

Prethodno priopćenje  
UDK: 336.761(497.5)  
Datum primitka članka u uredništvo: 12. 5. 2025.  
Datum slanja članka na recenziju: 1. 6. 2025.  
Datum prihvatanja članka za objavu: 1. 10. 2025.

Izv. prof. dr. sc. Silvija Vlah Jerić\*  
Toni Gligić, univ. mag. oec\*\*

## MREŽNA ANALIZA PROMETA DIONICA: UVID U STRUKTURALNE OBRASCE UNUTAR INDEKSA CROBEX

### NETWORK ANALYSIS OF STOCK TURNOVER: INSIGHTS INTO STRUCTURAL PATTERNS WITHIN THE CROBEX INDEX

**SAŽETAK:** Ovaj rad primjenjuje mrežnu analizu za istraživanje promjena u strukturi hrvatskog tržišta kapitala usporedbom dvaju razdoblja: globalne financijske krize 2008. i postpandemijske stabilizacije 2023. godine. Korištenjem parcijalnih korelacija logaritamskih promjena prometa dionica unutar indeksa CROBEX, uklanja se utjecaj zajedničkog tržišnog faktora, čime se dobiva precizniji uvid u idiosinkratične obrasce međupovezanosti dionica. Na temelju Spearmanovih korelacija konstruirane su mreže za različite razine značajnosti (1 %, 5 %, 10 %), odvojeno za pozitivne i negativne povezanosti, uz izračun ključnih mrežnih mjera poput gustoće, asortativnosti, modularnosti i centralnosti.

Rezultati pokazuju da je mreža iz 2008. godine centraliziranija, s izraženim središnjim čvorovima *hubova* i nižom modularnošću, što odražava prisutnost sistemskog rizika i ponašanje stada karakteristično za krizna razdoblja. Nasuprot tome, mreža iz 2023. godine pokazuje veću fragmentiranost, višu modularnost i uravnoteženije pozitivne i negativne povezanosti, što ukazuje na tržište koje je decentraliziranije, ali i potencijalno manje likvidno. Ovakve mrežne karakteristike mogu poslužiti kao signal za identificiranje strukturalnih promjena, promjena u sentimentu ulagača te kao alat za unapređenje portfeljnih strategija i praćenje tržišne stabilnosti.

**KLJUČNE RIJEČI:** financijske mreže, sistemski rizik, segmentacija tržišta, struktura tržišta dionica, CROBEX

**JEL KLASIFIKACIJA:** G10, G14, C45

**ABSTRACT:** This paper applies network analysis to investigate structural changes in the Croatian capital market by comparing two distinct time periods: the global financial crisis of 2008 and the post-pandemic stabilization in 2023. By employing partial correlation

\* Izv. prof. dr. sc. Silvija Vlah Jerić, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

\*\* Toni Gligić, univ. mag. oec, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

tions of the logarithmic changes in trading volume for stocks within the CROBEX index, the influence of a common market factor is removed, thereby providing a more accurate insight into idiosyncratic patterns of stock interconnectivity. Based on Spearman correlations, networks were constructed for various significance levels (1%, 5%, 10%), separately for positive and negative relationships, with the calculation of key network metrics such as density, assortativity, modularity, and centrality.

The results indicate that the 2008 network is more centralized, with pronounced hubs and lower modularity, reflecting systemic risk and herd behavior typically associated with periods of crisis. In contrast, the 2023 network exhibits greater fragmentation, higher modularity, and a more balanced structure of positive and negative correlations, suggesting a market that is more decentralized but potentially less liquid. These network characteristics may serve as indicators for identifying structural shifts, changes in investor sentiment, and as tools for enhancing portfolio strategies and monitoring market stability.

**KEYWORDS:** financial networks, systemic risk, market segmentation, stock market structure, CROBEX

**JEL CLASSIFICATION:** G10, G14, C45

---

## 1. UVOD

Jedno od najzanimljivijih pitanja u ekonomskoj literaturi jest pitanje efikasne alokacije kapitala i diversifikacija rizika prilikom ulaganja. Autori su tijekom godina otkrivali nove modele i metode efikasnih ulaganja i mjerenja prinosa. Najpoznatiji model među njima, povezanost prinosa i rizika, prvi je u ekonomsku literaturu uveo Markowitz 1952. godine u svom radu te je za svoja otkrića dobio Nobelovu nagradu za ekonomiju.

Analiza financijskih mreža privukla je značajnu pozornost u istraživanjima u posljednja dva desetljeća. Naglasak je u istraživanjima stavljen na područja procjene rizika, tržišne dinamike i konstruiranja portfelja. S ciljem primjene mrežne znanosti u analizi i vrednovanju financijskih tržišta razvijeni su različiti pristupi. Mreže temeljene na korelacijama osobito su popularne u financijskoj literaturi, pri čemu dionice predstavljaju čvorove, a veze među njima označavaju statistički značajne odnose. Jedan od temeljnih modela predložio je Mantegna (1999), koji je uporabom korelacijskih matrica otkrio hijerarhijsku strukturu financijskih tržišta.

Ovaj rad primjenjuje mrežnu analizu kako bi se istražila strukturalna evolucija međuovisnosti dionica unutar indeksa CROBEX u dvama razdobljima – tijekom globalne financijske krize 2008. godine i u stabilnijem, postpandemijskom okruženju 2023. godine. Temelj istraživanja čini etablirana metodologija mrežne analize u financijama, s naglaskom na procjenu sistemskog rizika i filtriranje korelacija, a na temelju podataka o prometu.

CROBEX je službeni dionički indeks Zagrebačke burze, uveden 1997. godine, i predstavlja temeljni pokazatelj kretanja hrvatskog tržišta kapitala. Sastoji se od najlikvidnijih dionica, a njegova se vrijednost izračunava kao ponderirani prosjek cijena, pri

čemu se ponder temelji na tržišnoj kapitalizaciji korigiranoj za udio dionica dostupnih za slobodnu trgovinu (engl. *free float*) (Dabić i Penavin, 2008). Istraživanja su ukazala na njegovu ograničenu efikasnost u odnosu na teorijski optimalne portfelje na temelju srednje vrijednosti i varijance (Habibović, Zoričić i Lovretin Golubić, 2017). Unatoč tome, u nekim razdobljima poput postkriznih faza, CROBEX je pokazao efikasniji odnos rizika i prinosa u usporedbi s referentnim portfeljima, što se djelomično pripisuje sektorskoj strukturi i specifičnoj dinamici domaćeg tržišta (Zoričić, 2024).

U skladu s prethodnim istraživanjima, ovaj rad koristi parcijalne korelacije kako bi uklonio utjecaj tržišnog faktora (u ovom slučaju povrata indeksa CROBEX), čime se omogućuje jasnije razgraničenje specifičnih međusobnih odnosa među dionicama od širih tržišnih utjecaja. Takav pristup omogućuje dublju analizu idiosinkratičnih odnosa, kao i uvida u moguće promjene u tržišnoj segmentaciji, prijenosu sistemskog rizika i strukturalnoj stabilnosti.

Dabić i Penavin (2008) istraživali su utjecaj obujma trgovanja na kretanje indeksa CROBEX koristeći podatke sa Zagrebačke burze u razdoblju 2006. – 2008. godine. Cilj istraživanja bio je ispitati u kojoj mjeri volumen trgovanja može poslužiti kao indikator kretanja burzovnog indeksa u kontekstu malog i plitkog tržišta. Empirijska analiza pokazala je da između volumena trgovanja i vrijednosti indeksa postoji pozitivna korelacija, što sugerira da rast prometa dionicama prati rast indeksa, osobito na manjim tržištima, dok je na razvijenim burzama ta povezanost znatno slabija.

Sljedeći odjeljak analizira relevantnu literaturu o financijskim mrežama, sistemskom riziku i tržišnim sustavima temeljenima na korelacijama. Potom slijedi dio o podacima i metodologiji, gdje se opisuje prikupljanje podataka, izgradnja mreže korištenjem parcijalnih korelacija te ključne metrike mrežne analize. U odjeljku s rezultatima predstavljene su korelacijska analiza, strukturalne značajke mreže i segmentacija tržišta u razdoblju od 2008. do 2023. godine, nakon čega slijedi diskusija rezultata. Rad završava sažetkom ključnih nalaza, njihovim implikacijama za stabilnost tržišta te smjernicama za buduća istraživanja.

