

# Proizvodne mreže: osnovni alati za analizu

---

Srhoj, Jure

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of economics Split / Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:124:698269>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)/[Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-16**

Repository / Repozitorij:

[REFST - Repository of Economics faculty in Split](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
EKONOMSKI FAKULTET U SPLITU

ZAVRŠNI RAD

# PROIZVODNE MREŽE: OSNOVNI ALATI ZA ANALIZU

**Mentor:**

**Doc. dr. sc. Stjepan Srhoj**

**Student:**

**Jure Srhoj**

**Split, rujan 2023.**

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Jure Srhoj,

(ime i prezime)

izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je navedeni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja na objavljenu literaturu, što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio navedenog rada nije napisan na nedozvoljeni način te da nijedan dio rada ne krši autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije korišten za bilo koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Split, 26.9. 2023. godine

Vlastoručni potpis : \_\_\_\_\_



## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Problem istraživanja .....	1
1.2. Ciljevi rada .....	1
1.3. Metode rada .....	1
1.4. Struktura završnog rada .....	2
2. MREŽE .....	3
2.1. Što su mreže? .....	3
2.1.1. Komponente mreža .....	3
2.1.2. Put, ciklus, šetnja .....	4
2.1.3. Kanonske i usmjerene mreže .....	5
2.1.4. Koristi i troškovi veza .....	6
2.1.5. Oblici mreža .....	7
3. ALATI ZA ANALIZU I MJERENJE MREŽA .....	10
3.1. Zašto mjerimo mreže? .....	10
3.2. Susjedstvo .....	10
3.3. Stupanj i gustoća mreže .....	11
3.4. Distribucija stupnjeva .....	12
3.5. Promjer i prosječna duljina puta .....	13
3.6. Grupiranost .....	14
3.7. Centralnost .....	17
3.7.1. Stupanj centralnosti .....	17
3.7.2. Bliskost .....	18
3.7.3. Posrednost .....	18
3.7.4. Karakteristike susjeda .....	19
4. PROIZVODNE MREŽE .....	20
4.1. Što je proizvodna mreža? .....	20
4.2. Uzvodno i nizvodno (eng. upstream, downstream) .....	20
4.3. Šokovi i njihovo širenje .....	21
4.4. Prikupljanje podataka o proizvodnim mrežama .....	24
5. ZAKLJUČAK .....	26
LITERATURA .....	27
SAŽETAK .....	28
SUMMARY .....	28

# 1. UVOD

## 1.1. Problem istraživanja

Činjenica je da su mreže neizostavan dio ekonomskih, socijalnih, političkih i raznih drugih interakcija. Vrlo jednostavno to možemo uočiti na primjeru prijateljstava ili poznanstava koja često pojedinci ostvaruju preko već postojećih prijatelja ili poznanika (npr. vaš prijatelj vas upozna sa svojim prijateljem kojeg prethodno niste poznavali). Jednako tako možemo za primjer uzeti i čest slučaj pri zapošljavanju, gdje dosta ljudi pronade posao na način da ih njihov poznanik informira o toj prilici za zaposlenje. Ova činjenica utječe na formiranje obrazaca u zapošljavanju, postojanje nejednakosti u visini plaća među grupama pojedinaca itd. stoga je proučavanje i istraživanje mreža ključno za kvalitetnije razumijevanje njihove uloge u društvu. S obzirom na navedeno problem ovog istraživanja je pojasniti što su mreže i zašto je njihovo postojanje bitno u ekonomskoj analizi. Zatim opisati što su proizvodne mreže, zašto se analiziraju te sažeti ključne mjere koje se koriste pri njihovoj analizi.

## 1.2. Ciljevi rada

Cilj ovog rada je, koristeći metode rada navedene u potpoglavlju 1.3. pobliže se upoznati s mrežama, s naglaskom na proizvodne mreže, shvatiti koja je njihova uloga te objasniti mjere kojima ih opisujemo.

## 1.3. Metode rada

U izradi ovog završnog rada i prilikom donošenja zaključka koristit će se sljedeće metode: (Zelenika, 2000.)

- Metoda deskripcije – postupak jednostavnog opisivanja ili ocrtavanja činjenica, procesa i predmeta u prirodi i društvu te njihovih empirijskih potvrđivanja odnosa i veza, ali bez znanstvenog tumačenja i objašnjavanja.
- Metoda kompilacije – postupak preuzimanja tuđih rezultata znanstvenoistraživačkog rada, odnosno tuđih opažanja, stavova, zaključaka i spoznaja.
- Induktivna metoda – sistematska i dosljedna primjena induktivnog načina zaključivanja u kojem se na temelju pojedinačnih ili posebnih činjenica dolazi do zaključaka o općem sudu,

od zapažanja konkretnih pojedinačnih slučajeva i činjenica dolazi se do općih zaključaka, od poznatih pojedinačnih slučajeva polazi se nepoznatom općem, od izučenog neizučenom, od većeg broja pojedinačnih pojava vrše se uopćavanja.

#### **1.4. Struktura završnog rada**

Ovaj završni rad sastoji se od tri poglavlja koja se dalje dijele na potpoglavlja.

Uvodni dio u kojem se definiraju: problem istraživanja, ciljevi rada, metode rada i struktura rada.

Drugi dio odnosi se na općenito opisivanje mreža.

U trećem dijelu govori se o najvažnijim mjerama za analizu mreža i razlozima njihove važnosti.

Četvrti dio fokusira se na proizvodne mreže.

U posljednjem dijelu iznesen je zaključak te naveden popis literature, popis slika i sažetak.

## 2. MREŽE

### 2.1. Što su mreže?

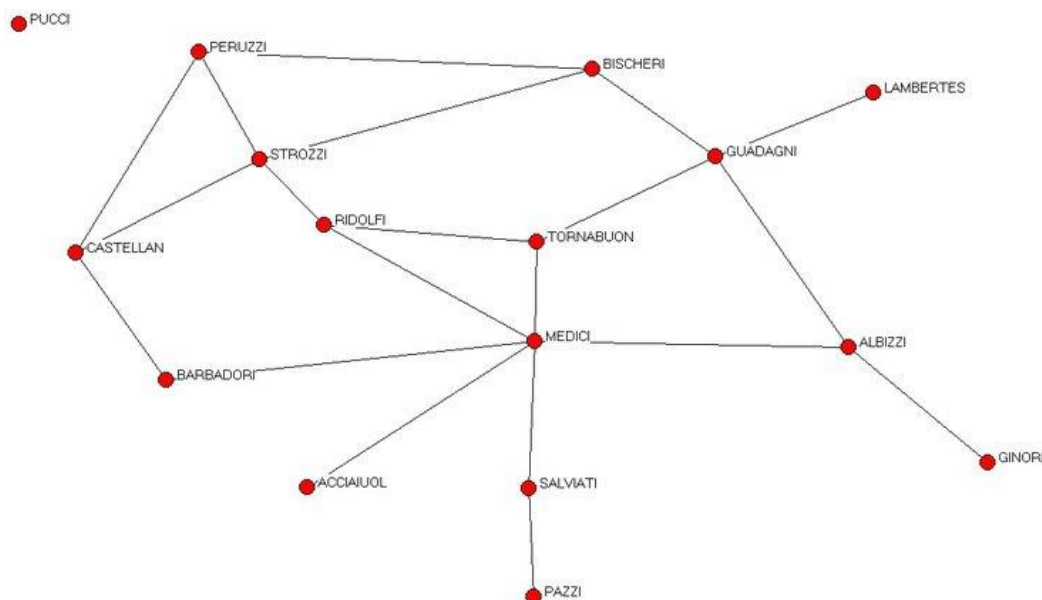
#### 2.1.1. Komponente mreža

Osnovna dva elementa mreža su čvorovi i veze. Skup čvorova (točaka) koji mogu biti međusobno povezani ili nepovezani vezama tvore mrežu.

Primjer koji će pomoći u vizualizaciji mreža i njihovom razumijevanju je slika 1.1. koja prikazuje brakove među uglednim obiteljima iz Firence u 15. stoljeću. Svaka od ovih obitelji predstavlja jedan čvor, dok brak između članova dviju obitelji predstavlja vezu među čvorovima. Dakle, sklapanjem braka između članova dviju obitelji stvara se veza između čvorova. Veze među čvorovima, u ovom slučaju brakovi među obiteljima donose određene koristi kao na primjer prijenos informacija, sklapanje poslovnih dogovora i sudjelovanje u donošenju političkih odluka.

