



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Authors' contribution/
 Wkład autorów:
 A. Study design/
 Zaplanowanie badań
 B. Data collection/
 Zebranie danych
 C. Statistical analysis/
 Analiza statystyczna
 D. Data interpretation/
 Interpretacja danych/
 E. Manuscript preparation/
 Przygotowanie tekstu
 F. Literature search/
 Opracowanie
 piśmiennictwa
 G. Funds collection/
 Pozyskanie funduszy

ORIGINAL ARTICLE

JEL code: F02, F14, F44, D85, L14

Submitted:
 April 2023

Accepted:
 May 2023

Tables: 2
 Figures: 3
 References: 25

ARTYKUŁ ORYGINALNY

Klasyfikacja JEL: F02, F14, F44, D85, L14

Zgłoszony:
 kwiecień 2023

Zaakceptowany:
 maj 2023

Tabele: 2
 Rysunki: 3
 Literatura: 25

RESILIENCE MECHANISMS OF THE EUROPEAN TRADE NETWORK DURING THE PANDEMIC

MECHANIZMY ODPORNOŚCI EUROPEJSKIEJ SIECI HANDLOWEJ W CZASIE PANDEMII

Ioana Manafi^{1 (A,C,D,E)}, **Dragos Huru**^{2 (B,E,F,G)}, **Florin Dobre**^{3 (B,E,F,G)},
Andreea Gabriela Capbun^{1 (B,C,D,F)}, **Mihai Daniel Roman**^{1 (A,D,E,G)}

¹Department of Economic Informatics and Cybernetics, Bucharest University of Economic Studies, Romania

¹Wydział Informatyki Ekonomicznej i Cybernetyki, Uniwersytet Studiów Ekonomicznych w Bukareszcie, Rumunia

²Faculty of Theoretical and Applied Economy, Bucharest University of Economic Studies, Romania

²Wydział Ekonomii Teoretycznej i Stosowanej, Uniwersytet Studiów Ekonomicznych w Bukareszcie, Rumunia

³Faculty of Accounting and Management Economic Systems, Bucharest University of Economic Studies, Romania

³Wydział Rachunkowości i Zarządzania Systemami Ekonomicznymi, Uniwersytet Studiów Ekonomicznych w Bukareszcie, Rumunia

Citation:

Manafi, I., Huru, D., Dobre, F., Capbun, A. G., Roman, M. D. (2023). Resilience mechanisms of the European trade network during the pandemic/Mechanizmy odporności Europejskiej sieci handlowej w czasie pandemii. *Economic and Regional Studies*, 16(2), 171-185. <https://doi.org/10.2478/ers-2023-0012>

Guest Editor Dr. Katalin Liptak, PhD, Faculty of Economics, University of Miskolc, Hungary

Abstract

Subject and purpose of work: The economic crisis generated by the COVID-19 pandemic was fundamentally different from those of the past, with unforeseen implication on supply chains and European trade. As the literature regarding the pandemic is vast bibliometric techniques were used to find the most influential themes and authors. The aim of this paper is to test if cascading failure is possible when shocks arise in European trade.

Materials and methods: To characterise the European commerce, network analysis was employed using Eurostat data of imports and exports in the following years: 2018, 2019 and 2020. Trade value indices were also used to characterised European trade during the pandemic and Enterprise Survey run by World Bank for in-depth, cross economies comparisons.

Results: The results from the network analysis characterise the compactness of the network, showing that the European trade network is characterised by robustness.

Conclusions: Cascading failure has a low probability of occurrence.

Keywords: European trade, import, export, network analysis, resilience, robustness

Address for correspondence/ Adres korespondencyjny: Ioana Manafi, PhD (ORCID: 0000-0001-6070-5254), (ioana.manafi@csie.ase.ro), Department of Economic Informatics and Cybernetics, Bucharest University of Economic Studies, Clădirea Virgil Madgearu, Calea Dorobanți 15-17, București 010552, Romania; phone: 0040 742 032 916; Dragos Huru, PhD, (dragos.huru@economie.ase.ro), Faculty of Theoretical and Applied Economy, Bucharest University of Economic Studies, Romania; Florin Dobre, prof. (florin.dobre@cig.ase.ro), Faculty of Accounting and Management Economic Systems, Bucharest University of Economic Studies, Romania; Andreea Gabriela Capbun, MA (capbunandreea14@stud.ase.ro), Economic Cybernetics and Statistics Doctoral School, Faculty of Cybernetics, Statistics and Economic Informatics, Bucharest University of Economic Studies, Romania; Mihai Daniel Roman, prof. (mihai.roman@ase.ro), Faculty of Cybernetics, Statistics and Economic Informatics, Bucharest University of Economic Studies, Romania

Journal included in: AgEcon Search; AGRO; Arianta; Baidu Scholar; BazEkon; Cabell's Journalytics; CNKI Scholar (China National Knowledge Infrastructure); CNPIEC – cnpLINKer; Dimensions; EBSCO; ERIH PLUS (European Reference Index for the Humanities and Social Sciences); ExLibris; Google Scholar; Index Copernicus; J-Gate; JournalTOCs; KESLI-NDSL (Korean National Discovery for Science Leaders); MyScienceWork; Naver Academic; Naviga (Softweco); Polish Ministry of Science and Higher Education; QOAM (Quality Open Access Market); ReadCube; SCILIT; Semantic Scholar; TDNet; Ulrich's Periodicals Directory/ulrichsweb WanFang Data; WorldCat (OCLC); X-MOL

Copyright: © The Authors, 2023. **Publisher:** John Paul II University in Białą Podlaska, Poland.

Streszczenie

Przedmiot i cel pracy: Kryzys gospodarczy wywołany pandemią COVID-19 zasadniczo różnił się od kryzysów z przeszłości i miał nieprzewidziane konsekwencje dla łańcuchów dostaw i handlu europejskiego. Ponieważ literatura dotycząca pandemii jest obszerna, w celu znalezienia najważniejszych tematów i autorów zastosowano techniki bibliometryczne. Celem niniejszego artykułu jest sprawdzenie, czy w przypadku wystąpienia wstrząsów w handlu europejskim możliwe jest niepowodzenie kaskadowe.

Materiały i metody: Do scharakteryzowania handlu europejskiego wykorzystano analizę sieciową, wykorzystując dane Eurostatu dotyczące importu i eksportu w kolejnych latach: 2018, 2019 i 2020. Wskaźniki wartości handlu wykorzystano również do scharakteryzowania handlu europejskiego podczas pandemii oraz badania przedsiębiorstw przeprowadzonego przez Bank Światowy w celu dogłębnych porównań między gospodarkami.

Wyniki: Wyniki analizy sieciowej charakteryzują zwartość sieci, pokazując, że europejska sieć handlowa charakteryzuje się solidnością.

Wnioski: Niepowodzenie kaskadowe ma małe prawdopodobieństwo wystąpienia.

Słowa kluczowe: handel europejski, import, eksport, analiza sieciowa, odporność, solidność

Introduction

The supply chain is a metaphor in economics consisting of strong connected elements extending from raw material to the final consumer. Supply chain trade concerns goods being used as inputs in a production process in a different country, implying three basic concepts: importing to produce, importing to export, re-importing to re-export (Baldwin and Lopez-Gonzalez, 2015). In the pandemic context, ensuring the resilience of global supply chains became a key concept.

The distinction between supply chain 'resilience' and 'robustness' is found in relation to responding to shocks. Resilience relates to the ability of supply chains to prepare for shocks, respond to, and recover from different disruptions that may arise (Sá et al., 2020), while robustness represents the ability to operate during a crisis (Brandon-Jones et al., 2014).

The aim of the present article is to verify using network analysis (NA) if cascading failure is possible when international trade is considered. Cascading failure is possible when a local failure registered in one country loads to another country. In some cases, this extra load is negligible, and the other nodes can absorb it. But for different settings (given by the position of the node and capacity) this load tends to be high, and the neighbours will not be able to absorb it, and a cascading failure appears. With random failure, key components are hubs, especially when their number is small, but with several hubs, the fragmentation of the network rarely happens.

This paper is structured as follows. It used a bibliometric analysis as of the huge volume of the results when searching for different keyword. In the third section of the paper it presented the data set, the methodology, hypothesis and limitation of the methodology used in the paper. NA is employed to examine the structure among countries (for both imports and exports for three different years: 2018, 2019 and 2020) to explain the variations in behaviour and to identify potential weaknesses in the network

Wstęp

Łańcuch dostaw w ekonomii metaforą i składa się z silnie powiązanych elementów rozciągających się od surowca do konsumenta końcowego. Handel łańcuchem dostaw dotyczy towarów wykorzystywanych jako nakłady w procesie produkcyjnym w innym kraju, co implikuje trzy podstawowe koncepcje: import w celu wytworzenia, import w celu eksportu, reimport w celu reeksportu (Baldwin i Lopez-Gonzalez, 2015). W kontekście pandemii zapewnienie odporności globalnych łańcuchów dostaw stało się koncepcją kluczową.

