

## MODELOVANJE NEIZVESNOSTI PRI UPRAVLJANJU PROJEKTIMA U POŠTI SRBIJE PRIMENOM BAJESOVSKIH MREŽA

Milan Božić<sup>1</sup>, Nataša Glišović<sup>2</sup>, Miloš Milenković<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Matematički fakultet u Beogradu

<sup>2</sup>Matematički institut Srpske akademije nauka i umetnosti

<sup>3</sup>Saobraćajni fakultet u Beogradu

**Sadržaj:** *Upravljanje projektima je vrlo složen proces s obzirom na to da uvek sadrži neizvesnost. Osnovni ulazi (vreme, trošak i resursi potrebni za realizaciju pojedinih aktivnosti) nisu deterministički i pod uticajem su različitih izvora neizvesnosti. Osim toga, postoji kauzalni odnos između pomenutih neizvesnosti i parametara projekta. U ovom radu primenjen je koncept Bajesovskih mreža za modelovanje neizvesnosti i kauzalnosti pri upravljanju projektima. Validnost predloženog pristupa testirana je na primeru projekta uvođenja franšizinga u JP PTT saobraćaja “Srbija”.*

**Ključne reči:** *upravljanje projektima, neizvesnost, Bajesovske mreže*

### 1. Uvod

Rizik predstavlja neminovnost pri realizaciji projekta. Upravljanje rizikom je postao važan deo upravljanja projektima. Premda u literaturi postoji veliki broj tehnika, upravljanje rizikom projekta se ubrzano razvija i upravljanje neizvesnostima u složenim projektima još uvek predstavlja izazov.

Važna komponenta upravljanja rizikom projekta je analiza rizika. Takođe poznata i kao kvantifikacija rizika, analiza rizika se zasniva na merenju rizika i njihovih uticaja na različite parametre projekta (vreme, trošak i kvalitet). Najranija istraživanja koja se odnose na neizvesnost/rizik u raspoređivanju projektnih aktivnosti sprovedena su polovinom prošlog veka ([1], [2]). Od tad je veliki broj tehnika uveden i nekoliko alata je razvijeno, pri čemu su mnogi od njih primenjeni u praksi. Međutim, ovi alati često ne mogu adekvatno da tretiraju neizvesnost i samim tim proizvode neprecizne, nekonzistentne i nepouzdate rezultate.

Neizvesnost u projektima ima nekoliko aspekata od kojih samo neki mogu biti kategorisani i posmatrani kao rizici. Utvrđeno je ([3], [4]) da upravljanje rizikom projekata treba biti usmereno na upravljanje neizvesnostima i različitim izvorima neizvesnosti pre nego na naglašavanje skupa mogućih događaja koji mogu uticati na performanse projekta. Većina kvantitativnih tehnika u aktuelnoj praksi se zasniva na konceptu “Uticaja verovatnoće” koji poseduje ozbiljne nedostatke [5].

Sa druge strane, Bajesovske mreže kao moćna tehnika za podršku odlučivanju u prisustvu neizvesnosti privlače mnogo pažnje u različitim oblastima. Bajesovske mreže

(poznate i kao mreže uverenja ili kauzalne probabilističke mreže) predstavljaju probabilističke grafičke modele koji se koriste za interpretaciju saznanja i rezonovanje u prisustvu neizvesnosti. Postoji velika zainteresovanost za primenu Bajesovskih mreža kao alata za modelovanje neizvesnosti pri upravljanju projektima. Bajesovske mreže obezbeđuju metod za predstavljanje odnosa između promenljivih (čvorovi u Bajesovskoj mreži) čak i u slučajevima kada ovi odnosi sadrže neizvesnost.

U ovom radu razmotren je problem obuhvatanja neizvesnosti pri upravljanju projektima. Predloženi pristup se zasniva na primeni koncepta Bajesovskih mreža pri modelovanju neizvesnosti realizacije pojedinih aktivnosti sa aspekta vremena i troškova. Predloženi pristup je testiran na primeru projekta uvođenja franšizinga u pošti Srbije.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju razmotrena je priroda neizvesnosti pri raspoređivanju projektnih aktivnosti. U trećem poglavlju predstavljen je koncept Bajesovskih mreža. Četvrto poglavlje sadrži pristup za raspoređivanje projektnih aktivnosti koji se zasniva na konceptu Bajesovskih mreža. U petom poglavlju izloženi pristup je primenjen na primeru projekta uvođenja franšizinga u JP PTT saobraćaja "Srbija". Zaključna razmatranja data su u poslednjem šestom poglavlju.