## 2. PREGLED LITERATURE

Povezanost rizika i prinosa te alokacija kapitala u vrijeme neizvjesnosti dugo su u fokusu financijskih istraživanja. Temeljne teorije investiranja poput analize srednje vrijednosti i varijance (Markowitz, 1952) te Modela određivanja cijene kapitala (CAPM), čine osnovu suvremenih investicijskih analiza. Međutim, kako je istaknuto u literaturi, empirijski dokazi sve više ukazuju na to da su međuzavisnosti među imovinama kompleksnije nego što tradicionalni modeli sugeriraju (CFA Institute, 2023). Tržišta kapitala odražavaju fundamentalne vrijednosti poduzeća, ali i tržišno raspoloženje. Istraživanja tržišne mikrostrukture pokazala su da faktori poput likvidnosti, obujma trgovanja i reverzija cijena značajno utječu na ponašanje prinosa dionica.

Birch, Pantelous i Soramäki (2015) primjenjuju mrežne strukture temeljene na korelacijama povrata cijena dionica iz indeksa DAX 30 u razdoblju 2001. – 2012. godine. Autori koriste tri metode: minimalno razapinjuće stablo (engl. *minimum spanning tree*),

graf imovine (engl. *asset graph*) i maksimalno filtrirani ravninski graf (engl. *the planar maximally filtered graph*), čime reduciraju složenu korelacijsku mrežu na najrelevantnije dijelove. Tijekom financijske krize 2008. godine mreže se centraliziraju, dok se diversifikacija smanjuje. U razdoblju oporavka 2010. godine formiraju se sektorski klasteri uz veći broj značajnih povezanosti. Autori zaključuju da kombinacija navedenih mrežnih metoda omogućuje dublje razumijevanje tržišne strukture, sektorskih povezanosti i promjena u tržišnoj dinamici tijekom različitih ekonomskih faza. Heiberger (2014) također potvrđuje kako tijekom financijskih kriza mreža postaje centraliziranija, dok u stabilnim razdobljima zadržava segmentiranu strukturu.

Mo i Chen (2021) predlažu novu metodu za optimizaciju portfelja koristeći financijske mreže temeljene na tehničkim indikatorima (ukupno šest indikatora) umjesto tradicionalnih korelacijskih matrica. Korištenjem indikatora autori konstruiraju mreže s pomoću sličnosti među dionicama i primjenjuju metodu planarno maksimalno filtriranog grafa (engl. *Planar Maximally Filtered Graph*) za filtriranje veza te izračunavaju hibridnu mjeru topološke središnjosti. Empirijska analiza provedena na kineskom i američkom tržištu pokazuje da portfelji sastavljeni od perifernih dionica, odnosno onih s višim mjerama udaljenosti u pravilu postižu bolje rezultate od portfelja sastavljenih od centralnih dionica. To je u skladu s teorijom, iako autori to ne navode izravno, dionice s rubova imaju viši rizik koji je onda nagrađen višim prinosom. Yan i sur. (2024) koriste mreže povrata na kapital (engl. *return-on-equity networks*) temeljene na analizi DuPont i teoriji grafova za optimizaciju portfelja, pri čemu na kineskom tržištu postižu godišnji prinos od 13,20 % u odnosu na 6,02 % indeksa Šangajske burze.

Namakija i sur. (2011) primjenjuju teoriju slučajnih matrica (engl. *Random matrix theory*) kako bi konstruirali mrežu financijskog tržišta temeljenu isključivo na statistički značajnim korelacijama među dionicama. Autori primjenjuju prag filtriranja šuma i topološku analizu filtrirane mreže kako bi ukloni tržišni faktor koji utječe na sve dionice, čime se osigurava da preostale korelacije odražavaju stvarne međuzavisnosti. Analiza topologije mreže pokazuje da mreža nakon uklanjanja tržišnog faktora ima niže prosječne korelacije i jasnije strukture te da male skupine dionica imaju znatno veći utjecaj na fluktuacije cijena, dok većina dionica ostaje periferno povezana. Mreža pokazuje karakteristike kompleksnih sustava te pruža uvid za upravljanje rizikom i optimizacijom portfelja. Prijedlozi autora su da se u daljnja istraživanja uključe druge financijske varijable, prije svega likvidnosti trgovanja.

Tauchen i Pitts (1983) razvijaju teorijski model koji opisuje zajedničku distribuciju dnevnih promjena cijena i volumena trgovanja na spekulativnim tržištima. Empirijski rezultati pokazuju da rastom volumena, volatilnost cijena blago opada. Jain i Joh (1988) analiziraju odnose između prinosa i volumena trgovanja na NYSE-u tijekom razdoblja 1979. – 1983. godine, pri čemu je vremenski interval jedan sat. Najveći je volumen u prvom i zadnjem satu trgovanja u danu. Rezultati pokazuju snažnu pozitivnu korelaciju između apsolutnih prinosa i volumena trgovanja, pri čemu je povezanost izraženija za pozitivne prinose. Granger-Simsovi testovi pokazali su da prethodni prinosi mogu biti značajan prediktor volumena trgovanja u četiri vremenska intervala unaprijed, dok je povezanost u suprotnom smjeru znatno slabija, odnosno volumenom trgovanja nije moguće predvidjeti prinose.

Brida i Risso (2009) u svom radu analiziraju talijansko tržište kapitala primjenom višedimenzionalne metode koja kombinira prinose dionica i volumen trgovanja. Korištenjem simboličke analize vremenskih nizova (engl. *symbolic time series analysis*) i minimalno razapinjućeg stabla, autori otkrivaju dinamičke obrasce tržišta u normalnim i kriznim tržišnim uvjetima. Volumen trgovanja uključen je kao dvodimenzionalni prostor u kojem su dimenzije povrat i volumen, gdje se svaki par vrijednosti klasificira u jednu od triju regija, što omogućuje prikaz međuzavisnosti među poduzećima. Posebno se navedeno ističe u periodima visoke volatilnosti i tržišnih šokova. Rezultati pokazuju postojanje četiri glavna klastera na talijanskom tržištu: financijski, energetska, medijski i građevinski. Autori zaključuju važnost uključivanja volumena u analizu tržišne strukture te predlažu primjenu minimalno razapinjućeg stabla, korisnu strategiju za upravljanje portfeljem, posebice u kriznim razdobljima. Izbjegavanje ulaganja u dionice istog klastera u kriznim razdobljima može smanjiti rizik, čime se postiže bolja diversifikacija.

Brida, Matesanz i Seijas (2016) u svome radu analiziraju strukturu tržišta Euro Stoxx od 2002. do 2014. godine koristeći mrežnu analizu koja uključuje dvije komponente, povrate ulaganja i volumen trgovanja. U analizi koriste višedimenzionalni simbolički pristup koji omogućuje razlikovanje stabilnih i kriznih uvjeta na tržištu. Rezultati pokazuju da se tijekom krize mreža centralizira, pri čemu dionice s niskom volatilnošću postaju središnje točke klastera. Klasteri se u takvim uvjetima formiraju prema državama iz kojih poduzeća dolaze, a ne sektorima, što ukazuje na važnost nacionalnih čimbenika u kriznim razdobljima. Autori zaključuju da krize smanjuju učinke diversifikacije portfelja te sugeriraju ograničenu integraciju europskih tržišta kapitala.

Dabić i Penavin (2008) su primjenom Pearsonova koeficijenta korelacije analizirali odnos između volumena trgovanja i kretanja indeksa CROBEX u razdoblju od siječnja 2006. do svibnja 2008. godine na Zagrebačkoj burzi. Koristili su dnevne podatke o ukupnom obujmu trgovanja i zaključnim vrijednostima CROBEX-a, a analiza je provedena deskriptivno i korelacijskom metodom. Utvrđena je pozitivna povezanost između promjena volumena i promjena vrijednosti CROBEX-a, odnosno volumen trgovanja predstavlja značajan signal u analizi kretanja indeksa na tržištima s manjim brojem sudionika i nižom tržišnom dubinom.

Bogdan, Bareša i Ivanović (2012) u svom radu istražuju čimbenike koji utječu na likvidnosti hrvatskog tržišta kapitala. Istražuje kako tržišna kapitalizacija, broj izdanih dionica i volumen trgovanja utječu na likvidnost koja se mjeri Amihudovim omjerom likvidnosti. Analiza podataka pokazuje da dionice s većim volumenom trgovanja imaju veću likvidnost, a ujedno i niže transakcijske troškove, što konverziju dionica u gotovinu čini efikasnijom. Osim volumena, statistički značajan utjecaj na likvidnost imaju tržišna kapitalizacija te broj izdanih dionica. Navedeno je izrazito važno na manjim tržištima poput hrvatskog gdje su ograničenja likvidnosti izraženija.