Rozróżnienie między „odpornością” a „solidnością” łańcucha dostaw dotyczy reagowania na wstrząsy. Odporność odnosi się do zdolności łańcuchów dostaw do przygotowania się na wstrząsy oraz reagowania na różne zakłócenia, które mogą się pojawić i odbudowy po nich (Sá i in., 2020), podczas gdy solidność reprezentuje zdolność do działania w czasie kryzysu (Brandon-Jones i in., 2014).

Celem niniejszego artykułu jest sprawdzenie za pomocą analizy sieciowej (NA), czy w przypadku handlu międzynarodowego możliwe jest niepowodzenie kaskadowe. Niepowodzenie kaskadowe zdarza się, gdy niepowodzenie lokalne zarejestrowane w jednym kraju przenosi się do innego kraju. W niektórych przypadkach to dodatkowe obciążenie jest znikome, a inne węzły mogą je wchłonąć. Jednak dla innych ustawień (określanych przez położenie węzła i jego pojemność) to obciążenie jest zwykle wysokie, a sąsiedzi nie są stanie go wchłonąć i pojawia się niepowodzenie kaskadowe. W przypadku awarii przypadkowej kluczowymi składnikami są ośrodki, zwłaszcza gdy ich liczba jest niewielka, ale przy kilku ośrodkach rzadko zdarza się fragmentacja sieci.

Niniejszy artykuł ma opisaną poniżej strukturę. Podczas wyszukiwania różnych słów kluczowych wykorzystano analizę bibliometryczną ogromnej liczby wyników. W trzeciej części artykułu przedstawiono zbiór danych, metodologię, hipotezę i ograniczenia metodologii zastosowanej w pracy. NA

if other disruptions in some countries may arise. The paper continues with the obtained results and conclusions.

Literature review

At the beginning of the pandemic there were areas (e.g. pharmaceutical industry) for which demand exceeded supply, and areas (the car manufacturing industry having high contribution to GDP in many European countries), in which demand felt sharply.

The impact of COVID-19 on manufacturing companies was severe and was expected to have greater effects in the medium and long term than other previous major outbreaks (Haren and Simchi-Levi, 2020). Europe and the United States were severely affected by creating disruptions in the movement of goods and raw materials (Paul et al., 2021).

As the literature regarding the pandemic and the economic effects is vast, bibliometric techniques were employed to discover influential themes, as well as the development of the themes during the pandemic. International trade and pandemic were searched for on WOS Core Collection, obtaining 555 results (at the beginning of July 2022), in order to uncover emerging trends. The earliest paper found was written in 1993, but 492 out of 555 were published since 2020.

When studying the co-occurrence of themes, the nodes represent themes, wherein, the size of the node indicates the number of times a theme occurs, the bigger the node, the greater the occurrences, the links between different nodes are the connections between different themes. The themes are divided by clusters marked in different colours. The nodes and links in a cluster may be used to explain the theme's coverage of topics as well as the relationships between the topics (Donthu et al., 2021).

The 119 themes found when analysing the results are divided into 8 clusters with 1,370 connections between them (Table 1). COVID-19 has the highest occurrence, followed by trade, pandemic, international trade, health and impact.

zastosowano do zbadania struktury w różnych krajach (zarówno dla importu, jak i eksportu dla trzech różnych lat: 2018, 2019 i 2020), aby wyjaśnić różnice w zachowaniu i zidentyfikować potencjalne słabości w sieci, jeśli w niektórych krajach mogą wystąpić inne zakłócenia. W dalszej części pracy przedstawiono uzyskane wyniki i wnioski.

Przegląd literatury

Na początku pandemii były obszary (np. branża farmaceutyczna), na które popyt przewyższał podaż, oraz obszary (przemysł samochodowy o dużym udziale w PKB w wielu krajach europejskich), w których popyt był mocno odczuwalny.

Wpływ COVID-19 na firmy produkcyjne był poważny i oczekiwano, że będzie on większy w perspektywie średnio i długoterminowej niż w przypadku innych poprzednich dużych epidemii (Haren i Simchi-Levi, 2020). Europa i Stany Zjednoczone zostały poważnie dotknięte zakłóceniami w przepływie towarów i surowców (Paul i in., 2021).

Ponieważ literatura dotycząca pandemii i skutków ekonomicznych jest obszerna, w celu odszukania ważnych wątków, a także problematyki rozwoju tych wątków podczas pandemii zastosowano techniki bibliometryczne. Aby odkryć pojawiające się trendy, wyszukiwano hasła handel międzynarodowy i pandemia w WOS Core Collection, uzyskując 555 wyników (stan na początek lipca 2022 r.). Najwcześniejszą znaną pracą napisano w 1993 roku, ale 492 spośród 555 artykułów opublikowano po 2020 roku.

W badaniu współwystępowania tematów, węzły reprezentują wątki, przy czym rozmiar węzła wskazuje, ile razy pojawia się wątek, im większy węzeł, tym większa liczba wystąpień, a powiązania między różnymi węzłami są połączeniami między różnymi wątkami. Tematy podzielono według skupień oznaczonych różnymi kolorami. Węzły i połączenia w skupieniu można wykorzystać do wyjaśnienia zakresu tematycznego wątku, jak również związku między tematami (Donthu i in., 2021).

119 wątków znalezionych podczas analizy wyników podzielono na 8 skupień z 1370 powiązaniemi między nimi (Tabela 1). Najczęściej występuje COVID-19, a następnie handel, pandemia, handel międzynarodowy, zdrowie i wpływ.

Table 1. Co-occurrence of themes**Tabela 1.** Współwystępowanie wątków

	Number of themes / Liczba wątków	Themes / Wątki	Generic name / Nazwa ogólna
Cluster 1 / Skupienie 1	24	Climate change, disease, epidemic, evolution, pandemic origins, prevention, public health, transmission, wildlife trade / Zmiany klimatu, choroby, epidemia, ewolucja, źródła pandemii, zapobieganie, zdrowie publiczne, przenoszenie, handel dziką fauną i florą	Epidemic themes / Wątki związane z epidemią
Cluster 2 / Skupienie 2	22	Co-integration, consumption, contagion, determinants, economic growth, efficiency, emerging markets, security, volatility / Kointegracja, konsumpcja, zarażanie, determinanty, wzrost gospodarczy, efektywność, rynki wschodzące, bezpieczeństwo, niestabilność	Productivity themes / Wątki związane z produktywnością
Cluster 3 / Skupienie 3	21	Climate change, global health, health, influenza, law, pandemic, public health, trips agreement, vaccine / Zmiany klimatu, zdrowie na świecie, zdrowie, grypa, prawo, pandemia, zdrowie publiczne, Porozumienie TRIPS, szczepionka	Health themes / Wątki związane ze zdrowiem
Cluster 4 / Skupienie 4	12	Agriculture, aquaculture, food-security, conservation, resilience, sustainability / Rolnictwo, akwakultura, bezpieczeństwo żywnościowe, ochrona, odporność, zrównoważony rozwój	Food themes / Wątki związane z żywieniem
Cluster 5 / Skupienie 5	12	Business, competition, export, FDI, growth, impact, international trade, performance, productivity, US / Biznes, konkurencja, eksport, BIZ, wzrost, wpływ, handel międzynarodowy, wydajność, produktywność, Stany Zjednoczone	Business themes / Wątki związane z biznesem
Cluster 6 / Skupienie 6	12	Economy, industry, networks, global value chain, governance, networks, supply chain, production networks / Gospodarka, przemysł, sieci, globalny łańcuch wartości, zarządzanie, sieci, łańcuch dostaw, sieci produkcyjne	Economy themes / Wątki związane z gospodarką
Cluster 7 / Skupienie 7	9	Dynamics, export restriction, China, EU, world economy, world trade organisation / Dynamika, ograniczenie eksportu, Chiny, UE, gospodarka światowa, światowa organizacja handlu	International trade themes / Wątki związane z handlem zagranicznym
Cluster 8 / Skupienie 8	7	Global trade, globalisation lockdown, impact, policy, Africa, Asia / Handel światowy, blokada globalizacji, wpływ, polityka, Afryka, Azja	Globalisation themes / Wątki związane z globalizacją

Source: Authors calculation.

Źródło: Obliczenia autorów.

The last four clusters are of particular interest for this study. International trade was associated with other themes, such as performance, export, growth, resilience, consumption, protectionism, foreign direct investments (FDI), global value chain, restrictions. Supply chain was linked to resilience, management, performance, future, framework, global value chain, FDI. Besides COVID-19 and international trade, exports were connected to impact, competition, performance, models, gravity models, industry, productivity and innovation.