## 2. Neizvesnost pri raspoređivanju projektnih aktivnosti

Upravljanje rizikom predstavlja ključnu oblast upravljanja projektnim aktivnostima. Upravljanje projektnim rizikom obuhvata procese koji se odnose na sprovođenje planiranja upravljanja rizikom, identifikaciju, analizu, reakciju, monitoring i kontrolu realizacije projekta. Aktuelni procesi upravljanja projektnim rizicima podstiču ograničen fokus na upravljanje neizvesnošću [3]. Termin "rizik" postao je povezan sa "događajima" pre nego opštijim izvorima neizvesnosti [4].

U različitim procesima upravljanja projektima postoje različiti aspekti neizvesnosti. U ovom radu fokus je na neizvesnostima pri raspoređivanju projektnih aktivnosti, odnosno na estimovanju dužine i troškova projektnih aktivnosti. Problem pri estimaciji dužine i troškova projektnih aktivnosti može nastati usled neizvesnih posledica potencijalnih rizika ili mogućnosti. Ova neizvesnost potiče od:

- Nivoa raspoloživih i potrebnih resursa;
- Odnosa između resursa i vremena;
- Mogućeg nastanka neizvesnih događaja (rizici)
- Kauzalnih faktora i međuzavisnosti koji obuhvataju opšte kauzalne faktore koji utiču na više aktivnosti istovremeno;
- Nedostatka prethodnog iskustva i upotrebe subjektivnih umesto objektivnih podataka;
- Nekompletnih ili nepreciznih podataka ili nedostatka podataka u celini.

Metod kritičnog puta (Critical Path Method – CPM) predstavlja najpoznatiji metod za raspoređivanje projektnih aktivnosti [8]. CPM je deterministička tehnika koja korišćenjem mreže zavisnosti između zadataka i datih determinističkih vrednosti za dužine zadataka, računa najduži put na mreži, poznat kao „kritični put“. Dužina kritičnog puta predstavlja najranije vreme završetka projekta.

Neka je  $t_i$  vreme trajanja aktivnosti  $i$ .  $P_i(S_i)$  predstavlja skup prethodnih (narednih) aktivnosti u odnosu na aktivnost  $i$ . Cilj je pronaći minimalno trajanje projekta  $T$ . Za dati projekat sledeća informacija je raspoloživa:

$ES_i$ : vreme najranijeg početka aktivnosti  $i$ ;

$LF_i$ : vreme najkasnijeg završetka aktivnosti  $i$ ;

Vremenska rezerva aktivnosti  $i$  ( $Slack_i$ ): Maksimalno moguće vreme trajanja aktivnosti  $i$  bez povećanja vremena trajanja projekta. Predstavlja razliku između najkasnijeg završetka i najranijeg početka aktivnosti;

Kritična aktivnost ( $Crit$ ): Aktivnost čije vremenske rezerve su jednake vremenu trajanja aktivnosti. Drugim rečima, aktivnost je kritična ako povećanje njenog trajanja direktno utiče na trajanje projekta. U nastavku je dat detaljan opis metoda kritičnog puta [9]:

*Inicijalizacija:*

$$ES_i = 0 \quad i: P_i = \emptyset$$

*Ponoviti:*

$$ES_i = \text{Max}_{j \in P_i} \{ES_j + t_j\} \quad i: \forall j \in P_i \quad ES_j \text{ je određeno}$$

sve dok se ne odrede  $ES_i$  za  $i = 1, 2, \dots, N$

$$T = \text{Max}_i \{ES_i + t_i\}$$

$$LF_i = T \quad i: S_i = \emptyset$$

*Ponoviti:*

$$LF_i = \text{Min}_{j \in S_i} \{LF_j - t_j\} \quad i: \forall j \in S_i \quad LF_j \text{ je određeno}$$

sve dok se ne odrede  $LF_i$  za  $i = 1, 2, \dots, N$

*Finalizacija:*

$$Slack_i = LF_i - EF_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$Crit = \{i = 1, 2, \dots, N \mid Slack_i = t_i\}$$

