

МОДЕЛ ЗА ПРОЦЕНУ КРИТИЧНОСТИ АКТИВНОСТИ ПРОЈЕКТА
MODEL FOR ASSESSMENT OF PROJECT ACTIVITY CRITICALITYВесна Макитан, Владимир Бртка, Елеонора Бртка, Далибор Добриловић
Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин

РЕЗИМЕ: Компаније, институције и организације функционишу и сарађују кроз пројекте и управо су пројекти оно што савремено пословање препознаје. Према томе је управљање пројектима неопходно за успешност савременог пословања. Развој технологија је утицао на промене у пословању, а самим тим и на природу пројеката, тимове, сарадњу, алате и методологије. За разлику од досадашњег приступа у којем је у мрежном дијаграму пројекта фаворизирана критична путања, као и трајање којим је она одређена, у овом раду је акценат на активностима, без обзира на то којој путањи оне припадају. При томе су, осим трајања, активностима придружени други атрибути који могу утицати на ниво критичности. У раду је приказана методологија креирања модела за процену критичности активности у којем су коришћене фази функције припадности и мамдани тип фази логичког контролера, с обзиром на то да су вредности атрибута активности лингвистичке. Дефинисана су фази IF-THEN правила, која су настала на основу експертског знања, и аутоматским генерисањем, применом теорије грубих скупова. За креирање модела, као и његово тестирање, коришћени су емпиријски подаци 43 реализована пројекта. Резултати тестирања су показали да се креирани модел подудара у 80.71% случајева са постојећим методама за одређивање критичних активности. Преостали проценат се односи на активности које могу бити критичне, иако нису на критичној путањи, као и на оне које нису критичне, а налазе се на критичној путањи, и тако указује на потенцијалне проблеме у реализацији пројектног плана.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: управљање пројектима, фази логички контролер, теорија грубих скупова, процена критичности активности

ABSTRACT: Companies, institutions and organizations function and collaborate through projects, and that's exactly what projects are what modern business recognizes. Therefore, project management is essential for the success of contemporary business. Technology development has driven changes in the business and therefore the nature of the projects, teams, collaboration, tools and methodologies. In contrast to the approach taken so far, in which it is favored in the network diagram of the Project the critical trajectory, as well as the duration by which it is determined, in this paper focuses on activities, no matter what the paths they belong to. In addition to the duration, activities are associated with other attributes that can affect the level of criticality. The paper presents a methodology for creating a model for assessing the criticality of an activity in which the fuzzy membership functions and the mamdani type of the fuzzy logic controller were used since they value attributes of linguistic activity. Phases of IF-THEN rules are defined, which are based on expert knowledge, and by automatic generation, applying the theory of coarse sets. To create the model, as well as test it, empirical data from 43 completed projects were used. Test results showed that the model has created matches 80.71% of cases with existing methods for determining critical activities. The remaining percentage refers to activities that may be critical, although not in the critical trajectory, as well as those that are not critical, they are on a critical trajectory, thus indicating potential problems in the implementation of the project plan

KEY WORDS: project management, fuzzy logic controller, coarse assembly theory, criticality estimation activities

1. УВОД

Савремено пословање се не може задовољити концептом „једна методологија одговара свима“ и његовом управљању пројектима потребни су различити приступи који би били у складу са најновијим технологијама. Такође, технике и алати који се у управљању пројектима користе су временом модификовани и добили су облике обогаћене новим технологијама. Према томе је истраживање у овом раду било усмерено ка новом приступу у управљању пројектима који би допринео повећању успешности реализације пројеката.

Како су активности саставни елементи сваког пројекта, тачна процена активности у смислу њене критичности је веома важна. У досадашњем приступу у управљању пројектима трајање пројекта се поистовећивало са критичном путањом у мрежном дијаграму пројекта, у смислу да је оно најзначајније за одређивање критичности активности. [1,2] Поставља се питање: да ли је трајање једина карактеристика активности која утиче на њену критичност и да ли само активности на критичној – најдужој путањи утичу на успех реализације пројекта? Истраживање описано у овом раду има фокус на појединачним активнос-

тима, а не на критичној путањи или мрежном дијаграму пројекта. Ако се посматра само мрежни дијаграм пројекта у којем је акценат на активностима критичне путање занемарује се могућност да у току реализације пројекта остале активности такође могу утицати на успех реализације пројекта. Према томе, узимајући у обзир активности које нису само на критичној путањи отвара се могућност утврђивања осталих чиниоца који могу бити пресудни за реализацију пројекта. Такође, у раду су осим трајања размотрене карактеристике активности као што су: врста ограничења, тип везе са претходном и следећом активности, слободне временске резерве, кашњење и предњачење активности; које могу утицати на њену критичност. Чињеница је да активности пројекта поред трајања имају и остале карактеристике, које, уколико су доступне, представљају појединости пројекта којима је он више одређен. Овакав концепт омогућава руководиоцу пројекта да добије процену о нивоу критичности одређене активности у реалном времену током реализације пројекта, и тако помаже у процесу доношења одлука, без обзира на остале активности или пројекат у целини. Резултат истраживања представљен у овом раду омогућава процену на основу вредности више атрибута/карактеристика активности.

