

Konstrukcja i wykorzystanie macierzy odległości do badania własności topologicznych sieci złożonych

Autoreferat do postępowania habilitacyjnego

Krzysztof Piotr Malarz

22 września 2015

Spis treści

1	Wstęp	5
1.1	Życiorys naukowy	5
1.2	Tematyka badawcza	5
1.3	Plany badawcze	5
2	Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego	7
2.1	Wprowadzenie	7
2.1.1	Sieci rosnące	7
2.1.2	Małe światy	8
2.1.3	Cel prac [H1]-[H6]	9
2.2	Omówienie prac składających się na cykl publikacji będących podstawą wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego	9
2.2.1	[H1]	9
2.2.2	[H2]	12
2.2.3	[H3]	14
2.2.4	[H4]	16
2.2.5	[H5]	16
2.2.6	[H6]	18
2.3	Podsumowanie	20
	Bibliografia	23
3	Osiągnięcia naukowo-badawcze	25
3.1	Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	25
3.1.1	Wskazanie własnego udziału merytorycznego i procentowego w powstaniu publikacji wieloautorskich (innych niż wchodzące w skład osiągnięcia naukowego) z Wykazu A	25
3.2	Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazach lub na liście, o których mowa w § 3, dla danego obszaru wiedzy	30
3.2.1	Wskazanie własnego udziału merytorycznego i procentowego w powstaniu publikacji wieloautorskich (innych niż wchodzące w skład osiągnięcia naukowego) z Wykazu B	31
3.3	Autorstwo lub współautorstwo odpowiednio dla danego obszaru: opracowań zbiorowych, katalogów zbiorów, dokumentacji prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych	31
3.4	Wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach	32
3.5	Sumaryczny <i>impact factor</i> publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	32
3.6	Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)	32
3.7	Indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy Web of Science (WoS)	32
3.8	Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach	33
3.9	Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność naukową	33

3.10	Wygłoszenie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych	33
4	Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz współpraca międzynarodowa	35
4.1	Uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych	35
4.2	Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji;	35
4.3	Otrzymane nagrody i wyróżnienia	35
4.4	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	35
4.5	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych, a w przypadku badań stosowanych we współpracy z przedsiębiorcami	36
4.6	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	36
4.7	Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych	36
4.8	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki	37
4.9	Opieka naukowa nad studentami i lekarzami w toku specjalizacji	38
4.10	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego, z podaniem tytułów rozpraw doktorskich	39
4.11	Stáže w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich	39
4.12	Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie organów władzy publicznej, samorządu terytorialnego, podmiotów realizujących zadania publiczne lub przedsiębiorców	39
4.13	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	39
4.14	Recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych	40
A	Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	43
B	Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR	46
C	Wystąpienia konferencyjne	47
D	Manuskrypty przygotowywanych prac oraz inne artykuły	50

1 Wstęp

1.1 Życiorys naukowy

Studia na kierunku fizyka techniczna na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie rozpocząłem w 1991. Ukończyłem je z wyróżnieniem w roku 1996 broniąc pracę zatytułowaną „*Obliczanie położenia rezonansu dla fal spinowych w cienkich warstwach magnetycznych dla zadanej niejednorodnej magnetyzacji w próbce*” napisaną pod opieką prof. dr. hab. Andrzeja Maksymowicza.

W tym samym roku rozpocząłem studia doktoranckie ukończone w 2000 roku przedstawiając Radzie Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej AGH rozprawę doktorską zatytułowaną „*Badanie wzrostu powierzchni techniką symulacji komputerowej*”. Promotorem pracy był również profesor Andrzej Maksymowicz.

Po ukończeniu studiów doktoranckich zostałem zatrudniony w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie na stanowisku asystenta na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej w Zakładzie Fizyki Teoretycznej i Komputerowej (2000/10-2001/09). Od października 2001 jestem na tym samym wydziale zatrudniony na stanowisku adiunkta (obecnie w Katedrze Informatyki Stosowanej i Fizyki Komputerowej, w Zespole Układów Złożonych).

W latach 2005–2012 (przez dwie kolejne kadencje) pełniłem na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH funkcję prodziekana ds. studenckich.

1.2 Tematyka badawcza

Moje zainteresowania naukowe skupiały się wokół kilku zagadnień:

- symulacji wzrostu powierzchni (tematyka doktoratu) [[A1.21](#), [A1.35](#), [B1.2](#), [A1.37–A1.39](#)],
- symulacji układów spinowych [[A1.2](#), [A1.5–A1.7](#), [A1.13–A1.15](#), [A1.22](#), [B2.4](#), [A1.27](#), [A1.28](#), [A1.31](#), [A1.33](#)],
- wyznaczaniu progów perkolacyjnych dla sieci o złożonym otoczeniu [[A1.1](#), [A1.3](#), [A1.12](#), [A1.23](#)],
- symulacji ewolucji systemów biologicznych o strukturze wiekowej [[A2.2–A2.4](#), [A1.36](#)],
- badaniu własności topologicznych sieci [[B2.3](#), [A1.14](#), [A1.16](#), [A1.24](#), [A1.25](#), [A1.28](#), [B2.6](#), [A1.30](#), [A1.32](#)]
- oraz symulacji układów socjologicznych (głównie w kontekście dynamiki opinii społecznej) [[E1](#), [A1.2](#), [A1.4](#), [B2.1](#), [A2.1](#), [A1.6](#), [B2.2](#), [A1.8](#), [A1.11](#), [A1.17–A1.19](#), [A1.26](#), [A1.27](#), [A1.29](#)].

1.3 Plany badawcze

W moich zainteresowaniach naukowych na najbliższą przyszłość pozostaną

- badania sieci złożonych (w tym kontynuacja prac [[H1–H6](#), [D3](#), [B2.3](#), [A1.14](#), [A1.26](#)] w kontekście opisanym w drugiej części rozdziału [2.3](#)),

- obliczenia progów perkolacyjnych dla sąsiedztw ze złożonymi otoczeniami (kontynuacja tematyki prac [[A1.1](#), [A1.3](#), [A1.12](#), [A1.23](#)])
- oraz wykorzystanie techniki automatów komórkowych do modelowania układów społeczno-ekonomicznych — w szczególności realizacja projektu „Wykorzystanie automatów komórkowych do modelowania procesów przywództwa w organizacjach” zakwalifikowanego do finansowania w konkursie OPUS-8 (2014/15/B/HS4/04433).

2 Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego

Jako osiągnięcie naukowe w rozumieniu art. 16, ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 ze zm.) przedstawiam cykl sześciu powiązanych tematycznie publikacji

- [H1] K. Malarz, J. Czaplicki, B. Kawecka-Magiera i K. Kułakowski. „Average distance in growing trees”. *International Journal of Modern Physics C* **14.9** (2003), 1201–1206.
- [H2] K. Malarz, J. Karpińska, A. Kardas i K. Kułakowski. „Node-node distance distribution for growing networks”. *TASK Quarterly* **8.1** (2004), 115–119.
- [H3] K. Malarz i K. Kułakowski. „Dependence of the average to-node distance on the node degree for random graphs and growing networks”. *European Physical Journal B* **41.3** (2004), 333–336.
- [H4] K. Malarz i K. Kułakowski. „Matrix representation of evolving networks”. *Acta Physica Polonica B* **36.8** (2005), 2523–2536.
- [H5] K. Malarz i K. Kułakowski. „Memory effect in growing trees”. *Physica A* **345.1-2** (2005), 326–334.
- [H6] K. Malarz. „Numbers of n -th neighbors and node-to-node distances in growing networks”. *Acta Physica Polonica B* **37.2** (2006), 309–318.

pod wspólnym tytułem: **Konstrukcja i wykorzystanie macierzy odległości do badania własności topologicznych sieci złożonych.**

2.1 Wprowadzenie

2.1.1 Sieci rosnące

Intensywność badań sieci złożonych [2, 9, 11, 12] przez fizyków zdecydowanie nasiliła się po publikacji w roku 1999 w czasopiśmie *Science* pracy Albert i Barabásiego zatytułowanej „Emergence of scaling in random networks” [19]. Wyszukiwanie hasła „complex networks” w bazie *Web of Science* zwraca obecnie 11 433 prac z czego tylko 196 do roku ukazania się pracy [19]. Sama praca [19] ma dziś ponad dziewięć tysięcy cytowań. Na czym polegał fenomen odkrycia Albert i Barabásiego?

By odpowiedzieć na to pytanie trzeba sięgnąć do prac węgierskich matematyków z lat sześćdziesiątych XX w... W pracach [27, 29] Erdős i Rényi badali klasyczne grafy przypadkowe (dziś równie często określane jako sieci Erdősa–Rényiego). Grafy te powstają z losowego połączenia N węzłów L krawędziami. Rozkład stopni k wierzchołków takich grafów okazał się podlegać rozkładowi Poissona

$$\mathcal{P}_k(k) = \frac{\bar{k}^k}{k!} \exp(-\bar{k}), \quad \bar{k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i, \quad (1)$$

gdzie \bar{k} oznacza średni stopień wierzchołka. To oznacza, że w klasycznym grafie przypadkowym występuje „typowy” węzeł, posiadający „typową” ilość najbliższych sąsiadów. Tymczasem rzeczywiste sieci czy to technologiczne (jak sieć połączeń lotniczych pomiędzy

miastami, sieci energetyczne, sieć stron WWW czy leżąca w warstwie jej infrastruktury sieć Internet) oraz sieci społeczne (sieci znajomych czy ich wirtualne odpowiedniki w serwisach społecznościowych, sieci aktorów filmowych łączonych krawędzią jeśli występowali w tym samym filmie czy sieci naukowców łączonych krawędzią jeśli są współautorami tej samej publikacji, etc.) takiego „typowego” węzła nie posiadają. Wymienione powyżej sieci wykazują najczęściej potęgowy rozkład stopni wierzchołków

$$\mathcal{P}_k(k) \propto k^{-\gamma}, \quad (2)$$

z wykładnikiem $\gamma \in [1, 3]$.

Przyczyną popularności pracy [19] było wskazanie przez Barabásiego i Albert mechanizmu tworzenia przypadkowych sieci złożonych, który odtwarzał bezskalowy rozkład stopni wierzchołków sieci (2). Mechanizm ten zasadza się na efekcie kuli śnieżnej (bądź ewangelicznym efekcie Mateusza¹): sieć Barabásiego i Albert jest siecią *rosnącą* — kolejne węzły sieci są dołączane do wcześniej istniejącej struktury m wiązaniami a prawdopodobieństwo utworzenia wiązań do istniejących węzłów jest proporcjonalne do ich obecnego stopnia k . Przepis Barabásiego i Albert prowadzi więc do kreacji w sieci hubów: niewielkiej uprzywilejowanej „kasty” węzłów mających ponadprzeciętną ilość swoich bezpośrednich sąsiadów.

Innym przykładem sieci rosnących są sieci wykładnicze. Nazwa tych sieci — podobnie jak dla sieci bezskalowych — odzwierciedla kształt rozkładu prawdopodobieństwa stopni węzłów sieci

$$\mathcal{P}_k(k) \propto a^{-k}, \quad a > 0. \quad (3)$$

Przykładem rzeczywistej sieci o rozkładzie wykładniczym stopni wierzchołków jest np. sieć energetyczna zachodniej części Stanów Zjednoczonych [35]. W przeciwieństwie do sieci bezskalowych kolejne węzły rosnącej sieci wykładniczej dołączane są m wiązaniami do istniejącej sieci w sposób przypadkowy a nie preferencyjny. Dodając i -ty węzeł do sieci wykładniczej jest on dołączany m wiązaniami do $i - 1$ wcześniej istniejących węzłów. Wybór węzła do którego nastąpi przyłączenie odbywa się z prawdopodobieństwem [6]

$$p(k, i) = \frac{1}{i - 1} \quad (4)$$

a dla rosnących sieci bezskalowych to prawdopodobieństwo dane jest formułą [6, 15, 18]

$$p(k, i) = \frac{1 + k_i/m}{2i}. \quad (5)$$

Zarówno w przypadku rosnących sieci wykładniczych jak i bezskalowych zarodkiem do procesu wzrostu sieci jest w pełni połączony graf o m wierzchołkach, gdzie m oznacza ilość wiązań, którymi nowoprzyłączany węzeł jest przyłączany do istniejącej już sieci.

W pracach [H1, H2, H5, H6] dyskutowano własności topologiczne sieci rosnących.

2.1.2 Małe światy

Jedną z charakterystycznych cech wielu rosnących sieci jest występowanie w nich efektu „małego świata”. Efekt ten objawia się nie szybszym niż logarytmicznym wzrostem średniej odległości d_N między węzłami sieci² wraz z rozmiarem sieci N . Np. w sieci, w której

¹Każdemu bowiem, kto ma, będzie dodane, tak że nadmiar mieć będzie. Temu zaś, kto nie ma, zabiorą nawet to, co ma. [Mt. 25, 29]

²Średnia odległość międzywęzłowa zwana jest też często średnicą grafu a jej formalna definicja dana jest równaniem (6a).

węzłami jest $N = 450000$ aktorów połączonych ze sobą krawędziami jeśli wystąpili w tym samym filmie ta średnia odległość wynosi tylko 3,5 [9].

Efekt małego świata został wykryty blisko pięćdziesiąt lat temu przez Milgrama w genialnym eksperymencie socjometrycznym [24]. W eksperymencie tym, grupa osób została poproszona o przesłanie poprzez pośredników listu pewnemu maklerowi z Bostonu. Wyboru pośredników należało dokonywać spośród swoich znajomych, którzy w ocenie wysyłającego, mogli znać maklera, bądź chociaż mogli znać jego znajomych. Choć spora część listów po swej drodze zaginęła i do Bostonu nigdy nie dotarła, to te które dotarły korzystały średnio mniej niż z siedmiu pośredników. To dlatego efekt „małego świata” określa się często hipotezą „sześciu stopni separacji”.

Efekt ten występuje nie tylko w dyskutowanych powyżej sieciach rosnących ale również w klasycznych sieciach przypadkowych, czy konstruowanych na bazie sieci regularnych sieciach Watta–Strogatza [35]. W tych ostatnich frakcja f krawędzi sieci regularnej zostaje przepięta do losowo wybranych węzłów.

Odnalezienie właściwego kandydata na pośrednika w procesach kontaktowych nie jest zadaniem trywialnym i istnieje kilka strategii jego doboru. W pracy [H3] zaproponowano miarę efektywności procesu poszukiwań tego idealnego pośrednika.

2.1.3 Cel prac [H1–H6]

W pracach [H1–H3, H5, H6] przedstawiono algorytmy tworzenia najkrótszych ścieżek między wszystkimi parami wierzchołków, które w przeciwieństwie do klasycznych algorytmów [3] *nie* wymagają wcześniejszego zakodowania struktury grafu w postaci macierzy bądź listy sąsiedztwa. Dla sieci ewoluujących (rosnących) nowozaproponowane algorytmy pozwalają kreować macierz odległości grafu *równolegle* ze wzrostem samej sieci. Tak powstałe macierze odległości zostały następnie wykorzystane do badania strukturalnych i transportowych własności sieci złożonych. Praca [H4] zawiera zwarty przegląd wyników z prac [H1–H3].

2.2 Omówienie prac składających się na cykl publikacji będących podstawą wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

2.2.1 K. Malarz, J. Czaplicki, B. Kawecka-Magiera i K. Kułakowski. „Average distance in growing trees”. *International Journal of Modern Physics C* 14.9 (2003), 1201–1206

W pracy [H1] badano zależność średniej odległości międzywęzłowej d_N od ilości węzłów N w drzewach rosnących. Pod pojęciem drzewa rozumiemy nieskierowany spójny graf prosty niezawierający ścieżek cyklicznych. Cechą charakterystyczną drzew jest unikatowa ścieżka, którą trzeba przebyć między dwoma dowolnie wybranymi węzłami — przejścia takiego można dokonać tylko w jeden sposób. Analizie poddano dwa rodzaje rosnących drzew: tzw. drzewa wykładnicze oraz bezskalowe. Drzewo wykładnicze powstaje w wyniku procesu dodawania kolejnych węzłów i dołączania ich pojedynczym wiązaniem ($m = 1$) do losowo wybranego węzła z już istniejącej struktury. Wzrost drzew bezskalowych odbywa się w podobny sposób, z tym że wybór wierzchołka do którego dołączamy kolejny węzeł odbywa się zgodnie ze schematem zaproponowanym przez Alberta i Barabásiego [19]. W schemacie tym prawdopodobieństwo wyboru węzła i do którego następuje przyłączenie kolejnego wierzchołka jest proporcjonalne do jego obecnego stopnia $k(i)$.

W tradycyjnym podejściu do ustalenia średniej odległości między wierzchołkami służą algorytmy przeszukiwania grafów wszereż [26, 31] lub w głąb [23] oraz algorytmy obliczające najkrótsze ścieżki między wszystkimi parami węzłów [22, 25, 28, 32]. We wszystkich tych przypadkach konieczna jest jednak wcześniejsza znajomość macierzy (bądź listy) sąsiedztwa reprezentującej topologię grafu. W pracy [H1] zaproponowano alternatywne podejście do tego problemu. Określenie średniej odległości między wierzchołkami d_N *typowego* drzewa t_N o N węzłach wymaga ustalenia odległości $s_N(i, j)$ pomiędzy każdą parą węzłów $i - j$ spośród N wierzchołków grafu. Wówczas

$$d_N \equiv \left\langle \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \neq i}^N s_N(i, j) \right\rangle, \quad (6a)$$

gdzie $\langle \dots \rangle$ oznacza średnią po różnych topologicznie drzewach o rozmiarze N .