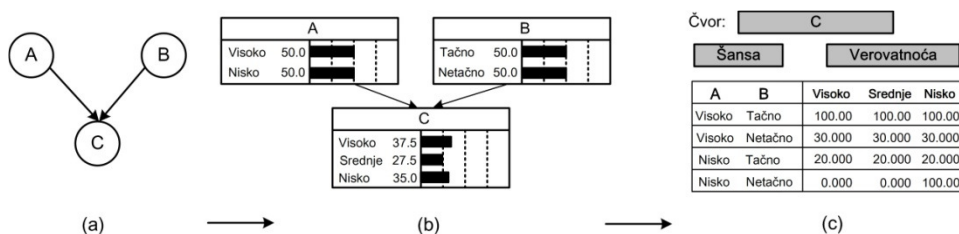
Za razliku od CPM metoda, Tehnika za ocenu i pregled programa (Program Evaluation and Review Technique - PERT) obuhvata neizvesnost u jednom ograničenom smislu korišćenjem raspodele verovatnoća za svaku aktivnost. Umesto jedne determinističke vrednosti, tri različite procene (pesimistička, optimistička i najverovatnija) su aproksimirane. Zatim se određuje kritični put i vremena početka i završetka aktivnosti. rezultati dobijeni PERT metodom su realističniji u odnosu na rezultate CPM-a. PERT metod takođe razmatra samo dužinu trajanja aktivnosti. Korišćenjem PERT okvira, takođe je razmatrena neizvesnost u troškovima pojedinih zadataka [10]. Monte Carlo simulacija (Monte Carlo Simulation – MCS) predstavlja jednu od dominantnih tehnika za tretiranje neizvesnosti u projektnom raspoređivanju [11]. Softverski paket za upravljanje projektima, PertMater [12] koristi podatke o raspoređivanju projektnih aktivnosti iz softvra kao što su MS-Project ili Primavera i primenjuje MCS u cilju sprovođenja analize rizika projekta sa aspekta vremena i troškova. Međutim, MCS metod takođe poseduje i određene nedostatke. Pretpostavka o statističkoj nezavisnosti vremena trajanja pojedinih aktivnosti predstavlja jedan od nedostataka. Takođe, s obzirom na to da je događajno orijentisan (pretpostavlja projektne rizike kao nezavisne događaje) MCS ne identifikuje izvore neizvesnosti.

Upravljanje neizvesnostima u projektima ne treba da se zasniva samo na varijabilnosti i raspoloživim podacima. Neophodno je razmotriti sve nedoumice i primeniti strukturu i znanje [13]. U cilju pravilnog merenja i analiziranja neizvesnosti, potrebno je modelovati relacije između uzroka (izvora) i rizika i uticaja (posledica). Najzastupljeniji pristup za tretiranje neizvesnosti u ovim okolnostima je Bajesovski pristup ([14], [15]). U slučajevima kada su kauzalni odnosi prisutni, Bajesovski pristup je proširen korišćenjem Bajesovskih mreža.

### 3. Bajesovske mreže

Bajesovske mreže su razvijene na Stanford univerzitetu tokom 70-tih godina prošlog veka [16]. Ovim mrežama se opisuju uzročno-posledični odnosi između promenljivih.

Tipična Bajesovska mreža se sastoji od orijentisanog acikličnog grafa “čvorova” i “lukova” koji konceptualizuje jedan sistem. Vrednosti čvorova su definisane preko različitih međusobno isključivih stanja [17]. Odnosi među njima su opisani uslovnim raspodelama verovatnoće koje predstavljaju zavisnosti između promenljivih. Ukoliko postoji luk između čvorova A i C, tada se čvor A posmatra kao “roditeljski čvor čvora C”, dok se za C kaže da je “potomak čvora A”. Na slici 1(a), roditeljski čvorovi A i B čvora C predstavljaju kauzalne faktore čvora C. Stanja svih čvorova su predstavljena na slici 1(b). Čvor A može pretpostaviti diskretna stanja “visoko” ili “nisko”, dok čvor B može pretpostaviti diskretna stanja “tačno” i “netačno”. Stanja promenljivih A i B određuje da li je promenljiva C u stanju “visoko”, “srednje” ili “nisko”. Uslovni odnos između roditeljskih čvorova A i B i čvora C je definisan tabelom uslovne verovatnoće (Slika 1(c)). Ova tabela se može interpretirati kao verovatnoća da će C biti u stanjima visoko, srednje, nisko za data stanja čvorova A i B [18].