Ivanov (2022) offers a view of the supply chain models beyond the COVID-19 pandemic, focusing on the long-term impacts of the environmental changes. Starting from a simple supply-chain ecosystem, Ivanov (2022) builds a viable supply chain model based on stability, robustness, resilience, and viability. This type of supply-chain adapts dynamically to context

Szczególnie interesujące dla tego badania są cztery ostatnie skupienia. Handel międzynarodowy był powiązany z innymi wątkami, takimi jak wyniki, eksport, wzrost, odporność, konsumpcja, protekcjonizm, bezpośrednie inwestycje zagraniczne (BIZ), globalny łańcuch wartości, ograniczenia. Łańcuch dostaw był powiązany z odpornością, zarządzaniem, wydajnością, przyszłością, ramami, globalnym łańcuchem wartości, BIZ. Oprócz COVID-19 i handlem międzynarodowym eksport był powiązany z wpływem, konkurencją, wydajnością, modelami, modelami grawitacyjnymi, przemysłem, produktywnością i innowacjami.

Ivanov (2022) zapewnia spojrzenie na modele łańcucha dostaw poza pandemią COVID-19, koncentrując się na długoterminowym wpływie zmian środowiskowych. Zaczynając od prostego ekosystemu łańcucha dostaw, Ivanov (2022) zbudował realny

changes, it is resilient towards disruptions, and it can respond efficiently to internal and external changes in long-term perspective. During this pandemic, studies had integrated new characteristics to the classic supply-chain models such as legality, resilience, sustainability, and digitalisation.

Regarding the resilience mechanism, Onjewu, Hussain and Haddoud (2022) found that e-commerce significantly increases resilience, accelerating direct exports, but having low influence on indirect exporting. Mena, Karatzas and Hansen (2022) calculated the trade resilience of a country in a given month by adding exports and imports (scaled with the country's 2019 GDP) and taking the Year-on-Year (YoY) monthly percentage (%) change, in order to identify the factors helping countries to achieve trade resilience in the March–July 2020 period. Goldin and Mariathasan, (2015) focus on dyads or networks to provide a broader explanation for resilience. They stressed that systemic risk issues are endemic in supply chains, pandemics and economics. Adamowicz and Lemanowicz (2013) present a network model of the organisation through the example of a Polish company.

According to the WTO (2020), a policy that allows companies to procure their raw materials from different parts of the world to minimise their costs offers EU companies greater flexibility during disruptions in economic activity. An integration approach allows the diversification of the offer, which offers robustness. Thus, an integration approach to resilience is desirable compared to a reshoring approach.

Network analysis was used to model connections between different actors over the supply chain. Borgatti and Li (2009) described how social network concepts might be applied to both resource flows and less tangible relationships.

Lu et al. (2018) used the network approach to explore the supply chains from a managerial point of view. Social networks play an important role in creating network governance, organisational behaviour, and supply chain practices for a company's sustainable development.

Methodology and models

Network science involves a mathematical approach, used to quantify the importance of nodes and the value of connections. Metcalfe's law (1980) calculates the value of a network, being proportional

model łańcucha dostaw oparty na stabilności, solidności, odporności i rentowności. Ten typ łańcucha dostaw dynamicznie dostosowuje się do zmian kontekstu, jest odporny na zakłócenia i może w perspektywie długoterminowej skutecznie reagować na zmiany wewnętrzne i zewnętrzne. Podczas tej pandemii, do klasycznych modeli łańcucha dostaw dołączono dzięki badaniom nowe właściwości, takie jak legalność, odporność, zrównoważony rozwój i cyfryzację.

Jeśli chodzi o mechanizm odporności, Onjewu, Hussain i Haddoud (2022) stwierdzili, że handel elektroniczny znacznie zwiększa odporność, przyspieszając eksport bezpośredni, ale mając niewielki wpływ na eksport pośredni. Mena, Karatzas i Hansen (2022) obliczyli odporność handlową kraju w danym miesiącu, dodając eksport i import (w przeliczeniu na PKB kraju w 2019 r.) i przyjmując miesięczną zmianę procentową (%) liczoną rok do roku (r/r), w celu zidentyfikowania czynników pomagających krajom osiągnąć odporność handlową w okresie marzec–lipiec 2020 r. Goldin i Mariathasan (2015) skupiają się na diadach lub sieciach, aby zapewnić szersze wyjaśnienie odporności. Podkreślili oni, że kwestie ryzyka systemowego są w łańcuchach dostaw, pandemiach i ekonomii endemiczne. Adamowicz i Lemanowicz (2013) przedstawiają sieciowy model organizacji na przykładzie polskiej firmy.

Według WTO (2020) polityka umożliwiająca firmom pozyskiwanie surowców z różnych części świata w celu minimalizacji kosztów zapewnia unijnym przedsiębiorstwom większą elastyczność podczas zakłóceń w działalności gospodarczej. Podejście integracyjne pozwala na zróżnicowanie oferty, która zapewnia solidność. Zatem podejście integracyjne do odporności w porównaniu z podejściem reshoringowym jest pożądane.

Analizę sieciową wykorzystano do modelowania powiązań między różnymi podmiotami w łańcuchu dostaw. Borgatti i Li (2009) opisali, w jaki sposób koncepcje sieci społecznych można zastosować zarówno do przepływów zasobów, jak i mniej namacalnych powiązań.

Lu i in. (2018) wykorzystali podejście sieciowe do zbadania łańcuchów dostaw z menedżerskiego punktu widzenia. Sieci społeczne odgrywają ważną rolę w tworzeniu kierowania siecią współpracy, zachowań organizacyjnych i praktyk łańcucha dostaw dla zrównoważonego rozwoju firmy.

Metodologia i modele

Nauka o sieciach obejmuje podejście matematyczne, używane do ilościowego określania znaczenia węzłów i wartości połączeń. Prawo Metcalfe'a (1980) oblicza wartość sieci, która jest proporcjonalna do

to the square number of its users (N^2), where the users (N) are the nodes of the network. In other words, the more individuals use the network, more valuable the network will become (Barabasi, 2013).

In a complete graph, the total number of links is equal to $L_{max} = \frac{N(N-1)}{2}$, but in practice the networks have a smaller number of links. Also, in a complete graph the adjacency matrix of the network is $A_{ij} = 1$, for all (i, j) . If we consider weighted networks, for each link (i, j) has a weight w_{ij} , so the adjacency matrix is $A_{ij} = w_{ij}$.

A path is a route connecting two different nodes and the length of this path is equal to the number of contained links. The shortest path (d_{ij}) between two nodes (i and j) is the path with the fewest number of links. If the network is undirected then $d_{ij} = d_{ji}$, or $d_{ij} \neq d_{ji}$. The network diameter (d_{max}) is calculated as the maximum shortest path. It refers to the maximum number of connections required to know how many steps it takes for the two farthest nodes in the network to reach each other. In practice, there will be more than one pair of nodes that fit the previous description. The diameter of a network can be seen as the first parameter of graph "compactness". Knowing this helps to understand the structures of a network; if the diameter of a network is small, then the network usually is less complex than another one with a higher diameter.

The average path length is defined for a weighted network as follows:

$$d = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N d_{ij} \quad (1)$$

An undirected network is connected if all pairs of nodes are connected. Two nodes i and j are connected if there is a path between them. To find the degree to which the neighbours of a node link to each other should calculate the clustering coefficient:

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \quad (2)$$

where C_i represent the local clustering coefficient. It is calculated as:

$$C_i = \frac{2L_i}{k_i(k_i-1)} \quad (3)$$

where L_i is the number of links between the neighbours of a node and k_i represent the degree of the node i . The degree of a node represents the number of edges connected to this node. In a social network this variable shows the influence of a node over that network. The limitation of this variable is that it does not consider the global structure of the network. When the network is directed, a node will have two different degrees: an in-degree (calculating the total numbers of incoming edges) and an out-degree (representing the total numbers of outgoing

kwadratu liczby jej użytkowników (N^2), gdzie użytkownicy (N) są węzłami sieci. Innymi słowy, im więcej osób korzysta z sieci, tym cenniejsza staje się sieć (Barabasi, 2013).

Na pełnym grafie łączna liczba powiązań jest równa $L_{max} = \frac{N(N-1)}{2}$, ale w praktyce sieci mają mniejszą liczbę powiązań. Ponadto na pełnym grafie macierz sąsiedztwa sieci wynosi $A_{ij} = 1$, dla wszystkich (i, j) . Jeśli weźmiemy pod uwagę sieci ważone, każde połączenie (i, j) ma wagę w_{ij} , zatem macierz sąsiedztwa wynosi $A_{ij} = w_{ij}$.

Ścieżka to droga łącząca dwa różne węzły, a długość tej ścieżki jest równa liczbie zawartych w niej połączeń. Najkrótsza ścieżka (d_{ij}) między dwoma węzłami (i i j) to ścieżka z najmniejszą liczbą połączeń. Jeśli sieć jest nieukierunkowana, wówczas $d_{ij} = d_{ji}$, lub $d_{ij} \neq d_{ji}$. Średnicę sieci (d_{max}) oblicza się jako maksymalną najkrótszą drogę. Odnosi się ona do maksymalnej liczby połączeń wymaganych, aby wiedzieć, ile kroków potrzeba, aby dwa najdalsze węzły w sieci się ze sobą skontaktowały. W praktyce będzie istnieć więcej niż jedna para węzłów pasujących do poprzedniego opisu. Średnicę sieci może postrzegać jako pierwszy parametr „zwartości” grafu. Wiedza o tym pomaga zrozumieć struktury sieci; jeśli średnica sieci jest mała, to sieć jest zwykle mniej złożona niż inna o większej średnicy.