У оквиру овог рада је креиран модел за процену критичности активности пројеката. За потребе креирања модела и његовог тестирања, коришћен је емпиријски материјал који чине пројектни планови реализованих пројеката. Они су у електронској форми која је резултат примене софтвера за подршку управљању пројектима. Према томе су размотрене карактеристике активности које су њихови заједнички атрибути у поменутих софтверима. Одабрани атрибути активности су представљени фази променљивама чије су вредности дефинисане фази функцијама припадности. Дефинисана су фази правила која укључују фази променљиве како би се описало да ли је активност критична или не. Да би се добила најефикаснија правила коришћени су историјски подаци из емпиријског материјала, као и процена експерата. Додатно, фази IF-THEN правила су генерисана применом теорије грубих скупова.

Анализом претходно наведених радова може се закључити да нису узете у обзир оне карактеристике активности пројекта које могу утицати на његову реализацију, а које су размотрене у овом раду. Такође, предложен је модел којим ће се омогућити одређивање критичности активности, без обзира на то да ли је она на критичној путањи.

2. ДОСАДАШЊА ИСТРАЖИВАЊА

Ако се посматра историјски, методе управљања пројектима које омогућавају одређивање критичних активности су свакако методе мрежног планирања: метода критичног пута (Critical path method – CPM), метода оцене и ревизије програма (Program evaluation and review technique – PERT), метода „првенства“ (Precedence diagraming method – PDM) и сличне. [1,3-12] На основу примене ових метода критичне су оне активности које се налазе на критичној путањи. У том случају се занемарује утицај субкритичних путања и, према томе, осталих активности које могу бити критичне. Ово може изазвати грешке у планирању, посебно код развојних и истраживачких пројеката [1,2,13,14].

Узимајући у обзир претходно наведена ограничења класичних метода мрежног планирања, истраживањима су обухваћене њихове комбинације са другим приступима. Тако се дошло до представљања трајања активности комбинацијом PERT методе, фази логике и процене експерата [15,16]. Разне аналитичке методе за одређивање критичности у мрежном дијаграму на основу трајања активности представљених фази бројевима су дате у истраживањима [17-20]. У истраживању [21] је поред критичних путања, разматран утицај дефинисаних фази временских резерви на критичност активности, што је такође било проширење класичне PERT методе. Метода PERT је комбинована и са Монте Карло симулацијом, како би се одредиле путање највеће критичности у мрежном дијаграму [11,22]. Осим тога, примена теорије грубих скупова за креирање хеуристичког модела који одређује вредности путања и процењује могући сценарио реализације пројекта, је реализована у [23].

Постоје и друга савремена истраживања која се баве различитим приступима, методама и моделима у којима се примењују теорија грубих скупова и фази логика у управљању пројектима. Тако су се, на пример, у раду [24]

аутори определили за примену фази логике за подршку управљању пројектима са аспекта оцене статуса пројекта. Ова оцена је рачуната на основу вредности временског и трошковног индекса ефикасности, као и анализе остварене вредности. Такође, коришћен је исти алат за креирање модела као и у овом раду и емпиријски материјал стварног пројекта за вредности наведених индекса ефикасности.

Проблемом добијања тачних процена распореда пројекта су се бавили аутори у истраживању [12]. Они су констатовали да „фази теорија апроксимира моделе управљања пројектима до нивоа стварности узимајући у обзир неодређености у параметрима одлуке и искуство експерата и менталне моделе“ [12, стр. 183.]. Овај рад приказује кораке за добијање тачних процена трајања и трошкова пројекта на основу технике за оцену и ревизију програма (Program Evaluation and Review Technique – PERT) и експертске процене, као фази бројева.

У истраживању описаном у [25] аутор је предложио фази модел који се користи током планирања пројекта. Аутор је показао да фази модел омогућава тачнију предикцију поклапања планираних и стварних вредности пројекта, у односу на детерминистички модел.

Анализом претходно наведених радова може се закључити да нису узете у обзир оне карактеристике активности пројекта које могу утицати на његову реализацију, а које су размотрене у овом раду. Такође, предложен је модел којим ће се омогућити одређивање критичности активности, без обзира на то да ли је она на критичној путањи.

3. ПРОБЛЕМАТИКА И ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА

Према претходно наведеном, проблематика која се разматра у овом раду односи се на одређивање критичности активности у току реализације пројекта. Постојеће методе – методе мрежног планирања, CPM/PERT, узимају у обзир трајање и критичне су оне активности које се налазе на најдужој путањи мрежног дијаграма пројекта – критичној путањи. Могу се поставити питања: да ли је трајање једина карактеристика активности која утиче на њену критичност, као и, да ли само активности на критичној путањи утичу на успех реализације пројекта.

