

WPŁYW SZKOLENIA Z METODOLOGII IBSE NA UMIEJĘTNOŚCI ROZUMOWANIA NAUKOWEGO U NAUCZYCIELI PRZEDMIOTÓW PRZYRODNICZYCH

Karol Dudek*, Paweł Bernard, Anna Migdał - Mikuli

Zakład Dydaktyki Chemii, Wydział Chemii, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

*karol.dudek@uj.edu.pl

Wstęp

Jednym z głównych nurtów polityki Unii Europejskiej jest wsparcie rozwoju społeczeństwa opartego na wiedzy, przy czym dla osiągnięcia tego celu zakłada się znaczący wkład kształcenia w zakresie przedmiotów ścisłych i przyrodniczych. Zgodnie z tą polityką promowane jest stosowanie metod nauczania poprzez odkrywanie / dociekanie (Inquiry Based Science Education – IBSE) w celu rozbudzania zainteresowania uczniów nauką oraz zwiększenia liczby absolwentów w zakresie kierunków nauk przyrodniczych, technicznych i matematycznych (Rocard i inni, 2007). Samodzielne dociekanie wiedzy wymaga prowadzenia znacznie intensywniejszego rozumowania, niż ma to miejsce w przypadku stosowania tradycyjnych metod kształcenia (SAILS, 2013). Niewątpliwie istotną kwestią, którą należy wziąć pod uwagę w procesie wprowadzania IBSE do szkół, jest problematyka oceniania uczniów pracujących tą metodą. Jednym z najczęściej spotykanych problemów związanych z ocenianiem, szczególnie dla młodych nauczycieli, jest równoczesne stosowanie w praktyce kryterium równego i sprawiedliwego oceniania, czyli stawiania każdemu uczniowi równych wymagań oraz stosowania zasady indywidualizacji oceny każdego ucznia. Problem polega na znalezieniu „złotego środka” między obiema zasadami (Wilson, 1996), (Wiggins, 1993).

Jednym z głównych założeń i celów IBSE jest poprawa zdolności poznawczych i możliwości umysłowych uczniów. Umiejętności rozumowania obejmują ogólne zdolności myślenia i mogą zostać opisane jako służące do wykorzystania wiedzy naukowej w celu identyfikacji i rozwiązywania problemów, a także formułowania wniosków opartych na obserwacjach empirycznych. Są to umiejętności pozwalające na zrozumienie charakteru i funkcji nauki (Dylak, 2011) oraz relacji pomiędzy przyczyną i skutkiem. Umiejętności rozumowania są ściśle związane z systemem edukacji, zarówno na poziomie kształcenia gimnazjalnego, jak i ponadgimnazjalnego, szczególnie w zakresie nauk przyrodniczych i matematycznych. Mogą zostać one podzielone na trzy główne grupy w zależności od stopnia złożoności (Johnson-Laird, 2006):

1. **Podstawowe umiejętności rozumowania** są często określane jako rozumowanie Piageta (Caroll, 1993) lub rozumowanie operacyjne (Csapó, 1992). Umiejętności te posiadają wyraźną strukturę operacyjną, często opisywaną w sposób matematyczny, jak np. identyfikacja istotnych zmiennych i badanie zależności pomiędzy nimi na prostych mechanicznych warunkach eksperymentalnych (Kuhn, Pease i Wirkala, 2009). Do grupy tej zalicza się m.in. rozumowanie kombinatoryczne, obejmujące kontrolę i manipulowanie zmiennymi, a także badanie zależności pomiędzy nimi (Kista, 1979; Schröder, Bödeker, Edelstein i Teo, 2000; Lockwood, 2013). Kolejna grupa podstawowych umiejętności wnioskowania opiera się na teorii prawdopodobieństwa. Rozumowanie probabilistyczne (Jones, Langrall, Thornton i Mogill, 1997, 1999; Giroto i Gonzalez, 2008) ma zasadnicze znaczenie w ocenie ryzyka i jest warunkiem koniecznym do rozwoju rozumowania korelacyjnego (Lawson, Adi i Karplus, 1979; Kuhn, Phelps i Walters, 1985; Ross i Cousins, 1993; Schröder, Bödeker, Edelstein i Teo, 2000) oraz myślenia statystycznego (Chance, 2002).

