

Komputyka i myślenie komputacyjne w rozwiązywaniu problemów dyscypliny inżynieria lądowa i transport



dr hab. inż.
R. ROBERT GAJEWSKI
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
ORCID: 0000-0002-2521-6559



mgr inż.
SEBASTIAN GRABIŃSKI
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
ORCID: 0000-0002-4804-0285

Na całym świecie, we wszystkich dyscyplinach komputyka i myślenie komputacyjne staje się elementem procesu kształcenia i stymulatorem badań naukowych. Celem pracy jest zainteresowanie czytelnika problematyką komputyki i myślenia komputacyjnego oraz przybliżenie zasad i potencjału komputyki w rozwiązywaniu problemów badawczych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport.

Pojęcia komputyka (ang. *computing*) i myślenie komputacyjne (ang. *computational thinking*) wprowadziła do kształcenia nowa podstawa programowa dla szkoły podstawowej z 2015 roku. Postawiła ona te pojęcia obok umiejętności czytania, pisania i rachowania jako podstawową umiejętność wymagającą alfabetyzacji. Oznacza to, że pierwsi kandydaci na studentów wyposażeni także w te umiejętności pojawiają się na uczelniach dopiero za pięć lat, a pierwsi absolwenci studiów zasilą rynek pracy dopiero za dziesięć lat. Istnieje więc nagła potrzeba wypełnienia tej luki kompetencyjnej i pojęciowej w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w tym także w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa i transport, aby zapewnić jej harmonijny i dynamiczny rozwój zarówno w obszarze badań naukowych oraz rozwoju, jak również edukacji i kształcenia przyszłych kadr.

Pojęcia

Komputyka obejmuje swoim zakresem: informatykę, inżynierię oprogramowania, systemy informacyjne, technologię informacyjną i wiele innych dziedzin związanych z komputerami. Myślenie komputacyjne to użyteczne postawy i umiejętności, jakie każdy, nie tylko informatyk, powinien starać się wykształcić i stosować przy rozwiązywaniu problemów, sprowadzające się do przeprowadzenia czterech kroków rozumowania: dekompozycji na prostsze składniki, identyfikacji prawidłowości i schematów, uogólniania oraz eliminacji nieistotnych elementów, a na koniec tworzenia algorytmu i jego weryfikacji.

Myślenie komputacyjne jest obecnie jednym z podstawowych założeń edukacji informatycznej na różnych poziomach. Umiejętności i postawy, których wymaga myślenie komputacyjne, są kluczowe dla rozwijania kompetencji i umiejętności umożliwiających twórcze oraz konstruktywne funkcjonowanie we współczesnym świecie.

Protoplaści myślenia komputacyjnego

Pojęcie myślenia komputacyjnego zostało po raz pierwszy użyte przez Paperta w 1980 [1]. Pierwsze elementy myślenia komputacyjne

go można znaleźć w książce Polya sprzed 75 lat [2]. Zgodnie z tą koncepcją rozwiązywanie problemów bazuje na czterech zasadach.

1. Zrozumienie problemu (jakie są niewiadome i dane, a także dodatkowe warunki).
2. Opracowanie planu (czy znane jest rozwiązanie podobnego problemu i czy można je wykorzystać).
3. Wykonanie planu (kontrola każdego kroku).
4. Spojrzenie wstecz (sprawdzenie wyników).

Pomostem między rozwiązywaniem problemów matematycznych i komputerowych (komputacyjnych) jest raport Knutha z 1980 roku [3]. Za współczesną matkę i prekursorkę myślenia komputacyjnego uważana jest Wing, która jako profesor University of Columbia w 2006 roku opublikowała artykuł zatytułowany po prostu *Computational Thinking* [4]. Idea ta została szerzej przedstawiona dwa lata później [5]. W Polsce propagatorem idei myślenia komputacyjnego jest Sysło [6], [7].

