

# W poszukiwaniu wyzwań /

Wybór zadań  
z konkursów programistycznych  
Uniwersytetu Warszawskiego



**W poszukiwaniu wyzwań**



**W poszukiwaniu  
wyzwań /** Wybór zadań  
z konkursów programistycznych  
Uniwersytetu Warszawskiego



Pierwsze wydanie książki sfinansowano z pomocą  
Ministerstwa Gospodarki,  
PKO Banku Polskiego  
oraz Fundacji PKO Banku Polskiego



*redakcja* Krzysztof Diks, Tomasz Idziaszek, Jakub Łącki, Jakub Radoszewski  
*projekt graficzny i skład* Emilka Bojańczyk / Podpunkt  
*ilustracje* Emilka Bojańczyk, Diana Gawronkiewicz / Podpunkt  
*wydawcy* Łukasz Łopuszański, Edyta Kawala  
*korekta* Ewa Mika  
*koordynator produkcji* Anna Bączkowska

Copyright © by Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego  
Warszawa 2012, 2018

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA  
Warszawa 2018

ISBN 978-83-01-19946-3

Wydanie II poprawione (wyd. I w WN PWN)  
Warszawa 2018

Wydawnictwo Naukowe PWN SA  
02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2  
tel. 22 69 54 321, faks 22 69 54 288  
infolinia 801 33 33 88  
e-mail: [pwn@pwn.com.pl](mailto:pwn@pwn.com.pl), [www.pwn.pl](http://www.pwn.pl)

*książka została złożona krojami pisma Foral Pro oraz FdSymbol*

*druk* Totem.com.pl

# / Przedmowa do wydania drugiego

W 2012 roku w Warszawie odbyły się finały 36. edycji Akademickich Mistrzostw Świata w Programowaniu Zespołowym. W zawodach wzięło udział 112 trzyosobowych drużyn złożonych ze studentów informatyki, wyselekcjonowanych spośród ponad 8000 zespołów z 2219 uczelni w 85 krajach. Zwyciężyła drużyna z Uniwersytetu ITMO w Petersburgu, a drugie miejsce zajął zespół z Uniwersytetu Warszawskiego w składzie: Tomasz Kulczyński, Jakub Pachocki i Wojciech Śmietanka. Cała trójka to uczestnicy, ale też współorganizatorzy konkursów algorytmiczno-programistycznych przeprowadzanych przez pracowników, doktorantów i studentów Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego. Konkursy te pozwoliły tysiącom młodych adeptów informatyki z Polski i ze świata doskonalić umiejętności w zakresie algorytmiki i programowania. Dla wielu uczestników stały się też podstawą dalszych sukcesów w najbardziej prestiżowych konkursach programistycznych świata, a także późniejszych dokonaniach naukowych i zawodowych.

Z okazji tamtych zawodów powstało pierwsze wydanie książki *W poszukiwaniu wyzwań. Wybór zadań z konkursów programistycznych Uniwersytetu Warszawskiego*. W tym roku oddajemy do rąk czytelników jej drugie wydanie. Treść oryginału nie uległa żadnym merytorycznym zmianom, jednak redaktorzy pierwszego wydania, Tomasz Idziaszek, Jakub Łącki i Jakub Radoszewski, dokonali korekty usterek, które sami dostrzegli lub które zostały wykryte przez uważnych czytelników.

Liczne sukcesy autorów opracowań zawartych w książce są potwierdzeniem, że konkursy pełnią trudną do przecenienia rolę w odkrywaniu i kształceniu wyjątkowo uzdolnionych uczniów i studentów oraz pozwalają im realizować się w późniejszym życiu zawodowym. Przez ostatnie sześć lat w karierach prawie wszystkich autorów wydarzyło się bardzo wiele, dlatego krótkie biogramy zawarte w pierwszym wydaniu uzupełniliśmy o najważniejsze osiągnięcia autorów w latach 2012–2018.

**Szymon Acedański:** nauczyciel akademicki na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, założyciel i CTO w firmie InviNets zajmującej się technologiami Internetu Rzeczy.

**Marcin Andrychowicz:** w 2016 roku uzyskał na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego stopień doktora nauk matematycznych w zakresie informatyki (kryptografia), w 2013 roku został srebrnym medalistą Akademickich Mistrzostw Świata w Programowaniu Zespołowym, a w 2016 roku był finalistą konkursu Google Code Jam. Obecnie pracuje w OpenAI w Kalifornii.