Wyjaśnienia wymaga też sposób wyboru „typowego” dla danej rodziny (czy to drzew wykładniczych czy bezskalowych) drzewa o rozmiarze N . Zauważmy, że skrajne przypadki drzew, tj. gwiazda i liniowy łańcuch węzłów mają diametralnie różne średnice. Dlatego wybór typowego drzewa zastępujemy tu procedurą *uśrednienia* po M losowo wybranych drzewach o rozmiarze N :

$$d_N = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{t_N} P(t_N) \sum_{i,j \neq i}^N s_N(i, j), \quad (6b)$$

gdzie $P(t_N)$ jest prawdopodobieństwem wyboru drzewa t_N i $\sum_{t_N} P(t_N) = 1$. Algorytmy [3, 22, 23, 25, 26, 28, 31, 32] umożliwiają zbudowanie macierzy odległości \mathbf{S}_N o ile dysponujemy topologią sieci zakodowaną w postaci listy bądź macierzy sąsiedztwa \mathbf{A}_N . Macierz sąsiedztwa jest macierzą binarną, której elementy

$$a_N(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{gdy węzły } i \text{ oraz } j \text{ są ze sobą połączone,} \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku.} \end{cases}$$

Nowatorstwo podejścia zaproponowanego w pracy [H1] polega na konstrukcji macierzy odległości \mathbf{S}_N *równoległe ze wzrostem* drzewa, tzn. *nim* powstanie kompletna macierz sąsiedztwa grafu \mathbf{A}_N . Co więcej, zaproponowane algorytmy *nie* wymagają wcześniejszej konstrukcji macierzy bądź listy sąsiedztwa [3, 22, 23, 25, 26, 28, 31, 32].

Posiadając macierz odległości dla drzewa o rozmiarze N i dodając do tego drzewa $N+1$ wierzchołek musimy do tej macierzy dodać nowy wiersz i nową kolumnę reprezentującą odległości nowo dołączanego węzła do wszystkich pozostałych węzłów. Elementy tej nowej $(N+1)$ -wszej kolumny (wiersza) tworzymy w oparciu o elementy q -tej kolumny (wiersza), gdzie q odpowiada numerowi wierzchołka do którego następuje przyłączenie. Odległość nowo dodawanego $(N+1)$ -wszego węzła do każdego z pozostałych węzłów będzie o jeden większą niż odległość do nich węzła o numerze q :

$$s_{N+1}(N+1, i) = s_N(q, i) + 1, \text{ dla } i = 1, 2, \dots, N. \quad (7a)$$

Oczywiście macierz odległości jest symetryczna a na swojej diagonalu posiada wyłącznie elementy zerowe:

$$s_{N+1}(i, N+1) = s_{N+1}(N+1, i) \text{ oraz } s_{N+1}(N+1, N+1) = 0, \text{ dla } i = 1, 2, \dots, N. \quad (7b)$$

Zakładając, że macierz odległości dla $N = 4$ dana jest poprzez

$$\mathbf{S}_4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \mathbf{2} & \mathbf{2} \\ 1 & 0 & \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ 2 & 1 & \mathbf{0} & \mathbf{2} \\ 2 & 1 & \mathbf{2} & \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

i piąty węzeł jest dołączany do wierzchołka o numerze trzy, to

$$\mathbf{S}_5 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 2 & \mathbf{3} \\ 1 & 0 & 1 & 1 & \mathbf{2} \\ 2 & 1 & 0 & 2 & \mathbf{1} \\ 2 & 1 & 2 & 0 & \mathbf{3} \\ 3 & 2 & 1 & 3 & \mathbf{0} \end{bmatrix}.$$

Stosując sukcesywnie przepis (7) oraz (6) wyznaczono numerycznie zależności d_N dla drzew wykładniczych i bezskalowych. Uśrednienia $\langle \dots \rangle$ dokonano po tysiącu różnych drzew. Zależności te pokazano w pracy [H1] na rysunku 2. W obu przypadkach zależności te są logarytmiczne dla dużych wartości N : $d_N \asymp 2 \ln N + c_1$ dla drzew wykładniczych oraz $d_N \asymp \ln N + c_2$ dla drzew bezskalowych.

Zauważmy, że zerowanie się elementów na diagonalu macierzy odległości \mathbf{S}_N pozwala powiązać średnią odległość międzywęzłową d_N ze średnim elementem macierzy odległości ℓ_N

$$\ell_N \equiv \frac{1}{N^2} \sum_{t_N} P(t_N) \sum_{i,j} s_N(i,j) = \left\langle \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N s_N(i,j) \right\rangle \quad (8)$$

relacją

$$(N-1)d_N = N\ell_N. \quad (9)$$

Wzór (4) z pracy [H1] pokazuje iteracyjną formułę na średni element ℓ_N macierzy \mathbf{S}_N . W przypadku drzew wykładniczych występujące w tym wzorze prawdopodobieństwo warunkowe $P(q|t_N)$ dołączenia nowego wierzchołka do węzła o numerze q wynosi $1/N$. Uwzględniając ten fakt oraz zależność (9), wzór (4) z pracy [H1] pozwala wyprowadzić iteracyjną formułę pozwalającą analitycznie wyznaczać d_{N+1} jeśli znamy d_N :

$$d_{N+1} = \frac{(N+2)(N-1)}{N(N+1)} d_N + \frac{2}{N+1}. \quad (10)$$

Analogicznie dla średniego kwadratu elementu macierzy odległości

$$\ell_N^2 = \left\langle \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} [s_N(i,j)]^2 \right\rangle \quad (11)$$

można wyprowadzić formułę iteracyjną na średni kwadrat odległości międzywęzłowych

$$d_{N+1}^2 = \frac{(N+2)(N-1)}{N(N-1)} d_N^2 + \frac{4(N-1)}{N(N+1)} d_N + \frac{2}{N+1}. \quad (12)$$

Połączenie wzorów (4) i (8) z pracy [H1] pozwala skonstruować iteracyjną formułę na wariancję odległości międzywęzłowej $\sigma_N^2 = d_N^2 - (d_N)^2$ w rosnących drzewach wykładniczych. W pracy [H1] na rysunku 3 pokazano zależności d_N i σ_N^2 uzyskane z formuł

iteracyjnych dla drzew z $N \leq 10^9$ wierzchołkami, wraz z porównaniem tych wyników z rezultatami bezpośrednich symulacji uśrednionymi po $M = 10^3$ realizacjach wzrostu drzew wykładniczych o mniej niż tysiącu węzłów. W obu przypadkach, tj. dla d_N i dla σ_N^2 zależności te są liniowe z $\ln(N^2)$. Świetna zgodność wyników bezpośrednich symulacji i wzorów iteracyjnych dla $N \leq 10^3$ pozwala wnioskować o predyktowności wyprowadzonych formuł iteracyjnych również dla $N \gg 10^3$. W obszarach tych rozmiarów grafów bezpośrednia symulacja wzrostu drzewa nastęrcza kłopotów zarówno jeśli chodzi o czasochłonność jak i pamięciochłonność obliczeń. Dodatkowo wiarygodność uzyskiwanych wówczas wyników silnie zależy od dostatecznie dobrej statystyki, tj. od ilości drzew M użytych do procedury uśredniania $\langle \dots \rangle$. Przypomnijmy, że dla dostatecznie dużej wartości N ilość drzew o N wierzchołkach dana jest przybliżoną formułą Ottera [33]:

$$T_O(N) = \beta \cdot \alpha^N \cdot N^{-5/2}, \quad \alpha \approx 2,9557652856, \quad \beta \approx 0,5349496061.$$

A więc już przy $N = 10^3$ mamy przebadania zespół liczący $M = 7,73 \times 10^{462}$ drzew. Z drugiej strony predyktowność tych formuł jest ograniczona tylko do rosnących drzew wykładniczych i stąd uzyskane wyniki różnią się np. od uzyskanych w pracy [8].

2.2.2 K. Malarz, J. Karpińska, A. Kardas i K. Kułakowski. „Node-node distance distribution for growing networks”. *TASK Quarterly* 8.1 (2004), 115–119

Zaprezentowany w pracy [H1] koncept tworzenia macierzy odległości \mathbf{S}_N równoległe ze wzrostem grafu został rozszerzony w pracy [H2] dla rosnących grafów prostych w sytuacji gdy nowo dołączany $(N + 1)$ -wszy wierzchołek przyłączany jest jednocześnie do $m = 2$ węzłów istniejącego grafu o N wierzchołkach. W takiej sytuacji dodawana nowa $(N + 1)$ -wsza kolumna (wiersz) do macierzy \mathbf{S}_N tworzona jest zgodnie z formułą:

$$s_{N+1}(N + 1, i) = s_{N+1}(i, N + 1) = \min(s_N(p, i), s_N(q, i)) + 1, \quad (13a)$$

gdzie indeksy p i q określają dwa wybrane wierzchołki do których nastąpi dołączenie nowego węzła. Oznacza to, że odległość $s_{N+1}(N + 1, i)$ nowo dodawanego węzła do wszystkich pozostałych wierzchołków $1 \leq i \leq N$ w sieci jest o jeden większa niż odległości do nich z wierzchołków p albo q , przy czym do ustalenia tej odległości wybierany jest ten z pary węzłów (p, q) przez którego uzyskane ścieżki są krótsze. Ponieważ dołączenie do grafu wierzchołka przy użyciu dwóch wiązań może wprowadzić w sieci skróty pomiędzy istniejącymi już wierzchołkami, konieczna jest ponowna ewaluacja odległości pomiędzy nimi:

$$s_{N+1}(i, j) = \min(s_N(i, j), s_N(i, p) + 2 + s_N(q, j)), \quad 1 \leq i, j \leq N. \quad (13b)$$

Podobnie jak dla drzew elementy diagonalne macierzy odległości są zerowe

$$s_{N+1}(N + 1, N + 1) = 0. \quad (13c)$$

Podobnie jak w pracy [H1] wybór węzłów p i q do których następuje przyłączenie węzłów może być losowy bądź preferencyjny. W pierwszym przypadku rozkład stopni wierzchołków grafu będzie wykładniczy $\mathcal{P}_k(k) \propto \exp(-k)$ w drugim zaś bezskalowy $\mathcal{P}_k(k) \propto k^{-\gamma}$.

Bazując ponownie na zerowaniu się elementów diagonalnych macierzy \mathbf{S}_N również dla sieci niebędących drzewami, możemy w analogii do wzoru (9) powiązać ze sobą średnie

potęgi elementów macierzowych $s_N^n(i, j)$ liczonych z uwzględnieniem elementów diagonalnych

$$\ell_N^n = \left\langle \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N [s(i, j)]^n \right\rangle, \quad (14)$$

bądź z ich pominięciem

$$d_N^n = \left\langle \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1, j \neq i}^N [s(i, j)]^n \right\rangle \quad (15)$$

a średniowanie $\langle \dots \rangle$ odbywa się po M niezależnych realizacjach procesu wzrostu sieci. Zerowanie się elementów diagonalnych $s_N(i, i) = 0$ sprawia, że sumy we wzorach (14) i (15) są sobie równe i stąd

$$N\ell_N^n = (N-1)d_N^n. \quad (16)$$

Dla drzew eksponencjalnych — gdzie dołączenie nowego wężła następuje do losowo wybranego już istniejącego wężła p — można zbudować formułę iteracyjną

$$(N+1)^2 \ell_{N+1}^n = \left\langle \sum_{i,j=1}^{N+1} s_{N+1}^n(i, j) \right\rangle = N^2 \ell_N^2 + 2 \left\langle \sum_{i=1}^N [1 + s(i, p)]^n \right\rangle, \quad (17)$$

wiązącą średni element macierzowy ℓ_{N+1}^n z analogicznym elementem ℓ_N^n sieci sprzed dołączenia $(N+1)$ -wszego wężła do wierzchołka p . Występująca po prawej stronie równania (17) jedynka pochodzi od nowododawanej krawędzi łączącej nowy wężel p z siecią o rozmiarze N zaś występująca przed ostatnią sumą dwójka wyraża symetryczność macierzy \mathbf{S} (dodaniu do macierzy \mathbf{S}_N nowej $(N+1)$ -wszej kolumny towarzyszy dodanie jej transpozycji jako $(N+1)$ -wszego wiersza tej macierzy). Wstawiając do równania (17) zależność (16) otrzymujemy formułę iteracyjną

$$d_{N+1}^n = \frac{(N+2)(N-1)}{(N+1)N} d_N^n + \frac{2}{N+1} + \frac{2(N-1)}{(N-1)N} \sum_{k=1}^{n-1} \binom{n}{k} d_N^k. \quad (18)$$

Podobnie jak w pracy [H1] predyktowność wyprowadzonych formuł iteracyjnych (18) została sprawdzona poprzez porównanie z wynikami bezpośrednich symulacji (rysunek 2 z pracy [H2]). W tym celu wygenerowano macierze \mathbf{S}_N dla drzew wykładniczych o $2 \leq N \leq 10^3$ wężłach i obliczono pierwsze, drugie, trzecie i czwarte potęgi ich elementów macierzowych. Wyniki te uśredniono po $M = 10^3$ realizacji drzew przypadkowych i porównano z zależnościami ℓ_N^i dla $i = 1, 2, 3, 4$. Znajomość średniej wartości n -tej potęgi d_N^n pozadiagonalnego elementu macierzy \mathbf{S}_N pozwoliła prześledzić zależność od rozmiaru sieci wybranych liczbowych charakterystyk rozkładu odległości międzywęzłowej dla drzew przypadkowych. Zależności te dla wartości oczekiwanej, wariancji, skośności i kurtozy ww. rozkładu przedstawiono w pracy [H2] na rysunku 3. Same zaś rozkłady odległości międzywęzłowych zaprezentowano na rysunku 1 wraz z dwoma rozkładami Poissona bardzo dobrze przybliżającymi rozkłady odległości pomiędzy wierzchołkami drzew.

Zarówno dla drzew ($m = 1$) jak i dla grafów prostych ($m = 2$) uzyskane zależności d_N skalują się z N w sposób logarytmiczny

$$d_N = a_1 \ln N + b_1,$$

co jest sygnaturą posiadania przez te sieci własności „małego świata”. Dla wykładniczych i bezskalowych drzew ($m = 1$) pokazano również, że wariancja rozkładu odległości międzywęzłowych $\sigma_N = (d_N)^2 - d_N^2$ rośnie logarytmicznie z N

$$\sigma_N = a_2 \ln N + b_2.$$

Uzyskane metodą najmniejszych kwadratów najlepsze dopasowania wartości parametrów a_1 , b_2 , a_2 i b_2 dla wykładniczych i bezskalowych drzew ($m = 1$) i grafów prostych o $m = 2$ przedstawiono w pracy [H2] w tabelach 1 i 2.

2.2.3 K. Malarz i K. Kułakowski. „Dependence of the average to-node distance on the node degree for random graphs and growing networks”. *European Physical Journal B* 41.3 (2004), 333–336

W pracy [H3] koncepcje tworzenia macierzy odległości w czasie kreacji sieci rozszerzono na przypadek klasycznych grafów przypadkowych Erdősa–Rényiego. Jak wspomniano we wprowadzeniu 2.1.1 klasyczny graf przypadkowy może powstać poprzez losowe połączenie N węzłów L krawędziami (konstrukcja Erdősa–Rényiego [27, 29]), bądź poprzez realizację każdego z możliwych $N(N - 1)/2$ połączeń między węzłami z zadaniem prawdopodobieństwem p (konstrukcja Gilberta [30]). W granicy termodynamicznej ($N \rightarrow \infty$) konstrukcje Gilberta i Erdősa–Rényiego dają ten sam wynik ($p = 2L/[N(N - 1)]$). W pracy [H3] do konstrukcji macierzy odległości grafu przypadkowego wykorzystano właśnie podejście Gilberta. Punktem startowym konstrukcji macierzy \mathbf{S}_N dla grafu o N węzłach jest macierz składająca się z zer na diagonalu i z elementami pozadiagonalnymi równymi bądź większymi od N . Przechodząc sekwencyjnie przez pozadiagonalne elementy tej macierzy z prawdopodobieństwem p zastępujemy występujące tam wartości $s_N(i, j < i) \geq N$ jedynkami $s_N(i, j) = 1$ tworząc w ten sposób krawędź pomiędzy elementami i a j . Macierz odległości \mathbf{S}_N jest symetryczna, więc $s(j, i) = s(i, j)$. Utworzenie takiej krawędzi może wprowadzać pomiędzy już połączonymi węzłami m i n „skrót” i dlatego realizacji każdego z wiązań musi towarzyszyć ponowna ewaluacja wszystkich elementów macierzy właśnie tworzonej macierzy \mathbf{S}_N :

$$s(m, n) = \min \left(s(m, n), s(m, i) + 1 + s(j, n), s(m, j) + 1 + s(i, n) \right). \quad (19)$$

Utworzona w ten sposób macierz odległości \mathbf{S}_N odpowiada grafowi spójnemu jeśli żaden z jej elementów nie jest większy od $N - 1$.