Из наведеног следи главна хипотеза овог истраживања: Могуће је моделирати процену критичности активности пројекта не само на основу трајања, већ и осталих карактеристика активности, као и подхипотезе:

- Могуће је одредити меру критичности активности;
- Могуће је генерисати фази правила применом теорије грубих скупова у области управљања пројектима.

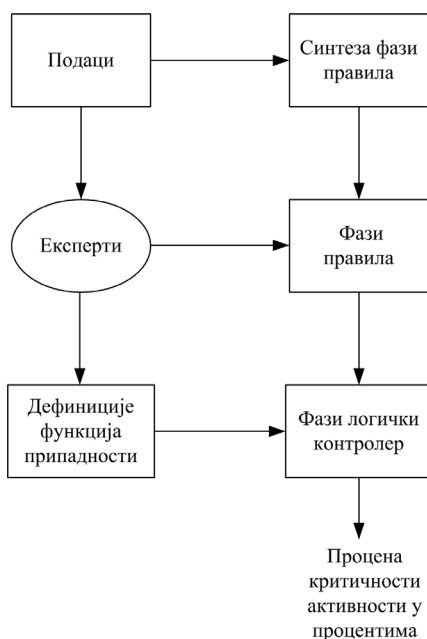
4. МЕТОДОЛОГИЈА

4.1 Подаци

За потребе истраживања било је потребно прикупити планове реализованих пројеката. Компаније из области грађевинарства, нафтне индустрије, бродоградње и индустрије текстила су учествовале у истраживању уступањем података о својим пројектима који су реализовани у по-

следњих десет година. Прикупљен је емпиријски материјал од 43 плана реализованих пројеката. Сваки пројектни план има своју електронску форму, која је резултат примене софтвера за управљање пројектима и представљен је базом података пројектног плана. Подаци у бази пројектног плана се првенствено тичу појединости о активностима, с обзиром на то да су активности основни подаци који се о пројекту уносе у софтвер за управљање пројектима. Остали подаци (на пример, о ресурсима, трошковима, праћењу напредовања реализације пројекта, итд.) се налазе у бази пројектног плана у оној мери у којој одређена компанија има ресурсе да користи могућности софтвера за управљање пројектима. Такође, неке од података у бази пројектног плана генерише софтвер за управљање пројектима и попуњава подразумеваним вредностима. Подаци из емпиријског материјала могу пружити увид у основне законитости критичности активности.

Како је циљ овог рада креирање модела који ће омогућити процену критичности активности у оквиру пројеката размотрене су методе за одређивање критичности активности. Имајући у виду да се у пројектним плановима користе језичке вредности, подесно је користити фази функције припадности које дефинишу вредности фази променљивих. Ово даље води ка употреби фази логичког контролера мамдани типа, који ће вршити процену критичности активности. Кључни део фази контролера су фази IF-THEN правила која дефинише експерт на основу података и свог искуства. Одабрано је троје експерата из академске заједнице и један из привреде, са дугогодишњим искуством у управљању пројектима. Поред наведеног начина, у овом раду је коришћен аутоматски поступак генерисања правила на основу доступних података, који се базира на примени теорије грубих скупова (ТГС, енг. Rough Sets Theory). На слици 1 су представљене основне компоненте модела.



Слика 1. Компоненте модела за процену критичности активности

На основу података, алгоритам базиран на ТГС креира скуп правила који може бити допуњен правилима од стране експерта. Осим тога, експерти дефинишу функције припадности помоћу којих су дефинисане вредности фази променљивих у склопу контролера. Разматрање алгоритма који омогућује аутоматизацију овог процеса је примарно у овом раду, стога ће овај поступак бити детаљније објашњен.

Подаци о активностима су представљени слоговима који садрже дискретне вредности, на пример [long;SS;small;big;SNET;SS;positive;nc]. Ово значи да је: трајање активности duration=long, тип везе са претходником је predLink=SS (start-to-start), кашњење са претходником је мало predLag=small, слободне резерве су велике freeSlack=big, тип ограничења је constarint=SNET (start-no-earlier-than), тип везе са следбеником је succLink=SS, кашњење са наследником је позитивно succLag=positive и активност није критична criticality=nc. Укупни број оваквих слогова из свих 43 пројектних планова је 432. Подаци су табеларно организовани, а основе ТГС и начина генерисања правила су дати у наредном потпоглављу.

4.2. Допринос Теорије грубих скупова у креирању модела

Теорија грубих скупова се показала као одлично математичко средство за анализу података. Уведена је од стране З. Павлака почетком 1980-их година [26, 27]. Релација неразберивости (енг. indiscernibility – неразберивост, неразлучивост, неопазљивост) је математичка основа ТГС. Сваки објекат или догађај карактерише више атрибута; вредности атрибута су дискретне. Догађаји карактерисани истим вредностима одређених атрибута су неразбериви с обзиром на доступне информације о њима.

