

Zorientowane na studenta nauczanie podstaw techniki cyfrowej

Streszczenie. W artykule omówiono wyniki eksperymentu dydaktycznego przeprowadzonego w latach 2015/16 – 2017/18 i dotyczącego nauczania podstaw techniki cyfrowej. W ramach eksperymentu znacząco zmieniono sposób prowadzenia wykładów poprzez zastosowanie szeregu nowoczesnych technik nauczania o udokumentowanej efektywności, z których najważniejsze to: 1) stymulowanie pozytywnej relacji student – nauczyciel, 2) wprowadzanie nowych pojęć w sposób indukcyjny, intrygujący i przeczący intuicji, 3) stosowanie formatywnych, anonimowych quizów, 4) stymulowanie nauczania wzajemnego studentów, 5) użycie nowych technologii do zbierania informacji zwrotnej. W rezultacie uzyskano znaczną poprawę frekwencji wykładowej oraz osiągnięć studentów. Przedstawione podejście może być pomocne w nauczaniu innych przedmiotów inżynierskich.

Abstract. The paper presents results of an educational experiment carried out in the academic years 2015/16 – 2017/18 and concerning teaching an introductory digital design course. In the experiment, a combination of effective research-based student-centered teaching methods were applied in lectures. These included: 1) stimulation of positive student–teacher relationship; 2) introduction of new concepts in inductive, intriguing, and counterintuitive ways; 3) adopting formative, anonymous quizzes; 4) stimulating peer instruction; and 5) use of new technologies to effectively gather student feedback. The new lecturing approach resulted in significant improvement of lecture attendance and student achievements measured by exam grades. The presented approach can benefit other engineering educators in similar courses. (**Student-Centered Teaching of Introductory Digital Design**).

Słowa kluczowe: nauczanie aktywne, nauczanie indukcyjne, nauczanie rówieśnicze, puzzle-based learning, układy cyfrowe, wykłady, informacja zwrotna

Keywords: active learning, inductive teaching, peer instruction, puzzle-based learning, digital systems, lecture, student feedback

Wprowadzenie

W nauczaniu przedmiotów podstawowych mamy często do czynienia z przeładowaniem treściami oraz relatywnie małą liczbą godzin zajęć. Dotyczy to szczególnie wykładów, które z tych powodów są prowadzone pośpiesznie w formie prezentacji slajdów przerywanej krótkimi sesjami pytań i odpowiedzi. Takie podejście do zajęć rzadko przynosi zakładane efekty kształcenia [1]. Studenci mają obecnie swobodny dostęp do materiałów wykładowych i oczekują od nauczycieli zajęć interesujących, na których są w stanie zrozumieć prezentowane zagadnienia i nabyć praktyczne umiejętności. Niestety, kiedy te nowe oczekiwania spotykają się z niezmiennym od lat, tradycyjnym sposobem przekazywania wiedzy, studenci szybko tracą zainteresowanie przedmiotem i motywację do nauki. W wykładach uczestniczy mała liczba słuchaczy, z których pewna część, w sposób dyskretny, choć zauważalny, zajmuje się obsługą telefonów komórkowych, tabletów czy laptopów w celach nie związanych z nauką przedmiotu. Takie postawy są krytykowane przez wielu wykładowców, którzy obwiniają studentów za brak zainteresowania nauką, bierność czy nieprzygotowanie do zajęć. Część nauczycieli próbuje motywować studentów poprzez częste i surowe ocenianie, inni obniżają wymagania nie chcąc poświecać wiele dodatkowego czasu biernym studentom. W obu przypadkach efekty kształcenia są złe, a poziom satysfakcji wykładowców i studentów niewielki lub żaden.

Aby złagodzić ten problem, uczelnie, a także poszczególni nauczyciele, zaczynają wprowadzać nowe metody nauczania takie jak kształcenie na bazie problemu, (ang. *Problem-Based Learning, PBL*), uczenie myślenia projektowego (ang. *Design Thinking, DT*), czy też metodykę studium przypadku (ang. *Case Teaching, CT*). Wymienione metody nauczania jednakże nie są zalecane na pierwszych latach studiów [1]. Ponadto, aby je prawidłowo stosować pod względem metodycznym, nauczyciel powinien przejść odpowiednie kursy przygotowawcze oraz zmienić zasadniczo sposób prowadzenia zajęć, co wymaga dużo czasu i wysiłku. Dlatego też ich wdrażanie spotyka się z dużym oporem ze strony nauczycieli.