Główne zadanie badawcze postawione w pracy [H3] zostało zdefiniowane jako poszukiwanie charakterystyk liczbowych sieci złożonych umożliwiających szacowanie efektywności prowadzonych na nich procesów kontaktowych. Badane w pracach [H1–H6] sieci złożone charakteryzują się efektem „małego świata”. Jak wspomniano we wprowadzeniu 2.1.2, efekt „małego świata” został wykryty w eksperymencie zaproponowanym przez Milgrama [24]. W tego typu procesach kontaktowych znalezienie najodpowiedniejszej osoby (węzła sieci) wydaje się nietrywialnym zadaniem [13, 16]. Jedną z narzucających się metod wyboru kolejnych węzłów mających statystycznie bliżej do wszystkich pozostałych węzłów w sieci jest wybór tego z najbliższych sąsiadów, który posiada najwięcej połączeń z kolei do swoich sąsiadów. Taka strategia okazała się być efektywną w przypadku grafów bezskalowych ale nie zdaje egzaminu dla klasycznych grafów przypadkowych [16]. W pracy [H3] pokazano, że strategia ta sprawdza się również dla grafów wykładniczych a zwłaszcza dla wykładniczych drzew.

W celu jakościowego określenia efektywności strategii poszukiwania kolejnych węzłów poprzez które transport w procesie kontaktowym jest najwydajniejszy utworzono macierze odległości \mathbf{S}_N dla sieci bezskalowych, wykładniczych i Erdősa–Rényiego. Następnie dla każdego z wierzchołków grafu określono jego stopień $k(i)$ i jego średnią odległości $\xi(i)$ do

wszystkich pozostałych wierzchołków w grafie

$$\xi(i) = \frac{1}{N-1} \sum_{j \neq i}^N s_N(i, j).$$

Dysponując macierzą odległości \mathbf{S}_N , stopień i -tego wierzchołka grafu uzyskuje się zliczając wystąpienia jedynek w i -tym wierszu (bądź i -tej kolumnie) macierzy \mathbf{S}_N . Uśredniając teraz otrzymane wartości $\xi(i)$ po wszystkich węzłach o stopniu $k(i)$ uzyskujemy zależność średniej odległości węzła do pozostałych w sieci w funkcji stopnia wierzchołka $\xi(k)$. Oczekujemy, że zależność $\xi(k)$ będzie malejąca z k , gdyż lepiej połączone węzły mają statystycznie większe szanse na krótkie ścieżki do innych węzłów w sieci. Jeśli zmniejszanie się ξ ze wzrostem k jest wyraźne, to dyskutowana wyżej strategia poszukiwań węzłów będących dobrymi kandydatami na pośrednictwo w procesach kontaktowych będzie strategią efektywną. Zależności $\xi(k)$ dla wykładniczych i bezskalowych grafów prostych ($m = 2$) i drzew ($m = 1$) oraz klasycznych grafów przypadkowych z $p = 0,02, 0,05, 0,4$ pokazano w pracy [H3] na rysunku 1. Wyniki dla grafów o $N = 10^3$ węzłach uśredniono po M symulacjach z $M = 10^7, 10^3$ i 10^2 odpowiednio dla drzew, grafów prostych i klasycznych grafów przypadkowych. Na tym samym rysunku pokazano również kształt krzywych $\xi(k)$ dla dziesięciokrotnie większych drzew ($N = 10^4$) ale uśredniony tylko po $M = 10$ realizacjach tych drzew. Nachylenie tych krzywych

$$\eta(k) = -\frac{\partial \xi(k)}{\partial \ln(k)} \quad (20)$$

daje właśnie ilościową miarę efektywności procesu kontaktowego. Kolejne uśrednienie (tym razem po stopniach wierzchołków k) pozwoliłoby dla każdej z rozważanych sieci na wyliczenie jednej wartości η charakteryzującej „dobroć” omawianej strategii. Ponieważ w takiej średniej przeważałby przycynek od węzłów o niewielkim stopniu, to kluczowy może być początkowy kształt zależności $\xi(k)$. Zamiast tego uśrednienia w pracy [H3] na rysunkach 2(a) i 2(b) pokazano pełne zależności $\eta(k)$ dla różnych rodzajów sieci. Potwierdzają one wnioski z pracy [16], że strategia wybierania do procesu kontaktowego węzłów o największym stopniu nie sprawdza się dla klasycznych grafów przypadkowych (współczynnik η praktycznie nie zależy od k i jest bliski zeru) a jest efektywna dla grafów bezskalowych. Na rysunkach 2(a) i 2(b) z pracy [H3] widać też wyraźnie, że strategia ta sprawdza się równie dobrze jak dla sieci bezskalowych w przypadku wykładniczych grafów prostych ($m = 2$) i jeszcze lepiej dla wykładniczych drzew ($m = 1$).

Zwiększona skuteczność omawianej strategii dla drzew eksponencjalnych w stosunku do sieci bezskalowych zdaje się być bezpośrednio powiązana z hierarchicznością tych ostatnich. W wyniku preferencyjnego mechanizmu przyłączania węzłów pojawiające się w sieciach bezskalowych fluktuacje stopni wierzchołków w kierunku ich wyższych wartości zostają naturalnie wzmocnione i wzrost sieci odbywa się w sąsiedztwie tych węzłów z większą niż przeciętna ilością sąsiadów. Wówczas dyskutowany mechanizm wyszukiwania węzłów do prowadzenia przez nie procesu kontaktowego może nas doprowadzić tylko do lokalnego centrum sieci. W drzewach eksponencjalnych ten efekt tworzenia się lokalnych hubów nie występuje i dlatego współczynnik η dla tych sieci (zwłaszcza drzewiastych, gdzie ścieżki między węzłami są unikatowe) jest duży.

Niezależnie od topologii sieci dyskutowana strategia wyboru węzłów ma też swoje naturalne ograniczenia. Należy się spodziewać, że przestanie być ona efektywna po dotarciu w swoich poszukiwaniach do prawdziwego centrum sieci. Wówczas nie będzie już

potrafiła wskazać kolejnego bardziej atrakcyjnego kandydata do poruszania po sieci. To ograniczenie jest widoczne w pracy [H3] na rysunkach 2(a) i 2(b) w postaci wyraźnego maksimum zależności $\eta(k)$. Na rysunku 1 z pracy [H3] widać natomiast, że zwiększanie rozmiaru sieci nie wpływa na kształt zależności $\xi(k)$ — z wyjątkiem przesunięcia się krzywych dla $N = 10^4$ w stosunku do krzywych dla $N = 10^3$ w kierunku wyższych wartości ξ i logarytmicznie wolnego ich płynięcia w kierunku wyższych wartości k . W konsekwencji zależności $\eta(k)$ dla różnych rozmiarów sieci nie różnią się od siebie znacząco a zmieniają się jakościowo i ilościowo wraz ze zmianą mechanizmu generacji sieci.

2.2.4 K. Malarz i K. Kułakowski. „Matrix representation of evolving networks”. *Acta Physica Polonica B* 36.8 (2005), 2523–2536

Wyniki opublikowane w pracach [H1–H3] zostały zaprezentowane w trakcie 1. Ogólnopolskiego Sympozjum „Fizyka w Naukach Społecznych i Ekonomicznych” [C1.17]. Praca [H4] zamieszczona w materiałach pokonferencyjnych zawiera prezentację i podsumowanie najważniejszych wyników ww. prac. W szczególności, przypomniano w niej sposoby konstrukcji macierzy odległości \mathbf{S}_N dla bezskalowych i wykładniczych drzew ($m = 1$) i grafów prostych ($m = 2$) oraz klasycznych grafów przypadkowych. Powtórzono również opisy konstrukcji przepisów iteracyjnych (18) na średnią n -tą potęgę odległości międzywęzłowej d_{N+1}^n dla drzew wykładniczych. Otrzymane na podstawie zależności (18) wartości d_{N+1}^n dla $n = 1, \dots, 10$ i $3 \leq N \leq 10^3$ porównano z wynikami bezpośrednich symulacji i przedstawiono w pracy [H4] na rysunku 7. Pokazano również, jak dysponując macierzą odległości można wyłuskiwać charakterystyki liczbowe poszczególnych węzłów (stopień węzłów oraz średnią odległość do pozostałych węzłów w grafie), charakterystyki globalne sieci (jak na przykład średnicę sieci) oraz jak na tych sieciach badać efektywność procesów kontaktowych. Oprócz prezentacji topologii ww. sieci na rysunku 1 (w pracy [H4]) pokazano również uzyskane w eksperymencie komputerowym kształty rozkładów stopni wierzchołków $\mathcal{P}_k(k)$ wraz z porównaniem ich z rozkładami teoretycznymi (rysunek 5) oraz rozkłady odległości międzywęzłowych (rysunek 6).

2.2.5 K. Malarz i K. Kułakowski. „Memory effect in growing trees”. *Physica A* 345.1-2 (2005), 326–334

W pracy [H5] konstrukcje macierzy odległości \mathbf{S}_N przedstawione w pracach [H1, H2] oraz iteracyjne wzory (18) wykorzystano do badania efektu pamięci kształtu początkowego zarodka rosnących sieci bezskalowych i wykładniczych. Badaniom poddano ponownie drzewa ($m = 1$) i grafy proste, w których nowe węzły dodawane do rosnącej sieci przyłączane są do dwóch spośród już istniejących węzłów ($m = 2$). Ponieważ istnieje tylko jedno drzewo o trzech wierzchołkach³ do badania wpływu kształtu zarodka na ewolucję rosnących sieci jako punkt startowy trzeba przyjąć drzewa składające się co najmniej z $N = 4$ węzłów. Kształty tych dwóch drzew oznaczono w pracy [H5] jako Z (w przypadku czterowierzchołkowego łańcucha węzłów) i Y (dla drzewa w kształcie gwiazdy). Dla obu tych konfiguracji

³Mówimy tu tylko o drzewach rozróżnialnych topologicznie, tj. bez uwzględnienia możliwych etykietowań węzłów grafu. W tym drugim przypadku ilość drzew t_N z ilością węzłów N zmienia się zgodnie z formułą Cayleya $t_N = N^{N-2}$ [34].

skonstruowano macierze odległości:

$$\mathbf{S}_4^Z = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{oraz} \quad \mathbf{S}_4^Y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}.$$

Efekt pamięci kształtu początkowej struktury sieci był badany poprzez obserwację różnicy pomiędzy średnicami d_N rosnących sieci

$$\Delta_N^1 \equiv d_N(Z) - d_N(Y) \quad (21)$$

oraz różnic pomiędzy średnimi kwadratami pozadiagonalnych elementów d_N^2 macierzy odległości \mathbf{S}_N

$$\Delta_N^2 \equiv d_N^2(Z) - d_N^2(Y), \quad (22)$$

gdzie oznaczenia Z i Y odnoszą się odpowiednio do sieci rosnących od zarodka w postaci czterowierzchołkowego łańcucha bądź gwiazdy.

Na rysunkach 2 i 3 w omawianej pracy przedstawiono zależności Δ_N^1 i Δ_N^2 uzyskane w bezpośrednich symulacjach (tj. korzystających z konstrukcji macierzy odległości \mathbf{S}_N opisanych równaniami (7) i (13)) dla obu typów rozważanych drzew i $N \leq 10^3$. Wyniki symulacji uśredniono po $M = 10^5$ realizacjach procesu wzrostu sieci. Na rysunku 2 w pracy [H5] pokazano te zależności dane również poprzez formuły iteracyjne (18) dla drzew wykładniczych i $4 \leq N \leq 10^9$. W tym przypadku informacja o początkowych kształcie drzewa jest zakodowana w wartościach $d_4(Z) = 5/3$, $d_4^2(Z) = 10/3$ oraz $d_4(Y) = 3/2$ i $d^2(Y) = 5/2$. Dla obu rodzajów badanych drzew wartości Δ_N^1 przyjmują stałą wartość od $N \approx 100$, zaś Δ_N^2 jest rosnącą funkcją N . Oznacza to, że badane drzewa wykazują efekt pamięci kształtu swojego „zarodka”.

W pracy [H5] na rysunku 6 pokazano zależności Δ_N^1 i Δ_N^2 dla bezskalowych i wykładniczych grafów prostych uśrednione po realizacji $M = 10^3$ procesów wzrostu sieci. Dla grafów wykładniczych obie różnice $\Delta_N^{1,2}$ zerują się od dodania do rosnącej sieci ok. $N \approx 100$ wierzchołków — od tego momentu sieć zapomina o swym pierwotnym kształcie. Dla grafów bezskalowych wartości $\Delta_N^1 < 0,02$, zaś $\Delta_N^2 < 0,1$ i powoli maleją z N . Dla tych ostatnich sieci trudno więc na podstawie obserwacji zachowań $\Delta_N^{1,2}$ przy $N \leq 10^3$ jednoznacznie stwierdzić, czy jest w nich obecny efekt pamięci kształtu „zarodka”. Z pewnością jest on jakościowo i ilościowo słabszy niż dla pozostałych trzech badanych typów sieci. Ponieważ bezskalowe grafy proste były badane tylko poprzez bezpośrednią symulację ograniczoną maksymalnym rozmiarem macierzy odległości \mathbf{S}_N , to biorąc pod uwagę monotoniczność $\Delta_N^{1,2}$ nie można wykluczyć, że dla dostatecznie dużych sieci $N \gg 10^3$ efekt pamięci kształtu również i dla tego typu sieci zaniknie. W przypadku grafów prostych, gdy nowo dodawany węzeł przyłączany jest $m = 2$ wiązaniami do istniejącej już sieci możliwe jest tworzenie się „skrótów” między istniejącymi już wierzchołkami czemu towarzyszy ciągle przebudowywanie macierzy odległości \mathbf{S}_N zgodnie z równaniem (13b) i w konsekwencji informacja o początkowym kształcie sieci zawarta w lewym górnym fragmencie macierzy \mathbf{S}_N — o rozmiarze 4×4 — jest stopniowo zacierana. Efekt zmiany tych szesnastu elementów macierzy \mathbf{S}_N nie występuje w przypadku drzew i dlatego badane drzewa wykazują efekt pamięci swojego pierwoksztaltu.

2.2.6 K. Malarz. „Numbers of n -th neighbors and node-to-node distances in growing networks”. *Acta Physica Polonica B* 37.2 (2006), 309–318

W pracy [H6] algorytmy konstrukcji macierzy odległości \mathbf{S}_N przedstawione w pracach [H1, H2] wykorzystane zostały do weryfikacji w bezpośredniej symulacji komputerowej teoretycznie przewidywanych ilości z_L sąsiadów węzłów sieci złożonej w L -tej sferze koordynacyjnej, oraz zależności średniej odległości międzywęzłowej

$$\lambda(\pi) = \left\langle \frac{1}{N_\pi} \sum_{\substack{i,j>i, \\ k_i k_j = \pi}} s(i, j) \right\rangle \quad (23)$$

od iloczynu π stopni wierzchołków i i j , gdzie N_π oznacza ilość par węzłów, które mają iloczyny $k_i k_j$ równy π .

Formuła pozwalająca szacować ilości sąsiadów z_L w L -tej sferze koordynacyjnej losowo wybranego węzła

$$z_L = z_1^{2-L} z_2^{L-1}, \quad (24)$$

została z wykorzystaniem formalizmu funkcji generujących [20] przewidziana teoretycznie w pracy [17]. Symbole z_1 i z_2 w równaniu (24) oznaczają ilości najbliższych i drugich najbliższych sąsiadów losowo wybranego węzła. Wartość z_1 jest oczywiście średnim stopniem wierzchołka w sieci

$$z_1 = \left\langle \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i \right\rangle, \quad (25)$$

natomiast ilość drugich najbliższych sąsiadów (z_2) dana jest formułą Shargela [10]

$$z_2 = \left\langle \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N k_i^2 - \sum_{i=1}^N k_i \right) \right\rangle. \quad (26)$$

Również z wykorzystaniem techniki funkcji generujących teoretyczna zależność $\lambda(\pi)$ (zdefiniowana formułą (23))

$$\lambda(\pi) = A + B \ln(k_i k_j), \quad (27a)$$

gdzie

$$A = 1 + \frac{\ln(N z_1)}{\ln(z_2/z_1)} \quad \text{i} \quad B = -\frac{1}{\ln(z_2/z_1)} \quad (27b)$$

została wyprowadzona w pracy [14] i potwierdzone w analizie rzeczywistych sieci komunikacyjnych oraz symulowanych klasycznych grafów przypadkowych i sieci bezskalnych w pracach [4, 5].

Ponieważ formalizm funkcji generujących ma charakter średniopolowy to powinien dawać poprawne rezultaty wyłącznie dla drzew jednorodnych. Średniopolowy charakter wspomnianego formalizmu wiąże się z leżącym u jego podstaw założeniem o braku korelacji pomiędzy stopniami węzłów. Jednak w drzewach rosnących założenie to jest mało uprawnione, jako że najstarsze (i w konsekwencji o ponadprzeciętnym stopniu) węzły takiej sieci będą sobie geometrycznie bliższe niż węzły dodawane do sieci jako ostatnie (i będące liśćmi drzewa).

Celem badawczym postawionym w pracy [H6] było określenie czy przewidywania dane formułami (24), (26) i (27) sprawdzają się również dla drzew wykładniczych.