2. **Umiejętności rozumowania wyższego rzędu.** Ta kategoria obejmuje złożone procesy myślowe, na które najczęściej składają się proste umiejętności myślenia (Williams, 1999). W tej grupie można wyróżnić:
 - Rozumowanie analogiczne – najbardziej znany proces myślowy, często stosowany w nauczaniu. Uczeń wykorzystuje swoją wiedzę zdobytą w określonym kontekście do analizy nowej, podobnej sytuacji (Polua, 1968; Klauer, 1989; Abdellatif, Cummings and Maddux, 2008).
 - Rozumowanie indukcyjne – podobne do rozumowania analogicznego. Według niektórych podziałów rozumowanie analogiczne jest częścią szerszej pojętego rozumowania indukcyjnego (Polya, 1968; Hamers, de Koning and Sijtsma, 1998; Csapó, 1997). Wiele testów inteligencji jest opartych na zadaniach wykorzystujących rozumowanie indukcyjne.
 - Rozwiązywanie problemów – reprezentuje złożone zadania, które pojawiają się w sytuacjach, w których rozwiązanie na pierwszy rzut oka wydaje się nieosiągalne. Rozwiązanie tego rodzaju problemów wymaga integracji informacji pochodzących z różnych źródeł, a często także przeprowadzenia dodatkowych badań (Frensch i Funke, 1985).
 - Myślenie krytyczne, często związane z prowadzeniem badań naukowych – termin stosowany w szerszym znaczeniu, obejmujący systematyczne korzystanie z kilku rodzajów umiejętności rozumowania, takich jak formułowanie problemów badawczych i poszukiwanie przesłanek oraz dowodów w celu stworzenia solidnych podstaw do udzielenia określonej odpowiedzi na postawione pytanie.
3. **Rozumowanie naukowe** – wykorzystanie abstrakcji i symboli do reprezentacji i opisu zjawisk za pomocą zmiennych i wymiarów. Obejmuje ono argumentację, która wymaga organizacji faktów i liczb, wykonywania operacji logicznych oraz znajdowania zależności przyczynowo-skutkowych pomiędzy obserwowanymi zmianami. W proces ten jest zaangażowane zarówno rozumowanie indukcyjne, jak i dedukcyjne (Watters i English, 1995). Tego rodzaju procesy wnioskowania są charakterystyczne dla prowadzenia badań naukowych oraz kształcenia w zakresie nauk ścisłych poprzez wykorzystanie metod odkrywania. Stawianie oraz weryfikacja hipotez, projektowanie doświadczeń oraz analiza wyników są najbardziej typowymi elementami rozumowania naukowego (Adey, 1999; Howson i Urbach, 1996; Koerber, Sodian, Thoermer i Nett, 2005; Venville, Adey, Larkin i Robertson, 2003). Jest ono często określane jako najbardziej zaawansowana forma ludzkiego myślenia.

Ocena umiejętności uczniów w zakresie rozumowania naukowego i podstawowych umiejętności naukowych jest celem rozlicznych programów, na przykład:

- PISA – Program Międzynarodowej Oceny Umiejętności Uczniów (OECD, 2013) bada umiejętności uczniów w wieku powyżej 15 lat w zakresie rozwiązywania problemów, czytania ze zrozumieniem, rozumowania matematycznego oraz rozumowania w obszarze nauk przyrodniczych. Program Międzynarodowej Oceny Umiejętności Uczniów jest koordynowany przez Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OCDE, 2003a, 2003b, 2006, 2009, 2013). PISA bada w różnych krajach umiejętności uczniów w wieku powyżej 15 lat w zakresie rozwiązywania problemów, czytania ze zrozumieniem, rozumowania matematycznego oraz rozumowania w obszarze nauk przyrodniczych. Testy PISA są w wielu aspektach skorelowane z umiejętnościami rozumowania. Weryfikują one zdolności uczniów do rozwiązywania problemów z wykorzystaniem wiedzy naukowej i zdolności logicznego myślenia (testy wielokrotnego wyboru). PISA nie ogranicza się jednak tylko i wyłącznie do badania umiejętności, sprawdzana jest w niej / w nim również

wiedza uczniów (OECD, 2012). Badanie PISA, które zostało przeprowadzone w 2015 roku sprawdzało również umiejętności współpracy uczniów w zakresie rozwiązywania problemów.

- TIMSS – Trends in International Mathematics and Science Study, którego celem jest monitorowanie osiągnięć i standardów programów nauczania w kontekście globalnym, przy dążeniu do poprawy edukacji oraz stymulowaniu reformy programów nauczania (<http://timssandpirls.bc.edu/>).
- EBRAS (Evidence-Based Reasoning Assessment System) - ocena umiejętności uczniów w zakresie wykorzystania dowodów w prowadzonej przez nich argumentacji (Brown, Nagashima, Fu, Timms i Wilson, 2010).
- Kolejne badania związane z umiejętnościami rozumowania zostały przeprowadzone przez Instytut Millward Brown SMG/KRC, który przygotował raport w zakresie praktyk stosowanych w kształceniu przedmiotów przyrodniczych w polskim systemie edukacji (Barevalo-Garcia i inni, 2013).

