

### 1.3 ŚRODKI DYDAKTYCZNE

*Monika Babiarska*

Wzbogacając zastosowane metody nauczania pomocami dydaktycznymi, zwiększa się efektywność kształcenia. Spośród zbioru różnych typów środków dydaktycznych nauczyciel akademicki wybiera takie, które najbardziej pasują do charakteru uczelni (inne będzie preferował uniwersytet, a inne politechnika) i kierunku kształcenia studentów. W przeciwieństwie do nauk humanistycznych, niemal na każdym wykładzie z nauk przyrodniczych stosuje się prezentacje multimedialne, czasami slajdy lub foliogramy, a także grafikę użytkową (wykresy, diagramy, tabele itp.). Studenci mają także, chociaż rzadziej, możliwość oglądania okazów naturalnych (np. minerałów, skał, zieleni, wypchanych lub utrwalonych w formalinie zwierząt). Na ćwiczeniach zdarza się, że asystent odwołuje się do pomocy werbalnych, takich jak np. podręcznik czy zbiór zadań, na laboratoriach nieodzowne są instrukcje do ćwiczeń, odczynniki, szkło i instrumenty badawcze, a w dalszym toku studiów literatura naukowa (publikacje z czasopism, materiałów konferencyjnych itd.).

Poniższy rozdział ma za zadanie uporządkowanie wiadomości na temat znanych i mniej znanych środków dydaktycznych. Służy także podstawowymi wskazówkami odnośnie ich konstruowania i stosowania w pracy dydaktycznej.

#### **Podział środków dydaktycznych**

Środki dydaktyczne można dzielić według różnych kryteriów, co ułatwia ich uporządkowanie, a tym samym wybór dopasowany do metody i celów kształcenia. Podział ze względu na sposób prezentacji danych przedstawia Rys. 1 [1].

Jedne środki są przeznaczone do odbioru indywidualnego (np. podręcznik), inne do odbioru zbiorowego (foliogram prezentowany za pomocą grafoskopu). Wyświetlanie artykułu naukowego wydrukowanego czcionką 12-punktową na ekranie o rozmiarach 1×1,5 m mija się z celem.

Symboliczne środki poglądowe należy stosować po odpowiednim przygotowaniu uczących się, o czym wykładowcy akademicy zdają się czasami zapominać, pokładając ufność w wiedzy zdobytej przez studenta na poprzednich etapach kształcenia. Aby student zrozumiał symbol (np.  $2s^2$ , Å, Ħ,  $\gamma$ ,  $\varphi$  i inne), musi posiadać odpowiedni zasób informacji: co oznaczają przedstawione znaki oraz wiedzę o pojęciach, które są za pomocą tych znaków przedstawiane.

<p><b>naturalne</b> student obserwuje środek dydaktyczny lub manipuluje nim</p> <p>okazy z otoczenia przyrodniczego, kulturowego, społecznego</p>	<p><b>techniczne</b> pośrednio w sposób uproszczony ukazują rzeczywistość</p> <p><u>wzrokowe</u> przeźroczca, obrazy, rysunki, fotografie, ilustracje z czasopism, folio- i fazogramy, tablice</p> <p><u>sluchowe</u> nagrania, audycje radiowe</p> <p><u>wzrokowo-słuchowe</u> programy telewizyjne, filmy, multimedialne programy komputerowe</p> <p><u>automatyzujące</u> przyrządy dydaktyczne (ćwiczeniowa aparatura chemiczna), komputery</p> <p><u>modelowe</u> modele, makiety</p>	<p><b>symboliczne</b> brak podobieństwo do opisy wanego obiektu, abstrakcyjne i graficzne ujęcie problemu</p> <p><u>graficzne</u> plany, mapy, rysunki techniczne, wykresy, grafy, wzory, formuły, znaki, schematy, równania, tabele</p> <p><u>werbalne</u> podręczniki, książki, czasopisma</p>
---	--	--

Rys. 1. Podział i przykłady środków dydaktycznych

## Pomoce dydaktyczne, niezbędne w kształceniu chemicznym

Środki dydaktyczne mogą pełnić funkcję opisującą, wyjaśniającą, bądź interpretującą zjawisko [2]. Poniżej przedstawiono przegląd różnych form pomocy dydaktycznych wykorzystywanych w nauczaniu chemii (wraz ze wskazówki dotyczącymi ich zastosowania), co, miejmy nadzieję, będzie inspiracją do wykorzystania wybranych z nich w pracy dydaktycznej czytelnika.