Treba naglasiti da postoji mnogo različitih vrsta mreža te se ovisno o tome čvorovi mogu nazivati i točkama, pojedincima, igračima itd. Čvor može biti osoba, organizacija, poduzeće, država, internetska stranica itd.

Slika 2.1 – mreža brakova firentinskih obitelji u 15. st.



Izvor: Jackson (2008; prema Padget i Ansell, 1993.)

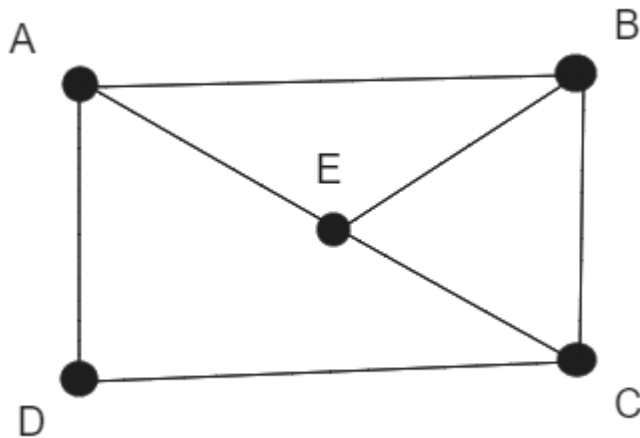
Već samim brojanjem veza daje se zaključiti da je obitelj Medici u najpovoljnijem položaju sa šest veza, a zatim Strozzi i Guadagni sa po četiri veze, no to nije jedini razlog zbog kojeg je obitelj Medici preuzela političku moć i uzvišen položaj u odnosu na ostale obitelji. To nas dovodi do sljedećih važnih pojmova za shvaćanje mreža; put, ciklus i šetnja.

### 2.1.2. Put, ciklus, šetnja

Kako bi shvatili zašto su ova tri pojma bitna, treba uzeti u obzir da čvorovi (u ovom slučaju obitelji) imaju koristi, ne samo od obitelji s kojima imaju izravnu vezu, već i od onih s kojima je njihova veza neizravna (npr. Iako Lamberteschi nemaju izravnu vezu s obitelji Bischeri, ukoliko im treba njihova informacija, mogu do nje doći preko obitelji Guadagni).

Upravo to predstavlja put, niz veza koje spajaju različite čvorove, pri čemu se svaki čvor pojavljuje u tom nizu samo jednom.

Slika 2.2. – skica mreže



Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

U ovom slučaju, između čvorova A i C postoji pet različitih puteva: (ABC), (ADC), (AEC), (ABEC) i (AEBC).

Najkraći put između dva čvora naziva se geodezik.



Za razliku od puta, šetnja je niz veza koje spajaju različite čvorove, pri čemu se u tom nizu mogu pojaviti više puta (npr. (AECEB)).

Posebna vrsta šetnje je ciklus, odnosno šetnja koja počinje i završava istim čvorom, dok se svi ostali čvorovi pojavljuju samo jednom (npr. (ABCD)).

Nastavno na sliku 1.1. neka je  $P(ij)$  broj različitih geodezika koji povezuju obitelj  $i$  s obitelji  $j$ . Neka je  $P_k(ij)$  broj tih geodezika koji uključuju obitelj  $k$ .

$$\sum_{ij:i \neq j, k \notin \{i, j\}} \frac{P_k(ij) / P(ij)}{(n-1)(n-2) / 2}$$

(1)

Prethodni matematički izraz tada predstavlja formulu za izračun učestalosti obitelji  $k$  na geodezicima među svim parovima ostalih obitelji, pri čemu  $n$  predstavlja ukupan broj obitelji, a  $(n-1)(n-2)/2$  ukupan broj parova ostalih obitelji na čijim putevima može ležati obitelj  $k$ .

Kada se za  $k$  uzme obitelj Medici rezultat je 0.522, dok je sljedeći najveći iznos kod obitelji Guadagni s 0.255 te obitelj Strozzi s 0.103. Dakle, ukoliko neka od obitelji (osim obitelji Medici) treba neizravnu informaciju ili uslugu od druge obitelji, u nešto preko 50% slučajeva to će uključivati i obitelj Medici. Ova činjenica predstavlja razlog zbog kojeg su se Medici usprkos manjem bogatstvu i političkoj moći nego onom što ga je imala obitelj Strozzi, s vremenom profilirali u najmoćniju firentinsku obitelj 15. stoljeća.

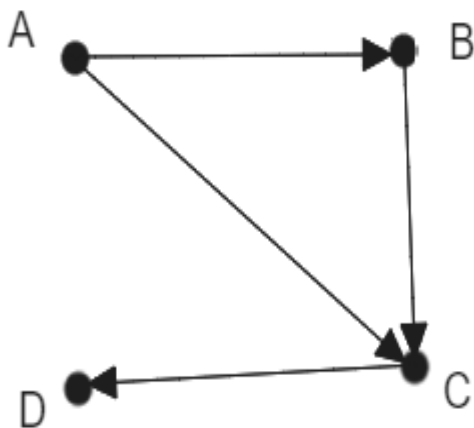
### 2.1.3. Kanonske i usmjerene mreže

Sljedeća distinkcija koju treba napraviti je razlika između kanonskih i usmjerenih mreža.

U kanonskoj mreži, veze među čvorovima su obostrane, odnosno prvi čvor ne može biti povezan s drugim bez da je drugi povezan s prvim. Ovo je slučaj u većini društvenih odnosa kao što su prijateljstva ili romantične veze te u ekonomskim odnosima kao što su partnerstva i druge poslovne suradnje.

Suprotno tome je usmjerena mreža u kojoj veza među čvorovima postoji jednostrano kao što je slučaj kod internetskih stranica koje sadrže poveznice (poveznica na stranici X vodi do druge internetske stranice Y, ali na toj stranici ne postoji poveznica koja vodi natrag do stranice X) ili kod mreža koje prate koji su autori citirali druge autore.

Slika 2.3. – skica usmjerene mreže



Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

#### 2.1.4. Koristi i troškovi veza

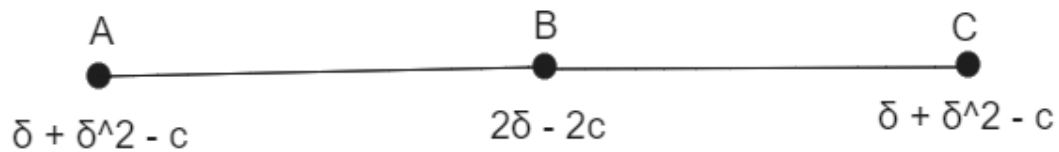
Dosad je spomenuto kako veze među čvorovima (dalje će se čvorovi u ovom potpoglavlju zvati „igrači“) donose određene koristi (izravne sa susjednim igračima i neizravne sa susjednim igračima svojih susjeda), pri čemu se korist smanjuje kako se udaljenost među igračima povećava.

Korist izravne veze označava se faktorom  $\delta$  čija se vrijednost kreće od 0 do 1. Za izračun koristi neizravne veze faktor  $\delta$  se diže na potenciju  $\ell$  (eng. „link“), gdje  $\ell$  predstavlja broj veza na najkraćem putu među igračima za koje se izračunava korist.

S druge strane, osim koristi, izravne veze donose i određeni trošak (kad vas vaš prijatelj traži uslugu, za njega je to korist a za vas trošak), dok neizravne veze ne uzrokuju trošak. Trošak izravne veze je  $c$ .

Slika 2.4. prikazuje sumu koristi i troškova za pojedinog igrača u mreži.

Slika 2.4. – skica mreže



Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

Igrač A ima korist i trošak od izravne veze s igračem B ( $\delta - c$ ) te korist od neizravne veze s igračem C ( $\delta^2$ ). Igrač C ima jednaku ukupnu korist i trošak kao i igrač A, dok igrač B ima korist i trošak izravnih veza sa A i C ( $2\delta - 2c$ ), ali nema neizravnih veza.