W celu walidacji formuły (24) zbadano zależności od rozmiaru sieci N różnicy

$$\delta_L(N) = z_1^{2-L} z_2^{L-1} - z_L \quad (28)$$

dla $L = 3, 4, 5$ i $N \leq 10^3$. Wyniki uśredniono po $M = 10^4$ niezależnych symulacjach sieci. Na rysunku 1 w pracy [H6] przedstawiono zależności (28) dla wykładniczych i bezskalowych drzew ($m = 1$) oraz grafów prostych ($m = 2$). O ile dla konstrukcji Albert–Barabásiego rozmiary symulowanych sieci są zbyt małe by zaobserwować zgodność z_L i $z_1^{2-L} z_2^{L-1}$ dla $L = 3, 4, 5$ (bądź taka zgodność dla tych sieci nie występuje) to dla sieci wykładniczych — i to nie tylko dla drzew ale również i dla grafów prostych ($m = 2$) — zależność $\delta_L(N)$ maleje monotonicznie z N od $N \approx 100$.

Wartości oczekiwane ilości najbliższych (z_1) i drugich najbliższych sąsiadów (z_2) zamiast w bezpośredniej symulacji można też wyznaczyć znając rozkłady prawdopodobieństwa $\mathcal{P}_k(k)$ stopni wierzchołków grafów. Wówczas

$$z_1 = \sum_{k=m}^{\infty} k \mathcal{P}_k(k) \quad (29)$$

oraz na podstawie (26)

$$z_2 = \sum_{k=m}^{\infty} k(k-1) \mathcal{P}_k(k). \quad (30)$$

Rozkłady prawdopodobieństwa stopni wierzchołków dla dyskutowanych sieci dane są formułami

$$\mathcal{P}_k(k \geq m) = \begin{cases} 2^{-k} & \text{dla } m = 1, \\ \frac{3}{4} \left(\frac{3}{2}\right)^{-k} & \text{dla } m = 2, \end{cases} \quad (31)$$

dla sieci wykładniczych [H4, 12] oraz

$$\mathcal{P}_k(k \geq m) = \frac{2m(m+1)}{(k+2)(k+2)k} \quad (32)$$

dla sieci bezskalowych [6, 7].

Dla sieci bezskalowych (tj. przy rozkładzie prawdopodobieństwa stopni wierzchołków $\mathcal{P}_k(k)$ danych równaniem (32)) w granicy termodynamicznej ($N \rightarrow \infty$) suma w równaniu (30) jest rozbieżna. Dla skończonych lecz dużych takich sieci suma z równania (30) może zostać przybliżona jako

$$z_2 \approx \hat{z}_2 = \sum_{k=m}^{N-1} k(k-1) \mathcal{P}_k(k) = 2m(m+1) \sum_{k=m}^{N-1} \frac{k-1}{(k+2)(k+1)}. \quad (33)$$

Zależności $\hat{z}_2(N)$ dla $m \leq N \leq 10^6$ pokazano w pracy [H6] na rysunku 2. Suma ta rośnie logarytmicznie z $N \gg m$

$$\hat{z}_2(N) \asymp a_m \ln(N) + b_m \quad (34)$$

z wyznaczonymi metodą najmniejszych kwadratów wartościami $a_m = 3,99$ i $b_m = -7,55$ ($m = 1$) oraz $a_m = 11,96$ i $b_m = -2,66$ ($m = 2$).

Wartości wyznaczonych wielkości z_1 i z_2 dla drzew ($m = 1$) i grafów prostych ($m = 2$) i obu rozważanych rodzajów sieci (wykładniczych i bezskalowych) wyznaczone w bezpośredniej symulacji bądź wyliczone ze wzorów (29) i (30) zebrano w pracy [H6] w tabeli 1. Uzyskane z symulacji wartości z_1 [wzór (25)] i z_2 [wzór (26)] zgadzają się z ich wartościami wyliczonymi na podstawie rozkładów prawdopodobieństwa (29) i (30) dla wykładniczych drzew ($m = 1$) i grafów prostych ($m = 2$). Dla sieci bezskalowych zgodność ta dotyczy wyłącznie wartości z_1 a wartości przybliżonych sum \hat{z}_2 (33) różnią się dla tych sieci istotnie od wyznaczonych w bezpośredniej symulacji wartości z_2 [wzór (26)].

W pracy [H6] w tabeli 1 pokazano też uzyskane w symulacji średnie ilości trzecich najbliższych sąsiadów z_3 oraz wartości $z_3 = z_2^2/z_1$ wyliczone ze wzoru (24), gdzie wartości z_1 i z_2 są również wyznaczone w bezpośredniej symulacji. Podobnie jak w przypadku ilości najbliższych i drugich najbliższych sąsiadów zgodność ilości trzecich najbliższych sąsiadów z_3 z przewidywaniami wzoru (24) obserwowana jest tylko dla sieci wykładniczych i nieco lepsza dla drzew ($m = 1$) niż dla grafów prostych ($m = 2$).

W drugiej części pracy [H6] dla tych samych sieci badano predyktywność formuły Mottera i innych (27). Zależność $\lambda(\pi)$ przedstawiono w pracy [H6] na rysunku 3 wraz z dopasowaniami metodą najmniejszych kwadratów funkcji logarytmicznych oraz teoretycznych zależności danych równaniem (27). Wartości przewidzianych formułą (27b) współczynników A i B z równania (27a) wraz z tymi samymi współczynnikami wyznaczonymi metodą najmniejszych kwadratów zestawiono w dolnej części tabeli 1 [H6]. Podobnie jak dla formuły pozwalającej wyliczać ilości L -tych kolejnych sąsiadów (24) zgodność przewidywań teoretycznych wzorów (27) z wynikami symulacji komputerowych jest zadowalająca dla sieci wykładniczych i co najwyżej jakościowa dla sieci bezskalowych.

Jak wspomniano na stronie 18 przewidywania formuł (24) i (27) wyprowadzonych w formalizmie funkcji generujących powinny sprawdzać się wyłącznie dla drzew jednorodnych. Tym czasem predyktywność równań (24) i (27) jest również zadowalająca dla sieci wykładniczych i to nie tylko o strukturze drzewiastej. We wnioskach w pracy [H6] stwierdzono, że wspomniane wyżej formuły mogą być użyteczne dla sieci posiadających w granicy termodynamicznej skończone wartości $\sum_{k=m}^{\infty} k^2 \mathcal{P}_k(k)$.

2.3 Podsumowanie

Klamrą spinającą tematykę prac [H1–H6] są symulacje komputerowe własności topologicznych sieci złożonych badane na podstawie własności macierzy odległości \mathbf{S}_N . Macierze te zostały zbudowane w oparciu o algorytmy przedstawione w pracach [H1–H3], które to algorytmy umożliwiają konstrukcje tych macierzy *z pominięciem* etapu tworzenia list bądź macierzy sąsiedztwa.

Reasumując, za najważniejsze osiągnięcia opublikowane w pracach [H1–H6] uznałbym:

- zaproponowanie nowych schematów [formuły (7), (13) i (19)] konstrukcji macierzy odległości \mathbf{S}_N , z jednej strony niewymagających znajomości listy bądź macierzy sąsiedztwa a z drugiej pozwalającego na tworzenie \mathbf{S}_N równolegle z powstawaniem sieci rosnących [H1, H2, H4] oraz klasycznych grafów przypadkowych [H3, H4],
- wyprowadzenie formuł iteracyjnych (10), (12), (18) na momenty rozkładu odległości międzywierzchołkowych d_N^m dla drzew wykładniczych [H1, H2, H4],
- wprowadzenie nowej charakterystyki funkcyjnej (20) umożliwiającej badanie efektywności procesów kontaktowych na sieciach złożonych [H3, H4],
- wskazanie na istnienie efektu pamięci kształtu zarodka rosnących drzew oraz braku takiego efektu dla grafów prostych nie posiadających struktury drzewiastej [H5]
- oraz pokazanie, że formuły (24) i (27), opisujące odpowiednio ilość L -tych następnich sąsiadów ($L \geq 3$) i średnie odległości międzywęzłowe w funkcji iloczynów stopni wierzchołków z powodzeniem można stosować również do grafów wykładniczych o niekoniecznie drzewiastej strukturze [H6].

Większość algorytmów i pomysłów zaproponowanych w pracach [H1–H6] może z powodzeniem zostać wykorzystana do badania sieci/grafów skonstruowanych jako zespół statystyczny a nie w procesie wzrostu. Tego typu modele znajdują zastosowania w badaniach wielu rzeczywistych sieci (w tym w biologii molekularnej, genetyce, logistyce transportu czy socjologii), w których dążenie układu do stanu równowagi gra ważną rolę. Przykładem takich układów mogą być sieci oddziaływań białek czy sieci regulatorów genetycznych opisujących systemy biologiczne adaptujące się przez długi czas do warunków zewnętrznych. Dla takich układów można zdefiniować sumę statystyczną i każdej z pojedynczych sieci przypisać jej wagę w zespole statystycznym.

Znając dla takich układów sumę statystyczną można sprawdzać czy w przestrzeni parametrów modelu da się wyodrębnić różne fazy układu, a jeśli tak, to również badać charakter przejścia fazowego między nimi [7]. Można na przykład badać jak charakter przejścia fazowego odzwierciedla własności geometryczne i topologiczne sieci układu albo jak zmieniają się w punkcie krytycznym odległości międzywęzłowe i korelacje między nimi. Można też zadać pytanie czy w zespole występują typowe sieci/grafy (czyli pytać o samouśrednienie układu) albo jaka jest ilość ścieżek cyklicznych w takim typowym grafie, etc. Będąc najprostszym przykładem zespołu statystycznego klasyczne grafy przypadkowe (Erdős–Rényiego) mają tych ścieżek cyklicznych bardzo mało i jest to sytuacja generyczna dla zespołów statystycznych grafów rzadkich.

Tymczasem rzeczywiste sieci o takiej samej gęstości węzłów i wiązań jak sieci Erdős–Rényiego mają zdecydowanie więcej ścieżek cyklicznych; otwartym pytaniem pozostaje więc metodyka konstrukcji zespołu statystycznego grafów rzadkich o ponadnormatywnej ilości cykli. Okazało się, że zdefiniowanie takich modeli w podejściu statystycznym nie jest zadaniem łatwym. Najprostsza próba stworzenia takiego modelu — bazująca na wprowadzeniu liniowego sprzężenia między ilością ścieżek cyklicznych — prowadzi do niestabilności zwanej niestabilnością Straussa [21], będącej rodzajem przejścia fazowego do fazy, gdzie grafy posiadają kliki maksymalizujące ilość najkrótszych ścieżek cyklicznych (trójkątów). Tego typu grafy nie są jednak spotykane wśród rzeczywistych sieci. Zdaje się więc niezwykłym interesującym pomysłem poszukiwania zespołu statystycznego grafów posiadających wiele cykli o gęstości porównywalnej z tymi obserwowanymi w układach rzeczywistych [1].

Bibliografia

- [1] E. Roberts i A. Coolen. „Random graph ensembles with many short loops”. 2014.
- [2] A. Fronczak i P. Fronczak. *Świat sieci złożonych. Od fizyki do Internetu*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2009.
- [3] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest i C. Stein. *Wprowadzenie do algorytmów*. 8 wydr. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2007.
- [4] J. A. Hołyst, J. Sienkiewicz, A. Fronczak, P. Fronczak i K. Suchecki. „Scaling of distances in correlated complex networks”. *Physica A* **351**.1 (2005), 167–174.
- [5] J. Sienkiewicz i J. A. Hołyst. „Public transport systems in Poland: From Białystok to Zielona Góra by bus and tram using universal statistics of complex networks”. *Acta Physica Polonica B* **36**.5 (2005), 1771–1778.
- [6] B. Tadić, K. Malarz i K. Kułakowski. „Magnetization reversal in spin patterns with complex geometry”. *Physical Review Letters* **94**.13 (2005), 137204.

- [7] Z. Burda, J. Jurkiewicz i A. Krzywicki. „Statistical mechanics of random graphs”. *Physica A* **344**.1-2 (2004), 56–61.
- [8] P. Białas, Z. Burda, J. Jurkiewicz i A. Krzywicki. „Tree networks with causal structure”. *Physical Review E* **67**.6 (2003), 066106.
- [9] M. E. J. Newman. „The structure and function of complex networks”. *SIAM Review* **45**.2 (2003), 167–256.
- [10] B. Shargel, H. Sayama, I. R. Epstein i Y. Bar-Yam. „Optimization of robustness and connectivity in complex networks”. *Physical Review Letters* **90**.6 (2003), 068701.
- [11] R. Albert i A.-L. Barabási. „Statistical mechanics of complex networks”. *Review of Modern Physics* **74**.1 (2002), 47–97.
- [12] S. N. Dorogovtsev i J. F. F. Mendes. „Evolution of networks”. *Advances in Physics* **51**.4 (2002), 1079–1187.
- [13] B. J. Kim, C. N. Yoon, S. K. Han i H. Jeong. „Path finding strategies in scale-free networks”. *Physical Review E* **65**.2 (2002), 027103.
- [14] A. E. Motter, T. Nishikawa i Y.-C. Lai. „Range-based attack on links in scale-free networks: Are long-range links responsible for the small-world phenomenon?” *Physical Review E* **66**.6 (2002), 065103.
- [15] B. Tadić. „Temporal fractal structures: origin of power laws in the world-wide Web”. *Physica A* **314**.1-4 (2002), 278–283.
- [16] L. A. Adamic, R. M. Lukose, A. R. Puniyani i B. A. Huberman. „Search in power-law networks”. *Physical Review E* **64**.4 (2001), 046135.
- [17] M. E. J. Newman, S. H. Strogatz i D. J. Watts. „Random graphs with arbitrary degree distributions and their applications”. *Physical Review E* **64**.2 (2001), 026118.
- [18] B. Tadić. „Dynamics of directed graphs: the world-wide Web”. *Physica A* **293**.1-2 (2001), 273–284.
- [19] A.-L. Barabási i R. Albert. „Emergence of scaling in random networks”. *Science* **286**.5439 (1999), 509–512.
- [20] H. S. Wilf. *Generatingfunctionology*. London: Academic Press, 1994.
- [21] D. Strauss. „On a general class of models for interaction”. *SIAM Review* **28**.4 (1986), 513–527.
- [22] D. B. Johnson. „Efficient algorithms for shortest paths in sparse networks”. *Journal of the ACM* **24**.1 (1977), 1–13.
- [23] J. E. Hopcroft i R. E. Tarjan. „ACM Algorithm 447: Efficient Algorithms for Graph Manipulation [H]”. *Communications of the ACM* **16**.6 (1973), 372–378.
- [24] S. Milgram. „Small-world problem”. *Psychology Today* **1**.1 (1967), 61–67.
- [25] L. R. Ford Jr. i D. R. Fulkerson. *Flows in Networks*. Princeton: Princeton University Press, 1962.
- [26] C. Lee. „An algorithm for path connection and its applications”. *IRE Transactions on Electronic Computers* **EC-10**.3 (1961), 346–365.

- [27] P. Erdős i A. Rényi. „On the evolution of random graphs”. *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences* **5** (1960), 17–61.
- [28] E. Dijkstra. „A note on two problems in connexion with graphs”. *Numerische Mathematik* **1.1** (1959), 269–271.
- [29] P. Erdős i A. Rényi. „On random graphs. I”. *Publicationes Mathematicae* **6** (1959), 290–297.
- [30] E. N. Gilbert. „Random graphs”. *The Annals of Mathematical Statistics* **30.4** (1959), 1141–1144.
- [31] E. F. Moore. „The shortest path through a maze”. *Proceedings of an International Symposium on the Theory of Switching*. Cambridge: Harvard University Press, 1959, 285–292.
- [32] R. Bellman. „On a routing problem”. *Quarterly of Applied Mathematics* **16.1** (1958), 87–90.
- [33] R. Otter. „The number of trees”. *Annals of Mathematics* **49.3** (1948), 583–599.
- [34] A. Cayley. „A theorem on trees”. *Quarterly Journal of Pure and Applied Mathematics* **23** (1889), 376–378.
- [35] D. J. Watts i S. H. Strogatz. „Collective dynamics of ‘small-world’ networks”. *Nature* **393.6684** (1998), 440–442.

K. Melan

3 Osiągnięcia naukowo-badawcze

3.1 Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)

Jestem autorem [A1.1, A2.3, A1.16, A1.17, A1.31, A1.35, A1.36] bądź współautorem czterdziestu sześciu prac (z czego czterdziestu dwóch w czasopismach z dziedziny fizyki [A1.1–A1.42] i czterech w czasopismach spoza dziedziny fizyki [A2.1–A2.4], w tym dwóch notek redakcyjnych [A1.9, A1.10] i ośmiu prac, które ukazały się przed doktoratem [A1.35–A1.42]) opublikowanych w czasopismach wyróżnionych na liście JCR. Listę tych prac wraz z podaniem współczynnika *impact factor* (w roku opublikowania pracy i wg. danych Biblioteki Głównej AGH zawartych w bibliografii publikacji pracowników AGH) oraz ilości cytowań wg. bazy *Web of Science* zawiera wykaz A zamieszczony na końcu autoreferatu.