STATYCZNE ŚRODKI DYDAKTYCZNE:

- **modele (cząsteczek, wiązań, atomów, kryształów itp.):\***

a) pręcikowo-kulkowe (*Ball-and-Stick*) – zbudowane z kolorowych kulek połączonych giętkimi rurkami; prezentują położenie względem siebie atomów w cząsteczce lub jonów w kryształach; często pomija się proporcje pomiędzy ich średnicami a odległościami (długościami wiązań) w celu polepszenia wizualnej prezentacji struktury (Rys. 2a, str. 251), zwykle jednak zachowane są proporcje pomiędzy średnicami poszczególnych typów atomów;

b) szkieletowe (*skeletal*, Dreidinga) – zbudowane często wyłącznie z rurek obrazujących wiązania chemiczne (Rys. 2b); ukazują kąty pomiędzy wiązaniami w cząsteczkach, pomijając wielkości względne atomów na korzyść swobodnego obrotu dookoła wiązania; wykorzystywane do omawiania problematyki konformacji cząsteczek oraz zagadnień stereochemicznych;

---

\*Modelem nazywamy materialne lub myślowe przedstawienie obiektu, zjawiska lub procesu z zaakcentowaniem zazwyczaj jednego (najistotniejszego w danym momencie) szczegółu.

c) czasowe (*space-filling*) – stosowane do wizualizacji kształtu cząsteczki: wielkości względnych atomów, długości wiązań oraz wartości kątów pomiędzy wiązaniami (Rys. 2c); modele są przydatne podczas omawiania, np. zagadnień biochemicznych;

d) orbitalowe – przydatne w obrazowaniu teorii chemii kwantowej: tworzenia wiązań chemicznych, ich orientacji przestrzennej oraz kształtu cząsteczki wynikającego z ilości i typu wiązań (Rys. 2d);

e) styczne – obrazują sposób upakowania atomów bądź jonów w kryształach przy zachowaniu właściwych proporcji pomiędzy średnicami tych molekuł (Rys. 2e); wykorzystywane, np. przy wprowadzaniu w zagadnienia krystalografii chemicznej – zwracają uwagę na pokrój ogólny kryształu, kształt luk itp.;

f) sieci krystalograficznej – pokazują strukturę zewnętrzną i wewnętrzną kryształu: odległości, kąty, liczby i typy elementów sąsiadujących ze sobą (Rys. 2f); zazwyczaj atomy bądź jony reprezentowane są przez kulki o jednokrotnej średnicy; stosowane są do wyznaczania typu komórki elementarnej, grupy symetrii, obrazowania praw: stałości kątów, równoległości ścian itp.;

g) polihedralne – atomy (bądź skupiska atomów) przedstawione są w postaci wielokątów; modele są stosowane podczas prezentacji struktur zbudowanych z większej ilości atomów lub jonów; zastąpienie grupy atomów jednym wielokątem pozwala na podkreślenie luk i wolnych przestrzeni w kryształach (np. w zeolitach);

h) molekularne – trójwymiarowe, elastyczne modele z tworzyw sztucznych z możliwością łączenia pojedynczych łańcuchów ze sobą; przedstawiają cząsteczki białek i innych makromolekuł, obrazują zazwyczaj kierunek i skręt głównego łańcucha polipeptydowego, kształt cząsteczek; stosowane, np. podczas wyjaśniania struktur białek (rzędowości, tworzenia mostków wodorowych, bądź siarkowych), kwasów nukleinowych, cukrów złożonych itp. (Rys. 2h).

• **technologiczne** – np. schematy procesów przebiegających podczas produkcji chemicznej, przekroje aparatury, kolekcje złożone z produktów poszczególnych etapów procesów technologicznych.

Często wykorzystuje się złożone modele technologiczne, np. planszę, na której naszkicowany jest schemat procesu technologicznego, przyłączone są w odpowiednich miejscach małe fiolki zawierające różne substancje (surowce wyjściowe, półprodukty, produkty, odpady itp.). Student, analizując przebieg procesu produkcyjnego, ma możliwość zapoznania się z niektórymi właściwościami fizycznymi (barwą, stanem skupienia) wykorzystywanego lub powstającego na danym etapie związku. Należy pamiętać o niewielkim zasięgu oddziaływania tego środka dydaktycznego – studenci muszą podejść blisko, by mieć dobre warunki obserwacji. Wykorzystuje się go więc zwykle

na zajęciach prowadzonych w niewielkich liczebnie grupach (seminaria, zajęcia laboratoryjne).