Alternatywą do wyżej wymienionych metod może być nauczanie zorientowane na studenta (ang. *Learner-*

Centered Teaching, LCT), które przesuwają w stronę studenta odpowiedzialność za proces uczenia się [1] - [5]. Rolą nauczyciela jest stymulowanie aktywności studentów przez stosowanie różnorodnych metod jak interaktywny e-learning, nauczanie rówieśnicze (ang. *peer instruction*), wykłady wideo, forum dyskusyjne, czy quizy. Podejście to również spotyka się z krytyką ze strony nauczycieli ze względu na zbyt duży wysiłek niezbędny do przygotowania materiałów e-learningowych oraz aktywnego uczestniczenia w komunikacji on-line ze studentami [6].

W celu pokonania tych barier, proponowane w artykule podejście polega na zastosowaniu takich technik nauczania zorientowanego na studenta, które nie wymagają czasochłonnego przygotowania. Nowe podejście zostało zastosowane po raz pierwszy w roku 2015/16 dla grupy 40 studentów trzeciego semestru studiów I-go stopnia na kierunkach „*Computer Science*” oraz „*Telecommunications with Computer Science*” w Centrum Kształcenia Międzynarodowego Politechniki Łódzkiej [7]. Przedmiot z podstaw techniki cyfrowej o nazwie *Digital Systems (DS)* składał się z 30 godzin wykładu i 15 godzin laboratorium, a liczba punktów ECTS wynosiła 4. Główną motywacją do wprowadzenia zmian były: 1) niezadowolające osiągnięcia studentów, 2) mała frekwencja na wykładach 3) narastająca frustracja prowadzącego wykłady. Eksperyment miał odpowiedzieć na zasadnicze pytanie: „W jakim stopniu zastosowanie nauczania zorientowanego na studenta wpłynie pozytywnie na frekwencję wykładową i wyniki końcowe studentów?”

Opis i uzasadnienie wprowadzonych zmian

Zmiany w przedmiocie dotyczyły wykładu, a nowe strategie miały być stosowane przez nauczyciela głównie podczas godzin kontaktowych. Z tego względu nie brano pod uwagę technologii e-learningowych. Kluczowym celem wybranych technik było pobudzenie zainteresowania i spontanicznej ciekawości studentów. Badania naukowe wykazały, że takie stany umysłu wpływają bardzo pozytywnie na motywację do nauki oraz sam proces uczenia się [8].

Zmiany w organizacji przedmiotu

Istotną zmianą organizacyjną było skrócenie czasu realizacji przedmiotu do siedmiu pierwszych tygodni semestru poprzez podwojenie liczby godzin zajęć w tygodniu. Miało to motywować studentów do intensywniejszej nauki, dając możliwość wcześniejszego zaliczenia przedmiotu.

Drugą zmianą było przeprowadzenie podczas wykładów trzech zajęć w formie ćwiczeń, podczas których studenci rozwiązywali zadania przy tablicy. Ponieważ przewidywaną konsekwencją tej zmiany była zmniejszenie czasu dostępnego na omawianie treści przedmiotu, więc zawczasu usunięto treści przestarzałe lub nieistotne z punktu widzenia przyjętych efektów kształcenia. Poza tym, koncepcje i umiejętności, w których biegłość nie jest już obecnie wymagana [9], takie jak minimalizacja funkcji logicznych, twierdzenia algebry Boole'a, zapisywanie liczb w różnych kodach, studenci mieli opanować samodzielnie. Zmniejszenie zakresu wykładanych treści wyniosło ok. 30%.