Na temelju prethodno prikazanih uvida iz literature, vidljivo je da mrežna analiza pruža snažan alat za razumijevanje strukture i dinamike financijskih tržišta, osobito u kontekstu promjena tijekom kriznih i stabilnih razdoblja. U sljedećem dijelu rada opisuju se korišteni skup podataka, metode konstrukcije mreža na temelju parcijalnih korelacija, kao i mrežne mjere koje su izračunate s ciljem kvantificiranja strukturalnih obilježja tržišta kapitala u Hrvatskoj u 2008. i 2023. godini.

### 3. METODOLOGIJA

U analizi su obuhvaćena dva razdoblja: prvo se odnosi na jednu od dviju revizija CROBEX-a iz 2008., odnosno razdoblje između 24. ožujka 2008. i 20. ožujka 2009., dok se drugo odnosi na jednu od dviju revizija iz 2023. godine, što je razdoblje između 20. ožujka 2023. i 15. ožujka 2024. Povijesne dnevne cijene svih dionica koje su u bilo kojem trenutku bile dio indeksa CROBEX korištene su za sastavljanje skupa podataka. Podaci su prilagođeni za podjele i spajanja. Dionice s visokim udjelom nedostajućih podataka uklonjene su kako bi se osigurala valjanost analize, tj. zadržane su samo one s kojima se trgovalo najmanje u dvije trećine promatranog razdoblja.

Na temelju tih podataka izračunate su dnevne logaritamske promjene prometa, na kojima se potom provodi mrežna analiza. Izračunati su Spearmanovi koeficijenti korelacije između promjena dionica po parovima. Međutim, za konstrukciju mreže korištene su uvjetne parcijalne korelacije koje uzimaju u obzir vrijednosti nakon uklanjanja utjecaja tržišnog indeksa ( $X_u$  i sur., 2022). Točnije, primjenjuje se linearna regresija za svaku pojedinu dionicu na tržišnu komponentu koja se temelji na zbroju prometa svih dionica na određeni dan. Tako dobivene idiosinkratične vrijednosti (reziduali) predstavljaju stvarne promjene očišćene od zajedničkog tržišnog utjecaja. Korelacijske matrice analizirane su prije i nakon uklanjanja tržišnog faktora kako bi se pokazao učinak ove transformacije. Na temelju idiosinkratičnih vrijednosti ponovno se izračunavaju Spearmanove korelacije i na njima se temelji konstrukcija mreže i izračun njezinih ključnih svojstava.

Temelj metodologije mrežne analize u ovom radu jest izgradnja matrice susjedstva primjenom kriterija statističke značajnosti korelacija, tj. u mrežu se uključuju samo odnosi s  $p$ -vrijednošću manjom od zadane vrijednosti ( $X_u$  i sur., 2022). Potom se konstruira mreža kako bi se dobio dublji uvid u odnose među dionicama. Vezama se dodjeljuju težine koje odražavaju jačinu korelacije, a obojene su kako bi se razlikovale pozitivne i negativne povezanosti. Za ispitivanje topoloških značajki mreže izračunate su ključne metrike poput gustoće grafa, strukture, mjera centralnosti i mjera povezanosti/zajednica. Ove mjere, često korištene u mrežnoj analizi (npr. Newman, 2010; Barabási, 2016; Xu i sur., 2022; Battiston i sur., 2012), pomažu u prepoznavanju važnih dionica, strukturnih veza i slabih točaka u mreži, nudeći informacije o sistemskoj stabilnosti i ponašanju tržišta.

Gustoća grafa pokazuje omjer stvarnih veza i svih mogućih veza u grafu, dajući opću sliku o povezanosti mreže. Asortativnost (engl. *assortativity*) predstavlja Pearsonovu korelaciju između stupnjeva čvorova povezanih vezama i otkriva imaju li čvorovi tendenciju povezivanja s drugima sličnog stupnja, primjerice, povezuju li se visoko povezane dionice međusobno. Koeficijenti klasteriranja mjere sklonost čvorova formiranju zatvorenih skupina, dok prosječna najkraća udaljenost između bilo koja dva čvora ukazuje na učinkovitost prijenosa informacija unutar mreže. Mjere centralnosti čvorova izračunate su kako bi se procijenio utjecaj pojedine dionice unutar mreže. Stupanj centralnosti mjeri broj izravnih veza, dok vagana centralnost uzima u obzir i jačinu tih veza. Centralnost međusobnosti (engl. *betweenness*) pokazuje koliko često se određeni čvor pojavljuje na najkraćim putevima između drugih čvorova. Centralnost blizine (engl. *closeness*) procjenjuje koliko je čvor udaljen od svih ostalih, odnosno koliko brzo može dosegnuti ostatak

mreže. Svojtvena centralnost (engl. *eigenvecor centrality*) dodatno vrednuje čvorove koji su povezani s drugim utjecajnim čvorovima. Prosječne vrijednosti ovih mjera daju uvid u raspodjelu utjecaja unutar mreže.

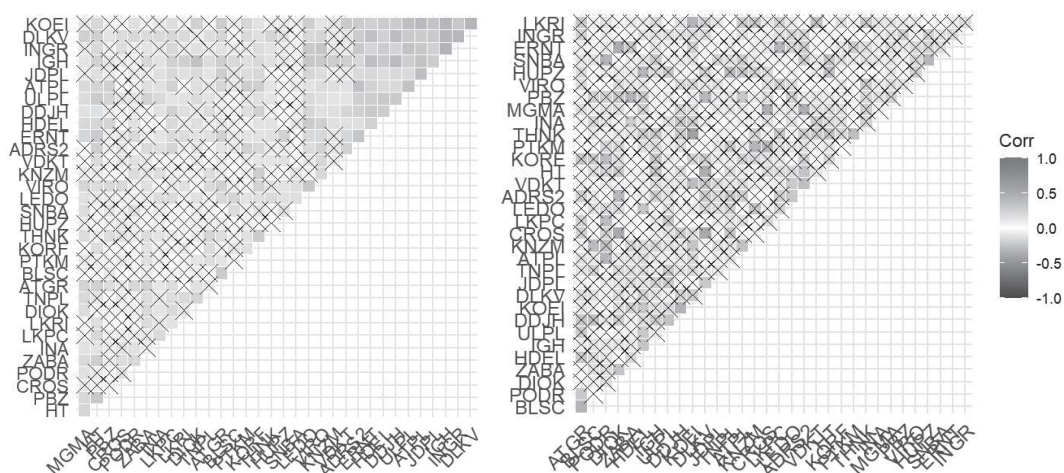
Za identifikaciju zajednica korišten je brzi-pohlepni algoritam optimizacije modularnosti autora Blondela i sur. (2008). U ovom kontekstu, modularnost mjeri koliko se dobro mreža može podijeliti na skupine u kojima su veze guste unutar skupina, a rjeđe između njih, dok se veličine zajednica određuju brojem čvorova u svakoj skupini. Modularnost uspoređuje stvarni broj veza unutar zajednica s očekivanim brojem da su veze bile slučajne. Sve analize – od pripreme podataka do izgradnje mreža – provedene su u softverskom okruženju R (R Core Team, 2024).

## 4. REZULTATI

Kako bi se ispitala struktura i razvoj hrvatskog tržišta dionica, analiza započinje izračunavanjem dnevnih logaritamskih promjena u prometu dionicama. Sažetci statističkih pokazatelja za 2008. i 2023. godinu ukazuju na značajne razlike među dionicama tijekom vremena. I srednja vrijednost i medijan promjena prometa uglavnom su blizu nule, što je u skladu s obilježjima financijskih nizova temeljenih na logaritamskim razlikama. Međutim, obilježja disperzije i raspodjele značajno variraju među poduzećima i između godina. Pojedine dionice pokazuju povišenu volatilnost, kao i izraženu asimetriju i šiljatost raspodjele. Detaljni statistički podaci nisu prikazani zbog sažetosti, ali su dostupni na zahtjev.