Omawiane na zajęciach zjawiska lub procesy można wizualizować na wiele sposobów, wykorzystując różne metody prezentacji danych (należy pamiętać, że sposób prezentacji danych nie jest środkiem dydaktycznym!).

Najczęściej stosowane są:

a. **środki wykorzystujące nowoczesne technologie informacyjne**,\* np. prezentacje multimedialne;

b. **foliogramy i fazogramy z wykorzystaniem rzutnika pisma**; fazogram to zestaw kilku foliogramów, na których są fragmenty przekazywanego materiału tworzące całość po stopniowym nakładaniu jednej folii na drugą (nie należy stosować więcej niż 4-5 warstw, gdyż obraz staje się bardzo ciemny na skutek słabszego przenikania światła przez stos folii).

Powyżej wymienione pomoce dydaktyczne mogą zawierać:

► **tekst**,

► **wykresy** – chętnie wykorzystywane z powodu czytelności przekazu; należy pamiętać, że wykresy pokazywane na ekranie nie mogą być zbyt skomplikowane i rozbudowane (wykres może być, np. liniowy, punktowy, słupkowy, kołowy itp., nie powinien przedstawiać więcej niż 3-4 serie danych);

wykresy bardziej skomplikowane studenci powinni otrzymać w formie drukowanej;

► **tabele** – podobnie jak wykresy dają możliwość szybkiego zapoznania się z danymi oraz porównania odpowiednich wielkości; należy pamiętać o odpowiednim uwidocznieniu podziałów (wierszy, kolumn, nagłówków) w tabeli; tabele wyświetlane przez rzutnik nie mogą być zbyt bogate w dane (maksymalne wymiary to ok. 6 na 4 pola), bardziej skomplikowane tabele należy wręczyć studentom na kartkach;

c. **pomoce werbalne** – np. podręcznik, zbiór zadań, instrukcja do ćwiczeń, teksty do analizy, literatura naukowa;

d. **szkło i odczynniki laboratoryjne** – szkło laboratoryjne do prezentacji w formie poszczególnych elementów (np. podczas omawiania budowy chłodnicy zwrotnej) lub w zestawach (np. zasada działania chłodnicy zwrotnej podczas przeprowadzania procesu ekstrakcji) oraz do samodzielnego wykonywania eksperymentów chemicznych.

Rynek pomocy dydaktycznych dynamicznie się rozwija. Na uczelniach wyższych zaczynają pojawiać się nowoczesne środki dydaktyczne, pozwalające na coraz doskonalszą, wygodniejszą i bardziej różnorodną prezentację danych. Coraz częściej są wyposażone w dodatkowe funkcje pozwalające na bezpośredni kontakt ze studentami oraz bieżącą kontrolę poziomu zrozumienia omawianego problemu.

---

\*Środki multimedialne i wykorzystanie Internetu w kształceniu chemicznym omówiono bliżej w rozdziale 2.

Warto wymienić następujące pomoce [3]:

- e. **tablica interaktywna** – duży monitor (podobny do zwykłej, białej tablicy) połączony z komputerem i projekтором multimedialnym, reagujący na dotyk specjalnego pióra lub nawet palca; posiada m.in. możliwość zapisywania, odtwarzania w dowolnej chwili i drukowania danych naniesionych na jego powierzchnię oraz połączenia z Internetem;
- f. **system ankierski** (ang. PADS clickers) – działa na zasadzie indywidualnej pracy studenta i udzielania odpowiedzi przy wykorzystaniu pilotów działających, np. w podczerwieni; studenci odpowiadają na pytania prezentowane przez wykładowcę na tablicy, naciskając odpowiedni guzik pilota (w sytuacji egzaminacyjnej każdy pilot jest przypisany do konkretnego studenta i rejestruje jego prawidłowe oraz błędne odpowiedzi, zmiany decyzji i ich częstotliwość itp.) – zliczone przez komputer wyniki można natychmiast wyświetlić na tablicy interaktywnej w dowolnym formacie (wykres, tabela, diagram itd.); system pozwala zmienić wykład w zajęcia interaktywne wymagające zaangażowania studentów;
- g. **wizualizery, kamery wideo** sprzężone z rzutnikami multimedialnymi – pozwalają prezentować na żywo na dużym ekranie obraz eksperymentu chemicznego, prowadzonego w małej skali, widok spod mikroskopu itp.