Rozwijanie pozytywnej relacji student-nauczyciel

Teoria samodeterminacji wskazuje, że poczucie przynależności do społeczności akademickiej jest istotnym czynnikiem wzmacniającym motywację studenta do nauki [8]. W odróżnieniu od uczelni amerykańskich, polscy nauczyciele utrzymują raczej duży dystans do studentów. Zmniejszeniu tego dystansu nie sprzyja formalny język, którym posługują się nauczyciele podczas prowadzenia zajęć. W celu zachęcenia studentów do dyskusji stosowano więc w trakcie wykładów język mniej formalny, humor i dygresje. Przykładowo, mówiąc „*Jeśli chcecie zaliczyć, musicie zająć pierwsze rzędy; dwa ostatnie nigdy nie zdają*”, wykładowca uzyskał zamierzony efekt. Natomiast formalny styl używany w poprzednich latach: „*Zachęcam Państwa do zajmowania pierwszych rzędów; będziecie lepiej widzieć z tablicy*”, praktycznie nie wpłynął na zachowanie studentów. Podobnie zamiast pytać: „*Czy zrozumieliście Państwo moje wyjaśnienia?*” wykładowca mówił młodzieżowym slangiem „*Ogarniacie to?*”. W takiej swobodnej atmosferze studenci chętnie angażowali się w dyskusje, zadawali pytania, nie obawiali się popełnienia błędu czy okazania ignorancji.

Nowe strategie wprowadzania koncepcji

Przy wprowadzaniu zagadnień z techniki cyfrowej wykładowca starał się rozbudzać u studentów zainteresowanie i ciekawość poznania nowych pojęć i definicji. Przykładowo, termin „boolowski” jest powszechnie rozumiany jako posiadający dwie wartości, 0 i 1. Aby wywołać zdziwienie studentów, przed wprowadzeniem algebry dwuelementowej, przedstawiona została czteroelementowa algebra Boole'a zawierająca liczby: 1, 2, 3 i 6.

Najważniejszą strategią służącą rozbudzeniu ciekawości był indukcyjny sposób nauczania, szeroko stosowany w fizyce i chemii [10], którego mottem jest: „*najpierw zjawisko, potem teoria*”. W taki sposób wprowadzono m.in. koncepcję reprezentacji zmiennoprzecinkowych liczb rzeczywistych. Przy użyciu środowiska języka Python pokazano najpierw studentom, że komputer „nie potrafi liczyć”:

In : $0.1 + 0.1 + 0.1 = 0.3$
Out : *False*

Nieliczni studenci wyjaśniali to kumulowaniem się błędów zaokrągleń. Wtedy wykładowca prezentował kolejne porównanie:

In : $0.1 + 0.1 + 0.1 + 0.1 = 0.4$
Out : *True*

Ku zaskoczeniu studentów błędy zaokrągleń nie tłumaczyły w pełni obserwowanego problemu. Ciekawość studentów

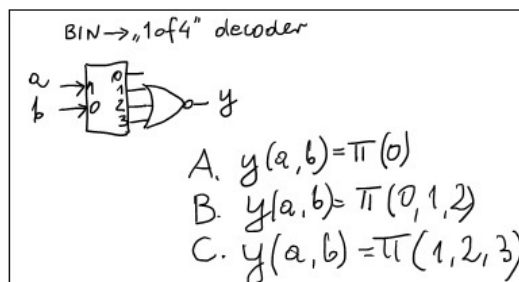
była tak duża, że do końca zajęć z uwagą i zaangażowaniem słuchali wyjaśnień dotyczących przyczyn tych „błędów”.

W podobny sposób wprowadzano koncepcję multipleksera, prezentując go początkowo jako „magiczny” element, który połączony na różne sposoby z jedną bramką NOT może realizować ponad 65 tysięcy różnych funkcji logicznych. Następnie pokazano „prostotę działania” tego elementu, nazywając go od tej pory multiplekserem. Jeśli dla pewnych koncepcji trudno było użyć metody indukcyjnej, stosowano „zaskakujące” uproszczenia, mówiąc np. „*Processor to tylko duży zbiór połączonych i zależnych od siebie przetłaczników*”.

Jeszcze inną strategią było wyjaśnianie studentom praktycznego znaczenia omawianych zagadnień. Jest to o tyle istotne, że wielu studentów uważa, że na studiach uczą się niepotrzebnej wiedzy i zbędnych umiejętności, np. wyznaczają analitycznie całki czy udowadniają twierdzenia, co działa na nich demotywująco. Mając to na uwadze, wykładowca podkreślał podczas takich „niepotrzebnych” aktywności, że rozwijają one myślenie analityczne, krytyczne, abstrakcyjne, kreatywność lub wyobraźnię projektową, które są ogólnymi umiejętnościami cenionymi we wszystkich dziedzinach inżynierii.