**Piotr Chrząstowski:** nauczyciel akademicki na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, aktywny członek Komitetu Głównego Olimpiady Informatycznej.

**Marek Cygan:** pracownik naukowo-dydaktyczny na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, w 2018 roku uzyskał stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk matematycznych w zakresie informatyki, laureat Starting Grant Europejskiej Rady ds. Badań (ERC), współzałożyciel firmy NoMagic.AI zajmującej się programowaniem robotów.

**Tomasz Czajka:** od 2014 roku pracuje w SpaceX w Kalifornii, gdzie zajmuje się oprogramowaniem dla komputerów pokładowych rakiet nośnych Falcon i statków kosmicznych Dragon. W 2014 roku zajął drugie miejsce w konkursie Facebook Hacker Cup.

**Krzysztof Diks:** profesor informatyki na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, od 2016 roku Przewodniczący Polskiej Komisji Akredytacyjnej, 20-krotny uczestnik Finałów Akademickich Mistrzostw Świata w Programowaniu Zespołowym jako współopiekun

reprezentacji Uniwersytetu Warszawskiego. W latach 2012–2017 drużyny z Uniwersytetu Warszawskiego zdobyły 2 medale złote, 3 medale srebrne i 1 medal brązowy, w tym dwukrotnie wicemistrzostwo świata (2012 i 2017).

**Andrzej Gąsienica-Samek:** założyciel i prezes zarządu polskiej firmy informatycznej Atinea, pomysłodawca i projektant portali edukacyjnych wspierających naukę języków obcych – Insta.Ling oraz programowania – instaKod.

**Tomasz Idziaszek:** w 2014 roku uzyskał na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego stopień doktora nauk matematycznych w zakresie informatyki (teoria języków drzew nieskończonych), współpracuje z firmą Codility w zakresie przygotowywania zadań algorytmicznych i rozwijania oprogramowania do sprawdzania kompetencji programistów, od 2013 roku sekretarz naukowy Olimpiady Informatycznej.

**Grzegorz Jakacki:** założyciel i CEO firmy Codility budującej narzędzia do automatycznej weryfikacji kompetencji programistów. Z usług Codility przy rekrutacji programistów korzystają m.in. Amazon, Intel, Microsoft, Nokia, PayPal, Samsung, Slack, Tesla.

**Tomasz Kociumaka:** doktorant informatyki na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, w 2013 roku laureat diamentowego grantu MNiSW, współautor ponad 50 prac opublikowanych przez czołowe światowe wydawnictwa w zakresie algorytmiki, w latach 2013 i 2014 srebrny medalista Akademickich Mistrzostw Świata w Programowaniu Zespołowym, w 2015 roku finalista konkursu Google Code Jam oraz Facebook Hacker Cup.

**Eryk Kopczyński:** adiunkt na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, wielokrotny laureat konkursów informatycznych, w 2017 roku wystąpił w finałach Facebook Hacker Cup i Yandex.Algorithm.

**Marcin Kubica:** nauczyciel akademicki na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, od 2016 roku lider zespołu inżynierskiego w firmie Codility.

**Tomasz Kulczyński:** współzałożyciel firmy CodiLime, od 2012 roku inżynier oprogramowania w Google w Warszawie, w latach 2013 i 2016 finalista konkursu Facebook Hacker Cup.



**Jakub Łącki:** w 2015 roku uzyskał na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego stopień doktora nauk matematycznych w zakresie informatyki (dynamiczne algorytmy grafowe), od 2016 roku pracuje w Google Research w Nowym Jorku, od 2014 roku członek Komitetu Naukowego Międzynarodowej Olimpiady Informatycznej.

**Krzysztof Onak:** pracownik naukowy w IBM T.J. Watson Research Center w Yorktown Heights, USA.

**Jakub Pachocki:** w 2013 roku uzyskał licencjat z informatyki na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, następnie doktorat z informatyki w 2016 roku z Carnegie Mellon University, od 2017 roku pracownik naukowy w OpenAI, zwycięzca Google Code Jam w 2012 roku, zdobywca drugiego miejsca w Facebook Hacker Cup w 2013 roku i finalistą tego konkursu w latach 2014 i 2015.