Średnia długość ścieżki definiuje się dla sieci ważonej w następujący sposób:

$$d = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N d_{ij} \quad (1)$$

Sieć nieukierunkowana jest połączona, jeśli wszystkie pary węzłów są połączone. Dwa węzły i i j są połączone, jeśli istnieje między nimi ścieżka. Aby określić stopień, w jakim sąsiedzi węzła łączą się ze sobą, powinno się obliczyć współczynnik grupowania:

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \quad (2)$$

gdzie C_i reprezentuje lokalny współczynnik grupowania. Oblicza się go w następujący sposób:

$$C_i = \frac{2L_i}{k_i(k_i-1)} \quad (3)$$

gdzie L_i jest liczbą połączeń między sąsiadami węzła, a k_i reprezentuje stopień węzła i . Stopień węzła reprezentuje liczbę krawędzi połączonych z tym węzłem. W sieci społecznej ta zmienna pokazuje wpływ węzła na tę sieć. Ograniczeniem tej zmiennej jest to, że nie uwzględnia ona globalnej struktury sieci. Gdy sieć jest ukierunkowana, węzeł będzie miał dwa różne stopnie: stopień wejściowy (obliczający całkowitą liczbę krawędzi przychodzących) i stopień wyjściowy (reprezentujący całkowitą liczbę krawędzi wychodzących). Średni stopień oblicza się jako stosunek

edges). The average degree is calculated as the ratio of the total number of edges and total number of nodes (Newman, 2017) showing the average number of connections of a node.

The degree centrality shows how well one node is directly connected to the other nodes in the network (Butts, 2008). If we consider an undirected network, the degree of a node represents the number of direct connections of the vertex, with others (Jackson, 2008). The degree centrality is expressed as the proportion of connections of a node, meaning that we divide the degree $N(i)$ by $(n-1)$, where n is the number of nodes in the network (so $n-1$ is the maximum number of connections the node can have). The degree centrality is calculated as:

$$C_d(i, W) = \frac{N(i)}{n-1} \quad (4)$$

When calculating betweenness centrality one may detect the amount of influence a node has over the flow of information in a network, representing the degree to which nodes stand between each other. If a node has a low degree of betweenness centrality, then it might have an intermediary role being quite central to the network (Scott, 1988). But a node with a betweenness centrality high, may be vulnerable to disruption. The betweenness centrality is calculated as (Freeman, 1977):

$$C_B(i) = \frac{\sum_{j < k} g_{jk}(i)}{g_{jk}} \quad (5)$$

where g_{jk} represents the number of the shortest path between nodes i and j and $g_{jk}(i)$ is the number of those paths that pass-through node i .

The eccentricity is a node centrality index. The eccentricity of a node v is calculated by computing the shortest path between the node v and all other nodes in the graph, then the "longest" shortest path is chosen.

The density (d) of a network shows the level of connectivity, being calculated as the total number of the edges (l) as a proportion to the total possible edges ($\frac{n(n-1)}{2}$).

$$d = \frac{2l}{n(n-1)} \quad (6)$$

The greater the density, the greater the cohesiveness is, impacting the capacity of performing as the information should flow through the network.

Network hypothesis for research

Strogatz (2001) stated that the structure of a network has a direct influence on its functioning. So, the topological approach is very important when the objective is understanding the network functionality. But also, the topology of a network is responsible for

całkowitej liczby krawędzi do całkowitej liczby węzłów (Newman, 2017) pokazujący średnią liczbę połączeń węzła.

Stopień centralności pokazuje, jak dobrze jeden węzeł jest bezpośrednio połączony z innymi węzłami w sieci (Butts, 2008). Jeśli weźmiemy pod uwagę sieć nieukierunkowaną, stopień węzła reprezentuje liczbę bezpośrednich połączeń wierzchołka z innymi wierzchołkami (Jackson, 2008). Stopień centralności wyraża się jako proporcję połączeń węzła, co oznacza, że dzielimy stopień $N(i)$ przez $(n-1)$, gdzie n to liczba węzłów w sieci (więc $n-1$ to maksymalna liczba połączeń, jaką może mieć węzeł). Stopień centralności oblicza się w następujący sposób:

$$C_d(i, W) = \frac{N(i)}{n-1} \quad (4)$$

Podczas obliczania „centralności pomiędzy” między węzłami można określić wpływ, jaki węzeł ma na przepływ informacji w sieci, reprezentując stopień, w jakim węzły stoją między sobą. Jeśli węzeł ma niski stopień „centralności pomiędzy”, może pełnić rolę pośrednika, będąc w dość centralnym położeniu w sieci (Scott, 1988). Ale węzeł z wysoką „centralnością pomiędzy” może być podatny na zakłócenia. „Centralność pomiędzy” obliczana się w następujący sposób (Freeman, 1977):

$$C_B(i) = \frac{\sum_{j < k} g_{jk}(i)}{g_{jk}} \quad (5)$$

gdzie g_{jk} reprezentuje numer najkrótszej ścieżki między węzłami i i j oraz $g_{jk}(i)$ jest liczbą tych ścieżek, które przechodzą przez węzeł i .

Ekscentryczność to wskaźnik centralności węzła. Ekscentryczność węzła v określa się, obliczając najkrótszą ścieżkę między węzłem v a wszystkimi innymi węzłami na grafie, a następnie wybiera się „najdłuższą” najkrótszą ścieżkę.

Gęstość sieci (d) pokazuje poziom łączności, obliczany jako całkowita liczba krawędzi (l) w stosunku do całkowitej liczby możliwych krawędzi ($\frac{n(n-1)}{2}$).

$$d = \frac{2l}{n(n-1)} \quad (6)$$

Im większa gęstość, tym większa spójność, wpływająca na zdolność działania i sposób, w jaki informacje powinny przepływać przez sieć.

Hipoteza sieci do celów badawczych

Strogatz (2001) stwierdził, że struktura sieci ma bezpośredni wpływ na jej działanie. Tak więc, gdy celem jest zrozumienie funkcjonalności sieci, podejście topologiczne jest bardzo ważne. Ale topologia sieci odpowiada również za rozprzestrzenianie się

the spread of information and affects the robustness and stability of power transmission.

Chen, Tan and Li (2022) found that the network analysis reduces the complexity of international trade and the international trade relationships between countries can be analysed from a macroeconomic perspective.

In our article the main hypothesis is that countries with a greater density of international trade will perform better than the others, but in case of disruption the entire network will be affected.

Collecting network data

The data set considered in the present article consists of imports and exports (in thousands of euros) in 2018, 2019 and 2020. The source of data was Eurostat. All European countries were first considered, but some of them were excluded (Serbia, Bosnia and Herzegovina, Ukraine, Belgium, and Russia) for all the period considered in the analysis, due to the lack of data. In the end, the countries considered in the network analysis were: Bulgaria (BGR), Czech Republic (CZE), Denmark (DNK), Germany (DEU), Ireland (IRL), Greece (GRK), Spain (ESP), France (FRA), Croatia (HRV), Italy (ITA), Cyprus (CYP), Latvia (LVA), Lithuania (LTU), Luxembourg (LUX), Hungary (HUN), Malta (MLT), The Netherlands (NLD), Austria (AUT), Poland (POL), Portugal (PRT), Romania (ROU), Slovakia (SVK), Slovenia (SLO), Finland (FIN), Sweden (SWE), Iceland (ISL), Norway (NOR), Switzerland (CHE), Turkey (TUR), Estonia (EST) and the United Kingdom (GBR). Turkey and the United Kingdom were considered only in 2018, while Estonia was considered only in 2019 and 2020.

As the dataset for 2021 has a lot of missing data, other indices were considered to characterise the evolution of commerce during pandemics, covering the 2021 year, as trade volume indices, by reporting country, calculated as the percentage change between the trade value of the current month and the average monthly trade value of the previous year (Eurostat). The unit-values, calculated based on monthly raw data, are divided by the average unit-value of the previous year obtaining elementary unit-value indices. The unit-value indices are chained back to 2015, the reference year. Beside the major advantage of these indices, helping us to measure the development of trade during pandemics and to test if hub countries were affected, still one inconvenience remains, as we could not find data for all countries considered in the network analysis. These indices also allow us to better measure the resilience of European trade during the pandemics and the period was chosen to illustrate the resilience of the trade, after the beginning of the pandemic in 2020.

informacji i wpływa na solidność i stabilność przesyłu mocy.

Chen, Tan i Li (2022) stwierdzili, że analiza sieciowa zmniejsza złożoność handlu międzynarodowego, a międzynarodowe stosunki handlowe między krajami można analizować z perspektywy makroekonomicznej.

W niniejszym artykule główna hipoteza jest taka, że kraje o większej gęstości handlu międzynarodowego będą funkcjonować lepiej niż inne, ale w przypadku zakłóceń wpłyną one na całą sieć.