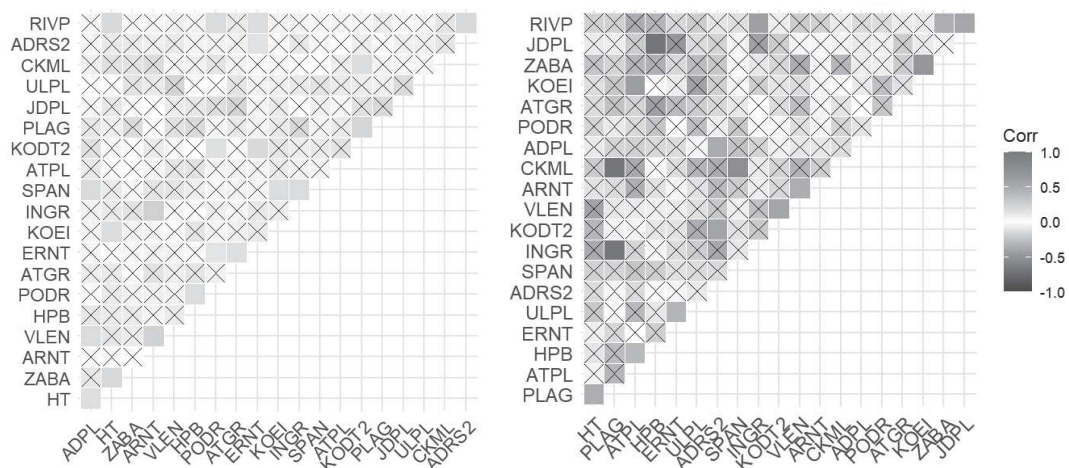
Ovakve dinamičke promjene motiviraju primjenu mrežne analize zasnovane na korelacijama usklađenih kretanja u prometu. Izračunate su Spearmanove korelacije između logaritamskih promjena prometa za sve parove dionica, a zadržane su samo one statistički značajne na razinama od 1 %, 5 % i 10 %. Na temelju filtriranih korelacijskih matrica izrađene su mreže pozitivnih i negativnih povezanosti, a zatim se analiziraju strukturalna obilježja i mjere centralnosti mreže kako bi se dobio uvid u povezanost tržišta i promjenu tijekom vremena.

Slika 1. prikazuje matrice korelacija logaritamskih promjena prometa za revizije indeksa CROBEX iz 2008. godine. Lijevi panel prikazuje izvorne Spearmanove korelacije koje odražavaju i zajedničke tržišne, i specifične pomake među poduzećima. Desni panel prikazuje odgovarajuće parcijalne korelacije, dobivene uklanjanjem tržišne komponente. Ova usporedba pokazuje na koji način uklanjanje tržišnog faktora mijenja korelacijsku strukturu, ističući specifičnije i značajnije odnose među dionicama bez utjecaja tržišta na njih.



**Slika 1.** Spearmanove korelacije logaritamskih promjena prometa za revizije CROBEX-a 2008. godine – izvorne (lijevo) i nakon uklanjanja tržišnog faktora (desno)

Slika 2. prikazuje korelacijske matrice logaritamskih promjena prometa za revizije CROBEX-a iz 2023. godine. Lijevi panel prikazuje izvorne Spearmanove korelacije, dok desni prikazuje uvjetne parcijalne korelacije nakon uklanjanja tržišnog faktora. U usporedbi s matricom iz 2008. godine, struktura iz 2023. pokazuje manje promjena nakon uklanjanja tržišnog faktora, što upućuje na to da su sustavni tržišni utjecaji u kasnijem razdoblju imali manji utjecaj na usklađena kretanja prometa među dionicama.



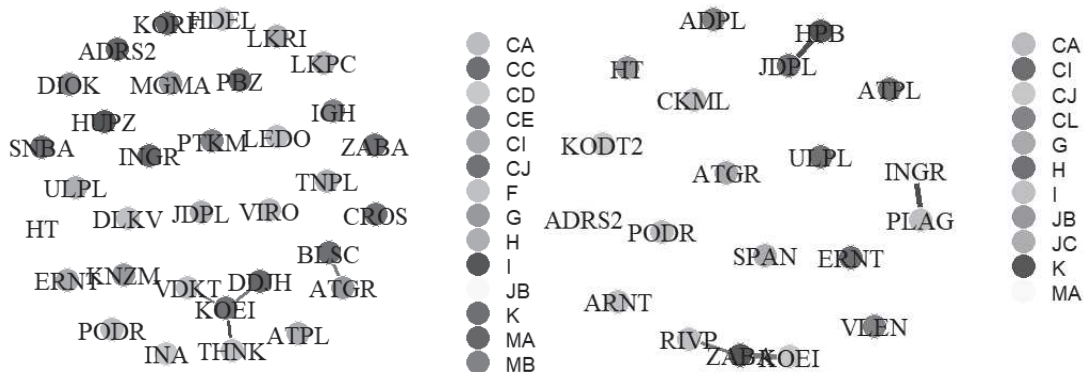
**Slika 2.** Spearmanove korelacije logaritamskih promjena prometa za revizije CROBEX-a 2023. godine – izvorno (lijevo) i nakon uklanjanja tržišnog faktora (desno)

Vizualna usporedba za dvije promatrane godine ukazuje na to da korelacijska matrica iz 2008. godine bilježi znatnije promjene nakon uklanjanja tržišnog faktora s jasnijim pomacima u korelacijskoj strukturi i izraženijom modularnošću u parcijalnoj korelacijskoj matrici. Nasuprot tome, matrica iz 2023. godine pokazuje veću stabilnost između izvorne i rezidualne verzije, unatoč manjem broju dionica s kojima je aktivno trgovano. To suge-

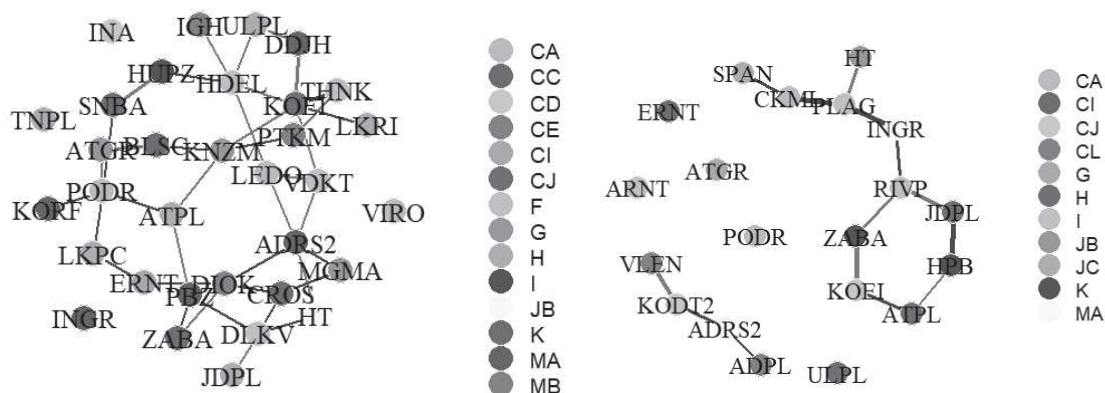
rira da je, za razliku od 2008. godine kada je promet dionicama bio snažno pod utjecajem općih tržišnih faktora, u 2023. godini trgovanje dionicama bilo više određeno specifičnim čimbenicima na razini poduzeća ili sektora, što ukazuje na to da je tržišno okruženje bilo podjeljenije i decentraliziranije.

Detaljniji uvid u izvornu korelacijsku matricu iz 2008. godine otkriva izraženiju gustoću snažnih pozitivnih korelacija u prometu dionicama. To upućuje na visoku razinu usklađenosti trgovanja dionicama. Navedeni obrazac sugerira da je trgovanje 2008. godine bilo snažno pod utjecajem zajedničkog tržišnog sentimenta i sistemskih čimbenika, vjerojatno kao posljedica opće neizvjesnosti uzrokovane globalnom financijskom krizom. Nakon uklanjanja tržišnog faktora, korelacijska struktura postaje modularnija i rjeđa, pri čemu mnoge slabije povezanosti nestaju. Zbog navedenog dolazi do izražaja usklađena kretanja specifična za poduzeća i sektore, koja su prethodno bila prikrivena dominantnim tržišnim faktorima. Suprotno tome, matrica iz 2023. godine pokazuje slabije i rjeđe izvorne korelacije, dok su promjene nakon uklanjanja tržišnog faktora ograničenije, što upućuje na manji utjecaj zajedničkih tržišnih čimbenika na usklađenost kretanja prometa.