Slika 1. Primer strukture Bajesovske mreže [18]

Različite vrste čvorova se mogu obuhvatiti Bajesovskom mrežom: čvorovi “prirode”, čvorovi “odluke” i čvorovi “vrednosti”. Čvorovi prirode predstavljaju promenljive na koje se može uticati akcijama od strane donosioca odluke. Čvorovi prirode se koriste za predstavljanje empirijskih ili izračunatih parametara i verovatnoća nastanka različitih stanja. Ulazni čvorovi (čvorovi bez roditelja) mogu biti strukturirani kao konstante ili kao stanja sa odnosnim marginalnim raspodelama verovatnoća. Čvorovi odluke predstavljaju upravljačke promenljive (događaje) koje mogu biti direktno implementirane od strane donosioca odluke. Ovi čvorovi predstavljaju skup raspoloživih upravljačkih akcija. Čvorovi odluke su uvek povezani sa čvorovima vrednosti koji se koriste za procenu pravila optimalne odluke na mreži koja će maksimizirati sumu očekivanih vrednosti čvorova vrednosti.

Bajesovske mreže se zasnivaju na Bajesovoj teoremi teorije verovatnoće za propagiranje informacije između čvorova. Bajesova teorema opisuje kako je prethodno znanje o hipotezama  $H$  ažurirano realizovanim događajem  $E$ . Teorema povezuje uslovne i marginalne verovatnoće  $H$  i  $E$  na sledeći način:

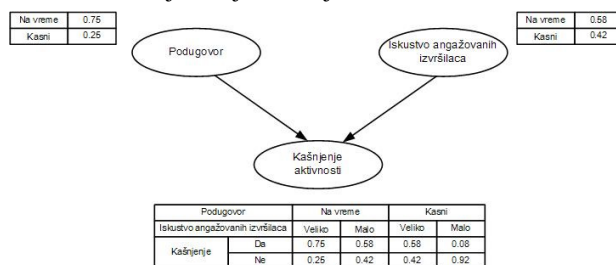
$$P(H / E) = \frac{P(H) \cdot P(E / H)}{\int P(H) \cdot P(E / H) \cdot dE} \quad (1)$$

gde  $P(H)$  predstavlja početnu (a priori) verovatnoću hipoteze (verovatnoća da će  $H$  biti u određenom stanju pre razmatranja bilo kakvog dokaza).  $P(E / H)$  je uslovna verovatnoća (verovatnoća dokaza za datu hipotezu koja će biti testirana).  $P(H / E)$  predstavlja krajnju (a posteriori) verovatnoću hipoteze (verovatnoća da je  $H$  u datom stanju, pod uslovom da

postoji određeni dokaz). Integral u (1) predstavlja verovatnoću da će dokaz biti ostvaren, za datu raspodelu verovatnoća.

#### 4. Predloženo rešenje za upravljanje projektnim aktivnostima zasnovano na konceptu Bajesovskih mreža

Bajesovska mreža predstavlja orijentisan graf zajedno sa odgovarajućim skupom tabela verovatnoća. Graf se sastoji od čvorova i lukova. Na Slici 2. data je Bajesovska mreža koja modeluje uzrok kašnjenja određene aktivnosti projekta. Čvorovi predstavljaju neizvesne promenljive, koje mogu (ne moraju) biti obzervabilne. Svaki čvor ima skup stanja. Lukovi predstavljaju kauzalne ili uticajne odnose između promenljivih. Postoji tabela verovatnoće za svaki čvor koja sadrži verovatnoće za svako stanje promenljive. Za promenljive bez roditelja, tabela sadrži samo marginalne verovatnoće. Ovo je poznato i kao apriorno uverenje o promenljivoj. Za svaku promenljivu sa roditeljima, tabela verovatnoća ima uslovne verovatnoće za svaku kombinaciju stanja roditelja.