Zbieranie danych sieciowych

Zbiór danych rozpatrywany w niniejszym artykule obejmuje import i eksport (w tysiącach euro) w latach 2018, 2019 i 2020. Źródłem danych był Eurostat. W pierwszej kolejności uwzględniono wszystkie kraje europejskie, ale niektóre z nich zostały wykluczone (Serbia, Bośnia i Hercegowina, Ukraina, Belgia, Rosja) dla całego okresu objętego analizą ze względu na brak danych. Ostatecznie krajami uwzględnionymi w analizie sieciowej były: Bułgaria (BGR), Czechy (CZE), Dania (DNK), Niemcy (DEU), Irlandia (IRL), Grecja (GRK), Hiszpania (ESP), Francja (FRA), Chorwacja (HRV), Włochy (ITA), Cypr (CYP), Łotwa (LVA), Litwa (LTU), Luksemburg (LUX), Węgry (HUN), Malta (MLT), Holandia (NLD), Austria (AUT), Polska (POL), Portugalia (PRT), Rumunia (ROU), Słowacja (SVK), Słowenia (SLO), Finlandia (FIN), Szwecja (SWE), Islandia (ISL), Norwegia (NOR), Szwajcaria (CHE), Turcja (TUR), Estonia (EST) i Wielka Brytania (GBR). Turcję i Wielką Brytanię wzięto pod uwagę tylko w 2018 r., a Estonię tylko w 2019 i 2020 r.

Ponieważ w zbiorze danych za 2021 r. brakuje wielu danych, wzięto pod uwagę inne wskaźniki charakteryzujące ewolucję handlu podczas pandemii, obejmujące rok 2021, jako wskaźniki wolumenu handlu, według kraju sprawozdającego, obliczone jako zmiana procentowa między wartością handlu w bieżącym miesiącu a średnią miesięczną wartością handlu z poprzedniego roku (Eurostat). Wartości jednostkowe, obliczone na podstawie miesięcznych surowych danych, dzieli się przez średnią wartość jednostkową z poprzedniego roku, uzyskując elementarne wskaźniki wartości jednostkowej. Wskaźniki wartości jednostkowej są powiązane z rokiem 2015, czyli rokiem odniesienia. Oprócz głównej zalety tych wskaźników, które pomagają mierzyć rozwój handlu w czasie pandemii i sprawdzać, czy dotyczy on krajów będących węzłami, pozostaje jeszcze jedna niedogodność, ponieważ znalezienie danych dla wszystkich krajów uwzględnionych w analizie sieciowej okazało się niemożliwe. Wskaźniki te pozwalają nam również lepiej mierzyć odporność europejskiego handlu podczas pandemii, a okres wybrano celem zilustrowania odporności handlu po rozpoczęciu pandemii w 2020 r.

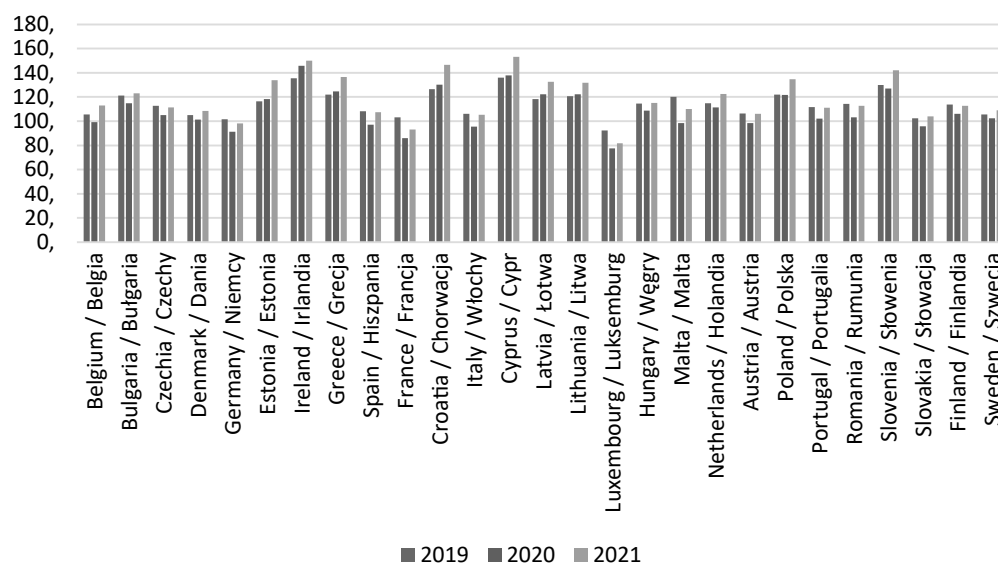


Figure 1. Trade value indices for EU countries for period 2019-2021

Rysunek 1. Wskaźniki wartości handlu dla krajów UE za okres 2019-2021

Source: Authors calculation using Eurostat data.

Źródło: Obliczenia autorów na podstawie danych Eurostatu.

There are few countries for which the trade value of the indices increased between 2019 and 2020, as in Ireland (10.4), Latvia (4) and Croatia (3.7), but for the major part of them the values decreased (see Figure 1). The highest decrease was registered in Malta (-21), France (-17), Luxembourg (-14), Spain (-11), Italy (-10) and Germany (-10). If we compare the value in 2021 with the one registered in 2019, we see that only a few countries did not recover, as in Germany, France, Luxembourg, Finland, Romania and Malta. In 2021, Estonia and Cyprus registered the highest exceedance compared to the 2019 level.

We use the Enterprise Survey run by the World Bank (WBES, 2022) for in-depth, cross European Union economies comparisons. So, during the 2019-2021 period, we find that only in a few countries (Bulgaria, Cyprus, France, Germany, Hungary, Romania and the Slovak Republic) the proportion of total inputs was less than 50%. But the percentage of firms using material inputs and/or supplies of foreign origin is greater than 70% in all EU countries. In some particular cases this percent is over 90% (Belgium, the Czech Republic, Denmark, Finland, Luxembourg and Sweden). The smallest proportion of total sales being directly exported is greater than 35% in all EU countries in the mentioned period. Regarding the COVID-19 impact on firm the results of the survey are available only Eastern European Countries and Italy. Only in three countries (Estonia, Poland and Romania) the firms considered to return to the normal level of sales before three months. The highest return in months is expected in Cyprus (7.5) and Greece (6.7).

Niewiele jest krajów, w których wartość handlowa wskaźników wzrosła w latach 2019-2020, są to na przykład w Irlandia (10,4), Łotwa (4) i Chorwacja (3,7), ale w większości z nich wartości spadły (patrz Rysunek 1). Największy spadek odnotowano na Malcie (-21), we Francji (-17), w Luksemburgu (-14), w Hiszpanii (-11), we Włoszech (-10) i w Niemczech (-10). Jeśli porównamy wartość z 2021 roku z wartością zarejestrowaną w 2019 roku, zobaczymy, że tylko kilka krajów nie odrobiło strat, jak Niemcy, Francja, Luksemburg, Finlandia, Rumunia czy Malta. W 2021 roku Estonia i Cypr odnotowały największe nadwyżki w porównaniu z poziomem z 2019 roku.

Autorzy korzystali z ankiety Enterprise Survey prowadzonej przez Bank Światowy (WBES, 2022) w celu dogłębnych porównań między gospodarkami Unii Europejskiej. Zatem w okresie 2019-2021 stwierdzono, że tylko w kilku krajach (Bułgaria, Cypr, Francja, Niemcy, Węgry, Rumunia i Republika Słowacka) odsetek całkowitych nakładów był niższy niż 50%. Jednak odsetek firm wykorzystujących nakłady materiałowe i/lub dostawy pochodzenia zagranicznego przekracza 70% we wszystkich krajach UE. W niektórych szczególnych przypadkach odsetek ten przekracza 90% (Belgia, Czechy, Dania, Finlandia, Luksemburg i Szwecja). Najmniejszy udział sprzedaży bezpośredniej ogółem w omawianym okresie przekracza 35% we wszystkich krajach UE. Jeśli chodzi o wpływ COVID-19 na firmy, wyniki ankiety są dostępne tylko dla krajów Europy Wschodniej i Włoch. Tylko w trzech krajach (Estonia, Polska i Rumunia) firmy rozważały powrót do normalnego poziomu sprzedaży przed upływem trzech miesięcy. Najwyższy zwrot w miesiącach spodziewany jest na Cyprze (7,5) i w Grecji (6,7).

Network limitations

One major limitation in SNA starts with the data collection (Filho and Santos, 2018). In this analysis, the data were collected only for European countries, but still there were cases (Belgium, partially Estonia and the United Kingdom) which were excluded from the analysis because of the lack of data. Economies being major trans-shipment points or locations of wholesalers usually register large values of re-exports, increasing the values of both imports and exports (Eurostat, 2017). The characteristics of the networks when considering the total foreign trade of European countries may be different from those when different industries branches are considered. Other limitation refers to the difficulty of making comparisons between different networks (Filho and Santos, 2018).