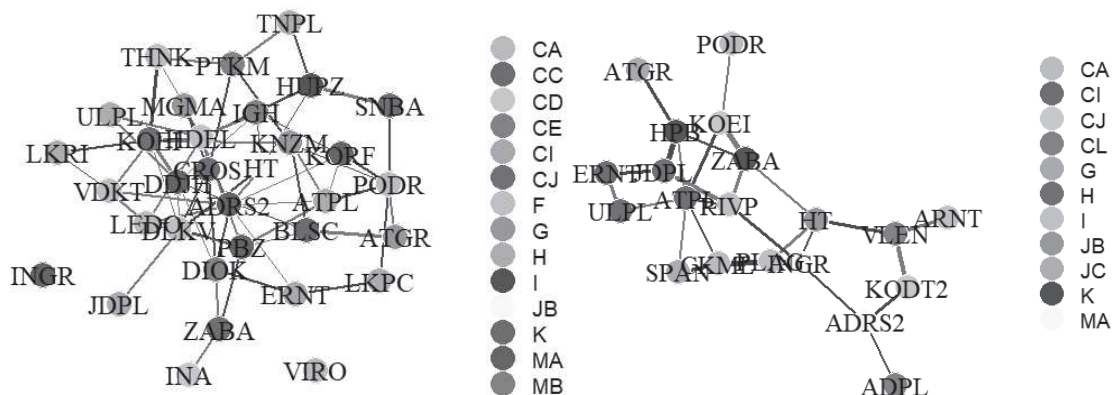
Sljedeći korak uključuje analizu mreža izgrađenih na temelju parcijalnih korelacija, odnosno korelacijskih matrica logaritamskih promjena prometa nakon uklanjanja tržišnog faktora. Iako su prilagođene korelacijske strukture naizgled slične u obje promatrane godine, ovdje se procjenjuje postoje li i dalje značajne razlike u topologiji mreža. Slike 3., 4. i 5. prikazuju mreže sastavnica CROBEX-a za 2008. i 2023. godinu, dobivene zadržavanjem samo veza koje su statistički značajne na razinama od, redom, 1 %, 5 % i 10 %.



**Slika 3.** Strukture mreža temeljene na parcijalnim korelacijama logaritamskih promjena prometa za revizije CROBEX-a iz 2008. (lijevo) i 2023. (desno) godine, statistički značajnim na razini 1 %. Crvene veze označuju pozitivne korelacije, a plave negativne.



**Slika 4.** Struktura mreža temeljene na parcijalnim korelacijama logaritamskih promjena prometa za revizije CROBEX-a iz 2008. (lijevo) i 2023. (desno) godine, statistički značajnim na razini 5 %. Crvene veze označuju pozitivne korelacije, a plave negativne.



**Slika 5.** Struktura mreža temeljene na parcijalnim korelacijama logaritamskih promjena prometa za revizije CROBEX-a iz 2008. (lijevo) i 2023. (desno) godine, statistički značajnim na razini 10 %. Crvene veze označuju pozitivne korelacije, a plave negativne.

Iako mrežni grafovi na prethodnim slikama omogućuju jasan vizualni uvid u povezanost dionica u 2008. i 2023. godini, dodatni uvid pruža analiza svojstava mreža. Tablica 1. prikazuje strukturalna obilježja mreža izgrađenih na temelju parcijalnih korelacija logaritamskih promjena prometa za tri uobičajeno korištene razine statističke značajnosti (1 %, 5 % i 10 %). Za svaku razinu prikazane su vrijednosti za cijelu mrežu, kao i za podmreže koje uključuju samo pozitivne, odnosno negativne korelacije. Prikazane metrike uključuju gustoću veza (koja odražava broj postojećih poveznica), prosječnu jačinu korelacije, koeficijent klasteriranja (mjeru lokalne povezanosti), prosječnu duljinu najkraćeg puta (učinkovitost mreže), asortativnost stupnjeva (sklonost povezivanju čvorova slične povezanosti) te prosječnu stupanjsku centralnost. Zajedno, ove mjere opisuju razinu povezanosti, klasterizacije i strukturu mreža te varijacije tih obilježja s obzirom na vrstu usklađenosti kretanja (pozitivna nasuprot negativnima) i prag korelacije.

**Tablica 1.** Strukturne mrežne mjere za mreže temeljene na prometu iz 2008. i 2023. godine (cijela mreža, podmreže pozitivnih i negativnih korelacija)

Metrike	Razina	2008.	2008. (+)	2008. (-)	2023.	2023. (+)	2023. (-)
Gustoća veza	1 %	0,008	0,006	0,002	0,021	0,011	0,011
	5 %	0,074	0,038	0,036	0,074	0,032	0,042
	10 %	0,117	0,066	0,051	0,147	0,063	0,084
Prosječna korelacija	1 %	0,076	0,063	0,026	0,227	0,088	0,139
	5 %	0,294	0,238	0,218	0,394	0,261	0,317
	10 %	0,288	0,261	0,242	0,458	0,342	0,388
Koefficient klasteriranja	1 %	0	0	NA	0	0	NA
	5 %	0,031	0,1	0	0	0	0
	10 %	0,118	0,137	0	0,129	0	0
Prosječna duljina najkraćeg puta	1 %	0,594	0,517	0,424	0,749	0,785	0,695
	5 %	1,068	0,841	1,162	1,635	0,786	0,999
	10 %	0,740	1,092	1,066	1,226	0,954	1,179
Asortativnost stupnjeva	1 %	-0,600	-0,500	NA	-0,333	-1,000	NA
	5 %	-0,368	0,405	-0,255	-0,217	0,250	0,000
	10 %	-0,131	-0,034	-0,218	-0,007	-0,301	-0,333
Prosječna stupanjaska centralnost	1 %	0,242	0,182	0,061	0,400	0,200	0,200
	5 %	2,364	1,212	1,152	1,400	0,600	0,800
	10 %	3,758	2,121	1,636	2,800	1,200	1,600

Tablica 2. nadopunjuje prethodnu tablicu prikazom centralnosti višeg reda za cijele mreže, na istim razinama statističke značajnosti. Ove mjere opisuju različite aspekte važnosti i utjecaja čvorova unutar mreže. Tablica također uključuje modularnost koja kvantificira u kojoj se mjeri mreža može podijeliti na guste skupine, odnosno zajednice čvorova.

**Tablica 2.** Mjere centralnosti i modularnosti za mreže temeljene na prometu iz 2008. i 2023. godine

Metrike	Razina	2008.	2023.
Centralnost međusobnosti	1 %	0,091	0,050
	5 %	27,788	5,850
	10 %	21,091	17,850
Prosječna blizinska centralnost	1 %	0,089	0,258
	5 %	0,010	0,060
	10 %	0,013	0,019
Prosječna svojstvena centralnost	1 %	0,083	0,120
	5 %	0,275	0,292
	10 %	0,423	0,545
Modularnost	1 %	0,380	0,643
	5 %	0,503	0,566
	10 %	0,357	0,439

Mreže parcijalnih korelacija temeljenih na prometu za 2008. i 2023. godinu otkrivaju izražene razlike u tržišnoj topologiji putem različitih pragova značajnosti, što odražava kontrast između trgovanja pod utjecajem krize i stabilnijeg tržišnog okruženja. U 2008. godini mreža usklađenih kretanja prometa bila je znatno zbijenija i centraliziranija, dok je u 2023. godini izraženija raspršenost i podijeljenost, osobito u strukturi negativnih korelacija.

Na strogoj razini značajnosti od 1%, obje mreže iznimno su rijetke, obuhvaćajući samo najznačajnije odnose. Mreža iz 2008. godine sadrži mali broj veza (ukupno četiri), uglavnom pozitivnih, što upućuje na to da su tijekom globalne financijske krize samo pojedini parovi dionica pokazivali izrazito snažne sinkronizirane poraste prometa. Negativne povezanosti u 2008. gotovo da i nema (samo jedna veza), što sugerira gotovo univerzalnu usmjerenost trgovinske aktivnosti. Nasuprot tome, mreža iz 2023. godine na razini od 1 % također sadrži samo četiri veze, ali s uravnoteženim udjelom pozitivnih i negativnih odnosa (po dvije). To upućuje na to da ni najsnažniji odnosi prometa u 2023. godini nisu bili jednodimenzionalni. Prosječna duljina puta u 2008. godini (oko 0,59) bila je kraća nego u 2023. (~0,75), što znači da su rijetke, ali aktivne dionice tijekom krize tvorile vrlo usko povezanu klasteriziranu skupinu, dok su rijetke veze u 2023. povezivale izoliranije dionice. Stupnjevita asortativnost na razini od 1 % bila je snažno negativna u 2008. ( $\approx -0,60$ ), što upućuje na mrežnu zvjezdastu strukturu (engl. *hub-and-spoke*), u kojoj su jedna ili dvije dionice (središta) bile povezane s mnogim perifernim dionicama. U 2023. godini asortativnost je također bila negativna ( $\approx -0,33$ ), ali manje izražena, što ukazuje na blaži utjecaj središnjih čvorova. Ova zapažanja podupiru prethodno istaknuto, tj. da su u 2008. prometom dominantno upravljale tržišne sile, dok je 2023. godine trgovanje bilo više određeno idiosinkratičnim faktorima.