Sukladno tome, za proizvoljnu mrežu  $g$  korisnost  $u$  (eng. „utility“) za igrača  $i$  je tada

$$u_i(g) = \sum_{j \neq i: j \text{ su poevazni putom u } g} \delta^{l_{ij}(g)} - d_i(g)c$$

(2)

pri čemu je  $\delta^{l_{ij}(g)}$  ukupna korist svih izravnih i neizravnih veza igrača  $i$ , a  $d_i(g)c$  ukupan broj izravnih veza igrača  $i$ .

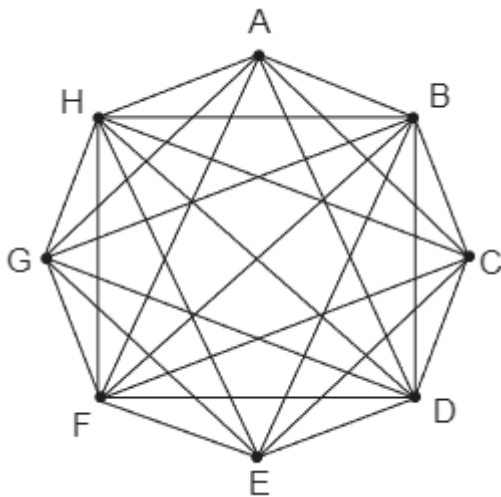
### 2.1.5. Oblici mreža

Prethodno potpoglavlje pojašnjava koristi i troškove veza, te time nameće pitanje koji je optimalni oblik mreže, odnosno koji oblik mreže maksimizira ukupnu korisnost svih igrača u mreži. Dakle, mreža je optimalna ako maksimizira  $\sum_i u_i(g)$ .

Neka je slučaj da je iznos troška izrazito nizak, preciznije  $c < \delta - \delta^2$  tada bi dodavanje izravne veze između bilo koja dva igrača povećalo ukupnu korisnost mreže. Ova tvrdnja je točna zato što dodavanje izravne veze povećava korist igrača za  $\delta - c$  ali je ujedno i smanjuje najviše za  $\delta^2$  (ukoliko su prethodno bili neizravno povezani jer sada korist neizravne veze zamjenjuje korist izravne veze), a prethodno je pokazano da je  $\delta^2 < \delta - c$ . Također, dodavanje te veze ujedno može povećati korist ostalih igrača ako skрати njihove geodezike s drugim igračima, ali ne i trošak jer se on dodaje samo igračima u neposrednoj vezi.

U ovom slučaju optimalna mreža je ona u kojoj su svi igrači izravno povezani kao na slici 2.5.

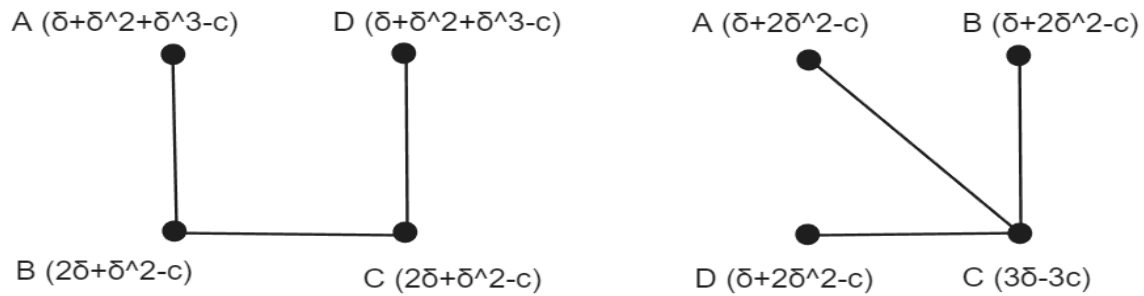
Slika 2.5. – skica mreže s maksimalnim brojem veza



Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

U slučaju kad je trošak  $c > \delta - \delta^2$  ali i dalje ne previsok, optimalan oblik mreže je zvijezda (Jackson, 2008). Zvezdasti oblik mreže kao što je prikazano na slici 2.6. b) ima jednog centralnog igrača koji je izravno povezan sa svim ostalim igračima u mreži, dok su ostali nemaju drugih izravnih veza osim one s centralnim igračem. Ovaj oblik osigurava da su svi igrači udaljeni najviše dvije veze jedni od drugih.

Slika 2.6. – skica dviju mreža s četiri čvora



Izvor: Jackson (2008.)

Na slici iznad u primjeru a), ukupna korisnost jednaka je  $6\delta + 4\delta^2 + 2\delta^3 - 6c$  dok je u primjeru b) ukupna korisnost jednaka  $6\delta + 6\delta^2 - 6c$ . Dakle preraspoređivanjem igrača u zvjezdasti oblik transformirani su svi putevi dugi tri veze u puteve duge dvije veze.

Sukladno tome, uzevši optimalnost kao ključ, mreže se može razvrstati u tri skupine : kompletne mreže (postoje sve moguće veze u mreži) u slučaju kada su troškovi niski, prazne mreže (u mreži ne postoje veze) u slučaju kada su troškovi toliko visoki da korisnost ne može biti pozitivna i mreže zvjezdastog oblika u slučaju kada su troškovi osrednje vrijednosti.

Naravno, prethodno rečeno je idealizacija mreža, pojava na koju se u stvarnosti rijetko nailazi, dok je najčešći slučaj da igrači formiraju veze sukladno svojim interesima. Pojedinci (igrači) u socijalnim, poslovnim i drugim mrežama nastoje maksimizirati osobnu korist dok ih ukupna korist mreže odnosno njena optimalnost ne zanima.

To nas dovodi do koncepta stabilnosti po parovima (eng. pairwise stability) koji kaže da je mreža stabilna po parovima ukoliko nijedan igrač ne može povećati svoju korist brisanjem izravne veze u kojoj sudjeluje te ukoliko ne postoje dva igrača koja bi oba povećala svoju korist ako oforme izravnu vezu među sobom. Kada ovi uvjeti nisu ispunjeni, lako je zaključiti da bi mreža bila nestabilna, odnosno nove veze bi stalno nastajale, a postojeće bi se ukidale jer bi svi igrači nastojali maksimizirati vlastitu korist. Ovisno o razini troškova veza u stvarnosti se formiraju mreže stabilne po parovima koje mogu, a i ne moraju (najčešće nisu) biti optimalne.

### 3. ALATI ZA ANALIZU I MJERENJE MREŽA

#### 3.1. Zašto mjerimo mreže?

Kako bi lakše opisali mreže, shvatili njihovu važnost i ulogu u svijetu, društvu, gospodarstvu itd. matematičari, ekonomisti, znanstvenici i drugi stručnjaci razvili su alate za njihovo mjerenje. Nadalje ovi alati neophodni su za klasifikaciju i usporedbu mreža. Rastuća važnost mreža dovodi do potrebe za njihovim shvaćanjem i razumijevanjem njihove uloge u svim područjima kojih se dotiču. S obzirom na kompleksnost i raznovrsnost mreža u njihovim oblicima i veličinama, ne postoje opći alati koji obuhvaćaju sva svojstva, karakteristike i primjene mreža, ali postoje neki dovoljno fleksibilni i poopćeni da mogu kvalitetno opisati većinu mreža i njihova svojstva. Upravo ti alati biti će prezentirani i opisani u nastavku.

#### 3.2. Susjedstvo

Zbog svoje jednostavnosti, prva mjera koja će biti opisana je susjedstvo. Susjedstvo nekog čvora  $i$  je skup svih čvorova  $s$  kojima je čvor  $i$  povezan izravnim vezama. Matematički izraz koji predstavlja susjedstvo  $N_i(g)$  (eng. neighborhood) čvora  $i$  u mreži  $g$  je:

$$N_i(g) = \{j: g_{ij} = 1\}$$

(3)

Gdje je  $j$  svaki ostali čvor u mreži, a dio je skupa  $N_i(g)$  ukoliko je izravno povezan s  $i$ .

