

MREŽNA ANALIZA NAUČNE KOLABORACIJE ZAPOSLENIH NA ELEKTROTEHNIČKOM FAKULTETU U BEOGRADU NA OSNOVU INSTITUCIONALNE EVIDENCIJE OBJAVLJENIH RADOVA

Dragana Milovančević¹, Marko Mišić², Jelica Protić³

^{1,2,3}Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija

¹dragana.m@etf.bg.ac.rs, ²marko.misic@etf.bg.ac.rs, ³jelica.protic@etf.bg.ac.rs

Kratak sadržaj: U ovom radu je prikazana analiza naučne kolaboracije zaposlenih na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu korišćenjem metoda za obradu socijalnih mreža. Na osnovu podataka iz institucionalne baze izdvojeno je 4045 radova u periodu 2000-2016. godine. Nakon pripremne obrade i preliminarne bibliometrijske analize, izvršeno je modelovanje koautorske socijalne mreže, kako bi se analizirale veze međusobne naučne saradnje katedri i pojedinaca zaposlenih na Fakultetu. Uzimajući u obzir da je oblast elektrotehnike i računarstva veoma dinamična, kao i da je podela po katedrama tradicionalna, na ovaj način je utvrđeno koliko je takva podela u skladu sa realnom povezanošću istraživača u naučnoj kolaboraciji.

Ključne reči: koautorske mreže, analiza socijalnih mreža, naukometrija, vizuelizacija, naučni radovi

NETWORK ANALYSIS OF SCIENTIFIC COLLABORATION BETWEEN THE EMPLOYEES OF THE SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING IN BELGRADE BASED ON INSTITUTIONAL RECORDS OF PUBLISHED PAPERS

Abstract: This paper presents an analysis of the scientific collaboration of employees at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade using the methods for the processing of social networks. Based on data from the institutional database, 4045 papers were extracted from the period 2000-2016. After the preprocessing and the preliminary bibliometric analysis, the modeling of the coauthor social network was carried out, in order to analyze the links between faculty members and departments of the School, expressed by scientific collaboration and co-authorship. Taking into account that the fields of electrical engineering and computing are very dynamic, and that the division by the departments is traditional, it was investigated how such a division corresponds to the real connections between researchers in scientific collaboration.

Key Words: co-authorship networks, social network analysis, scientometrics, visualisation, scientific papers

1. UVOD

Naučna produkcija pojedinaca i institucija postala je u prethodnom periodu najznačajniji faktor napredovanja u akademskom okruženju, odobravanja i evaluacije projekata, kao i akreditacije doktorskih studija. Na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu naučni rad odvija se u okviru većeg broja užih naučnih oblasti, dok su nastavnici i saradnici organizovani po katedrama. U ovom radu je analizirana naučna produkcija koja se odnosi na radove u časopisima i radove na međunarodnim i domaćim naučnim konferencijama, objavljene u periodu od 2000. do 2016. godine. Analizirano je ukupno 4045 radova. Podaci za analizu dobijeni su izvozom podataka iz baze fakultetskog informacionog sistema FIS, gde radove unose sami zaposleni. Na osnovu dobijenih podataka, nakon pripremne obrade i preliminarne bibliometrijske analize, izvršeno je modelovanje koautorske socijalne mreže. Uzeti su u obzir samo koautori koji su članovi katedri Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, bez koautora van ove institucije, kako bi se analizirale veze međusobne naučne saradnje katedri i pojedinaca zaposlenih na Fakultetu. Identifikovano je 253 nastavnika i saradnika, koji su tokom posmatranog perioda bili zaposleni na nekoj od 10 katedri. Slična analiza je sprovedena i na nivou Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu i njegovih pet departmana [1].

U radu je prikazana analiza koautorske mreže korišćenjem metoda za obradu socijalnih mreža i vizuelizacija grafa kojim se mreža modeluje. Ispitivanjem osnovnih svojstava mreže i određivanjem mera centralnosti ispitano je u kojoj meri je mreža povezana i centralizovana, utvrđen prosečan broj koautora po svakom naučniku, a analizirana je i produktivnost naučnika na fakultetu po vrstama radova. Na osnovu mera centralnosti, kao što su centralnost po stepenu, relaciona centralnost i centralnost po bliskosti, definisane su uloge pojedinih istaknutih čvorova u mreži. Primenom metoda za klasterizaciju, posebno su ispitane karakteristike kolaboracije unutar katedri, a takođe je analizirana međukatedarska saradnja.