Nowe formy komunikacji

Formatywna informacja zwrotna pozwala wykryć problemy w sposobie myślenia studentów i szybko na nie zareagować [1], [5]. Standardowe sesje pytań i odpowiedzi nie sprawdzają się jako metoda zbierania informacji zwrotnej od studentów młodszych lat, którzy obawiają się kompromitacji. Dlatego dużo lepiej sprawdzają się systemy ARS (ang. *Audience Response Systems*), które zapewniają studentom anonimowość. W eksperymencie używano internetowej aplikacji mobilnej „Socratic” [11]. Pytania były formułowane ad-hoc przez wykładowcę lub prezentowane na ekranie w postaci quizów wzorowanych na metodologii „puzzle-based learning” [12], w których znane zagadnienie było przedstawiane w nowym, wcześniej nie prezentowanym kontekście. Odpowiedzi studentów zapisywane w ich telefonach lub tabletach były zbierane z użyciem trybu „Quick Question”, co nie wymagało wcześniejszej konfiguracji czy obsługi. Quizy były przygotowywane przed wykładem z użyciem tabletu graficznego i programu MS Power Point. Przykładowe pytanie pokazano na rys. 1. Studenci mieli 2-3 minuty na wybranie odpowiedzi, po czym wyświetlano wyniki zbiorcze na ekranie. Jeśli nie były one zadowalające, tzn. odnotowano ok. 30-40% błędnych odpowiedzi, to wykładowca inicjował krótką 1-2 minutową sesję „peer instruction”, podczas której siedzący obok siebie studenci wyjaśniali sobie własne odpowiedzi. Ponowne „głosowanie” nad tym samym pytaniem znacznie zwiększało liczbę poprawnych odpowiedzi, co dodatkowo motywowało studentów do uczenia się w gronie rówieśniczym. Podawane na końcu poprawne rozwiązania pozwalały studentom ocenić własną odpowiedź.



Rys. 1. Przykładowe pytanie anonimowego quizu samooceny

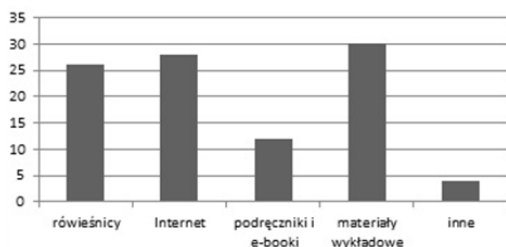
Tablet graficzny był używany również podczas wykładów jako alternatywa dla metody „kredy i tablicy” i prezentacji slajdów. Slajdy służyły głównie do podsumowywania zagadnień wyjaśnianych z użyciem tabletu. W ten sposób zmniejszyło się tempo podawania wiedzy, co w efekcie pozwoliło utrzymać uwagę studentów przez dłuższy czas. Okresy wykładania nowych treści trwały 5-10 minut i były przedzielane sesjami aktywności studentów, podczas których odpowiadali na pytania quizu lub „podpowiadali” wykładowcy ciąg dalszy rozwiązań. Przykładowo, podawali na głos wartości dla tablicy prawdy, dyktowali wyrażenia logiczne dla kolejnych kroków minimalizacji Karnaugh lub instruowali jak narysować schemat logiczny układu. Rola wykładowcy sprowadzała się wówczas do kopiowania na ekran rozwiązań studenckich. Następnie odbywała się krótka dyskusja w trakcie której wykładowca nanosił zmiany sugerowane przez studentów, po czym omawiał poprawność końcowego rozwiązania i korygował ewentualne błędy. Każdy wykład kończył się rejestracją obecności przy użyciu elektronicznych legitymacji studenckich oraz konsultacjami indywidualnymi.

Dyskusja uzyskanych wyników

Przedstawiona metodyka nauczania techniki cyfrowej była kontynuowana w kolejnych dwóch latach akademickich z kilkoma modyfikacjami. W roku akademickim 2017/18, uwzględniając głos 78% studentów pozytywnie oceniających w ankietach ćwiczeniową formę zajęć realizowaną na wykładach, wprowadzono tę formę nauczania do przedmiotu w wymiarze 10 godzin. Przeprowadzona ankietyzacja ujawniła również, że studenci podczas nauki przedmiotu w bardzo małym stopniu korzystają z książek i e-booków (rys. 2).