Na razini značajnosti od 5 %, mreže postaju gušće, otkrivajući jasnije strukturne razlike. Mreža iz 2008. bilježi nagli porast povezanosti s 39 značajnih veza ( $\approx 7,4$  % gustoće) koje povezuje većinu od ukupno 33 dionice. Usklađena kretanja pozitivnog i negativnog smjera sada su gotovo uravnotežena (20 pozitivnih i 19 negativnih veza), što upućuje na

to da je mnogim dionicama trgovano sinkronizirano, ali su se pojedine skupine dionica kretale u suprotnim smjerovima. Prosječna duljina najkraćeg puta pada na  $\sim 1,07$ , a broj izoliranih zajednica se smanjuje (8 zajednica u odnosu na 29 na razini od 1 %), što znači da se velik dio dionica međusobno povezao. Posebno je zanimljivo da pozitivna podmreža u 2008. godini razvija umjereni koeficijent klasteriranja ( $\sim 0,10$ ), što ukazuje na pojavu blisko povezanih skupina dionica s međusobno sličnim kretanjima prometa. To upućuje na postojanje sektorskih ili sentimentom vođenih skupina u kojima je trgovinska aktivnost bila kolektivno povećana. Suprotno tome, negativna podmreža u 2008. godini na istoj razini značajnosti ima gotovo nultu klasteriranost, što sugerira da se negativne korelacije uglavnom pojavljuju kao pojedinačne veze koje povezuju te pozitivne klustere. Drugim riječima, nekoliko dionica, često najcentralnijih, bilježe promet suprotan od većine drugih dionica, djelujući kao međusektorske veze ili defenzivne pozicije tijekom krize. Ukupna asortativnost u 2008. godini i dalje je negativna ( $\approx -0,37$ ), no zanimljivo je da pozitivna podmreža pokazuje pozitivnu asortativnost (oko 0,40), odnosno dionice s visokom povezanošću češće su povezane međusobno unutar grafa pozitivnih korelacija. S druge strane, negativna podmreža jest disasortativna ( $\approx -0,26$ ), što odražava njezinu ulogu u povezivanju čvorova različitog stupnja povezanosti (npr. visoko povezani čvor iz jedne skupine povezuje se s dionicom niske povezanosti iz druge).

Mreža iz 2023. godine pri razini značajnosti od 5 %, s ukupno 20 dionica, dodaje 14 veza i zadržava relativno rijetku strukturu. Prisutne su i pozitivne i negativne veze, no mreža ostaje podijeljena u više komponenti (osam skupina). Mnoge dionice i dalje su izolirane ili tek slabo povezane, što u odnosu na 2008. godinu potvrđuje i viša prosječna duljina najkraćeg puta ( $\sim 1,64$ ). Ni pozitivna ni negativna podmreža u 2023. ne pokazuju znakove klasteriranja (koeficijenti su približno 0,00), što upućuje na izostanak usko povezanih trgovačkih trojki. Umjesto toga, obrazac sugerira prisutnost nekoliko linearnih ili zvjezdastih struktura. Primjerice, manjih skupina od dvije ili tri dionice povezanih pozitivnim korelacijama te parova dionica s negativnim odnosima, ali bez povezivanja u veće klustere. Asortativnost u 2023. blago je negativna ( $\approx -0,22$ ), pri čemu je pozitivna podmreža blago asortativna (+0,25), što implicira povezivanje čvorova sličnog stupnja, odnosno moguće klaster dionice slične likvidnosti. Negativna podmreža jest neutralna (0,00), što znači da nema izraženog obrasca povezivanja s obzirom na stupanj čvorova. Relativna odsutnost mrežne kohezije u 2023. godini na razini od 5 % naglašava decentraliziranu tržišnu strukturu jer se trgovačka aktivnost kretala u manjim skupinama umjesto na razini cijelog tržišta. Ovi su nalazi u skladu s prethodnim opažanjima da su do 2023. godine tržišni utjecaji imali manju dominaciju, a usklađena kretanja prometa bila su više rezultat specifičnih faktora ili sektorskih dinamika.

Na manje striktnom pragu značajnosti od 10 %, obje mreže postaju znatno povezanije, ali njihova se topologija i dalje značajno razlikuje. Mreža iz 2008. godine sada sadrži 62 veze ( $\approx 11,7$  svih mogućih veza), pri čemu su sve 33 dionice povezane u uglavnom jedinstvenu strukturu. Prosječna duljina najkraćeg puta dodatno se smanjuje ( $\sim 0,74$ ), što ukazuje na vrlo kratke puteve između bilo koja dva čvora, odnosno gotovo svaka dionica može se povezati s drugom putem jednog ili dva međučvora, što odražava visoku kohezivnost tržišta pod pritiskom. Koeficijent klasteriranja raste na  $\sim 0,12$ , a najveća skupina uključuje tri dionice, što znači da sada postoji više instanci u kojima su tri dionice međusobno povezane

pozitivnim korelacijama prometa. Ove trgovačke trijade u potpunosti se pojavljuju unutar pozitivne podmreže (prosječni koeficijent klasteriranja za pozitivne veze iznosi  $\approx 0,137$ ), što upućuje na formiranje čvrste jezgre dionica (ili više manjih klastera) koje istodobno bilježe porast trgovanja. Broj negativnih veza (27) veći je nego na nižim pragovima, ali one i dalje ne čine vlastite klastere (koeficijent klasteriranja negativne podmreže ostaje 0). Umjesto toga, negativne korelacije na razini od 10 % uglavnom služe za povezivanje različitih pozitivnih klastera ili za povezivanje perifernih dionica s glavnom skupinom kroz odnose suprotnog smjera. Asortativnost u 2008. godini na ovoj razini značajnosti približila se nuli ( $\approx -0,13$ ), što ukazuje da mrežom više ne dominira jedno središte, već se razvija raznovrsniji obrazac povezivanja kako se mreža popunjava dodatnim vezama. Ipak, negativna podmreža zadržava jače disasortativni karakter ( $\approx -0,22$ ), što znači da negativne veze često uključuju dionice s porastom prometa povezane s onima s padom prometa. Broj skupina u 2008. godini smanjuje se na 7, uz prosječnu veličinu skupine od  $\approx 4,7$  dionica. To ukazuje na polomodularnu strukturu da je jedan veći klaster međusobno povezanih dionica, uz nekoliko manjih skupina ili izoliranih parova.