Nadalje, moguće je opisati i prošireno susjedstvo koje uključuje na primjer, sve čvorove koji su povezani s čvorom  $i$  putevima duljine do dvije veze. Formula tada poprima sljedeći oblik.

$$N_i^2(g) = N_i(g) \cup \left( \bigcup_{j \in N_i(g)} N_j(g) \right)$$

(4)

Odnosno unija svih čvorova s kojima je  $i$  izravno povezan i svih čvorova s kojima su oni izravno povezani.

Ako bi htjeli prikazati prošireno susjedstvo koje uključuje sve čvorove povezane s čvorom  $i$  putevima ne dužim od  $k$  formula poprima sljedeći oblik.

$$N_i^k(\mathbf{g}) = N_i(\mathbf{g}) \cup \left( \bigcup_{j \in N_i(\mathbf{g})} N_j^{k-1}(\mathbf{g}) \right)$$

(5)

### 3.3. Stupanj i gustoća mreže

Stupanj (eng. degree) čvora  $i$  u mreži  $\mathbf{g}$  je broj svih izravnih veza u mreži koje uključuju čvor  $i$ . Odnosno, matematički prikazano:

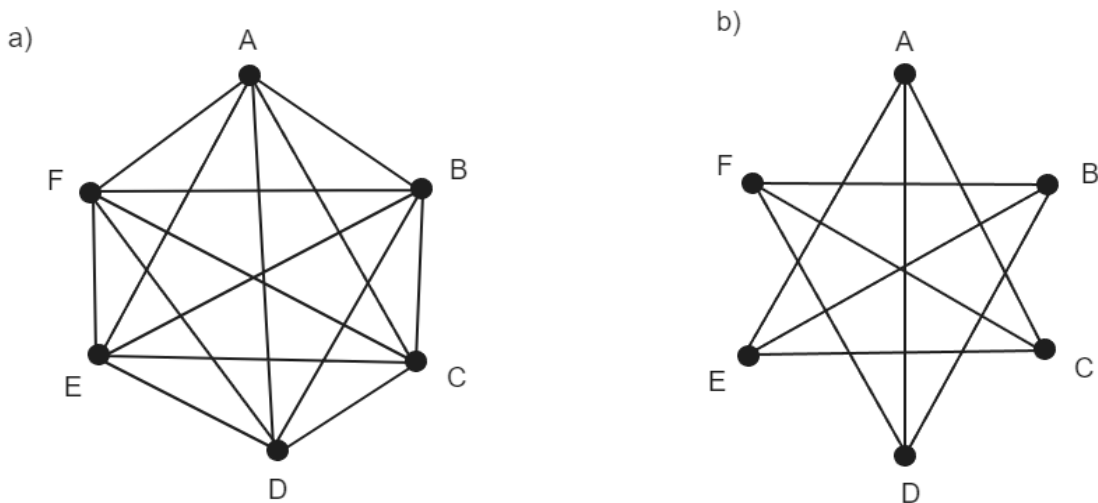
$$d_i(\mathbf{g}) = \#\{j: g_{ji} = 1\} = \#N_i(\mathbf{g})$$

(6)

Gdje  $\#$  predstavlja kardinalnost odnosno broj elemenata koji zadovoljavaju  $\{j: g_{ji} = 1\}$ .

Što je prosječni stupanj čvorova veći, veća je i gustoća mreže.

Slika 3.1. – skice mreža s jednakim brojem čvorova i različitom gustoćom



Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

Jednostavna vizualna prezentacija dvaju mreža s različitom gustoćom mreže na slici 3.1. trebala bi olakšati shvaćanje pojmova stupnja čvora i gustoće mreže. Na primjeru a) svaki čvor ima stupanj 5 jer je izravno povezan sa svih ostalih pet čvorova, dok na primjeru b) svaki čvor ima stupanj 3 jer je izravno povezan sa samo tri druga čvora. Evidentno je da je gustoća mreže u primjeru a) veća, što je sukladno ranije navedenoj tvrdnji. Dakle, gustoća mreže je postotak postojećih izravnih veza od svih mogućih koje bi činile potpunu mrežu.

### 3.4. Distribucija stupnjeva

Distribucija stupnjeva jedna je od esencijalnih karakteristika svake mreže. Ona prikazuje učestalost čvorova s različitim stupnjem, odnosno  $P(d)$  je postotak čvorova u mreži koji imaju stupanj  $d$  pod distribucijom  $P$ .

Mreža u kojoj svi čvorovi imaju jednak stupanj, naziva se regularna mreža za koju vrijedi  $P(k)=1$  i  $P(d)=0$  za sve  $k \neq d$ , pri čemu je  $k$  stupanj svih čvorova u mreži.

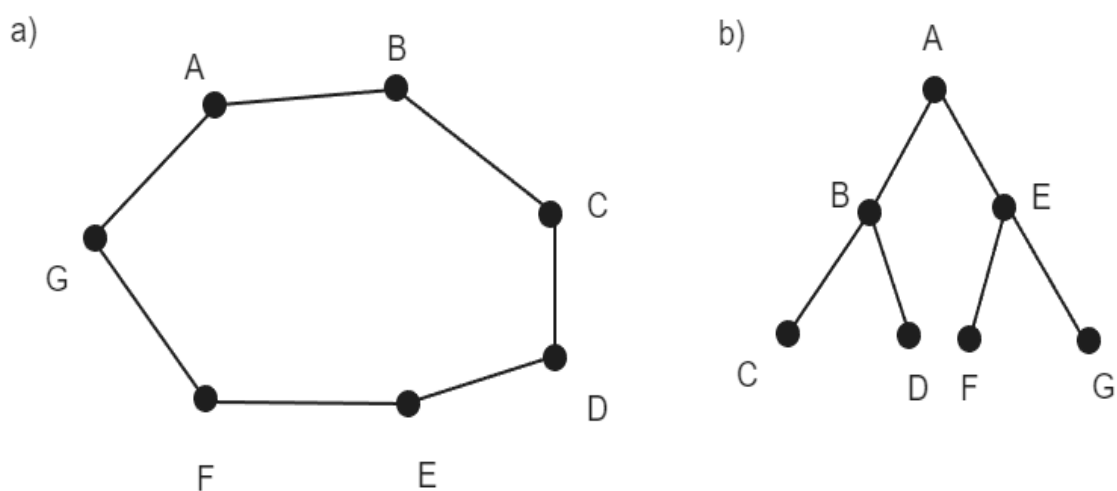
Još jedna interesantna distribucija stupnjeva je „scale-free“ distribucija koja se pojavljuje u mrežama prihoda, korištenja riječi, populacija gradova i stupnjeva čvorova. Ovakvu distribuciju opisuje  $P(d)=cd^{-\gamma}$  pri čemu je  $c$  skalar veći od 0.



### 3.5. Promjer i prosječna duljina puta

Promjer mreže jednak je duljini najduljeg geodezika u mreži. Promjer je mjera koja daje predodžbu o veličini mreže, ali može biti i zavaravajuća ukoliko se ne uzme u obzir i prosječna duljina puta. Na slici 3.2. prikazano je kako promjer može varirati ovisno o vrsti mreže.

Slika 3.2. – skica cirkularne mreže i binarnog stabla



Izvor: Jackson (2008.)

Cirkularna mreža u primjeru a) ima promjer duljine 3, dok je ujedno i regularna mreža u kojoj je stupanj svakog čvora jednak dva. S druge strane, prosječni stupanj čvorova u binarnom stablu u primjeru b) jednak je 1,71 i približava se iznosu od dva kako se broj čvorova povećava. Promjer ovog binarnog stabla je 2. Kada bi povećali broj čvorova u oba slučaja na 15, promjer cirkularne mreže bi se povećao na 7 dok bi se promjer binarnog stabla povećao na svega 3.