Нека је U универзум (коначни скуп објеката), $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\}$ коначни скуп атрибута, V_q домен атрибута q и $U_{(q \in Q)} V_q$. Информациони систем је четворка $S = \langle U, Q, V, f \rangle$ где је $f = U \times Q \rightarrow V$ функција таква да је $f(x, q) \in V_q$ за свако $q \in Q, x \in U$. Функцију f називамо информациона функција [28]. Сваком непразном подскупу атрибута P придружена је релација неразберивости на U и ту релацију означавамо са I_P :

$$I_P = \{(x, y) \in U \times U : f(x, q) = f(y, q), \forall q \in P\} \quad (1)$$

Фамилија свих класа еквиваленције од I_P , је означена са U/I_P , а класа која садржи елемент x са \cdot . Релација неразберивости индукује поделу универзума на партиције неразберивости објеката који се називају елементарни скупови. Универзум U је обично у облику табеле коју називамо систем одлучивања. Сваки елемент универзума описан је са више атрибута. Обично се један атрибут назива атрибут одлуке, док се други атрибути називају атрибутима услова.

Нека је X непразни подскуп U и $\emptyset \neq P \subseteq Q$. Скуп X је апроксимиран у смислу P -доње (2) и P -горње (3) апроксимације од X :

$$\underline{P}(X) = \{x \in U : I_P(x) \subseteq X\} \quad (2)$$

$$\overline{P}(X) = \bigcup_{x \in X} I_P(x) \quad (3)$$

P гранични регион X је означен са $Bn(X)$:

$$Bn(X) = \bar{P}(X) - \underline{P}(X) \quad (4)$$

Према томе, ако неки објекат или догађај x припада доњој апроксимацији од X , он је сигурно елеменат скупа X , али ако x припада граничној области (горњој апроксимацији) од X , може припадати скупу X . Друго важно питање ТГС-а је редукција скупа условних атрибута [29, 30]. Могуће је задржати само оне атрибуте који чувају релацију неразберивости (1) и, сходно томе, поставити апроксимацију. Одбачени атрибуту су сувишни, јер њихово уклањање не може погоршати класификацију. Нека $\emptyset \neq P \subseteq Q$ и $a \in P$. Кажемо да је атрибут a сувишан у P ако је $I_P = I_{(P-\{a\})}$. Обично постоји неколико подскупова таквих атрибута које називамо редукти, али израчунавање свих редукта је веома сложено. Међутим, није потребно израчунати све редукте, већ само неке од њих.

Систем одлучивања је дефинисан скупом C који се састоји од атрибута услова и скупом D који се састоји од атрибута одлуке. Сваки објекат x који припада систему одлучивања одређује једно правило одлуке: $\bigwedge_{(a \in C)} a = a(x) \Rightarrow \bigwedge_{(d \in D)} d = d(x)$, где је $a = a(x)$, које називамо дескриптором. Ако постоји један атрибут одлуке d онда је $\bigwedge_{(a \in C)} a = a(x) \Rightarrow d = d(x)$.

Сада је могуће формирати правила IF α THEN β . Овде α антецедент правила означава конјункцију (логички оператор AND) дескриптора који укључују само атрибуте редукта и β консеквент правила означава дескриптор $d = d(x)$, где је d атрибут одлуке. Једном када се израчунају редукти, покривајући сваким редуктом систем одлучивања, једноставним читањем вредности формирају се правила. Могуће је добити правила са неједнозначном последицом – правила са OR логичким оператором у THEN делу, уколико правило подржава више објеката са једнаким вредностима атрибута услова, али се вредности атрибута одлуке разликују. Ова правила се називају неконзистентним, недетерминистичким или конфликтним правилима, док се правила са једнозначном последицом називају конзистентним, детерминистичким, одређеним или неконфликтним правилима. Свако правило има своју подршку, то је низ објеката табеле чије се вредности атрибута подударују са вредностима атрибута који су укључени у IF део правила. Недетерминистичка правила су подржана објектима укљученим у гранични регион (4), док су детерминистичка правила подржана објектима укљученим у доњу апроксимацију (2). Табела 1 приказује веома једноставан систем одлучивања са три атрибута услова: $C = \{Duration, Slack, PredLink\}$, и једним атрибутом одлуке: $D = \{Critical\}$. Вредности атрибута су лингвистички изрази.