Myślenie komputacyjne, wbrew nazwie, która jest dla wielu dziwna, nie jest trudnym i skomplikowanym procesem. Sprowadza się ono do powtarzalnego czterostopniowego procesu myślowego stosowanego do rozwiązywania skomplikowanych problemów. W tym sensie myślenie komputacyjne jest bliskie założeniom pedagogicznym Deweya [8] sprzed stu lat, który uważał nabywanie umiejętności rozwiązywania problemów za najważniejsze w rozwoju myślenia. (Polskie powojenne wydanie tej książki ukazało się w 1957 roku [9].) Według Deweya proces rozwiązywania problemów można podzielić na pięć faz.

Istnieje potrzeba powrotu do źródeł rozumienia problemów, co umożliwi właśnie komputyka i myślenie komputacyjne. Sprowadza się ono do powtarzalnego czterostopniowego procesu myślowego stosowanego do rozwiązywania skomplikowanych problemów.



1. Sytuacja problemowa – zrozumienie problemu wspierane przez odpowiednią wiedzę teoretyczną przy uwzględnieniu świadomości braków w wiedzy.
2. Sformułowanie problemu – jakie są dane początkowe, czy są one wystarczające i czy wszystkie są niezbędne.
3. Wstępne gromadzenie informacji o problemie – pełna świadomość problemu i jego uwarunkowań.
4. Sformułowanie hipotezy na podstawie zgromadzonych informacji – poszukiwanie podobnych problemów i ich rozwiązań.
5. Testowanie wybranego rozwiązania w praktyce – wnioski z używanego rozwiązania problemu.

Proces myślenia komputacyjnego

Proces myślenia komputacyjnego składa się z czterech etapów [4].

1. Dekompozycja – sformułowanie problemu i rozłożenie go na części składowe.
2. Analiza – identyfikacja prawidłowości specyficznych dla problemu.
3. Abstrahowanie – eliminacja nieistotnych elementów z wykorzystaniem uogólniania.
4. Tworzenie algorytmu – rozwiązanie problemu, weryfikacja i testowanie rozwiązania.

W ten sposób zdefiniowane i rozumiane myślenie komputacyjne jest w rzeczywistości odbiciem w zasadzie każdego procesu myślowego. Ważne i istotne są umiejętności, które są kształtowane dzięki rozwijaniu myślenia komputacyjnego. Są to między innymi umiejętności: formułowania problemów, zbierania danych, rozkładania problemu na części i rozpoznawania schematów, abstrahowania oraz tworzenia modeli, budowy algorytmów, wykrywania i diagnozowania błędów, komunikacji, oceniania oraz logicznego myślenia. Umiejętności związane z myśleniem komputacyjnym są podstawą do rozwijania postaw i nawyków istotnych w pracy projektowej inżyniera, badacza oraz naukowca. Są to między innymi: potrzeba poszukiwania rozwiązań alternatywnych, zaufanie do uzyskanych rozwiązań, akceptacja rozwiązań przybliżonych, braku lub niezadowalających rozwiązań, a także kreatywność, pomysłowość i umiejętność iteracyjnego udoskonalania efektów pracy.

W latach 50. i 60. wykorzystanie komputerów było sporadyczne. Dominowały obliczenia „ręczne” i metody umożliwiające proste uzyskanie wyników. W mechanice konstrukcji była to iteracyjna metoda Crossa, w zadaniach programowania liniowego w badaniach operacyjnych metoda Simplex. W latach 70. w celu wykonania obliczeń najczęściej trzeba było samodzielnie napisać program. Lata 80. i 90. to pierwsze programy komputerowe, dla których trzeba było przygotować dane

w postaci pliku tekstowego i uruchomić program w trybie wsadowym, czyli dobrze znać zasady jego działania. XXI wiek to dominacja graficznych interfejsów użytkownika znacznie ułatwiających wprowadzanie danych. Jest to bardzo duże zagrożenie, gdyż w zasadzie każdy użytkownik programu może uzyskać jakieś wyniki, najczęściej błędne, które są niejednokrotnie opatrzone komentarzem: „przecież to komputer policzył”. Istnieje więc potrzeba powrotu do źródeł rozumienia problemów, co umożliwi właśnie komputyka i myślenie komputacyjne.