Ponieważ z każdym rokiem na rynek wchodzi nowe środki dydaktyczne, istotna jest stała aktualizacja wiedzy w tym zakresie.

#### Dynamiczne środki dydaktyczne:

- **struktury krystaliczne** – obrazują zmiany zachodzące w kryształach pod wpływem wzrostu temperatury, rozpuszczania, przyłożonego ciśnienia lub napięcia itp. (np. kulki symbolizujące atomy, połączone sprężynkami), jak również do omawiania defektów strukturalnych (Rys. 3a, str. 251);
- **technologiczne** – obrazują wewnętrzną budowę i zasadę działania aparatu oraz przebiegającego w nim procesu (Rys. 3b); na uczelniach chemicznych wykorzystuje się je (jeśli potrzebna jest miniaturyzacja) lub rzeczywistą aparaturę chemiczną, z którą studenci zapoznają się na ćwiczeniach oraz laboratoriach, a z którą w przyszłości będą pracować;
- **modele zjawisk przyrodniczych** – w sposób przybliżony (z pominięciem nieistotnych aspektów) obrazujące procesy zachodzące w przyrodzie poprzez ukazanie warunków wystąpienia zjawisk i zależności pomiędzy nimi, często wykorzystywane w nauczaniu chemii fizycznej (termodynamika chemiczna, Rys. 3c,d) lub fizyki (Rys. 3e).

Obecnie stworzenie środka dydaktycznego, a zwłaszcza jego obrazu komputerowego, nie stanowi problemu. Szczególnie cenne są **animacje komputerowe** obrazujące mechanizmy reakcji, strukturę elektronową atomu czy tworzenie się wiązań chemicznych. Do przygotowania takich animacji służą gotowe programy, np. ChemSketch, czy IsisDraw. Zaletą własnoręcznie stworzonych prezentacji jest możliwość ich stałego udoskonalania.

## Przygotowanie wykładowcy do zajęć z wykorzystaniem środków dydaktycznych

Przygotowując się do zajęć ze studentami, nauczyciel musi zastanowić się, jakie środki dydaktyczne najlepiej posłużą w procesie nauczania. Wybrany środek dydaktyczny powinien w sposób jasny i dokładny obrazować zależności, które występują w omawianym zjawisku. Służy on realizacji zasady pogłębłości [4], czyli powinien pokazywać studentom te fakty, dzięki którym prawidłowo rozumieją zjawisko, a także łatwiej, szybciej i efektywniej zapamiętają dany materiał.

### Wybrany środek dydaktyczny będzie skuteczny przy uwzględnieniu kilku rad:

- będą zapewnione właściwe warunki prezentacji,\* odpowiednio wcześniej (nie tuż przed zastosowaniem pomocy) zostanie przygotowane miejsce, w którym będzie stosowany środek dydaktyczny (np. rozwinięty ekran, zasłonięte okna, włączony komputer i/lub rzutnik itp.),
- będą zapewnione właściwe warunki odbioru,
- zasób informacji, które będą przekazywane za jego pomocą powinien być ograniczony – dostosowany wielkością oraz stopniem zaawansowania do poziomu wiedzy studentów,
- jeśli dana pomoc dydaktyczna umożliwia głębsze poznanie zjawiska lub ilustruje także inny, niż omawiany na danych zajęciach, proces – należy to wykorzystać na kolejnym spotkaniu ze studentami, po ugruntowaniu sobie przez nich pierwszej partii wiedzy,
- wykorzystywany środek musi być zgodny ze stanem współczesnej wiedzy chemicznej (tzw. zasada naukowości w dydaktyce) oraz poprawności językowej – niektóre pomoce dydaktyczne wyprodukowane, np. w połowie zeszłego wieku, swoim anachronizmem będą rozpraszały uwagę studentów,
- zanim zada się studentom pracę domową, należy przemyśleć, w oparciu o jakie środki dydaktyczne (także dostępne poza uczelnią) mogą ją wykonać, a także dowiedzieć się, czy ta pomoc jest ogólnodostępna (np. podręcznik w bibliotece, zbiór zadań itp.),
- nauczyciel będzie pamiętał, że środek dydaktyczny nie ma go wyręczyć we wszystkim, a jedynie wspomóc,
- wynik końcowy zajęć, podczas których wykorzystany został środek metodyczny, zależy w dużej części od umiejętności wykładowcy w posługiwaniu

---

\*Zasady prezentacji środków dydaktycznych opisano w bogatej literaturze źródłowej częściowo przytoczonej na końcu rozdziału.

się nim, jego wiedzy, zapamiętania, zaangażowania (pasja i ukazywanie pozytywnych emocji dobrze wpływają na odbiorców oraz zapamiętanie treści zajęć).