3.1.1 Wskazanie własnego udziału merytorycznego i procentowego w powstaniu publikacji wieloautorskich (innych niż wchodzące w skład osiągnięcia naukowego) z Wykazu A

- W pracy [A1.42] (K. Malarz i A. M. Vidales. „Universal ratio χ in two-dimensional square random-site percolation”. *International Journal of Modern Physics C* **9.1** (1998), 147–155. Impact Factor: 0.962, ilość cytowań: 5) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych oraz byłem autorem oprogramowania umożliwiającego wyznaczenie tytułowego wskaźnika χ z wykorzystaniem algorytmu Hoshena–Kopelmana (współautorka pracy wyznaczała go korzystając z algorytmu Leatha). Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.
- W pracy [A1.41] (K. Malarz i D. Tiggemann. „Dynamics in Eigen quasispecies model”. *International Journal of Modern Physics C* **9.3** (1998), 481–490. Impact Factor: 0.962, ilość cytowań: 15) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych oraz byłem autorem oprogramowania do symulacji jednego z dwóch diskutowanych w pracy modeli dynamiki eigenowskiej populacji osobników przy wprowadzeniu zmiennej ich liczebności. Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.
- W pracy [A1.40] (K. Malarz, K. Kułakowski, M. Antoniuk, M. Grodecki i D. Stauffer. „Some new facts of life”. *International Journal of Modern Physics C* **9.3** (1998), 449–458. Impact Factor: 0.962, ilość cytowań: 5) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych oraz byłem autorem oprogramowania do symulacji ewolucji gęstości komórek żywych w klasycznym automacie „Game of Life” realizowanym w układzie otwartym, tj. wystawionym na ciągłe bombardowanie strumieniem „latawców”. Wykonywałem też obliczenia służące badaniu tempa rozprzestrzeniania się uszkodzeń w takim układzie. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 25%.
- W pracach [A1.37–A1.39] (K. Malarz i A. Z. Maksymowicz. „A simple solid-on-solid model of epitaxial film growth: Surface roughness and dynamics”. *International Journal of Modern Physics C* **10.4** (1999), 645–657. Impact Factor: 0.898, ilość cytowań: 5, K. Malarz i A. Z. Maksymowicz. „A simple solid-on-solid model of epitaxial film growth: Surface morphology anisotropy”. *International Journal of Modern Physics C* **10.4** (1999), 659–665. Impact Factor: 0.898, ilość cytowań: 5, K. Malarz i

- A. Z. Maksymowicz. „A simple solid-on-solid model of epitaxial thin films growth: Inhomogeneous multilayered sandwiches”. *Thin Solid Films* **367.1-2** (2000), 28–31. Impact Factor: 1.160, ilość cytowań: 2) byłem autorem wszystkich opublikowanych w nich wyników. Współredagowałem również tekst pracy. Swoj udział w powstaniu każdej z nich szacuję na 75%.
- W pracy [A1.34] (K. Malarz, S. Kaczanowska i K. Kułakowski. „Are forest fires predictable?” *International Journal of Modern Physics C* **13.8** (2002), 1017–1031. Impact Factor: 0.784, ilość cytowań: 4) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych oraz byłem autorem oprogramowania do wyznaczania średnich rozmiarów klastrow perkolacyjnych przy zadanej gęstości przestrzennej drzew w modelowym lesie. Średnie te służyły do konstrukcji odwzorowań $p_n \rightarrow p_{n+1}$ gęstości przestrzennej drzew w kolejnych dyskretnych chwilach czasowych. Dla tak wyznaczonych odwzorowań skontruowałem przedstawiane w pracy diagramy bifurkacyjne oraz wyznaczyłem współczynniki Lyapunova dla początkowo bliskich trajektorii $p_n(p_0)$ i $p_n(p_0 + \varepsilon)$, gdzie p_0 jest początkową koncentracją przestrzenną drzew. Brałem też udział w jakościowej analizie uzyskanych w eksperymencie komputerowym wyników w porównaniu z dostępnymi danymi „doświadczalnymi”. Swoj udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.
 - W pracy [A1.33] (K. Malarz, M. S. Magdoń-Maksymowicz, A. Z. Maksymowicz, B. Kawecka-Magiera i K. Kułakowski. „New algorithm for the computation of the partition function for the Ising model on a square lattice”. *International Journal of Modern Physics C* **14.5** (2003), 689–694. Impact Factor: 0.750, ilość cytowań: 0) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych, byłem autorem oprogramowania implementującego zaproponowany nowy sposób wyliczania sumy statystycznej dla modelu Isinga. Zaproponowany algorytm pozwalał na przyspieszenie wyznaczenia czynników kombinatorycznych w sumie statystycznej o dziewięć rzędów wielkości. Na podstawie uzyskanej sumy statystycznej dla modelu Isinga na sieci kwadratowej o 8×8 spinach wyznaczyłem zależność znormalizowanej antyferromagnetycznej podatności magnetycznej χ/χ_{\max} od znormalizowanej temperatury T/T_C . Swoj udział w powstaniu pracy szacuję na 30%.
 - W pracy [A1.29] (J. Karpińska, K. Malarz i K. Kułakowski. „How pairs of partners emerge in an initially fully connected society”. *International Journal of Modern Physics C* **15.9** (2004), 1227–1233. Impact Factor: 0.864, ilość cytowań: 4) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych oraz byłem autorem wszystkich wyników prezentowanych w pracy. Swoj udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.
 - W pracy [A1.28] (B. Tadić, K. Malarz i K. Kułakowski. „Magnetization reversal in spin patterns with complex geometry”. *Physical Review Letters* **94.13** (2005), 137204. Impact Factor: 7.489, ilość cytowań: 18) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych, byłem autorem programów służących do symulacji lawin odwróceń spinów w isingowskim antyferromagnetyku. Spiny te dekorowały węzły bezskalowych i wykładniczych sieci rosnących, które zostały spreparowane z wykorzystaniem algorytmów przedstawionych w rozdziale 2.2 (niezależnie rezultaty te odtwarzała pierwsza Autorka pracy korzystając z klasycznych algorytmów służących do badania sieci złożonych). Swoj udział w powstaniu pracy szacuję na 35%.
 - W pracy [A1.27] (A. O. Sousa, K. Malarz i S. Galam. „Reshuffling spins with short

range interactions: When sociophysics produces physical results”. *International Journal of Modern Physics C* **16.10** (2005), 1507–1517. Impact Factor: 1.099, ilość cytowań: 13) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych, byłem autorem programów służących do symulacji modelu Isinga na sieci kwadratowej z przetasowaniami pozycji spinów oraz do symulacji sieci Solomona, tj. układu dwóch jednowymiarowych łańcuchów spinów, z których jeden jest permutacją drugiego i w których spiny oddziałują ze swoimi najbliższymi sąsiadami oraz sąsiadami swojego obrazu w spemutowanej sieci. Przy założeniu helikalnych warunków brzegowych i wykorzystując dynamikę Glaubera wyznaczyłem zależności namagnesowania od temperatury dla różnych intensywności przetasowań spinów p . Korzystając z własności kumulanty Bindera wyznaczyłem temperatury Curie dla różnych p oraz logarytmiczną zależność tej temperatury od intensywności przetasowań spinów p . Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 35%.

- W pracy [A1.26] (S. Piec, K. Malarz i K. Kułakowski. „How to count trees?” *International Journal of Modern Physics C* **16.10** (2005), 1527–1534. Impact Factor: 1.099, ilość cytowań: 1) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych nad konstrukcją wskaźnika pozwalającego na rozróżnienie drzew o różnej topologii oraz byłem autorem programu służącego do testowania użyteczności zaproponowanego wskaźnika. Przy konstrukcji tego wskaźnika wykorzystano algorytmy tworzenia macierzy odległości opisane w rozdziale 2.2. Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 35%.
- W pracy [A1.23] (K. Malarz i S. Galam. „Square-lattice site percolation at increasing ranges of neighbor bonds”. *Physical Review E* **71.1** (2005), 016125. Impact Factor: 2.418, ilość cytowań: 18) byłem autorem oprogramowania umożliwiającego obliczenia progów perkolacyjnych na sieci kwadratowej o złożonych otoczeniach i autorem wszystkich wyników prezentowanych w pracy. Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 60%.
- W pracy [A1.22] (M. J. Krawczyk, K. Malarz, B. Kawecka-Magiera, A. Z. Maksymowicz i K. Kułakowski. „Spin-glass properties of an Ising antiferromagnet on the Archimedean $(3, 12^2)$ lattice”. *Physical Review B* **72.2** (2005), 024445. Impact Factor: 3.185, ilość cytowań: 8) byłem autorem oprogramowania umożliwiającego obliczenia zależności temperaturowej parametru porządku Edwardsa–Andersona w modelu Isinga na sieci Archimedesesa $(3, 12^2)$. Wyznaczyłem numerycznie również rozkłady energetyczne stanów metastabilnych dla zerowej temperatury i różnych stanów początkowych układu, krzywe namagnesowania dla tej sieci (wraz z porównaniem ich dla sieci kwadratowej i trójkątnej) oraz histogramy rozmiarów lawin odwróceń spinów związanych z zanurzeniem układu w zewnętrznym polu magnetycznym w temperaturze $T = 0$. Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 30%.
- Praca [A1.21] (R. Kosturek i K. Malarz. „New cellular automaton designed to simulate epitaxial films growth”. *Physica A* **345.3-4** (2005), 538–546. Impact Factor: 1.332, ilość cytowań: 0) zawiera opis najważniejszych wyników uzyskanych przy powstawaniu pracy magisterskiej pierwszego z autorów, której to pracy byłem opiekunem. Moim wkładem w prace było zaproponowanie reguł automatu komórkowego opisującego wzrost powierzchni oraz redakcja tekstu pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.

- W pracy [A1.20] (S. Galam i K. Malarz. „Restoring site percolation on damaged square lattices”. *Physical Review E* **72.2** (2005), 027103. Impact Factor: 2.418, ilość cytowań: 5) byłem autorem wszystkich wyników obliczeń numerycznych prezentowanych w pracy. Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.
- W pracy [A1.19] (K. Malarz, Z. Szvetelszky, B. Szekfü i K. Kułakowski. „Gossip in random networks”. *Acta Physica Polonica B* **37.11** (2006), 3049–3058. Impact Factor: 0.882, ilość cytowań: 7) byłem autorem wyników obliczeń numerycznych prezentowanych w pracy, tj. średniego prawdopodobieństwa dochodzenia informacji do danego agenta w funkcji prawdopodobieństwa połączeń między agentami p i średniego stopnia wierzchołków sieci z . Wyznaczyłem również wpływ współczynnika gronowania na stopień propagowania się plotek i zależność krytycznej wartości prawdopodobieństwa połączeń między agentami (przy której połowa agentów „wie”) od rozmiarów układu. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 35%.
- W pracy [A1.18] (K. Malarz, D. Stauffer i K. Kułakowski. „Bonabeau model on a fully connected graph”. *European Physical Journal B* **50.1-2** (2006), 195–198. Impact Factor: 1.651, ilość cytowań: 11) byłem autorem wszystkich wyników symulacji komputerowych prezentowanych w pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.
- W pracy [A1.15] (F. W. S. Lima i K. Malarz. „Majority-vote model on $(3, 4, 6, 4)$ and $(3^4, 6)$ Archimedean lattices”. *International Journal of Modern Physics C* **17.9** (2006), 1273–1283. Impact Factor: 0.920, ilość cytowań: 21) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych, zaproponowałem sposób implementacji modelu wyborcy na dyskutowanych w pracy sieciach Archimedesa i współredagowałem tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 30%.
- W pracy [A1.14] (A. Mańka, K. Malarz i K. Kułakowski. „Clusterization, frustration and collectivity in random networks”. *International Journal of Modern Physics C* **18.11** (2007), 1765–1773. Impact Factor: 0.841, ilość cytowań: 5) byłem autorem oprogramowania umożliwiającego wyznaczenie zależności temperaturowej kwadratu namagnesowania w modelu Isinga na sieci Erdősa–Rényiego i różnych średnich stopni wierzchołków. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 15%.
- W pracy [A1.13] (K. Malarz, W. Antosiewicz, J. Karpińska, K. Kułakowski i B. Tadić. „Avalanches in complex spin networks”. *Physica A* **373** (2007), 785–795. Impact Factor: 1.311, ilość cytowań: 6) byłem autorem wszystkich wyników symulacji komputerowych prezentowanych w pracy. Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.
- Prace [A1.3, A1.12] (M. Majewski i K. Malarz. „Square lattice site percolation thresholds for complex neighbourhoods”. *Acta Physica Polonica B* **38.38** (2007), 2191–2199. Impact Factor: 0.664, ilość cytowań: 7 oraz Ł. Kurzawski i K. Malarz. „Simple cubic random-site percolation thresholds for complex neighbourhoods”. *Reports on Mathematical Physics* **70.2** (2012), 163–169. Impact Factor: 0.756, ilość cytowań: 3) zawierają opisy najważniejszych wyników uzyskanych przy powstawaniu prac magisterskich pierwszych z autorów, a których to prac byłem opiekunem. Moim wkładem

w pracy była koncepcja obliczeń i testowe symulacje pozwalające ustalić progi perkolacyjne z małą precyzją oraz redakcja tekstu pracy. Swoj udział w powstaniu obu prac szacuję na 50%.

- W pracy [A1.11] (K. Malarz i K. Kułakowski. „**The Sznajd dynamics on a directed clustered network**”. *Acta Physica Polonica A* **114.3** (2008), 581–588. Impact Factor: 0.321, ilość cytowań: 0) byłem autorem wszystkich wyników symulacji komputerowych prezentowanych w pracy. Współredagowałem również tekst pracy. Swoj udział w powstaniu pracy szacuję na 60%.
- W notkach redakcyjnych [A1.9, A1.10] (C. Tsallis, G. Kaniadakis, A. Carbone, A. M. Scarfone i K. Malarz. „**Advances in statistical physics**”. *Central European Journal of Physics* **7.3** (2009), 385–386. Impact Factor: 0.728, ilość cytowań: 1 oraz R. Denecke, J. Korecki, E. Pincik, P. Jelinek i K. Malarz. „**Solid state surfaces and interfaces**”. *Central European Journal of Physics* **7.2** (2009), 207–208. Impact Factor: 0.728, ilość cytowań: 0) — będących artykułami wstępnymi do dwóch zeszytów tematycznych — współredagowałem ich tekst. Swoj udział w powstaniu każdej z tych prac szacuję na 5%.
- W pracy [A1.8] (K. Malarz i K. Kułakowski. „**Indifferents as an interface between Contra and Pro**”. *Acta Physica Polonica A* **117.4** (2010), 695–699. Impact Factor: 0.467, ilość cytowań: 0) byłem autorem wszystkich wyników symulacji komputerowych prezentowanych w pracy. Współredagowałem również tekst pracy. Swoj udział w powstaniu pracy szacuję na 75%.
- W pracy [A1.7] (J. C. Santos, F. W. S. Lima i K. Malarz. „**Majority-vote model on triangular, honeycomb and Kagome lattices**”. *Physica A* **390.2** (2011), 359–364. Impact Factor: 1.373, ilość cytowań: 9) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych, zaproponowałem sposób implementacji modelu wyborcy na dyskutowanych w pracy sieciach Archimedesesa i współredagowałem tekst pracy. Swoj udział w powstaniu pracy szacuję na 15%.
- W pracy [A1.6] (K. Malarz, R. Korff i K. Kułakowski. „**Norm breaking in crowd—athermal phase transition**”. *International Journal of Modern Physics C* **22.7** (2011), 719–728. Impact Factor: 0.570, ilość cytowań: 0] uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych oraz wyznaczyłem numerycznie zależność od parametru kontrolnego x średniej opinii $\langle m \rangle$ dla układu podobnego do modelu Isinga na sieci kwadratowej ale przy rezygnacji z pojęcia temperatury na rzecz bezpośrednich prawdopodobieństw odwróceń spinów. Prawdopodobieństwa te były powiązane zależnościami liniowymi z parametrem kontrolnym x . Współredagowałem również tekst pracy. Swoj udział w powstaniu pracy szacuję na 35%.
- W pracy [A1.5] (F. W. S. Lima, J. Mostowicz i K. Malarz. „**Critical behaviour of the Ising $S = 1/2$ and $S = 1$ model on $(3, 4, 6, 4)$ and $(3, 3, 3, 3, 6)$ Archimedean lattices**”. *Communications in Computational Physics* **10.4** (2011), 912–919. Impact Factor: 1.379, ilość cytowań: 3] uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych, zaproponowałem sposób implementacji modelu Isinga na dyskutowanych w pracy sieciach Archimedesesa i współredagowałem tekst pracy. Praca zawiera też najważniejsze wyniki pracy magisterskiej drugiego z autorów, którą to pracą się opiekowałem. Swoj udział w powstaniu pracy szacuję na 20%.