Jednym z najbardziej znanych narzędzi do badania umiejętności wnioskowania są testy Lawsona (Lawson's Classroom Test of Scientific Reasoning – LCTS) (Lawson, 2000a), które opublikowano po raz pierwszy w 1978 roku, a ich kolejna, ulepszona wersja ukazała się w 2000 roku. Każdy test składa się z 24 pytań wielokrotnego wyboru, obejmujących wiedzę z zakresu biologii, chemii i fizyki. Do jego rozwiązania nie jest wymagana wiedza specjalistyczna, jednak konieczne jest posiadanie umiejętności logicznego myślenia. Aby udzielić prawidłowej odpowiedzi, uczeń musi umieć wyobrazić sobie konkretną sytuację oraz zmierzyć się z określonymi problemami – przykładowo, musi zdecydować, jakie jest prawdopodobieństwo określonego koloru losowo wybranego kawałka drewna i uzasadnić swój wybór poprzez zaznaczenie poprawnej odpowiedzi (Lawson, 1978, 2000a, 2000b, 2003, 2005; Pyper, 2011).

Testy Lawsona są powiązane z pracą nad ściśle określonym i zdefiniowanym problemem. Mogą one stanowić element edukacji szkolnej zarówno podczas lekcji, jak i w formie zadania domowego. Ćwiczenia tego typu wymagają od uczniów prawidłowego zrozumienia problemu, podania jego charakterystyki, odpowiedniej reprezentacji, stworzenia schematu rozwiązania, a wreszcie - jego rozwiązania, przeprowadzenia właściwej argumentacji i wyciągnięcia odpowiednich wniosków. Niewątpliwie, praca tą metodą stanowi wyzwanie zarówno dla uczniów, jak i nauczycieli.

W 2009 roku wprowadzono w Polsce nową podstawę programową dla nauczania na poziomie gimnazjalnym i ponadgimnazjalnym (w oparciu o ustawę przyjętą w 2008 roku) (MEN, 2008). Nowa podstawa programowa akcentuje znaczenie umiejętności myślenia naukowego i wykorzystania wiedzy naukowej do identyfikacji i rozwiązywania problemów, wyciągania wniosków, krytycznej analizy itd. Ponadto nowa podstawa zaleca stosowanie aktywizujących metod nauczania. W zakresie edukacji naukowej zaleca się umożliwienie uczniom planowania i przeprowadzania doświadczeń, zbierania danych i obserwacji, samodzielnego poszukiwania informacji, pracy w grupach itd. Z tego względu nowa podstawa programowa ukierunkowuje prace z uczniami na stosunkowo nowy trend – wykorzystanie nauczania poprzez odkrywanie (IBSE) jako jednej z głównych metod nauczania. Jednocześnie można zaobserwować coraz większą wagę rozwoju umiejętności rozumowania (Dąbrowski i Wiśniewski, 2011). Umiejętności te mogą być rozwijane dzięki kształceniu metodą nauczania przez odkrywanie.

Podsumowująca ocena umiejętności rozumowania odgrywa w ostatnim czasie coraz istotniejszą rolę. Część przyrodnicza egzaminu gimnazjalnego zawiera sporą liczbę pytań weryfikujących tego rodzaju umiejętności. Konstrukcja pytań jest w tym przypadku podobna

do tych zawartych w teście Lawsona. Zapowiedziano również, że weryfikacja umiejętności rozumowania będzie stanowić istotną część nowego egzaminu maturalnego, począwszy od roku 2015 (MEN, 2013).

Celem przeprowadzonego badania było określenie poziomu umiejętności rozumowania wśród polskich nauczycieli. Zbadano również wpływ na poziom tych umiejętności szkolenia w zakresie wykorzystania metod nauczania przez odkrywanie.