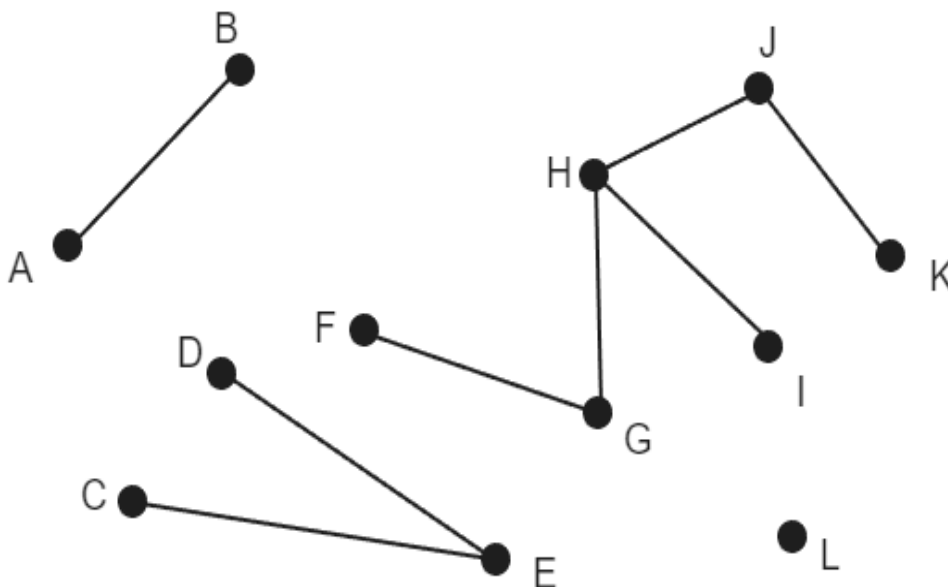
Formula za izračun promjera cirkularne mreže s  $n$  čvorova je  $n/2$  kad je  $n$  paran broj odnosno  $(n-1)/2$  kad je  $n$  neparan broj.

Formula za izračun promjera binarnog stabla s  $n$  čvorova je približno jednaka  $2 \log_2(n + 1) - 2$ .

Prosječna duljina puta predstavlja prosječnu duljinu svih geodezika u mreži i nikada ne može biti veća od promjera mreže.

Postoje i mreže koje nisu u potpunosti povezane, odnosno sastoje se od više odvojenih dijelova kao na slici 3.3.

Slika 3.3. – skica mreže s više komponenti



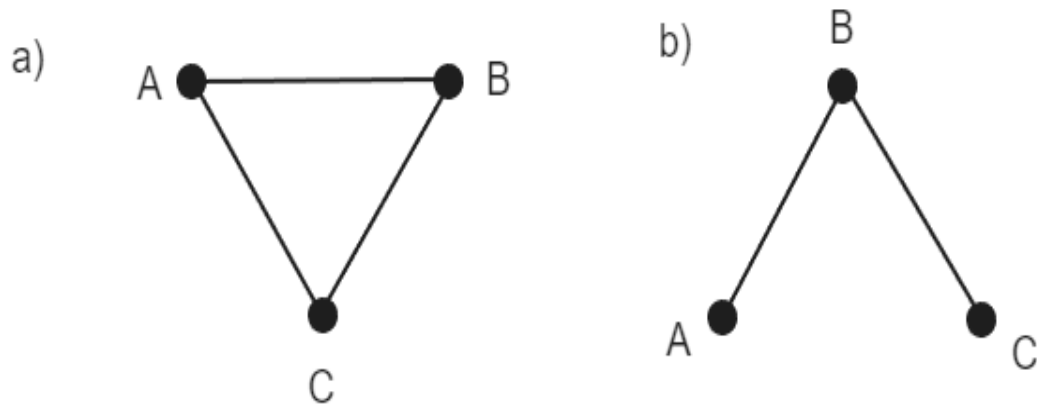
Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

U takvim slučajevima za promjer i prosječnu duljinu puta se najčešće uzimaju njihove vrijednosti iz najveće komponente mreže.

### 3.6. Grupiranost

Grupiranost je karakteristika mreža koja nam govori koliko su usko povezani, odnosno grupirani čvorovi u mreži. Grupu u mreži mogu tvoriti najmanje tri čvora, a tvore je ukoliko su sva tri međusobno povezana izravnim vezama. Ova karakteristika bitna je kod društvenih mreža. Recimo da je čvor A osoba koja na nekoj društvenoj mreži prati čvorove (osobe) B i C (B i C također prate A). Te tri osobe tvore grupu ukoliko se i B i C međusobno prate.

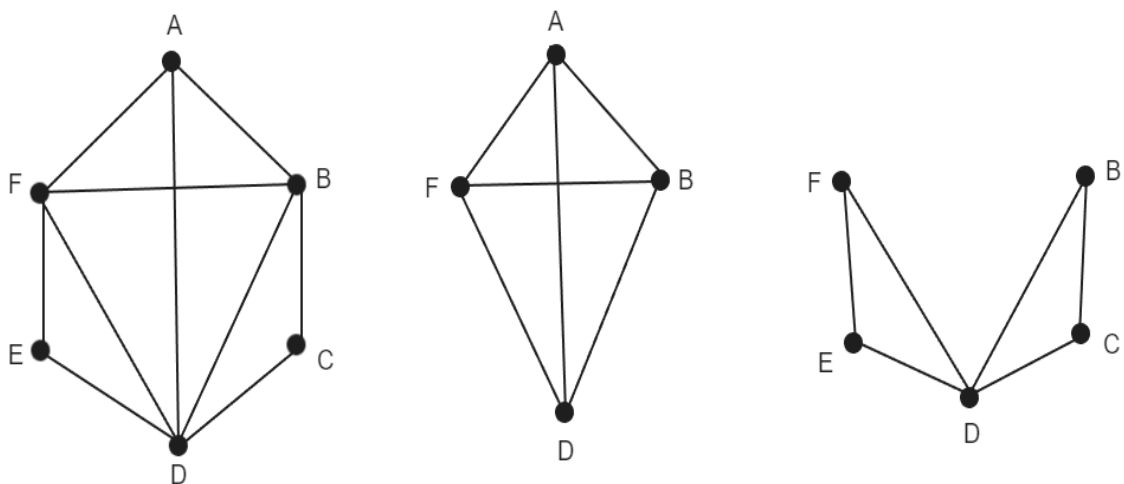
Slika 3.4. – grupe čvorova



Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

Na slici 3.4. u primjeru pod a) čvorovi A, B i C tvore grupu, dok u primjeru pod b) to nije slučaj.

Slika 3.5. – grupe čvorova



Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

Grupi može sačinjavati i više od tri čvora kao što je jasno vidljivo iz primjera na slici 3.5. Čvorovi A, B, D i F tvore jednu grupu od četiri člana u mreži dok B, C, D i D, E, F tvore dvije grupe od po tri člana.

Dakle, ako želimo izračunati ukupnu grupiranost neke mreže promatramo sve čvorove koji imaju dvije izravne veze i zatim provjeravamo jesu li čvorovi na kraju tih veza međusobno izravno povezani. Neka je početni čvor  $i$ , a čvorovi na kraju njegovih dviju izravnih veza  $j$  i  $k$ , tada je formula za ukupnu grupiranost mreže sljedeća:

$$Cl(g) = \frac{\sum_i \#\{jk \in g | k \neq j, j \in N_i(g), k \in N_i(g)\}}{\sum_i \#\{jk | k \neq j, j \in N_i(g), k \in N_i(g)\}} = \frac{\sum_{i;j \neq k; k \neq j; k \neq i} g_{ij} g_{ik} g_{jk}}{\sum_{i;j \neq k; k \neq j; k \neq i} g_{ij} g_{ik}} \quad (7)$$

Dakle,  $Cl(g)$  pokazuje koliko često, za svaki čvor  $i$  koji ima dvije izravne veze  $j$  i  $k$  su  $j$  i  $k$  međusobno izravno povezani.

Ukoliko želimo izračunati pojedinačnu grupiranost za čvor  $i$  promatramo sve parove čvorova  $j$  i  $k$  s kojima je  $i$  izravno povezan i provjeravamo koliko često su  $j$  i  $k$  međusobno izravno povezani:

$$Cl_i(g) = \frac{\#\{jk \in g | k \neq j, j \in N_i(g), k \in N_i(g)\}}{d_i(g)(d_i(g) - 1)/2} \quad (8)$$

Dok je prosječna grupiranost tada:

$$Cl^{Avg}(g) = \sum_i Cl_i(g)/n \quad (9)$$

Odnosno suma svih pojedinačnih grupiranosti podijeljena s brojem čvorova u mreži.