Табела 1. Пример система одлучивања у форми табеле

Активност	Duration	Slack	PredLink	Critical
x_1	short	big	small	no
x_2	medium	small	small	yes
x_3	medium	small	small	no
x_4	long	small	small	yes
x_5	medium	big	big	yes
x_6	short	small	big	no

Према (1) из табеле 1 добијамо:

$$I_P = \{\{x_1, x_1\}, \{x_2, x_2\}, \{x_2, x_3\}, \{x_3, x_2\}, \{x_3, x_3\}, \{x_4, x_4\}, \{x_5, x_5\}, \{x_6, x_6\}\},$$

и према томе: $U|I_P = \{\{x_1\}, \{x_2, x_3\}, \{x_4\}, \{x_5\}, \{x_6\}\}$.

Ако скуп $X = \{x_1, x_3, x_6\}$ садржи елементе који указују на некритичне активности (Critical=no) и за $P = C$, можемо израчунати доњу и горњу апроксимацију према (2) и (3):

$$\underline{P}(X) = \{x_1, x_6\}, \bar{P}(X) = \{x_1, x_2, x_3, x_6\}.$$

P гранични регион X је $Bn(X) = \{x_2, x_3\}$.

Објекти x_1 и x_6 подржавају детерминистичко правило: IF Duration=short THEN Critical=no, док објекти x_2 и x_3 подржавају недетерминистичко правило: IF Duration=medium and Slack=small and PredLink=small Then Critical=yes OR Critical=no. Јасно је да ТГС омогућава механизам за генерисање IF-THEN правила из табеларно приказаних података. У следећем делу ТГС је примењена за генерисање правила на основу емпиријских података и креирање модела за процену критичности активности.

5. КРЕИРАЊЕ МОДЕЛА

За аутоматско креирање фази правила модела се користи алгоритам надгледаног обучавања и потребно је дефинисати обучавајући скуп и тест скуп. Правилан одабир обучавајућег скупа обезбеђује општост модела. Постоје 43 разнородна пројектна плана, у просеку са по 10 активности, од којих су неке активности заједничке за више пројектних планова. Одлучено је да се за обучавајући скуп употребе подаци о 12 активности типа „Извештавање о реализацији“ (из различитих планова) имајући у виду да ова активност садржи пресек стања у одређеном моменту и стога имплицитно садржи агрегиране вредности додашњег тока пројекта и обезбеђује довољну општост тренинг скупа. Осим тога ова активност је заједничка за највећи број пројектних планова. Тест скуп садржи све преостале активности (осим активности која је искоришћена за формирање тренинг скупа) из свих планова. Према томе, тестирање је извршено на појединачним активностима, а не на целокупним пројектним плановима имајући у виду да се коришћена фази правила односе на активности. То значи да модел омогућава сагледавање критичности активности а не целог пројектног плана, што је био циљ рада.

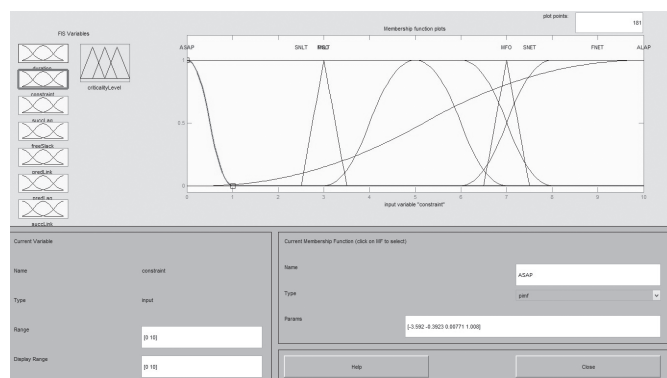
Лингвистичке вредности параметара дефинисане су помоћу функција припадности, како је приказано у табели 2. Коришћене фази функције припадности компатибилне су са Matlab софтверским пакетом; на пример, триангуларна функција припадности (trimf) је дефинисана са три пара-

метра: a, b и c, док је трапезоидна функција припадности (trapmf) дефинисана са четири параметра: a, b, c и d (колона „Параметри“ у табели 2).

Табела 2. Фази променљиве и њихове вредности

Фази променљива	Вредност	Тип функције припадности	Параметри
Duration	Short Medium Long	trimf trimf sigmf	[-150.9 0 14.46] [11.22 31.5 47.3] [0.04767 123.5]
Constraint	ASAP FNLТ MSO SNLT SNET MFO FNET ALAP	pimf zmf trimf pimf smf trimf smf smf	[-3.592 -0.3923 0.00771 1.008] [6.008 8.008] [2.5 3 3.5] [-6.1 -0.698 5 7] [3 5] [6.5 7 7.5] [6 8] [0.3667 10]
succLag	Negative Small Positive	trimf trimf trimf	[-8.01 -5 0] [-1 0 1] [0 5 8.01]
freeSlack	None Small Big	trimf trapmf sigmf	[-4 0 0.5359] [0.349 1 2 3.97] [1.07 6.057]
predLink	SS SF FF FS	zmf zmf smf sigmf	[1 2] [4 6] [8 9] [6 5]
predLag	Positive Small Negative	trimf trimf trimf	[-8.01 -5 0] [-1 0 1] [0 5 8.01]
succLink	SS SF FF FS	smf sigmf zmf zmf	[8 9] [6 5] [1 2] [4 6]
Criticality Level	Low High	trimf trimf	[-40 0 40] [60 100 140]

Пример фази променљиве „constraint“ и њених вредности имплементиран у Fuzzy Logic Toolbox-у приказан је на слици 2.