Rad je podeljen na četiri poglavlja. U drugom poglavlju je detaljnije opisana obrada podataka koji su od interesa za modelovanje mreže. U trećem poglavlju je izložena analiza i vizuelizacija dobijene mreže. Četvrto poglavlje je zaključak u kome se navode najznačajniji rezultati i planovi za dalji rad.

2. PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA

Kako bi bila sprovedena analiza naučne produkcije, potrebno je najpre prikupiti informacije o publikovanim radovima, a zatim ih obraditi u skladu sa ciljevima analize. Već u ovoj ranoj fazi analize treba napraviti nekoliko bitnih odluka od kojih zavisi ostatak istraživanja, i rešiti brojne usputne probleme. O značaju prikupljanja i obrade bibliografskih podataka i problemima koji se javljaju u ovoj fazi govori veliki broj naučnih radova [2][3].

Podaci za analizu dobijeni su izvozom podataka iz baze fakultetskog informacionog sistema, koja se permanentno ažurira unošenjem naučnih rezultata od strane samih korisnika sistema, kroz odgovarajuće forme i procedure kojima se izbegava višestruki unos istog rada. Obrada dobijenih podataka podrazumeva odstranjivanje suvišnih podataka i uniformisan prikaz odabranih potrebnih podataka. Nakon preliminarne obrade pomoću MS Excel alata i brisanja suvišnih dodatnih informacija o radovima, dalja obrada obavljena je pomoću odgovarajućih skripti pisanih na programskom jeziku Python.

Kako su od interesa samo autori koji pripadaju nekoj katedri Elektrotehničkog fakulteta, bilo je neophodno za svakog autora proveriti da li se nalazi na listi zaposlenih. S obzirom na fluktuaciju zaposlenih na fakultetu i promenu njihovog statusa u posmatranom periodu, obezbeđivanje podataka o pripadnosti zaposlenih katedrama je zahtevalo dodatnu obradu. Prilikom unosa radova, korisnik sistema može birati koautore sa liste zaposlenih na Elektrotehničkom fakultetu ili unositi ime koautora koji nije zaposlen na fakultetu. Generalno, ovakav pristup može prouzrokovati probleme ukoliko postoje autori sa istim imenom, a mogu se dogoditi i greške ukoliko za nekog zaposlenog, korisnik ipak unese podatke kao da je autor van fakulteta, što se vrši unosom slobodnog teksta. Neki od problema koje je bilo potrebno rešiti su nepotpuna uneta imena autora (navedeno samo prvo slovo imena, sa ili bez tačke, i prezime), korišćenje različitih pisama (ćirilica i latinica), višak blanko znakova. Takođe, u FIS-u se na različit način tretira unos radova u časopisima i na konferencijama. Časopisi se biraju sa unapred definisane liste, dok se imena konferencija unose kao slobodan tekst, pa se može pojaviti veći broj imena za istu konferenciju. Prilikom pretraživanja autora u listi zaposlenih, posebno se evidentiraju neuspešne pretrage, kako bi se utvrdilo da li se radi o grešci prilikom unosa imena, ili je reč o autoru van Fakulteta. Na ovaj način se otkrivaju česti alternativni načini unosa imena autora. Primer ulaznih podataka dobijenih iz fakultetske baze, sa nekim od nabrojanih problematičnih unosa, dat je u Tabeli 1.