- W pracy [A1.4] (K. Malarz i K. Kułakowski. „**Bounded confidence model: addressed information maintain diversity of opinions**”. *Acta Physica Polonica A* **121.2-B** (2012), B86–B88. Impact Factor: 0.531, ilość cytowań: 1) byłem autorem wszystkich wyników prezentowanych w pracy. Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 70%.
- W pracy [A1.2] (P. Gawroński, K. Malarz, M. J. Krawczyk, J. Malinowski, A. Kupczak, W. Sikora, K. Kułakowski, J. Was i J. W. Kantelhardt. „**Strategies in crowd and crowd structure**”. *Acta Physica Polonica A* **123.3** (2013), 522–525. Impact Factor: 0.604, ilość cytowań: 0) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych oraz wyznaczyłem numerycznie zależność od parametru kontrolnego x średniej opinii $\langle m \rangle$ dla układu podobnego do modelu Isinga na sieci trójkątnej ale przy rezygnacji z pojęcia temperatury na rzecz bezpośrednich prawdopodobieństw odwróceń spinów. Prawdopodobieństwa te były powiązane zależnościami liniowymi z parametrem kontrolnym x . Dla tego samego układu wyznaczyłem też ewolucję czasową parametru porządku (średniej opinii $m(t)$) dla różnych wartości parametru kontrolnego x . Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 15%.
- W pracy [A2.4] (K. Malarz, M. Sitarz, P. Groniek i A. Dydejczyk. „**Size of the stable population in the Penna bit-string model of biological aging**”. *Lecture Notes in Computer Science* **3037** (2004), 638–641. Impact Factor: 0.513, ilość cytowań: 2) tworzyłem koncepcję obliczeń numerycznych oraz byłem autorem połowy prezentowanych w pracy wyników symulacji pokazujących wpływ parametrów modelu Penny na liczebność populacji. Redagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 60%.
- W pracy [A2.2] (K. Malarz i D. Stauffer. „**Search for bottleneck effects in Penna ageing and Schulze language model**”. *Advances in Complex Systems* **11.1** (2008), 165–169. Impact Factor: 0.197, ilość cytowań: 1) byłem autorem wyników dotyczących modelu Schulze’a. Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.
- W pracy [A2.1] (K. Malarz, P. Groniek i K. Kułakowski. „**Zaller–Deffuant model of mass opinion**”. *JASSS—the Journal of Artificial Societies and Social Simulation* **14.1** (2011), 2. Impact Factor: 1.156, ilość cytowań: 7) byłem autorem wszystkich wyników symulacji komputerowych dla jednego z dwóch rozważanych w pracy wariantów modelu Zallera–Deffuanta, tj. dla wersji w której agenci *nie* byli umieszczeni w węzłach sieci lecz przypadkowo rozmieszczeni na płaszczyźnie. Współredagowałem również tekst pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 40%.

3.2 Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazach lub na liście, o których mowa w § 3, dla danego obszaru wiedzy

Oprócz prac w czasopismach wyróżnionych na liście JCR jestem autorem [B2.3, B1.2] bądź współautorem dziewięciu prac (w tym dwóch w czasopismach z dziedziny fizyki [B1.1, B1.2] i siedmiu w czasopismach spoza dziedziny fizyki [B2.1–B2.7]) opublikowanych w innych czasopismach. Listę tych prac wraz z podaniem ilości cytowań według bazy *Web*

of Science (o ile tam są zarejestrowane) bądź w oparciu o serwis *Google Scholar* zawiera wykaz **B** zamieszczony na końcu tego dokumentu.

3.2.1 Wskazanie własnego udziału merytorycznego i procentowego w powstaniu publikacji wieloautorskich (innych niż wchodzące w skład osiągnięcia naukowego) z Wykazu **B**

- W pracy [B1.1] (K. Malarz, M. J. Krawczyk i K. Kułakowski. „*Influence of long-range interactions on strategy selection in crowd*”. *Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement* **7.2** (2014), 371–378. ilość cytowań: 0) uczestniczyłem w pracach koncepcyjnych, byłem autorem wszystkich wyników prezentowanych w pracy i współredagowałem jej tekst. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 70%.
- Praca [B2.7] (K. Malarz, A. Z. Maksymowicz i K. Kułakowski. „How physicists waste supercomputers time in Academic Computer Centre Cyfronet-Kraków”. *TASK Quarterly* **2.1** (1998), 85–95. ilość cytowań: 0) zawiera mini-przegląd aktywności badawczej autorów pracy w Akademickim Centrum Komputerowym Cyfronet AGH. Jestem autorem wszystkich wyników prezentowanych w pracy i współredagowałem jej tekst. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 80%.
- W pracy [B2.5] (K. Malarz, S. Kaczanowska i K. Kułakowski. „Chaotic dynamics of forest fires”. *Frontiers on Nonlinear Dynamics* **3** (2004), 334–343. ilość cytowań: 1) byłem autorem wszystkich wyników symulacji komputerowych prezentowanych w pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.
- Praca [B2.4] (K. Malarz, M. Zborek i B. Wróbel. „*Curie temperatures for the Ising model on Archimedean lattices*”. *TASK Quarterly* **9.4** (2005), 475–480. ilość cytowań: 14) jest wynikiem realizacji projektu studenckiego realizowanego w ramach przedmiotu „Metody obliczeniowe fizyki” przez drugiego i trzeciego autora pracy. Mój udział polegał na wskazaniu koncepcji obliczeń numerycznych, sposobu implementacji modelu Isinga na dyskutowanych w pracy sieciach Archimedesów, przeprowadzeniu symulacjach testowych oraz redakcji tekstu pracy. Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 50%.
- W pracy [B2.2] (M. J. Krawczyk, K. Malarz, R. Korff i K. Kułakowski. „*Communication and trust in the bounded confidence model*”. *Lecture Notes in Artificial Intelligence* **6421** (2010), 90–99. ilość cytowań: 3) brałem udział w pracach koncepcyjnych, byłem autorem wyników uzyskanych techniką automatów komórkowych (rys. 1(a)) oraz wyników symulacji zmodyfikowanego modelu Zallera–Deffuanta (rys. 2). Swój udział w powstaniu pracy szacuję na 30%.

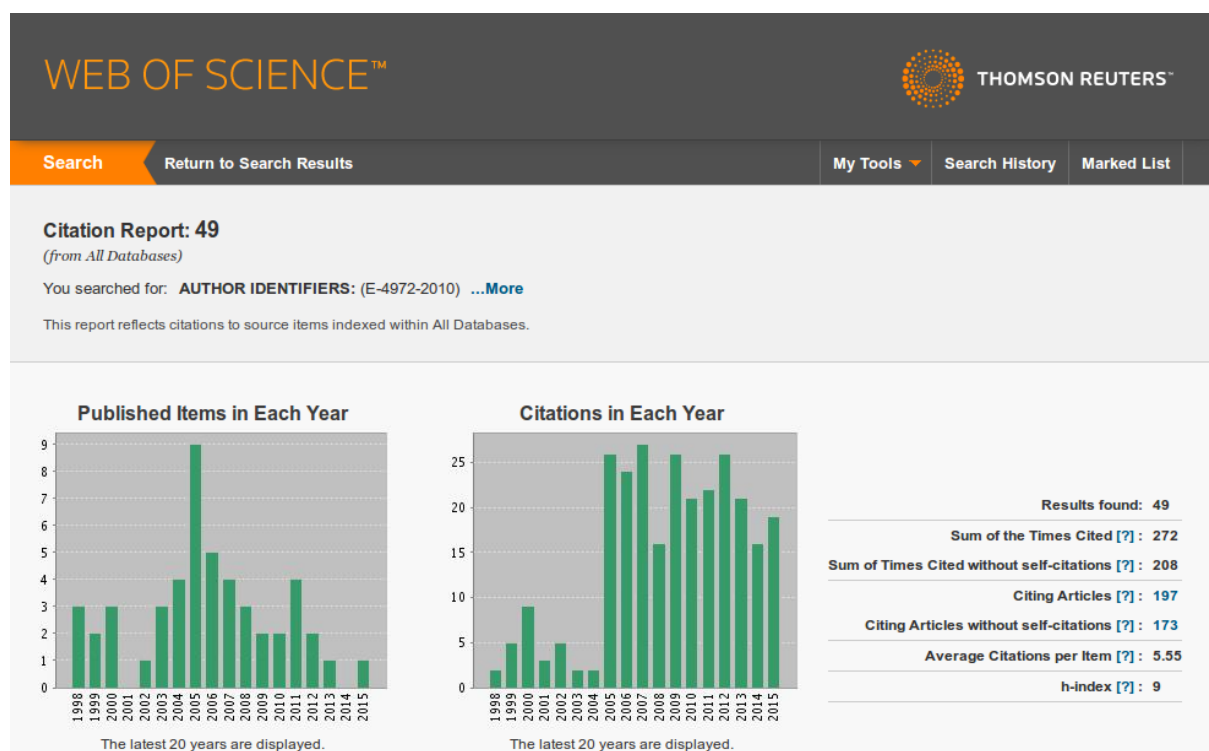
3.3 Autorstwo lub współautorstwo odpowiednio dla danego obszaru: opracowań zbiorowych, katalogów zbiorów, dokumentacji prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych

3.4 Wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach

3.5 Sumaryczny *impact factor* publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania

Sumaryczny *impact factor* moich prac wynosi 53,772.⁴

3.6 Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)



Moje prace opublikowane w czasopiśmie indeksowanych przez bazę WoS były łącznie cytowane ponad 200 razy.⁵

3.7 Indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy Web of Science (WoS)

Indeks Hirscha moich prac opublikowanych w czasopiśmie indeksowanych przez bazę WoS wynosi dziewięć.⁶

⁴Informacja według danych udostępnianych przez bazę bibliografii publikacji pracowników AGH uzupełniona o wartość współczynnika *impact factor* pracy [A1.1] według raportu JCR z bieżącego roku.

⁵Dane według dostępu do bazy *Web of Science* z dnia 13 lipca 2015.

⁶Dane według dostępu do bazy *Web of Science* z dnia 13 lipca 2015.

3.8 Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach

Obecnie jestem wykonawcą w zakwalifikowanym do finansowania w konkursie OPUS-8 projekcie zatytułowanym „Wykorzystanie automatów komórkowych do modelowania procesów przywództwa w organizacjach” (2014/15/B/HS4/04433).

Jako wykonawca brałem udział⁷ w realizacji rządowego projektu badawczego (promotorskiego) 8 T11F 026 16: Komputerowa symulacja anizotropowego wzrostu cienkich warstw (1999/01–2000/12) [A1.35, B1.2, A1.37–A1.39].

3.9 Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność naukową

Za działalność naukową otrzymałem łącznie siedem nagród Rektora AGH:

- indywidualną I stopnia (2006),
- indywidualną II stopnia (2007),
- zespołową I stopnia (2003, 2009),
- zespołową II stopnia (2005, 2008),
- zespołową III stopnia (2012)

i jedno wyróżnienie (2000).

3.10 Wygłoszenie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych

Jestem autorem bądź współautorem trzydziestu dziewięciu doniesień konferencyjnych na piętnastu krajowych i dwudziestu czterech międzynarodowych konferencjach (w tym dwudziestu czterech wystąpień ustnych [C1.1–C1.24] oraz piętnastu plakatów konferencyjnych [C2.1–C2.15]) z czego osobiście *nie* wygłosiłem sześciu referatów [C1.1, C1.5, C1.7, C1.8, C1.19, C1.24] i *nie* prezentowałem dwóch plakatów [C2.7, C2.15]. Listę tych referatów wraz ze wskazaniem konferencji zawiera wykaz C zamieszczony na końcu autoreferatu. W wykazie tym wskazano również ewentualne publikacje pokonferencyjne wymienione wcześniej w wykazach A lub B.



⁷Patrz również punkt 4.1.

4 Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz współpraca międzynarodowa

4.1 Uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych

Jako wykonawca brałem udział w realizacji dwóch projektów europejskich:

- w ramach 7. Programu Ramowego (grant nr 231288): **Socionical: Complex socio-technical system in ambient intelligence** (2009/02–2013/01) [A1.2, B2.1, A1.6, B2.2]
- oraz projektu European Cooperation in Science and Technology (COST P-10): **Physics of risk** (2003/12–2008/06) [A1.20, A1.23].

4.2 Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji;

Swój udział w konferencjach opisałem już w punkcie 3.10. Obecnie jestem członkiem komitetu programowego 4. edycji „Workshop on Complex Collective Systems”, który będzie miał miejsce w Krakowie we wrześniu br. Brałem też udział w *organizacji* krajowych i międzynarodowych konferencji, jako:

- członek Advisory Committee 4., 5. i 6. edycji międzynarodowej konferencji „ $\Sigma\Phi$ International Conference in Statistical Physics” (Kolymbari (GR), 2008, Ayia Napa (CY), 2011 i Rhodes (GR), 2014),
- członek rady programowej 2.–8. edycji „Ogólnopolskiej Konferencji Inżynierii Gier Komputerowych” (Siedlce, 2005–2011),
- członek lokalnego komitetu organizacyjnego 40. „Zjazdu Fizyków Polskich” (Kraków, 2009),
- członek komitetu programowego 1. edycji „Workshop on Complex Collective Systems” (Wrocław, 2009),
- członek komitetu organizacyjnego 2. edycji „Ogólnopolskiego Sympozjum «Fizyka w Ekonomii i Naukach Społecznych»” (Kraków, 2006).

4.3 Otrzymane nagrody i wyróżnienia

- Za zasługi w popularyzacji nauki zostałem (na wniosek Polskiego Towarzystwa Fizycznego) odznaczony przez Prezydenta RP Brązowym Krzyżem Zasługi (2013).
- Za zasługi dla edukacji (na wniosek macierzystej Rady Wydziału) zostałem odznaczony przez Ministra Edukacji Narodowej Medalem Komisji Edukacji Narodowej (2007).

4.4 Udział w konsorcjach i sieciach badawczych

—

4.5 Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych, a w przypadku badań stosowanych we współpracy z przedsiębiorcami

4.6 Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

Obecnie jestem członkiem komitetów redakcyjnych trzech czasopism:

- *Open Physics*⁸ (*senior editor* od 2014/04, *managing editor* 2006/12–2014/03),
- *International Journal of Statistical Mechanics* (*editor* od 2013/01),
- *The Scientific World Journal: Computer Science*⁹ (*editor* od 2013/12).

Dwukrotnie pełniłem też rolę *guest editor*:

- *Acta Physica Polonica B* **37.11** (2006), „Materiały 2. Ogólnopolskiego Sympozjum «Fizyka w Ekonomii i Naukach Społecznych»”, Z. Burda, J. Hołyst, J. Jurkiewicz, K. Kułakowski, K. Malarz, M. A. Nowak, K. Życzkowski (red.),
- *Acta Physica Polonica A* **123.3** (2013), „Materiały 6. Ogólnopolskiego Sympozjum «Fizyka w Ekonomii i Naukach Społecznych»”, S. Drożdż, G. Graff, D. Grech, J. Kwapien, D. Makowiec, J. Hołyst, A. Krawiecki, R. Kutner, K. Kułakowski, K. Malarz, C. Mesjasz, P. Oświęcimka, Z. Struzik (red.).

4.7 Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych

Jestem członkiem Oddziału Krakowskiego (od października 1998) i Sekcji „Fizyka w Ekonomii i Naukach Społecznych” (od czerwca 2004) Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Od kwietnia 2007 jestem także indywidualnym członkiem Europejskiego Towarzystwa Fizycznego. W Polskim Towarzystwie Fizycznym pełnię (bądź pełniłem) funkcje:

- członka Komisji Rewizyjnej Oddziału Krakowskiego (od 2014),
- delegata Oddziału Krakowskiego na Zebrania Delegatów PTF w Kielcach (2015), Lublinie (2011), Krakowie (2009), Warszawie (2005), Gdańsku (2003), Toruniu (2001) i Białymstoku (1999),
- członka Komisji Rewizyjnej Sekcji „Fizyka w Ekonomii i Naukach Społecznych” (od 2009),
- sekretarza Zarządu Oddziału Krakowskiego (2003/04–2007/12),
- członka Zarządu Oddziału Krakowskiego (1999–2009).

⁸Do końca roku 2014 czasopismo wydawane było pod nazwą *Central European Journal of Physics*, według JCR 2013 5-year impact factor czasopisma wynosił 0,871.

⁹Według JCR 2013 5-year impact factor czasopisma wynosił 1,300.

4.8 Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki

Od podjęcia studiów doktoranckich prowadzę (bądź prowadziłem) zajęcia dydaktyczne (głównie dla studentów WFiIS ale i dla trzech innych wydziałów AGH) z:

- programowania proceduralnego (ćwiczenia laboratoryjne od 2015/03),
- edycji i prezentacji tekstów naukowych (wykłady i zajęcia seminaryjne od 2015/03, ćwiczenia laboratoryjne 2014/03–2014/06),
- wybranych zagadnień współczesnej fizyki i chemii (zajęcia seminaryjne od 2013/10),
- statystyki inżynierskiej (ćwiczenia audytoryjne 2013/03–2014/06, ćwiczenia laboratoryjne od 2013/03 i ćwiczenia projektowe od 2015/03),
- automatów komórkowych (wykłady od 2001/10, ćwiczenia projektowe od 2010/10),
- inżynierskich metod numerycznych (ćwiczenia laboratoryjne 2006/10–2011/06),
- metod numerycznych (wykłady 2006/03–2010/06, ćwiczenia laboratoryjne od 2001/10),
- metod obliczeniowych fizyki (ćwiczenia laboratoryjne 2001/10–2006/02),
- fizyki (ćwiczenia audytoryjne 1997/03–2005/06, ćwiczenia laboratoryjne 1997/03–2003/06).

Od roku 2013 jestem członkiem Wydziałowego Zespołu Audytu Dydaktycznego. „Wydziałowy Zespół Audytu Dydaktycznego kontroluje sposób realizacji programów kształcenia na poszczególnych kierunkach prowadzonych na Wydziale. W szczególności: weryfikuje zgodność treści zajęć z zawartością sylabusów, zgodność punktów ECTS z rzeczywistym nakładem pracy studentów, osiąganie zakładanych efektów kształcenia.