Слика 2. Фази променљива „constraint“ и припадајуће вредности

Кључни корак овог поступка јесте аутоматско генерисање правила применом ТГС. Коришћен је RSES софтвер креиран од стране „Групе за логику“ Математичког института, Универзитета у Варшави, Пољска ([https://www.](https://www.mimuw.edu.pl/~szczuka/rses/start.html)

[mimuw.edu.pl/~szczuka/rses/start.html](https://www.mimuw.edu.pl/~szczuka/rses/start.html)). Дискретизација вредности атрибута као пред-корак примене ТГС је раније спроведена (вредности свих атрибута су дискретне), а применом „exhaustive“ алгоритма за генерисање свих редукт скупова, а затим и правила, генерисано је 48 правила. С обзиром да обучавајући скуп садржи мали број елемената, нека од правила подржана су само једним слогом, тако да нису узета у разматрање. Другим речима, узета су у обзира само правила са „највећом подршком“ тј. првих шест правила која су приказана у табели 3.

Табела 3. Фази правила

Редни број	IF	THEN CriticalityLevel
1	freeSlack(none)	high
2	constraint(ASAP) \wedge predLink(SS) \wedge succLink(FF)	high
3	constraint(ASAP) \wedge predLink(SS) \wedge succLink(SS)	high
4	constraint(SNET) \wedge predLink(FF) \wedge succLink(FF)	low
5	succLag(small) \wedge predLink(SS)	high
6	succLag(small) \wedge predLag(small)	high
7	duration(short) \wedge constraint(ASAP) \wedge freeSlack(big) \wedge predLink(SS) \wedge not(succLink(SS))	low
8	not(duration(long)) \wedge not(constraint(ASAP)) \wedge freeSlack(small) \wedge predLink(FF) \wedge not(predLag(negative)) \wedge not(succLink(FF))	low
9	not(duration(long)) \wedge constraint(SNET) \wedge not(succLag(positive)) \wedge freeSlack(big) \wedge predLink(SF) \wedge not(succLink(SF))	low

Да би се описао случај када је ниво критичности активности низак („low“), од стране експерата додата су правила 7, 8 и 9.

Модел је имплементиран уз помоћ Fuzzy Logic Toolbox-а који је саставни део пакета Matlab. Излаз модела је ниво критичности у процентима.

6. РЕЗУЛТАТИ ТЕСТИРАЊА МОДЕЛА И ДИСКУСИЈА

Део резултата тестирања модела је приказан у Табели 4. Колона „c/nc“ (Critical/Non Critical) је изведена из емпиријског материјала на основу прорачуна софтвера за управљање пројектима који израчунава критични пут и приказује критичне активности. Излаз контролера у процентима је приказан у колони „CL“ (Criticality Level), док колони „Тест скуп“ садржи бројевне вредности које су коришћене за тестирање у софтверском пакету Matlab. На пример, вредности тест активности 2, [3;5;0;0;1;0;4], имају значење: duration=3; constraint=5; succLag=0; freeSlack=0; predLink=1; predLag=0; succLink=4. Познато је да је ова ак-

тивност критична (вредност „с“ у колони „с/nc“) и модел је показао да је ниво критичности је 86,8%.

Табела 4. Део резултата тестирања модела

Активност	с/nc	CL	Тест скуп
	nc	50	[7;0;5;10;6;0;4]
	с	86.8	[3;5;0;0;1;0;4]
	с	82.5	[3;5;0;3;1;0;4]
	с	86.4	[3;5;0;1;1;0;4]
	с	86.8	[1;8;0;0;1;0;4]
	с	86.8	[3;5;0;0;1;0;4]
	с	87	[1;5;0;26;6;0;4]
	nc	19.5	[4;5;4;12;1;0;9]

Након тестирања и упоређивањем колона „с/nc“ и „CL“ израчунато је да модел препознаје активности које су у пројектним плановима узорка на критичној путањи (где је у обзир узето само трајање активности), као и оне које нису на критичној путањи, у 80.17% случајева. Модел не препознаје да ли је активност критична или не ($CL \approx 50\%$) у 4.05% случајева, од чега се већина односи на некритичне активности (3.33%). Према томе, ако је $CL \approx 50\%$ може се сматрати да је та активност некритична. У преосталих 15.4% случајева процена критичности се односи на активности које могу бити критичне, иако нису на критичној путањи, као и на оне које нису критичне, а налазе се на критичној путањи, и тако указати на потенцијалне проблеме у реализацији пројектног плана.