Slika 2. Model Bajesovske mreže za kašnjenje određene aktivnosti projekta

Prema Bajesovoj teoremi, ako postoje dva događaja A i B i njihove verovatnoće, pri čemu je verovatnoća događaja B različita od nule važi:

$$P(A/B) = \frac{P(B/A) \cdot P(A)}{P(B)} \quad (2)$$

Primenom teoreme na Bajesovski mrežni model zaključivanja, za čvorove  $A_1, A_2, \dots, A_n$ :

$$P(A_1, \dots, A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i / A_1, \dots, A_n) \quad (3)$$

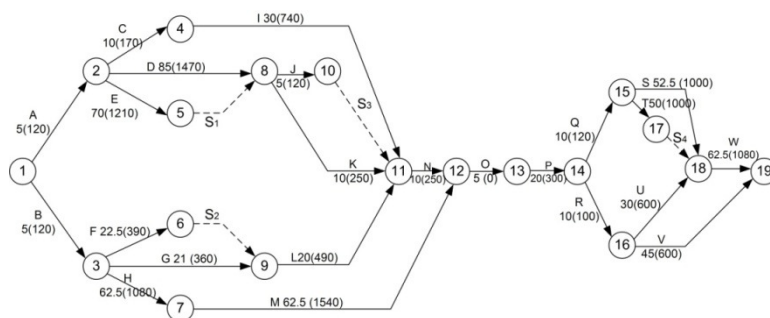
Pretpostavimo da je potrebno izračunati verovatnoću događaja  $D$ , koji predstavlja kašnjenje u realizaciji aktivnosti. Neka je promenljiva “podugovor” označena sa  $SC$  ( $SC_1$  - kašnjenje,  $SC_2$  - na vreme), dok je promenljiva “iskustvo angažovanih izvršilaca” označeno kao  $SQ$  ( $SQ_1$  - veliko,  $SQ_2$  - malo). Ako je  $d$  kašnjenje u realizaciji aktivnosti ( $d_1$  je  $-D$ ,  $d_2$  je  $D$ ), sledi da je verovatnoća da će doći do kašnjenja u realizaciji aktivnosti:

$$P(D = d_1) = \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n P(D / SC_i, SQ_i, D = d_1) P(SC_i) P(SQ_i) = 0.75 \cdot 0.58 \cdot 0.75 + 0.58 \cdot 0.42 \cdot 0.75 + 0.58 \cdot 0.58 \cdot 0.25 + 0.08 \cdot 0.42 \cdot 0.25 = 0.60 \quad (4)$$

#### 5. Primena koncepta Bajesovskih mreža za modelovanje neizvesnosti pri upravljanju projektima u Pošti Srbije

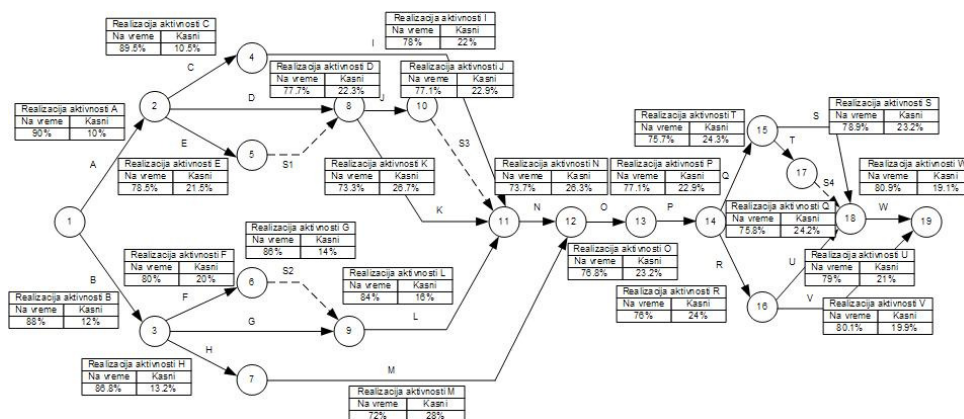
U cilju praktične interpretacije koncepta Bajesovskih mreža razmotren je projekat implementacije franšizinga u JP PTT saobraćaja “Srbija”. Projekat sadrži 23 aktivnosti. Mrežni dijagram projekta sa odgovarajućim vremenima trajanja i troškovima realizacije

aktivnosti,  $t_{ij}(C_{ij})$  predstavljen je na Slici 3. Kritični put projekta je B-H-M-O-P-Q-S-W. S obzirom na to da nema nikakvog značaja za demonstraciju Bajesovskih mreža, detaljna specifikacija aktivnosti je izostavljena. Pored brojnih komercijalnih alata koji se koriste (AgenaRisk [19]), za potrebe ovog rada model Bajesovskih mreža za modelovanje neizvesnosti u upravljanju projektima je implementiran u programskom jeziku C#.