Do zadań Wydziałowego Zespołu Audytu Dydaktycznego należą w szczególności:

- regularna kontrola i ocena procesu kształcenia na każdym kierunku na Wydziale,
- proponowanie zmian i modyfikacji mających na celu poprawę jakości kształcenia lub/oraz wyeliminowanie zaobserwowanych nieprawidłowości,
- prowadzenie akcji ankietowych dotyczących programu kształcenia oraz analiza i interpretacja uzyskanych danych dla każdego z kierunków,
- monitorowanie, przegląd i wnioskowanie o podnoszenie poziomu infrastruktury wspierającej proces kształcenia na każdym z kierunków,
- identyfikacja nieprawidłowości i problemów utrudniających poprawną realizację procesu kształcenia na każdym z kierunków i wnioskowanie do Wydziałowego Zespołu ds. Jakości Kształcenia o opracowanie strategii naprawczej.”¹⁰

W osiągnięciach w zakresie popularyzacji nauki wymienilibym członkostwo w komitetach organizacyjnych trzech imprez popularno-naukowych organizowanych na terenie Krakowa w latach 2002–2008:

- członka komitetu organizacyjnego 5.–7. edycji „Jarmarku Fizycznego” (Kraków, 2004, 2006, 2008),

¹⁰Zarządzenie Nr 2/2013 Rektora AGH w sprawie wprowadzenia i doskonalenia Uczelnianego Systemu Zapewnienia Jakości Kształcenia w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

- sekretarza Małopolskiego Komitetu Organizacyjnego obchodów „Światowego Roku Fizyki” (Kraków, 2005),
- członka komitetu organizacyjnego 4. i 5. edycji „Ogólnopolskiego Konkursu na Doświadczenie Pokazowe z Fizyki” (Kraków, 2002, 2004).

Jestem też (współ)autorem dwóch artykułów popularno-naukowych [E1, E5] i dwóch notek dla *Postępów Fizyki* do działu „Ze zjazdów i konferencji” [E3, E4].

4.9 Opieka naukowa nad studentami i lekarzami w toku specjalizacji

Od 2002/10 do 2005/09 pełniłem rolę opiekuna Studenckiego Koła Naukowego Fizyków „Bozon”. W tym okresie zainicjowano systematyczny udział członków koła w Ogólnopolskich Sesjach Kół Naukowych Fizyków oraz Międzynarodowych Konferencjach Studentów Fizyki. Te ostatnie są corocznie organizowane przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Studentów Fizyki {IAPS} i przyciągają zwykle kilkuset uczestników z kilkudziesięciu krajów. We wspomnianym okresie przy kole utworzono Komitet Lokalny w Krakowie tej międzynarodowej organizacji. Członkowie koła rozpoczęli również starania o powierzenie im organizacji Międzynarodowej Konferencji Studentów Fizyki. Wysiłki te zostały w roku 2006 uwieńczone sukcesem i decyzją Walnego Zgromadzenia {IAPS} o organizacji 23. edycji tej konferencji w roku 2008 w Krakowie. W konferencji wzięło udział około czterystu studentów z sześciu kontynentów i trzydziestu krajów. W okresie gdy miałem przyjemność opiekować się kołem jego członkowie byli odpowiedzialni także za organizację 4. Ogólnopolskiej Sesji Kół Naukowych Fizyków. Materiały z sesji zostały pod moją redakcją opublikowane w Zeszytach Studenckiego Towarzystwa Naukowego [E2].

Od roku 2008 opiekowałem się indywidualnymi studiami dziesięciu studentów fizyki technicznej.

Pod moją opieką są obecnie realizowane cztery prace magisterskie:

- „Symulacja efektywności grupy roboczej techniką automatów komórkowych”,
- „Symulacja procesu ewakuacji z budynków D-10 i D-11 AGH z wykorzystaniem techniki automatów komórkowych”,
- „Wykorzystanie techniki automatów komórkowych do modelowania ruchu pojazdów na ulicach ograniczających kampus AGH w Krakowie”,
- „Modelowanie formowania się opinii społecznej w oparciu o teorię Latané’ego”,

których termin obron zaplanowano na lato 2016. Byłem opiekunem szesnastu prac magisterskich (dziewięciu na kierunku fizyka techniczna i siedmiu na kierunku informatyka stosowana). Wyniki części z tych prac magisterskich zostały opublikowane w czasopiśmie naukowych [A1.3, A1.5, A1.12, A1.21] i/lub były prezentowane na konferencjach naukowych [C2.6, C2.11, C1.14].

Przygotowałem też dwanaście recenzji prac magisterskich.

Wykonana pod moją opieką praca magisterska „Budowa nowego systemu sterowania i akwizycji danych separatora fragmentów COMBAS” pana Szymona Myalskiego została w roku 2007 wyróżniona nagrodą Polskiego Towarzystwa Nukleonowego za najlepsze prace magisterskie w dziedzinie atomistyki.

4.10 Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego, z podaniem tytułów rozpraw doktorskich

Od lipca 2013 pełnię rolę promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr. inż. Marcina Rybaka. Tytuł pracy doktorskiej p. Rybaka brzmi „Symulacje procesów kontaktowych na sieciach”.

4.11 Staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

Odbyłem krótkoterminowe (nie dłuższe niż miesięczne) staże w:

- Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu w Kolonii (DE) — 2006/07, 1999/12, 1998/03,
- Instytucie Fizyki Teoretycznej Instytutu Jožefa Stefana w Ljublanie (SI) — 2004/09,
- Uniwersytecie Piotra i Marii Curie w Paryżu (FR) — 2004/07,

Brałem też udział w badaniach naukowych prowadzonych w:

- Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) w Hamburg (DE) — 1995/06,
- European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) w Grenoble (FR) — 1995/03.

Gościłem również

- w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej (RU) — 2012/02, 2004/05,
- i na Letniej Szkole Technik Obliczeniowych w Fizyce, Třešť (CZ) — 2004/08, 2002/09, 2000/08,

4.12 Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie organów władzy publicznej, samorządu terytorialnego, podmiotów realizujących zadania publiczne lub przedsiębiorców

—

4.13 Udział w zespołach eksperckich i konkursowych

Od grudnia 2011 (drugą kadencję) jestem członkiem Zespołu Specjalistycznego dla Nauk Technicznych i Ścisłych (ZS-3) do oceny wniosków o przyznanie środków finansowych na działalność statutową. Zespół jest ciałem doradczym Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Do zadań zespołu należy:

- „ocena wniosków o przyznanie środków finansowych na działalność statutową na:
 - utrzymanie potencjału badawczego, w tym ocena: przedstawionych do realizacji zadań badawczych ujętych w planie zadaniowym jednostki naukowej, prawidłowości i zasadności wydatkowania wcześniej przyznanych środków finansowych,

- pokrycie kosztów związanych z restrukturyzacją jednostki naukowej oraz przedstawienie propozycji wysokości finansowania albo odmowy przyznania środków finansowych wraz z uzasadnieniem,
- utrzymanie specjalnego urzędnienia badawczego, z wyłączeniem specjalnego urzędnienia badawczego w zakresie infrastruktury informatycznej nauki, oraz przedstawienie propozycji wysokości finansowania albo odmowy przyznania środków finansowych wraz z uzasadnieniem,
- działalność związaną z prowadzeniem badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich, finansowanych w wewnętrznym trybie konkursowym oraz przedstawienie propozycji wysokości finansowania albo odmowy przyznania środków finansowych wraz z uzasadnieniem, a także ocena zadań planowanych do realizacji, a w przypadku jednostek naukowych, które otrzymały dotację w roku poprzednim — również prawidłowości wykorzystania wcześniej przyznanych środków finansowych oraz efektów osiągniętych dzięki ich wykorzystaniu,
- działalność związaną z utrzymaniem i poszerzaniem naukowych baz danych, z wyłączeniem Wirtualnej Biblioteki Nauki, oraz przedstawienie propozycji wysokości finansowania albo odmowy przyznania środków finansowych wraz z uzasadnieniem;
- ocena wniosków o zwiększenie środków finansowych na utrzymanie potencjału badawczego, w przypadku sytuacji nadzwyczajnych spowodowanych awarią lub zdarzeniem losowym, niezależnym od jednostki naukowej, powodujących zakłócenie jej działalności, oraz przedstawienie propozycji finansowania albo odmowy przyznania środków finansowych wraz z uzasadnieniem;
- rozliczenie środków finansowych przyznanych jednostkom naukowym w ramach działalności statutowej.”¹¹

Zespół dokonuje oceny wniosków o przyznanie środków finansowych na działalność statutową złożonych przez jednostki naukowe prowadzące działalność naukową w dziedzinie nauk technicznych, nauk matematycznych, nauk fizycznych i nauk chemicznych.

4.14 Recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Jestem recenzentem czasopism wyróżnionych na liście JCR:

- *Physical Review E* (od 2005),
- *The Physical European Journal B* (od 2005),
- *Physical Review Letters* (od 2006),
- *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* (od 2007),
- *International Journal of Modern Physics C* (od 2008),
- *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* (od 2012),

¹¹Zarządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 31 grudnia 2013 (Dz. Urz. MNiSzW z dnia 15 stycznia 2014, poz. 3).

- *Computer Physics Communications* (od 2012),
- *Physica D: Nonlinear Physics* (od 2012),
- *Modern Physics Letters B* (od 2013),
- *International Journal of Modern Physics B* (od 2015).

Najwięcej recenzji przygotowałem dla czasopism *Physical Review E* (pięćdziesiąt) i *Physica A* (sześćdziesiąt). Przez redakcję czasopisma *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* zostałem w roku 2010 wyróżniony tytułem *Valued Reviewer*.

K. Melon

A Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)

Artykuły w czasopismach z dziedziny fizyki

- [A1.1] K. Malarz. „Simple cubic random-site percolation thresholds for neighborhoods containing fourth-nearest neighbors”. *Physical Review E* **91.4** (2015), 043301. Impact Factor: 2.288, ilość cytowań: 0.
- [A1.2] P. Gawroński, K. Malarz, M. J. Krawczyk, J. Malinowski, A. Kupczak, W. Sikora, K. Kułakowski, J. Was i J. W. Kantelhardt. „Strategies in crowd and crowd structure”. *Acta Physica Polonica A* **123.3** (2013), 522–525. Impact Factor: 0.604, ilość cytowań: 0.
- [A1.3] Ł. Kurzawski i K. Malarz. „Simple cubic random-site percolation thresholds for complex neighbourhoods”. *Reports on Mathematical Physics* **70.2** (2012), 163–169. Impact Factor: 0.756, ilość cytowań: 3.
- [A1.4] K. Malarz i K. Kułakowski. „Bounded confidence model: addressed information maintain diversity of opinions”. *Acta Physica Polonica A* **121.2-B** (2012), B86–B88. Impact Factor: 0.531, ilość cytowań: 1.
- [A1.5] F. W. S. Lima, J. Mostowicz i K. Malarz. „Critical behaviour of the Ising $S = 1/2$ and $S = 1$ model on $(3, 4, 6, 4)$ and $(3, 3, 3, 3, 6)$ Archimedean lattices”. *Communications in Computational Physics* **10.4** (2011), 912–919. Impact Factor: 1.379, ilość cytowań: 3.
- [A1.6] K. Malarz, R. Korff i K. Kułakowski. „Norm breaking in crowd—athermal phase transition”. *International Journal of Modern Physics C* **22.7** (2011), 719–728. Impact Factor: 0.570, ilość cytowań: 0.
- [A1.7] J. C. Santos, F. W. S. Lima i K. Malarz. „Majority-vote model on triangular, honeycomb and Kagome lattices”. *Physica A* **390.2** (2011), 359–364. Impact Factor: 1.373, ilość cytowań: 9.
- [A1.8] K. Malarz i K. Kułakowski. „Indifferents as an interface between Contra and Pro”. *Acta Physica Polonica A* **117.4** (2010), 695–699. Impact Factor: 0.467, ilość cytowań: 0.
- [A1.9] R. Denecke, J. Korecki, E. Pincik, P. Jelinek i K. Malarz. „Solid state surfaces and interfaces”. *Central European Journal of Physics* **7.2** (2009), 207–208. Impact Factor: 0.728, ilość cytowań: 0.
- [A1.10] C. Tsallis, G. Kaniadakis, A. Carbone, A. M. Scarfone i K. Malarz. „Advances in statistical physics”. *Central European Journal of Physics* **7.3** (2009), 385–386. Impact Factor: 0.728, ilość cytowań: 1.
- [A1.11] K. Malarz i K. Kułakowski. „The Sznajd dynamics on a directed clustered network”. *Acta Physica Polonica A* **114.3** (2008), 581–588. Impact Factor: 0.321, ilość cytowań: 0.
- [A1.12] M. Majewski i K. Malarz. „Square lattice site percolation thresholds for complex neighbourhoods”. *Acta Physica Polonica B* **38.38** (2007), 2191–2199. Impact Factor: 0.664, ilość cytowań: 7.

- [A1.13] K. Malarz, W. Antosiewicz, J. Karpińska, K. Kułakowski i B. Tadić. „**Avalanches in complex spin networks**”. *Physica A* **373** (2007), 785–795. Impact Factor: 1.311, ilość cytowań: 6.
- [A1.14] A. Mańka, K. Malarz i K. Kułakowski. „**Clusterization, frustration and collectivity in random networks**”. *International Journal of Modern Physics C* **18.11** (2007), 1765–1773. Impact Factor: 0.841, ilość cytowań: 5.
- [A1.15] F. W. S. Lima i K. Malarz. „**Majority-vote model on (3, 4, 6, 4) and (3⁴, 6) Archimedean lattices**”. *International Journal of Modern Physics C* **17.9** (2006), 1273–1283. Impact Factor: 0.920, ilość cytowań: 21.
- [A1.16] K. Malarz. „**Numbers of n -th neighbors and node-to-node distances in growing networks**”. *Acta Physica Polonica B* **37.2** (2006), 309–318. Impact Factor: 0.882, ilość cytowań: 2.
- [A1.17] K. Malarz. „**Truth seekers in opinion dynamics models**”. *International Journal of Modern Physics C* **17.10** (2006), 1521–1524. Impact Factor: 0.920, ilość cytowań: 9.
- [A1.18] K. Malarz, D. Stauffer i K. Kułakowski. „**Bonabeau model on a fully connected graph**”. *European Physical Journal B* **50.1-2** (2006), 195–198. Impact Factor: 1.651, ilość cytowań: 11.
- [A1.19] K. Malarz, Z. Szvetelszky, B. Szekfü i K. Kułakowski. „**Gossip in random networks**”. *Acta Physica Polonica B* **37.11** (2006), 3049–3058. Impact Factor: 0.882, ilość cytowań: 7.
- [A1.20] S. Galam i K. Malarz. „**Restoring site percolation on damaged square lattices**”. *Physical Review E* **72.2** (2005), 027103. Impact Factor: 2.418, ilość cytowań: 5.
- [A1.21] R. Kosturek i K. Malarz. „**New cellular automaton designed to simulate epitaxial films growth**”. *Physica A* **345.3-4** (2005), 538–546. Impact Factor: 1.332, ilość cytowań: 0.
- [A1.22] M. J. Krawczyk, K. Malarz, B. Kawecka-Magiera, A. Z. Maksymowicz i K. Kułakowski. „**Spin-glass properties of an Ising antiferromagnet on the Archimedean (3, 12²) lattice**”. *Physical Review B* **72.2** (2005), 024445. Impact Factor: 3.185, ilość cytowań: 8.
- [A1.23] K. Malarz i S. Galam. „**Square-lattice site percolation at increasing ranges of neighbor bonds**”. *Physical Review E* **71.1** (2005), 016125. Impact Factor: 2.418, ilość cytowań: 18.
- [A1.24] K. Malarz i K. Kułakowski. „**Matrix representation of evolving networks**”. *Acta Physica Polonica B* **36.8** (2005), 2523–2536. Impact Factor: 0.807, ilość cytowań: 6.
- [A1.25] K. Malarz i K. Kułakowski. „**Memory effect in growing trees**”. *Physica A* **345.1-2** (2005), 326–334. Impact Factor: 1.332, ilość cytowań: 5.
- [A1.26] S. Piec, K. Malarz i K. Kułakowski. „**How to count trees?**” *International Journal of Modern Physics C* **16.10** (2005), 1527–1534. Impact Factor: 1.099, ilość cytowań: 1.