Mreža iz 2023. godine na razini značajnosti od 10 % doseže 28 veza ( $\approx -14,7$  gustoće na 20 čvorova), što predstavlja višu relativnu povezanost u odnosu na 2008. Međutim, te su veze raspoređene tako da mreža ostaje podijeljena u nekoliko zasebnih klastera, umjesto da formira jednu veliku povezanu komponentu. Analiza modularnosti identificira četiri skupine u 2023. godini (prosječna veličina pet čvorova), što upućuje na postojanje četiriju glavnih skupina dionica koje su snažno povezane unutar skupine, ali s malo veza među skupinama. Značajno je da negativne veze, njih 16, nadmašuju broj pozitivnih, njih 12, čime se naglašava da divergencija u trgovinskim obrascima (dionice koje se kreću u suprotnim smjerovima) predstavlja istaknuto obilježje mrežne strukture u 2023. godini. Ova izražena prisutnost negativnih korelacija sugerira tendenciju prema bipolarnoj klasterizaciji, primjerice, aktivnosti jedne skupine dionica rastu, dok u drugoj opadaju. Navedeno bi moglo odgovarati rotaciji sektora ili preusmjeravanju ulaganja između različitih tržišnih segmenata. Ukupni koeficijent klasteriranja mreže iz 2023. ( $\approx 0,129$ ) usporediv je s onim iz 2008. godine, ali proizlazi iz kombinacije veza različitih predznaka. Unutar svake pojedine podmreže (pozitivne ili negativne), klasteriranje je i dalje gotovo nula, odnosno nema trojki koje su međusobno sve povezane isključivo pozitivnim ili negativnim vezama. To znači da postojeće trokute vjerojatno čine mješoviti odnosi (primjerice, dionica  $A$  pozitivno je korelirana s  $B$ ,  $B$  s  $C$ , a  $A$  negativno s  $C$ , takva konfiguracija može stvoriti trokut, ali bez dosljednog znaka veza). Prosječna duljina najkraćeg puta u mreži iz 2023. godine na razini od 10 % iznosi 1,23 te je duža nego u 2008., što ukazuje da, unatoč većem broju veza, razmak među klasterima u 2023. godini ostaje prisutan i neke dionice ostaju udaljene dvije ili više veza. Asortativnost u 2023. godini na ovoj razini gotovo je neutralna ( $-0,007$ ), što ukazuje na izostanak jasne sklonosti u povezivanju čvorova visokog i niskog stupnja. Međutim, unutar podmreža, i pozitivne i negativne veze pokazuju umjereno negativnu asortativnost ( $-0,30$  i  $-0,33$ ), što sugerira da su pozitivne veze u 2023. godini poprimile strukturu središnji čvor – periferija (primjerice jedan vodeći sektor povezuje se s više drugih), dok negativne korelacije također povezuju, čvorove različitih stupnjeva povezujući sektorske lidere s dionicama iz drugih skupina. Zaključno, na pragu od 10 %, mreža iz 2008. godine i dalje pokazuje objedinjeni klaster s nekoliko perifernih veza, odnosno strukturu karakterističnu za tržišta pod utjecajem ponašanjem stada (engl. *herd behavior*) tijekom krize. S druge strane, mreža iz

2023. godine oblikuje se u više klastera s međusobno suprotnim interakcijama. Usklađena kretanja prometa u 2008. ostaju koncentrirana i homogena, dok 2023. godina pokazuje disperziranu strukturu u kojoj su kretanja grupirana u podskupine s negativnim međusobnim odnosima. Ova mrežna obilježja podupiru tumačenje da je prometom u 2008. dominantno upravljao zajednički tržišni sentiment i sistemski prijenos šokova, dok su u 2023. godini obrasci prometa bili specifičniji za segmente i manje pod utjecajem jedinstvenih tržišnih faktora skladno s ranijom analizom korelacija koja je ukazivala na decentraliziraniju strukturu tržišta u novijem razdoblju.

## 5. RASPRAVA

Rezultati ovog istraživanja usklađeni su s postojećom literaturom o financijskim mrežama i korelacijama volumena trgovanja te ih dodatno proširuju. Prethodna istraživanja otkrivaju da tijekom financijskih kriza mreže korelacija među dionicama postaju povezanije i centraliziranije, što odražava sistemski stres i ponašanje u krdu. Primjerice, Brida i sur. (2016) utvrdili su da se tijekom krize 2008. europska mreža dionica transformira u centraliziranu strukturu, pri čemu nekoliko ključnih dionica ili jedna dominantna skupina preuzima većinu povezanosti, odnosno upravo ono što i mi pokazujemo za hrvatsko tržište 2008. godine. U promatranoj mreži prometa iz 2008. godine vidljiva je snažna negativna asortativnost, pri čemu su središnje dionice povezane s ostalima. Također se formira dominantna skupina snažno povezanih dionica, što je tipično za centralizaciju tržišta u uvjetima krize. To je u skladu s radom Xu i sur. (2017), koji su koristili statistički P-prag za filtriranje mreža, slično našem pristupu. U njihovoj analizi hongkonških dionica, koeficijent asortativnosti znatno se mijenjao tijekom kriza, pri čemu se javljala zvjezdasta struktura kao obilježje tržišnih poremećaja. Rezultati ovog istraživanja na CROBEX-u odražavaju sličan obrazac. Mreža iz 2008. godine pokazuje negativnu asortativnost, što ukazuje na to da je nekoliko dionica djelovalo kao središta trgovinske aktivnosti, koja su povezana s brojnim manje aktivnim dionicama. Nasuprot tome, mreža iz 2023. godine pokazuje znatno blažu asortativnost, bližu nuli (osobito pri višim pragovima), što je u skladu s neutralnom ili blago disasortativnom strukturom karakterističnom za tržište izvan kriznih uvjeta.

Jedna od usporedbi odnosi se na mreže temeljene na prometu i mreže temeljene na cijenama. Ova analiza koristi isključivo podatke o prometu, a obrasci koje promatramo poklapaju se s nalazima prethodnih istraživanja koja uspoređuju korelacije volumena trgovanja s korelacijama prinosa. Prijašnja istraživanja (Brida i sur., 2016; Su i sur., 2016) pokazala su da mreže temeljene na prometu mogu imati drukčiju strukturu klastera i informacijski sadržaj u odnosu na one temeljene na cijenama. Konkretno, Su i sur. (2017) ističu da je struktura zajednica izvedena iz stopa prometa složenija nego kod prinosa, što implicira da obujam trgovanja obuhvaća dodatne ili složenije obrasce interakcije između dionica. Jedno od najupečatljivijih svojstava prometne mreže iz 2008. godine jest njezina relativno visoka modularnost (0,503) pri pragu od 5 %. To znači da se mreža jasno dijeli na zajednice – skupine dionica koje su međusobno snažno povezane u smislu korelacija volumena trgovanja, dok su veze prema ostatku mreže rjeđe. Ovakav je rezultat u određenoj mjeri kontrainuitivan, jer bi se u kriznim razdobljima očekivalo da se tržište homogenizira – da svi ulagači simultano djeluju na većem broju dionica, uz opće povišenje volumena. No, visoka modularnost suge-

rira selektivno tržišno ponašanje: iako je kriza zahvatila cijelo tržište, povećana trgovačka aktivnost nije bila ravnomjerno distribuirana, već koncentrirana unutar određenih skupina dionica – vjerojatno sektora koji su bili u središtu interesa (npr. financije, građevinarstvo) ili industrija percipiranih kao sigurnije (npr. komunalne usluge). Ova struktura ukazuje na to da tržišni šok nije doveo do potpunog urušavanja tržišne segmentacije, nego su pojedine skupine dionica ostale povezane po obrascima trgovačkog interesa. Trgovinski volumen time zadržava organiziranu, modularnu arhitekturu koja reflektira fokusiranu reakciju ulagača – i u tome se krije ključna informacija koju mreža temeljena na prometima otkriva. Za 2023. godinu mreža pokazuje višu modularnost (0,566) nego 2008. (0,503), što ukazuje na još izraženiju zajedničku strukturu. Jedan od mogućih razloga za to može biti i opći pad likvidnosti na tržištu u 2023. godini, pri čemu se trgovanje koncentrira unutar manjeg broja dionica i sektora, čime se prirodno formiraju jače razgraničene zajednice unutar mreže.

Analiza mreže temeljena na prometu otkriva značajne razlike u strukturi tržišta između kriznih i stabilnih razdoblja, pružajući korisne uvide za ulagače i regulatore. Tijekom 2008. godine mreža je bila centraliziranija i jače povezana, što upućuje na pojačan sistemski rizik i ponašanje stada – korisno za rano prepoznavanje tržišnih šokova. S druge strane, fragmentirana struktura iz 2023. godine odražava sektorske dinamike i decentralizirano trgovanje, što sugerira veću otpornost i diversifikaciju. Ovakvi nalazi mogu pomoći pri konstrukciji portfelja jer pokazatelji poput centralnosti i modularnosti mogu otkriti sistemski važne dionice ili izolirane sektore. Uz to, promjene u mrežnoj strukturi mogu služiti kao rani signal promjene tržišnog sentimenta ili problema s likvidnošću.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu primijenjena je analiza mreža kako bi se ispitale promjene odnosa među dionicama uključenima u CROBEX, na temelju promjena u prometu u dva razdoblja, tijekom globalne financijske krize 2008. i u stabilnijem postpandemijskom okruženju 2023. godine. Konstrukcijom mreža parcijalnih korelacija logaritamskih promjena prometa, izolirani su zajednički tržišni utjecaji, čime se omogućuje detaljniji uvid u obrasce ponašanja ulagača i tržišnu segmentaciju.