**Paweł Parys:** pracownik naukowo-dydaktyczny na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, w 2012 roku otrzymał przyznawaną przez konsorcjum ERCIM nagrodę Cor Baayen Award dla młodego badacza w dziedzinie informatyki i matematyki stosowanej, w 2013 roku został finalistą Facebook Hacker Cup.

**Jakub Pawlewicz:** pracownik naukowo-dydaktyczny na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego.

**Marcin Pilipczuk:** pracownik naukowo-dydaktyczny na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, w 2017 roku uzyskał stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk matematycznych w zakresie informatyki, laureat Starting Grant Europejskiej Rady ds. Badań (ERC).

**Michał Pilipczuk:** pracownik naukowo-dydaktyczny na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, w 2013 roku uzyskał stopień doktora informatyki z Uniwersytetu w Bergen, w 2016 roku został laureatem dorocznej nagrody Cor Baayen Award konsorcjum ERCIM dla młodego naukowca w dziedzinie informatyki i matematyki stosowanej.

**Jakub Radoszewski:** pracownik naukowo-dydaktyczny na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie w 2012

roku uzyskał stopień doktora nauk matematycznych w zakresie informatyki (algorytmy tekstowe), od 2016 roku wiceprzewodniczący Komitetu Głównego Olimpiady Informatycznej.

**Wojciech Rytter:** profesor informatyki na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, aktywny twórca ciekawych i inspirowanych zadań na konkursy algorytmiczno-programistyczne.

**Krzysztof Stencel:** profesor informatyki na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego.

**Wojciech Śmietanka:** w 2012 roku ukończył studia na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, jest współzałożycielem świetnie rozwijającej się polskiej firmy informatycznej CodiLime, był inżynierem oprogramowania w Google w Zurychu, obecnie pracuje w Londynie w funduszu inwestycyjnym Quadrature Capital.

**Tomasz Waleń:** pracownik naukowo-dydaktyczny na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, współzałożyciel i ekspert firmy Codility.

**Jakub Wojtaszczyk:** pracownik Google w Warszawie, pomysłodawca i współtwórca oprogramowania na potrzeby konkursów z zakresu algorytmów rozproszonych, juror podczas finałów Akademickich Mistrzostw Świata w Programowaniu Zespołowym.

**Filip Wolski:** od 2012 roku pracował dla czołowych amerykańskich firm zajmujących się *high-frequency trading*, m.in. dla Teza Technologies, od sierpnia 2016 roku prowadzi badania naukowe związane ze sztuczną inteligencją w firmie OpenAI.

Oddając w ręce czytelników drugie wydanie *W poszukiwaniu wyzwań*, mamy nadzieję, że zawarte w nim zadania będą inspiracją do zgłębiania tajników algorytmiki i programowania, a zdobyte w ten sposób umiejętności pozwolą czytelnikom stawić czoła wyzwaniom współczesnej informatyki z takimi samymi sukcesami, jakie są udziałem autorów opracowań zawartych w tej książce.

Krzysztof Diks  
Warszawa, 2018



# / Wstęp

Ta książka przedstawia skromną część niemal dwudziestoletniego dorobku polskich konkursów algorytmiczno-programistycznych, organizowanych lub współorganizowanych przez pracowników i studentów Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego. Historia konkursów w Polsce to przede wszystkim ludzie – organizatorzy i uczestnicy. O jakości przeprowadzonych konkursów świadczą między innymi wybór Polski jako organizatora Międzynarodowej Olimpiady Informatycznej w 2005 roku oraz powierzenie Uniwersytetowi Warszawskiemu roli gospodarza światowych finałów konkursu ACM International Collegiate Programming Contest w 2012 roku.

Wizytówką polskich konkursów są również międzynarodowe osiągnięcia ich uczestników. Najważniejsze z nich to zwycięstwa Filipa Wolskiego i Tomasza Kulczyńskiego w Międzynarodowej Olimpiadzie Informatycznej, odpowiednio w latach 2006 i 2007, oraz dwukrotne zwycięstwo zespołów Uniwersytetu Warszawskiego w finałach konkursu ACM International Collegiate Programming Contest, odpowiednio w latach 2003 (drużyna w składzie: Tomasz Czajka, Andrzej Gąsienica-Samek i Krzysztof Onak) i 2007 (drużyna w składzie: Marek Cygan, Marcin Pilipczuk i Filip Wolski). Należy też wspomnieć o znakomitych występach Polaków, w tym zwycięstwach, w konkursach TopCoder Open, Google Code Jam, Facebook Hacker Cup i Microsoft Imagine Cup. Te sukcesy nie byłyby możliwe, gdyby nie odpowiednio wysoki poziom konkursów krajowych, które pozwoliły wyłowić algorytmiczne diamenty, a następnie je oszlifować.