**Slika 3.** Mrežni dijagram projekta sa vremenima trajanja i troškovima sprovođenja aktivnosti

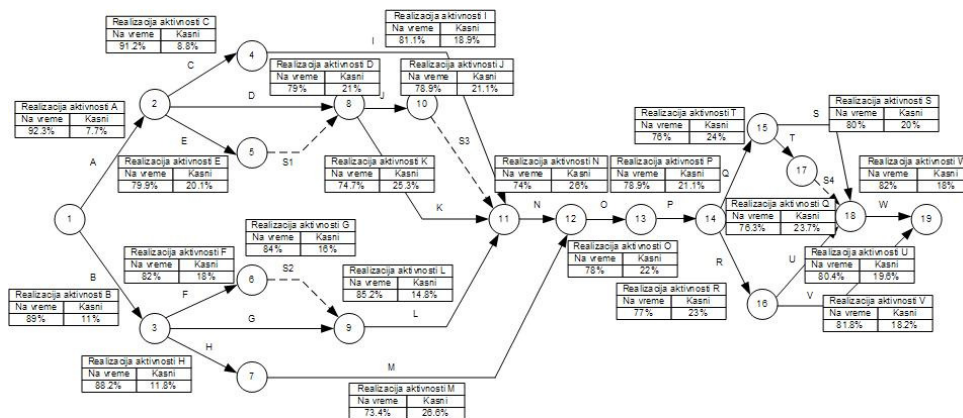
Na osnovu ekspertске procene verovatnoća uspeha realizacije pojedinačnih aktivnosti projekta formiran je Bajesovski model (Slika 4.). Za svaku aktivnost postoje dva stanja, i za svako od njih određene su verovatnoće realizacije. U analizu je uključen samo rizik vremena.



**Slika 4.** Bajesovska mreža kojom su modelovane neizvesnosti u vremenu trajanja projektnih aktivnosti

Rezultati ukazuju na to da će projekat biti izvršen bez kašnjenja sa verovatnoćom od 82%. Takođe, analizom Bajesove mreže, može se uočiti da realizaciju aktivnosti W prati veći rizik, i samim tim, neophodno je detaljnije razmotriti sve neizvesnosti i rizike ove aktivnosti.

Ukoliko se analizom obuhvati i rizik troškova realizacije projektnih aktivnosti na osnovu Bajesovske mreže za tako formulisan problem verovatnoća realizacije projekta na vreme se smanjuje sa 82% na 80.9% (Slika 5.).



Slika 5. Bajesova mreža kojom su modelovane neizvesnosti u vremenu trajanja i troškovima projektnih aktivnosti

Moguće je takođe odrediti optimističko, realno i pesimističko vreme realizacije projekta. Tabela 2. sadrži optimističke, realne i pesimističke procene za svaku aktivnost na kritičnom putu projekta. Neizvesnost realizacije pojedinih aktivnosti utiče na neizvesnost realizacije projekta u celini. Verovatnoća realizacije aktivnosti na kritičnom putu varira u zavisnosti od pesimističkog, realnog ili optimističkog posmatranja neizvesnosti (na primer, P se menja od 72.9%, 78.9% do 66.9% pri čemu rok projekta varira u opsegu 18 do 22 dana. Pesimističko gledište je da se projekat okonča za 22 dana, realno je 20 dana, a optimističko 18 dana.