Tabela 11. Primer ulaznih podataka dobijenih iz fakultetske baze

id_naucni_rad	autori	autori_publ_imena
4119	Nandor Burany, Laszlo Huber, Предраг Пејовић	N. Burany, L. Huber, P. Pejović
702855	Igor Simic, Aleksa Zejak, Мирослав Дукић	I. Simic, A. Zejak, M. Dukić
677505	Миљко Ерић, D. Vucic	M. Erić, D. Vucic

3. MODELOVANJE I ANALIZA MREŽE

Prikupljeni i obrađeni podaci koriste se za formiranje koautorske mreže, koja se dalje analizira na osnovu teorije mreža i metrika karakterističnih za socijalne mreže. Mreža se predstavlja preko skupa čvorova koji opisuju aktere u okviru socijalne mreže i grana koje predstavljaju socijalne relacije. Čvorovi mreže su naučnici – nastavnici i saradnici zaposleni na fakultetu. Dva naučnika su povezana ako su napisala bar jedan rad zajedno, pri čemu težinu grane predstavlja broj zajedničkih radova. Kako ova relacija važi u oba smera, radi se o neusmerenoj mreži.

Za analizu i vizuelizaciju formirane mreže korišćen je alat Gephi čija je glavna primena analiza socijalnih mreža [4]. Najpre su integralno razmatrani radovi objavljeni u časopisima, domaćim i stranim konferencijama, a zatim odvojeno radovi objavljeni u časopisima i radovi sa konferencija, u istom posmatranom periodu. Pregled osnovnih svojstava mreže za sve navedene kategorije radova dat je u Tabeli 2.

Tabela 12. Osnovna svojstva mreže

	Broj grana	Broj povezanih komponenti	Gustina mreže	Dijametar mreže	Prosečna dužina putanja	Prosečan stepen čvora	Maksimalan stepen čvora
Svi radovi	608	44	0.019	10	4.117	4.806	19
Radovi u časopisima	412	67	0.013	13	4.998	3.257	15
Radovi sa konferencija	436	71	0.014	14	4.769	3.447	18

Ukupan broj čvorova je u sva tri slučaja jednak broju nastavnika i saradnika na Fakultetu u posmatranom periodu i iznosi 253. Već na osnovu broja grana može se zaključiti da je saradnja među naučnicima nešto veća u slučaju radova sa konferencija. Od 44 povezane komponente u mreži koja uključuje podatke o svim radovima, 42 predstavljaju pojedinačne naučnike, koji nemaju prijavljenih objavljenih radova (33 naučnika) ili su jedini autor sa Fakulteta na svim svojim objavljenim radovima (9 naučnika). Od preostale dve povezane komponente, jedna je veličine dva čvora (sa Katedre za opšte obrazovanje), dok drugu čini ostatak zaposlenih (209). Gustina mreže je

dobar pokazatelj povezanosti mreže, a računa se kao količnik ukupnog i maksimalnog mogućeg broja grana u mreži. Imajući u vidu da su u mreži prisutni i naučnici koji nemaju objavljenih radova, pa samim tim i nemaju veze ka ostatku mreže, vrednosti ovog parametra su opravdano male. Dijametar mreže jednak je najdužoj od svih najkraćih putanja u mreži između parova čvorova. Vrednost 10 govori da bilo koja dva naučnika unutar najveće povezane komponente razdvaja najviše devetoro drugih. Stepent čvora govori o broju naučnika sa kojima posmatrani naučnik ima bar jedan objavljeni rad. Pregledom osnovnih svojstava mreže potvrđuje se da je saradnja veća u slučaju radova sa konferencija – kraća prosečna dužina putanja i veći prosečan i maksimalan stepen čvora.

Temeljnijom analizom uočene su značajne razlike za ove tri mreže. Naučnik koji ima maksimalni stepen u slučaju kada su razmatrani samo radovi objavljeni u časopisima (stepen 15), u slučaju kada su razmatrani samo radovi sa konferencija ima stepen manji od prosečnog (stepen 3). Takođe, naučnik koji ima maksimalni stepen u slučaju kada su razmatrani samo radovi sa konferencija (stepen 18), nije ni među prvih 10 u slučaju kada su razmatrani samo radovi u časopisima (stepen 6). Ove razlike mogu se objasniti ako se uzmu u obzir oblasti istraživanja kojima radovi pripadaju, pripadnost katedri, kao i trajanje perioda objavljivanja radova. Prvi pomenuti naučnik je akademik sa Katedre za opštu elektrotehniku i pretežno objavljuje radove u časopisima, dok je drugi asistent na Katedri za računarsku tehniku i informatiku koji intenzivno sarađuje sa većim brojem kolega.