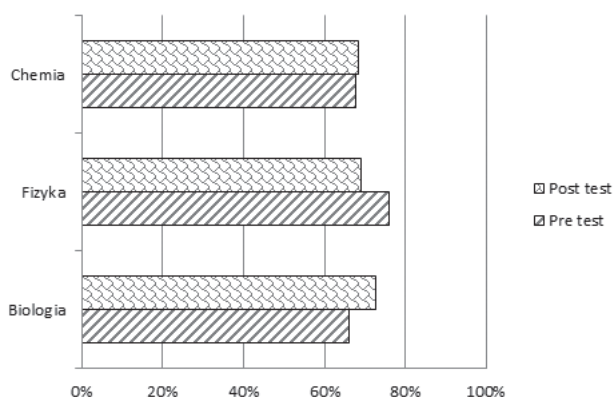
Metodologia badań

Rozwiązywanie zadań mających na celu określenie poziomu umiejętności rozumowania naukowego wśród nauczycieli przedmiotów przyrodniczych zostało przeprowadzone przed oraz dzień po szkoleniu z metodologii IBSE. Szkolenia prowadzono w ramach realizacji projektu SAILS. W badaniu wzięło udział w sumie 104. nauczycieli, podzielonych na dwie grupy: w roku 2014 - 58. nauczycieli, w roku 2015 - 46 osób. Podczas obu szkoleń realizowano ten sam program, w analogicznym wymiarze godzin. W trakcie szkolenia nauczyciele zostali zapoznani z podstawami nauczania metodologią IBSE, a także sposobami oceniania pracy tą metodą. Szkolenie trwało 5 dni i było realizowane w formie wykładów, zajęć seminaryjnych i laboratoryjnych.

Grupę badawczą stanowili nauczycielce przedmiotów przyrodniczych rasy kaukaskiej. Przed rozpoczęciem szkolenia nauczyciele zostali poproszeni o rozwiązanie testu autorstwa A.E. Lawsona (2000) z dyscypliny, którą reprezentowali. Każda z trzech grup rozwiązywała zatem testy z nauczanego przez siebie przedmiotu. Test poprzedzony był metryczką, w której ankietowani podawali wiek, płeć, rodzaj ukończonej szkoły wyższej, kierunek studiów. Dodatkowymi pytaniami przyporządkowującymi ankietowanych do odpowiedniej grupy były pytania składowe testu właściwego. Test był anonimowy, jednakże aby możliwe było porównanie wyników, jakie osiągnął nauczyciel przed i po szkoleniu, każdy z ankietowanych został poproszony o podpisanie obu części tym samym pseudonimem.

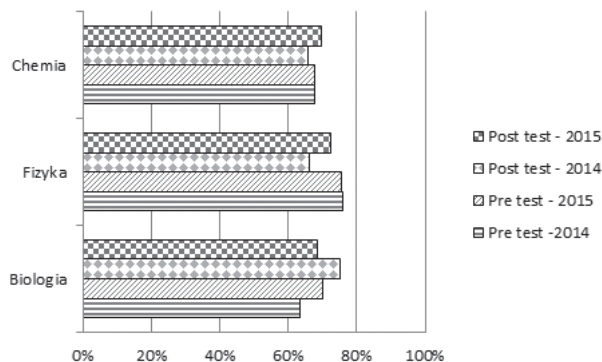
Wyniki

Średnie wartości wyników uzyskane przez nauczycieli kolejnych przedmiotów przed i po szkoleniu przedstawiono na rysunku nr 1.

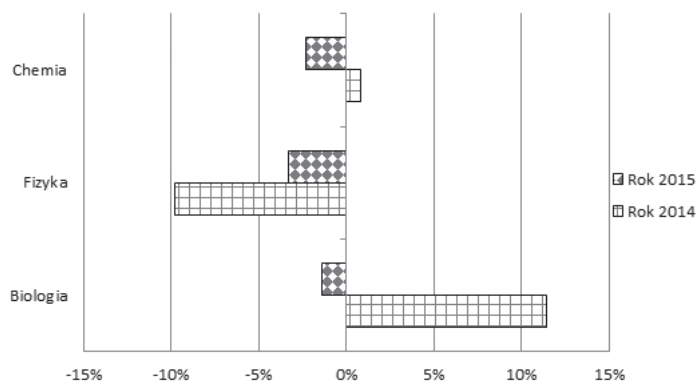


Rysunek 1. Średnie wartości wyników pre- i post-testów wg przedmiotów.

Nauczyciele fizyki przed szkoleniem osiągnęli najlepszy wynik średni (76% poprawnych odpowiedzi). Nieco mniej poprawnych odpowiedzi udzielili nauczyciele biologii i chemii. Jednakże w przypadku chemików i biologów wynik post-testu jest wyższy niż testu realizowanego przed szkoleniem, a dla fizyków obserwowana jest zależność odwrotna. Wprowadzenie rozróżnienia na dwie grupy szkoleniowe modyfikuje nieco przedstawione poniżej zależności (rysunki 2 i 3).