## O konkursach

Konkursy pełnią rolę nie do przecenienia w odkrywaniu i kształceniu wyjątkowo uzdolnionych uczniów i studentów. Wymagają wiedzy i umiejętności wybiegających dalece poza to, czego uczy się w szkole i na studiach. Dobry konkurs dotyka zawsze podstaw dziedziny, której dotyczy, a wiedza i umiejętności w nim zdobyte dają niezbędne podwaliny dalszego rozwoju w tej dziedzinie. Jeszcze ważniejszym jest, żeby konkurs kształcił w młodych ludziach umiejętności, które są potrzebne w ich późniejszej aktywności zawodowej: pracowitość, systematyczność, samodyscyplinę, dociekliwość, samodoskonalenie, pracę w zespole, uczciwość, ambicję, chęć konkurowania, dążenie do sukcesu. Startowanie w dobrym konkursie powinno być dla młodego człowieka wyzwaniem intelektualnym, a osiągnięty w nim sukces – nobilitować.

O jakości konkursu decydują przede wszystkim zadania. Powinny być one oryginalne, ciekawe i o różnym stopniu trudności. Ich rozwiązanie powinno sprawiać satysfakcję, a kłopoty z rozwiązaniem zachęcać do pogłębiania swojej wiedzy i umiejętności. Ta książka zawiera subiektywny wybór „najlepszych” zadań z konkursów algorytmiczno-programistycznych, współorganizowanych przez Uniwersytet Warszawski, wraz z opisem rozwiązań wzorcowych. Wyboru zadań dokonały osoby, które odegrały znaczące role w historii polskich konkursów algorytmiczno-programistycznych jako ich uczestnicy lub organizatorzy. Autorzy wszystkich opracowań w tej książce mają ściśle związki z Wydziałem Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego jako jego absolwenci, pracownicy lub studenci.

Zadania przedstawione i omówione w tej książce pochodzą z następujących konkursów informatycznych: Olimpiada Informatyczna, Olimpiada Informatyczna Gimnazjalistów, Obóz Naukowo-Treningowy im. Antoniego Kreczmara, Olimpiada Informatyczna Krajów Europy Środkowej, Akademickie Mistrzostwa Polski w Programowaniu Zespołowym i Potyczki Algorytmiczne.

**Olimpiada Informatyczna** została powołana w 1993 roku przez Instytut Informatyki Uniwersytetu Wrocławskiego, kierowany wówczas przez profesora Macieja Sysłę. Wśród członków założycieli Olimpiady było czterech pracowników Instytutu Informatyki Uniwersytetu Warszawskiego: Piotr Chrząstowski-Wachtel, Jan Madey (wówczas dyrektor Instytutu), Wojciech Rytter i Stanisław Waligórski, który został pierwszym przewodniczącym Komitetu

Głównego Olimpiady Informatycznej. Od samego początku zapleczem technicznym i naukowym Olimpiady był Instytut Informatyki Uniwersytetu Warszawskiego. Wszyscy autorzy rozdziałów w tej książce byli lub są nadal związani z Olimpiadą.

Olimpiada Informatyczna jest konkursem indywidualnym przeznaczonym dla uczniów szkół średnich. Zwycięzcy (pierwsza czwórka) krajowych odpowiedników Olimpiady reprezentują swoje kraje w zawodach Międzynarodowej Olimpiady Informatycznej.