Dalja analiza bavi se pojedinačnim katedrama Fakulteta i utvrđivanjem svojstava mreže za svaku od njih. Za katedre je formirana mreža na isti način kao i za čitav fakultet, za sve objavljene radove, pri čemu su posmatrani samo zaposleni na odgovarajućoj katedri. Broj čvorova predstavlja ukupan broj zaposlenih na posmatranoj katedri. Pregled osnovnih svojstava mreže za sve pojedinačne katedre Fakulteta dat je u Tabeli 3.

Tabela 13. Svojstva mreža koje modeluju pojedinačne katedre

Katedra	Broj čvorova	Broj grana	Gustina mreže	Dijametar mreže	Pros. dužina putanja	Pros. stepen čvora	Maks. stepen čvora	Broj klastera
Elektroenergetski sistemi (EES)	25	75	0.25	4	1.938	6	14	4
Elektronika (EL)	23	36	0.142	5	2.32	3.13	10	4
Energetski pretvarači i pogoni (EPP)	22	31	0.134	6	2.515	2.818	8	3
Mikroelektronika i tehnička fizika (MTF)	32	40	0.081	4	1.922	2.5	6	5
Opšte obrazovanje (OO)	11	1	0.018	1	1	0.182	1	1
Opšta elektrotehnika (OET)	16	41	0.342	4	1.545	5.125	9	4
Primenjena matematika (MAT)	19	9	0.053	5	2.286	0.947	3	2
Računarska tehnika i informatika (RTI)	42	107	0.124	4	2.134	5.095	16	4
Signali i sistemi (SIS)	26	53	0.163	6	2.506	4.077	10	6
Telekomunikacije (TEL)	37	59	0.089	8	3.301	3.189	9	6

Primetno je da katedre koje se ističu po maksimalnom stepenu čvora takođe imaju i visok prosečan stepen čvora. Ovo pokazuje da te katedre ne karakterišu samo istaknuti pojedinci, već je kod njih prisutna i generalno dobra saradnja među naučnicima. Distance za mreže pojedinačnih katedri su znatno manje od distanci mreže čitavog fakulteta, i katedarske mreže su značajno gušće od fakultetske mreže, što je dobar nagoveštaj da podela po katedrama odgovara uočenim kolaboracijama među naučnicima. Izuzetak je Katedra za TEL, koja se ističe po velikim vrednostima distanci. Dijametar mreže za ovu katedru je tek nešto manji od dijametra mreže čitavog fakulteta, dok i prosečna dužina putanja ima najveću vrednost za ovu katedru. U tabeli su takođe prikazani i podaci o detektovanim klasterima u okviru svake katedre, pri čemu su navedeni samo klasteri čija je veličina veća od jedan. Za klasterizaciju je korišćena metoda maksimizacije modularnosti koja je dostupna u okviru alata Gephi. Ova analiza pokazuje pojavu manjih istraživačkih grupa na svim katedrama, okupljenih oko istaknutih pojedinaca.

Na osnovu ukupnog broja grana u fakultetskom grafu i sume broja grana po katedrama zaključuje se da je broj grana koje povezuju naučnike koji pripadaju različitim katedrama jednak 156, što je više od broja grana na bilo kojoj pojedinačnoj katedri. Ipak, primećuje se da najveći broj međukatedarskih veza postoji između Katedri za TEL, SIS i EL koje su nekada povezane u okviru Odseka za elektroniku, telekomunikacije i automatiku. Takođe, može se primetiti da se članovi pomenutih katedri bave zajedničkom oblašću obrade signala. Ove veze su od posebnog značaja, pošto govore o povezanosti i saradnji katedri Fakulteta.

U daljoj analizi pojednostavićemo fakultetsku mrežu grupisanjem svih čvorova fakultetskog grafa koji pripadaju istoj katedri, radi boljeg prikaza ovih veza i dalje analize položaja pojedinačnih katedri u toj mreži. Slika 1 prikazuje fakultetsku mrežu čiji su čvorovi katedre fakulteta, a grane između čvorova označavaju da postoji makar jedan rad čiji autori pripadaju katedrama koje odgovarajuće grane povezuju. Uz svaki čvor naznačeno je koju katedru predstavlja, dok veličina čvora označava stepen čvora. Debljina linije govori o težini odgovarajuće grane, pri čemu ta težina zavisi od broja zajednički objavljenih radova.



