejestrowano wartości sił odpowiadających granicy plastyczności i wytrzymałości na ścinanie złącz (powtarzano próby trzykrotnie).

Próby złącz (rys. 8, rys. 9) wykonano wg Polskiej Normy na maszynie wytrzymałościowej firmy HECKERT FPZ 100/1 przy rozciąganiu z prędkością 10 mm/min (rys. 10).



**Rys. 8. Widok badanych próbek – model 2**



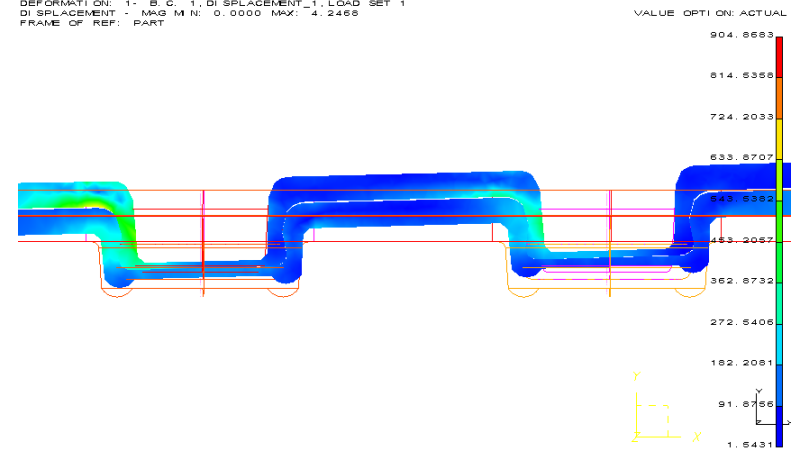
**Rys. 9. Widok próbki po rozciąganiu – model 2**

Symulacje komputerowe przeprowadzone metodą elementów skończonych pozwoliły na prześledzenie zmian rozkładu naprężeń w połączeniu oraz przedstawienie ich rozkładu i kierunków przemieszczeń przy różnych modelach połączenia.

Na podstawie przeprowadzonej symulacji można wnioskować, że głębokość zalegania naprężeń zależy nie tylko od siły tłoczenia, ale również od geometrii stempla i matrycy oraz rodzaju złącza.

Na podstawie wyników doświadczalnych można zauważyć, że wytrzymałość połączeń zależy głównie od geometrii i wymiarów zastosowanych narzędzi. W zależności od profilu geometrii matrycy, złącza wykazywały różną wytrzymałość. Można również zauważyć, że wzrost wytrzymałości jest mniejszy przy większych średnicach stempli, a większy dla mniejszych średnic stempli z zastosowaniem matryc z dodatkowym przetłoczeniem.

RESULTS: 3- B, C, 1, STRESS\_3, LOAD SET 1  
STRESS - VON MISES M N: 1.5431 MAX: 904.6693  
DEFORMATION: 1- B, C, 1, DI SPLACEMENT\_1, LOAD SET 1  
DI SPLACEMENT - MAG M N: 0.0000 MAX: 2.2468  
FRAME OF REF: PART



Rys. 10. Naprężenia– model 1- przekrój płaszczyzną XY

## Wnioski

Analizując uzyskane wyniki można przyjąć, że złącza o większej średnicy stempla, niezależnie od zastosowania dodatkowego przetłoczenia w złączu, wykazują większą wytrzymałość podczas próby rozciągania. Ponadto złącza z dodatkowym przetłoczeniem zastosowanym po obu stronach (od strony matrycy i stempla) mają większą wytrzymałość od poprzednich. Jednak nie jest to wynik pewny, ponieważ złącza te przy największych średnicach stempli nie poprawiły swej wytrzymałości w porównaniu do złączy bez dodatkowego przetłoczenia, co potwierdziły zarówno badania komputerowe, jak i stanowiskowe.

## Bibliografia

- Tubielewicz K., Turczyński K., *Kształtowanie połączeń blach metodą prasowania na zimno*, „Technologia i automatyzacja montażu”, nr 2/2001, s. 66–70.
- Tubielewicz K., Turczyński K., *Analiza parametrów geometrycznych połączeń blach kształtowych na zimno*. IX Konferencja „Metrologia w technikach wytwarzania maszyn”. Wyd. Politechniki Częstochowskiej 2001, tom 2, s. 419–426.
- Tubielewicz K., Turczyński K., Tubielewicz M., *Wskaźniki wytrzymałościowe połączeń kształtowych prasowanych na zimno*, „Technologia i automatyzacja montażu” nr 3/2004 s. 67– 72.
- Tubielewicz K., Turczyński K., *Zastosowanie połączeń blach prasowanych na zimno w konstrukcji podestów budowlanych*, „Przegląd Mechaniczny” nr 12/2008, s. 19–24.



## INFORMACJE O AUTORACH

### **CHMIELIK IRENEUSZ PIOTR**

Mgr inż., „Taylor Hobson Polska”, Warszawa

### **FURMANEK WALDEMAR**

Prof. dr hab., Zakład Dydaktyki Techniki i Informatyki, Instytut Techniki, Uniwersytet Rzeszowski

### **ISKIERKA IWONA**

Dr inż., Instytut Informatyki, Politechnika Częstochowska

### **ISKIERKA SŁAWOMIR**

Prof. P.Cz. dr hab. inż., Instytut Informatyki, Politechnika Częstochowska

### **JANCZYK JANUSZ**

Dr, Zakład Dydaktyki Przedmiotów Technicznych, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach, Uniwersytet Śląski

### **KĘSY MAREK**

Dr inż., Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Politechnika Częstochowska

### **KRZEMIŃSKI JANUSZ**

Dr inż., Instytut Informatyki, Politechnika Częstochowska

### **WEŹGOWIEC ZBIGNIEW**

Dr inż., Instytut Informatyki, Politechnika Częstochowska

### **MICHALCZUK HUBERT**

Mgr inż., TRW Polska, Centrum Inżynieryjne w Częstochowie

### **PIECUCH ALEKSANDER**

Dr, Zakład Dydaktyki Techniki i Informatyki, Instytut Techniki, Uniwersytet Rzeszowski

### **RACZYŃSKA MARIA**

Dr, Wydział Nauczycielski, Katedra Informatyki, Politechnika Radomska

### **SZABŁOWSKI STANISŁAW**

Dr, Zespół Szkół Informatycznych i Mechatronicznych, Przemyśl

**TUBIELEWICZ KRZYSZTOF**

Prof. dr hab. inż., Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Politechnika  
Częstochowska

**TURCZYŃSKI KRZYSZTOF**

Dr inż. Instytut Techniki Górniczej „KOMAG” w Gliwicach

**ZABORSKI ANDRZEJ**

Dr inż., Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Politechnika  
Częstochowska

**ZIELIŃSKA JOLANTA**

Prof. UP. dr hab. inż., Instytut Techniki, Uniwersytet Pedagogiczny, Kraków