#### DLA TYCH, KTÓRZY CHCĄ WIEDZIEĆ WIĘCEJ

W literaturze fachowej pomoce dydaktyczne często rozpatruje się pod kątem ich elementów składowych [5]:

- komunikatu – treści, którą wykładowca chce przekazać (np. mechanizm reakcji),
- nośnika komunikatu – utrwalającego przekazywaną treść (np. prezentacja multimedialna),
- środków przekazu – urządzeń umożliwiających pokaz komunikatu (np. komputer),
- wskazówek metodycznych – omawiających zastosowanie danej pomocy (np. pole notatek w programie MS PowerPoint).

Wykładowca wykorzystujący gotową pomoc naukową nie ma praktycznie wpływu na powyższe elementy. Jednak podczas tworzenia nowego środka dydaktycznego warto zastanowić się nad problemami ujmowanymi przez nie, np.:

- ▶ czy komunikat będzie złożony z jednej teorii, czy będzie to kilka powiązanych ściśle ze sobą zagadnień?
- ▶ czy dane zjawisko będzie bardziej zrozumiałe po zaprezentowaniu go w postaci fazogramu czy też jako obrazu przestrzennego?
- ▶ czy rysunki i schematy należy wyświetlać przy pomocy rzutnika pisma czy też komputera? które z urządzeń jest wygodniejsze do zastosowania w danej sali? które urządzenie jest w danej chwili dostępne? czy po zajęciach studenci poproszą o materiały (kserokopie foliogramów, prezentację na nośniku cyfrowym)?
- ▶ która z dostępnych metod odpowiada nauczycielowi? – podczas wyboru metody prezentacji danych należy się również kierować tym kryterium, gdyż jest oczywiste, że praca z nieodpowiednimi metodami jest mniej efektywna.

**Analizę danego środka dydaktycznego**, zaplanowanego do wykorzystania na zajęciach, należy przeprowadzić pod kątem wspomnianej wcześniej zasady pogłębienia oraz:

- konstrukcyjnym – np. co się stanie, jeśli student pomyli kolejność wykonywania czynności (w przypadku wykorzystania niebezpiecznej, drogiej bądź „delikatnej” aparatury skutki takiej pomyłki mogą być tragiczne lub obciążające finansowo),
- dydaktycznym – np. jakie informacje należy przekazać studentom wcześniej, zastosować pokaz czy pozwolić na samodzielną pracę studentów, czy odpowiada założonym przez wykładowcę celom (aby nie tracić czasu na

tłumaczenia podczas pracy, np. energochłonnego aparatu, nie dopuścić do awarii, nie stwierdzić podczas zajęć, iż inna pomoc byłaby, np. bardziej bezpieczna czy wygodniejsza),

- organizacyjnym – np. praca indywidualna czy grupowa, praca samodzielna czy pokaz (najwięcej korzyści daje oczywiście samodzielna praca, lecz niektórzy studenci pewniej czują się podczas pracy zespołowej), analiza tekstu polskiego czy obcojęzycznego (należy wcześniej zorientować się, czy wszyscy studenci opanowali dany język, czy podręcznik jest dostępny w odpowiedniej ilości egzemplarzy).

Wykładowca pracujący z niewielką liczbą osób, a dobrze je znający, może z dostępnych mu pomocy dydaktycznych wybrać odpowiednią pod kątem cech osobowościowych studentów (słuchowcy – odbiór werbalny, wzrokowcy – odbiór wizualny), a w przypadku dużych grup - powinien stosować pomoce dydaktyczne łatwe w odbiorze dla wszystkich.

#### LITERATURA CYTOWANA

1. A. Burewicz, H. Gulińska, *Dydaktyka chemii*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1993.
2. Cz. Kupisiewicz, *Podstawy dydaktyki*, WSiP, Warszawa 2005.
3. M. Bartoszewicz, H. Gulińska, *Komputerowe wspomaganie procesu kontroli wiadomości w procesie nauczania – uczenia się*, [w:] [http://www.ap.krakow.pl/ptn/ref2006/Gulinska\\_Bartoszewicz.pdf](http://www.ap.krakow.pl/ptn/ref2006/Gulinska_Bartoszewicz.pdf), Poznań 2006.
4. W. Okoń, *Nauczanie problemowe we współczesnej szkole*, WSiP, Warszawa 1987.
5. A. Bogdańska-Zarembina, A. Houwalt (red.), *Metodyka nauczania chemii*, PZWL, Warszawa 1970.

#### LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

- E. Berezowski, H. Lesicka, *Vademecum technicznych środków kształcenia*, PWN, Warszawa 1982.
- T. Hindle, *Sztuka prezentacji*, Wyd. Wiedza i Życie SA, Warszawa 2000.
- R. Janiuk, *Optymalizacja funkcji teorii i modeli teoretycznych w nauczaniu chemii*, Wyd. Uniwersytetu M. Skłodowskiej-Curie, Lublin 1994.
- A. Jay, R. Jay, *Skuteczna prezentacja*, Zysk i S-ka, Poznań 2001.
- W. Kazimierski, *Środki dydaktyczne w szkolnictwie zawodowy*, WSiP, Warszawa 1984.
- K. Kruszewski, *Kształcenie w szkole wyższej*, PWN, Warszawa 1988.
- Cz. Kupisiewicz, *Nauczanie programowane w szkolnictwie wyższym*, PWN, Warszawa 1974.
- L. Leja, *Techniczne środki dydaktyczne*, PWN, Warszawa 1999.
- G. Łasiński, *Sztuka prezentacji*, Wyd. eMPI2, Poznań 2000.
- I. Maciejowska, G. Stopa, *Mam Wam coś do przekazania - kształcenie umiejętności prezentacji (wykład, referat, komunikat konferencyjny, plakat konferencyjny)*, [w:] *Dydaktyka Akademic-*



ka II. *Studenci we wspólnocie akademickiej*, red. nauk. D. Skulicz, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2007, str. 201.

W. Prussak, *Ergonomiczne kształtowanie projekcyjnych wizualnych materiałów dydaktycznych*, [w:] [http://www.zie.pg.gda.pl/~wst/art/ergo\\_dyd.pdf](http://www.zie.pg.gda.pl/~wst/art/ergo_dyd.pdf), 1995.

J. Skrzypczak, *Film dydaktyczny w szkole wyższej*, PWN, Warszawa 1985.

J. Soczewka, *Metody kształcenia chemicznego*, WSiP, Warszawa 1988.

T. Szeromski, *Modele i modelowanie w nauczaniu chemii*, WSiP, Warszawa 1982.

A. Zając, *Techniczne środki dydaktyczne*, WSP, Rzeszów 1988.

E. Żurek, *Sztuka prezentacji czyli jak przemawiać obrazem*, Poltext, Warszawa 2004.

## ŹRÓDŁA ILUSTRACJI (prezentowanych na str. 251)

*Dziękujemy właścicielom praw autorskich do prezentowanych pomocy za zgodę na wykorzystanie zdjęć.*

Rys. 2a Anti-Doping Research, Inc. (<http://www.antidopingresearch.org/>), Sigma-Aldrich Sp. z o.o. (<http://www.sigmaaldrich.com/>).

Rys. 2b Darling Models (<http://www.darlingmodels.com/>).

Rys. 2c HGS Online Store (<http://www.maruzen.info/hgs/catalog/>).

Rys. 2d Spiring Enterprises Limited (molymod molecular models) England (<http://www.orbitals.co.uk/>).

Rys. 2e Pierron Polska Sp. z o.o. (<http://www.pierron.com.pl/>).

Rys. 2f HGS Online Store (<http://www.maruzen.info/hgs/catalog/>).

Rys. 2g dr Phillip Barak, Uniwersytet of Wisconsin-Madison (<http://www.soils.wisc.edu/~barak/PMK/>).

Rys. 2h Mr Eric Martz, Center for BioMolecular Modeling of the Milwaukee School of Engineering, Wisconsin USA (<http://www.umass.edu/microbio/>).

Rys. 3a Educational Innovations Inc. (<http://www.teachersource.com/>).

Rys. 3b pan Adam Bartczak (<http://www.fizyka.net.pl/>).

Rys. 3c Pierron Polska Sp. z o.o. (<http://www.pierron.com.pl/>).

Rys. 3d Fabryka Pomocy Naukowych w Nysie (<http://www.fpnnysa.com.pl/>).

Rys. 3e Educational Innovations Inc. (<http://www.teachersource.com/>).