Tabela 2. Procena vremena realizacije projekta primenom koncepta Bajesovskih mreža

Aktivnosti na kritičnom putu	Verovatnoća realizacije aktivnosti na kritičnom putu [%]		
	Pesimistička procena	Realna procena	Optimistička procena
B	82	89	75
H	81.1	88.2	74
M	70	73.4	66.6
O	71.5	78	65
P	72.9	78.9	66.9
Q	73.3	76.3	70.3
S	77	80	73
W	80	82	78

## 6. Zaključak

Razmatranje rizika i neizvesnosti predstavlja jednu od osnovnih komponenata upravljanja projektima. Većina raspoloživih tehnika za upravljanje rizikom i neizvesnošću pri raspoređivanju projektnih aktivnosti su događajno orijentisane i zasnivaju se na modelovanju mogućih uticaja na performance projekta. U ovom radu predložen je pristup Bajesovskih mreža kojim je moguće uključiti rizik, neizvesnost i kauzalnost u raspoređivanju projektnih aktivnosti. Pristup je testiran na primeru projekta uvođenja franšizinga u Pošti Srbije.

## Reference

- [1] D. Malcolm, J. Roseboom, C. Clark and W. Fazer, "Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation," Operations Research, vol. 7, pp. 646-669, 1959.

- [2] R. Miller, "How to Plan and Control with Pert," Harvard Business Review: pp. 93–104, 1962.
- [3] S. Ward and C. Chapman, "Transforming Project Risk Management into Project Uncertainty Management," International Journal of Project Management, vol. 21, pp. 97-105, 2003.
- [4] R. Atkinson, L. Crawford and S. Ward, "Fundamental Uncertainties in Projects and the Scope of Project Management," International Journal of Project Management, vol. 24, pp. 687-698, 2006.
- [5] V. Khodakarami, N. Fenton and M. Neil, "Project Scheduling: Improved Approach to Incorporate Uncertainty Using Bayesian Networks," Project Management Journal, pp. 38-49, 2007.
- [6] A. H. Taha, Operation Research: An Introduction. Prentice-Hall, U.S.A, 2003.
- [7] B. W. Taylor, Introduction to Management Science. Virginia Polytechnic Institute and State University, Prentice Hall, 2006.
- [8] V. Khodakarami, Applying Bayesian Networks to model Uncertainty in Project Scheduling. PhD dissertation, Queen Mary, University of London, 2009.
- [9] B. A. Hafizoğlu, Discrete time cost trade-off problem in project scheduling. Master Thesis, Middle East Technical University, Turkey, 2007.
- [10] L. Valadares Tavares, J.A. Antunes Ferreira and J. Silva Coelho "On the Optimal M management of Project Risk," European Journal of Operational Research, vol. 107, pp. 451-469, 1998.
- [11] Cook M. S, "Real-world Monte Carlo Analysis," Proceeding of PMI Annual Seminars and Symposium, Nashville, 2001.
- [12] Pertmaster Project Risk Software, www.pertmaster.com/products, 2005.
- [13] C. Chapman and S. Ward "Estimation and Evaluation of Uncertainty: A Minimalist First Pass Approach," International Journal of Project Management, vol. 18, pp. 369-383, 2000.
- [14] B. Efron, "Bayesians, Frequentists, and Scientists," Journal of the American Statistical Association, vol. 100, pp. 1-5, 2005.
- [15] Goldstein, M. "Subjective Bayesian Analysis: Principle and Practice," Bayesian analysis, vol. 1, pp. 403-420, 2006.
- [16] B. McCabe, S. AbouRizk and R. Goebel, "Belief networks for construction performance diagnostics," Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 12, pp. 93-100, 1998.
- [17] R. K. McCann, B. G. Marcot and R. Ellis, "Bayesian belief networks: applications in ecology and natural resource management," Canadian Journal of Forest Research, vol. 36, pp. 3053-3062, 2006.
- [18] M. Kragt, A beginners guide to Bayesian network modeling for integrated catchment management. Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA), 2009.
- [19] <http://www.agenarisk.com/>

**Abstract.** *Project management represents a very complex process because it always contains uncertainty. Basic inputs (time, costs and required resources) are not deterministic and they are influenced by a broad set of uncertainties. Besides that, there is a causal relationship between these uncertainties and project parameters. In this paper, a concept of Bayesian Networks has been applied for uncertainty and causality modeling in project management. Validity of proposed approach is tested on a project of franchising implementation in PE of PTT Communications "Srbija".*

**Keywords:** project management, uncertainty, Bayesian networks

## **UNCERTAINTY MODELING IN PROJECT SCHEDULING USING BAYESIAN NETWORKS: THE CASE OF POST OF SERBIA**

Milan Bozic, Natasa Glisovic, Milos Milenkovic