У сваком случају моделом је процентуално изражена критичност сваке активности, без коришћења постојећих метода. Функционалност модела се може повећати одабиром додатних активности које ће бити уврштене у тренинг скуп, водећи при томе рачуна да оне буду довољно опште (на пример: „Тестирање“, „Контрола исправности“, итд.). С обзиром на разнородност пројеката, не може се дати коначна препорука.

6. ЗАКЉУЧАК

Допринос наведеног истраживања огледа се у дефинисању модела за процену критичности активности пројекта, који поред трајања узима у обзир и друге карактеристике активности. Према томе, потврђене су постављене подхипотезе истраживања да је могуће одредити у којој мери, поред трајања, карактеристике активности утичу на њену критичност и да је могуће генерисати фази правила применом теорије грубих скупова у области управљања пројектима. Самим тим је доказана и главна хипотеза рада да је могуће моделирати одређивање критичности активности. На тај начин је одговорено и на постављена истраживачка питања.

Методологија креирања модела обухвата дефинисање фази IF-THEN правила, која су настала на основу експертског знања, и аутоматским генерисањем, применом теорије грубих скупова. За ово су коришћени емпиријски подаци 43 реализована пројекта. За разлику од постојећих

метода, у овом случају је апострофирана активност, независно од тога којој путањи мрежног дијаграма пројекта припада. Активност је описана атрибутима у облику фази променљивих, уместо само једног атрибута – трајања, који је до сада претежно коришћен. Фокус на активности је оправдан чињеницом да у одређеном моменту реализације пројекта, критичност активности може бити од суштинског значаја.

Модел користи мамдани фази логички контролер креиран помоћу Fuzzy Logic Toolbox-a, који је део Matlab-a. Излаз модела је ниво критичности активности изражена у процентима. Тестирање модела је изведено на 420 активности из 43 различита пројектна плана и утврђена је подударност од 80.71% са постојећим методама за одређивање критичности активности. Модел је указао на активности које могу бити критичне, иако нису на критичној путањи, као и на оне које нису критичне, а налазе се на критичној путањи, и према томе, указао на потенцијалне проблеме у реализацији пројектног плана. Модел се састоји од девет фази правила. Мали број правила доприноси читљивости и транспарентности модела.

Такође, приказано је како се може применити теорија грубих скупова у области управљања пројектима. Теорија грубих скупова омогућава генерисање фази IF-THEN правила на основу историјских података. Квалитет правила зависи од квалитета узорка који се користи за њихово генерисање, док се укупни квалитет скупа правила може побољшати правилима које дефинишу експерти.

Будуће истраживање може укључити синтезу фази правила која се заснива на већем узорку и посебан третман за недетерминистичка правила у смислу теорије грубих скупова. Такође, будућим истраживањем се може обухватити испитивање различитих техника генерисања фази правила, заснованих на посебним шаблонима.

ЗАХВАЛНИЦА

Министарство за образовање, науку и технолошки развој, Републике Србије, подржава ово истраживање у оквиру пројекта „Развој софтверских алата за анализу и унапређење пословних процеса“, број пројекта TP32044, 2011-2019.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] C. E. Clark, The Greatest of a Finite Set of Random Variables. Operations Research, Vol. 9, No. 9, pp. 145-162, 1961.
- [2] R. M. Van Slyke, Monte Carlo Methods and the PERT Problem. Operations Research, Vol. 11, No. 5, pp. 839-860, 1963.
- [3] Malcolm, D. G., Roseboom, J. H., Clark, C. E., Fazar. W. Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation, Operations Research, Vol. 7, No. 5, pp. 646-669, 1959.
- [4] Kelley, J. E. Jr. Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis, Operations Research, Vol. 9, No. 3, pp. 296-320, 1961.