Problemy inżynierskie

Wykorzystanie komputyki i myślenia komputacyjnego w rozwiązywaniu problemów badawczych w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa i transport zostanie przedstawione na dwóch przykładach dotyczących fizyki budowli: określania zapotrzebowania na energię budynku oraz inżynierii transportowej, a dokładniej budowy modeli mezoskopowych ruchu pojazdów. Taki wybór przykładów wynika z zainteresowań naukowych i badawczych autorów. Komputyka i myślenie komputacyjne mogą być pomocne w rozwiązywaniu także innych problemów, gdyż ten sposób postępowania jest uniwersalny.

Modelowanie i symulacja energii budynków

Jednym z wyzwań nadchodzącej dekady jest minimalizacja zużycia energii, której znaczącą część pochłania ogrzewanie lub chłodzenie budynków. Problem efektywnego modelowania i symulacji energii budynku oraz optymalne projektowanie są więc olbrzymim wyzwaniem [10]. Sytuacja problemowa jak w ujęciu Deweya jest bardzo złożona, a w wiedzy dotyczącej tego zagadnienia jest ciągle bardzo wiele luk. W modelowaniu i symulacji energii budynku pierwszy problem pojawia się już na etapie danych i określenia, czy są one wystarczające i czy wszystkie są niezbędne. W budowie modelu obliczeniowego bardzo istotne są trzy kamienie węgielne myślenia komputacyjnego: dekompozycja, czyli rozłożenie problemu na części składowe, analiza, czyli identyfikacja prawidłowości specyficznych dla problemu, a wreszcie na koniec abstrakcja, czyli eliminacja nieistotnych elementów z wykorzystaniem uogólniania. Dzięki temu podejściu w pracy [11] pokazano, że stosując bardzo uproszczony model, uzyskano rozwiązanie różniące się od wyników z komercyjnych programów jedynie o kilka procent.

Mikro-, makro- i mezoskopowe modele ruchu pojazdów

Kolejnym wyzwaniem będzie zapewnienie szybkiego, bezawaryjnego i bezpiecznego transportu. Ciągły rozwój motoryzacji oraz szybkie zwiększanie się ilości dróg o ruchu nieprzerwanym ma znaczący

wpływ na politykę transportową oraz na sposoby zarządzania ruchem na drogach. W celu minimalizacji błędnego wpływu podejmowanych decyzji wykonuje się modele symulacyjne ruchu pojazdów, które można podzielić na kilka rodzajów: mikro-, makro- i mezoskopowe. Modele makroskopowe stosowane są w długoterminowym prognozowaniu ruchu oraz mają charakter statyczny. Z kolei modele mikroskopowe wymagają szczegółowych danych i są trudne w kalibracji. Do analizy doraźnej należy zatem stosować modele mezoskopowe [12], które umożliwiają zarządzanie ruchem na drodze w sposób dynamiczny oraz pozwalają szybko reagować na skutki zdarzeń na drogach. Odwzorowanie dynamiki zmienności natężenia oraz warunków ruchu jest niezwykle ważne w budowie odpowiednich modeli symulacyjnych [13]. Jest to szczególnie ważne w sytuacjach awaryjnych i kryzysowych, kiedy decyzje muszą być podejmowane na bieżąco, w czasie rzeczywistym.

Uwagi końcowe

W ciągu minionej dekady ukazało się wiele monografii przybliżających zagadnienia komputyki i myślenia komputacyjnego wydawanych przez takie renomowane wydawnictwa jak Springer [14] [15], Chapman & Hall CRC Press [16] [17] czy też MIT Press [18]. Kursy myślenia komputacyjnego są już dostępne na wielu wydziałach inżynierii lądowej, na przykład na École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) [19] lub Duke University [20]. Istnieje także wiele kursów na platformach MOOC (ang. *Massive Open Online Courses*), takich jak na przykład kurs *Introduction to Computational Thinking and Data Science* [21] prowadzony na platformie edX.com przez Massachusetts Institute of Technology, na który zapisało się ponad 170 tysięcy uczestników. Prowadzone są też badania dotyczące użyteczności myślenia komputacyjnego [22] oraz wykorzystania tego mechanizmu w modelowaniu i symulacji [23]. Istnieje więc nagła potrzeba głębszego podjęcia tej tematyki także w Polsce.