### 3.7. Centralnost

Dok su se prethodne mjere fokusirale i opisivale mreže u cjelini, valja naglasiti da centralnost opisuje karakteristike pojedinih čvorova, ali to nikako ne umanjuje njenu važnost u analizi mreža. Postoji nekoliko mjera centralnosti, a izrazito su bitne u opisivanju utjecaja, pregovaračke moći i prijenosa informacija kod pojedinih čvorova, te pri boljem shvaćanju ponašanja mreža u cjelini.

Mjere centralnosti Jackson (2008) razvrstava u četiri kategorije:

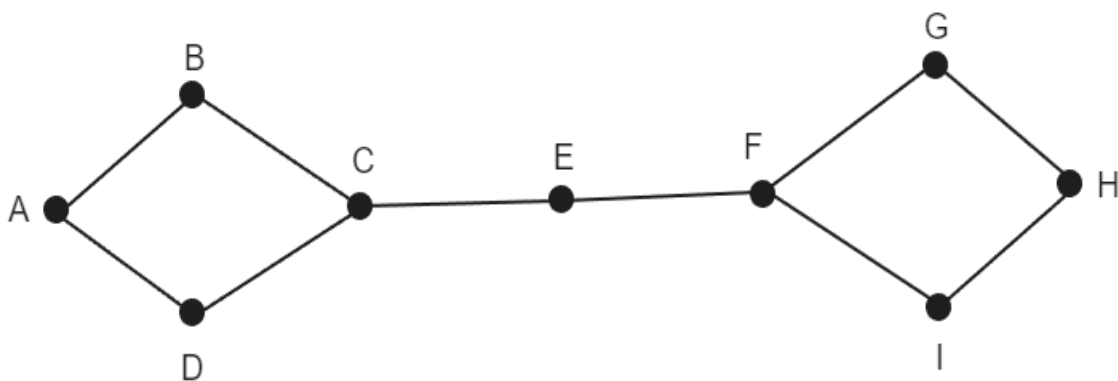
1. stupanj – koliko je čvor povezan s drugim čvorovima
2. bliskost – koliko lako čvor može doseći drugi čvor
3. posrednost – koliko je čvor bitan u povezivanju drugih čvorova
4. karakteristike susjeda – koliko su bitni, centralni i utjecajni susjedi nekog čvora.

#### 3.7.1. Stupanj centralnosti

Najjednostavnija mjera centralnosti koja naprosto ukazuje koliko izravnih veza pojedini čvor ima i računa se kao  $d_i(g)/(n - 1)$  i kreće se u vrijednosti od 0 do 1 gdje 1 znači da je izravno povezan sa svim čvorovima u mreži, a 0 da nema veza.

Ova mjera upravo zbog svoje jednostavnosti može biti zavaravajuća ukoliko se promatra sama za sebe što će biti opisano na primjeru slike 3.5.

Slika 3.5. – skica mreže



Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

Unatoč tome što čvor E ima svega dvije izravne veze evidentno je da ima ključnu ulogu u povezivanju lijeve i desne strane mreže. Kao što je opisivano na primjeru slike 2.1. na čvorove u slici iznad može se gledati kao na mrežu brakova među obiteljima i promatrati kako bi izgledalo činjenje usluga među njima. Lako se da zaključiti da svaka usluga koju čvorovi (obitelji) A, B, C, D trebaju od čvorova (obitelji) F, G, H, I i obrnuto, mora biti učinjena preko obitelji E. Čvor E udaljen je najviše tri veze bilo kojeg drugog čvora u mreži dok su svi ostali čvorovi udaljeni četiri ili više veza od barem jednog drugog čvora u mreži.

### 3.7.2. Bliskost

Upravo ono što je opisano na primjeru slike 3.5. predstavlja bliskost. Koliko je određeni čvor udaljen od ostalih čvorova u mreži. Prosječna udaljenost čvora  $i$  i ostalih čvorova  $j$  može se izračunati formulom  $\sum_{j \neq i} l(i, j)$  gdje  $l(i, j)$  predstavlja broj veza u geodeziku među čvorovima  $i$  i  $j$ .

### 3.7.3. Posrednost

Posrednost je mjera koja govori koliko je neki čvor bitan u povezivanju drugih čvorova.

To nas vraća na formulu koju smo koristili pri opisivanju važnosti obitelji Medici u mreži brakova firentinskih obitelji.

$$Ce_i^B(g) = \sum_{k \neq j: i \notin \{k, j\}} \frac{P_i(kj) / P(kj)}{(n-1)(n-2) / 2}$$

(10)

Kao što je ranije rečeno  $P(kj)$  je broj različitih geodzika koji povezuju čvor  $k$  s čvorom  $j$ , dok je  $P_i(kj)$  broj tih geodezika koji uključuju čvor  $i$ .  $Ce_i^B(g)$  tada predstavlja prosječnu bliskost čvora  $i$ , i kreće se u vrijednosti od 0 do 1 pri čemu 1 znači da  $i$  leži na svim geodezicima među svim parovima čvorova  $k$  i  $j$ , dok 0 znači da ne leži ni na jednom geodeziku među svim parovima ostalih čvorova u mreži.

#### 3.7.4. Karakteristike susjeda

Jednostavno rečeno, čvor je onoliko važan u mreži, koliko su važni njemu susjedni čvorovi (čvorovi s kojima je izravno povezan). Dakle, nije bitno samo s koliko čvorova je pojedini čvor povezan, na koliko geodezika među drugim čvorovima leži, i koliko su dugi geodezici koji ga povezuju sa svim drugim čvorovima, već i iste te karakteristike njegovih susjednih čvorova.

## 4. PROIZVODNE MREŽE

### 4.1. Što je proizvodna mreža?

Proizvodna mreža je mreža u kojoj čvorovi predstavljaju gospodarske sektore (ili poduzeća ukoliko se želi promatrati na detaljnijoj razini) nekog gospodarstva. Svi ti sektori u svojoj djelatnosti koriste inpute za proizvodnju svojih dobara, bilo da se radi o proizvodnji finalnih ili intermedijarnih dobara. Ukoliko neki sektor A koristi outpute nekog drugog sektora B kao input u vlastitoj proizvodnji, tada su oni povezani izravnom vezom. Ovisno o tome koristi li i B outpute sektora A veza će biti usmjerena (ako ne koristi) ili kanonska (ako koristi). Dakle, očito je da su proizvodne mreže dio svakog gospodarstva pa je bitno proučiti koja je njihova uloga. Kako bi odgovorili na to pitanje, treba prvo definirati neke komponente proizvodnih mreža.

### 4.2. Uzvodno i nizvodno (eng. upstream, downstream)

Ova dva pojma dolaze u paru, odnosno ne postoji uzvodno bez nizvodnog. Ukoliko neki čvor A u proizvodnoj mreži svojim outputima opskrbljuje čvor B koje ovaj koristi kao inpute, tada možemo reći da je A uzvodno čvora B, a B nizvodno čvora A. Nizvodno od čvora A ujedno su i svi čvorovi koji su u lancu opskrbe niže od čvora B.

Na slici 4.1. prikazana je usmjerena proizvodna mreža poduzeća u kojoj je svaki čvor nizvodno svih čvorova koji se nalaze iznad njega, te je svaki čvor uzvodno svih čvorova koji se nalaze ispod njega. Iznimka je čvor E koji nije nikome ni uzvodno ni nizvodno. Dakle, A je uzvodno svih ostalih čvorova (osim E) i nije nikome nizvodno, dok je D nizvodno svih ostalih čvorova (osim E) i nije nikome uzvodno.



Slika 4.1. – uzvodno i nizvodno



Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

U ovom slučaju čvor D predstavlja proizvođača čiji su outputi finalna dobra te stoga nije uzvodno nijednom poduzeću. Dakle, da bi čvorovi bili međusobno uzvodno i nizvodno jedan drugoga, ne moraju biti izravno povezani, ali među njima mora postojati put. Drugim riječima, uzvodno nekog čvora su svi njegovi izravni i neizravni dobavljači inputa, dok su nizvodno nekog čvora svi njegovi izravni i neizravni kupci koji koriste kupljene proizvode kao vlastite inpute.