Olimpiada Informatyczna składa się z trzech etapów. Pierwszy z nich jest etapem szkolnym, rozgrywanym na przełomie października i listopada, i gromadzi około tysiąca uczestników. Mają oni do rozwiązania zazwyczaj pięć zadań i pracują nad nimi w domu. Wyniki swojej pracy przesyłają organizatorom do oceny przez Internet. Do drugiego etapu awansuje około 400 najlepszych zawodników z pierwszego etapu. Jest on organizowany w kilku ośrodkach regionalnych ściśle współpracujących z najlepszymi uczelniami informatycznymi w Polsce i trwa trzy dni. Pierwszy dzień jest poświęcony na zapoznanie się z warunkami rozgrywania zawodów. W każdym z następujących dwóch dni uczestnicy mają do samodzielnego rozwiązania 2-3 zadania w trakcie pięciogodzinnej, kontrolowanej sesji. Rozwiązania z całej Polski są zbierane centralnie i oceniane w takim samym środowisku i na tych samych testach. Około 80 najlepszych uczestników drugiego etapu awansuje do finału Olimpiady. Finał jest rozgrywany w jednym miejscu i trwa pięć dni. Trzy dni są przeznaczone na same zawody, a dwa na rekreację i turystykę. Sposób rozgrywania finału jest podobny do tego z drugiego etapu. Czterej najlepsi zawodnicy reprezentują Polskę na międzynarodowych zawodach informatycznych, w tym Międzynarodowej Olimpiadzie Informatycznej.

Łącznie w 19 edycjach Olimpiady Informatycznej wystartowało około 15 000 uczniów, którzy rozwiązywali łącznie prawie 300 zadań.

**Międzynarodowa Olimpiada Informatyczna** jest rozgrywana latem każdego roku i gromadzi najlepszych na świecie młodych informatyków - uczniów szkół średnich. Pierwsza Międzynarodowa Olimpiada Informatyczna miała miejsce w 1989 roku. Od tego czasu Polacy zdobyli 31 medali złotych, 28 medali srebrnych i 22 medale brązowe.



Pracownicy i studenci Uniwersytetu Warszawskiego brali czynny udział w organizacji zawodów międzynarodowych blisko związanych z Olimpiadą Informatyczną: Międzynarodowej Olimpiady Informatycznej (IOI 2005), trzykrotnie **Olimpiady Informatycznej Krajów Europy Środkowej** (CEOI 1997, 2004, 2011) oraz dwukrotnie **Bałtyckiej Olimpiady Informatycznej** (BOI 2001, 2008).

Co roku w wakacje finaliści Olimpiady Informatycznej mają okazję uczestniczyć w **Obozie Naukowo-Treningowym im. Antoniego Kreczmara** (ONTAK), rozwiązując i omawiając zadania w większości przygotowane przez ich starszych kolegów z Uniwersytetu Warszawskiego.

Od sześciu lat dla uczniów gimnazjów jest organizowana „mała olimpiada” – **Olimpiada Informatyczna Gimnazjalistów**. Pomysł powołania do życia tej Olimpiady pochodzi od wybitnego nauczyciela Ryszarda Szubartowskiego, a Instytut Informatyki Uniwersytetu Warszawskiego aktywnie uczestniczył w jej powstaniu i rozwoju.

Wielu finalistów Olimpiady Informatycznej wybiera jako miejsce swoich studiów informatycznych Uniwersytet Warszawski. Tutaj mogą kontynuować swoją pasję konkursową, walcząc o miejsca w reprezentacji Uniwersytetu Warszawskiego na zawody w programowaniu zespołowym, w tym o możliwość startu w konkursie **ACM International Collegiate Programming Contest**. Konkurs ACM ICPC jest najstarszym i najbardziej prestiżowym konkursem informatycznym na świecie i jest uznawany za mistrzostwa świata w programowaniu zespołowym. Każda drużyna biorąca w nim udział składa się z trzech studentów reprezentujących tę samą uczelnię. Pierwszym etapem konkursu są eliminacje regionalne. Jest ich kilkadziesiąt i rozgrywane są na wszystkich zamieszkałych kontynentach. Najlepsze drużyny z eliminacji (zwycięzcy oraz kilka następnych drużyn, zależnie od siły regionu i liczby startujących drużyn) awansują do finałów.

Zarówno zawody eliminacyjne, jak i finałowe są rozgrywane w ten sam sposób. Każda trzyosobowa drużyna ma do dyspozycji jeden komputer, pięć godzin i od 8 do 12 zadań do rozwiązania. Zgłaszane przez uczestników rozwiązania poszczególnych zadań są sprawdzane na bieżąco, a drużyny są informowane o wyniku sprawdzenia zadania, który przyjmuje postać krótkiego komunikatu: zaakceptowane, niepoprawne wyniki, przekroczenie limitu czasu na rozwiązanie, błąd wykonania, niepoprawna prezentacja wyników. Poszczególne