- [A1.27] A. O. Sousa, K. Malarz i S. Galam. „Reshuffling spins with short range interactions: When sociophysics produces physical results”. *International Journal of Modern Physics C* **16.10** (2005), 1507–1517. Impact Factor: 1.099, ilość cytowań: 13.
- [A1.28] B. Tadić, K. Malarz i K. Kułakowski. „Magnetization reversal in spin patterns with complex geometry”. *Physical Review Letters* **94.13** (2005), 137204. Impact Factor: 7.489, ilość cytowań: 18.
- [A1.29] J. Karpińska, K. Malarz i K. Kułakowski. „How pairs of partners emerge in an initially fully connected society”. *International Journal of Modern Physics C* **15.9** (2004), 1227–1233. Impact Factor: 0.864, ilość cytowań: 4.
- [A1.30] K. Malarz i K. Kułakowski. „Dependence of the average to-node distance on the node degree for random graphs and growing networks”. *European Physical Journal B* **41.3** (2004), 333–336. Impact Factor: 1.426, ilość cytowań: 5.
- [A1.31] K. Malarz. „Social phase transition in Solomon network”. *International Journal of Modern Physics C* **14.5** (2003), 561–565. Impact Factor: 0.750, ilość cytowań: 14.
- [A1.32] K. Malarz, J. Czaplicki, B. Kawecka-Magiera i K. Kułakowski. „Average distance in growing trees”. *International Journal of Modern Physics C* **14.9** (2003), 1201–1206. Impact Factor: 0.750, ilość cytowań: 7.
- [A1.33] K. Malarz, M. S. Magdoń-Maksymowicz, A. Z. Maksymowicz, B. Kawecka-Magiera i K. Kułakowski. „New algorithm for the computation of the partition function for the Ising model on a square lattice”. *International Journal of Modern Physics C* **14.5** (2003), 689–694. Impact Factor: 0.750, ilość cytowań: 0.
- [A1.34] K. Malarz, S. Kaczanowska i K. Kułakowski. „Are forest fires predictable?”. *International Journal of Modern Physics C* **13.8** (2002), 1017–1031. Impact Factor: 0.784, ilość cytowań: 4.
- [A1.35] K. Malarz. „A simple solid-on-solid model of epitaxial film growth: Submonolayer substrate coverage”. *International Journal of Modern Physics C* **11.2** (2000), 1561–1566. Impact Factor: 0.954, ilość cytowań: 1.
- [A1.36] K. Malarz. „Searching for scaling in the Penna bit-string model of biological aging”. *International Journal of Modern Physics C* **11.2** (2000), 309–315. Impact Factor: 0.954, ilość cytowań: 12.
- [A1.37] K. Malarz i A. Z. Maksymowicz. „A simple solid-on-solid model of epitaxial thin films growth: Inhomogeneous multilayered sandwiches”. *Thin Solid Films* **367.1-2** (2000), 28–31. Impact Factor: 1.160, ilość cytowań: 2.
- [A1.38] K. Malarz i A. Z. Maksymowicz. „A simple solid-on-solid model of epitaxial film growth: Surface morphology anisotropy”. *International Journal of Modern Physics C* **10.4** (1999), 659–665. Impact Factor: 0.898, ilość cytowań: 5.
- [A1.39] K. Malarz i A. Z. Maksymowicz. „A simple solid-on-solid model of epitaxial film growth: Surface roughness and dynamics”. *International Journal of Modern Physics C* **10.4** (1999), 645–657. Impact Factor: 0.898, ilość cytowań: 5.
- [A1.40] K. Malarz, K. Kułakowski, M. Antoniuk, M. Grodecki i D. Stauffer. „Some new facts of life”. *International Journal of Modern Physics C* **9.3** (1998), 449–458. Impact Factor: 0.962, ilość cytowań: 5.

- [A1.41] K. Malarz i D. Tiggemann. „Dynamics in Eigen quasispecies model”. *International Journal of Modern Physics C* **9.3** (1998), 481–490. Impact Factor: 0.962, ilość cytowań: 15.
- [A1.42] K. Malarz i A. M. Viales. „Universal ratio χ in two-dimensional square random-site percolation”. *International Journal of Modern Physics C* **9.1** (1998), 147–155. Impact Factor: 0.962, ilość cytowań: 5.

Artykuły w czasopismach spoza dziedziny fizyki

- [A2.1] K. Malarz, P. Groniek i K. Kułakowski. „Zaller–Deffuant model of mass opinion”. *JASSS—the Journal of Artificial Societies and Social Simulation* **14.1** (2011), 2. Impact Factor: 1.156, ilość cytowań: 7.
- [A2.2] K. Malarz i D. Stauffer. „Search for bottleneck effects in Penna ageing and Schulze language model”. *Advances in Complex Systems* **11.1** (2008), 165–169. Impact Factor: 0.197, ilość cytowań: 1.
- [A2.3] K. Malarz. „The risk of extinction—the mutational meltdown or the overpopulation”. *Theory in Biosciences* **125.2** (2007), 147–156. Impact Factor: 2.125, ilość cytowań: 2.
- [A2.4] K. Malarz, M. Sitarz, P. Groniek i A. Dydejczyk. „Size of the stable population in the Penna bit-string model of biological aging”. *Lecture Notes in Computer Science* **3037** (2004), 638–641. Impact Factor: 0.513, ilość cytowań: 2.

B Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR

Artykuły w czasopismach z dziedziny fizyki

- [B1.1] K. Malarz, M. J. Krawczyk i K. Kułakowski. „Influence of long-range interactions on strategy selection in crowd”. *Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement* **7.2** (2014), 371–378. ilość cytowań: 0.
- [B1.2] K. Malarz. „Advantages and disadvantages of layer growth model in which particles maximize number of lateral bonds”. *Electron Technology* **33.3** (2000), 319–322. ilość cytowań: 1.

Artykuły w czasopismach spoza dziedziny fizyki

- [B2.1] K. Malarz, V. Chandra, E. Mitleton-Kelly i K. Kułakowski. „Probabilistic spreading of information in a spatial network”. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications* **3** (2011), 407–414. ilość cytowań: 0.
- [B2.2] M. J. Krawczyk, K. Malarz, R. Korff i K. Kułakowski. „Communication and trust in the bounded confidence model”. *Lecture Notes in Artificial Intelligence* **6421** (2010), 90–99. ilość cytowań: 3.

- [B2.3] K. Malarz. „Spectral properties of adjacency and distance matrices for various networks”. *Lecture Notes in Computer Science* **5102** (2008), 559–567. ilość cytowań: 1.
- [B2.4] K. Malarz, M. Zborek i B. Wróbel. „Curie temperatures for the Ising model on Archimedean lattices”. *TASK Quarterly* **9.4** (2005), 475–480. ilość cytowań: 14.
- [B2.5] K. Malarz, S. Kaczanowska i K. Kułakowski. „Chaotic dynamics of forest fires”. *Frontiers on Nonlinear Dynamics* **3** (2004), 334–343. ilość cytowań: 1.
- [B2.6] K. Malarz, J. Karpińska, A. Kardas i K. Kułakowski. „Node-node distance distribution for growing networks”. *TASK Quarterly* **8.1** (2004), 115–119. ilość cytowań: 9.
- [B2.7] K. Malarz, A. Z. Maksymowicz i K. Kułakowski. „How physicists waste supercomputers time in Academic Computer Centre Cyfronet-Kraków”. *TASK Quarterly* **2.1** (1998), 85–95. ilość cytowań: 0.

C Wystąpienia konferencyjne

Wystąpienia ustne

- [C1.1] K. Kułakowski, K. Malarz i M. J. Krawczyk. „Heavy context dependence—decisions of underground soldiers”. *29th European Conference on Modelling and Simulation*. Albena (BG). 2015. [D1].
- [C1.2] K. Malarz, A. Styczeń-Kowalska, A. Waryś i K. Kułakowski. „Modelowanie efektywności grup roboczych z wykorzystaniem techniki automatów komórkowych”. *43rd General Meeting of Polish Physicists*. Kielce (PL). 2015.
- [C1.3] K. Malarz i K. Kułakowski. „An influence of unexpected events on our timetables investigated by means of an agent-based cellular automaton”. *Cellular Automata for Research and Industry Conference*. Kraków (PL). 2014. [D2].
- [C1.4] K. Malarz i K. Kułakowski. „Zaller–Deffuant model of opinion formation”. *42nd General Meeting of Polish Physicists*. Poznań (PL). 2013.
- [C1.5] K. Malarz, K. Kułakowski i R. Korff. „Athermal phase transition in the Ising model”. *10th International Conference on Unconventional Computation*. Turku (FI). 2011.
- [C1.6] M. J. Krawczyk, K. Malarz, R. Korff i K. Kułakowski. „Communication and trust in the bounded confidence model”. *2nd International Conference on Computational Collective Intelligence—Technologies and Applications*. Kaohsiung (TW). 2010. [B2.2].
- [C1.7] K. Malarz, V. Chandra, E. Mitleton-Kelly i K. Kułakowski. „Probabilistic spreading of information in a spatial network”. *10th International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management Applications*. Kraków (PL). 2010. [B2.1].
- [C1.8] K. Malarz i K. Kułakowski. „Indifferents as an interface between Contra and Pro”. *4th Polish Symposium on Econo- and Sociophysics*. Rzeszów (PL). 2009. [A1.8].

- [C1.9] K. Piś i K. Malarz. „Magnetic hysteresis loops of Ising spin systems with long-range interaction”. *Frontiers in Modern Physics and its Applications*. Kraków (PL). 2009.
- [C1.10] K. Malarz. „Spectral properties of adjacency and distance matrices for various networks”. *8th International Conference on Computational Science*. Kraków (PL). 2008. [B2.3].
- [C1.11] K. Malarz. „How network topology influences searching for and spreading of information”. *COST P-10/WG-3 Workshop*. Belgrade (RS). 2007.
- [C1.12] K. Malarz i K. Kułakowski. „The Sznajd dynamics in a social network”. *3rd Polish Symposium on Econo- and Sociophysics*. Wrocław (PL). 2007. [A1.11].
- [C1.13] K. Malarz i K. Kułakowski. „The Sznajd dynamics in a social network”. *Applications of Networks: From fundamental physics to complex networks*. Kraków (PL). 2007.
- [C1.14] P. Kowalczyk, R. Kosturek i K. Malarz. „Solid-on-solid models of films growth”. *Kraków Computer Science Workshop*. Kraków (PL). 2006.
- [C1.15] K. Malarz, Z. Szvetelszky, B. Szekfü i K. Kułakowski. „Gossip in random networks”. *2nd Polish Symposium on Econo- and Sociophysics*. Kraków (PL). 2006. [A1.19].
- [C1.16] K. Malarz, D. Stauffer i K. Kułakowski. „Bonabeau model on a fully connected graph”. *3rd $\Sigma\Phi$ International Conference in Statistical Physics*. Kolympari (GR). 2005. [A1.18].
- [C1.17] K. Malarz i K. Kułakowski. „Matrix representation of evolving networks”. *1st Polish Symposium on Econo- and Sociophysics*. Warszawa (PL). 2004. [A1.24].
- [C1.18] K. Malarz, M. Sitarz, P. Groniek i A. Dydejczyk. „Size of the stable population in the Penna bit-string model of biological aging”. *4th International Conference on Computational Science*. Kraków (PL). 2004. [A2.4].
- [C1.19] A. Kaczanowski, K. Malarz i K. Kułakowski. „Hysteresis loop of a nanoscopic magnetic array”. *International Conference of Computational Methods in Science and Engineering*. Kastoria (GR). 2003. [D4].
- [C1.20] K. Malarz, S. Kaczanowska i K. Kułakowski. „Chaotic dynamics of forest fires”. *3rd European Interdisciplinary School on Nonlinear Dynamics for System and Signal Analysis—Euroattractor*. Warszawa (PL). 2002. [B2.5].
- [C1.21] K. Malarz i K. Kułakowski. „Cooperation and surviving with limited resources”. *2nd European Interdisciplinary School on Nonlinear Dynamics for System and Signal Analysis—Euroattractor*. Warszawa (PL). 2001. [D5].
- [C1.22] K. Malarz i A. Z. Maksymowicz. „A simple solid-on-solid model of epitaxial thin films growth: inhomogeneous multilayered sandwiches”. *3rd International Workshop MBE-GPT*. Warszawa (PL). 1999. [A1.37].
- [C1.23] A. Z. Maksymowicz, K. Malarz, M. S. Magdoń, J. J. S. Whiting i S. M. Thompson. „Computer simulation of anisotropic thin film growth”. *High Performance Computing on Hewlett-Packard Systems Conference*. Kraków (PL). 1997.
- [C1.24] A. Z. Maksymowicz, K. Malarz, G. Nagel i M. S. Magdoń. „Structural correlation in growing thin film surfaces”. *High Performance Computing on Hewlett-Packard Systems Conference*. Kraków (PL). 1997.

Sesje plakatowe

- [C2.1] K. Malarz i K. Kułakowski. „How unexpected events destroy our timetables”. *7th Polish Symposium on Econo- and Sociophysic*. Lublin (PL). 2014.
- [C2.2] M. J. Rybak, K. Malarz i K. Kułakowski. „Competing contact processes in the Watts–Strogatz network”. *6th $\Sigma\Phi$ International Conference on Statistical Physics*. Rhodes (GR). 2014. [D3].
- [C2.3] M. J. Rybak, K. Malarz i K. Kułakowski. „Competing contact processes in the Watts–Strogatz network”. *39th Middle European Cooperation in Statistical Physics*. Coventry (UK). 2014.
- [C2.4] M. J. Krawczyk, K. Malarz i K. Kułakowski. „Influence of long-range interactions on strategy selection in crowd”. *Summer Solstice 2013: Discrete Models of Complex Systems*. Warszawa (PL). 2013. [B1.1].
- [C2.5] K. Malarz, M. J. Krawczyk, J. W. Kantelhardt i K. Kułakowski. „Critical slowing down in strategy selection in crowd”. *6th Polish Symposium on Econo- and Sociophysic*s. Gdańsk (PL). 2012. [A1.2].
- [C2.6] Ł. Kurzawski i K. Malarz. „Simple cubic lattice random-site percolation thresholds for complex neighborhoods”. *5th $\Sigma\Phi$ International Conference on Statistical Physics*. Larnaca (CY). 2011. [A1.3].
- [C2.7] K. Malarz i K. Kułakowski. „The Ising phase transition without temperature”. *47th Winter Schools of Theoretical Physics*. Łądek Zdrój (PL). 2011.
- [C2.8] K. Malarz i K. Kułakowski. „Bounded confidence model: addressed information maintain diversity of opinions”. *5th Polish Symposium on Econo- and Sociophysic*s. Warszawa (PL). 2010. [A1.8].
- [C2.9] K. Malarz i K. Kułakowski. „Bounded confidence model: addressed information maintain diversity of opinions”. *7th European Conference on Complex Systems*. Lisbon (PT). 2010.
- [C2.10] K. Piś i K. Malarz. „Magnetic hysteresis loops of Ising spin systems with long-range interaction”. *4th $\Sigma\Phi$ International Conference in Statistical Physics*. Kolympari (GR). 2008.
- [C2.11] P. Kamysz i K. Malarz. „Hysteresis loops and spins flips avalanches for the Ising model on $\text{Rb}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Co}_x\text{F}_4$ -like lattice”. *19th Conference on Computer Physics*. Brussels (BE). 2007.
- [C2.12] K. Malarz, J. Karpínska, A. Kardas i K. Kułakowski. „Node-node distance distribution for growing networks”. *37th General Meeting of Polish Physicists*. Gdańsk (PL). 2003. [B2.6].
- [C2.13] K. Malarz, T. Sitkowski, A. Górecki, J. Szkutnik, L. Dominguez i K. Kułakowski. „Magnetism vs structure of random clusters of atoms”. *International Conference on Spectral and Transport Properties of Random Network Models*. Göttingen (DE). 2000.
- [C2.14] K. Malarz. „Advantages and disadvantages of layer growth model in which particles maximize number of lateral bonds”. *7th Seminar on Surface and Thin Film Structures*. Kazimierz Dolny (PL). 1999. [B1.2].

- [C2.15] K. Höppner, W. Schülke, A. Kaprolat, G. Stutz, S. Kaprzyk, A. Z. Maksymowicz, K. Malarz, J. Kwiatkowska i F. Maniawski. „Compton scattering study of CuAl”. *2nd International Workshop on Compton Scattering and Fermiology*. Tokyo (JP). 1997.

D Manuskrypty przygotowywanych prac oraz inne artykuły

Manuskrypty prac

- [D1] K. Kułakowski, K. Malarz i M. J. Krawczyk. „Heavy context dependence—decisions of underground soldiers”. 2015.
- [D2] K. Malarz, A. Kowalska-Styczeń i K. Kułakowski. „Impact of the workers’ loyalty on the group performance modeled by a bi-layer cellular automaton with a hysteretic rule”. Wysłane do *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*. 2014.
- [D3] M. Rybak, K. Malarz i K. Kułakowski. „Competing contact processes in the Watts–Strogatz network”. Wysłane do *The European Physical Journal Special Topics*. 2014.
- [D4] A. Kaczanowski, K. Malarz i K. Kułakowski. „Hysteresis loop of a nanoscopic magnetic array”. 2003.
- [D5] K. Malarz i K. Kułakowski. „Cooperation and surviving with limited resources”. 2001.

Inne

- [E1] K. Malarz i K. Kułakowski. „Mental ability and common sense in an artificial society”. *Europhysics News* **45.4** (2014), 21–23.
- [E2] K. Malarz. „Wstęp”. *Materiały IV Ogólnopolskiej Sesji Kół Naukowych Fizyków*. Wyd. K. Malarz. Zeszyty Studenckiego Towarzystwa Naukowego. Kraków: Wydawnictwo Studenckiego Towarzystwa Naukowego, 2006, v–vi.
- [E3] K. Malarz. „IV Sesja Kół Naukowych Fizyków”. *Postępy Fizyki* **57.5** (2006), 235–236.
- [E4] K. Malarz. „Studenckie Seminarium Fizyki Biomolekularnej i Medycznej”. *Postępy Fizyki* **56.3** (2005), 130–131.
- [E5] K. Malarz. „Automaty komórkowe nie tylko w fizyce”. *Software 2.0* **2** (2004), 24–31.

K. Malarz