Rezultati pokazuju da su mreže iz 2008. godine bile gušće, centraliziranije i obilježene snažno negativnom asortativnošću, što ukazuje na sistemski stres i ponašanje stada karakteristično za krizna razdoblja. Nasuprot tome, mreža iz 2023. godine bila je fragmentiranija i veće modularnosti, što odražava decentraliziranu strukturu tržišta vođenu sektorskim čimbenicima i smanjenom likvidnošću. Takva fragmentiranost može biti znak mirnijeg i stabilnijeg razdoblja s manjim sistemskim rizikom, ali istovremeno i odraz općenito niže razine aktivnosti na tržištu.

Posebno se ističu razlike u topologiji pozitivnih i negativnih podmreža. Tržište 2008. godine karakterizirala je kompaktna pozitivna jezgra s negativnim vezama koje su spajale udaljene komponente, dok je tržište 2023. godine pokazalo slabiju koheziju i uravnoteženije suprotne pomake u prometu. Povećana modularnost u 2023. godini upućuje na postojanje, ali i promjenu obrazaca tržišne segmentacije tijekom vremena.

Analiza strukture mreža prometa pokazuje da one reflektiraju finije nijanse tržišnih

reakcija, osobito u pogledu ponašanja ulagača. U kriznim razdobljima (2008.) tržište ne reagira samo kolektivno, nego se trgovački fokus i dalje usmjerava na određene skupine dionica, što se očituje u visokoj modularnosti i stabilnim zajednicama. U mirnijim razdobljima (2023.) aktivnost postaje više raspršena, ali zadržava elemente strukturne povezanosti, što govori o kontinuiranom postojanju trgovačkih obrazaca, iako manje izraženih.

Zaključno, rezultati pokazuju kako mreže temeljene na prometu otkrivaju važne informacije o tržišnoj strukturi, sistemskom riziku i obrascima trgovanja. Ovakav pristup predstavlja koristan alat za istraživače i praktičare u praćenju tržišnih uvjeta, oblikovanju portfelja te pravovremenom otkrivanju tržišnih napetosti ili sektorskih rotacija. Buduća istraživanja mogu proširiti analizu uključivanjem podataka o sentimentu i višeslojnih financijskih mreža radi dubljeg razumijevanja tržišne kompleksnosti u malim i rastućim gospodarstvima.

## LITERATURA

1. Avramov, D., Chordia, T. i Goyal, A. (2006). Liquidity and Autocorrelations in Individual Stock Returns. *The Journal of Finance*, 61(5), str. 2365-2394.
2. Battiston, S., Puliga, M., Kaushik, R., Tasca, P. i Caldarelli, G. (2012). DebtRank: Too central to fail? Financial networks, the FED and systemic risk. *Scientific Reports*, 2, str. 541. Dostupno na: <https://doi.org/10.1038/srep00541>
3. Barabási, A.-L. (2016). *Network Science*. Cambridge University Press.
4. Birch, J., Pantelous, A. A. i Soramäki, K. (2015). Analysis of Correlation Based Networks Representing DAX 30 Stock Price Returns. *Society for Computational Economics*, 47(4), str. 501-525.
5. Bogdan, S., Bareša, S. i Ivanović, S. (2012). Measuring Liquidity on Stock Market: Impact on Liquidity Ratio. *Tourism and Hospitality Management*, 18(2), str. 183-193.
6. Brida, J. G. i Risso, W. A. (2009). Dynamic and Structure of the Italian Stock Market based on returns and volume trading. *Economics Bulletin*, 29(3), str. 2420-2426.
7. Brida, J. G., Matesanz, D. i Seijas, M. N. (2020). Network analysis of returns and volume trading in stock markets: The Euro Stoxx case. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 444, str. 751-764.
8. CFA Institute (2023). *Curriculum Level I: Portfolio Management, Corporate Issuers, Financial Statement Analysis*, Vol. 2. CFA Institute.
9. Chen, H., Mai, Y. i Li, S.P. (2014). Analysis of network clustering behavior of the Chinese stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Elsevier, 414(C), str. 360-367.
10. Chuluun, T. (2017). Global portfolio investment network and stock market comovement. *Global Finance Journal*, 33, str. 51-68.
11. Dabić, S. i Penavin, S. (2009). Utjecaj obujma trgovanja na kretanje tržišnog indeksa Crobex. *Ekonomski vjesnik: Review of Contemporary Entrepreneurship, Business, and Economic Issues*, 22(1), str. 51-61.

12. Esmalifalak, H. i Moradi-Motlagh, A. (2024). Correlation networks in economics and finance: A review of methodologies and bibliometric analysis. *Journal of Economic Surveys*, str. 1-35.
13. Habibović, A., Zoričić, D. i Lovretin Golubić, Z. (2017). Efficiency of CROBEX and CROBEX10 stock market indices. *UTMS Journal of Economics*, 8(3), str. 271-280.
14. Heiberger, R. (2014). Stock network stability in times of crisis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 393, str. 376-381.
15. Jain, P. i Joh, G. (1988). The Dependence between Hourly Prices and Trading Volume. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 23, str. 269-284.
16. Kenett, D. Y., Raddant, M., Zatlavi, L., Lux, T. i Ben-Jacob, E. (2012). Correlations and dependencies in the global financial village. *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 16, str. 13-28.
17. Li, Y., Jiang, X.-F., Tian, Y., Li, S.-P. i Zheng, B. (2019) Portfolio optimization based on network topology, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 515, str. 671-681.
18. Mantegna, R. N. (1999). Hierarchical structure in financial markets. *The European Physical Journal B*, 11(1), str. 193-197.
19. Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), str. 77-91.
20. Millington, T. i Niranjana, M. (2021). Construction of Minimum Spanning Trees from Financial Returns using Rank Correlation. *Physica A*, 566.
21. Mo, D. i Chen, Y. (2021). Projecting Financial Technical Indicators Into Networks as a Tool to Build a Portfolio. *IEEE Access*, 9, str. 39973-39984.
22. Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.
23. Nikkinen, J., Piljak, V. i Rothovius, T. (2020). Impact of the 2008–2009 financial crisis on the external and internal linkages of European frontier stock markets. *Global Finance Journal*, 46, 100481.
24. Namaki, A., Shirazi, A., Raei, R. i Jafari, G. (2011). Network analysis of a financial market based on genuine correlation and threshold method. *Physica A*, 390(21-22), str. 3835-3841.
25. R Core Team (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Dostupno na: <https://www.R-project.org/>
26. Sutiene, K., Schwendner, P., Sipos, C., Lorenzo, L., Mirchev, M., Lameski, P., Kabasinskas, A., Tidjani, C., Ozturkkal, B. i Cernevičienė, J. (2024). Enhancing portfolio management using artificial intelligence: Literature review. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1371502.
27. Tauchen, G. i Pitts, M. (1983). The Price Variability-Volume Relationship on Speculative Markets. *Econometrica* 51, str. 485-505.
28. Tumminello, M., Aste, T., Di Matteo, T. i Mantegna, R. N. (2005). A tool for filtering information in complex systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(30), str. 10421-10426.
29. Tumminello, M., Lillo, F. i Mantegna, R. N. (2010). Correlation, hierarchies, and

- networks in financial markets. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 75(1), str. 40-58.
30. Tomeczek, A. F. (2022). A minimum spanning tree analysis of the Polish stock market. *Journal of Economics and Management*, 44, str. 420-445.
  31. Xu, R., Wong, W.K., Chen, G. i sur. (2017). Topological Characteristics of the Hong Kong Stock Market: A Test-based P-threshold Approach to Understanding Network Complexity. *Sci Rep* 7, 41379. Dostupno na: <https://doi.org/10.1038/srep41379>
  32. Yan, X., Yang, H., Yu, Z., Zhang, S. i Zheng, X. (2024). Portfolio Optimization: A Return-on-Equity Network Analysis. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 11, 2, str. 1644-1653.
  33. Zoričić, D. (2024). Analiza izvora superiornih performansi CROBEX indeksa: Zašto je teško „pobijediti“ CROBEX indeks na hrvatskom tržištu dionica?. *Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu*, 22(1), str. 21-36.
  34. Zoričić, D., Dolinar, D. i Lovretin Golubić, Z. (2020). Factor-based optimization of a fundamentally-weighted portfolio in the illiquid and undeveloped stock market. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(12), str. 1-12.