Na wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej od trzech lat w ramach kursu podstaw informatyki prowadzone są wykłady obejmujące swoim zakresem komputykę i myślenie komputacyjne [24]. W ramach tego kursu studenci poznają, przede wszystkim na prostych przykładach, podstawowe etapy procesu myślenia komputacyjnego: dekompozycję, analizę, abstrahowanie i algorytmy. Przykładem abstrahowania, czyli eliminacji nieistotnych informacji, jest odpowiedź na proste pytanie – dlaczego emir Kuwejtu nosi w niedzielę rano zielone szelki. Odpowiedź jest bardzo prosta – aby nie spadły mu spodnie, bo po to są szelki. Rolę właściwych algorytmów oraz wzorów ilustruje na przykład problem kota i obręczy. Wyobraźmy sobie obręcz dookoła Ziemi o długości 40 milionów metrów umieszczoną na równiku (myślowo pomijamy góry), którą wydłużamy o jeden metr. Czy przejdzie pod nią kot? Odpowiedź jest prosta – tak. Wydłużenie obwodu każdego okręgu o jeden metr powoduje bez względu na jego obwód wzrost promienia o 16 centymetrów. W planie jest przeprowadzenie badań, dla których punktem startowym może być ankieta przeprowadzona na Purdue University [25], która dotyczyła stosunku studentów do komputyki i rozumienia zagadnień myślenia komputacyjnego.

DOI: 10.5604/01.3001.0014.1377

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Gajewski Robert R., Grabiński Sebastian, 2020, Komputyka i myślenie komputacyjne w rozwiązywaniu problemów dyscypliny inżynieria lądowa i transport, „Builder” 06 (275). DOI: 10.5604/01.3001.0014.1377

Literatura

- [1] S. Papert, *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*, New York: Basic Books, Inc., Publishers, 1980.
- [2] G. Polya, *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method*, Princeton N.J.: Princeton University Press, 1945.
- [3] D.E. Knuth, *Algorithms in Modern Mathematics and Computer Science*, Stanford University, Stanford, STAN-CS-80-786, 1980.
- [4] J.M. Wing, Computational thinking, *Communications of the ACM*, vol. 49, no. 3, pp. 33–35, 2006.
- [5] J.M. Wing, Computational thinking and thinking about computing, „*Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*”, vol. 366, no. 1881, pp. 3717–3725, 2008.