Results and comments

The European countries referred to were considered as network nodes, and the connections were drawn between exporters and importers. Six networks analyses were performed: one for imports and one for exports, for every year considered in the analysis (2018, 2019, 2020). The countries were the nodes, and the edges were the shares of imports and exports with other countries. The network is directed, as the edges were considered as connecting the importer and exporter and the trade is only one-way. In the end there were 31 nodes (countries) and 791 edges (pairs of importer-exporter) in 2018, and only 29 nodes in 2019 and 2020 as we have excluded the United Kingdom and Turkey. Using the methodology from social network analysis described previously the results are further detailed to identify potential weaknesses in the network if disruptions in some countries may arise. But with such a high cohesive network the risk of failure is minimal.

As the results are quite similar, the concentration will be more on the imports. The intensity of connection between two countries is given by the shares of trade. The highest values of trade and shares were registered between The Netherlands and Germany, Germany and France, Germany and the United Kingdom, Germany and Italy, Germany, and Austria (the first position is the importer and on the second the exporter). The top five importers from the considered countries were Germany, The Netherlands, France, Italy and Belgium. The total value of imports made by Germany was 2.2 times higher than those made by The Netherlands, and 3.12 times higher than those made by Belgium (using Eurostat Data).

The most connected countries for all years considered in the analysis are Sweden, Switzerland,

Ograniczenia sieci

Jedno główne ograniczenie SNA zaczyna się od gromadzenia danych (Filho i Santos, 2018). W tej analizie zebrano dane tylko dla krajów europejskich, ale nadal były przypadki (Belgia, częściowo Estonia i Wielka Brytania), które zostały wyłączone z analizy z powodu braku danych. Gospodarki będące głównymi punktami przeładunkowymi lub lokalizacjami hurtowni odnotowują zwykle duże wartości reeksportu, zwiększające wartości zarówno importu, jak i eksportu (Eurostat, 2017). Charakterystyka sieci w przypadku całego handlu zagranicznego krajów europejskich może być inna niż w przypadku różnych gałęzi przemysłu. Inne ograniczenie odnosi się do trudności w dokonywaniu porównań między różnymi sieciami (Filho i Santos, 2018).

Wyniki i komentarze

Wspomniane kraje europejskie uznano za węzły sieciowe i nakreślono powiązania między eksporterami a importerami. Wykonano sześć analiz sieciowych: po jednej dla importu i dla eksportu, dla każdego roku objętego analizą (2018, 2019, 2020). Węzłami były kraje, a krawędziami udziały w imporcie i eksporcie z innymi krajami. Sieć jest ukierunkowana, ponieważ uznano, że krawędzie łączą importera i eksportera, a handel jest tylko jednokierunkowy. Ostatecznie w 2018 roku istniało 31 węzłów (kraje) i 791 krawędzi (pary importer-eksporter), a w latach 2019 i 2020 tylko 29 węzłów, ponieważ wykluczono Wielką Brytanię i Turcję. Dzięki metodologii analizy sieci społecznych opisanej wcześniej, uzyskano bardziej szczegółowe wyniki, które pozwoliły zidentyfikować potencjalne słabości sieci w przypadku występowania zakłóceń w niektórych krajach. Jednak przy tak dużej spójności sieci ryzyko niepowodzenia jest minimalne.

Ponieważ wyniki są dość podobne, skupienie będzie większe przy imporcie. Intensywność powiązań między dwoma krajami określają udziały w handlu. Najwyższe wartości obrotów i udziałów odnotowano między Holandią a Niemcami, Niemcami a Francją, Niemcami a Wielką Brytanią, Niemcami a Włochami, Niemcami a Austrią (na pierwszej pozycji importer, na drugiej eksporter). Pięciu największych importerów z rozpatrywanych krajów to Niemcy, Holandia, Francja, Włochy i Belgia. Łączna wartość importu do Niemiec była 2,2 razy większa niż do Holandii i 3,12 razy większa niż do Belgii (na podstawie danych Eurostatu).

Najbardziej połączone kraje we wszystkich latach uwzględnionych w analizie to: Szwecja, Szwajcaria, Finlandia, Rumunia, Austria, Holandia, Węgry, Łotwa, Włochy, Dania i Czechy. Zwykle najbardziej

Finland, Romania, Austria, The Netherlands, Hungary, Latvia, Italy, Denmark and the Czech Republic. Usually, the most connected countries are Hubs, playing an important role in spreading the trade among countries. They are the most influential nodes in the network. A shock encountered by one of these countries may affect the entire network. If the trade value indices for the above-mentioned countries are considered it can be seen that the values of indices registered a strong decreased between 2019 and 2020 (except for the United Kingdom and Switzerland for which there are no values available, and for Latvia for which the value of indices increased between 2019 and 2020), but improved the indices in 2021, when The Netherlands, Latvia and Denmark exceeded the values registered in 2019, and the remaining countries almost attaining the same level as in 2019.

połączone kraje to ośrodki, odgrywające ważną rolę w rozprzestrzenianiu handlu między krajami. Są to najważniejsze węzły w sieci. Wstrząs, jakiego doznał jeden z tych krajów, może mieć wpływ na całą sieć. Jeśli rozważymy wskaźniki wartości handlu dla wyżej wymienionych krajów, można zauważyć, że wartości zapisanych wskaźników zmalały między 2019 a 2020 rokiem (oprócz Wielkiej Brytanii i Szwajcarii, dla których nie ma dostępnych wartości i Litwy, dla której wartość wskaźników wzrosła między 2019 a 2020 rokiem), ale poprawiły się w 2021 roku, kiedy to Holandia, Łotwa i Dania przekroczyły wartości zarejestrowane w 2019 roku, a pozostałe kraje zbliżyły się do poziomu z 2019 roku.

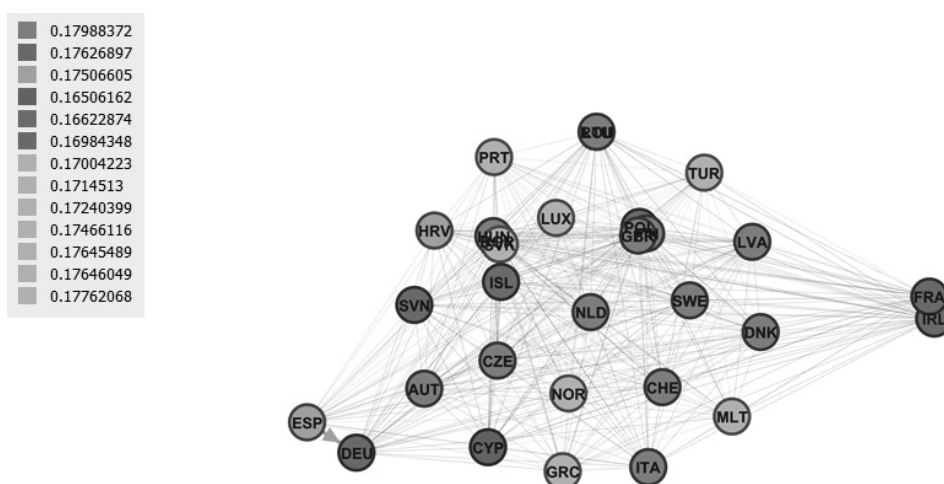


Figure 2. Import network map when nodes are partitioned by hubs
Rysunek 2. Mapa sieci importu, gdy węzły są podzielone według ośrodków

Source: Authors calculation.

Źródło: Obliczenia autorów.

If there is a closer look at the list of hubs (Figure 2), it can be seen that some of them are countries registering the highest values of trade. But besides these countries Eastern European Countries as Romania, Hungary, Latvia, and the Czech Republic can be found. Countries less connected are Norway, Luxembourg, Malta, Iceland and Cyprus, from which the last three are insular state. The connectivity is especially important. The more connected the network is, the less exposed to disruption is. When the connectivity is high, a country could trade with a lot of other countries and if one of them encounter difficulties, then another one may take the place. The diameter of the network is 2 (for all three years considered in the analysis), meaning that any two countries are two steps away, showing again the compactness of this network.

Po bliższym przyjrzeniu się liście ośrodków (Rysunek 2), można zauważyć, że część z nich to kraje notujące najwyższe wartości wymiany handlowej. Ale oprócz tych krajów można tam też znaleźć kraje Europy Wschodniej, takie jak: Rumunia, Węgry, Łotwa i Czechy. Kraje słabiej połączone to Norwegia, Luksemburg, Malta, Islandia i Cypr, z których trzy ostatnie to państwa wyspiarskie. Szczególnie ważna jest łączność. Im lepiej połączona jest sieć, tym mniej jest ona narażona na zakłócenia. Kiedy łączność jest wysoka, kraj może handlować z wieloma innymi krajami, a jeśli jeden z nich napotka trudności, inny może zająć jego miejsce. Średnica sieci wynosi 2 (dla wszystkich trzech lat uwzględnionych w analizie), co oznacza, że dowolne dwa kraje są oddalone o dwa kroki, co ponownie pokazuje zwartość tej sieci.