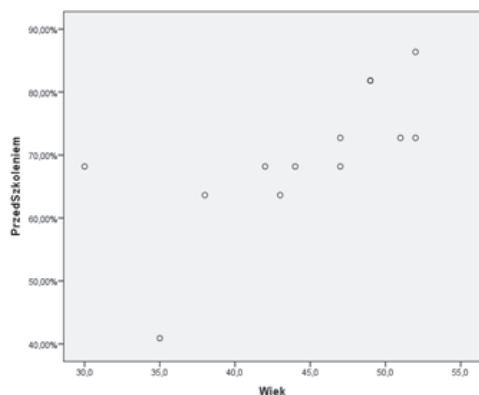
Rysunek 2. Średnie wartości wyników pre- i post-testów wg przedmiotu z uwzględnieniem okresu szkolenia.



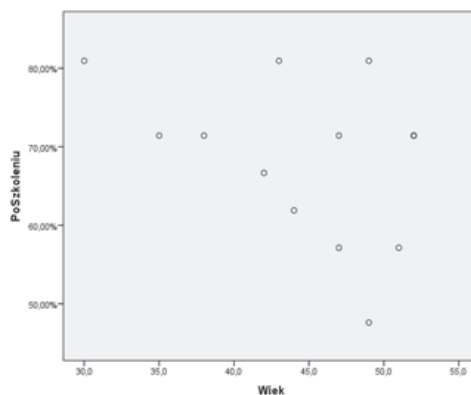
Rysunek 3. Średnia zmiana dla wg przedmiotów po szkoleniu z uwzględnieniem okresu szkolenia.

W roku 2014 największa zmiana zaszła wśród nauczycieli biologii (różnica o 11 punktów procentowych), ale - co ciekawe - również nauczyciele chemii nieznacznie (o niecały punkt procentowy) polepszyli swoje osiągnięcia w stosunku do pre-testu. Nauczyciele fizyki w obu latach uzyskali gorszy wynik post-testu niż pre-testu.

Dla grupy biologów przeprowadzono dodatkowo analizę uwzględniającą wiek uczestnika. Szczegóły przedstawiono na rysunkach 4-5.



Rysunek 4. Wyniki uzyskiwane przez nauczycieli biologii w zależności od wieku – pre-test.



Rysunek 5. Wyniki uzyskiwane przez nauczycieli biologii w zależności od wieku – post-test.

W przypadku testów przeprowadzonych przed szkoleniem widać silną korelację pozytywną – wraz z wiekiem wzrasta poprawność wypełnienia testu. Analiza post testu takiej korelacji nie wykazała. Porównując jednak rysunki 4 i 5, można zauważyć, że młodsi nauczyciele osiągnęli większy postęp – tj. z post testu uzyskiwali wyższe wyniki niż w przypadku pre-testu.

Dyskusja wyników i podsumowanie

Wyniki uzyskane dla poszczególnych grup przedmiotowych, różnią się między sobą. W przypadku fizyków w roku 2014 - średnio osoby badane po szkoleniu miały gorsze wyniki o 10 punktów procentowych w stosunku do pre-testu, w roku 2015 - średnio osoby badane po szkoleniu miały gorsze wyniki o 3 punkty procentowe w stosunku do pre-testu. Widać zatem, że w obu grupach utrzymuje się różnica pogorszenia wyników, ale w roku 2015 wyniki były lepsze (średnia wartość dla post testu dla roku 2015 wynosiła 72%, a dla roku 2014 wynosiła 66%). W przypadku nauczycieli Chemii - nie widać większej różnicy pomiędzy poszczególnymi latami - średnie post-testów są bardzo podobne (2015: 70%; 2014: 67%). W przypadku nauczycieli biologii (2014: pre-test 64%, post-test 70%; 2015: pre-test 75%, post-test 69%) średni przyrost nastąpił o 6,5 punktów procentowych (a odchylenie standardowe wyniosło 0,15 - prawie 15 punktów procentowych, a więc próba jest bardzo niejednorodna z uwagi na wyniki testowe). Ponieważ wartość jest dodatnia, to można stwierdzić, że większość uczestników podniosła poziom umiejętności rozumowania naukowego. Jeśli jednak analizuje się grupę biologów dzieląc ją na poszczególne lata szkolenia, można zauważyć, że tylko w 2014 roku grupa uzyskała przyrost wyników z testu Lawsona. Jednocześnie średnia wyników uzyskana przez biologów z pre-testu z 2014 roku, jest najwyższą średnią jaką uzyskano podczas całego badania.

Można zatem zaobserwować dużą rozbieżność pomiędzy wynikami charakteryzującymi grupę nauczycieli biologii, a dwiema pozostałymi, w których to wyniki uzyskiwane z post-testu są niższe niż z pre-testu, a w przypadku biologów szkolenie spowodowało zdecydowany wzrost wyniku osiąganego w testach Lawsona.