#### 4.3. Šokovi i njihovo širenje

Zamislimo prije svega, gospodarstvo kao što je opisano u (Carvahlo,2014.) u kojem postoji  $n$  čvorova (proizvodnih sektora) koji su specijalizirani za proizvodnju različitih dobara. Ta dobra mogu se ujedno koristiti kao finalna dobra u kućanstvima, te kao intermedijarni inputi u proizvodnji drugih dobara. Radi pojednostavljenja, pretpostavke su da kućanstva imaju jednaku korist od svih dobara u gospodarstvu, da svoj rad neelastično stavljaju na raspolaganje proizvođačima dobara, te da cijelu

svoju plaću troše na kupnju tih dobara. Nadalje, pretpostavka je da su navedeni proizvodni sektori dobro opisani Cobb-Douglas funkcijom, a ukupni output sektora  $i$  tada je predstavljen jednadžbom:

$$x_i = (z_i l_i)^{1-\alpha} \left( \prod_{j=1}^n x_{ij}^{\omega_{ij}} \right)^\alpha$$

(11)

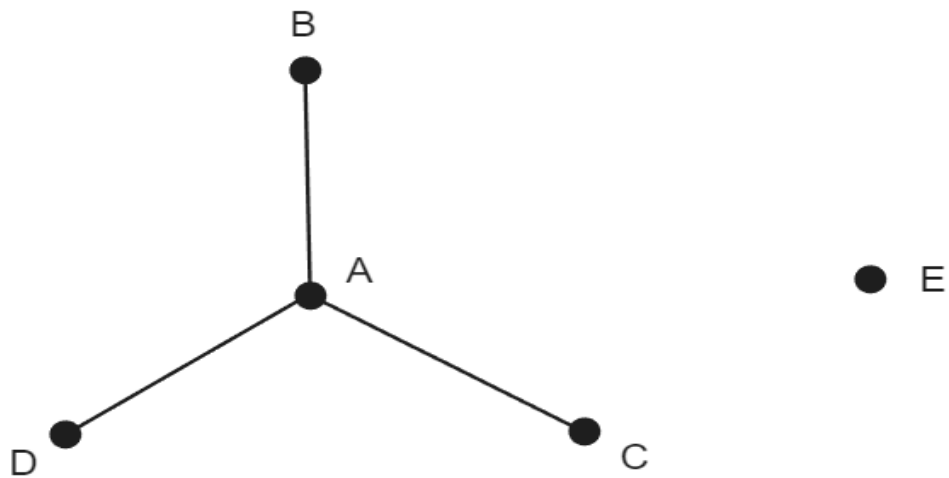
gdje  $l_i$  predstavlja količinu rada koju koristi sektor  $i$ , a  $1-\alpha$  udio rada u proizvodnji. Nadalje,  $z_i$  je nasumična varijabla koja predstavlja šokove lokalizirane na sektor  $i$ . Varijabla  $x_{ij}$  predstavlja količinu intermedijarnog dobra  $j$  koje se koristi u proizvodnji dobra  $i$ . Eksponent  $\omega_{ij} (\geq 0)$  udio dobra  $j$  u proizvodnji dobra  $i$ .

Za shvaćanje širenja šokova s jednog poduzeća na drugo ponovno će poslužiti slika 4.1. Neka je čvor A poduzeće koje se bavi proizvodnjom silicija, poduzeće B proizvodnjom tranzistora (rade se od silicija), poduzeće C proizvodnjom elektroničkih komponenti, a poduzeće D proizvodnjom računala. U slučaju da se dogodi tehnološki napredak u proizvodnji tranzistora (isti broj tranzistora se sada može proizvesti s manjom količinom silicija) to će smanjiti troškove proizvodnje poduzeća B. To će vjerojatno dovesti i do povećanja opsega proizvodnje tog poduzeća i smanjiti cijenu njegovih proizvoda (tranzistora). Smanjenje cijena tranzistora će se tada pozitivno odraziti na troškove poduzeća C koje će također povećati opseg svoje proizvodnje i sniziti cijenu proizvoda. Takav će biti i utjecaj ovog šoka na poduzeće D. Šok se neće odraziti na poduzeće E jer nije povezano s drugim poduzećima. Iako je poduzeće A uzvodno izvora šoka, ovaj šok će se svejedno odraziti na poduzeće. Ovisno o tome koliki će biti novi opseg proizvodnje poduzeća B, potražnja za silicijem može porasti, ali i smanjiti se. Efekt ovog tehnološkog napretka najjače će se odraziti na poduzeće B te sve slabije i slabije na sva ostala poduzeća u lancu opskrbe ovisno o njihovoj udaljenosti od izvora šoka.

U prethodnom slučaju radilo se o usmjerenj linjskoj mreži, no kao što je rečeno i prikazano u potpoglavlju 2.1.5. postoji mnogo različitih oblika mreža kroz koje se šokovi šire na različite načine.

Pogledajmo za usporedbu kako bi to izgledalo u kanonskoj mreži zvjezdastog oblika s jednakim brojem čvorova kao u prethodnom primjeru.

Slika 4.2. – zvjezdasta mreža



Izvor: autorski rad temeljem Jackson (2008.)

U ovom slučaju poduzeće A je dobavljač svim ostalim poduzećima (osim E), ali sva ostala poduzeća (osim E) su ujedno i dobavljači poduzeću A. To znači, da ukoliko dođe do šoka (neka i u ovom primjeru bude pozitivan) kod poduzeća A, on će se izravno odraziti i na ostala tri poduzeća u lancu opskrbe tako što će smanjiti njihove troškove nabave. Osim toga šok će se odraziti i neizravno s vanjskih poduzeća (B, C i D) na poduzeće A, te preko njega ponovo na ostala vanjska poduzeća.

Dakle, poduzeće A u ovom slučaju djeluje kao žarište u ovoj mreži (eng. „hub“) te ima neizravan efekt na sva ostala poduzeća, dok ujedno djeluje i kao prijenosnik efekta šokova ukoliko je izvor šoka neko od vanjskih poduzeća.

Iako šok zvuči kao nešto loše na prethodnim primjerima pokazano je kako njihov utjecaj ne mora nužno biti negativan. Dakle, postoje razni pozitivni šokovi kao što su tehnološki napredak, razne inovacije u pogledu novih organizacijskih mogućnosti, otvaranja novih tržišta, novih proizvoda itd. dok negativni šokovi mogu biti prirodne katastrofe (pandemija, cunami, uragan, potres, itd.), slomovi burzi i brojni drugi.

Šokove također možemo svrstati na one koji nastaju na strani ponude te one koji nastaju na strani potražnje. Uz pretpostavke iznesene na početku ovog potpoglavlja, šokovi na strani ponude rezultirat

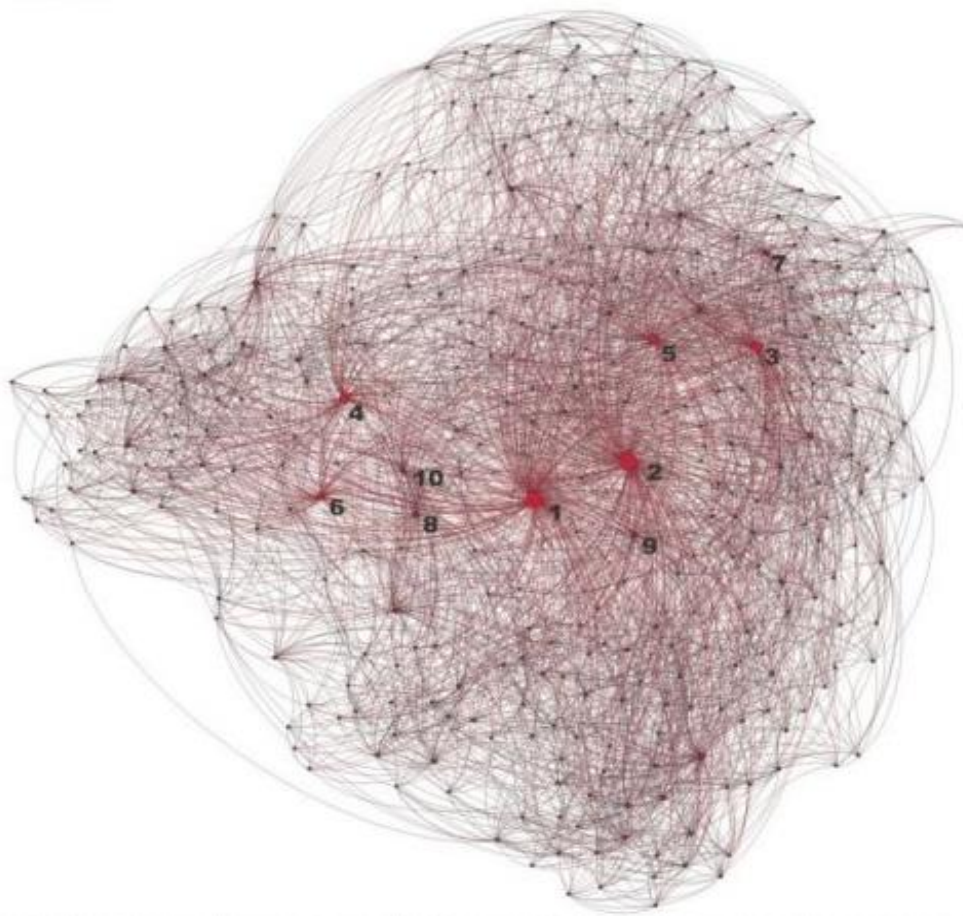
će širenjem utjecaja nizvodno od čvora koji je izvor šoka, dok će šokovi nastali na strani potražnje rezultirati širenjem utjecaja uzvodno od čvora koji je izvor šoka.