- [5] Fulkerson, D. R. Expected Critical Path Lengths in PERT Networks, *Operations Research*, Vol. 10, No. 4. Pp. 581-594, 1962.
- [6] Wiest, J. D., Levy, F. K. A management guide to PERT/CPM, Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall, 1969.
- [7] Kerzner, H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (8th ed.). Wiley. ISBN 0-471-22577-0. 2003.
- [8] Petrić, J. i drugi. Mrežno planiranje i upravljanje. Informator, Zagreb, 1983.
- [9] Jovanović, T., Jovanović, P. i Đorđević, P. Primena tehnike mrežnog planiranja. Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [10] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (5th ed.). Project Management Institute. ISBN 978-1-935589-67-9. 2013.
- [11] Dodin, B. Determining the (k) Most Critical Paths in PERT Networks. *Operation Research*, Vol. 32, No. 4, pp. 859-877, 1984.
- [12] Farhad Habibi, Omid Taghipour Birgani, Henk Koppelaar, Stojan Radenović. Using fuzzy logic to improve the project time and cost estimation based on Project Evaluation and Review Technique (PERT). *Journal of Project Management*, Volume 3 Issue 4 pp. 183-196, 2018.
- [13] Jevtic, V., Letic, D.: Superposition of Critical Paths Based on Analytical and Numerical Method, *SISY 2009*, Subotica: Library of Congress: 2008903275, IEEE Catalog Number: CFP0884C-CDR, 25.-26. 9., 2009.
- [14] Jevtic, V. Development of Project Duration Assessment Model Based on Clark's Equations, Ph. D. Thesis, The author's reprint, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 2010.
- [15] F.A. Lootsma, F. A.: Stochastic and fuzzy PERT, *European Journal of Operational Research* 43, pp. 174-183. 1989.
- [16] Shipley, M. F., Korvin, A., Omer, K., BIFPET methodology versus PERT in project management: fuzzy probability instead of the beta distribution, *J. Eng. Technol. Manage.* 14, pp. 49-65. 1997.
- [17] Chen, C. T., Huang, S.F.: Applying fuzzy method for measuring criticality in project network, *Information Sciences* 177, pp. 2448-2458. 2007.
- [18] Madadi, M., Iranmanesh, H.: A management-oriented approach to reduce a project duration and its risk (variability), *European Journal of Operational Research* 219, pp. 751-761. 2012.
- [19] Dixit, V., Srivastava, R. K., Chaudhuri, A.: Procurement scheduling for complex projects with fuzzy
- [20] Samantra, C., Datta, S., Mahapatra, S. S.: Risk assessment in IT outsourcing using fuzzy decision-making approach: An Indian perspective. *Expert Systems with Applications* 41, pp. 4010-4022. 2014.
- [21] Dubois, D., Fargier, H., Galvagnon, V.: On latest starting times and floats in activity networks with ill-known durations, *European Journal of Operational Research* 147, pp. 266-280. 2003.
- [22] S. D. Button, Project duration prediction using a Monte Carlo simulation of the periodic output of the project resources. *Monte Carlo Methods and Appl.* Vol. 9, No. 3, pp. 217-225, 2003. activity durations and lead times, *Computers & Industrial Engineering* 76, pp. 401-414. 2014.
- [23] Makitan, V., Brtka, V., Brtka, E., Ivkovic, M.: Rough Sets Based Model as Project Success Support, *ICIST 2014*, 4th International Conference on Information Society and Technology – Proceedings, Society for Information Systems and Computer Networks, pp. 235-240. 2014.
- [24] Doskočil, Radek. Fuzzy Logic: An Instrument for the Evaluation of Project Status. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa* (19). pp. 2-23. July 2015.
- [25] Haytham H ElMousalami. Fuzzy logic for preconstruction project planning index. *MOJ Civil Eng.* Vol. 5, Issue I, 2019.
- [26] Pawlak, Z.: Rough sets. *Int. J. Comput. Inf. Sci.* 11, pp. 341-356. 1982.
- [27] Pawlak, Z., Grzymala-Busse, J., R. Slowinski, Ziarko W.: Rough sets. Association for Computing Machinery, Communications of the ACM, 38. 1995.
- [28] Greco, S., Benedetto, M., Slowinski, R.: New Dewelopments in the Rough Set Approach to Multi – Attribute Decision Analysis. *Bulletin of International Rough Set Society*, Volume 2, Number 2/3, pp. 57-87. 1998.
- [29] Pawlak, Z.: Rough set approach to knowledge-based decision support. *European Journal of Operational Research*, 99, pp. 48-57. 1997.
- [30] Pawlak, Z., Skowron, A.: Rudiments of rough sets. *An International Journal of Information Sciences* 177, pp. 3-27. 2007.



Весна Макитан, Универзитет у Новом Саду, Технички факултет "Михајло Пупин" Зрењанин

Контакт: vesna@tfzr.uns.ac.rs

Области интересовања: Оптимизационе методе, управљање ИТ пројектима, софтвери за управљање пројектима



Владимир Бртка, Универзитет у Новом Саду, Технички факултет "Михајло Пупин" Зрењанин

Контакт: vladimir.brtka@tfzr.rs

Области интересовања: Фази системи, машинско учење, теорија грубих скупова, вештачка интелигенција



Елеонора Бртка, Универзитет у Новом Саду, Технички факултет "Михајло Пупин" Зрењанин

Контакт: eleonorabrtka@gmail.com

Области интересовања: Data Mining у образовању, образовни рачунарски софтвер, системи за e-learning, Управљање ИТ пројектима.



Далибор Добриловић, Универзитет у Новом Саду, Технички факултет "Михајло Пупин" Зрењанин

Контакт: dalibor.dobrilovic@tfzr.rs

Области интересовања: Рачунарске мреже и комуникације, мобилне и бежичне комуникације, Заштита рачунарских мрежа, виртуелизација.