Dlatego też od roku 2017/18 polecano studentom więcej konkretnych źródeł internetowych, m. in. gry „Logic gates” z portalu „Khan Academy”, krótkie prezentacje z portalu „TED talks” oraz wykłady wideo dostępne na „YouTube”.

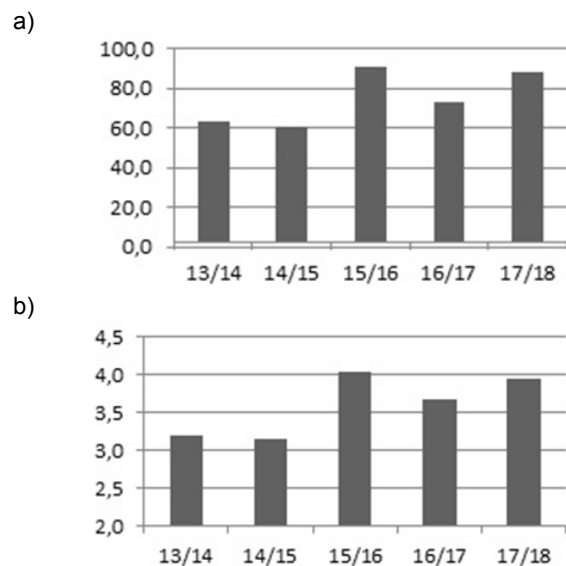
Skuteczność nowego metodyki nauczania oceniono przez porównanie średnich ocen końcowych i średnich frekwencji na wykładach w latach akademickich 2015/16–2017/18 z wartościami uzyskanymi przy stosowaniu tradycyjnego sposobu wykładania przedmiotu w latach akademickich 2013/14–2014/15. We wszystkich rozpatrywanych latach, formularze egzaminacyjne pochodziły z tego samego zbioru zestawów zadań o podobnym stopniu trudności, a zakładane efekty kształcenia, kryteria oceny oraz osoba sprawdzająca egzaminy były takie same. Obecność na wykładach nie była brana pod uwagę przy wystawianiu oceny końcowej, o czym studenci zostali poinformowani na początku zajęć.



Rys. 2. Preferowane przez studentów źródła wiedzy wykorzystywane do nauki przedmiotu. Dane skumulowane z lat akademickich 2015/16–2016/17 wyrażone w liczbie studentów

Wyniki porównania (rys. 3) wyraźnie świadczą o dużej skuteczności zastosowanej metody dydaktycznej. Wzrost frekwencji w latach akademickich 2015/16–2017/18 w stosunku do roku 2014/15 wynosił od 20% do ok. 50%.

Analiza danych z użyciem testu *t* Welcha potwierdziła, że wzrost ten był statystycznie istotny (wartości *p* odpowiednio: $p < 10^{-6}$, $p < 0,042$ i $p < 10^{-6}$). Podobnie wzrost średniej oceny z egzaminu w stosunku do roku 2014/15 był statystycznie istotny (wartości *p* odpowiednio: $p < 10^{-4}$, $p < 0,008$ i $p < 10^{-4}$) i wynosił od 0,52 do 0,88. Na zróżnicowanie wyników uzyskanych w latach akademickich 2013/14–2017/18 nie miały wpływu różnice potencjału intelektualnego badanych grup studenckich - średnie wyniki uzyskane w czasie kolejnych rekrutacji były bardzo podobne i wynosiły od 728 do 748 punktów. Uzyskane wyniki potwierdzają znaną, ścisłą zależność pomiędzy obecnością na wykładach a osiągnięciami studentów [13].



Rys. 3. Średnia frekwencja na wykładach (a) oraz średnia ocena końcowa (b) w latach akademickich 2013/14–2017/18

Podsumowanie i wnioski

Jednym z ograniczeń przedstawionego eksperymentu jest to, że zastosowane strategie były oceniane holistycznie i nie wiadomo, które techniki były najbardziej efektywne, a które nie miały większego wpływu na wyniki nauczania. Przy wyborze poszczególnych strategii mogą być pomocne następujące obserwacje i rekomendacje wykładowcy. Stosowanie przyjaznego, mniej formalnego języka i humoru powodowało znaczny wzrost zaangażowania studentów. Ta technika była jednak najtrudniejsza do zastosowania ze względu na zakorzenione przyzwyczajenia wykładowcy. Nauczanie indukcyjne oraz quizy zintegrowane z nauczaniem rówieśniczym (ang. *peer instruction*) to techniki zalecane już od pierwszych zajęć. Kolejne metody powinny być dodawane stopniowo i stosowane zamiennie dla uzyskania efektu nowości i zaskoczenia. Zauważono również, że demonstrowany przez nauczyciela entuzjazm i zaangażowanie bardzo pozytywnie stymuluje aktywność studentów.