U Huremovic i suradnici (2020), pokazano je širenje bankarskog šoka kroz financijski sektor na podacima iz Španjolske. Efekt tog šoka zbog uzvodnog i nizvodnog širenja na poduzeća bio je čak tri puta veći od izravnog efekta šoka na izložena poduzeća.

#### 4.4. Prikupljanje podataka o proizvodnim mrežama

Ranije opisani šokovi prikazani su na primjeru stiliziranih mreža sa svega četiri čvora. Nameće se pitanje kako pratiti utjecaj šokova u stvarnim mrežama koje imaju na desetke, ili čak stotine čvorova kao u primjeru na slici 4.3.

Slika 4.3. – input-output podatci iz 2002. za sektore gospodarstva SAD-a



Izvor: Carvalho (2014)

U SAD-u podatke sa slike iznad prikuplja BEA (Bureau of Economic Analysis). (Carvalho, Tahbaz-Salehei, 2019.) Čvorovi na slici prikazuju različite sektore gospodarstva.

Na tim podacima, Carvalho (2010, 2014) te Acemoglu i suradnici (2012) pokazali su da ključnu ulogu u toj mreži ima nekoliko žarišta koja predstavljaju opće namjenske industrije koje su dobavljači većini ostalih sektora. Nadalje, iako većina sektora nije međusobno izravno povezana, neizravno ih spajaju žarišta, što dovodi do malog promjera mreže i niske prosječne duljine puta. Također, potvrđena je pretpostavka da isprepletenost sektora potiče širenje lokaliziranih šokova kroz mrežu.

STAN (Structural Analysis) Database prikuplja input-output podatke za 47 različitih industrija zemalja članica OECD-a. (Carvalho i Tahbaz-Salehei, 2019.)

Global Trade Analysis prikuplja navedene podatke i kod slabije razvijenih zemalja. (Carvalho, Tahbaz-Salehei, 2019.)

Istraživanja podataka STAN-a i GTA-a u skladu su s rezultatima navedenih istraživanja na podacima iz SAD-a.

Proteklih godina, sve su dostupniji postali dotični podaci na razini poduzeća, a jedna od najvećih takvih baza podataka je ona japanske agencije Tokyo Shoko Research koja sadrži informacije o otprilike milijun poduzeća.

U Hrvatskoj, podatke o domaćem trgovanju prikuplja Porezna uprava; Ministarstvo financija Republike Hrvatske preko ulaznih računa pojedinih poduzeća, dok se podaci o inozemnom trgovanju unutar i izvan Europske unije prate preko Carinske uprave Republike Hrvatske. Podatke Carinske uprave Republike Hrvatske prikuplja i organizira Državni zavod za statistiku (DZS). Iako navedeni podatci nisu javno dostupni, DZS ih može ustupiti za potrebe znanstvenih istraživanja, kao što je u slučaju rada Baumgartner i suradnici, (2023) gdje je DZS ustupio istraživačima detaljne podatke o uvozu i izvozu proizvoda hrvatskih poduzeća.

U Belgiji su također dostupni podaci na razini poduzeća zahvaljujući tome što su ona dužna bilježiti transakcije s drugim poduzećima ukoliko su oba u sustavu PDV-a. (Carvalho, Tahbaz-Salehei, 2019.)

## 5. ZAKLJUČAK

Pokazano je u radu, kako i na koji način se šokovi šire kroz mrežu, te da se taj efekt ovisno o izgledu mreže može i pojačati. Proizvodne mreže dio su svakog gospodarstva, a širenje se šokova kroz njih odražava na aktere tih gospodarstava. Stoga je bitno nastaviti njihova istraživanja, mjerenja, i analizu. Intenzivna istraživanja i proučavanja mreža kroz zadnjih desetak godina dovela su do njihovog boljeg razumijevanja. Unatoč tome, ostaje još mnogo toga za istražiti i u budućnosti, nastojati razviti modele koji će moći precizno predvidjeti širenje i efekt nekog lokaliziranog šoka na ostatak mreže.

## LITERATURA

Acemoglu D, Carvalho VM, Ozdaglar A, Tahbaz-Salehi A. (2012). The network origins of aggregate fluctuations. *Econometrica* 80: 1977–2016

Baumgartner, C., Srhoj, S., & Walde, J. (2023). Harmonization of product classifications: A consistent time series of economic trade activities. *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, (0)

Carvalho VM. (2010). Aggregate fluctuations and the network structure of intersectoral trade. Work. Pap. 1206, Dep. Econ. Bus., Univ. Pompeu Fabra, Barcelona, Spain

Carvalho VM. (2014). From micro to macro via production networks. *J. Econ. Perspect.* 28: 23–48

Carvalho, Vasco M.; Tahbaz-Salehi, Alireza. *Annual Review of Economics*, 02 Aug 2019, 635 - 663

Huremovic, Kenan; Jiménez, Gabriel; Moral-Benito, Enrique; VegaRedondo, Fernando; Peydró, José-Luis (2020) : Production and financial networks in interplay: Crisis evidence from supplier-customer and credit registers, ZBW – Leibniz Information Centre for Economics, Kiel, Hamburg

Jackson, M. O. (2008). *Social and economic networks*. Princeton University Press. 3-40

Padgett, J. F., & Ansell, C. K. (1993). Robust Action and the Rise of the Medici, 1400-1434. *American Journal of Sociology*, 98(6), 1259–1319.

Zelenika, R. (1990). *Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog djela*. Rijeka: Partizanska knjiga – Ljubljana, Radna jedinica u Rijeci 323-329

## SAŽETAK

Cilj rada bio je istražiti i upoznati se sa mrežama općenito i njihovim alatima za analizu, a zatim i sa proizvodnim mrežama. U ovom radu opisane su mreže i njihovi osnovni elementi, karakteristike i oblici. Nadalje, predstavljeni su i objašnjeni prikladni alati za mjerenje, opisivanje i analizu istih. Zatim su pobliže pojašnjene proizvodne mreže i širenje lokaliziranih šokova kroz proizvodne mreže na gospodarstvo. Završni rad nudi nekoliko primjera istraživanja izvan Republike Hrvatske o šokovima i učincima šokova nakon širenja kroz proizvodnu mrežu. Konačno, navedene su osnovne informacije o dostupnim podacima za proučavanje proizvodnih mreža i organizacijama koje ih mogu ustupiti.

Ključne riječi: proizvodne mreže; alati za analizu mreža; širenje šokova kroz mrežu

## SUMMARY

The aim of this paper was to review the concept of networks, tools for their analysis and production networks in particular. First, networks were described alongside their basic elements, characteristics and shapes. Furthermore, adequate tools for measuring and analyzing networks were presented and explained. Next, production networks and the effect of propagation of shocks throughout the networks were closely described. This paper offers several examples of such propagations in foreign countries. Lastly, basic information was given about available data for research on production networks and about organizations and agencies that gather such data.

Keywords: production networks; tools for network analysis; propagation of shocks through the networks