Choć nie opisano w literaturze badań przeprowadzonych w sposób analogiczny do przedstawionych (uniemożliwia to porównanie wyników wprost), to szereg artykułów traktuje o badaniach umiejętności rozumowania naukowego z wykorzystaniem testów Lawsona.

Badania prowadzone przez Coletta and Phillips (2005) z wykorzystaniem identycznych testów pokazały, że studenci uzyskujący średni wynik z wiedzy 58% osiągnęli średni wynik z testów Lawsona równy 91%, natomiast studenci słabsi, których średni wynik z testu wiedzy wyniósł 45%, uzyskali średnią z testu Lawsona 69%. Wyniki przedstawione przez Pyper (2011) ukazujące osiągnięcia studentów fizyki wskazują w końcowym stadium badań na próg powyżej 80%. Mimo to wyniki przez nich uzyskane były w większości niższe niż studentów biorących udział w badaniu Pyper (2001) oraz Coletta i Phillips (2005). Średni wynik uczniów w badaniach Musheno i Lawsona (1999) wyniósł 88%.

Powyżej przytoczone wyniki badań, przedstawiające poziom umiejętności rozumowania naukowego wśród uczniów i studentów z innych krajów, są wyższe niż średnie wartości wyników uzyskane przez nauczycieli przedmiotów przyrodniczych stanowiących opisywaną grupę badawczą. Polscy nauczyciele biorący udział w badaniu osiągnęli zatem wyniki często niższe niż studenci kierunku nauczanego przez nich przedmiotu w innych krajach. Na tej podstawie można przypuszczać, że ci nauczyciele nie są w stanie kształtować w uczniach umiejętności rozumowania naukowego na wysokim poziomie, bo sami tej umiejętności dobrane rozwiniętej nie posiadają.

Analiza rysunków 4-5. wskazuje ponadto silną korelację negatywną w tej grupie. Im bardziej pozytywny wynik przyrostu/zmiany, tym niższy wiek. Wskazuje to, że nauczyciele w młodym wieku są bardziej nowatorscy i chętniej „ulegają” nowinkom dydaktyczno–metodycznym.

Aby móc wykonywać zawód nauczyciela w szkole, należy w Polsce m.in. ukończyć studia wyższe oraz stosowny kurs pedagogiczny. Wszystkie osoby biorące udział w szkoleniu spełniały te kryteria i były aktywnymi nauczycielami. Co więcej, większość z nich ukończyła więcej niż jeden kierunek studiów. Analiza oraz porównanie wyników pokazują, że posiadane wykształcenie i wiedza nie są czynnikami decydującymi o umiejętności rozumowania w przedmiotach przyrodniczych, mierzonych z wykorzystaniem testów Lawsona; taki brak korelacji wykazała również Coletta i Phillips (2005). Co więcej, szkolenia z metodologii stosowania nauczania opartego na samodzielnym dociekaniu wiedzy przez uczniów nie muszą pozytywnie wpływać na umiejętność rozumowania w zakresie przedmiotów przyrodniczych.

Refleksja autorów

W sposobie prowadzenia lekcji przez nauczyciela, który w dużej mierze korzysta tylko z metod podających; w formach egzaminacyjnych, które często są ukierunkowane na sprawdzenie wiedzy teoretycznej, a nie umiejętności, jakie powinien posiadać młody adept na danym etapie edukacyjnym; a także w szerszym kontekście polskiej myśli oświatowej, nadal aktualne pozostają słowa Jurija Łotmana (1994) „...świat, w którym żyjemy, wciąż chce otrzymywać najwyższe wartości możliwie najmniejszym kosztem. Jak leniwy uczeń, który ściągą gotowe rozwiązania, zamiast samodzielnie rozwiązywać zadania. Chcemy otrzymać prawdę możliwie najszybciej, jak gotowe buty uszyte dla wszystkich i dla nikogo.” Ważne jest zatem, aby podjąć próbę wdrażania IBSE do polskich programów szkolnych. Istotne są szkolenia dla nauczycieli, warsztaty, szkoły dydaktyki, przedsięwzięcia zmierzające ku temu, aby popularyzować nauczanie przez odkrywanie i czynić je środkiem do osiągania sukcesów w kontaktach uczeń – nauczyciel. Nade wszystko by nauczyciel mógł w lepszy sposób realizować misyjny charakter swojej pracy – kształcenie kompetentnych, wyposażonych w wiedzę i umiejętności młodych ludzi, przygotowanych w dobry sposób nie tylko na dalsze etapy kształcenia, ale także na dalsze życie. Poza szkoleniami z zakresu stosowania IBSE niezbędne wydają się być również szkolenia dla nauczycieli ukierunkowane ściśle na rozwijanie umiejętności rozumowania naukowego w zakresie przedmiotów przyrodniczych.