Proponowana metodyka nauczania wymaga od nauczyciela stosunkowo niewielkiego dodatkowego nakładu pracy, co może sprzyjać jej akceptacji przez szersze grono wykładowców. W eksperymencie zrezygnowano z użycia technologii e-learningowych z uwagi na brak czasu niezbędnego do przygotowania interaktywnych materiałów edukacyjnych. Należy mieć jednak świadomość ich cechy szczególnej, a mianowicie umożliwiają one studentowi naukę i wielokrotne powtarzanie materiału w dogodnym dla niego czasie, przy użyciu preferowanych przez niego formatach i tempie dostarczania wiedzy.

Stosowanie nowoczesnych technik nauczania sprawiało

wykładowcy wielokrotnie ogromną satysfakcją, na przykład gdy obserwował swoich studentów tak bardzo pochłoniętych rozwiązywaniem zadanego problemu, że przez kilkanaście minut nie reagowali na ogłaszany przez niego koniec zajęć.

Autor: dr inż. Piotr Dębiec, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Instytut Elektroniki, Politechnika Łódzka, ul. Wólczańska 211/215, 90-924 Łódź

LITERATURA

- [1] R. M. Felder and R. Brent, "Teaching and Learning STEM: A Practical Guide", Jossey-Bass, 2016.
- [2] O. Arbelaitz, J. I. Martin, J. Muguerza, "Analysis of introducing active learning methodologies in a basic computer architecture course", IEEE Trans. Educ., vol. 58, no. 2, pp. 110–116, 2015.
- [3] J. L. Duffany, "Application of Active Learning Techniques to the Teaching of Introductory Programming", IEEE – RITA (Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje), vol. 12, no. 1, pp. 62–69, 2017.
- [4] I. Verginis, A. Gogoulou, E. Gouli, M. Boubouka, M. Grigoriadou, "Enhancing Learning in Introductory Computer Science Courses Through SCALE: An Empirical Study", IEEE Trans. Educ., vol. 54, no. 1, pp. 1–13, 2011.
- [5] M. Weimer, "Learner-Centered Teaching: Five Key Changes to Practice", Jossey-Bass, 2013.
- [6] C. Henderson and M. H. Dancy, "Barriers to the use of research-based instructional strategies: The influence of both individual and situational characteristics", Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res., vol. 3, no. 2, pp. 1–14, Jul.-Dec. 2007.
- [7] P. Dębiec, "Effective Learner-Centered Approach for Teaching an Introductory Digital Systems Course", IEEE Trans. Educ., vol. 61, no. 1, Feb. 2018.
- [8] P.-Y. Oudeyer, J. Gottlieb, M. Lopes, "Intrinsic motivation, curiosity and learning: Theory and applications in educational technologies" w Motivation Theory, Neurobiology and Applications (Progress in Brain Research, vol. 229), B. Studer and S. Knecht, Eds., Elsevier B. V., pp. 257–284, 2016.
- [9] K. M. Nickels, "What are the 'Fundamentals' of Modern Digital Logic Design?," Proc. 2005 ASEE Gulf-Southwest Annu. Conf., 2005.
- [10] M. J. Prince and R. M. Felder, "Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases", J. Eng. Educ., vol. 95, no. 2, pp. 123–138, 2006.
- [11] D. M. Coca and J. Slisko, "Software Socratic and Smartphones as Tools For Implementation of Basic Processes of Active Physics Learning in Classroom: An Initial Feasibility Study With Prospective Teachers", Eur. J. Phys. Educ., vol. 4, no. 2, pp. 17–24, 2013.
- [12] N. Falkner, R. Sooriamurthi, and Z. Michalewicz, "Puzzle-Based Learning for Engineering and Computer Science", Computer, vol. 43, no. 4, pp. 20–28, 2010.
- [13] A. Lukkarinena, P. Koivukangasa, and T. Seppälää, "Relationship between class attendance and student performance", Procedia – Social and Behavioral Sciences, vol. 228, pp. 341–347, June 2016