

Popularnonaukowy opis badań prowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej pt. „Fizyka statystyczna sieci koewoluujących”

Intuicja i zdrowy rozsądek podpowiadają, że epidemia powinna się przenosić szybciej, gdy ludzie mają ze sobą częstszy kontakt. Nie ma w tym nic nadzwyczajnego. Jeżeli ktoś zainfekowany wchodzi w interakcję z większą liczbą osób, to szanse, że choć jedna się zarazi są większe. Ale czy struktura tych interakcji ma znaczenie? Czy ich układ ma jakiś wpływ na prędkość rozprzestrzeniania się epidemii? Czy istnieją szczególnie groźne struktury? Na wszystkie te pytania odpowiedzi udzielili fizycy, kładąc fundamenty pod naukę o sieciach złożonych na początku XXI wieku. Jak się później okazało, **zmiany w strukturze, czy jak powiedzieliby naukowiec topologii, kontaktów społecznych mają ogromny wpływ na dynamikę epidemii.** Gdyby sieci społeczne były zupełnie losowe, epidemie powinny naturalnie zanikać, przy odpowiednio małym ułamku zarażonych, lub rozsądnym poziomie szczepień. Jak się jednak okazuje, ludzie tworzą struktury dalekie od losowości. Dodatkowo w sieciach społecznych zaobserwowano zjawisko *sześciu stopni separacji*. Oznacza to, że dzieli cię średnio tylko sześć uścisków dłoni od każdego innego człowieka na ziemi. Kolejną cechą charakterystyczną tych sieci jest to, że zazwyczaj zawierają mało *hubów* – ludzi z gigantyczną liczbą połączeń, oraz bardzo dużo osób ze względnie małą liczbą połączeń. Te obserwacje, wsparte ścisłą i nowatorską zarazem analizą zagadnienia, rzuciły nowe światło na możliwości walki z epidemią, czego przykładem może być wytłumaczenie problemów ze zwalczaniem rozprzestrzeniania się wirusa HIV w latach 70-tych na terenie USA.

Wyjaśnienie procesów leżących u podstaw dynamiki epidemii jest uważane przez wielu za najbardziej spektakularne osiągnięcie nauki o sieciach złożonych. Niemniej jednak nie jest to jedyne pole, na którym nowa nauka osiągnęła sukces. Kolejnym ciekawym przykładem są zastosowania do opisu rynków finansowych. Każdy pamięta fatalny w skutkach kryzys roku 2008. Wszystko zaczęło się od upadku jednego banku – Lehman Brothers. Co ciekawe bank ten miał tuż przed ogłoszeniem bankructwa najwyższą możliwą ocenę (ang. *rating*), tzw. *potrójne A*, oznaczające, że jest całkowicie stabilny. Również Islandia, kraj, w który kryzys uderzył najmocniej, miała najwyższą możliwą ocenę. Gdzieś w tradycyjnych modelach finansowych musiał tkwić poważny błąd. Jak to jest możliwe, że jedna upadłość banku wyrzuciła aż takie szkody? Dlaczego kryzys rozprzestrzenił się na cały kraj i później na cały świat? **Odpowiedzi na te pytania znów należy szukać w strukturze sieci**, tym razem sieci instytucji finansowych. Dla przykładu, banki pożyczają od siebie nawzajem pieniądze. Jeżeli jeden bank ogłosi bankructwo, pozostałe, które pożyczły mu pieniądze, będą w tarapatkach. W ten sposób kryzys może się rozprzestrzenić na cały świat, ponieważ relacje finansowe są często globalne. Jednak poprzez stworzenie odpowiedniej struktury połączeń finansowych możemy zapobiec dalszemu rozprzestrzenianiu się bankructwa. Nauka o sieciach potrafi przewidzieć, które konfiguracje będą ryzykowne, a które będą stabilne, opierając się na informacjach nt. połączeń pożyczkodawca-pożyczkobiorca. Google używa podobnych algorytmów, aby zapewnić nam trafne wyniki wyszukiwania. W rzeczy samej, nauka o sieciach złożonych jest z sukcesami stosowana w opisie sieci informacyjnych i technicznych takich, jak internet czy sieć domen www.

Powyższe dwa przykłady dobitnie ilustrują, w jaki sposób nauka o sieciach może wpływać na nasz świat. Oczywiście jest ich znacznie więcej. Nauka o złożoności była stosowana również w systemach ekologicznych do opisu różnorodności gatunków, w systemach biologicznych, badając jak działa nasz mózg, w urbanistyce, zapewniając narzędzia to organizacji ruchu itd. Kompletna lista byłaby bardzo długa. Wygląda na to, że Steven Hawking miał rację mówiąc, że *wiek XXI będzie wiekiem złożoności (the 21st century will be the century of complexity)*.

W kontekście planowanych badań warto zaznaczyć, że w zdecydowanej większości rzeczywistych systemów **struktura sieci oraz jej zmiany odgrywają decydującą rolę, a sprzężenie (koewolucja) pomiędzy strukturą i stanem wierzchołków często jest kluczowe.** I właśnie ten fakt jest powodem wyboru *fizyki statystycznej sieci koewoluujących*, jako tematyki badawczej. Obecnie nauka o sieciach złożonych jest rozwijana przez naukowców wywodzących się z wielu różnych dyscyplin. Bez wątplenia fizyka miała największy wpływ na tę wciąż względnie nową gałąź nauki – większość znaczących wyników zostało osiągniętych przez fizyków stosujących narzędzia zapożyczone z fizyki. Uważamy, że to podejście może być bardzo owocne.

W wielu skomplikowanych problemach fizycznych pomijamy jeden z procesów, jeżeli jest znacznie szybszy lub wolniejszy niż ten, który chcemy opisać. Takie podejście nosi nazwę *separacji skal czasowych* i pozwoliło ono na obniżenie złożoności opisu w wielu problemach, w rezultacie prowadząc do spójnych teorii zgodnych z wynikami eksperymentów. Sama idea jest bardzo prosta – jeżeli nasz system składa się z dwóch oddzielnych procesów, jednego bardzo szybkiego i jednego bardzo wolnego, wówczas w opisie np. pierwszego możemy pominąć ten drugi, ponieważ po uśrednieniu jego wpływ będzie znikomy. Tak więc przez pewien czas tworzone były tylko dwa rodzaje modeli sieciowych – ze zmianami tylko w strukturze sieci, lub ze zmianami jedynie w stanie wierzchołków, opisujących np. ludzi. Niestety takie podejście nie jest poprawne dla większości wcześniej wspomnianych układów. W erze globalizmu musimy brać pod uwagę w naszych modelach wiele różnych aspektów. Z tego powodu *modele z koewolucją* stały się popularne i, zgodnie z oczekiwaniami, bardziej efektywne. Ten nowy rodzaj sieci jest punktem centralnym tego projektu. Tego typu modele są jednak trudniejsze w ścisłym opisie analitycznym. Dlatego też symulacje komputerowe są tak pomocne w tej dziedzinie i dlatego symulacje są istotną częścią realizacji planowanych badań.

Obecnie nie ma wątpliwości, że struktura oraz jej zmiany i jej sprzężenie ze zmianami stanów wierzchołków są kluczem do zrozumienia i predykcji zachowania wielu układów złożonych. **Głównym celem tego projektu jest analiza wpływu koewolucji na zachowanie systemów sieciowych, która pomoże znaleźć najbardziej przydatne i efektywne narzędzia do opisu rzeczywistych zjawisk.**