- [6] M.M. Sysło, Myślenie komputacyjne. Nowe spojrzenie na kompetencje informatyczne, „*Informatyka w Edukacji*”, Toruń 2014, vol. XI, pp. 15–32.
- [7] R.R. Gajewski and M. Sysło, Myślenie komputacyjne we współczesnym rozwiązywaniu problemów, „*OKNMUT'18 – Abstrakty*”, Łódź 2018, pp. 33–34.
- [8] J. Dewey, *How We Think*. Boston, New York, Chicago: D.C. Heath & CO Publishers, 1910.
- [9] J. Dewey, *Jak myślimy*. Warszawa: Książka i Wiedza, 1957.
- [10] R.R. Gajewski, T. Kulakowski, P. Pieniżek, Building energy software: comparison of Energy 3D and Energy Plus computations, „*Theoretical foundation of civil engineering. Mechanics of Structures*”, vol. 8, S. Jemioło and A. Al Sabouni-Zawadzka, Eds. Warsaw University of Technology, 2018, pp. 65–76.
- [11] R.R. Gajewski, T. Kulakowski, Towards Optimal Design of Energy Efficient Buildings, „*Archives of Civil Engineering*”, vol. 64, no. 4, pp. 135–153, 2018.
- [12] T. Vorraa, A. Brignone, Modelling traffic in detail with mesoscopic models: Opening powerful new possibilities for traffic analyses, „*WIT Transactions on the Built Environment*”, vol. 101, pp. 659–666, 2008.
- [13] P. Olszewski, T.J. Dybicz, S. Grabiński, P. Mazurek, Przepustowość drogi – koncepcje, definicje i problemy z praktycznym jej zmierzaniem, *Polskie inwestycje transportowe – doświadczenia, badania i przyszłość*, Poznań: SITK Oddział w Poznaniu, 2017.
- [14] S.-C. Kong, H. Abelson, *Computational Thinking Education*. Springer, 2019.
- [15] P. Ferragina, F. Luzzio, *Computational Thinking: First Algorithms, Then Code*. Springer, 2018.
- [16] P.S. Wang, *From Computing to Computational Thinking*. Boca Raton, FL: Chapman and Hall/CRC, 2015.
- [17] D. Riley, K.A. Hunt, *Computational Thinking for the Modern Problem Solver*, 1st ed. Boca Raton, FL: Chapman and Hall/CRC, 2014.
- [18] P.J. Denning, M. Tedre, *Computational Thinking*. Cambridge: MIT Press Ltd, 2019.
- [19] Introduction to computational thinking | EPFL, Introduction to computational thinking | EPFL, 2020. <https://edu.epfl.ch/coursebook/en/introduction-to-computational-thinking-CIVIL-261> (accessed Feb. 28, 2020).
- [20] Computational Thinking | Duke Civil and Environmental Engineering, Computational Thinking | Duke Civil and Environmental Engineering, 2020. <https://cee.duke.edu/about/news/computational-thinking> (accessed Feb. 28, 2020).
- [21] Massachusetts Institute of Technology, Introduction to Computational Thinking and Data Science, 2020. <https://www.edx.org/course/introduction-to-computational-thinking-and-data-4>.
- [22] A. Febrin, O. Lawanto, K. Peterson-Rucker, A. Melvin, S.E. Guymon, Does Everyone Use Computational Thinking? A Case Study of Art and Computer Science Majors, presented at the 2018 ASEE Annual Conference & Exposition, Salt Lake City, UT, 2018.
- [23] A. Magana, G. Coutinho, Modelling and Simulation Practices for a Computational Thinking-Enabled Engineering Workforce, *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 25, no. 1, pp. 62–78, 2017, doi: 10.1002/cae.21779.
- [24] Zespół Technologii Informatycznych, Komputyka i myślenie komputacyjne, K&MK, 2018. <https://pele.il.pw.edu.pl/moodle/course/view.php?id=313>.
- [25] A. Yadav, N. Zhou, C. Mayfield, S. Hambrusch, J.T. Korb, Introducing Computational Thinking in Education Courses, *Proceedings of the 42nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 2011, pp. 465–470.

Streszczenie: Celem pracy jest przedstawienie zasad myślenia komputacyjnego i zaprezentowanie potencjału komputyki w rozwiązywaniu problemów badawczych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Myślenie komputacyjne jako narzędzie rozwiązywania problemów jest w swoich założeniach bliskie koncepcjom pedagogicznym Deweya oraz zasadom, które opracował dla problemów matematycznych Polya. Przykładowe rezultaty stosowania zasad myślenia komputacyjnego dotyczą dwóch zadań badawczych. Pierwsze z nich to modelowanie energii budynku, gdzie pierwszy problem pojawia się już na etapie zbierania danych wejściowych i określenia, czy są one wystarczające i czy wszystkie są niezbędne. Drugie to tworzenie odpowiednich modeli ruchu pojazdów w celu minimalizacji wpływu błędów na podejmowane decyzje.

Słowa kluczowe: komputyka, myślenie komputacyjne, inżynieria lądowa, transport

Abstract: COMPUTING AND COMPUTATIONAL THINKING IN SOLVING PROBLEMS IN DISCIPLINE CIVIL ENGINEERING AND TRANSPORT. The aim of the work is to present the principles of computational thinking and to present the potential of the computing in solving research problems in the field of civil engineering and transport. Computational thinking as a problem-solving tool is, in its assumptions, close to Dewey's pedagogical concepts and the principles developed by Polya for mathematical problems. Examples of the results of computational thinking are described for two research tasks. The first is building energy modelling, where the first problem arises already at the input stage: how to determine whether data is sufficient and whether all data is necessary. The second research task is to create appropriate vehicle movement models, to minimize their wrong impact on decisions.

Keywords: computing, computational thinking, civil engineering, transport