In 2018 the eccentricity (showing how important a node is for a network) takes two values, one or two. Among Eastern European Countries, Romania, the Czech Republic, and Hungary are found to be especially important for the network.

Romania, the Czech Republic and Hungary registered decreases in the value of trade volume indices in 2020 compared to 2019, but recovered (Hungary) and almost recovered (Romania and the Czech Republic) in 2021. Romanian and Hungarian enterprises included in the World Bank Survey (the third wave) were among the optimistic group considering the return to pre-pandemic level of sales.

The network of imports is strongly connected. All the countries are (on average) connected with the other 28 countries. The density of the network is 0.83 in 2018, 0.974 in 2019 and 0.941 in 2020, giving valuable information about the speed at which the trade is realised between the considered countries. The clustering coefficient metrics are different from the centrality ones, measuring how connected a node's neighbours are to one another. The average clustering coefficient is a global measure of network segregation. For our network, the average cluster coefficient is 0.862 in 2018, 0.975 in 2019 and 0.943 in 2020, showing the clustered connections around countries. The country with the highest cluster coefficient is Norway (for all the three years considered), followed by Luxembourg, Malta and Cyprus (in 2018). In 2020, Croatia is also among countries with the highest cluster coefficient. In 2018, the lowest clustering coefficients register in Switzerland, the United Kingdom, Sweden, Finland and Romania. In 2019 and 2020, Bulgaria, the Czech Republic and Poland were among the countries with the lowest values for cluster coefficient.

Some of the countries with the higher values of the cluster coefficient (Luxembourg and Malta) registered the highest decreases of the trade volume indices in 2020 compared to 2019 and both countries were less connected.

Modularity is a measure of the structure of networks, showing the strength of division into clusters. The higher the modularity is, the denser the connections between the nodes within the clusters are, but the connections between nodes in different modules are sparse connections. Usually, this measure is used in optimisation methods for detecting community structure. In this network six clusters were detected in 2018 (see Figure 3), five in 2019 and five in 2020.

W 2018 ekscentryczność (pokazująca jak ważny jest węzeł dla sieci) przyjmuje dwie wartości, jeden lub dwa. Wśród krajów Europy Wschodniej za szczególnie ważne dla sieci uważane są Rumunia, Czechy i Węgry.

Rumunia, Czechy i Węgry odnotowały spadki wartości wskaźników wolumenu handlu w 2020 roku w stosunku do 2019 roku, ale w 2021 roku odrobiły straty (Węgry) i prawie odrobiły straty (Rumunia i Czechy). Rumuńskie i węgierskie przedsiębiorstwa uwzględnione w badaniu Banku Światowego (trzecia fala) znalazły się w optymistycznej grupie, jeśli chodzi o powrót do poziomu sprzedaży sprzed pandemii.

Sieć importu jest silnie powiązana. Wszystkie kraje są (średnio) połączone z pozostałymi 28 krajami. Gęstość sieci w 2018 roku wynosiła 0,83, w 2019 roku 0,974 i w 2020 roku 0,941, co daje cenne informacje o szybkości, z jaką realizowany jest handel między rozpatrywanymi krajami. Metryki współczynnika grupowania różnią się od metryk centralności, mierząc, jak powiązani są ze sobą sąsiedzi węzła. Średni współczynnik grupowania jest globalną miarą segregacji sieci. Dla naszej sieci średni współczynnik grupowania wynosi 0,862 w 2018 roku, 0,975 w 2019 roku i 0,943 w 2020 roku, pokazując połączenia grupowe wokół krajów. Krajem o najwyższym współczynniku grupowania jest Norwegia (we wszystkich trzech latach), a następnie Luksemburg, Malta i Cypr (w 2018 roku). W 2020 roku Chorwacja również znalazła się wśród krajów o najwyższym współczynniku grupowania. W 2018 roku najniższe współczynniki grupowania odnotowano w Szwajcarii, Wielkiej Brytanii, Szwecji, Finlandii i Rumunii. W latach 2019 i 2020 Bułgaria, Czechy i Polska należały do krajów o najniższych wartościach współczynnika grupowania.

Niektóre z krajów o wyższych wartościach współczynnika grupowania (Luksemburg i Malta) odnotowały największe spadki wskaźników wolumenu handlu w 2020 roku w stosunku do 2019 roku i oba kraje były mniej powiązane.

Modułowość jest miarą struktury sieci, pokazującą siłę podziału na skupienia. Im wyższa modułowość, tym gęstsze są połączenia między węzłami w grupach, ale połączenia między węzłami w różnych modułach są połączeniami rzadkimi. Zwykle miarę tę wykorzystuje się w metodach optymalizacyjnych do wykrywania struktury społeczności. W tej sieci wykryto sześć skupień w 2018 roku (patrz Rysunek 3), pięć w 2019 roku i pięć w 2020 roku.

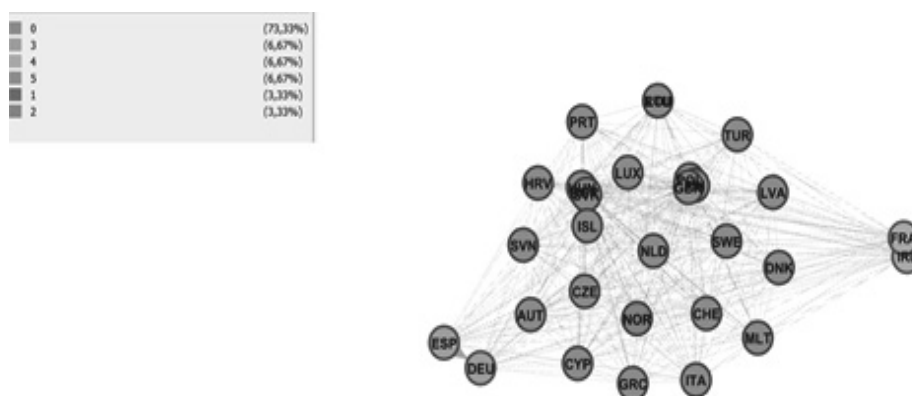


Figure 3. Export network map when nodes are partitioned by modularity classes

Rysunek 3. Mapa sieci eksportu, gdy węzły są podzielone według klas modułowości

Source: Authors calculation.

Źródło: Obliczenia autorów.

The clusters are not persistent across time, although some patterns can be identified (see Table 2).

Grupy nie są trwałe w czasie, chociaż można zidentyfikować pewne wzorce (patrz Tabela 2).

Table 2. The evolution of clusters in 2018-2020 period

Tabela 2. Ewolucja skupień w latach 2018-2020

Cluster / Skupienie	2018	2019	2020
1	Bulgaria / Bułgaria	Northern Countries and Baltic ones / Kraje północne i kraje bałtyckie	Latvia, Lithuania / Łotwa, Litwa
2	Norway / Norwegia	Greece, Bulgaria, Cyprus / Grecja, Bułgaria, Cypr	Bulgaria, Greece, Cyprus / Bułgaria, Grecja, Cypr
3	Spain, Germany / Hiszpania, Niemcy	Spain, Portugal / Hiszpania, Portugalia	Northern Countries (without Denmark) / Kraje północne (bez Danii)
4	France, Ireland / Francja, Irlandia	The Netherlands, Poland / Holandia, Polska	Spain, Portugal, France, Luxembourg / Hiszpania, Portugalia, Francja, Luksemburg
5	Poland, the United Kingdom / Polska, Wielka Brytania	The remaining countries / Pozostałe kraje	The remaining countries / Pozostałe kraje
6	The remaining countries / Pozostałe kraje		

Source: Own study.

Źródło: Badanie własne.

In 2019 and 2020, the countries were grouped in accordance with their geographically position. The enterprises from countries included in the second cluster in 2020 are among the pessimistic group considering the return of sales to the pre-pandemic level in the Enterprise Survey.

The indices obtained for exports are similar to those for imports (according to the duality nature between imports and exports). The most connected countries when exporting are the following countries: the Czech Republic, Greece, Italy, The Netherlands, Austria, the United Kingdom, Switzerland, Denmark, Finland and Latvia. In these countries (except for Finland and Denmark), according to the Enterprise Survey, the days to clear direct exports through

W latach 2019 i 2020 kraje pogrupowano zgodnie z ich położeniem geograficznym. W badaniu Enterprise Survey, przedsiębiorstwa z krajów zaliczonych do drugiego skupienia w 2020 r. należały do grupy pesymistycznej, jeśli chodzi o powrót sprzedaży do poziomu sprzed pandemii.

Wskaźniki uzyskane dla eksportu są zbliżone do wskaźników dla importu (zgodnie z dualizmem importu i eksportu). Najbardziej powiązane kraje podczas eksportu to: Czechy, Grecja, Włochy, Holandia, Austria, Wielka Brytania, Szwajcaria, Dania, Finlandia i Łotwa. W tych krajach (z wyjątkiem Finlandii i Danii), według Enterprise Survey, dni na odprawę celną eksportu bezpośredniego należą do minimum. Odsetek całkowitej sprzedaży, która

customs are among the minimum. The proportion of total sales that are exported directly is greater than the average.