Podziękowania

Opisane badanie zostało przeprowadzone podczas realizacji projektu SAILS. Badanie to nie stanowiło zadania projektowego i nie było finansowane z środków przeznaczonych na realizację projektu.

Projekt SAILS uzyskał dofinansowanie z Siódmego Programu Ramowego Unii Europejskiej [FP7/2007-2013], zgodnie z umową o dofinansowanie nr 289085, oraz dofinansowanie ze środków na naukę w latach 2013-2015 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego.

Bibliografia

- Abdellatif, H.R., Cummings, R., Maddux, C.D. (2008). Factors affecting the development of analogical reasoning in young children: a review of literature. *Education*, 129(2), 239-249.
- Adey, P. (1999). Thinking Science: Science as a gateway to general thinking ability. In: Hamers, J. M., Van Luit, J. E. and Csapó, B. Eds., 1999. *Teaching and learning thinking skills*, 63-80. Lisse: Swets and Zeitlinger.
- Barevalo-Garcia, E., Buczek, I., Chrzanowski, M., Grajkowski, W., Hałaczek, J., Horodecki, K., Kędziora, M., Musialik, T., Nowacki, E., Ostrowska, U., Poziomek, M., Setti, K., Spalik, M., Studzińska, P., Walicki, P. (2013). *Dobre praktyki w przyrodniczej edukacji pozaformalnej*. Warszawa: Instytut Badań Edukacyjnych.
- Brown, N.J.S., Nagashima, S.O., Fu, A., Timms, M., Wilson, M. (2010). A framework for analyzing scientific reasoning in assessments. *Educational Assessment*, 15(3-4), 142-174.
- Caroll, J.B. (1993). *Human cognitive abilities. A survey of factor-analytic studies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chance, B.L. (2002). Components of statistical thinking and implications for instruction and assessment. *Journal of Statistics Education*, 10(3). Pobrane z: www.amstat.org/publications/jse/v10n3/chance.html [Dostęp 10 czerwiec 2014].
- Coletta, P.V., Phillips, A.J. (2005). Interpreting FCI scores: Normalized gain, preinstruction scores, and scientific reasoning ability. *American Journal of Physics*, 73(12) 1172-1182.
- Csapó, B. (1992). Improving operational abilities in children. In A. Demetriou, M. Shayer and A. Efklides, *Neo-Piagetian theories of cognitive development. Implications and applications for education*. London: Routledge and Kegan, 144-159.
- Csapó, B. (1997). Development of inductive reasoning: Cross-sectional measurements in an educational context. *International Journal of Behavioral Development*, 20(4), 609-626.
- Dąbrowski, M., Wiśniewski, J. (2011). Translating key competences into the school curriculum: lessons from the Polish experience. *European Journal of Education*, 46(3), 323-334.
- Dylak, S. red., (2011). *Strategia kształcenia wyprzedzającego*. Poznań: Ogólnopolska Fundacja Edukacji Komputerowej.
- Frensch, P.A., Funke, J. red. (1985). *Complex problem solving: The European perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Giroto, V. , Gonzalez, M. (2008). Children's understanding of posterior probability. *Cognition*, 106(1), 325-344.
- Hamers, J.H.M., de Koning, E., Sijtsma, K. (1998). Inductive reasoning in third grade: Intervention promises and constraints. *Contemporary Educational Psychology*, 23(2), 132-148.

- Howson, C., Urbach, P. (1996). Scientific reasoning. *The Bayesian approach*. 2nd ed. Chicago: Open Court Publishing Company.
- Johnson-Laird, P. N. (2006). *How we reason*. Oxford: Oxford University Press.
- Jones, G.A., Langrall, C. W., Thornton, C.A., Mogill, A.T. (1997). A framework for assessing and nurturing young children's thinking in probability. *Educational Studies in Mathematics*, 32, 101-125.
- Jones, G.A., Langrall, C. W., Thornton, C.A., Mogill, A.T. (1999). Students' probabilistic thinking in instruction. *Journal for Research in Mathematics Education*, 30 (5), 487-519.
- Kishta, M.A., (1979). Proportional and combinatorial reasoning in two cultures. *Journal of Research in Science Teaching*, 16(5), 439-443.
- Klauer, K. J. (1989). Teaching for analogical transfer as a means of improving problem solving, thinking, and learning. *Instructional Science*, 18, 179-192.
- Koerber, S., Sodian, B., Thoermer, C., Nett, U. (2005). Scientific reasoning in young children: Preschoolers' ability to evaluate covariation evidence. *Swiss Journal of Psychology*, 64(3), 141-152.
- Kuhn, D., Pease, M., Wirkala, C. (2009). Coordinating the effects of multiple variables: A skill fundamental to scientific thinking. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(3), 268-284.
- Kuhn, D., Phelps, E. and Walters, J., 1985. Correlational reasoning in an everyday context. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 6(1), 85-97.
- Lawson, A.E., Adi, H., Karplus, R. (1979). Development of correlational reasoning in secondary schools: Do biology courses make a difference? *American Biology Teacher*, 41(7), 420-425.
- Lawson, E.A. (2000a). *Classroom Test of Scientific Reasoning*. [online] Arizona State University. Dostępny na: <<http://www.public.asu.edu/~anton1/LawsonAssessments.htm>>
- Lawson, E.A. (2000b). The generality of hypothetico – deductive reasoning: making scientific thinking explicit. *The American Biology Teacher*, 62(7), 482-495.
- Lawson, E.A. (2003). The nature and development of hypothetico – predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1387-1408.
- Lawson, E.A., (1978). The development and validation of a classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 15(1), 11-24.
- Lawson, E.A., (2005). What is the role of induction and deduction in reasoning and scientific inquiry? *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 716-740.
- Lockwood, E. (2013). A model of students' combinatorial thinking. *Journal of Mathematical Behavior*, 32(2), 251-265.
- Łotman, J. (1993). Im więcej wiem, tym więcej nie wiem, *Człowiek*, 6.
- MEN (2008). Act of The Polish Parliament. Regulation of the Minister of Education, 23 December 2008. 4(17).
- MEN (2013). Act of The Polish Parliament. Regulation of the Minister of Education, 30 September 2013.(c.520). Warszawa: Dziennik Ustaw RP.

- MEN, (2008). Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 23 grudnia 2008 r. w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz kształcenia ogólnego w poszczególnych typach szkół, online: <http://isap.sejm.gov.pl/Download.jsessionid=5E465E6D28C9749CCF8094DFC0650833?id=WDU20090040017&type=2> [dostęp 10.09.2015].
- Musheno, V.B., Lawson, E.A., (1999). Effects of Learning Cycle and Traditional Text on Comprehension of Science Concepts by Students at Differing Reasoning Levels. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 23-37.
- OECD, (2003a). *The OECD 2003 Assessment Framework. Mathematics, Reading, Science and Problem Solving*. Paris: OECD.
- OECD, (2003b). *Learners for life. Student approaches to learning. Results from PISA 2000*. Paris: OECD.
- OECD, (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy. A framework for PISA 2006*. Paris: OECD.
- OECD, (2009). *PISA 2009 Assessment Framework. Key competencies in reading, mathematics and science*. Paris: OECD.
- OECD, (2012). *Draft PISA 2015 Collaborative Problem Solving assessment framework*. Paris: OECD.
- OECD, (2013). *PISA 2012 assessment and analytical framework. Mathematics, reading, science, problem solving and financial literacy*. Paris: OECD.
- Polya, G. (1968). *Induction and analogy in mathematics* (Mathematics and Plausible Reasoning, v. 1). Princeton: Princeton University Press
- Pyper, A.B. (2011). Changing scientific reasoning and conceptual understanding in college students. *Physics Education Research Conference. AIP Conference Proceedings*, 1413, pp. 63-65.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Brussels: European Communities.
- Ross, J.A., Cousins, B. (1993). Enhancing secondary school students' acquisition of correlational reasoning skills. *Research in Science & Technological Education*, 11(2), 191-205.
- SAILS (2012). <http://sails-project.eu>
- SAILS Project, (2013). *Report on the strategy for the assessment of skills and competencies suitable for IBSE*. Dublin: Dublin City University.
- Schröder, E., Bödeker, K., Edelstein, W., Teo, T. (2000). Proportional, combinatorial, and correlational reasoning. A manual including measurement procedures and descriptive analyses. Study „Individual Development and Social Structure”. *Data Handbooks Part 4*. Berlin: Max Planck Institute for Human Development.
- Venville, G., Adey, P., Larkin, S., Robertson, A. (2003). Fostering thinking through science in the early years of schooling. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1313-1332.
- Watters, J.J., English, L.D. (1995). Children's application of simultaneous and successive processing in inductive and deductive reasoning problems: Implications for developing scientific reasoning skills. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(7), 699-714.
- Williams, R.L. (1999). Operational definitions and assessment of higher-order cognitive constructs. *Educational Psychology Review*, 11(4), 411-427.