Slika 9. Graf međukatedarske saradnje

Dok je dijametar mreže Katedre za SIS nešto veći od prosečnog, iz mreže međukatedarske saradnje primetno je da je ona dobro povezana i sa ostatkom fakulteta. Katedra za OO, koja ima najmanji broj veza među svojim zaposlenima, najslabije je povezana sa ostatkom mreže, što je i logično. Malu težinu ima i grana između Katedre za SIS i Katedre za MAT. Najveću težinu ima grana između Katedre za TEL i Katedre za OET koja se bavi mikrotalasnom tehnikom i antenama u okviru oblasti telekomunikacija. Ako se pored broja suseda sa kojima je određena katedra povezana uračuna i težina grana, prednjače upravo Katedra za TEL i Katedra za OET, dok u ovom slučaju Katedra za SIS zauzima tek peto mesto. Primećuje se da Katedra za RTI nema nijednu vezu sa Katedrama za EES i EPP, što govori o udaljenosti naučnih oblasti kojima se one bave.

Mere centralnosti imaju značajnu ulogu u analizi socijalnih mreža, a doprinose razumevanju položaja pojedinačnih aktera u mreži. Centralnost po stepenu (*degree centrality*) određuje se kao broj direktnih suseda svakog čvora u mreži, ne uzimajući u obzir poziciju čvora u mreži. Veći čvorovi imaju veću centralnost po stepenu. U prikazanoj mreži maksimalnu centralnost po stepenu ima Katedra za SIS, koja je povezana sa osam od preostalih devet katedri Fakulteta. Minimalnu centralnost po stepenu ima Katedra za OO, sa samo dve veze, koja je i jedina koja nema vezu sa Katedrom za SIS. Centralnost po bliskosti (*closeness centrality*) daje informaciju o prosečnoj udaljenosti čvora od svih ostalih čvorova sa kojima je povezan. Ova mera centralnosti takođe blago favorizuje Katedru za SIS. Čvorovi sa višim vrednostima relacione centralnosti (*betweenness centrality*) nalaze se na većem broju najkraćih putanja. Tamniji čvorovi na slici imaju veću relacionu centralnost. Najveću relacionu centralnost ima Katedra za RTI, dok je Katedra za SIS po ovom kriterijumu na trećem mestu.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana analiza koautorske socijalne mreže na primeru naučne produkcije zaposlenih na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Određivanjem osnovnih svojstava mreže i mera centralnosti ispitano je u kojoj meri su katedre fakulteta povezane, kao i koje su karakteristike saradnje na pojedinačnim katedrama. Analiza pokazuje da je saradnja među katedrama uglavnom uslovljena srodnošću oblasti kojima se one bave, ali i njihovim istorijskim i strukturnim vezama, kao i socijalnim vezama između pojedinaca. Dalji rad se može usmeriti ka uparivanju naučnih oblasti časopisa i katedri kojima autori pripadaju, analizi kolaboracije sa autorima van Fakulteta, kao i poređenju podataka sa respektabilnim indeksnim bazama, poput *Scopus*-a i *WoS*-a. Dobijeni rezultati bi bili od značaja za dalje unapređenje naučne produkcije i saradnje na Fakultetu.

5. LITERATURA

- [1] M. Savić, M. Ivanović, B. Dimić Surla, *Analysis of intra-institutional research collaboration: a case of a Serbian faculty of sciences*, *Scientometrics*, 110.1, 2017., pp. 195-216.
- [2] S. Purić, U. Romić, J. Protić, M. Popović, *Mogućnosti i ograničenja izdvajanja liste naučnih radova zaposlenih iz raspoloživih izvora na primeru Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu*, XXI skup Trendovi razvoja, Zlatibor, Srbija, Feb. 2015., pp. 98-102.
- [3] D. De Stefano, G. Giordano, M.P. Vitale, *Issues in the analysis of co-authorship networks*, *Quality & Quantity*, Vol. 45, No. 5, 2011., pp. 1091-1107.
- [4] M. Bastian, S. Heymann, M. Jacomy, *Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks*, *Icswm* 8, 2009., pp. 361-362.