When searching for detecting community structure two clusters and no outliers are detected. The first cluster consists of Denmark, Finland, Latvia, Lithuania, Sweden, Iceland and Norway. In the second cluster the rest of countries were included.

Conclusions

Studying the resilience and robustness of the world's economies to different shocks is not a new topic that appeared with the pandemic caused by COVID-19 and the imposed lockdowns. The question of how economies and international trade react to various economic shocks has sparked serious debate in the past. From the bibliometric analysis of the literature it was found that themes developed from avian influenza, public health outbreaks, prevention and diseases, spread to international trade, foreign direct investments, performance, resilience, productivity and the supply chain.

In this paper European trade was analysed mainly through international trade (imports and exports). Using the network analysis, different visualisations of the network were provided, and the topological properties were analysed and compared for the three years considered (2018, 2019 and 2020). The resulting network indices were used to study and highlight each country's economic performance. Hubs are of particular importance in network analysis, and they were found for analysis of both imports and exports. Hubs are countries with several links exceeding the average. When random failure occurs, hubs are key components, especially if they are small in number. When small degree nodes fail, the network continues to maintain its integrity. But when several hubs are present the fragmentation of the network rarely happens, as the other hubs hold the integrity of the network.

The most important European importers for all three years were Germany, The Netherlands, France, Italy and Belgium. But the largest importer country was Germany, with 3.12 times higher import volume than Belgium. Countries less connected in this flow are Norway, Malta, Luxembourg, Iceland and Cyprus. Also, it was found that the diameter of the network, which is 2, remained unchanged in 2018-2020 meaning that any two countries are two steps away, showing the compactness of the network.

The major conclusion of this paper is that the European trade network is characterised by its robustness and resilience as each country has a lot of trade partners, and several hubs exist in the network, meaning that the impact of the COVID-19 pandemic had little effect on the networks. The speed of trade

jest eksportowana bezpośrednio, jest większy niż średnia.

Podczas wyszukiwania w celu wykrycia struktury społeczności wykryto dwa skupienia i żadnych wartości odstających. Pierwsze skupienie obejmuje Danię, Finlandię, Łotwę, Litwę, Szwecję, Islandię i Norwegię. Do drugiego skupienia zaliczono pozostałe kraje.

Wnioski

Badanie solidności i odporności gospodarek światowych na różne wstrząsy nie jest nowym tematem, który pojawił się wraz z pandemią wywołaną przez COVID-19 i nałożonymi blokadami. Kwestia reakcji gospodarek i handlu międzynarodowego na różne wstrząsy gospodarcze była w przeszłości przedmiotem poważnej debaty. Na podstawie bibliometrycznej analizy literatury stwierdzono, że wątki wywodzące się od ptasiej grypy, epidemii w zdrowiu publicznym, profilaktyki i chorób rozprzestrzeniły się na handel międzynarodowy, bezpośrednie inwestycje zagraniczne, wydajność, odporność, produktywność i łańcuch dostaw.

W niniejszej pracy handel europejski przeanalizowano głównie na podstawie handlu międzynarodowego (import i eksport). Korzystając z analizy sieci, przedstawiono różne wizualizacje sieci oraz przeanalizowano i porównano właściwości topologiczne dla trzech rozpatrywanych lat (2018, 2019 i 2020). Otrzymane indeksy sieciowe wykorzystano do zbadania i podkreślenia wyników ekonomicznych każdego kraju. Szczególne znaczenie w analizie sieci mają ośrodki, które określono do celów analizy zarówno importu, jak i eksportu. Ośrodki to kraje przekraczające średnią o kilka połączeń. W przypadku przypadkowego niepowodzenia ośrodki są kluczowymi komponentami, zwłaszcza jeśli jest ich niewiele. Kiedy ulegają awarii węzły małego stopnia, sieć nadal zachowuje swoją integralność. Ale gdy obecnych jest kilka ośrodków, fragmentacja sieci zdarza się rzadko, ponieważ inne ośrodki utrzymują integralność sieci.

Najważniejszymi europejskimi importerami przez wszystkie trzy lata były Niemcy, Holandia, Francja, Włochy i Belgia. Jednak największym krajem importującym były Niemcy, z 3,12 razy większym importem niż Belgia. Kraje słabiej połączone w tym przepływie to Norwegia, Malta, Luksemburg, Islandia i Cypr. Stwierdzono również, że średnica sieci, która wynosi 2, pozostała niezmienną w latach 2018-2020, co oznacza, że dowolne dwa kraje są oddalone o dwa kroki i świadczy o zwartości sieci.

Głównym wnioskiem płynącym z tego artykułu jest fakt, że europejska sieć handlowa charakteryzuje się solidnością i odpornością, ponieważ każdy kraj ma wielu partnerów handlowych, a w sieci istnieje kilka ośrodków, co oznacza, że wpływ pandemii

(given by the density of the network) is high. Even if in the short term there is the possibility of disruptions or some industries may be affected, however, overall trade in the long run should not be severely affected, being characterised by a multitude of connections between countries, which is the most significant mechanism of resilience in the pandemic context.

COVID-19 w sieciach był niewielki. Szybkość handlu (wynikająca z gęstości sieci) jest wysoka. Nawet jeśli krótkoterminowo istnieje możliwość wystąpienia zakłóceń lub może to mieć wpływ na niektóre gałęzie przemysłu, w dłuższej perspektywie nie powinno to mieć wpływu na handel ogólny, ponieważ charakteryzuje się on mnogością powiązań między krajami, co jest najważniejszym mechanizmem odporności w kontekście pandemii.

References:

1. Adamowicz, M., Lemanowicz, M. (2013). Concept of Supply Chain Management Against Traditional Understanding of Supplier-Consumer Relations. *Economic and Regional Studies*, 6(4), 5-18.
2. Baldwin, R., Lopez-Gonzalez, J. (2015). Supply-chain trade: A portrait of global patterns and several testable hypotheses. *The world economy*, 38(11), 1682-1721.
3. Barabási, A. L. (2013). Network science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(1987).
4. Borgatti, S. P., Li, X. (2009). On social network analysis in a supply chain context. *Journal of supply chain management*, 45(2), 5-22.
5. Brandon-Jones, E., Squire, B., Autry, C. W., Petersen, K. J. (2014). A contingent resource-based perspective of supply chain resilience and robustness. *Journal of Supply Chain Management*, 50(3), 55-73.
6. Butts, C. T. (2008). Social network analysis with SNA. *Journal of statistical software*, 24, 1-51.
7. Chen, X., Tan, Z., Li, S. (2022). Study on the characteristics of international coal trade on complex network. *Journal of Business Economics and Management*, 1-21.
8. Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296.
9. Eurostat. (2017). Further clarifying the conceptual treatment of physical imports and exports in economy-wide material flow accounts (EW-MFA).
10. Filho, F. C., Santos, L. A. (2018). Potentialities and limitations of network analysis methodologies: a theoretical model focused on the Social Sciences. *Comunicação e sociedade*, 33, 199-214.
11. Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 35-41.
12. Goldin, I., Mariathan, M., (2015) *The butterfly defect: How globalization creates systemic risks, and what to do about it*, Princeton University Press.
13. Haren, P., Simchi-Levi, D. (2020). *How coronavirus could impact the global supply chain by mid-march*. Harvard Business Review.
14. Ivanov, D. (2022). Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of operations research*, 319(1), 1411-1431.
15. Jackson, M. O. (2008). *Social and economic networks*. Princeton university press.
16. Lu, H. E., Potter, A., Rodrigues, V. S., Walker, H. (2018). Exploring sustainable supply chain management: a social network perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*.
17. Mena, C., Karatzas, A., Hansen, C. (2022). International trade resilience and the Covid-19 pandemic. *Journal of Business Research*, 138, 77-91.
18. Newman, M.E.J. (2017). *Networks: an introduction, 1st Edition*. Oxford University Press, New York, USA.
19. Onjewu, A.K.E., Hussain, S., Haddoud, M.Y. (2022). The Interplay of E-commerce, Resilience and Exports in the Context of COVID-19. *Inf Syst Front* 24.
20. Paul, S. K., Chowdhury, P., Moktadir, M. A., Lau, K. H. (2021). Supply chain recovery challenges in the wake of COVID-19 pandemic. *Journal of Business Research*, 136, 316-329.
21. Sá, M. M. D., Miguel, P. L. D. S., Brito, R. P. D., Pereira, S. C. F. (2020). Supply chain resilience: the whole is not the sum of the parts. *International Journal of Operations & Production Management*, 40(1), 92-115.
22. Scott, J. (1988). Social network analysis. *Sociology*, 22(1), 109-127.
23. Strogatz, S. H. (2001). Exploring complex networks. *Nature*, 410(6825), 268-276.
24. WTO (2020). S.L.: World Trade Organization.
25. WBES (2022). World Bank Enterprise Surveys, <http://www.enterprisesurveys.org>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>) allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially.