



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
Технички факултет
„Михајло Пупин“
Зрењанин

РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ТРАЈАЊА ПРОЈЕКТА НА ОСНОВУ КЛАРКОВИХ ЈЕДНАЧИНА

Докторска дисертација

Ментор

Проф. др Душко Летић

Кандидат

Мр Весна Јевтић

У Зрењанину, 2009.

Универзитет у Новом Саду
Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
Кључна информацијска документација

Редни број: RBR	
Идентификациони број: IBR	
Тип документације: TD	Монографска документација
Тип записа: TZ	Текстуални штампани материјал
Врста рада: VR	Докторска дисертација
Име и презиме аутора: AU	Мр Весна Јевтић
Ментор (титула, име, презиме, звање): MN	Проф. др Душко Летић, ванредни професор
Наслов рада: NR	Развој модела за одређивање трајања пројекта на основу Кларкових једначина
Језик публикације: JP	Српски (ћирилица)
Језик извода: JI	Српски/енглески
Земља публикавања: ZP	Србија
Уже географско подручје: UGP	Војводина
Година: GO	2009.
Издавач: IZ	Ауторски репринт
Место и адреса: MA	Ђуре Ђаковића бб, Зрењанин
Физички опис рада: FO	(15/131/22/9/165/6)
Научна област: NO	Информационе технологије
Научна дисциплина: ND	Операциона истраживања
Предметна одредница, кључне речи: PO	Суперпозиција, мрежно планирање, Монте Карло симулација, софтвер за управљање пројектима
UDK	
Чува се: ЃУ	У библиотеци ТФ „Михајло Пупин“, Зрењанин
Важна напомена: VN	

<p>Извод: IZ</p>	<p>У дисертацији је постављен проблем одређивања трајања пројекта у случају мрежног дијаграма у којем су идентификоване две критичне путање: критична и субкритична, који је решен на основу суперпозиције. На тај начин је узет у обзир утицај субкритичне путање на трајање пројекта. Испитиван је феномен суперпозиције и његове методе: аналитичка, заснована на Кларковим једначинама и нумеричка, Монте Карло симулација. Ова испитивања су била од значаја за развој модела за одређивање трајања пројекта. Њему је допринело и емпиријско истраживање, чији је резултат база полазних планова реализованих пројеката. Модел је имплементиран је у једном од софтвера за управљање пројектима и тако је омогућена његова широка примена без потребног предзнања о теоријским поставкама модела.</p>
<p>Датум прихватања од стране НН већа: DP</p>	
<p>Датум одбране: DO</p>	
<p>Чланови комисије: (име и презиме/титула/звање/назив организације/статус) КО</p> <p>Председник: проф. др Момчило Бјелица, редовни професор, ТФ „Михајло Пупин“, Зрењанин</p> <p>Члан: проф. др Илија Ћосић, редовни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад</p> <p>Члан: проф. др Ивана Берковић, редовни професор, ТФ „Михајло Пупин“, Зрењанин</p> <p>Члан: проф. др Миодраг Ивковић, ванредни професор, ТФ „Михајло Пупин“, Зрењанин</p> <p>Ментор: проф. др Душко Летић, ванредни професор, ТФ „Михајло Пупин“, Зрењанин</p>	

University of Novi Sad
 Tehnical Faculty "Mihajlo Pupin" Zrenjanin
 Key word documentation

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Concents code: CC	Ph. D. Thesis
Author: AU	Vesna Jevtić, M.Sc.
Menthor: MN	Duško Letić, Ph.D., associated professor
Title: TI	Development of Project Duration Assessment Model Based on Clark's Equations
Language of text: LT	Serbian
Language of abstract: LA	English/Serbian
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year: PY	2009.
Publisher: PU	The author's reprint
Publication place: PP	Zrenjanin
Physical description: PD	(15/131/22/9/165/6)
Scientific field: SF	Information technology
Scientific discipline: SD	Operation research
Subject, Key words: SKW	Superposition, network planning, Monte Carlo simulation, project management software
UC	
Holding data: HD	In the library of the Technical faculty "Mihajlo Pupin", Đure Đakovića, bb, Zrenjanin
Note: N	

<p>Abstract: AB</p>	<p>In this work, project duration assessment problem for network diagram with two critical paths: critical and subcritical, is stated. Problem solution is based on the superposition and, in that way, subcritical path influence on the project duration is taken into the consideration. Superposition phenomena and its methods: analytical, based on Clark's equations and numerical, Monte Carlo simulation is investigated. This research is important for development of the project duration assessment model. Empirical research made its own contribution, whose results were baseline database of realized projects. Model is implemented in one of the project management software and, its wide use is assured, without the need of knowing its theoretical basis.</p>
<p>Accepted on Scientific Board on: AS</p>	
<p>Defended: DE</p>	
<p>Thesis Defend Board: DB</p> <p>President: Momčilo Bjelica, Ph.D., Full Professor, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin</p> <p>Member: Ilija Ćosić, Ph.D., Full Professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad</p> <p>Member: Ivana Berković, Ph.D., Full Professor, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin</p> <p>Member: Miodrag Ivković, Ph.D., Associate Professor, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin</p> <p>Mentor: Duško Letić, Ph.D., Associate Professor, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin</p>	

САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	9
1.1. О развоју модела	11
1.2. О пројектима – трајање пројекта	13
1.3. О управљању пројектом	16
1.4. Софтвери за управљање пројектом	20
2. ИСТОРИЈСКИ АСПЕКТ ПРОБЛЕМА ИСТРАЖИВАЊА И ПРЕГЛЕД ПОСТОЈЕЋИХ СТАВОВА	23
2.1. Примена методе остварене вредности за одређивање трајања пројекта	23
2.2. Примена управљања ризиком у одређивању трајања пројекта	24
2.3. Метода симулације	25
2.4. Остале примене	26
2.5. Методе мрежног планирања	27
2.5.1. <i>ADM</i> дијаграми	29
2.5.2. <i>PDM</i> дијаграм	32
3. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	33
4. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА	37
4.1. Задаци истраживања	38
4.2. Хипотезе истраживања	39
4.2.1. <i>Главна хипотеза</i>	39
4.2.2. <i>Потхипотезе</i>	39
4.3. Очекивани резултати истраживања.....	39
4.4. Научна и друштвена оправданост истраживања.....	40
5. МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР РАДА.....	42
5.1. Методе и технике истраживања.....	42
5.2. Узорак истраживања	42
5.3. Поступци и инструменти за вредновање модела	47

6. МЕТОДЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ТРАЈАЊА ПРОЈЕКТА ЗАСНОВАНЕ НА СУПЕРПОЗИЦИЈИ.....	50
6.1. Аналитичка метода – заснована на Кларковим једначинама.....	51
6.1.1. <i>Пример суперпозиције мрежног дијаграма на основу аналитичке методе.....</i>	<i>54</i>
6.2. Нумеричка метода – Монте Карло симулација.....	58
6.2.1. <i>Пример суперпозиције мрежног дијаграма на основу нумеричке методе.....</i>	<i>63</i>
7. КРЕИРАЊЕ МОДЕЛА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ТРАЈАЊА ПРОЈЕКТА	66
7.1. Дефинисање улазних података модела	66
7.2. Креирање прилагођеног приказа софтвера према предвиђеним теоријским поставкама модела.....	69
7.3. Излазни подаци модела	74
8. ТЕСТИРАЊЕ МОДЕЛА	76
8.1. Тестирање модела у оквиру вежби из предмета Управљање пројектима	76
8.2. Осврт на будућу примену креираног модела	78
9. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	79
9.1. Бета расподела у аналитичкој методи.....	79
9.2. Приказ и статистичка обрада података из узорка.....	83
9.2.1. <i>Тестирање хипотеза о значајности разлика средњих вредности и стандардних девијација.....</i>	<i>84</i>
9.3. Резултати симулације трајања пројекта на основу модела	86
9.4. Резултати вредновања модела.....	88
9.4.1. <i>Ваљаност модела</i>	<i>88</i>
10. ИНТЕРПРЕТАЦИЈА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА.....	92
10.1. Показатељи резултата тестирања модела	93
10.2. Остали показатељи резултата истраживања.....	94
11. ЗАКЉУЧАК.....	96
11.1. Приказ истраживања и постигнути резултати	96
11.2. Научни и друштвени допринос истраживања	97
11.3. Даље истраживање.....	98

12. RESUME	101
13. ПОЈМОВНИК.....	101
14. РЕФЕРЕНЦЕ И ШИРИ СПИСАК ЛИТЕРАТУРНИХ ИЗВОРА	108
15. ПРИЛОЗИ	114
15.1. А – Листа софтвера за управљање пројектима.....	114
15.2. Б – Протокол истраживања	122
15.3. В – Подаци коришћени за статистичку обраду резултата истраживања	123
15.4. Г – Садржај програмираног материјала	126
15.5. Д – Пример суперпозиције сложене мреже на основу Монте Карло симулације ..	127
15.6. Ђ – Пројектни планови из узорка – електронски прилог	133

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Чињеница је да су људи реализовали пројекте и управљали њима током целокупне своје историје и да су дисциплини управљања пројектом посебно посветили пажњу почетком педесетих година прошлог века. Од тада је научни допринос пракси управљања пројектом добио своје формално обележје. Потреба је била толика да су посебно финасирана истраживања у овој области, чије је добробити користила прво америчка војна индустрија. У то време је настао традиционални приступ методологији управљања пројектом, развијене су његове методе (методе мрежног планирања, методе распоређивања, аналитичке методе...), касније су се појавили и први софтвери за управљање пројектима. Примена се увелико проширила и на приватни сектор, настала су многа предузећа и организације у чијем је опису рада било управљање пројектом.

Управљање пројектом се посебно потврдило кроз бројне реализоване пројекте и временом је обогатило своје садржаје новим аспектима (попут управљања програмом и портфолио управљањем) и постало база драгоценог знања за будуће пројекте. Сваки од аспеката управљања пројектом: интеграција, опсег, време, трошкови, квалитет, људски ресурси, комуникације, ризик и набавке [60] посебна је област изучавања одговарајућих им предмета и проблема са својим методама и алатима. Према томе, сваки од наведених аспеката има место, улогу и значај у управљању пројектом.

Код нас се концепт управљања пројектом појављује крајем шездесетих година прошлог века ангажовањем страних консултантских кућа у реализацији неких наших пројеката. У почетку је његова примена била слаба услед недостатка знања и обучених стручњака. [30] Оваква слика је последњих деценија битно измењена захваљујући сарадњи коју државне и приватне организације и фирме, као и образовне институције, имају са сличним институцијама у Европи и шире (за шта је предуслов управо примена принципа управљања пројектом). [28]

Развоју праксе управљања пројектом у академским круговима првенствено, допринело је учешће у пројектима сарадње са привредом, затим у пројектима које финансира Министарство за науку Републике Србије, као и у међународним пројектима¹. Дефинисана је и база научних радника (првенствено у Војводини [161]) доступних у Европи (база Министарства за науку РС), са циљем учешћа у међународним пројектима. Ово је, између осталог, допринело ширењу примене концепта управљања пројектом у привредном и друштвеном сектору код нас. Извођење послова фирми, организација и установа, њихова конкурентност, оправданост постојања и опстанак зависе од учешћа у пројектима и њихове успешне реализације. Њихова нужна усмереност ка примени концепта управљања

¹ У питању су пројекти Европске заједнице са циљем повезивања и сарадње образовних институција у Европи и шире у оквиру програма истраживања и технолошког развоја, као што су: Framework Programme, The Southeast European ERA-NET, Tempus пројекти (из области образовања), затим пројекти прекограничне сарадње (Cross Border Cooperation), као и пројекти заштите животне средине.

пројектом у условима које диктирају развијене земље света ће, према томе, бити све већа.²

Развој теорије управљања пројектом текао је паралелно са поменутиим развојем његове праксе, укључивањем садржаја управљања пројектом у студијске програме образовних институција, програме домаћих и међународних конференција, семинара и пројеката итд.³. У односу на аспект практичне примене управљања пројектом код нас, теоријски аспект, у свом истраживачком делу, који би за циљ имао налажење нових решења, оптимизацију поступака и начине примене у пракси, знатно је мање заступљен. Речник управљања пројектом се може наћи у неким књигама само као прилог, док стандарде праксе управљања пројектом одређују организације које их финансирају, дакле не постоје посебни. Према томе, стандардизација терминологије и праксе у области управљања пројектом код нас још увек траје. Домаћа литература у вези са овом темом углавном је недоступна, док се о преводима дела страних аутора може говорити практично само у вези са приказом софтвера за управљање пројектима. Са друге стране, употреба Интернета и, посебно, услуга Конзорцијума библиотека Србије (Кобсон [106]), захваљујући којима су на располагању радови из светских научних и стручних часописа, као и све богатија пракса и растућа банка ресурса расположивих за примену концепта управљања пројектом, требало би да допринесе развоју теорије управљања пројектом код нас.

Овај кратак приказ чињеница о управљању пројектом, његовом развоју и заступљености у свету и код нас наведен је са циљем да се делимично укаже на значај тематике, као и доприноса истраживања у овој области. Како је главни аспект управљања пројектом у 21. веку његова имплементација у пракси (Applied Project Management [37]), допринос томе, поред резултата приказаних у раду [29], огледа се у одабраним областима истраживања у овој дисертацији:

- управљање временом реализације пројекта – са посебним освртом на методе за одређивање трајања пројекта. Већ више од пола века се у ове сврхе користе методе мрежног планирања, које се у дисертацији посматрају са аспекта суперпозиције. На тај начин се при проценама трајања пројекта узимају у обзир фактори за које постоји велика вероватноћа да буду пресудни током његове реализације. У питању су субкритичне путање које могу доћи до

² Допринос овоме дају фирме и организације попут: СРМ – Центар за управљање пројектима, консултантска фирма која пружа подршку у обуци, пословним решењима и консалтинг услугама из области управљања пројектима, управљања предузећем и управљања развојем пословања [161], СМС-Pro – пружа услуге у области менаџмента, пројектовања и изградње грађевинских објеката [162]; Yu-build – грађевински и архитектонски портал, који између осталог нуди речник управљања пројектом [163]; фирма АГ тим која је произвођач софтвера Фараон за подршку управљања пројектом, који је компатибилан са светским лидерима у овој класи (Primavera Project Planer, Microsoft Project) [164].

³ Један од доприноса овоме дао је Факултет организационих наука у Београду, као члан Међународне организације за управљање пројектима IPMA, организатор скупова (YUPMA, SimOrg) и провајдер услуга. [165]

изражаја посебно у пројектима стохастичке природе (из области истраживања и развоја);

- применљивост метода за одређивање трајања пројекта у пракси – у вези са тим је развијен модел за одређивање трајања пројекта. Параметри модела су добијени на основу емпиријског материјала – реализованих пројектних планова, у њему је примењена суперпозиција заснована на аналитичкој методи и сам развој је текао у окружењу једног од стандардних софтвера за управљање пројектима. На тај начин будућа употреба модела у пракси укључује поменути теорију и просечном кориснику софтвера за управљање пројектом да је без потребног предзнања примењује;
- информатика у образовању – кроз примену развијеног модела за процене у високообразовним институцијама, па и шире. У развој модела, посебно део који се односи на тестирање, укључени су студенти Техничког факултета у Зрењанину. Они су на основу припремљеног програмираног материјала тестирали модел и допринели дефинисању параметара модела. Будућа примена се односи на састављање пројектних планова и процену трајања која укључује развијени модел.

С обзиром на то да је неодвојиво од обима и трошкова пројекта, трајање утиче на њих, као и на ризик, квалитет и остале аспекте реализације пројекта. Према томе, развој модела за прецизније одређивање трајања пројекта може допринети уштедама у свим поменутих видовима његове реализације.

Ради јаснијег приказа предмета и проблема истраживања следи преглед потребних дефиниција и тумачење одређених појмова (при чему су највећим делом коришћени примарни извори).

1.1. О развоју модела

Термин модел најчешће асоцира на физичке моделе који представљају зграде, аутомобиле и томе слично, мада значење ове речи обухвата и много више. [107] Модел је апстракција реалности у смислу да он не може да обухвати све њене аспекте. Модел је и упрошћена и идеализована слика реалности. Он нам омогућава да се суочимо са реалним светом (системом) на поједностављен начин, избегавајући његову комплексност и иреверзибилност, као и све опасности које могу проистећи из експеримената над самим реалним системом. Модел је такође и опис реалног система са свим оним карактеристикама које су релевантне из нашег угла посматрања. [61] Такође, модел је и сваки теоријски, тј. појмовни или стварни, или практични реални, предмету истраживања аналогни систем (S_0), помоћу кога се истражује изванредан основни предмет или систем (S_1), где је систем S_0 оригинал или узор, а S_1 модел (систем аналогон оригинала). [95] Описане карактеристике указују и на чињеницу да је управо модел основно средство у научним истраживањима.

Постоје разне поделе модела у односу на њихове карактеристике, и то према: динамици у времену (статички и динамички), одређености компонената модела (детерминистички, стохастички, фази), структури модела и поступака за њихово

анализирање (аналитички, нумерички) и структури метода за решавање проблема (алгоритамски, хеуристички), док је најчешћа подела модела на: физичке, мисаоно дескриптивне и математичке. За њихово обликовање могу се користити експериментални подаци, проверени математичко-физички закони о понашању реалног система, анализа, синтеза и друго. [42]

Модел развијен у дисертацији има, између осталих, карактеристике динамичких, стохастичких и аналитичких модела. Његово постављање је реализовано комбинованом методом, односно синтезом:

- аналитичке методе, засноване на апликацији општих научних закона и теоријских анализа. [42] Као теоријска основа модела развијеног у дисертацији одабрана је аналитичка метода, заснована на Кларковим једначинама, којом се описује израчунавање трајања пројекта на основу суперпозиције критичних путања његовог мрежног дијаграма;
- експерименталне или емпиријске методе, која је послужила за дефинисање параметара модела на основу емпиријског материјала (сакупљеног узорка планова реализованих пројеката из зрењанинских фирми).

Овакав приступ је омогућио симулацију стварности – реализације пројекта, у виду пројектног плана и мрежног модела, као и експериментисање над њим, са утврђеним циљем – одређивање трајања пројекта.

Као методе за решавање постављеног модела одабране су методе мрежног планирања и управљања (CPM/PERT), аналитичка и нумеричка метода – метода симулације. У ове сврхе коришћени су софтвери и то: математички – програм Mathcad и софтвер за управљање пројектима – Microsoft Project. На овај начин потврђена је и једнозначност добијених решења.

Тестирање модела је реализовано на основу припремљеног програмираног материјала, од стране студената информатичких студија Техничког факултета. Ово је уједно део вредновања модела, односно одређивање мере усаглашености реалних и остварених резултата. За вредновање модела усвојен је и посебан низ критеријума (поглавље 5.3.), с обзиром на то да би верификован резултат требало да представља релевантни управљачки параметар неопходан за одговарајућу примену у реалним условима.

Примена развијеног модела у реалним условима је омогућена захваљујући чињеници да је за апликацију модела послужио један од стандардних софтвера за управљање пројектима, и то првенствено на плановима из емпиријског материјала, који су према томе носиоци модела. На тај начин је обезбеђено да се његова примена прошири, у првом реду, на фирме које су дале допринос у прикупљању емпиријског материјала, као и да се приближи чак и просечном кориснику софтвера за управљање пројектима. Такав корисник ће без потребног предзнања о теоријским основама примењивати модел и добити процене које могу допринети бољем управљању пројектом.

Развој модела у дисертацији је текао по фазама, од дефинисања елемената модела, његовог теоријског оквира, преко одабира начина обликовања и метода решавања

до тестирања, вредновања и примене. Стога се и развој модела може сматрати пројектом (о пројектима више у следећем поглављу).

Развијени модел и његова примена би требало да допринесу, између осталог, истраживањима у области управљања пројектом, конкретно управљању временом реализације и његовим методама и техникама.

1.2. О пројектима – трајање пројекта

Значење речи пројекат је новолатинског порекла – *projectus*, што значи план, нацрт, скица; замисао, предлог; накана, намера [10]. Према томе оно указује на план о нечему унапред. Данас готово да нема области живота и рада људи у којој није заступљен пројекат, а за потребе дисертације посматране су дефиниције овог појма у области управљања пројектом. Оне су бројне и већим делом усаглашене у вези са значењем пројекта.

- *Пројекат је привремени подухват предузет са циљем да се креира јединствени производ или услуга. [60]*
- *Пројекат је привремена организација креирана за потребе испоруке једног или више пословних производа према унапред дефинисаном документу (Business Case – у којем је оправдана реализација пројекта). [97]*
- *Пројекат је скуп координисаних активности са одређеним тачкама почетка и краја под руководством особе или организације са циљем да се достигну специфични циљеви у складу са распоредом, трошковима и извођењем. [74]*
- *Пројекат је јединствени низ активности које се предузимају ради остварења унапред постављеног циља у одређеном временском интервалу, помоћу ресурса и уз одређене трошкове. [28]*

При дефинисању пројекта наводе се његове карактеристике по којима се он разликује од текућих операција или послова ([30, 60]) који се често понављају, а то су:

- привременост, која указује на то да пројекат постоји само у потребном временском интервалу и никада више,
- јединственост, која је карактеристична за све пројекте, чак и за оне са истим циљем, а огледа се у ресурсима који су коришћени, времену у којем настају, њиховом окружењу и тако даље,
- резултат пројекта, који, у ствари, представља остварење његовог циља, што може бити одређени производ или услуга.
- креација, односно настајање резултата пројекта од самог почетка до његовог коначног облика.

Пројекат се реализује у фазама, од којих свака као резултат има међупроизвод пројекта, и заједно оне чине животни циклус пројекта. Постоји више подела

животног циклуса пројекта на фазе. Само стандард [60] даје неколико репрезентативних подела у зависности од области реализације пројекта⁴. Према новијим дефиницијама стручних веб-речника [97, 108, 109] фазе животног циклуса пројекта су иницијална, фаза планирања, реализације и завршетка:

- у иницијалној фази се дефинише опсег пројекта са аспекта достизања постављених циљева. У овој фази се такође одређује руководиоца пројекта и пројектни тим;
- фаза планирања обухвата детаљно идентификовање задужења за сваку од активности до краја пројекта. При томе се врши и процена ризика, дефинисање критеријума успешности за крај сваке фазе и утврђују се заинтересоване стране;
- у фази реализације и контроле акценат је на обезбеђивању и контроли реализације активности пројекта према плану.
- фаза завршетка пројекта обухвата проверу исправности завршетка пројекта и обично укључује писање званичног извештаја пројекта. [98]

За реализацију пројекта одговоран је руководиоца пројекта, пројектни тим доприноси његовој реализацији, док су заинтересоване стране (наручиоци пројекта) оне које подржавају реализацију пројекта и касније, по његовом завршетку, су корисници производа или услуге пројекта.

Пројекат се може посматрати кроз његово трајање, трошкове и обим, при чему је у овом случају пажња посвећена трајању пројекта. Приликом дефинисања, трајање се првенствено односи на активности пројекта и према неким од дефиниција само трајање је:

- број радних периода (не укључујући одморе или друге нерадне периоде) потребан за комплетирање активности или других елемената пројекта. Обично се изражава у радним данима или радним недељама [60];
- календарски период потребан да се добије међурезултат пројекта [47];
- стварно трајање времена који истекне док се задатак реализује. Трајање је једнако количнику рада и ангажовања ресурса [20];

⁴ РМВОК [60] даје фазе животног циклуса пројекта:

- америчког министарства одбране: одређивање потреба мисије, концепт истраживања и дефинисања, демонстрација и валидација, инжењерски и производни развој, производња и примена (1993);
- грађевинске индустрије (Morris – 1981.): студија изводљивости, планирање и дизајн, производња, тестирање и одржавање;
- индустрије лекова (Murphy – 1989.): откривање и скенирање, преклинички развој, клиничка фаза и активности после објављивања;
- развоја софтвера (Muensch – 1994.): дефинисање пословних захтева, логички дизајн система, физички дизајн система, коначни дизајн и тестирање.

- планирано или стварно протекло време између два догађаја, нпр. између почетка и краја активности, између два кључна догађаја или читавог пројекта. Трајање се може мерити у јединицама календарског времена, или пројектног календарског времена. Погрешно је мерити трајање радним часовима или радним данима које су јединице рада, а не времена [108].

Трајање је саставни део управљања временом реализације пројекта, чији процеси су дати на слици 1.2.1. (према [63]). Сваки од приказаних процеса има своју листу потребних улазних података, затим алата и техника којима се они процесирају, као и излаза који су резултат ове обраде.



Слика 1.2.1. Процеси управљања временом пројекта

За потребе истраживања у дисертацији ће се сматрати да је трајање пројекта „време протекло од датума почетка пројекта до датума завршетка пројекта“ [60], што се посебно односи на планове из емпиријског узорка. Такође, претпоставка је да су код ових планова за дефинисање распореда пројекта примењене:

- Work Breakdown Structure (WBS) – метода рашчлањивања пројекта на фазе, подфазе итд. до појединачних активности,
- процена трајања активности – на основу историјских података, односно реализованих пројеката, као и мишљења експерата,
- методе мрежног планирања – за дефинисање дијаграма пројекта што ће омогућити увид у међусобне везе активности, одређивање трајања пројекта и контролу распореда пројекта.

У дисертацији је акценат на методама за одређивање трајања пројекта, првенствено са аспекта мрежног планирања и феномена суперпозиције, што ће посебно бити објашњено у поглављима 3 и 6.

1.3. О управљању пројектом

Анализом посебне литературе и претраживањем Интернета долази се до мноштва дефиниција управљања пројектом које су пореклом из организација и компанија које се баве управљањем пројектима из државног или приватног сектора, као и пословних и других речника и енциклопедија. За управљање пројектом неизоставне су његове: технике, алати, области управљања, методолошки приступи и стандарди, што све указује на његову општеприсутност. Дефиниције управљања пројектом су у великој мери уједначене и при њиховом одабиру се може поћи од стандардних:

- *Управљање пројектом је примена знања, вештина, алата и техника у активностима пројекта са циљем да се испуне потребе разних интересних страна и захтева пројекта, што значи успостављање равнотеже између: обима, времена, трошкова и квалитета пројекта.* [27];
- *Управљање пројектом је планирање, праћење и контрола свих аспеката пројекта и мотивација свих оних који су укључени у пројекат да остваре пројектне циљеве на време и са предвиђеним трошковима, квалитетом и извођењем.* (Према британском стандарду Prince2 [97]);
- *Управљање пројектом укључује све задатке потребне за планирање и контролу активности пројектног тима са циљем безбедног остварења пројектних циљева и раног откривања и кориговања проблема... Управљање пројектом описује иницијализацију, планирање, извршавање и затварање пројекта.* (Према немачком стандарду V-Modell-XT [74]);
- *Управљање пројектом је наука о планирању, организовању и управљању ресурсима са намером да се оствари успешно комплетирање одређених пројектних циљева.* (Према Википедији – интернет енциклопедији, која се може сматрати стандардом у својој области) [109]
- *Управљање пројектима је научно заснован и у пракси проверен концепт којим се, уз помоћ одговарајућих метода организације, информатике, планирања, вођења и контроле, врши рационално усклађивање потребних ресурса и координација потребних активности да би се одређени пројекат реализовао на најбољи начин.* [30]

Значајне су и дефиниције према којима је:

- *Управљање пројектом уметност и наука планирања, организовања, интеграције, усмеравања и контроле свих посвећених ресурса – током живота пројекта – ради остваривања постављених циљева у обиму, квалитету, времену, трошковима и задовољству купаца.* [87]
- *Управљање пројектом данас је „високе дефиниције“ (High Definition), што значи бољу комуникацију у свему. Свака заинтересована страна прима праву информацију, у право време и у најефектнијем формату.* [73]

- *За управљање пројектом се тврди и да је мимплекс⁵ у свом корену. Овакав приступ би требало да осветли шта је у садашњим сазнањима о управљању пројектом засновано на чињеницама, традицији или ауторитету и омогући нам да откријемо оне мимове који су тачни и корисни и који су укључени у креирање понашања у управљању пројектима. [9]*

Настанак науке о управљању пројектима везује се за САД, њихову грађевинску индустрију, инжењерство и војску, као и за зачетнике: Х. Ганта – творца гантаграма и Ф. В. Тејлора – оснивача науке о управљању. Почетком педесетих година прошлог века развијене су мрежне технике PERT и CPM, које су примењене у војном пројекту Поларис. Тако је започела примена управљања пројектима која се веома брзо раширила. Велики допринос њеном развоју дао је Амерички институт за управљање пројектима *Project Management Institute – PMI* (европска организација истог типа је *International Project Management Association – IPMA*, која обухвата готово 40 земаља света и преко 40 000 чланова [110]), који је 1981. објавио систематизоване смернице за управљање пројектима у оквиру „Корпуса знања о управљању пројектима“ (*Project Management Body of Knowledge – PMBOK*), данас један од стандарда.

Постоји више приступа управљању пројектима:

- Традиционални – према овом приступу управљање пројектом се одвија у фазама: иницијације, планирања или дизајна, извршења, праћења и контроле и завршетка пројекта. Касније је у овом приступу посебна пажња била усмерена на управљање квалитетом и ризицима. Према томе, како овај аспект покрива све фазе животног циклуса пројекта, он је применљив на готово све пројекте без обзира на њихову величину и комплексност;
- Агилне методологије – односе се првенствено на пројекте у области информационих технологија и промовишу развој итерација, отворене сарадње и прилагодљивост процеса кроз животно циклус пројекта. [96] Према манифесту за агилни развој софтвера, акценат се ставља на: индивидуе и интеракцију насупрот процесу и алату, радном софтверу насупрот свеобухватној документацији, сарадњу клијената насупрот уговарачима и реакцију на промене насупрот праћењу плана. [99] Неки од модела агилних методологија су:
 - Екстремно управљање пројектима – у вези је са методама управљања веома комплексних пројеката са високим степеном неизвесности. За разлику од традиционалног, оно има отворен, еластичан и недетерминистички приступ. Више је усмерен на управљање сарадњом него на примену формалних техника управљања. [111]

⁵ Мимеплекс је комплекс мимова који је „јединица културне трансмисије“ [17], „информацијска шема, која постоји у меморији индивидуе и има могућност да се копира у меморију друге индивидуе“ [86], а као таква омогућава ширење идеја и културних феномена.

- Scrum – је итеративни процес управљања развојем софтвера који обухвата скуп смерница и одређених улога. Главне улоге су: ScrumMaster који одржава процесе (слично руководиоцу пројекта), ProductOwner који представља заинтересоване стране и ScrumTeam, који представља развојни тим. Инкременти, тј. итерације у пројекту се одвијају у спринтовима, периодима од 15 до 30 дана (о чему одлучује тим) од којих сваки за резултат има потенцијално употребљиву верзију готовог производа, софтвера. [96]
- RUP (Rational Unified Process) – методологија која се примењује првенствено за реализацију пројеката информационих технологија, заснива се на итеративности и настао је у корпорацији IBM-а, Rational Software, 2003. Ова методологија нуди адаптивно окружење у којем развојни тимови бирају елементе процеса према својим потребама. У питању је и софтверски производ који нуди базу знања, као и IBM Rational Method Composer (RMC) који омогућава прилагођавање процеса.
- Адаптивно пројектно окружење – методологија која се заснива на плану који се креира циклички током реализације пројекта. У план се уврштавају само оне активности које ће бити део коначног решења.

Стандарди за управљање пројектима:

- IEEE Std 1490-2003, Guide Adoption of PMI Standard A Guide to the Project Management Body of Knowledge
- PRINCE2 (**PR**ojects **IN** Controlled **E**nvironments) је стандард који је 1989. године установила британска агенција CCTA (Central Computer and Telecommunications Agency), касније преименована у OGC (Office of Government Commerce). У питању је метода за ефективно управљање пројектима заснована на процесима. Поред државног, користи се и у приватном сектору и интернационалног је карактера. [101]
- V-Model је настао публикавањем *Development Standards for IT Systems of the Federal Republic of Germany* 1997. године са намером да се користи у свим цивилним и војним федералним агенцијама. Данас је присутна верзија V-Model XT из 2006. Реч је о моделу процеса за планирање и реализацију пројекта, који побољшава транспарентност пројекта, његово управљање и вероватноћу успеха дефинисањем конкретних акција са придруженим резултатима и одговарајућим улогама. [74]
- HERMES је метода за управљање пројектима која се користи за управљање, развој и извршавање пројекта у области ИКТ-а (Информационо комуникационих технологија). Развијена је од стране швајцарске федералне администрације 1975. године, од тада је имала ревизије 1986. и 1995. године. Без обзира на првобитну намену користи се и у образовним институцијама и предузећима са смерницама за купце пројекта, руководиоце пројекта и чланове тима.

- Capability Maturity Model (CMM) je jedan od modela zrelosti⁶ Instituta SEI – Software Engineering Institute, kojeg je osnovalo Ministarstvo odbrane SAD pri univerzitetu Pitsбург у Пенсилванији. Овај Институт у свом истраживачком раду сарађује са индустријама и академским институцијама. CMM модел је најбољи пример праксе овог Института у области управљања пројектима. Састоји се од модела, метода и обуке за које се сматра да ће побољшати процес извођења. Последња верзија је издата 2007. године. [102]
- Organizational Project Management Maturity Model (OPM3) је такође модел zrelosti који је развио PMI. Представља модел систематског управљања пројектима, програмима⁷ и портфолиом⁸ ради остваривања стратешких циљева организације. Може се применити на читаву компанију или организацију, као и на одређене пословне јединице, групе, одељења итд. [103]
- ISO 9000, стандард Интернационалне организације за стандарде (International Organization for Standardisation) који се односи на управљање квалитетом система (2000. и 2005. године), као и ISO 10006 стандард који се односи на управљање квалитетом пројекта (2003.).
- Total Cost Management Framework је 2006. године објавила америчка асоцијација – Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE), при Универзитету Њу Хемпшир. У питању је систематски приступ управљању трошковима током животног циклуса било ког предузећа, програма, пројекта, производа или услуге, као и интегрисана методологија за портфолио управљање, управљање програмом и пројектом. [104]

Управљање пројектима има своје: методе мрежног планирања (PERT, CPM...), дијаграме (гантограме, RACI дијаграме...), алате из области финансија, онлајн дијагнозе, софтвере итд.

Свакако су присутне и критике досадашњих теорија, метода и истраживања управљања пројектом. Оне се односе на:

- Неусаглашеност теорије и праксе управљања пројектом – поставља се питање у којој мери је повезана званична теорија управљања пројектима са њеном све већом применом у разним индустријским секторима;

⁶ Први модел zrelosti дефинисао је Humphrey [86] у области софтверског инжењерства. Може се дефинисати као структурирани скуп елемената који описују одређене аспекте zrelosti организације. Нивои zrelosti су: иницијални, понављајући, дефинисан, управљив и оптимизовани.

⁷ Управљање портфолиом или портфељима је управљање инвестицијама у хартије од вредности које је у различитим формама потребно индивидуалним и институционалним инвеститорима.

⁸ Управљање програмом се односи на усклађивање више независних пројеката са циљем унапређења функционисања организације.

- До сада позната теорија управљања пројектом је претежно уско оријентисана на „добру реализацију пројекта“ са недовољно развијеним стратешким приступом какав је код портфолио управљања и управљања програмом. Morris (1994), Cooke-Davies (2002), (eg. Chapman & Ward 2002);
- Критика америчког корпуса знања PMBOK и његовог британског еквивалента (Prince2) (Dixon, 2000) односи се на недовољно тумачење понашања комплексних пројеката (re: Eden, Williams, Ackermann and Howick), (Ackermann et al 1997; Eden et al 2000);
- Критике се односе и на квалитет скорашњих публикација о управљању пројектима у вези са релевантношћу и схватањем његове истраживачке методологије Meredith (2002);
- Са становишта системског приступа, постоје мишљења да се теорија управљања пројектом треба обогатити „меким“ (soft) аспектима (Morris, 2002; Winter, 2002), системским мишљењем и динамиком, на пример (Ackermann et al 1997; Williams, 2002). Такође, постоји потреба за идентификовањем нових области истраживања у управљању пројектима, као што је област критичних студија управљања (Hodgson, 2002). [8]

Ово све не значи да је досадашњу теорију потребно одбацити, већ је треба обогатити новим садржајима који ће допринети смањењу њене неусаглашености са праксом управљања пројектима. [8]

1.4. Софтвери за управљање пројектом

За ефикасно управљање пројектом, с обзиром на количину релевантних информација које је потребно прикупити, анализирати и прегледати у реалном времену, потребно је више од доброг планирања. Руководиоцима пројекта су данас на располагању многобројни софтвери који омогућавају праћење активности и контролу пројеката. [36]

Софтвери за управљање пројектима су програми који омогућавају: сумарни приказ података пројекта, управљање подацима, СРМ анализу, стандардне и прилагођене извештаје, истовремено праћење више пројеката, умрежавање, „шта ако“ анализу, графичку презентацију трошкова, времена и података о активностима, планирање и уједначавање ресурса, анализу трошкова и варијансе, вишеструке календаре (према [36]). Све то је са циљем да се обезбеди рад на пројектима и превазиђе њихова комплексност без обзира на величину пројекта. [104]

Њихов настанак датира од раних осамдесетих (када су развијени први софтвери за управљање пројектима: LisaProject, MacProject, Primavera, Artemis...) па до данас (програми Wrike, Trac+, ProjectPartner...).

Софтвери за управљање пројектима могу бити десктоп или веб базирани, комерцијални или бесплатни. Поддржавају све или неке од области: управљање пројектима, рад у тимовима, праћење захтева система, портфолио управљање и

управљање ресурсима. У табели 1.4.1. је приказана оваква подела софтвера за управљање пројектима. [105]

Табела 1.4.1. Листа софтвера

Бесплатни десктоп програми	Бесплатни веб базирани програми	Комерцијални десктоп програми	Комерцијални веб базирани програми
GantiProject	dotProject	Artemis	@task
KPlato	Bug Tracker	Contactizer	24SevenOffice
OpenProj	Callonos Workplace	FastTrack	AlterFiction-ISES
Open Workbench	Project.net	Shedule	Basecamp
TaskJuggler	ProjectPier	LisaProject	Central Desktop
	Trac+	Microsoft Project	Daptiv
		MacProject	GatherSpace
		OmniPlan	Genius Inside
		OpenMind	Instant Business Network
		Business Planisware OPX2 Pro	LiquidPlanner
		Primavera Project Planner	Mingle
		RiskyProject	OpenAir
		Teamcenter	Oracle Projects
		Tracker Suite	Planisware OPX/2Planisware 5
			Project Insight
			ProjectPartner (Vapourware)
			Projectplace
			Teamwork
			Track+
			ValleySpeak Project Server
			VPMi
			Wrike
			Zoho Projects

Заједничке карактеристике наведених програма су:

- подршка управљању пројектима: рад са активностима, гантограми, СРМ и PERT дијаграми, управљање ресурсима и трошковима пројекта, праћење реализације, комуникација на пројекту, управљање ризиком итд.
- окружење које корисницима омогућава комуникацију, једноставан увид у задужења и њихово ажурирање;
- компатибилност са осталим програмима исте намене, првенствено са Microsoft Project-ом;
- велики број корисника (више од 100 000), међу којима су заступљени и појединци и компаније;
- потврда важности програма, као што је годишња награда (нпр. за програме: Project.net, MS Project, Primavera Project Planer, 24Seven Office, Basecamp, Genius Inside, Teamwork, Wrike...).

У прилогу А дат је детаљнији опис наведених софтвера. [32]

На основу наведеног евидентна је општеприсутност софтвера за управљање пројектима. Они су неизоставни као алат у својој области, и према томе, и у самој дисертацији. Употреба једног од наведених софтвера ће олакшати дефинисање и приказ пројектних планова, као и експериментисање над њима. За потребе извршавања задатака дисертације одабран је софтвер Microsoft Project 2007, као један од изразито репрезентативних представника своје класе.

2. ИСТОРИЈСКИ АСПЕКТ ПРОБЛЕМА ИСТРАЖИВАЊА И ПРЕГЛЕД ПОСТОЈЕЋИХ СТАВОВА

Одређивање трајања пројекта је у саставу више научних истраживања, на пример, у области управљања пројектима и његових техника, затим метода операционих истраживања, нарочито у оквиру мрежног планирања, као и математичко моделирање и симулација, економске науке.

Са аспекта управљања пројектом, који је овде примаран, значајна систематизација метода и поступака, као и знања која се користе за одређивање трајања пројекта, дата је у стандарду [60] и обухвата:

1. методе мрежног планирања: методу првенства (*Precedence diagramming method, PDM*), методе стреличастих дијаграма (*Arrow diagramming method, ADM*) и методе условних дијаграма (*Conditional diagramming method* – У питању су методе попут *Graphical Evaluation and Review Technique (GERT)* и *System Dynamics*, које могућавају приказ условног гранања, као и петљи у мрежном дијаграму). Могу се користити и мрежни шаблони (*Network templates*) целог пројекта или његових појединих делова. Као резултат примене ових метода добија се мрежни дијаграм пројекта;
2. податке потребне за процену трајања пројекта: листа активности, скуп ограничења и претпоставки, банка ресурса и база података о претходним пројектима;
3. технике за процену трајања активности: процена експерата, процена заснована на аналогiji и симулацији.

Поред метода мрежног планирања, од којих су неке на располагању од педесетих година прошлог века, за одређивање трајања пројекта у последњих неколико деценија се појављују значајни приступи и истраживања. У питању су методе које првенствено нису намењене одређивању трајања пројекта (управљање ризиком или управљање оствареном вредношћу) или се не користе само у те сврхе (методе симулације).

Нека од ових решења проблема одређивања трајања пројекта дата су у савременим научним радовима, што је систематизовано у наредном поглављу.

2.1. Примена методе остварене вредности за одређивање трајања пројекта

Битно је напоменути да се управљање оствареном вредности користи за одређивање трајања пројекта у фази његове реализације, што значи да се користи за праћење реализације пројекта израчунавањем преосталог трајања пројекта.

Управљање оствареном вредности (*Earned Value Management*) обједињује управљање обимом, временом и трошковима пројекта са циљем да се оцени и контролише ризик и прати напредовање реализације пројекта, што је изражено у новчаним јединицама. Поред овога, у скоријим истраживањима [11, 51, 36]

евидентан је тренд раста интересовања за употребом ове методе при одређивању трајања пројекта. Дефинисане су методе у којима су уведене временске јединице параметара управљања оствареном вредношћу. Оригинални концепт управљања оствареном вредношћу обухвата индексе: варијансу распореда (Schedule variance – SV) и индекс перформанси распореда (Schedule performance index – SPI), којима се изражава напредовање пројекта, првенствено са аспекта трошкова. При томе је SV разлика између остварене и планиране вредности

$SV = EV - PV$, где је EV (Earned value) остварена вредност, а PV (Planned value) планирана вредност које се односе на обим посла, док SPI изражава њихов однос

$SPI = EV / PV$.

Јасно је да $SV = 0$ означава да је обим посла једнак планираном, $SV < 0$ значи да је посао је у заостатку у односу на планирани, док $SV > 0$ указује на реализацију посла унапред. По реализацији пројекта је $EV = PV = BAC$ (Budget at completion – буџет по завршетку) и према томе је увек $SV = 0$. Индекс SPI изражава ефикасност распореда и разликују се случајеви када је $SPI \{ <, =, > \} 1$, односно када је ефикасност распореда мања, једнака или већа од планиране. На крају пројекта је $SPI = 1$.

Недостаци ових показатеља напредовања пројекта огледају се у чињеници да при крају пројекта SV конвергира ка 0, док SPI конвергира ка 1, указујући на реализацију пројекта према плану, чак и ако пројекат касни. Ови недостаци су превазиђени управо увођењем временске компоненте, што је примењено у методи „оствареног распореда“ – Earned schedule (ES) method (Lipke, 2003.), према којој је $SV(t) = ES - AT$ и $SPI(t) = ES / AT$, где је AT (Actual time) стварно трајање. На овај начин су добијене вредности показатеља које указују на стварну реализацију пројекта и његово преостало трајање. [11]

Поред методе „оствареног распореда“ постоје и метода планиране вредности (Planned value method – Anbari, 2003.) и метода „оствареног трајања“ (Earned duration method – Jacob, 2003.), од којих је према истраживању [11] прва поменути најпоузданија.

2.2. Примена управљања ризиком у одређивању трајања пројекта

Према истраживању [18] испитиван је утицај фактора ризика на трајање реализације пројекта посебно у области грађевинске индустрије, с обзиром на постојање бројних чинилаца који утичу на варијације у трајању активности (време, продуктивност рада, квалитет материјала...). За анализу оваквих, стохастичких, мрежа раније су коришћене методе попут PERT (Program Evaluation and Review Technique), PNET (Probabilistic Network Evaluation Technique), NRB (Narrow Reliability Bounds Methods), MCS (Monte Carlo Simulation), у којима није узета у обзир зависност између трајања активности. Због тога је циљ истраживања био испитивање методологије, базиране на приступу управљања ризиком, којом се моделују варијације у трајању активности, као и њихова зависност од фактора ризика. Постављена је хипотеза да таква методологија може побољшати процене

трајања пројекта и обезбедити корисницима алат за тестирање више стратегија разних фактора узимајући у обзир штетне догађаје и њихов утицај на трајање пројекта. Развијен симулациони модел који представља ове зависности и даје реалне процене трајања пројекта је текао кроз:

- идентификовање фактора ризика који изазивају варијације у трајањима активности на основу релевантних референци и интервјуа са грађевинским извођачима;
- моделовање фактора ризика и варијација трајања активности на основу студије случајева, као и идентификовање зависности између њих;
- развој компјутерски заснованог симулационог модела (Монте Карло симулација) ради увођења и тестирања нове методологије;
- извођење експерименталног дела путем студије случајева ради валидације и верификације методологије. [19]

Сваки од фактора ризика је моделован репрезентативном дистрибуцијом, њихов утицај на сваку од активности је представљен матрицом, док је за рачунање њеног трајања развијена једначина:

$$\text{Duration of activity } A = \text{MinTime} + [\text{MaxTime} - \text{MinTime}] \times [(\text{RF1} \times \text{Random1}) + (\text{RF2} \times \text{Random2}) + (\text{RF3} \times \text{Random3}) + (\text{REn} \times \text{Randomn}) \dots]$$

где је:

- MinTime – најкраће могуће трајање активности;
- MaxTime – најдуже могуће трајање активности;
- RFn – утицај фактора ризика (n) на одређену активности (дат у матрици утицаја фактора ризика);
- Randomn – случајни број генерисан из репрезентативне расподеле фактора ризика (n).

Закључак је да развијена методологија омогућава откривање лоших утицаја фактора ризика и смањивање утицаја таквих фактора. [19]

2.3. Метода симулације

За потребе истраживања у дисертацији разматрана је Монте Карло симулација. Монте Карло симулација представља методе које се заснивају на компјутерском понављању избора случајних (псеудослучајних) бројева којима се математички моделује понашање система или објеката проучавања, и оне производе статистичко приближно решење проблема. С обзиром на то да су улазни подаци случајно одабрани из расподеле вероватноћа, у питању су методе узорковања којима се симулира узорак из популације која се проучава. [48]

На овај начин се може симулирати и испитивати понашање широког спектра проблема у готово свим областима, а посебно у математици, физици, хемији, инжењерству, операционим истраживањима, статистици, економији итд. [75]

Примењена на мрежни дијаграм пројекта Монте Карло симулација омогућава да се дијаграм реализује и израчуна више пута, што у стварности није могуће. При свакој реализацији дијаграма за активности се узимају различита трајања из одабране дистрибуције и за њих се израчунава дужина пројекта (хистограм фреквенција трајања је истог облика као и дистрибуција из које се узимају вредности). [16]

У дисертацији се Монте Карло метода користи за симулацију могућих трајања пројекта на основу којих се рачунају средње трајање и варијанса критичне путање. Полазни подаци су трајања активности чије вредности се симулирају:

- из одабране расподеле за трајање активности;
- на основу датих вредности процењеног трајања активности и њихове варијансе, односно параметара одабране расподеле (у овом случају нормалне);
- за одабрани број понављања – подешавањем симулације на 100, 1000, 10 000 и више понављања доприноси се тачнијим проценама. Ове процене су драгоцене с обзиром на то да је у реалним условима готово немогуће понавити један исти пројекат онолико пута колико то омогућава примена компјутера, односно софтвер.

Посебан значај Монте Карло симулације огледа се у идентификовању субкритичне путање пројекта, оне која има велику вероватноћу да постане критична. Софтвери специјализовани за Монте Карло симулацију региструју и броје колико пута су одређене путање током понављања реализације пројекта постале критичне. На основу тога рачунају вероватноћу да оне постану критичне. [16]

Примена Монте Карло симулације се може проширити и на управљање трошковима пројекта. У раду [21] приказан је један модел за подршку одлучивању управљању пројектима у вези са трајањем и трошковима пројекта, као и алгоритам за његову примену.

2.4. Остале примене

- Примена фази скупова у управљању пројектом

Према истраживању [31] испитивано је трајање пројекта тако што су за процене трајања активности коришћене фази вредности бета облика функције припадности. Разматрано је и време кашњења активности изазвано утицајима окружења, док је Монте Карло симулација коришћена ради поређења резултата добијених овом методом и класичним PERT-ом.

Нови приступ у одређивању и анализи трајања пројекта је уведен употребом фази трајања и фази вероватноћа са бета функцијом припадности (фази функција

припадности бета облика је добијена нормализацијом бета расподеле тако да је врх криве увек јединица). Теоријском анализом је добијено да је вероватноћа завршетка пројекта пре очекиваног (израчунатог) рока 0.5, што се разликује од експерименталних вредности. За добијање експерименталних резултата генерисане су случајне вредности трајања активности бета расподеле и то за песимистичко, највероватније и оптимистичко трајање. Број понављања Монте Карло симулације је био 1000 и њихов резултат је указао на то да употребом фази вредности за трајање и време кашњења активности и посебно разматрањем вероватноће реализације активности у предвиђеном времену и вероватноће очекиваног кашњења, процењено трајање пројекта је реалније.

- Лош је 1988. године примећено да је трајање грађевинских пројеката, како у цивилном сектору, тако и у војном, у просеку дуже 19% и 17% респективно. У једном од војних истраживања у чијим извештајима су и наведене ове чињенице (студија истраживања дата у [26]) циљ је био управо добијање тачнијих процена трајања пројекта. За остваривање овог циља коришћено је аутоматизовано генерисање распореда грађевинских пројекта базирано на распоређивању према флексибилној методи критичног пута у програмском окружењу вештачке интелигенције. Коришћени су шаблони распоређивања засновани на базама знања: израде грађевинских распореда, методи критичног пута, вештачкој интелигенцији, систему процене трајања у грађевинарству (Construction duration estimating system – CODES), компјутеризовани систем за процену трошкова (Computerized cost estimating system – CACES) и другима.
- У раду [22] су поређени резултати примене стандардне Монте Карло симулације и PERT методе у комбинацији са управљањем ризиком за одређивање трајања пројекта.
- У раду [58] је предложен модел за добијање жељеног трајања пројекта на основу генетичких алгоритама и Монте Карло симулације.

С обзиром на то да је у дисертацији акценат на трајању реалних пројекта које је добијено на основу знања из претходно реализованих пројеката, процене стручњака и, посебно, примене метода мрежног планирања, у раду следи детаљнији опис најзначајнијих метода.

2.5. Методе мрежног планирања

Када се говори о управљању пројектима, посебно о сегменту који се односи на управљање временом, затим планирање пројекта и његову временску димензију – трајање, неизоставне су методе мрежног планирања, као основни алати који се при томе примењују већ више од пола века. Постоји неколико врста ових техника и једна од подела се односи на:

- методе стреличастих дијаграма – Arrow Diagramming Methods (ADM) – од којих су најпознатије: метода критичног пута – *Critical Path Method* – CPM, метода оцене и ревизије програма активности – *Program Evaluation and Review Technique* – PERT и метода графичке оцене и ревизије – *Graphical*

Evaluation and Review Technique – GERT. Резултат примене ових метода јесу дијаграми типа „активност на стрелици“, тј. activity-on-arrow;

- метода „првенства” – *Precedence Diagramming Method – PDM*, која је типа „активност на чвору“, тј. activity-on-node;
- метода временски скалираних дијаграма – представља спој стубичастих дијаграма (гантограма) и мрежних дијаграма. [36, 87] Најчешће се приказују у софтверима за управљање пројектима.

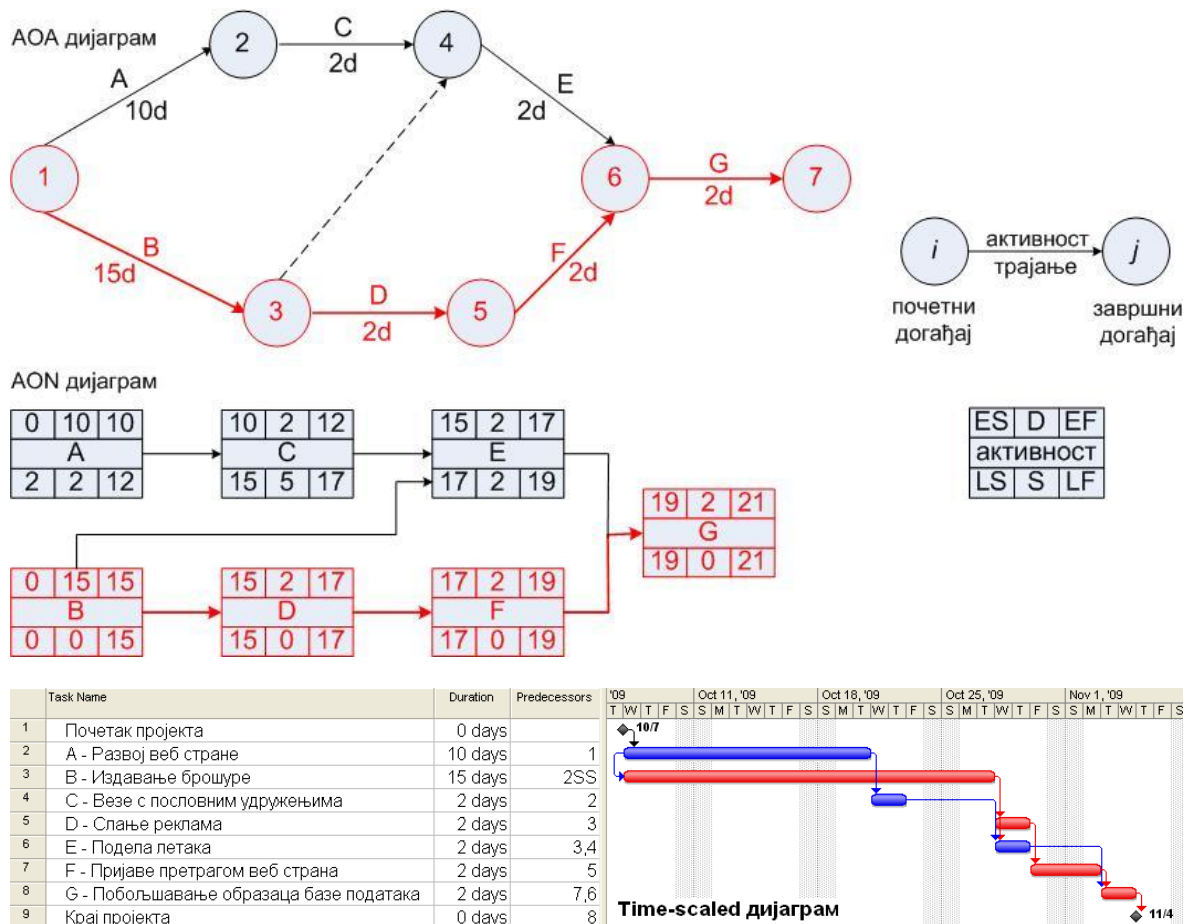
Свака од ових метода је математички заснован алгоритам за распоређивање активности пројекта, односно, модел за управљање пројектима који омогућава представљање и анализу активности датог пројекта, посебно идентификовања минималног времена потребног за његову реализацију.

Методе су настале у Америци 1958. године, за шта су заслужне: америчка морнарица, која је први пут применила PERT у свом оружаном систему Поларис, као и хемијска компанија DuPont која је развила CPM методу. Након тога, примена метода мрежног планирања је веома брзо проширена у свим гранама индустрије. [78]

Методе мрежног планирања карактеришу анализе: структуре одређеног пројекта и времена потребног за његову реализацију. Такође, у њиховој основи јесте мрежна репрезентација пројектног плана, тј. мрежни дијаграм чији су елементи:

- активност – временски интервал потребан за реализацију одређеног радног процеса или достизање жељеног стања система. При томе су трошкови материјални, енергетски или временски. У случају када указује на логичку везу између две или више активности, она је фиктивна [42]. За означавање активности у мрежном дијаграму користе се велика слова;
- догађај – јесте временски тренутак, који означава почетак или завршетак једне или више активности или пројекта. Према томе, може бити почетни или завршни догађај. За означавање догађаја у мрежном дијаграму користе се бројеви.

За мрежне дијаграми типа АОА карактеристично је да су активности представљене на стрелицама, а догађаји на чворовима, док су код дијаграма типа АОН активности на чворовима, а стрелице указују на њихову логичку везу. Ово је карактеристично за изворни облик поменутих метода, док је данас свака од њих најчешће представљена АОН дијаграмом. На слици 2.5.1. су дати примери дијаграма (критична путања је означена црвено, испрекидана стрелица представља фиктивну активност, док су преостале ознаке представљене у следећем поглављу).



Слика 2.5.1. Примери мрежних дијаграма

2.5.1. ADM дијаграми

Као што је претходно наглашено, методе мрежног планирања карактеришу анализе структуре и времена пројекта. Анализа структуре обухвата утврђивање активности потребних за реализацију датог пројекта, њиховог редоследа и зависности. За ово може послужити Work Breakdown Structure⁹, при чему се најчешће прави табеларни приказ листе активности, са дефинисаним непосредним претходницима сваке од њих.

Анализом времена се одређују: трајање активности, временске резерве, критични догађаји, активности и пут. Трајање се одређује (*duration*, D) на основу ранијег искуства или на основу процене стручњака из области које су у вези са пројектом. Најчешће коришћена временска јединица је недеља, а може се користити и било која друга (сат, дан, месец...).

CPM анализа времена обухвата одређивање:

⁹ У питању је метода рашчлањивања пројекта на фазе, потфазе итд. до појединачних активности, односно жељеног нивоа детаља.

- најранијег почетка активности, *earliest start time* (ES) – означава најранији могући почетак дате активности, под условом да су све претходне завршене;
- најранијег завршетка активности, *earliest finish time* (EF) – једнако је збиру најранијег почетка активности и њеног трајања;
- најкаснијег времена завршетка активности, *latest finish time* (LF) – најкаснији могући завршетак активности, који неће одложити пројекат;
- најкаснијег времена почетка активности, *latest start time* (LS) – једнако је разлици најкаснијег завршетка активности и њеног трајања. [29]

Временске резерве, *slack* (S), означавају време између најранијих, односно најкаснијих, почетка и завршетка активности (ES и LS, или EF и LF), а могу бити:

- укупне, *total slack* (TS), рачунају се по формули $TS = LF - ES - D$;
- слободне, *free slack* (FS), рачунају се по формули $FS = EF - ES - D$;
- независне, *independent slack* (IS), рачунају се по формули $IS = EF - LS - D$;
- условне или критичне, *dependent slack* (DS), рачунају се по формули $DS = LS - ES$ или $DS = LF - EF$.

Ове вредности указују на могуће одлагање реализације активности које неће утицати на пројекат.

Критичан пут обухвата активности за које важи $ES = LS$ или $EF = LF$, односно оне које немају временских резерви. Ово је најдужи пут у мрежном дијаграму и утицањем на његове активности истовремено се утиче на трајање пројекта у смеру продужења или скраћења.

PERT метода омогућава израчунавање вероватноће планираног времена завршетка пројекта. Њена анализа времена има троструку основу јер се заснива на проценама:

- оптимистичког времена, *optimistic time* (a_{ij}) – најкраће време потребно за реализацију активности, при томе је вероватноћа оваквог догађаја веома мала ($\approx 1\%$);
- највероватнијег или модалног времена, *most likely time* (m_{ij}) – највероватније време потребно за реализацију активности;
- песимистичког времена, *pesimistic time* (b_{ij}) – најдуже време потребно за реализацију активности, са вероватноћом као код оптимистичког времена.

На основу ових вредности рачуна се очекивано трајање активности $i-j$ (*expected time, te_{ij}*) и варијансе σ_{ij}^2 , према:

$$te_{ij} = \frac{a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}}{6} \quad \text{и} \quad \sigma_{ij}^2 = \left(\frac{b_{ij} - a_{ij}}{6} \right)^2 \quad (2.5.1.1)$$

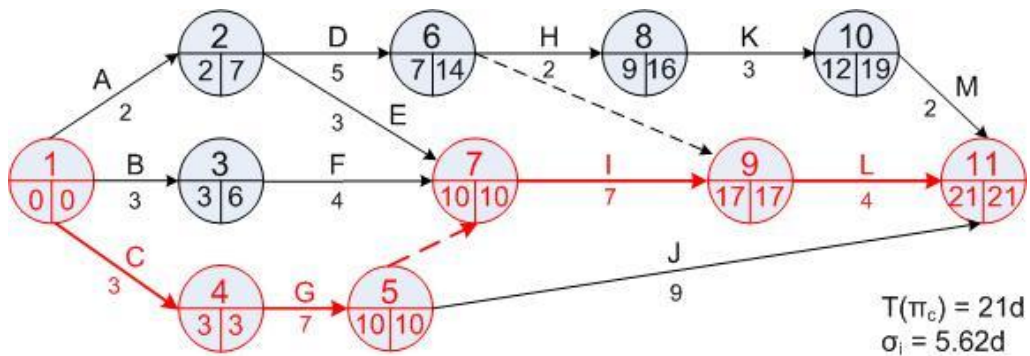
При одређивању времена најранијих и најкаснијих почетака и завршетака активности помоћу PERT методе, у питању су очекиване вредности, које су аналогне онима код CP методе.

По изради мрежног дијаграма врши се контрола реалности презентације датог пројекта, проверава се његова тачност, за шта је потребно да не постоје петље, да свака активност има почетни и завршни догађај, да се свака активност јавља само једном, итд.

У табели 2.5.1.1. дат је пример анализе структуре и времена пројекта, а на слици 2.5.1.1. његов PERT/CPM дијаграм.

Табела 2.5.1.1. Анализа структуре и времена једног пројекта

Активност	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Догађаји	1-2	1-3	1-4	2-6	2-7	3-7	4-5	6-8	7-9	5-11	8-10	9-11	10-11
Претходна активност	-	-	-	A	A	B	C	D	E, F, G	G	H	D, I	K
a_i	1	2	2	4	2	3	6	1	6	8	2	3	1
m_i	2	3	3	5	3	4	7	2	7	9	3	4	2
b_i	3	4	4	6	4	5	8	3	8	10	4	5	3
$te_i=D$	2	3	3	5	3	4	7	2	7	9	3	4	2
σ_i^2	0.44	1	1	2.78	1	1.78	5.44	0.44	5.44	9	1	1.78	0.44



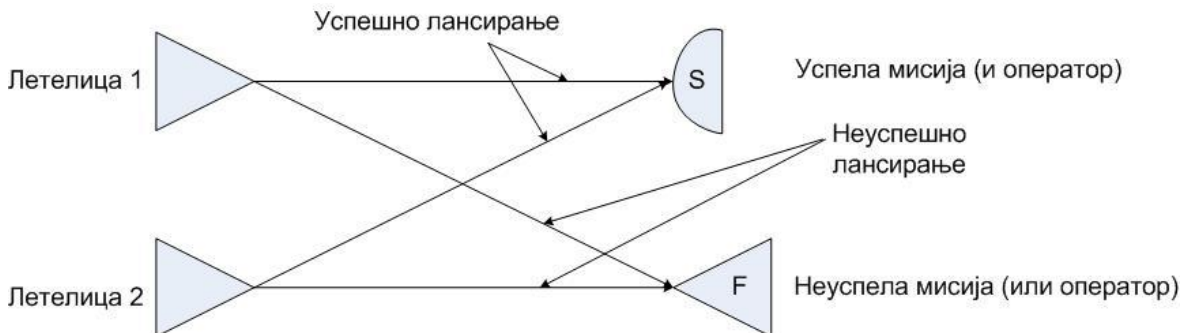
Слика 2.5.1.1. PERT/CPM дијаграм датог пројекта

Активности на критичном путу су црвене, фиктивне активности су испрекидане стрелице, док су временске јединице трајања дани (d).

Предности ових, и уопште мрежних, дијаграма огледају се у стварању основе за: управљање ресурсима и трошковима пројекта, идентификовање временских резерви и утицаја одлагања на реализацију пројекта, подршку одлучивању и извештавању, испитивање разних алтернатива извођења пројекта, као и анализу ризика. Недостатак CPM/PERT метода је у вези са имплементацијом, с обзиром на то да њихова примена захтева много података (осим у случају када се пројекат понавља) у систему извештавања и тако постаје скупа за одржавање. Зато се примењује углавном за велике и комплексне програме. [36]

GERT дијаграм се разликује од PERT и CPM дијаграма по томе што садржи и петље и гранања и вишеструке излазе пројекта. На тај начин може да се прикаже и случај када се, на пример, испитује резултат тестирања, који уколико није задовољавајући захтева понављање теста неколико пута. Даље, у зависности од

результата теста могу се одабрати разне гране за наставак пројекта. [36] На слици 2.5.1.2. дат је пример GERT стохастичког модела пројекта свемирске мисије. За успех ове мисије сматра се случај када се две летелице срећу, што се дешава уколико су успешно лансиране. [62]

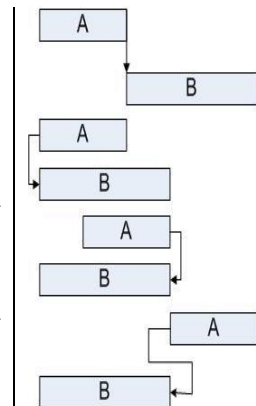


Слика 2.5.1.2. Пример GERT дијаграма

2.5.2. PDM дијаграм

Оно по чему се PDM дијаграми највише разликује од осталих јесу типови веза међу активностима, који могу бити:

- **Finish-to-start (FS)** – 'почетак након завршетка' – активност B може да почне тек када се активност A заврши;
- **Start-to-start (SS)** – 'почетак након почетка' – активност B не може да почне док не започне активност A;
- **Finish-to-finish (FF)** – 'завршетак након завршетка' – активност B не може да се заврши пре завршетка активности A;
- **Start-to-finish (SF)** – 'завршетак након почетка' – активност B не може да се заврши док активност A не започне;



Такође, за PDM дијаграм је карактеристична вредност одлагања, односно преклапања активности – *lag*, која према томе може бити позитивна или негативна.

Ови дијаграми су у основи функционисања софтвера за управљање пројектима.

Применом метода мрежног планирања могуће је проценити време потребно за реализацију пројекта и утицати на његово скраћење активностима које су на критичном путу. Током реализације пројекта врши се ажурирање мрежног дијаграма, бележењем стварних трајања активности, као и промена које могу довести до појаве нових критичних путева (нпр. услед одлагања појединих активности). Конструисање и употреба ових дијаграма су изузетно олакшани применом софтверских алата.

3. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Стандардне методе мрежног планирања се ослањају на израчунавање критичне путање која се затим изједначава са трајањем пројекта, под претпоставком да је она „довољно дужа“ од свих осталих путања и да је вероватноћа реализације пројекта према некој другој путањи незнатна. На тај начин се занемарује утицај субкритичних путања, што може изазвати грешке у планирању, поготово у развојним и истраживачким пројектима у којима се трајање многих активности може одредити са изузетно малим степеном поузданости. [12] Ова чињеница указује на стохастичку природу како истраживачких и развојних, тако и многих других пројеката, која се за потребе управљања своди на детерминистичку, што је проблем како теорије, тако и праксе. Такође, постоје проблеми у случајевима примене „ручних“ поступака управљања пројектима који се односе на: заморан рад на планирању, монотоност планирања, немогућност репланирања, као и дуго време планирања и управљања.

Посебно занемаривање утицаја субкритичне путање на трајање пројекта, за потребе истраживања у дисертацији трајање је рачунато на основу суперпозиције¹⁰. Посматран је мрежни дијаграм у којем су идентификована два критична пута: критични и субкритични, за које је примењен поступак суперпозиције како би се добио резултујући – суперпонирани пут, односно израчунало трајање пројекта.

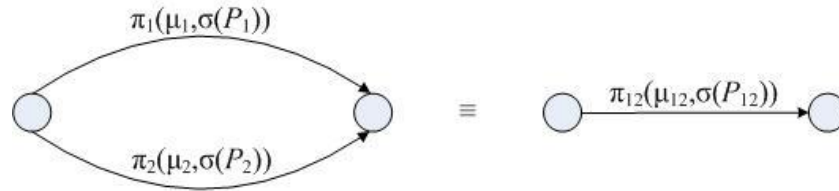
У теорији и пракси нарочито физике и математике суперпозицијом се изражавају карактеристике диференцијалних једначина, поља, таласа итд. На пример, у физици и техници, суперпозиција појединачних осцилација се у најједноставнијем случају своди на сабирање двеју осцилација исте учестаности, чији је резултат хармонијска осцилација исте учестаности. [3] У медицини за идентификацију лица се примењује суперпозиција.

Интересантно је да се у истраживањима везаним за стохастичке процесе, методе мрежног планирања, управљање и остала, суперпозиција изучавана у релативно малом броју радова. Почевши од централне граничне теореме којом су установљени услови под којима је сума независних случајних променљивих нормално распоређена [76], у радовима Кларка [89] и Слејка [12] решаван је проблем суперпозиције.

Да би добио тачније процене, Слејк [12] примењује Монте Карло симулацију на PERT модел, узимајући у обзир структуру мреже (испитујући случајеве када активности имају разне расподеле), а не само резултат: средње трајање и варијансу. Он уводи појам индекса критичности за активност, односно вероватноће да се активност нађе на критичном путу и према томе указује на ниво пажње коју треба посветити одређеној активности.

¹⁰ Суперпозиција према свом општем значењу [10] представља „стављање једног преко другог или продужавање“ док „суперпонирати значи метнути, ставити, стављати, слагати над или изнад, преко“.

У раду [89] Кларк за независне случајне променљиве ξ_1, \dots, ξ_n са нормалном расподелом разматра израчунавање апроксимације вредности $\max \xi_1, \dots, \xi_n$. При томе даје формуле и табеле за најчешћи општи случај када је $n = 2$. Овај случај се односи на претходно описани мрежни дијаграм који ће се посматрати у дисертацији и који је представљен на слици 3.1.



Слика 3.1. Суперпозиција критичних путева

Ова слика приказује мрежу са поменута два паралелна пута, критичним π_1 и субкритичним π_2 , као и резултујући, суперпонирани ток π_{12} , и њиховим параметрима с обзиром на нормалну расподелу: средња вредност μ и стандардна девијација σ трајања P . Параметри резултујућег тока, који се добија суперпозицијом, су на основу Кларкових једначина:

$$\mu_{12} = \mu_1 \Phi(\xi_{12}) + \mu_2 \Phi(\xi_{12}) + \lambda_{12} \Psi(\xi_{12}) \quad (3.1)$$

$$\sigma^2(\xi_{12}) = (\mu_1^2 + \sigma^2(\xi_1)) \Phi(\xi_{12}) + (\mu_2^2 + \sigma^2(\xi_2)) \Phi(\xi_{12}) + (\mu_1 + \mu_2) \lambda_{12} \Psi(\xi_{12}) + \mu_{12}^2 \quad (3.2)$$

Где су:

μ_{12} – средња вредност суперпонираног трајања,

$\sigma^2(\xi_{12})$ – варијанса суперпонираног трајања,

$$\Phi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt \text{ – Лапласов интеграл,}$$

$$\Psi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\xi^2} \text{ – функција центриране нормалне расподеле,}$$

$$\lambda_{12} = \sqrt{\sigma^2(\xi_1) + \sigma^2(\xi_2)} \text{ и } \xi_{12} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\lambda_{12}} \text{ – параметри Кларкових једначина.}$$

Кларк разматра општи случај када постоји корелација трајања путања π_1 и π_2 , при чему се коефицијент линеарне корелације може означити са $r(\xi_1, \xi_2) = \rho$. Тада се

$$\lambda_{12} \text{ рачуна према } \lambda_{12} = \sqrt{\sigma^2(\xi_1) + \sigma^2(\xi_2) - 2\sigma^2(\xi_1)\sigma^2(\xi_2)\rho}.$$

У дисертацији се за мрежни дијаграм посматраног пројекта одређивање трајања посматра са аспекта суперпозиције, на основу Кларкових једначина, за специјални случај када је $\rho = 0$.

С обзиром на стохастичку природу критичних токова може се десити да субкритична постане критична путања што је случај који би требало узети у обзир при проценама трајања пројекта, а који је обухваћен суперпозицијом. Сазнање о карактеристикама суперпонираног трајања може допринети управљању реализацијом пројекта у смеру остваривања уштеда у времену и новцу, као и тачнијим проценама ризика при остваривању пројектног циља.

Поред аналитичке методе, засноване на Кларковим једначинама, испитивана је суперпозиција која је резултат примене методе симулације – Монте Карло методе. На основу Монте Карло симулације проверена је и могућност примене β расподеле података за трајања критичних токова, с обзиром на то да се ова расподела користи у планирању пројекта за моделирање могућег времена завршетка, уместо нормалне расподеле.

Суперпозиција која је резултат примене Кларкових једначина налази се у основи модела за одређивање трајања пројекта који је развијен у дисертацији. За потребе развоја модела, конкретно, за имплементацију наведених теоријских поставки, послужио је један од софтвера за управљање пројектима. Такође, за дефинисање параметара овог модела искоришћен је прикупљени емпиријски материјал састављен од планова реализованих пројеката. Основни елементи модела приказани су на слици 3.2.

Развојем модела уједно је решаван проблем суперпозиције, односно примене Кларкових једначина, на мрежни дијаграм посматраног пројекта, питање њихове имплементације у окружење програма за управљање пројектима, као и питање вредновања овако дефинисаног модела.



Слика 3.2. Модел за одређивање трајања пројекта

Из претходно наведеног следи да је предмет истраживања:

- анализа могућности примене суперпозиције за одређивање трајања пројекта, односно метода: аналитичке – засноване на Кларковим једначинама и нумеричке – Монте Карло симулације, као и карактеристика ове примене;

- анализа могућности примене β расподеле података у Кларковим једначинама, с обзиром на то да се она користи у планирању пројекта за моделирање могућег времена завршетка активности;
- модел за одређивање трајања пројекта, базиран на наведеним теоријским поставкама у окружењу софтвера за управљање пројектима;
- подаци о пројектима из реалне праксе (полазни планови са листом активности, њиховим појединостима, ресурсима...), који се користе за развој и тестирање модела.

4. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА

Претходно описана проблематика која се односи на апроксимацију стохастичких процеса детерминистичким, занемаривање утицаја субкритичних путања и суперпозиције, као и непримереност примене „ручних“ поступака управљања пројектима, указује на могућности истраживања у више праваца. У вези са тим је могуће постављање неограниченог броја циљева, док је за потребе дисертације одређење на следећим одабраним циљевима:

- основни циљ истраживања јесте допринос аутоматизацији поступака за управљање пројектима, на основу развоја модела за одређивање трајања пројекта. Модел функционише на принципима суперпозиције и у њему је узет у обзир утицај субкритичне путање. Конкретно, трајање пројекта се рачуна за случај мрежног дијаграма у којем су идентификована два пута: критичан и субкритичан;
- у вези са претходним јесте циљ испитивања феномена суперпозиције реализоване аналитичком методом – на основу Кларкових једначина и нумеричком методом – Монте Карло симулацијом;
- за развој модела, као теоријску основу применити аналитичку методу и саму имплементацију реализовати у оквиру једног од најчешће коришћених софтвера за управљање пројектима. На тај начин омогућити симулацију и испитивање разних сценарија реализације пројекта;
- испитивање могућности примене β расподеле у Кларковим једначинама, с обзиром на то да се она у теорији и пракси управљања пројектом користи за описивање времена реализације активности;
- да се примена модела приближи просечном кориснику софтвера за управљање пројектима и допринесе успешнијем управљању.

Циљеви су одабрани са намером да се постојећим теоријским поставкама – Кларкове једначине, које описују трајање пројекта у општем посматраном случају додели покретачка улога у развоју модела за одређивање трајања пројекта и на тај начин укаже на њихов нови и посебан значај. Ово се огледа у могућности практичне и широке примене ових поставки, нарочито у делу управљања временом пројекта.

Посебни циљеви се односе на примену усвојених критеријума за вредновање модела, односно, валидације (утврђивање ваљаности: техничке, операционе и динамичке) и верификације модела. У вези са вредновањем модела дефинисани су и посебни параметри:

- коефицијент успешности модела – његова вредност ће се рачунати на основу резултата тестирања модела на пројектним плановима из емпиријског материјала;
- вероватноћа реализације пројекта за време које се добија применом модела;

- процентуална разлика између планираног и трајања које даје модел.

4.1. Задаци истраживања

Задаци истраживања су груписани према постављеним циљевима истраживања, а односе се и на његове: област, значај, историјски аспект итд. Према томе, у првом реду је потребно реализовати:

- систематизовање дефиниција и основних појмова из области управљања пројектом и посебно аспекта одређивања трајања реализације пројекта;
- преглед постојећих метода за одређивање трајања пројекта у досадашњим искуствима како би се указало на место истраживања у дисертацији, као и његову методологију;

За развој модела неопходно је:

- анализирати могућности софтверске имплементације Кларкових једначина, као теоријске поставке модела за одређивање трајања пројекта;
- описати критеријуме по којима ће се вредновати примена модела за одређивање трајања пројекта;
- креирати посебан приказ у оквиру програма за управљање пројектима на основу којег ће се рачунати трајање пројекта за активан пројектни план.

Испитивање могућности примене β расподеле у Кларковим једначинама ће се реализовати применом нумеричке методе – Монте Карло симулације.

За тестирање креираног модела потребно је:

- прикупљање планова реализованих пројеката из средњих и великих предузећа, који чине узорак истраживања, као и стварних трајања тих пројеката;
- дефинисање параметара модела на основу карактеристика пројектних планова из узорка;
- креирање програмираног материјала за реализацију лабораторијских вежби и потребе тестирања модела;
- тестирање модела и упоређивање трајања пројекта добијеног применом модела са подацима о стварном трајању;

Задаци који се односе на испитивање тачности хипотеза истраживања у вези су са статистичком обрадом података, тестирањем хипотеза, интерпретацијом резултата истраживања и вредновањем модела. Резиме, са увидом у даљи рад заокружује ово истраживање.

4.2. Хипотезе истраживања

4.2.1. Главна хипотеза

Главна и потхипотезе дисертације, као и постављени циљеви и задаци, произилазе из проблема истраживања – суперпозиција критичних токова мрежног дијаграма на основу Кларкових једначина.

Могуће је развити модел за одређивање трајања пројекта који ће омогућити процене са високом поузданошћу и који се може искористити за процене у настави Управљања пројектима у високошколском образовању.

4.2.2. Потхипотезе

Из главне хипотезе произилазе потхипотезе:

- испитиване методе за одређивање трајања пројекта: аналитичка – имплементирана у окружењу софтвера за управљање пројектима, даје поуздане резултате и нумеричка – метода симулације, потврђује резултате добијене аналитичком методом и омогућава додатна испитивања;
- у вези са претходном потхипотезом је унапређење аналитичке методе дефинисаног модела које се огледа у коришћењу β расподеле трајања активности;
- трајање пројекта се понаша према закону нормалне расподеле, што ће се утврдити на основу χ^2 теста;
- тестирање модела може се спровести у оквиру лабораторијских вежби на основу програмираног материјала и емпиријских података о реализованим пројектима;
- креирани модел се може користити у високошколском образовању за одређивање трајања пројекта или у осталим случајевима за прелиминарне процене.

4.3. Очекивани резултати истраживања

Како је један од циљева истраживања развој модела за одређивање трајања пројекта, основни очекивани резултат јесте управо развијени модел. Он је предвиђен за употребу у пракси што представља одређени друштвени допринос у области управљања пројектима, посебно делу који се односи на планирање реализације. Захваљујући чињеницама да је модел развијен у окружењу једног од стандардних софтвера за управљање пројектима и да не захтева потребно предзнање, корисник је у могућности да приликом састављања плана будућег пројекта добије додатне процене које могу допринети бољем управљању пројектом.

Повезаност модела са праксом огледа се у његовим параметрима за чије дефинисање је предвиђено прикупљање планова реализованих пројеката из зрењанинских фирми и анализа њихових карактеристика. Овај емпиријски материјал је, такође, један од резултата истраживања јер представља базу историјских информација значајну за будуће планове. Он ће послужити и за вредновање модела јер ће се резултати које даје модел поредити са подацима из узорка, након чега ће се дефинисати мера „тачности“ модела. Такође, након обраде, сваки од пројектних планова треба да садржи прилагођени кориснички приказ који омогућава употребу модела и као такав ће представљати „семе“ за будућу примену модела, првенствено у фирмама из којих је преузет, а затим и шире.

У тестирање модела треба да буду укључени студенти Техничког факултета и на тај начин би им се омогућило учешће у научном истраживању, као и обогаћивање образовног процеса садржајима који су производ тог истраживања. За тестирање је припремљен програмирани материјал, што је један од резултата претходног истраживања¹¹, као и допринос информатици у образовању. Модел би био на располагању и за будуће образовање студената као алат за прелиминарне процене трајања пројекта.

Развој модела захтева одређена испитивања и анализе што би требало да представља изванредан научни допринос. Испитивања се првенствено односе на могућност унапређења метода мрежног планирања, које се стандардно користе у проценама трајања пројекта, суперпозицијом, и то на основу аналитичке и нумеричке методе. Аналитичка метода је предвиђена и за основу модела за одређивање трајања пројекта, након чијег тестирања би њене теоријске поставке добиле ширу примену. Нумеричка метода, метода Монте Карло симулације, поред тога што служи за контролу резултата, омогућава испитивање и једне од карактеристика аналитичке методе. Према томе, научни допринос истраживања би требало да буде решено питање примене β расподеле података за трајања критичних путања посматраног мрежног дијаграма, чији су параметри дефинисани аналитичком методом – заснованом на Кларковим једначинама.

Претходно наведено указује на бројне очекиване резултате који би требало да имају како друштвени, тако и научни допринос.

4.4. Научна и друштвена оправданост истраживања

Потреба за применом достигнућа управљања пројектима, посебно његових метода и алата у областима савременог пословања, развоја и истраживања, с обзиром на уштеде пре свега у времену, новцу и ресурсима, свакако је евидентна. Према томе, допринос истраживања покренутих у овој области би могао да има карактер широке примене и значаја.

¹¹ Магистарска теза [29] којом је обухваћен концепт управљања пројектом у образовању.

Значај тачних процена трајања за реализацију пројекта је утицао да се многа истраживања покрену у том смеру, чак и у областима која се примарно не односе на ово питање. Говори се о методама за управљање оствареном вредности [11] и ризиком пројекта [18, 19], као и примени фази логике [31] и генетских алгоритама [58]. Свако од поменутих истраживања, уједно и истраживање које се описује у дисертацији, имају заједничку основу стандардне методе мрежног планирања. Оне омогућавају конструкцију мрежног дијаграма пројекта и процену његовог трајања на основу израчунате критичне путање. Значи, узима се у обзир најдужа путања у мрежи, док се занемарује утицај осталих.

Истраживање у дисертацији је такође засновано на примени ове методе, с том разликом што се испитује утицај и осталих путања блиских критичној, конкретно утицај субкритичне путање на трајање пројекта. При томе се посматрају паралелни токови мрежног дијаграма и примењује поступак суперпозиције заснован на аналитичкој и нумеричкој методи за одређивање трајања пројекта. Циљ је да се добију реалније процене и омогући боље управљање пројектом.

Једна од карактеристика аналитичке методе на основу које се суперпонирају критични токови јесте нормална расподела података. Како је β расподела због особине затворености примерена за приказ трајања активности пројекта, у дисертацији је испитана могућност њеног коришћења у аналитичкој методи, што би такође био један од научних доприноса.

Имплементацијом испитиваних метода у једном од програма за управљање пројектима развијен је модел за одређивање трајања пројекта. Истраживањем је на тај начин обухваћено питање практичне применљивости модела, као и заснованости на подацима из савременог пословања фирми. У те сврхе је прикупљен емпиријски материјал реализованих пројектних планова на основу којих су дефинисани параметри модела и креиран посебан кориснички приказ заснован на аналитичкој методи за одређивање трајања пројекта. Део развоја модела, конкретно његово тестирање, спровели су студенти Техничког факултета, који су на тај начин укључени у истраживачки рад, што је допринело примени концепта управљања пројектом у образовању, као и информатици у образовању.

Установљена база планова, након истраживања, могла би да се искористи за примену модела у пракси и допринесе анализи пројектних планова у коју су укључене теорије које се стандардно при томе не користе. Захваљујући карактеристикама модела, аналитичку методу би примењивао сваки од корисника програма за управљање пројектима, без потребе да се са њом и упознаје. Такође, модел је функционалан за сваки креирани или учитани пројектни план, без обзира на његове карактеристике (број активности, тип веза, ресурси, ограничења...).

Као такав, модел је предвиђен првенствено за употребу у високообразовним институцијама за прелиминарне процене трајања пројекта. Шира употреба би се односила на фирме из којих је прикупљен емпиријски материјал па и остале, уколико се значај процена потврди у пракси.

5. МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР РАДА

5.1. Методе и технике истраживања

За потребе истраживања у дисертацији, у првом реду је коришћена метода теоријске анализе, као и најновија теоријска сазнања из области: управљања временом пројекта, метода за одређивање трајања пројекта, софтверских алата за управљање пројектима и математичких модела за одређивање трајања пројекта. С тим у вези примењене су и:

- метода синтезе, аналогије, као и дедуктивна метода при дефинисању теоријског концепта истраживања,
- метода поређења која је послужила за сагледавање карактеристика предложених теоријских поставки у односу на постојеће методе,
- симулација, на основу које је описан утицај разних вредности испитиваних величина. За симулацију коришћен је програм Mathcad и према њему су у дисертацији представљене ознаке функција и параметара.

Неизоставна је примена и дескриптивне методе посебно у деловима: опис метода за одређивање трајања пројекта, резултати истраживања и њихова интерпретација, као и у закључним разматрањима. За испитивање и вредновање развијеног модела примењено је:

- тестирање – на основу програмираног материјала у оквиру лабораторијских вежби у које су укључени студенти и то на пројектним плановима из емпиријског материјала (узорка истраживања),
- методе статистичке обраде података почевши од мера централне тенденције и одступања до тестирања хипотеза, као и графички приказ.

5.2. Узорак истраживања

За потребе дефинисања параметара модела за одређивање трајања пројекта, као и део истраживања у којем се он тестира, користи се узорак прикупљених планова реализованих пројеката. Тип овог узорка је хотимичан, а порекло је из средњих и великих предузећа са територије општине Зрењанин. Одабрана су предузећа која у опису делатности имају производњу, изградњу, одржавање итд. као и потребу и обавезу да своје послове реализују кроз пројекте:

- Фабрика чарапа „Ударник“ – фабрика која је основана још 1919. године и бави се производњом разних модела мушких, женских и дечјих чарапа. Поседује производне хале, бојачницу, погон завршне дораде, сортирницу, магацин готове робе, управну зграду, комплекс магацинског простора и продавница, као и опрему за плетење, опрему за механичку и термичку дораду. Има око 200 запослених. Тренутно је у поступку приватизације; [112]

- Нафтна индустрија Србије – НИС Нафтагас, погони Транспорт и изградња и Одржавање. НИС Нафтагас је део акционарског друштва Нафтне индустрије Србије са седиштем у Новом Саду и деловима у Зрењанину, Кикинди, Бечеју, Београду, Јаношику и на обронцима Фрушке горе. Бави се истраживањем, прерадом, производњом, транспортом и трговином нафте, природног гаса..., инжењерингом у области нафтне индустрије и пројектовањем и изградњом објеката. Ради рационалнијег коришћења сопствених потенцијала НИС Нафтагас је у своје пословање увео и низ пратећих делатности: услуге у припремној фази изградње, уговарање опреме, материјала и радова за потребе инвеститора, пројектни менаџмент, изградња и реконструкција објеката за истраживање...; [113]
- Грађевинско индустријски комбинат, ГИК Банат – основан је 1947. године након чега изводи радове углавном на територији Баната градећи пољопривредне, стамбене и индустријске објекте. У наредним деценијама стиче искуство на пројектима изградње у Немачкој, Аустрији, Панами, Кувајту... Има богата искуства на изградњи објеката у областима: администрације и објеката сличне намене, агрокомплекса, друштвеног стандарда, хидротехнике, индустрије, становања и саобраћајница. Изводи све врсте грађевинских објеката по инвеститоровој или сопственој документацији са традиционалним начином обрачуна извршених радова или по систему „кључ у руке“;¹²
- Бродоградилште „Бегеј“ у Зрењанину – основано је 1947. године, у прво време је било оријентисано на ремонт пловних објеката и израду ситније бродске опреме и столарије. Од 1966. године прелази на изградњу нових пловних објеката и осваја нову производњу односно проширује делатност. Тада је било присутно и на иностраном тржишту (Индонезија, Ирак, Бурма, Чехословачка...). У бродограђевном делу до сада је изграђено 230 нових пловних објеката: реморкера, потискивача, самоходних теретњака, баражи, понтонских мостова, разних специјалних бродова, од којих је 50% изграђено за инострано тржиште. Главни производи изван ове делатности су: стабилни резервоари са фиксним и покретним кровом, судови под притиском, омекшивачи воде, измењивачи топлоте...; [114]

Структура узорка је приказана у табели 3.2.1, а сваки пројектни план из узорка са својим појединостима у електронском прилогу Ћ.

¹² Преузето из материјала о пословању фирме чији је издавач ГИК „Банат - Зрењанин“, 1987. и одговорни уредник, Миле Узелац.

Табела 3.2.1. Структура узорка

Назив предузећа/организације – А.Д. фабрика чарапа „Ударник“				
Редни број	Назив пројекта	Софтвер за управљање пројектима	Планирано трајање пројекта	Стварно трајање пројекта
1.	LADY M	Нема	3.1.2006. – 4.4.2006.	3.1.2006. – 4.4.2006.
Назив предузећа/организације – НИС АД Нафтагас, погон Транспорт и изградња				
Редни број	Назив пројекта	Софтвер за управљање пројектима	Планирано трајање пројекта	Стварно трајање пројекта
2.	Израда темеља за бушеће постројење Ajdeko I	MS Project	1.12.2003. – 23.2.2004.	9.5.2007. – 21.6.2007.
3.	Израда темеља за бушеће постројење Ajdeko VII	MS Project	8.12.2003. – 6.1.2004.	2.11.2005. – 21.12.2005.
4.	Изградња гасовода RG 08-08 Свилајнац	MS Project	13.3.2005. – 1.5.2005.	9.8.2005. – 14.9.2005.
5.	Изградња двосмерног гасовода DV 04-18 GRČ Госпођинци – GSP Банатски Двор	MS Project	22.1.2005. – 4.1.2006.	5.5.2005. – 16.5.2007.
6.	Двор 2	MS Project	11.5.2005. – 22.6.2005.	9.5.2005. – 9.7.2005.
Назив предузећа/организације – НИС АД Нафтагас, погон Одржавање				
Редни број	Назив пројекта	Софтвер за управљање пројектима	Планирано трајање пројекта	Стварно трајање пројекта
7.	Уградња подизача нивоа	MS Project	25.8.2005. – 7.11.2005.	10.10.2005. – 15.11.2005.
8.	Замена гасовода	MS Project	10.5.2005. – 9.8.2005.	10.5.2005. – 28.8.2005.
9.	Израда издувног лонца C&B	MS Project	25.8.2005. – 15.11.2005.	25.8.2005. – 1.12.2005.
10.	Израда издувног лонца Frenks	MS Project	28.1.2004. – 2.4.2004.	28.1.2004. – 27.7.2004.
11.	Уградња лонац пумпе	MS Project	28.2.2005. – 1.7.2005.	28.2.2005. – 15.8.2005.
12.	Повезивање бушотине МК	MS Project	24.10.2003. – 5.12.2003.	24.10.2003. – 25.12.2003.
13.	Поправка дегазатора	MS Project	21.5.2004. – 1.6.2005.	21.5.2004. – 16.7.2005.
14.	П гасовод	MS Project	1.3.2001. – 12.7.2001.	1.3.2001. – 26.8.2001.
15.	Реконструкција грејања на новом комплексу I фаза	MS Project	10.9.2001. – 27.12.2001.	10.9.2001. – 1.4.2002.
16.	Израда двоструког вибратора (2 комада)	MS Project	25.2.2002. – 16.7.2002.	25.2.2002. – 1.11.2002.
17.	Сервис лаке механизације	MS Project	15.3.2005. – 2.9.2005.	15.3.2005. – 2.9.2005.
18.	Сервис тешке механизације	MS Project	9.3.2005. – 27.5.2005.	9.3.2005. – 27.5.2005.
19.	Рок оперативности групе за израду цевовода 26“	MS Project	5.4.2005. – 7.11.2005.	5.4.2005. – 7.11.2005.
20.	Сервисирање самоходног заваривачког агрегата	MS Project	2.5.2005. – 26.5.2005.	2.5.2005. – 26.5.2005.
21.	Сервисирање Aweling-Marshall	MS Project	21.4.2005. – 11.5.2005.	21.4.2005. – 11.5.2005.

Назив предузећа/организације – ГИК Банат				
Редни број	Назив пројекта	Софтвер за управљање пројектима	Планирано трајање пројекта	Стварно трајање пројекта
22.	Мрестилиште	MS Project	1.12.2000. – 26.4.2001.	1.12.2000. – 26.4.2001.
23.	Извођење радова „Конзул“ Футог	MS Excel	23.7.2007. – 24.10.2007.	23.7.2007. – 24.10.2007.
24.	Сервисно пр. центар	MS Project	1.6.2007. – 31.10.2007.	1.6.2007. – 31.10.2007.
25.	Градилиште „Jeep Commerce“	MS Excel	21.5.2007. – 2.7.2007.	21.5.2007. – 2.7.2007.
26.	Спортска хала Зрењанин	MS Excel	9.12.2006. – 22.4.2007.	9.12.2006. – 22.4.2007.
27.	Завршни радови I фазе спортска хала Сонта	MS Excel	1.6.2005. – 20.7.2005.	1.6.2005. – 20.7.2005.
28.	Завршни радови II фазе спортска хала Сонта	MS Excel	22.10.2005. – 22.12.2005.	22.10.2005. – 22.12.2005.
29.	Изградња „Градског гробља“ у Зрењанину	MS Project	22.4.2002. – 1.7.2002.	22.4.2002. – 1.7.2002.
30.	Завршни радови на градилишту „Градско гробље“ Зрењанин	MS Project	1.7.2002. – 30.9.2002.	1.7.2002. – 30.9.2002.
31.	Радови на објекту „Градска библиотека“ Зрењанин	MS Excel	1.3.2005. – 16.4.2005.	1.3.2005. – 16.4.2005.
32.	Радови на објекту „Реформаторска црква“ Зрењанин	MS Excel	1.3.2005. – 7.6.2005.	1.3.2005. – 7.6.2005.
33.	Проширење простора за производњу пива	MS Excel	4.1.2005. – 26.2.2005.	4.1.2005. – 26.2.2005.
34.	Извођење радова на стамбено-пословном објекту В2 у блоку 29 на Новом Београду	MS Excel	1.6.2003. – 31.12.2003.	1.6.2003. – 31.12.2003.
35.	Доградња и реконструкција прераде 2 АД „Полет“ Бечеј ИГК – Нови Бечеј	MS Project	12.6.2002. – 11.10.2002.	12.6.2002. – 11.10.2002.
36.	Изградња пропуста на укрштању пута М-24 и александровачког канала	MS Project	28.5.2002. – 5.7.2002.	28.5.2002. – 5.7.2002.
37.	Изградња управне зграде са магацином у Лештанима	MS Project	7.5.2002. – 18.10.2002.	7.5.2002. – 18.10.2002.
38.	Изградња темеља котла у кругу индустрије уља „Дијамант“ АД Зрењанин	MS Project	16.5.2000. – 15.6.2000.	16.5.2000. – 15.6.2000.
39.	Изградња пословно-стамбеног објекта „29. новембар“ у Зрењанину I анекс	MS Excel	1.2.1998. – 14.7.1999.	1.2.1998. – 14.7.1999.
40.	Изградња пословно-стамбеног објекта „Нафтагас“	MS Excel	22.10.1997. – 31.8.1998.	22.10.1997. – 31.8.1998.
41.	Изградња Медицинске школе у Зрењанину	MS Project	18.9.2003. – 8.11.2004.	18.9.2003. – 8.11.2004.
42.	Завршни радови на градилишту „Пекабета“	MS Excel	15.3.2003. – 15.4.2003.	15.3.2003. – 15.4.2003.

Назив предузећа/организације – Бродоградилиште „Бегеј“				
Редни број	Назив пројекта	Софтвер за управљање пројектима	Планирано трајање пројекта	Стварно трајање пројекта
43.	NG-274-Revision	MS Project	26.5.2008. – 14.11.2008.	26.5.2008. – 9.12.2008.

Подаци о пројектним плановима су прикупљани према унапред дефинисаном протоколу (прилог Б) чија су обавезна поља: назив предузећа или организације, назив пројекта, предвиђено и стварно трајање пројекта и листа активности са појединостима (WBS активности, претходна активност и тип везе, трајање активности и ограничења). С обзиром на то да је готово сваки пројектни план из узорка дефинисан применом софтвера за управљање пројектима, његова оригинална електронска форма (*.mpr) налази се у бази планова у прилогу Ћ. За остале планове је на основу података из протокола накнадно креирана електронска верзија како би се они могли искористити за тестирање модела. Ово се односи и на планове који су креирани у MS Excel програму, а који се и у свом изворном облику (*.xls) такође налазе у прилогу Ћ. Њихова визуелна презентација у том програму је довољна за састављање MS Project верзије, што је потребно за тестирање модела.

У вези са податком „стварно трајање“ у делу узорка који је добијен у фирми ГИК „Банат“ рачунато је да се он поклапа са податком „планирано трајање“, чак и у случају планова који су реализовани само у одређеном проценту (60% – 80%), с обзиром на то да је наручилац посла прекинуо финансирање и одустао од пројекта.

Чињеница је да у пројектним плановима из узорка сви подаци немају најадекватнију презентацију и да нису искоришћене одговарајуће могућности програма у те сврхе. Може се закључити да се пажња поклањала „визуелном подударану“ гантограма пројектног плана са листом активности које је потребно реализовати и то у фази планирања и склапања уговора пројекта, с обзиром на то да у њиховим фајловима не постоје остали подаци: банка ресурса, праћење реализације пројекта итд. При томе су за приказ, на пример, веза између активности коришћена ограничења на активностима, уместо подразумеваног успостављања потребног типа везе (Finish to start, Start to start, Finish to finish, Start to finish) које, такође, омогућава програм. Ово може бити и последица недовољног познавања програма за управљање пројектима.

И поред претходно наведеног, идеја је да се пројектни планови из узорка који су креирани применом софтвера за управљање пројектима у моделу искористе у оригиналном облику како би се указало на могућност његове употребе у реалним условима.

Планови из узорка треба да послуже за тестирање модела за одређивање трајања пројекта. Претпоставка је да ово тестирање треба да се реализује у оквиру лабораторијских вежби предмета *Управљање пројектима* на Техничком факултету „Михајло Пупин“ у Зрењанину, на другој години студија информатичких смерова. „Пропуштањем“ пројектих планова из узорка кроз

модел за одређивање трајања пројекта, студенти ће добити нову процену трајања чија ће се тачност утврдити поређењем са стварним трајањем.

5.3. Поступци и инструменти за вредновање модела

„Као што је познато, циљ моделирања је да се добије такав модел који се у одређеним условима понаша исто (или слично) као и систем кога модел приказује. Вредновати модел значи поставити ниво поузданости са којим се прихвата да су закључци, који се доносе на основу понашања модела, исправни и применљиви на стварни систем (Шенон, 1975.)“ [14]. Према истом извору, као и [43], [70] итд. вредновању модела посвећен је велики број радова у којима су приказане разне концепције. Чињеница је и да због специфичности развијаних модела не постоји јединствена методологија њиховог вредновања (највише су усаглашене технике вредновања софтверских модела), као и да су неке од предлаганих метода субјективне и интуитивне. Међутим, ипак се могу издвојити критеријуми вредновања модела који су заједнички за више извора. Такви критеријуми усвојени су и за вредновање најважнијег резултата дисертације – модела за одређивање трајања пројекта. Према томе, вредновање модела ће се односити на¹³:

- ваљаност модела (validation), која испитује слагање понашања модела и система који је моделиран. Ваљаност модела обухвата утврђивање¹⁴
 - техничке ваљаности – којом се идентификују све претпоставке модела и њихова дивергенција у односу на стварни систем;
 - операционе ваљаности – којом се процењује значај грешака нађених код испитивања техничке ваљаности и тиме омогућује доношење одлуке о прихватању модела;
 - динамичке ваљаности – којом се предлажу начини одржавања модела током његовог животног циклуса;
- проверу модела (verification), која испитује слагање понашања програма модела кога програм реализује;

¹³ Zeigler, B.P., *Theory of Modelling and Simulation*, John Wiley, New York, 1976.

Sargent, R.G., *Verification and Validation of Simulation Models as Progress in Modelling and Simulation*, ed F.E. Cellier, Academic Press, London, 1981.

Gass, S.I., *Secision-Aiding Models: Validation, Assessment and Related Issues for Policy Analysis*. Operat. Res., vol. 31, No 4, 1983. pp. 603-631.

¹⁴ Schellenberger, R.E., Criteria for Assessing Model Validity for Managerial Purpose. Decision Sci. Vol. 5, No 4, 1974, pp. 644-653.

- тестирање исправности и тачности симулационог модела. [14]

Резултати вредновања модела, према претходно описаним критеријумима, посебно су приказани у делу 9.4.

Поред наведеног, свака фаза развоја модела захтева одређену проверу и тестирање, који прелиминарно треба да обезбеде ваљан модел и, између осталих, то су:

- провера исправности протокола на основу којег се прикупља узорак – поједини параметри модела се дефинишу на основу података из емпиријског материјала и за то је потребно прибавити одговарајуће податке;
- провера софтверске имплементације аналитичке методе – потребно је утврдити да ли су сви параметри и функције тачно дефинисани и имплементирани у софтвер за управљање пројектима;
- тестирање рада модела у софтверу за управљање пројектима – добијене резултате за тест пројектне планове проверити у математичком софтверу. Такође, тестирати рад модела у случају „најгорег корисника“;
- контрола садржаја програмираног материјала – на основу којег ће се омогућити тестирање модела у настави.

Развојем модела обухваћено је и дефинисање параметара, који такође доприносе испитивању ваљаности и указују на квалитет модела. Неки од ових параметара су:

- мера успешности модела, названа коефицијентом квалитета (qc) – проценат поклапања трајања добијеног применом модела, са стварним трајањем пројектних планова из узорка (њено израчунавање је детаљније описано у делу 7.3.). С обзиром на карактеристике узорка, на основу којих су дефинисани параметри модела и који су утицали на коефицијент квалитета, у дисертацији се предлаже минимална граница вредности $qc = 1\sigma = 0.68268$ ¹⁵;

¹⁵ Према истраживању које је 2005. године спровела PIPC – Глобална група за управљање пројектима и програмима и која има канцеларије широм света (Велика Британија, САД, Нови Зеланд, Аустралија...) 31% пројеката не буде реализовано у предвиђеном времену (www.pipc.com).

Такође, према речима Цима Донсона, председавајућег у истраживачкој организацији The Standish Group, 2009. година бележи пад у успешности реализације пројеката и само је 32% пројеката реализовано успешно, што значи у предвиђеном времену, буџету, са захтеваним карактеристикама и функционалношћу. Процент оних пројеката који су пробили временске рокове, буџет, понудили слабије карактеристике и функције је 44, док је 24% оних који су прекинути. (www.standishgroup.com, <http://www.projectsmart.co.uk/docs/chaos-report.pdf>, <http://www.irise.com/blog/index.php/2009/06/08/2009-standish-group-chaos-report-worst-project-failure-rate-in-a-decade/>)

- вероватноћа реализације пројекта у трајању које се добија моделом – овај податак може да буде релевантан како у фази планирања пројекта тако и у фази његове реализације и да утиче на управљачке одлуке, према томе би требало да допринесе квалитету модела.

Поред овога могући су и реализовани су рачунарски експерименти на моделу, који такође дају значајне одговоре на квалитативне карактеристике модела. Неки од њих су приказани у делу 9.3.

6. МЕТОДЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ТРАЈАЊА ПРОЈЕКТА ЗАСНОВАНЕ НА СУПЕРПОЗИЦИЈИ

Како је претходно наглашено, трајање пројекта се у дисертацији израчунава на основу суперпозиције за посматрани мрежни дијаграм. При томе је размотрен основни мрежни модел који се састоји од два паралелна пута (тока): критичног и субкритичног, на који се може свести произвољни пројектни план. Трајање пројекта, чији се план своди на такав мрежни модел, израчунава се суперпозицијом и то применом:

- аналитичке методе – засноване на Кларковим једначинама;
- нумеричке методе – засноване на Монте Карло симулацији.

Претпоставка је да су трајања путева, критичног и субкритичног, нормално распоређена са параметрима: средња вредност и стандардна девијација. Илустрација оваквог мрежног модела са поменутиим паралелним путевима, као и резултујућим трајањем, дата је претходно на слици 3.1.

Свака од ових метода је према истраживањима у [89] и [12] намењена управо проучавању појава и процеса заснованих на мрежним моделима, у случају да се ради о токовима активности, ресурса, енергије и сл. Такође, за разлику од стандардних метода мрежног планирања (CPM, PERT...) код којих се посматрају само редни токови, односно трајање пројекта се изједначава са дужином израчунате критичне путање, свака од ових метода узима у обзир утицај субкритичних токова на трајање пројекта. С обзиром на стохастичку природу већине процеса постоји могућност да субкритична путања постане критична па би се ослањањем само на стандардне методе планирање заснивало на недовољно прецизним проценама што би могло да има шире негативне последице (трошкови, трајање, ризик реализације пројекта...).

Аналитичка метода је у дисертацији послужила као основа за дефинисање модела за одређивање трајања пројекта у оквиру једног од стандардних софтвера за управљање пројектима. На тај начин је примена саме методе (без потребног предзнања) омогућена свим корисницима софтвера у фази планирања пројекта.

Карактеристике примене ове методе показане су на примерима, који уједно приказују у којим све случајевима се може спровести еквиваленција критичних токова суперпонираним током. Када је у питању основни мрежни дијаграм са два тока, показано је да њихов редослед не утиче на инваријантност параметара суперпонираног тока, док су у случају три тока дефинисани критеријуми њихове еквиваленције. За мреже са више од три паралелна тока предложено решење је симулација, што је дато примером у прилогу Д.

Нумеричка метода је, поред претходно реченог, контролна за резултате добијене аналитичком методом. Она омогућава и динамичко моделирање функције расподеле вероватноћа резултујућег трајања, као и анализу односа критичне и субкритичне путање и њихов утицај на суперпонирану путању за разне случајеве

вредности параметара токова. Такође, ова метода је послужила за испитивање могућности употребе β расподеле за трајања посматраних токова.

6.1. Аналитичка метода – заснована на Кларковим једначинама

Резултујуће трајање мрежног модела са слике 3.1. израчунава се применом изворних Кларкових једначина (3.1) и (3.2) представљених у поглављу 3. На основу ових једначина дефинисани су параметари резултујућег пута: суперпонирано средње трајање μ_{12} и његова варијанса σ^2_{12} . Илустрација њихове примене дата је у примеру 1.

Пример 1.

Нека су $\mu_1 = 10$, $\sigma_1 = 1$, $\mu_2 = 10$ и $\sigma_2 = 2$ параметри трајања путева π_1 и π_2 , са нормалном расподелом $N(\mu_1, \sigma_1)$ и $N(\mu_2, \sigma_2)$ за које је $r(\pi_1, \pi_2) = \rho = 0$ (не постоји корелација, односно нема заједничких активности). На основу параметара овог специјалног случаја потребно је израчунати очекивано суперпонирано време μ_{12} и варијансу тог времена σ^2_{12} .

За параметре Кларкових функција на основу датих података добија се:

$$\lambda = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = 2.236, \quad \xi = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\lambda} = 0;$$

функција густине центриране нормалне расподеле је за $\xi = 0$

$$\Psi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \frac{\xi^2}{\sigma^2}} = 0.399$$

Решење Лапласовог интеграла је

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\frac{1}{2} t^2} dt = 0.5$$

док је резултујуће суперпонирано трајање и варијанса:

$$\mu_{12} = 10.892062 \quad \text{и} \quad \sigma^2_{12} = 1.704225 \quad \sigma_{12} = 1.305460.$$

У примеру 1. дат је однос параметара: $\mu_1 = \mu_2$ и $\sigma_1 < \sigma_2$, што свакако није једини случај. Вредности параметара μ_1 и μ_2 и σ_1 и σ_2 могу бити у односу представљеном са

$$\mu_1 \left\{ \begin{array}{l} < \\ = \\ > \end{array} \right\} \mu_2 \text{ и } \sigma_1 \left\{ \begin{array}{l} < \\ = \\ > \end{array} \right\} \sigma_2 \quad (4.1.1)$$

Пример могућег односа вредности параметара, као и резултујуће суперпонирано трајање и варијанса у сваком од тих случајева дати су у табели 4.1.1.

Табела 4.1.1. Примери вредности резултујућег трајања и варијансе за дате полазне параметре μ_1 , μ_2 , σ_1 и σ_2

μ_1	μ_2	σ_1	σ_2	$\mu_{1,2}$	$\sigma_{1,2}$
10	11	1	2	11.479811	1.519174
10	11	1	1	11.199641	0.873068
10	11	2	1	11.479811	1.127853
10	10	1	2	10.892062	1.305460
10	10	1	1	10.564190	0.825645
10	10	2	1	10.892062	1.305460
11	10	1	2	11.479811	1.127853
11	10	1	1	11.199641	0.873068
11	10	2	1	11.479811	1.519174

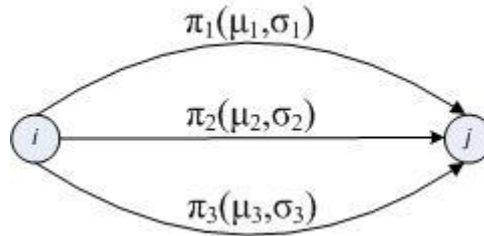
Према подацима из табеле 4.1.1. може се закључити да редослед навођења параметара путева не утиче на вредности суперпонираног трајања, односно варијансе, као и да случајеви $\mu_1 \neq \mu_2$ и $\sigma_1 \neq \sigma_2$ утичу само на вредност резултујуће варијансе, док је резултујуће трајање исто. На основу тога се приказ могућих односа вредности параметара може свести на првих пет врста табеле, закључно са случајем $\mu_1 = \mu_2$ и $\sigma_1 = \sigma_2$. Такође, еквиваленција два паралелна тока може се исказати условом на основу параметара и релација представљених са:

$$\left(\mu_1 \left\{ \begin{array}{l} > \\ = \\ < \end{array} \right\} \mu_2 \wedge \sigma_1 = \sigma_2 \right) \vee \left(\mu_1 = \mu_2 \wedge \sigma_1 \left\{ \begin{array}{l} > \\ = \\ < \end{array} \right\} \sigma_2 \right) \Rightarrow \mu_{1,2} \equiv \sigma_{2,1} \wedge \mu_{1,2} \equiv \mu_{2,1} \quad (4.1.2)$$

Ове карактеристике су значајне и за модел развијен у дисертацији, с обзиром на то да се аналитичка метода у њему користи за одређивање трајања пројекта. Модел је дефинисан на основу емпиријског материјала, односно узорка пројектних планова у којима је најзаступљенији случај $\mu_1 = \mu_2$ и $\sigma_1 > \sigma_2$ (односно $\sigma_1 < \sigma_2$). У случају мрежног модела са три паралелна тока потребно је дефинисати критеријуме њихове еквиваленције, чији приказ следи.

Применом аналитичке методе за суперпозицију модела са три паралелна тока (слика 6.1.1.), еквиваленција не постоји у случајевима који се могу представити са

$$\left[\left(\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \wedge \left(\sigma_1 \begin{cases} = \\ \neq \end{cases} \sigma_2 \begin{cases} = \\ \neq \end{cases} \sigma_3 \right) \right) \vee \left(\mu_1 \begin{cases} = \\ \neq \end{cases} \mu_2 \begin{cases} = \\ \neq \end{cases} \mu_3 \right) \wedge \sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3 \right] \Rightarrow \\ \Rightarrow \mu_{1,2} \neq \sigma_{1,3} \neq \sigma_{2,3} \wedge \mu_{1,2} \neq \mu_{1,3} \neq \mu_{2,3} \quad (4.1.3)$$



Слика 4.1.1. Мрежни модел са три паралелна тока

Све могуће комбинације односа параметара ових токова представљене су табелом релационих оператора 4.1.2. Њихов број у овом случају је 81, док је у општем случају број комбинација (u) експоненцијалног карактера и износи

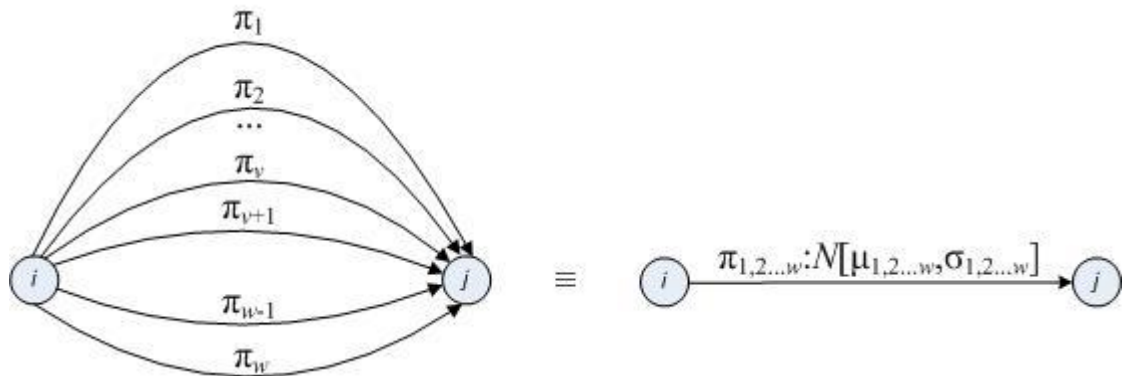
$$u = 3^{w+1} \quad (w \geq 2, w \in \mathbb{N}) \quad (4.1.4)$$

где је w број паралелних токова. [44]

Табела 4.1.2. Могуће комбинације односа параметара три паралелна тока: μ_1 , μ_2 , μ_3 , σ_1 , σ_2 и σ_3 [44]

$\mu_1 \rho \mu_2 \rho \mu_3$	$\sigma_1 \rho \sigma_2 \rho \sigma_3$	$\mu_1 \rho \mu_2 \rho \mu_3$	$\sigma_1 \rho \sigma_2 \rho \sigma_3$	$\mu_1 \rho \mu_2 \rho \mu_3$	$\sigma_1 \rho \sigma_2 \rho \sigma_3$
< <	< <	= <	< <	> <	< <
< <	< =	= <	< =	> <	< =
< <	< >	= <	< >	> <	< >
< <	= <	= <	= <	> <	= <
< <	= =	= <	= =	> <	= =
< <	= >	= <	= >	> <	= >
< <	> <	= <	> <	> <	> <
< <	> =	= <	> =	> <	> =
< <	> >	= <	> >	> <	> >
< =	< <	= =	< <	> =	< <
< =	< =	= =	< =	> =	< =
< =	< >	= =	< >	> =	< >
< =	= <	= =	= <	> =	= <
< =	= =	= =	= =	> =	= =
< =	= >	= =	= >	> =	= >
< =	> <	= =	> <	> =	> <
< =	> =	= =	> =	> =	> =
< =	> >	= =	> >	> =	> >
< >	< <	= >	< <	> >	< <
< >	< =	= >	< =	> >	< =
< >	< >	= >	< >	> >	< >
< >	= <	= >	= <	> >	= <
< >	= =	= >	= =	> >	= =
< >	= >	= >	= >	> >	= >
< >	> <	= >	> <	> >	> <
< >	> =	= >	> =	> >	> =
< >	> >	= >	> >	> >	> >

Према претходним критеријумима услов еквиваленције за три тока испуњава само један случај, који је у табели 4.1.2. уоквирен. Овакав модел суперпозиције се у даљој анализи може интегрисати са моделом редно везаних токова (пример 2.). У осталим, комплекснијим случајевима неопходна је примена симулације (прилог Д).



Слика 4.1.2. Мрежни модел са w паралелних токова и еквивалентни ток [44]

У општем случају, тј. у моделу са $w > 3$ паралелних токова (слика 4.1.2), еквиваленција је остварена при следећим условима [44]:

$$\left[\mu_\nu = \mu_{\nu+1}, \nu = \overline{1, w-1} \right] \wedge \left[\sigma_\nu = \sigma_{\nu+1}, \nu = \overline{1, w-1} \right] \Rightarrow \left(\mu_{1,2,\dots,w} \equiv \mu_{2,1,\dots,w} \equiv \dots \equiv \mu_{w,w-1,\dots,1} \right) \wedge \left(\sigma_{1,2,\dots,w} \equiv \sigma_{2,1,\dots,w} \equiv \dots \equiv \sigma_{w,w-1,\dots,1} \right) \quad (4.1.5)$$

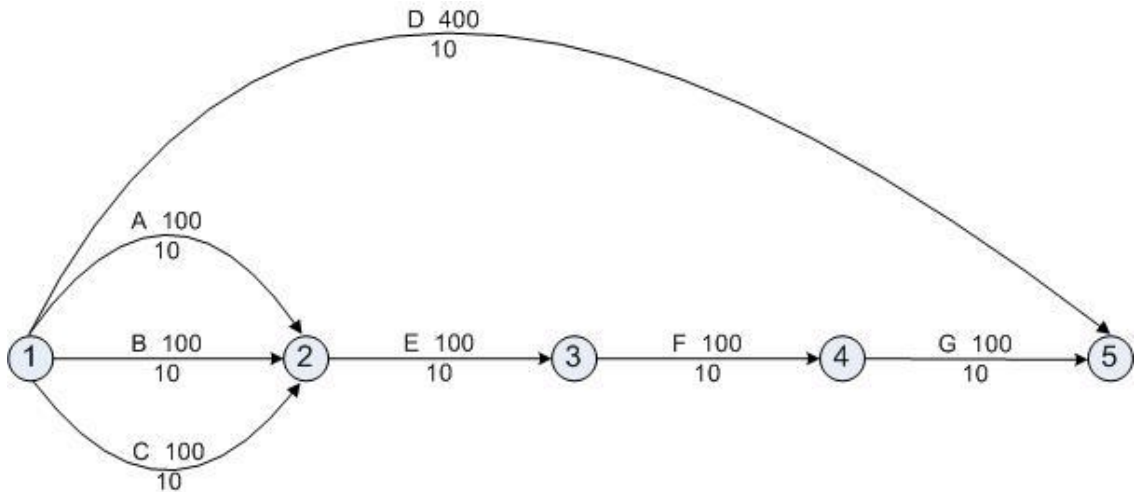
6.1.1. Пример суперпозиције мрежног дијаграма на основу аналитичке методе

Ради илустрације примене Кларкових једначина, дат је и мрежни дијаграм на слици 6.1.1.1 у примеру 2 [35], за који је резултујуће трајање рачунато суперпозицијом критичних токова, односно свођењем на основни, полазни случај са два критична тока (критични и субкритични).

Пример 2.

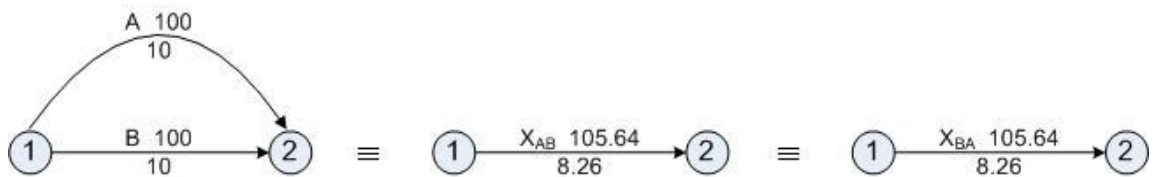
На слици 6.1.1.1. приказан је мрежни дијаграм једног пројекта, као и параметри његових активности, средње трајање и стандардна девијација редом (у данима). Потребно је одредити трајање пројекта применом суперпозиције на основу аналитичке методе, односно Кларкових једначина.

PERT анализом датог мрежног дијаграма идентификоване су четири критичне путање: $\pi_1 : A - E - F - G$, $\pi_2 : B - E - F - G$, $\pi_3 : C - E - F - G$ и $\pi_4 : D$ чије је трајање $T \left(\tau_1 \right) \supseteq T \left(\tau_2 \right) \supseteq T \left(\tau_3 \right) \supseteq T \left(\tau_4 \right) \supseteq 400$, односно стандардна девијација $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sqrt{400} = 20$ и $\sigma_4 = 10$.



Слика 6.1.1.1. Пример мрежног дијаграма

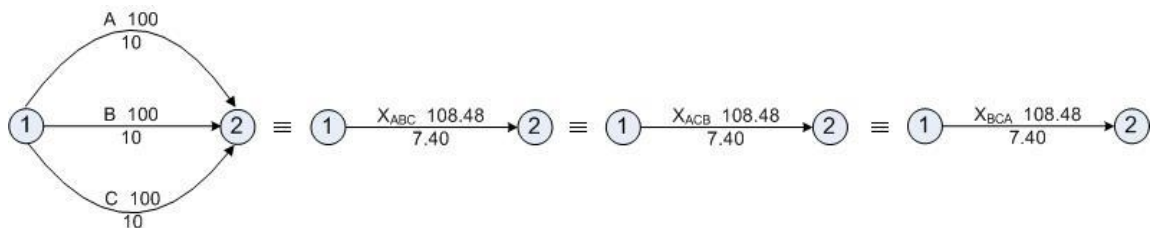
Суперпозиција је у првом реду примењена на активности A и B , путања π_1 и π_2 (слика 6.1.1.2.) и према (3.1) и (3.2) добијено је редом $\mu_{AB} = 105.641896$ и $\sigma_{AB} = 8.256453$. За ове вредности важи, као што је приказано раније, да је $\mu_{AB} = \mu_{BA}$ и $\sigma_{AB} = \sigma_{BA}$.



Слика 6.1.1.2. Еквивалентни ток за активности A и B

Аналогно овом рачуну, добија се да еквивалентан ток за активности A и C (односно C и A), као и B и C (односно C и B) који има исте параметре, тј. $\mu_{AB} = \mu_{BA} = \mu_{AC} = \mu_{CA} = \mu_{BC} = \mu_{CB}$ и $\sigma_{AB} = \sigma_{BA} = \sigma_{AC} = \sigma_{CA} = \sigma_{BC} = \sigma_{CB}$.

Следи суперпозиција токова активности A , B и C на један еквивалентан ток, према слици 6.1.1.3.



Слика 6.1.1.3. Еквивалентни ток за активности A , B и C

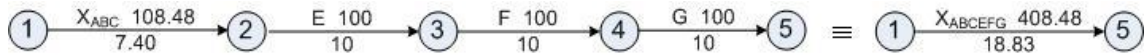
При израчунавању параметара овог тока добија се редом:

$$\lambda_{ABC} = \sqrt{\sigma_{AB}^2 + \sigma_C^2} = 12.986, \quad \xi_{ABC} = \frac{\mu_{AB} - \mu_C}{\lambda_{ABC}} = 0.435, \quad \Psi_{ABC} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\xi_{ABC}^2} = 0.363,$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi_{ABC}} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt = 0.668, \text{ на основу чега је } \mu_{ABC} = 108.476470 \text{ и } \sigma_{ABC} = 7.396.$$

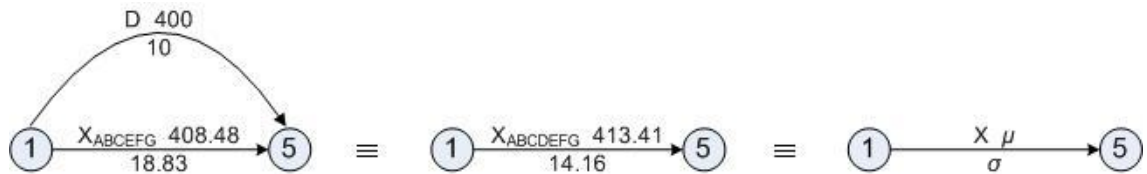
Аналогно претходном важи да је $\mu_{ABC} = \mu_{ACB} = \mu_{BCA}$ и $\sigma_{ABC} = \sigma_{ACB} = \sigma_{BCA}$.

Суперпозицијом критичних путања π_1 , π_2 и π_3 , на крају је добијена редна активност (слика 6.1.1.4.) за коју је: $\mu_{ABCEFG} = \mu_{ABC} + \mu_E + \mu_F + \mu_G = 408.476$ и $\sigma_{ABCEFG} = \sqrt{\sigma_{ABC}^2 + \sigma_E^2 + \sigma_F^2 + \sigma_G^2} = 18.834$.



Слика 6.1.1.4. Суперпозиција критичних путања π_1 , π_2 и π_3

Полазни мрежни дијаграм је овако сведен на основни општи случај, за који је преостало да се одреди суперпонирано трајање и варијанса (према подацима са слике 6.1.1.5.).



Слика 6.1.1.5. Основни општи дијаграм полазног дијаграма

При томе се добија редом: $\lambda = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_{ABCEFG}^2} = 21.324$, $\xi = \frac{\mu_D - \mu_{ABCEFG}}{\lambda} = -0.398$,

$\Psi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\xi^2} = 0.369$, $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt = 0.345$, на основу чега је $\mu = 413.408585$ и $\sigma = 14.162$.

Уколико се узму у обзир резултати PERT методе процењено трајање пројекта је 400 дана, док је вероватноћа реализације пројекта према томе

$$\Phi\left(\frac{T - T_{\text{plan}}}{\sigma_1}\right) = \Phi\left(\frac{430 - 400}{20}\right) = \Phi(1.5) = 93.32\% \text{ }^{16}$$

што значи да ризик реализације износи 6.6807%.

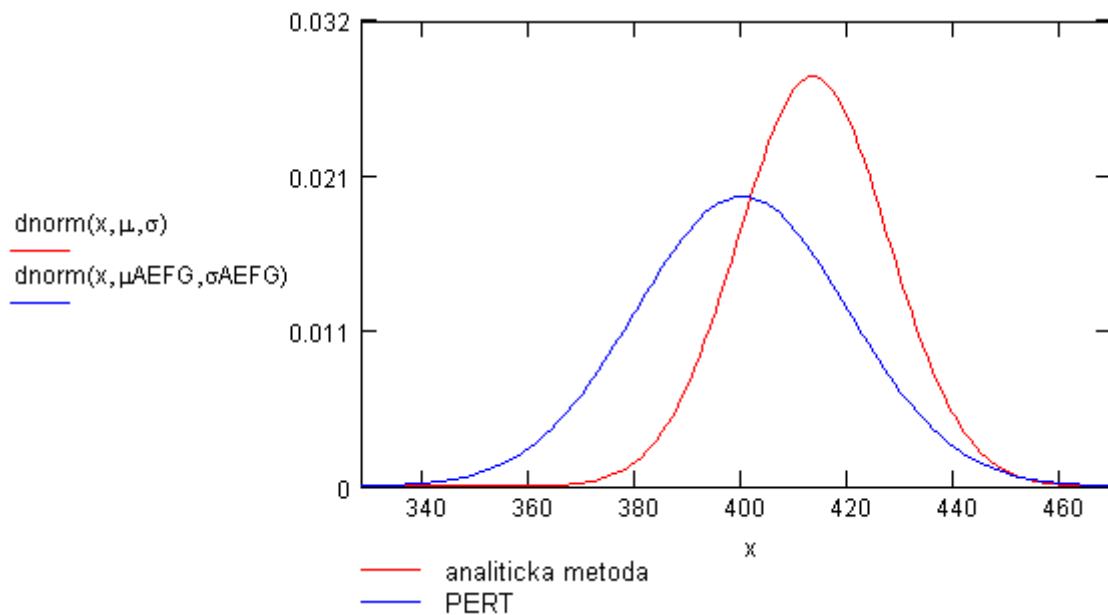
Вероватноћа реализације пројекта за добијено суперпонирано трајање применом аналитичке методе је

¹⁶ Узето је да је $T = T_{\text{plan}} + \frac{3\sigma}{2} = 400 + \frac{60}{2} = 430$.

$$\Phi\left(\frac{T - \mu}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{430 - 413.41}{14.16}\right) = \Phi(1.17) \approx 87.90\%$$

што значи да је ризик реализације пројекта $1 - 0.8790 = 12.10\%$.

Поређење једног критичног тока, нпр. π_1 са добијеним суперпонираним током, односно резултата добијених PERT и аналитичком методом, графички је приказано на слици 6.1.1.6.¹⁷



Слика 6.1.1.6. Поређење резултата добијених PERT и аналитичком методом

Аналитичка метода, на основу које је извршена суперпозиција и одређено трајање пројекта, указује на утицај субкритичних токова, које би требало узети у обзир водећи рачуна о њиховој стохастичкој природи и према томе могућност да постану критични. PERT метода узима у обзир утицај само редних токова и тако занемарује субкритичне токове, као и саму суперпозицију. На значај утицаја субкритичних токова указује очигледна разлика у вероватноћи реализације пројекта према свакој од метода, док сазнање о суперпонираном трајању може допринети бољем управљању реализацијом пројекта сложених стохастичких токова активности какви су у: грађевинарству, саобраћају, машиноградњи, бродоградњи, процеси у физици, телекомуникацијама, као и у многим другим истраживањима. [45]

Добијени резултати су упоређени са решењем мрежног дијаграма у примеру 3 на основу нумеричке методе у поглављу 6.2.1.

¹⁷ Mathcad поседује функцију $\text{dnorm}(x, m, s)$ која даје расподелу вероватноћа нормалне дистрибуције, а која је послужила за приказ добијених резултата.

6.2. Нумеричка метода – Монте Карло симулација

Суперпозиција се може реализовати и применом нумеричке методе – Монте Карло симулације. Поред тога што се узима у обзир утицај субкритичних токова, на овај начин се разматрају и бројни случајеви, односно сценарија реализације пројекта, што у стварности није могуће. Према томе, у дисертацији се Монте Карло методом симулирају трајања критичне и субкритичне путање према дефинисаном броју понављања, односно репликација.

Као и аналитичка метода, Монте Карло симулација је примењена на мрежни модел са слике 6.1. За одређивање параметара овог мрежног модела, средњег трајања и варијансе критичног и субкритичног тока, симулирана су трајања сваког од њих према нормалној расподели, у предвиђеном броју понављања. Резултујуће, суперпонирано трајање је израчунато за сваки пар трајања у датој репликацији тако што је изједначано са оним које је веће.

Према подацима датим у примеру 1, поглавља 6.1. симулација је реализована у окружењу једног од математичких програма Mathcad-у и према томе су дате ознаке функција и параметара. За потребе симулације дефинисани су:

- број понављања (репликација)

$$N := 100$$

- вектори трајања путева са параметрима нормалне расподеле

$$p1 := \text{rnorm} \left(N, \mu_1, \sigma_1 \right)$$

$$p2 := \text{rnorm} \left(N, \mu_2, \sigma_2 \right)$$

где су параметри $\mu_1 = 10 = \mu_2$, $\sigma_1 = 1$ и $\sigma_2 = 2$, као у примеру 1, док је $\text{rnorm}(m, \mu, \sigma)$ функција Mathcad-а која омогућава дефинисање вектора од m случајних бројева који су нормално распоређени;

- начин одређивања резултујућег, суперпонираног трајања, односно вектора P

$$i := 0..N - 1$$

$$P_i := \text{if} \left(p1_i > p2_i, p1_i, p2_i \right)$$

према чему је свакој вредности вектора P додељена она која је већа у i -том пару елемената вектора $p1$ и $p2$.

На основу ових података, дефинисани су вектори $p1$ и $p2$, као и резултујући вектор P , чији је део вредности представљен са:

$$p1^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	9.622	8.819	8.871	9.925	9.316	8.619	10.601	10.113	8.748	10.448

$$p2^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10.349	10.67	10.794	8.125	13.219	10.285	9.846	7.715	6.172	12.395

$$P^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10.349	10.67	10.794	9.925	13.219	10.285	10.601	10.113	8.748	12.395

Средња вредност $\text{mean}(P)$ и варијанса $\text{var}(P)$ суперпонираног трајања, вектора P према решењу програма је

$$\text{mean}(P) = 10.8333935288271$$

$$\text{var}(P) = 1.26306629840382$$

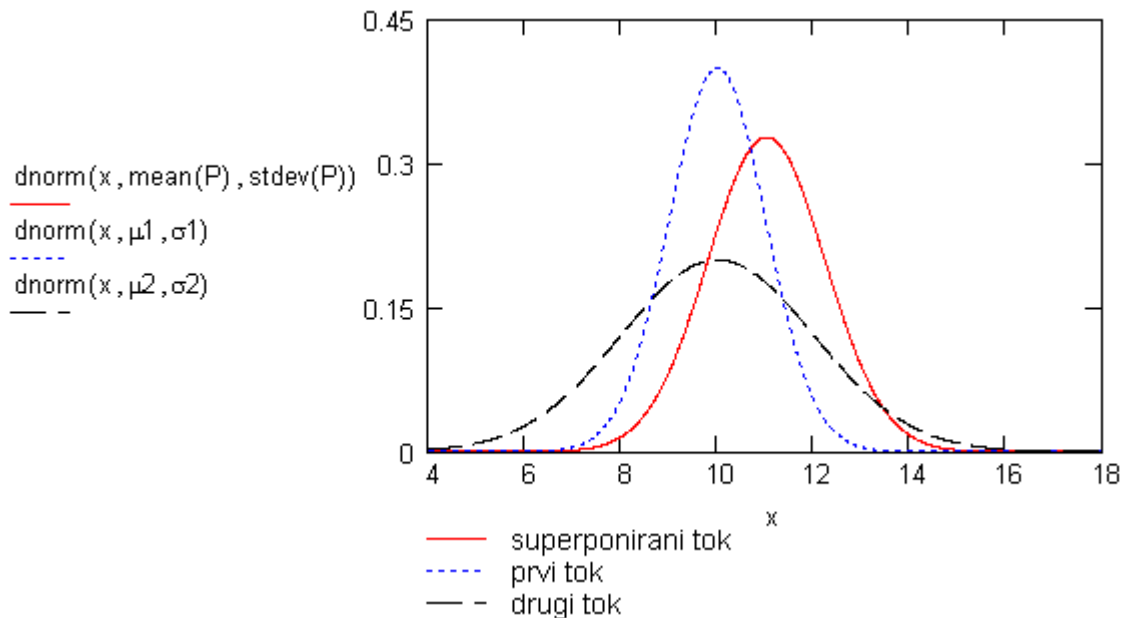
Уколико се ове вредности упореде са онима које су добијене применом Кларкових једначина добија се разлика за средње трајање

$$\Delta P = \mu_{12} - \text{mean}(P) = 0.058668$$

и за варијансу

$$\Delta V = \sigma(P_{12}) - \text{var}(P) = 0.042394.$$

Ради поређења, дат је и графички приказ расподела вероватноћа трајања за сваки од токова: критични, субкритични и резултујући, тј. суперпонирани, на слици 6.2.1.



Слика 6.2.1. Расподела вероватноћа критичног, субкритичног и суперпонираног трајања

Да би се показало слагање вредности за средње трајање и варијансу суперпонираног тока применом аналитичке методе са онима које су добијене Монте Карло симулацијом примењен је χ^2 тест.

Овај тест показује да ли се генерална популација из које је симулиран и анализиран узорак применом Монте Карло методе слаже са законом нормалне расподеле. У ту сврху су емпиријски подаци добијени симулацијом – вектор P – статистички сређени, односно, дефинисане су вредности дате у табели 6.2.1.

Табела 6.2.1. χ^2 тест

ξ_j	h_j	$\frac{\xi_j - \mu}{\sigma}$	$\Phi\left(\frac{\xi_j - \mu}{\sigma}\right)$	p_j	np_j	$\frac{O_j - np_j}{np_j}$
9	4	-1.62316	0.052277	0.052277	5.2277	0.288319
10	18	-0.73783	0.230308	0.17803	17.80305	0.002179
11	40	0.147496	0.55863	0.328322	32.83221	1.564842
12	21	1.032826	0.849157	0.290528	29.05277	2.232046
13	14 } 2 } 1 }	1.918156	0.972454	0.123297	12.3297 } 2.501792 } 0.241502 }	15.073 } 0.246357 }
14		2.803487	0.997472	0.025018		
15		3.688817	0.999887	0.002415		
$\mu = \text{mean}(P) = 10.8334,$ $\sigma = \text{stdev}(P) = 1.129522$					$\chi_s^2 = 4.043245$	

Где су:

- ξ_j – горња граница j -класе ($j = 1, 2, \dots, k$). Вредности вектора P су подељене у k класа;
- h_j – учестаност вредности j -класе;
- $\Phi\left(\frac{\xi_j - \mu}{\sigma}\right)$ – функција расподеле нормиране Гаусове нормалне расподеле. Како μ и σ нису познати узимају се средња вредност и стандардна девијација елемената вектора P ;
- p_j – „теоретска“ вероватноћа да P потпада у j -класу, $p_j = F(\xi_j) - F(\xi_{j-1})$, где је $F(\xi_j) = \Phi\left(\frac{\xi_j - \mu}{\sigma}\right)$;
- np_j – вредност за коју треба да важи услов $np_j \geq 5$, што се постиже сажимањем неколико класа;

- $\chi_s^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(q_j - np_j)^2}{np_j} = 4.043245$ – вредност за коју се проверава да ли задовољава χ^2 расподелу са m степени слободе. У овом случају је број степени слободе $m = k - 2 - 1 = 2$, с обзиром на то да је број класа $k = 5$ и да постоје два непозната параметра нормалне расподеле μ и σ .

За одабрану вероватноћу грешке $\alpha = 1\%$, из табеле χ^2 расподеле узима се вредност квантила $\chi_{0.01,2}^2$. Како је $\chi_s^2 = 4.043245 < 9.2 = \chi_{0.01,2}^2$ потврђена је претпоставка о слагању симулираног узорка са законом нормалне расподеле у 99% случајева.

Према тесту Романовског, прихвата се хипотеза по којој узорак има нормалну расподелу ако је тачна неједнакост

$$|\chi_s^2 - m| \leq 3\sqrt{2m},$$

што је према претходно дефинисаним подацима

$$|\chi_s^2 - m| \leq 3\sqrt{2m} \Leftrightarrow 2.043245 \leq 6.$$

Ово је још једна потврда полазне хипотезе да се емпиријски подаци слажу са законом нормалне расподеле.

Значај методе симулације се огледа у могућности моделирања функције расподеле вероватноћа суперпонираног трајања. На тај начин се може анализирати однос критичне и субкритичне путање, као и њихов утицај на суперпонирану путању за разне случајеве вредности μ_1 , μ_2 , σ_1 и σ_2 који су описани односом (4.1.1).

За потребе приказа једног хистограма (фрејма) у случају дефинисаним примером 1, дакле када је $\mu_1 = 10$, $\sigma_1 = 1$, $\mu_2 = 10$ и $\sigma_2 = 2$ описано је статистичко сређивање података из узорка добијеног симулацијом – вектори $p1$, $p2$ и P .

Као основа за поменуто статистичко сређивање података и приказ хистограма расподеле сређеног узорка посматрана је разлика између суперпонираног и (суб)критичног пута (због могућности да субкритични пут постане критични). Према томе дефинисани су:

- вектор разлика суперпонираног и (суб)критичног трајања

$$R_i := P_i - p2_i \quad R^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0.821 & 0 & 0 & 3.687 & 0 & 2.654 & 1.273 \\ \hline \end{array}$$

- број групних размака (класа) – где је групни размак h израчунат према Стургесовом правилу [47]:

$$h := \text{ceil}(1 + 3.3 \cdot \log(N)) \quad h = 8^{18}$$

- распон ρ – разлика екстремних вредности елемената вектора R

$$\rho := \max(R) - \min(R) \quad \rho = 5.045$$

- дужина групних размака

$$\Delta := \left(\frac{\max(R) - \min(R)}{h} \right) \quad \Delta = 0.631$$

- маргиналне вредности интервала сређеног скупа података

$$j := 0..h \quad l_j := \min(R) + \Delta \cdot j$$

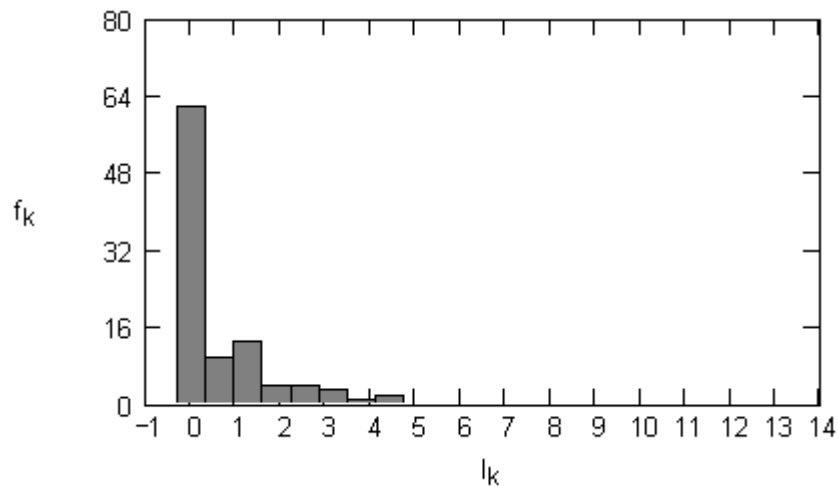
- вектор маргиналних вредности класа

$$l^T = (0 \ 0.631 \ 1.261 \ 1.892 \ 2.522 \ 3.153 \ 3.783 \ 4.414 \ 5.045)$$

- расподела емпиријских података, односно учестаности, што је приказано функцијом хистограма у векторском облику

$$f^T = (62 \ 10 \ 13 \ 4 \ 4 \ 3 \ 1 \ 2)$$

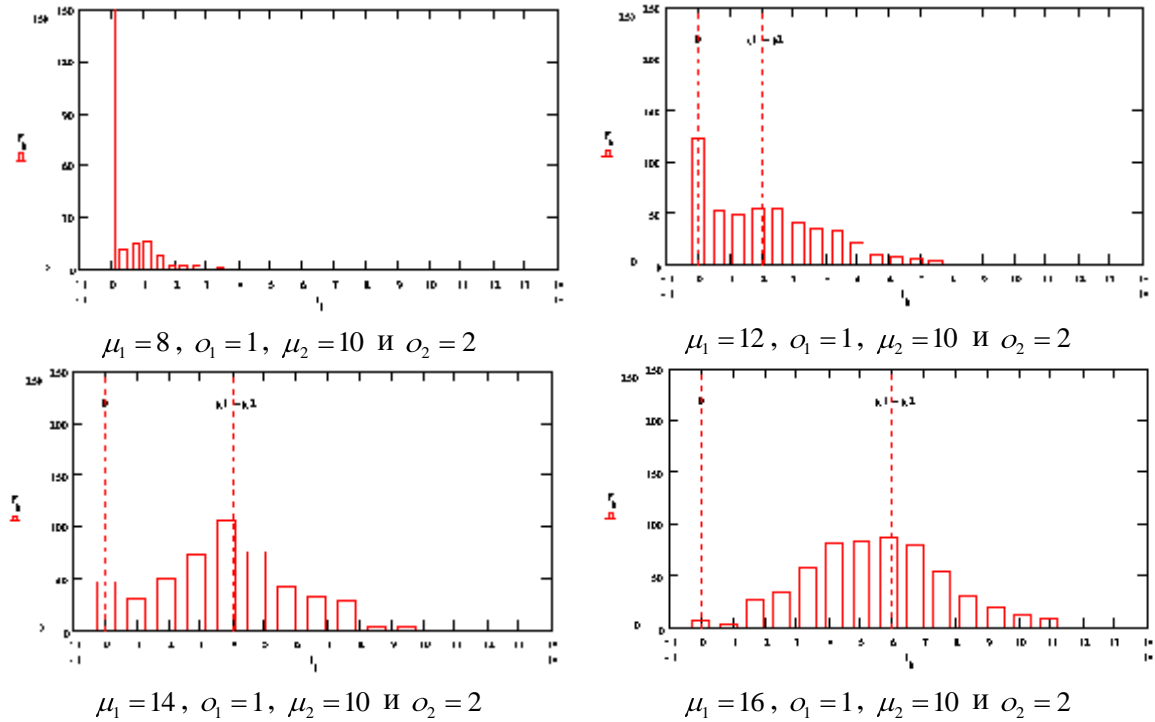
На слици 6.2.2. је приказан хистограм расподеле сређеног узорка за случај $\mu_1 = 10$, $\sigma_1 = 1$, $\mu_2 = 10$ и $\sigma_2 = 2$.



Слика 6.2.2. Хистограм расподеле сређеног узорка

¹⁸ Функција Mathcad-а – $\text{ceil}(x)$ враћа најмањи цео број који је већи или једнак са x .

На слици 6.2.3. су приказани фрејмови (хистограми расподеле сређеног узорка) за неке од случајева у којима се може уочити губљење доминације критичног пута у корист субкритичног, ако се суперпонирано трајање приближава критичном. Ово може бити од великог значаја при планирању и контроли сложених мрежних дијаграма. [44] (Напомена: у електронском прилогу Ћ налази се *.mcd анимација примера са слике 6.2.3.)



Слика 6.2.3. Фрејмови за одабране вредности параметара критичног и субкритичног пута

6.2.1. Пример суперпозиције мрежног дијаграма на основу нумеричке методе

Пример 2. из поглавља 6.1.1, решен је применом нумеричке методе, односно Монте Карло симулације, такође у окружењу програма Mathcad. За активности A , B и C (слика 4.2.4.) симулирана су трајања из нормалне расподеле у 500 понављања, што је представљено векторима $t1$, $t2$ и $t3$, а рачунање суперпонираног трајања је дефинисано if условом, чији је резултат вектор $t123$.

```

t1 := rnorm(N, μ1, σ1)           i := 0.. N - 1           length(t1) = 500
t2 := rnorm(N, μ2, σ2)           t3 := rnorm(N, μ3, σ3)
t123_i := if(t1_i > t2_i ∧ t1_i > t3_i, t1_i, if(t2_i > t3_i, t2_i, t3_i))

```

$$t1^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	106.343	102.921	101.415	103.477	96.166	99.301	90.362	94.408	79.431

$$t2^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	108.217	98.238	109.111	81.423	87.593	94.462	95.944	97.962	103.333

$$t3^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	101.745	105.594	90.273	107.135	107.757	102.582	105.53	93.665	114.379

$$t123^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	108.217	105.594	109.111	107.135	107.757	102.582	105.53	97.962	114.379

Суперпонирано очекивано трајање и варијанса еквивалентног тока за резултујући вектор $t123$ износи:

$$\text{mean}(t123) = 108.499550840377 \quad \text{stdev}(t123) = 7.234$$

Аналогно активностима A , B и C симуларана су трајања активности E , F и G . Параметри резултујућег тока за ове активности се рачунају према $t456_i := t4_i + t5_i + t6_i$ и добија се

$$\text{mean}(t456) = 299.907619248288 \quad \text{stdev}(t456) = 18.446$$

Даље је

$$t123456 := t123 + t456$$

$$t123456^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	379.41	410.44	405.66	386.84	438.66	416.5	422.46	398.4	395.23	396.88

$$\text{mean}(t123456) = 408.407 \quad \text{stdev}(t123456) = 19.721$$

Суперпозицију је коначно потребно применити на добијени основни дијаграм, активност D и еквивалентни ток преосталих активности, A , B , C , E , F и G , према томе је

$$t7 := \text{norm}(N, \mu7, \sigma7) \quad i := 0.. N - 1$$

$$t_i := \text{if}(t7_i > t123456_i, t7_i, t123456_i)$$

$$t7^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	406.111	413.17	406.536	398.568	399.096	407.306	403.508	389.119	394.166

$$t123456^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	379.41	410.44	405.66	386.84	438.66	416.5	422.46	398.4	395.23	396.88

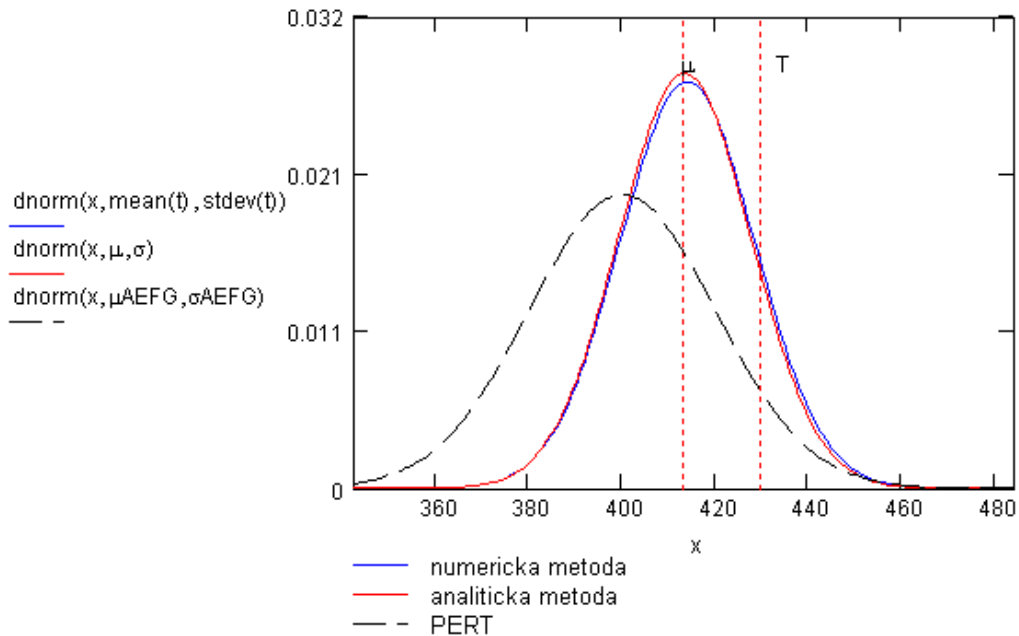
$$t^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	406.111	413.17	406.536	398.568	438.662	416.501	422.458	398.399	395.234

Параметри еквивалентног тока за полазни мрежни дијаграм су:

$$\text{mean}(t) = 413.952599465882 \quad \text{stdev}(t) = 14.447$$

Вероватноћа реализације пројекта за добијено суперпонирано трајање применом методе симулације је $\Phi\left(\frac{T-\mu}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{430-413.952599}{14.447}\right) = \Phi(1.10777) \approx 86.6668\%$, што значи да је ризик реализације пројекта 13.3332%.



Слика 6.2.1.1. Поређење резултата нумеричке, аналитичке и PERT методе за пример 2

Овај резултат је близак резултату добијеном аналитичком методом. Поређење резултата добијених аналитичком методом са онима који су добијени симулацијом у односу на утврђени критични пут AEFГ, приказани су на слици 6.2.1.1.

7. КРЕИРАЊЕ МОДЕЛА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ТРАЈАЊА ПРОЈЕКТА

Како је претходно наглашено, модел за одређивање трајања пројекта је развијен на основу аналитичке методе, односно Кларкових једначина. Модел је имплементиран у окружење програма за управљање пројектима – Microsoft Project, и према томе је његова употреба предвиђена у склопу стандардног коришћења програма, без потребног посебног предзнања. За дефинисање параметара модела послужили су планови реализованих пројеката из емпиријског материјала како би се обезбедиле што реалније процене.

7.1. Дефинисање улазних података модела

Потребни улазни подаци за развој модела су мрежни дијаграми пројектних планова у којима су идентификоване критична и субкритична путања. Предвиђени програм за имплементацију модела, MS Project, функционише на основу метода мрежног планирања и за учитани или креирани пројектни план приказује мрежни дијаграм и одређује трајање пројекта израчунавањем критичне путање.

Microsoft Project је, уопште речено, програм који омогућава креирање базе података пројектног плана. Развојем једног пројектног плана, а касније и праћењем реализације пројекта, ова база се ажурира и допуњује унетим подацима. У зависности од нивоа развијености плана, као и реализације пројекта у бази се могу налазити следећи подаци:

- листа активности са појединостима: трајање, датум почетка, датум завршетка, претходна активност и тип везе, ресурси...
- банка ресурса са појединостима: тип, група, број јединица, трошкови, начин рачунања трошкова, календар рада...
- полазни план са свим детаљно одређеним појединостима и подацима који су спремни за поређење са стварном реализацијом пројекта;
- праћење реализације пројекта изражено у процентима, сатима рада, физичкој реализацији, трошковима, трајању...
- извештаји о реализацији за одабрани период, податке и филтере...

Развијеност базе и пројектног плана зависе од степена употребе самог програма. Према истраживању [28] којим су обухваћена мала, средња и велика предузећа у зрењанинској општини, у највећем броју случајева програм се примењује у фази планирања и стога садржи листу активности са појединостима и евентуално банку ресурса. У прилог овоме говори и чињеница да 97.67% планова из узорка садржи управо само листу активности са њиховим везама и трајањем, 2.33% ових планова садржи и банку ресурса, односно има податке о праћењу реализације пројекта.

Критичне путање потребне за развој модела се у програму израчунавају за учитану или креирану листу активности са трајањима и међусобним везама пројектног плана. Дакле, листе активности су потребни улазни подаци модела које се узимају из базе прикупљеног емпиријског узорка (прилог Ђ) и с обзиром на то да потичу из праксе може се рећи да су настали на основу:

- историјских информација и искуства стеченог у реализацији сличних пројеката у прошлости;
- тимског планирања стручњака из разних области које се тичу реализације пројекта;
- процена трајања добијених на основу постојећих стандарда за норма часове машина, примене одговарајућих технологија и расположивих ресурса.

Према томе, може се сматрати да је критична путања – трајање пројекта за сваки план из узорка процењена са високим степеном тачности. Такође, без обзира на ниво коришћења софтвера, који је различит за фирме обухваћене узорком у обзир је узето „затечено“ трајање пројекта које је програмом добијено за сваки план. Намера је да се пројектни планови из узорка у њиховом оригиналном облику искористе за примену модела, односно у оном који је дефинисан у фирмама. На тај начин би се испитала и применљивост модела у реалним условима.

Потребни подаци из сваког пројектног плана налазе се у пољима *Baseline Duration* и *Baseline1 Duration* табеле активности MS Project-а и то за збирну активност пројекта (*Project summary task*). Вредности у овим пољима представљају трајање две верзије полазног плана пројекта, односно трајање критичног и субкритичног пута. Ова поља су одабрана према теоријским поставкама, односно за потребе примене Кларкових једначина у којима се у обзир узимају два критична пута (односно критични и субкритични).

Подразумевана вредност у сваком од поменутих поља је нула. Када је фаза планирања готова и пројекат треба да почне са реализацијом у програму је омогућено снимање полазног плана: Tools – Tracking – Set Baseline, након чега се сви до тада унети подаци бележе у базу као подаци полазног плана, што је предвиђено за касније поређење са стварним подацима. Снимањем полазног плана мења се и вредност у пољу *Baseline Duration*. Поље *Baseline1 Duration* представља дужину критичног пута друге верзије полазног плана (програм има могућност снимања 11 верзија полазних планова за случајеве детаљнијег планирања), које има вредност различиту од нуле тек након снимања истог.

За потребе развоја модела пројектни планови из узорка су снимљени у верзији са полазним планом у случају да то првобитно није урађено у самој фирми. С обзиром на то да су по тим плановима пројекти реализовани, са правом се може сматрати да ови подаци одговарају вредности добијеној у пољу *Baseline Duration* након снимања.

Како је претходно наглашено да у већини планова из узорка недостаје снимљена прва верзија полазног плана, још је мања вероватноћа да је поље *Baseline1 Duration* различито од нуле. Зато је дефинисан посебан макро програм (Clark), који је

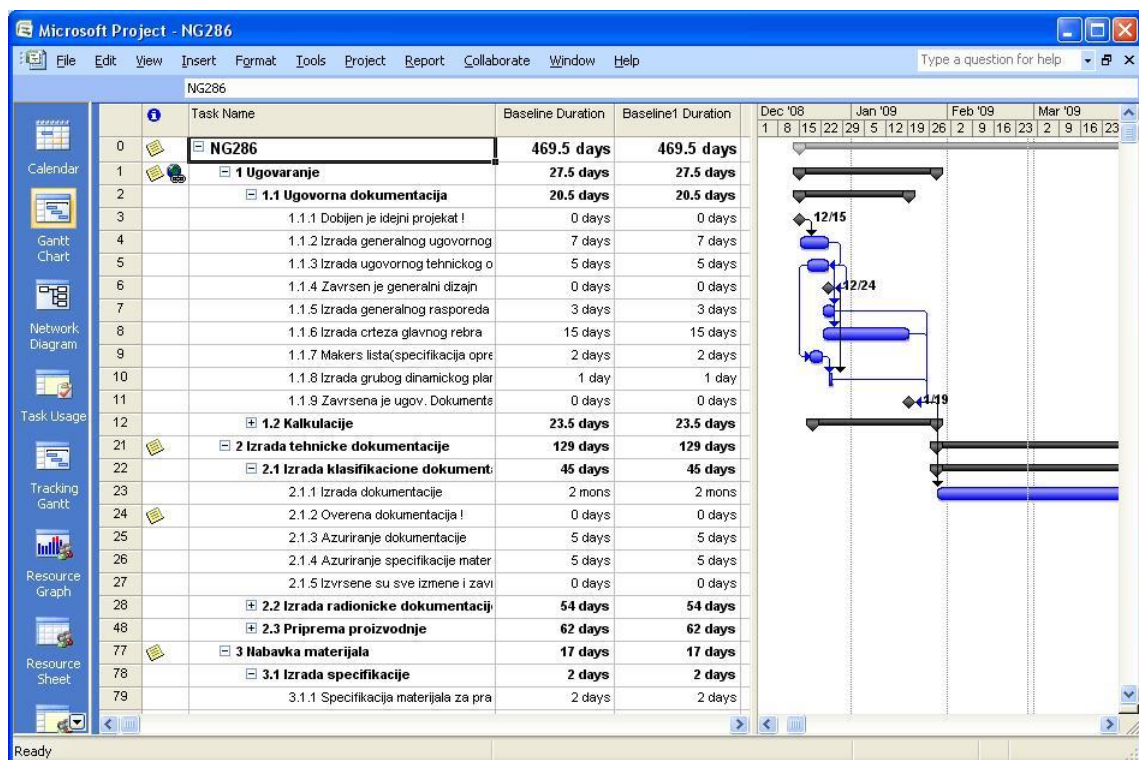
саставни део модела за одређивање трајања пројекта, који за активан пројектни план снима две верзије полазног плана *Baseline Duration* и *Baseline1 Duration*.

Поред претходно наведених улазних података модела:

- листа повезаних активности пројектног плана (нова или постојећа) – без обзира на степен заступљености осталих детаља: ограничења, ресурси...;
- снимљен полазни план у две верзије;

у улазне податке се убрајају и стварна трајања пројекта, која су саставни део емпиријског материјала. За сваки план реализованог пројекта, према протоколу истраживања прибављена је информација о његовом стварном трајању. Она је предвиђена за поређење са трајањем које ће се добити на основу модела, као и за дефинисање његове мере успешности, односно коефицијента квалитета, што је описано у поглављу 7.3.

Илустрација поља *Baseline Duration* и *Baseline1 Duration* је приказана у пројектном плану на слици 7.1.1.



Слика 7.1.1. Пројектни план изградње брода NG286

Претходно наведено указује на то да се модел у првом реду користи за пројектне планове из узорка и тако се уједно указује на могућност његове употребе у реалним условима. Надаље, модел би се могао користити у свим случајевима примене софтвера за управљање пројектима при дефинисању пројектног плана и то посебно у:

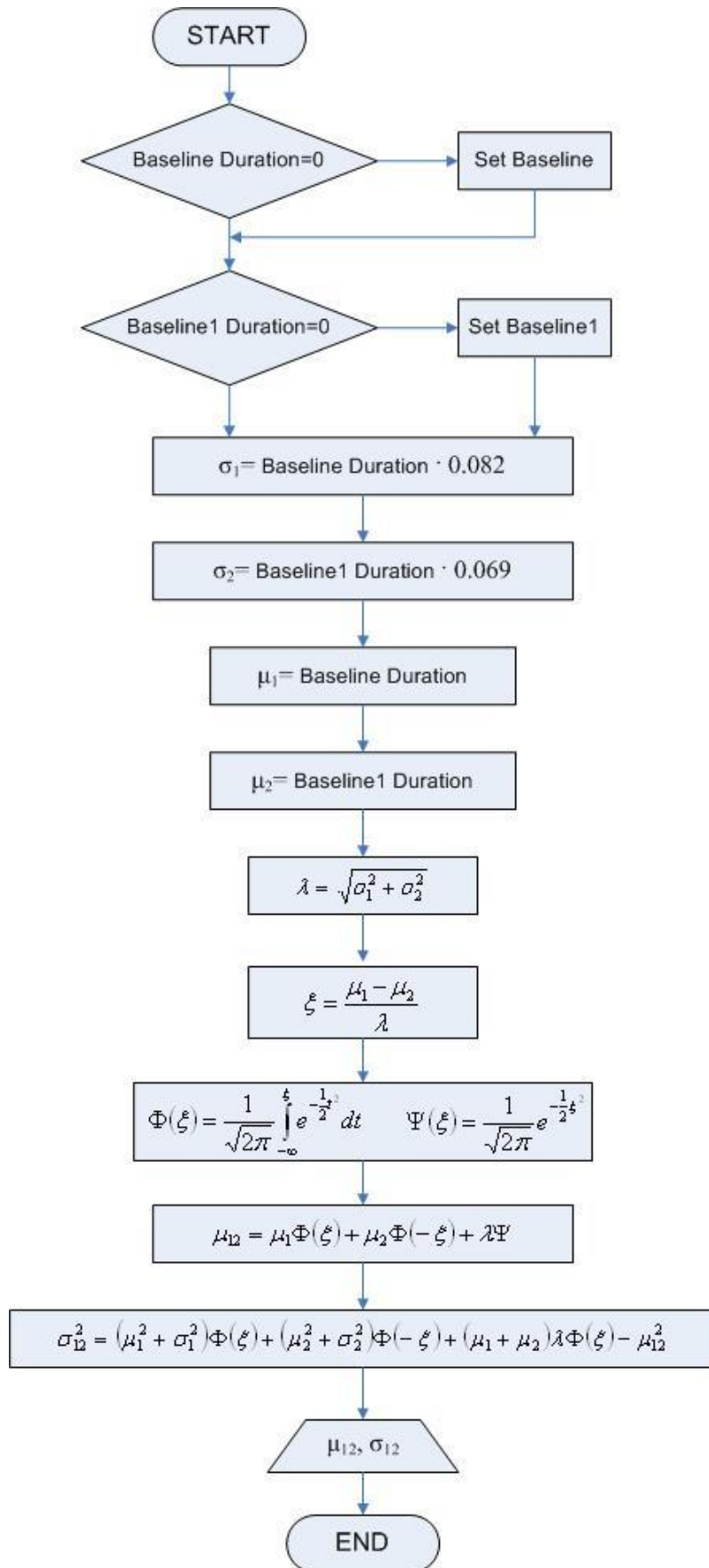
- високошколским институцијама за прелиминарне процене трајања пројеката које дефинишу студенти и наставници за потребе образовања и научноистраживачког рада;
- малим, средњим и великим предузећима, посебно у случајевима када нема сазнања о реализацији сличних пројеката у прошлости.

За сваку од ових примена потребно је унети наведене податке на основу којих ће се употребом модела рачунати трајање пројекта. Историјске информације, као и подршка експертског тима, могу допринети тачности полазних података, а самим тим и поузданости трајања добијеног применом модела. Међутим, њихова примена није обавезна јер би процене добијене помоћу модела требало да буду довољно прихватљиве.

7.2. Креирање прилагођеног приказа софтвера према предвиђеним теоријским поставкама модела

Сматра се да пројектни планови из узорка представљају полазне планове, без обзира на њихов ниво детаљности. У програму је предвиђено снимање података полазног плана како би се они касније могли употребити за поређење са стварним подацима када пројекат крене са реализацијом. За потребе примене одабраних теоријских поставки – Кларкових једначина, креиран је кориснички приказ у програму MS Project, назван *Clark's Duration*, са посебно дефинисаним пољима у којима се налазе подаци потребни за израчунавање резултујућег – суперпонираног трајања и стандардне девијације пројекта. Ове величине су у програму назване *Кларковим трајањем* и *Кларковом стандардном девијацијом*. Алгоритам употребе овог приказа, као и његових поља дат је на слици 7.2.1. Према овом алгоритму, потребно је снимити две верзије полазног плана: *Baseline Duration* и *Baseline1 Duration*, које представљају критични и субкритични пут и на основу којих се рачуна резултујуће – суперпонирано трајање пројекта. С обзиром на то да у већини планова из узорка није снимљена ниједна верзија полазног плана, иста верзија се снима два пута (овакав ефекат даје и примена макроа *Clark*). Вредност у поменутиим пољима је битна првенствено за збирну активност пројекта – *Project Summary Task*, и само она се узима у обзир приликом примене Кларкових једначина (у програму се ова вредност приказује за сваку активност пројекта појединачно). Према алгоритму са слике 7.2.1. за примену Кларкових једначина, поред трајања двеју критичних путања (*Baseline Duration*, *Baseline1 Duration*), потребни полазни подаци су њихове стандардне девијације. Ове вредности су за потребе развоја модела израчунате на основу PERT анализе пројектних планова из узорка, према томе да је вероватноћа реализације пројекта у планираном времену 98%. То значи да се фактор расподеле вероватноће z израчунава према

$$P(Z \leq z) = 0.98 \Rightarrow z = 2.1 \quad (7.2.1)$$



Слика 7.2.1. Алгоритам дефинисања података прилагођеног приказа

Како је према PERT анализи мрежног дијаграма сваког пројектног плана из узорка

$$z = \frac{Tp_i - te_i}{\sigma_i}, \quad (i=1, n; \quad n=43) \quad (7.2.2)$$

где је Tp_i планирано, а te_i њихово стварно (очекивано) трајање, стандардна девијација се рачуна према

$$\sigma_i = \frac{Tp_i - te_i}{2.1} \quad (7.2.3)$$

У алгоритму са слике 7.2.1. је стандардна девијација прве и друге критичне путање рачуната као њихов проценат, и то 8.2% и 6.9% редом, који је добијен заокруживањем на основу

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{Tp_i} = 0.082 \quad \text{и} \quad \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{te_i} = 0.069 \quad (7.2.4)$$

Подаци о плановима из узорка: Tp_i и te_i , као и примењени рачун део су електронског прилога Ђ, табеле Excel-а.

Прилагођени приказ назван *Clark's Duration*, садржи сва поља наведена у алгоритму, чије је дефинисање реализовано опцијом програма Tools – Customize – Fields. Дефиниција ових поља је урађена у складу са могућностима програма и њихове ознаке, назив и употребљене формуле дате су у табели 7.2.1.

Табела 7.2.1. Дефиниција поља приказа *Clark's Duration*

Field name	Title	Customize fields – Formula
StDev1 (Text1)	Standardna devijacija 1	[Baseline Duration]/60/8*82/1000
StDev2 (Text2)	Standardna devijacija 2	[Baseline1 Duration]/60/8*69/1000
Lambda (Text3)	Lambda	Sqr([Text1]*[Text1]+[Text2]*[Text2])
Ksi (Text4)	Ksi	([Baseline Duration]-[Baseline1 Duration])/60/8/[Text3]
Fi(Ksi) Text5	Fi(Ksi)	If([Text4]<0,5/10-[Text10],5/10+[Text10])
Fi(-Ksi) Text6	Fi(-Ksi)	If(-[Text4]<0,5/10-[Text10],5/10+[Text10])
Psi (Text7)	Psi	1/Sqr(2*3.14159265358979)*EXP(-0.5*[Text4]*[Text4])
ClarkDur (Text8)	Klarkovo trajanje	[Text5]*[Baseline Duration]/60/8+[Text6]*[Baseline1 Duration]/60/8+[Text3]*[Text7]
ClarkStDev (Text9)	Klarkova standardna devijacija	Sqr((([Baseline Duration]/60/8)*([Baseline Duration]/60/8)+([Text1]*([Text1]))*[Text5]+((([Baseline1 Duration]/60/8)*([Baseline1 Duration]/60/8)+([Text2]*([Text2]))*[Text6]+([Baseline Duration]/60/8+[Baseline1 Duration]/60/8)*[Text3]*[Text7]-([Text8]*([Text8]))
Z (Text10) (Analogno ovome je i	Z vrednost	If(abs([Text4])>349/100,5/10,Mid("0.0000#0.0040#0.0080#0.0120#0.0160#0.0199#0.0239#0.0279#0.0319#0.0359#0.0398#0.0438#0.0478#0.0517#0.0557#0.0596#0.0636#0.0675#0.0714#0.0753#0.0793#0.0832#0.0871#0.0910#0.0948#0.0987#0.1026#0.1064#0.1103#0.1141#0.1179#0.1217#0.1255#0.1293#0.1331#0.1368#0.1406#0.1443#0.1480#0.1517#

- $F_i(K_{\xi})$ и $F_i(-K_{\xi})$ – приказују вредност функције нормалне расподеле за аргумент „ K_{ξ} “ (односно „ $-K_{\xi}$ “) који се рачуна на основу поља Z вредност;
- Z вредност – с обзиром на то да у програму приказ вредности функције нормалне расподеле није могућ, за реализацију је искоришћена функција програма „Mid“ која оперише са стринговима. Z вредност је 0.5 ако је $\xi \geq |-3.5|$ у осталим случајевима се рачуна као $[Text4]*700+1,6$ позиција стринга који садржи све вредности табеле нормалне расподеле. При томе је $[Text4] = \xi$ што се множи са 100 (јер је аргумент функције децимални број са две децимале), затим са 7 (колико има карактера за сваку вредност функције нормалне расподеле) и додаје 1 јер је вредности у табели почињу од 0.00, док функција „Mid“ рачуна од јединице;
- $ZVer$ (Text11), $P(ZVer)$ (Text12) и $Verovatnoca$ (Text13) – су аналогна пољима K_{ξ} , Z вредност и $F_i(K_{\xi})$ (односно $F_i(-K_{\xi})$), с обзиром на то да служе за одређивање вероватноће реализације пројекта за добијено Кларково трајање и користе исти рачун.

Task Name	Standardna devijacija 1	Standardna devijacija 2	Lambda	ksi	Z vrednost	fi(ksi)	fi(-ksi)	psi	Klarkovo trajanje	Klarkova standardna devijacija	ZVer	P(ZVer)	Verovatnoca	Baseline Duration
Project1-NG-2	12.14	11.66	16.83	-1.25	0.3944	0.11	0.89	0.18	169.72	11.02	1.97	0.4756	0.98	148 days

Слика 7.2.2. Прилагођени приказ *Clark's Duration* за један од планова из узорка

На слици 7.2.2. је дат приказ *Clark's Duration* за један од планова из узорка. Овај приказ може да се постави за један од подразумеваних приказа програма и на тај начин постаје доступан за примену у било ком пројектном плану, новом или постојећем. Зато је потребно у шаблон програма Global.mpt ископирати елементе овог приказа (Tools – Organizer – View/Table/Fields – Copy):

- приказ *Clarc's Duration*;
- табелу *Clarc's Duration*;
- поља: $StDev1$ (Text1), $StDev2$ (Text2), $Lambda$ (Text3), K_{ξ} (Text4), $F_i(K_{\xi})$ (Text5), $F_i(-K_{\xi})$ (Text6), Psi (Text7), $ClarcDur$ (Text8), $ClarcStDev$ (Text9), Z (Text10), $ZVer$ (Text11), $P(ZVer)$ (Text12) и $Verovatnoca$ (Text13);

Да би пројектни планови из узорка послужили као „носиоци“ модела из шаблона Global.mpt који је претходно допуњен наведеним подацима, потребно је ископирати исте податке у сваки од планова (опција је као и пре Tools – Organizer – View/Table/Fields – Copy). На тај начин се модел може пренети заједно са планом где год да се укаже потреба.

7.3. Излазни подаци модела

Попут примене модела и његов резултат се добија у окружењу програма MS Project, у виду вредности у посебно прилагођеним пољима. У питању су колоне табеле *Clark's Duration* активног пројектног плана:

- два трајања пројекта снимљена према сценарију два полазна плана: *Baseline Duration* и *Baseline1 Duration*, уколико она нису у скупу улазних података;
- стандардне девијације за критичне путање претходно наведених полазних планова;
- параметри Кларкових функција λ и ξ као и $\Phi(\xi)$, $\Psi(\xi)$;
- Кларково трајање и Кларкова стандардна девијација одређени на основу Кларкових једначина, а према претходно описаном поступку;
- вероватноћа реализације пројекта за Кларково трајање која се израчунава према

$$P(\xi) = \Phi\left(\frac{\mu_{12i} - te_i}{\sigma_{12i}}\right), \quad \xi = 1, n; \quad n = 43 \quad (7.3.1)$$

где су μ_{12i} и σ_{12i} Кларково трајање и стандардна девијација и te_i планирано трајање i -тог плана из узорка;

- коефицијент квалитета, посебно дефинисана вредност као мера успешности модела.

Ови подаци су саставни део Excel табеле која је уједно и списак пројектних планова из узорка са њиховим појединостима и садржи све потребне прорачуне и анализе коришћене у дисертацији (налази се у електронском прилогу Ђ). Према томе, ова табела садржи и излазне податке модела. Њен део је приказан табелом 7.3.1. Анализе које се односе на вредности наведених поља обухватају:

- поређење са стварним трајањем – ово поређење треба да се реализује за планове из узорка тестирањем хипотезе о значајности разлика. Тест ће послужити за проверу главне хипотезе дисертације;
- испитивање вероватноће реализације пројекта у предвиђеном времену – ова анализа се може спровести, како за планове из узорка, тако и за будуће креиране планове и као таква допринети бољим проценама трајања реализације пројектата;

На основу поређења Кларковог трајања за планове из узорка са стварним трајањима тих пројектата дефинише се мера успешности модела. Она је проценат подударана Кларковог трајања и стварног трајања пројектата. У дисертацији се наведена трајања подударају ако је:

$$te_i - \sigma_i \leq \mu_i \leq te_i + \sigma_i \quad (7.3.1)$$

где је μ_i Кларково трајање, te_i стварно трајање и σ_i Кларкова стандардна девијација i -тог пројекта из узорка. За пројектни план који задовољава наведену неједнакост (true) уписује се вредност 1, тј. $a_i = 1$, у супротном (false) је $a_i = 0$. Према томе, коефицијент квалитета (quality coefficient) модела, qc је

$$qc = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (7.3.2)$$

где је $n = 43$ број планова из узорка. Према томе, за дефинисани пројектни план, након примене модела за одређивање трајања пројекта, добија се нова процена трајања уз информацију о вероватноћи реализације пројекта у том времену, као и степену тачности добијене процене о којем говори коефицијент квалитета.

Табела 7.3.1. Део базе узорка са одабраним подацима

						Коефицијент квалитета модела
Редни број	Назив пројекта	Планирано трајање	Стварно трајање	Кларково трајање	Кларкова стандардна девијација	0.714285714
1	LADY M	66	66	68.81	4.06	1
2	Израда темеља за бушеће постројење Ајдеко I	61	31	66.46	7.92	0
3	Израда темеља за бушеће постројење Ајдеко VII	21	34	22.88	2.74	0
4	Изградња гасовода RG 08-08 Свилајнац	50	37	54.47	6.54	0
5	Изградња двосмерног гасовода DV 04-18 GRČ Госпођинци – PSG Банатски Двор	250	534	272.36	32.6	0
6	Двор 2	31	45	33.77	4.06	0
7	Уградња подизача нивоа	59	29	64.28	7.66	0
8	Замена гасовода SSII до KS Елемир RN-2	66	80	71.9	8.64	1
9	Израда издувног лонца C&B	48	57	52.29	6.28	1
10	Израда издувног лонца FRENKS	54	83	58.83	7.03	0

8. ТЕСТИРАЊЕ МОДЕЛА

За тестирање модела одабрано је окружење образовног рада којим је предвиђено проучавање концепта управљања пројектима, као и његових метода и софтвера. Оно уједно представља примену резултата једног од претходних истраживања [29] у којем је испитивана примена концепта управљања пројектом у образовању.

Према томе, у оквиру вежби за предмет *Управљање пројектима* на Техничком факултету „Михајло Пупин“ у Зрењанину, студенти друге године информатичких студија су тестирањем модела допринели:

- испитивању функционалности модела – преглед планова из узорка у прилагођеном приказу *Clark's Duration*, примена макроя или снимање података потребних за израчунавање критичне и субкритичне путање. Разноврсност планова из узорка, различит степен заступљености детаља у њима, као третман од стране више корисника, указују на понашање модела за разне сценарије;
- израчунавању коефицијента квалитета – односно процента подудараности трајања које даје модел са стварним трајањем за планове из узорка;
- анализи добијених вредности – резултати примене модела су интерпретирани и анализиран је њихов ефекат на остале чиниоце пројектног плана (на пример трошкове реализације).

Овакав начин тестирања модела је вишеструко значајан: у сагласности је са планом и програмом рада за предмет *Управљање пројектима*, укључује студенте у истраживачки рад, као и у примену резултата истраживања у даљем раду.

Наставним садржајима је обухваћен програмирани материјал у складу са свим потребним анализама и примењен је за све групе студената подједнако (две групе на смеру *Инжењер информатике* и једна на смеру *Пословна информатика* од којих свака има по 20 студената у просеку). Понављањем вежбе за разне групе студената омогућава се провера исправности и самих резултата тестирања. Примена ових наставних садржаја предвиђена је за други део семестра, односно након дела вежби у којем се студенти упознају са једним од алата *Управљања пројектима* – програмом MS Project.

Садржај програмираног материјала којим се тестира модел дат је у прилогу Г, док се фајлови потребни за реализацију вежбе налазе у електронском прилогу Ђ.

8.1. Тестирање модела у оквиру вежби из предмета *Управљање пројектима*

Програмирани материјал обухвата редом:

- читавање планова из узорка – база планова је за потребе тестирања модела смештена на студентском диску локалне факултетске мреже у којој су они

нумерисани 01-43 и задатак сваког студента је да испита 2-3 плана редом према договору и у зависности од броја студената у групи (планови се налазе и у електронском прилогу Ђ у фолдеру *Testiranje modela*);

- израчунавање Кларковог трајања за планове из узорка – за учитани пројектни план се активирањем приказа проверавају и уколико не постоје, дефинишу се полазни подаци: *Baseline Duration*, *Baseline1 Duration* (што је аналогно трајањима критичних путева), и на основу њих варијансе критичних путева;
- уписивање добијеног трајања за сваки план у претходно припремљену Excel табелу – ова табела је збирна за све планове из узорка и њене колоне су: листа планова (као у Табели 8.1.1) и стварно трајање, а уноси се трајање добијено применом модела – Кларково трајање, као и остали подаци према програмираном материјалу;
- израчунавање коефицијента квалитета – на основу унетог Кларковог трајања, у Excel табели је дефинисано одређивање коефицијента квалитета модела и оно се аутоматски уписује (ажурира);
- за потребе анализе трошкова пројекта – дефинисање банке ресурса за одабрани план са појединостима које се тичу трошкова, затим распоређивање ресурса и утврђивање укупних трошкова према полазном плану;

За део анализе добијених резултата, поред утврђивања коефицијента квалитета модела и вероватноће реализације пројекта у Кларковом трајању, процењују се и трошкови пројекта за добијено трајање. Део података који се анализирају приказан је у табели 8.1.1.

Табела 8.1.1. Део података за анализу

Редни број	Назив пројекта	Планирано трајање	Стварно трајање	Кларково трајање	Кларкова стандардна девијација	Вероватноћа реализације	Коефицијент квалитета модела	Процентуална разлика
							0.714285714	8.63843666
1	LADY M	66	66	68.81	4.06	0.755568457	1	4.257575758
2	Израда темеља за бушеће постројење Ајдеко I	61	31	66.46	7.92	0.754712302	0	8.950819672
3	Израда темеља за бушеће постројење Ајдеко VII	21	34	22.88	2.74	0.75368487	0	8.952380952
4	Изградња гасовода RG 08-08 Свилајнац	50	37	54.47	6.54	0.752850178	0	8.94
5	Изградња двосмерног гасовода DV 04-18 GRČ Госпођинци – PSG Банатски Двор	250	534	272.36	32.6	0.753608626	0	8.944
6	Двор 2	31	45	33.77	4.06	0.752464619	0	8.935483871
7	Уградња подизача нивоа	59	29	64.28	7.66	0.75468119	0	8.949152542
8	Замена гасовода SSII до KS Елемир RN-2	66	80	71.9	8.64	0.752655621	1	8.939393939
9	Израда издувног лонца C&B	48	57	52.29	6.28	0.752734813	1	8.9375
10	Израда издувног лонца FRENKS	54	83	58.83	7.03	0.753976115	0	8.944444444

8.2. Осврт на будућу примену креираног модела

Након примене модела база планова из узорка добија се верзија са трајањем процењеним на основу Кларкових једначина (електронски прилог Ћ). При томе је сваки пројектни план снимљен у окружењу креираног приказа *Clark's Duration* добио његове карактеристике и као такав представља основу за будућу примену модела за одређивање трајања пројекта. Дистрибуцијом овакве базе фирмама које су допринеле њеном првобитном креирању заокружује се започета сарадња.

Поред овога, табела са збирним подацима о плановима из узорка са свим потребним прорачунима може бити допуњена новим плановима, за које ће се аутоматски добити дефинисане процене (део је дат у табели 8.1.1, док се комплетна табела налази у електронском прилогу Ћ, као и у прилогу В). Нови подаци се могу узети у обзир при дефинисању коефицијента квалитета модела и тако утицати на његову корекцију.

Процент којим се у збирној табели илуструје промена – нпр. трошкова пројекта, може се искористити у фази планирања будућих пројеката и допринети бољем управљању.

9. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

С обзиром на један од постављених циљева дисертације – да се развије модел за одређивање трајања пројекта, главни резултат истраживања је управо креирани модел, чији су опис и настанак претходно приказани. Сам развој модела је захтевао примену одређених метода, њихову анализу и испитивање на основу емпиријског материјала што је довело до преосталих резултата истраживања.

Како се одређивање трајања пројекта у моделу заснива на суперпозицији, која се може реализовати применом аналитичке и нумеричке методе, претходно је дат опис ових метода. Аналитичка метода је послужила као основа у моделу за одређивање трајања пројекта, док је применом Монте Карло методе потврђено да се емпиријски резултати добијени симулацијом поклапају са теоријским. Ово је искоришћено за испитивање могућности примене β расподеле за описивање времена завршетка активности (пројекта) у аналитичкој методи. Према томе, резултат овог испитивања је и резултат до којег се дошло у дисертацији и који ће овде бити посебно приказан.

У резултате истраживања свакако се убраја и емпиријски материјал састављен од оригиналних планова реализованих пројеката. Он је послужио за дефинисање параметара модела, његово тестирање, а након примене, и као носилац који омогућава будућу употребу модела.

9.1. Бета расподела у аналитичкој методи

Једна од потхипотеза дисертације свакако је питање унапређења аналитичке методе применом β расподеле за трајања активности. Ова расподела се интензивно користи у методама мрежног планирања (PERT и CPM), као и у управљању пројектима за описивање времена реализације активности. С обзиром на особину затворености, погодна је за описивање процеса, чије се трајање може оценити као најкраће, средње или очекивано и најдуже. Из тог разлога је постављена потхипотеза да се трајања критичних путања, које се налазе у Кларковим једначинама и за која се на основу истих рачуна суперпонирано трајање и варијанса, могу понашати према закону β расподеле. Испитивање ове потхипотезе је реализовано у окружењу програма Mathcad, применом Монте Карло симулације.

Како је општа формула за густину расподеле вероватноћа β расподеле

$$f(x) = \frac{(b-x)^{q-1} (x-a)^{p-1}}{B(p, q) (b-a)^{p+q-1}}, \quad \text{за } a \leq x \leq b \text{ и } p, q > 0$$

где су p и q параметри облика, a и b доња и горња граница расподеле редом, и $B(p, q)$ β функција дефинисана са

$$B(p, q) = \int_0^1 t^{p-1} (1-t)^{q-1} dt \quad [159]$$

за потребе simulacije neopходно је поставити полазне параметре.

Као илустрација simulacije података према β расподела послужиће вредности дате у примеру 1. поглавља 6.1 и 6.2. Simulацијом ће се описивати трајања критичне и субкритичне путање разматраног општег случаја мрежног модела (поглавље 3, слика 3.1), такође у окружењу програма Mathcad.

Према томе, на основу величина $\mu_1 = 10 = \mu_2$, $\sigma_1 = 1$ и $\sigma_2 = 2$ које су послужиле за simulацију трајања критичних путања према нормалној расподели дефинисани су вектори p_1 и p_2 (поглавље 6.2). Ови вектори су узети као основа за израчунавање параметара облика према одговарајућим једначинама момената [X66]¹⁹

$$p = \left(\frac{mean - min}{max - min} \right) \left(\frac{mean - min}{stdev^2} (max - mean) - 1 \right) \quad (9.1.1)$$

$$q = \left(\frac{max - mean}{mean - min} \right) p \quad (9.1.2)$$

За векторе p_1 и p_2 израчунате су потребне величине:

$p_{1min} := 8.017$	$p_{2min} := 5.946$
$p_{1max} := 12.418$	$p_{2max} := 14.876$
$p_{1mean} := 10.059$	$p_{2mean} := 10.033$
$p_{1stdev} := 0.977$	$p_{2stdev} := 1.638$

и на основу њих параметри облика

$$p_1 := \left(\frac{p_{1mean} - p_{1min}}{p_{1max} - p_{1min}} \right) \left[\frac{(p_{1mean} - p_{1min}) \cdot (p_{1max} - p_{1mean})}{p_{1stdev} \cdot p_{1stdev}} - 1 \right] \quad p_1 = 1.878$$

$$q_1 := \left(\frac{p_{1max} - p_{1mean}}{p_{1mean} - p_{1min}} \right) \cdot p_1 \quad q_1 = 2.169$$

$$p_2 := \left(\frac{p_{2mean} - p_{2min}}{p_{2max} - p_{2min}} \right) \left[\frac{(p_{2mean} - p_{2min}) \cdot (p_{2max} - p_{2mean})}{p_{2stdev} \cdot p_{2stdev}} - 1 \right] \quad p_2 = 2.919$$

$$q_2 := \left(\frac{p_{2max} - p_{2mean}}{p_{2mean} - p_{2min}} \right) \cdot p_2 \quad q_2 = 3.459$$

¹⁹ У пракси управљања пројектима је прихваћена апроксимација за средњу вредност и стандардну девијацију β расподеле чиме је за њену примену потребно дефинисати само два параметра, а не четири. Једначине параметара облика су део ове апроксимације.

Тако су дефинисани полазни параметри потребни за симулацију података према β расподели²⁰ за $N=100$, односно добијање вредности вектора $b1$ и $b2$ који описују трајања критичних путања:

$$b1 := p1min + (p1max - p1min) \cdot rbeta(N, p1, q1)$$

$$b1^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	9.26	10.615	8.851	8.993	10.591	10.381	9.314	10.651	10.908	8.879

$$b2 := p2min + (p2max - p2min) \cdot rbeta(N, p2, q2)$$

$$b2^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10.435	9.157	11.227	11.43	7.625	8.529	9.872	7.056	8.911	8.206

Резултујуће трајање, вектор B , је израчунато суперпозицијом према:

$$i := 0..N - 1 \quad B_i := \text{if}(b1_i > b2_i, b1_i, b2_i)$$

$$B^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10.43	10.61	11.23	11.43	10.59	10.38	9.87	10.65	10.91	8.88

За добијени вектор B такође су одређене вредности на основу којих се рачунају параметри облика (у питању је апроксимација потребна за графички приказ вредности овог вектора):

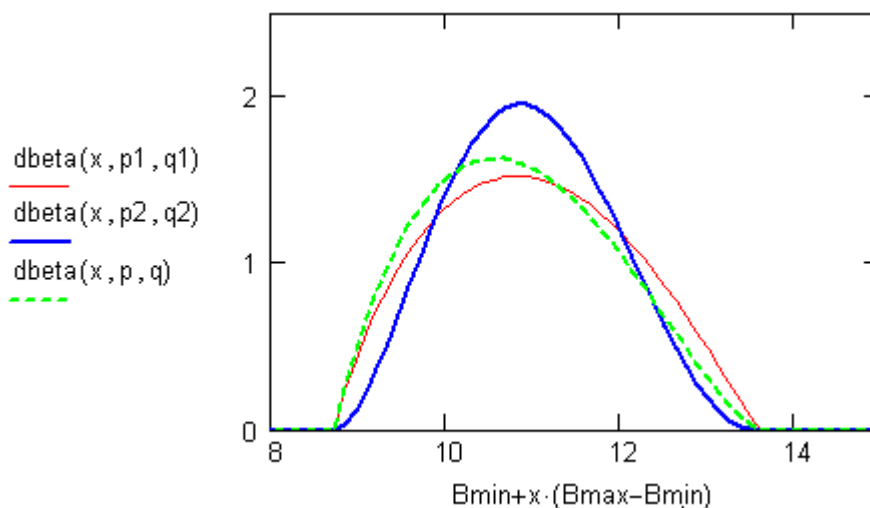
$$\begin{aligned} Bmin &:= \min(B) & Bmin &= 8.719 \\ Bmax &:= \max(B) & Bmax &= 13.623 \\ Bmean &:= \text{mean}(B) & Bmean &= 10.84 \\ Bstdev &:= \text{stdev}(B) & Bstdev &= 1.041 \end{aligned}$$

$$p := \left(\frac{Bmean - Bmin}{Bmax - Bmin} \right) \cdot \left[\frac{(Bmean - Bmin) \cdot (Bmax - Bmean)}{Bstdev \cdot Bstdev} - 1 \right] \quad p = 1.924$$

$$q := \left(\frac{Bmax - Bmean}{Bmean - Bmin} \right) \cdot p \quad q = 2.524$$

На слици 9.1.1. дат је графички приказ односа трајања критичне, субкритичне и суперпониране путање.

²⁰ Mathcad располаже функцијама: $rbeta(m,s1,s2)$ која враћа вектор од m случајних бројева који имају β расподелу и $dbeta(x,s1,s2)$ која даје густину вероватноће за β расподелу.



Слика 9.1.1. Критична, субкритична и суперпонирана трајања према β расподели

Како вектор \mathbf{B} представља суперпонирано трајање, $B_{\text{mean}} = 10.84$ и $B_{\text{stdev}} = 1.041$ су његова средња вредност и стандардна девијација (односно $B_{\text{var}} = 1.084$ његова варијанса). Поређењем са резултатима који су добијени на основу Кларкових једначина разлика је $\Delta P = \mu_{12} - B_{\text{mean}} = 0.053$ и за варијансу $\Delta V = \sigma(P_{12}) - B_{\text{stdev}} = 0.264$.

Да би се утврдило слагање резултата са нормалном расподелом елементи вектора \mathbf{B} статистички су сређени и подвргнути χ^2 тесту, што је приказано у табели 9.1.1.

Како је $\chi_s^2 = 4.055172 < 6.6 = \chi_{0.01,1}^2$, потврђена је претпоставка о слагању симулираног узорка са законом нормалне расподеле у 99% случајева.

Претходно наведено послужило је за потврду хипотезе да се параметри активности критичног и субкритичног пута могу узимати из β расподеле.

Табела 9.1.1. χ^2 тест за елементе вектора \mathbf{B}

ξ_j	h_j	$\frac{\xi_j - \mu}{\sigma}$	$\Phi\left(\frac{\xi_j - \mu}{\sigma}\right)$	p_j	np_j	$\frac{O_j - np_j}{np_j}$
9	2	-1.75966	0.039232	0.039232	3.9232	0.206987
10	17	-0.80333	0.210893	0.171661	17.16611	
11	42	0.153014	0.560807	0.349913	34.99131	1.403827
12	23	1.109354	0.866361	0.305555	30.55547	1.868246
13	13	2.065693	0.980571	0.11421	11.42101	0.576113
14	3	3.022033	0.998745	0.018173	1.817331	
$\mu = B_{\text{mean}} = 10.84, \sigma = B_{\text{stdev}} = 1.041$					$\chi_s^2 = 4.055172$	

9.2. Приказ и статистичка обрада података из узорка

Развојем модела за одређивање трајања пројекта предвиђено је дефинисање појединих параметара чије су вредности добијене на основу емпиријског материјала. Било је потребно средити податке пројектних планова из узорка и извршити неопходне прорачуне. Сређивање података пројектних планова из узорка је приказано табеларно и то, с обзиром на прегледност, у прилогу В, као и у електронском прилогу Ђ са могућношћу увида у све извршене прорачуне. Основне карактеристике планова из узорка приказане су збирно у табели 9.2.1.

Табела 9.2.1. Основне карактеристике планова из узорка

Назив предузећа/организације	Број планова	Број пројеката реализованих по плану	Број снимљених полазних планова
А.Д. фабрика чарапа „Ударник“	1	1	0
НИС АД Нафтагас, погон Транспорт и изградња	5	0	0
НИС АД Нафтагас, погон Одржавање	15	5	0
ГИК Банат	21	21	0
Бродоградиле „Бегеј“	1	0	1
Укупно	43	27	1

На основу ових података се може закључити да је планирано трајање пројекта једнако стварном трајању у случају 27 пројеката, што значи за 62.79% од укупног броја планова из узорка. Такође, софтвер за управљање пројектима послужио је у великој већини (97.67%) само за креирање полазног плана.

За сваки од планова из узорка у табели прилога В су уписани су подаци:

- планирано трајање – вредност која је преузета из *.mpp верзије плана (Project Statistics – Baseline);
- стварно трајање – податак који је добијен уз сваки пројектни план у матичној фирми (добијен је у виду интервала датума, а затим изражен у данима).

На основу ових података израчунате су вредности које се такође налазе у табели прилога В, редом:

- стандардна девијација – за примену аналитичке методе поред трајања двеју критичних путања од полазних података потребне су и њихове стандардне девијације до којих се дошло израчунавањем стандардне девијације за дато планирано и стварно трајање према (7.2.3) како је описано у поглављу 7.2;
- *процент 1* и *процент 2* – даље је стандардна девијација сваке критичне путање израчуната као средња вредност процента у односу на њено трајање, према 7.2.4 из поглавља 7.2. Према томе, у моделу за одређивање трајања пројекта примењене су управо добијене вредности за *процент 1*: 0.082 и *процент 2*: 0.069;

- Кларково трајање и стандардна девијација – вредности које су преузете из табеле приказа *Clark's Duration* сваког пројектног плана узорка након примене модела (прилог Ђ);
- вероватноћа реализације пројекта – односи се на трајање пројекта добијено на основу Кларкових једначина и израчуната је према (7.3.1) поглавља 7.3. за сваки план из узорка. Средња вредност ове вероватноће, на нивоу узорка, износи 75.90%;
- коефицијент квалитета модела – израчунат према (7.3.2) поглавља 7.3,
- проценат промене – квантитативна разлика између Кларковог и планираног трајања изражена у процентима. За сваки план из узорка израчунат је проценат $100 \frac{\mu_{12_i}}{te_i} - 100$ (где је μ_{12_i} Кларково трајање и te_i планирано трајање i -тог пројекта из узорка) и његова средња вредност за све планове из узорка износи 9.03%.

9.2.1. Тестирање хипотеза о значајности разлика средњих вредности и стандардних девијација

Да би се испитала једнакост карактеристика два узорка на располагању је, између осталих, тестирање хипотезе о значајности разлика средње вредности, односно z тест (чије је коришћење предвиђено за узорак величине $n \geq 30$). У овом случају се испитује разлика средњих вредности трајања пројекта за планове из узорка добијене применом модела – Кларкова трајања и њихових стварних трајања. Нулта хипотеза која ће бити тестирана гласи:

H_0 : „Не постоји значајна разлика између средњег трајања пројекта добијеног применом модела и стварног средњег трајања пројекта“.

За потребе тестирања хипотезе о значајности разлике између Кларковог и стварног трајања потребно је одредити z вредност према

$$z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1 - 1} + \frac{s_2^2}{n_2 - 1}}}, \quad (9.2.1.1)$$

где су:

- \bar{x}_1, \bar{x}_2 – средње вредности за Кларково и стварно трајање свих пројеката из узорка редом,
- n_1, n_2 – број планова из узорка за свако од наведених трајања (који је у овом случају исти, 43),
- s_1^2, s_2^2 – варијанса за Кларково и стварно трајање на нивоу узорка.

У електронском прилогу Ћ дате су x_1, x_2 и s_1^2, s_2^2 вредности и према томе је:

$$z = \frac{15.375 - 111.238}{\sqrt{\frac{13795.105}{43-1} + \frac{11265.649}{43-1}}} = 0.169361$$

Како је за ниво значајности од $\alpha = 0.05$ вредност $z_{0.95} = 1.96$, што значи да је $z_{0.95} = 1.96 > z = 0.169361$ и према томе се нулта хипотеза не одбацује.

Као илустрација подударања трајања: планираног, стварног и Кларковог за сва 43 пројектна плана из узорка, дат је график на слици 9.2.1.1. Трајање је изражено у данима.



Слика 9.2.1.1. Графици трајања: планираног, стварног и Кларковог

Поред z теста, на располагању је и F тест који служи да се испита да ли су стандардне девијације две популације једнаке. Овим испитивањем би се такође допринело поређењу карактеристика посматраних узорака, тј. стандардних девијација стварног и Кларковог трајања. Нулта хипотеза у овом случају гласи

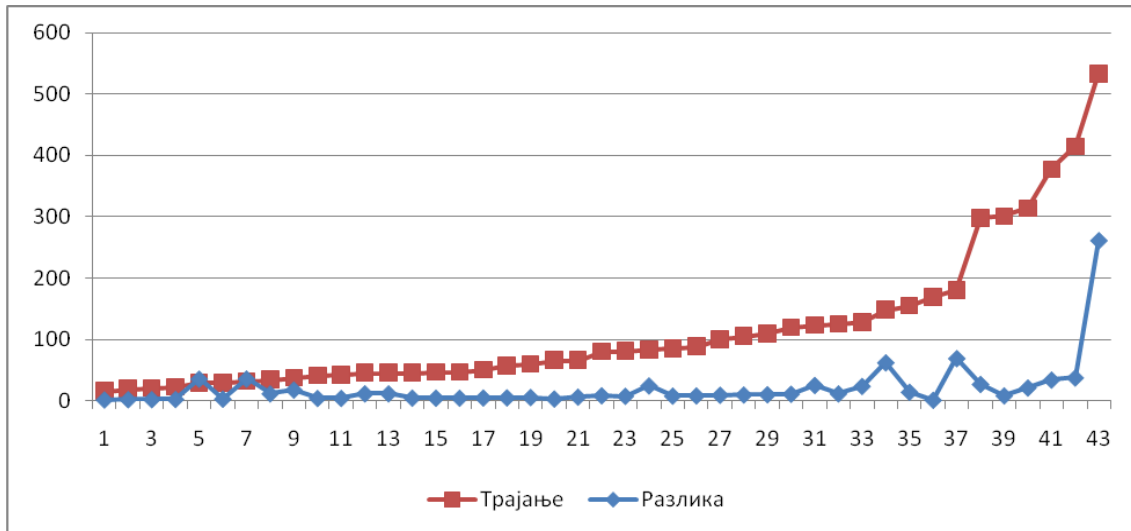
H_0 : „Стандардне девијације узорака су исте, тј. $\sigma_1 = \sigma_2$ “.

Примена F теста захтева израчунавање вредности

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{13795.105}{11265.649} = 1.225,$$

као и њено поређење са вредношћу добијеном из таблице F -расподеле. Како је $F_{(n_1-1, n_2-1, \alpha)} = F_{(40, 40, 0.05)} = 1.69 > 1.225 = F^{21}$, као и $F_{(40, 40, 0.01)} = 2.11 > 1.225 = F$, нулта хипотеза је потврђена у 95%, као и 99% случајева.

О карактеристикама модела за одређивање трајања пројекта свакако говори и однос трајања пројекта и разлике између стварног трајања и оног које даје модел, што је приказано на слици 9.2.1.2.

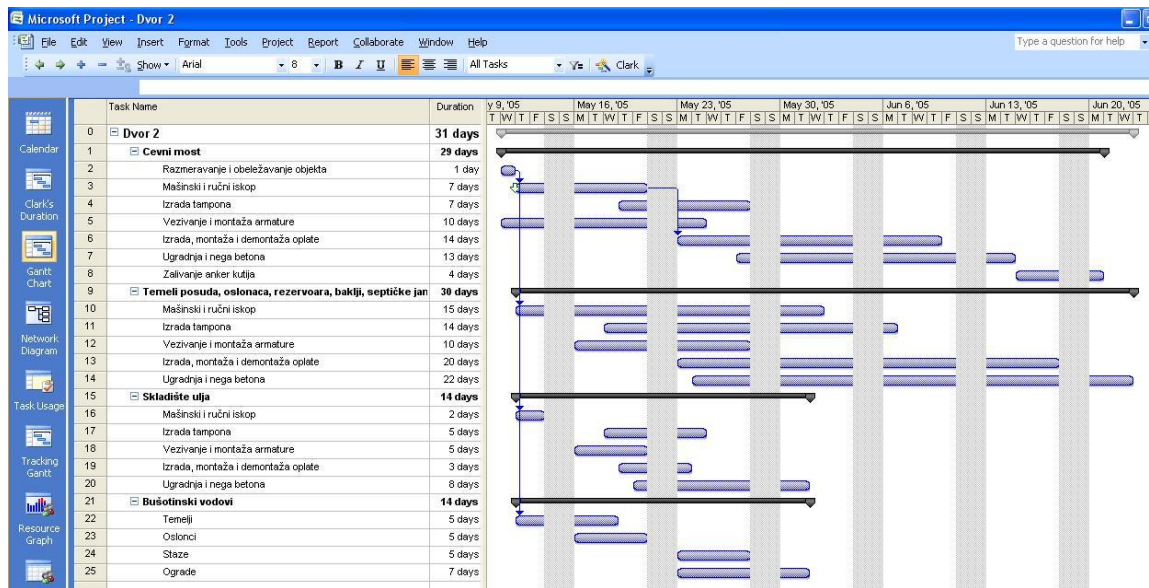


Слика 9.2.1.2. Однос дужине трајања пројекта и разлике између стварног и процењеног трајања

9.3. Резултати симулације трајања пројекта на основу модела

Анализе пројектног плана на основу модела могу бити вишеструке. Његова примарна намена је одређивање трајања пројекта на основу генерисане две критичне путање, што је и аутоматизовано макроом *Clark*. У овом случају програм генерише критичне путање исте дужине тако што снима два полазна плана, без обзира на то да ли је постојала претходна верзија било којег од њих. Након тога, у приказу *Clark's Duration*, корисник може прегледати и анализирати податке о трајању, варијанси, вероватноћи реализације итд. за сваку активност појединачно, као и за цео пројекат. Илустрација учитаног пројектног плана, као и његовог изгледа након примене макроа *Clark* и приказа *Clark's Duration* дата је на сликама 9.3.1. и 9.3.2.

²¹ Напомена: број степени слободе је $n_1 - 1 = n_2 - 1 = 42$, док се у таблицама налази F вредност за $n_1 - 1 = 40$, затим $n_1 - 1 = 60$, као и $n_2 - 1 = 40$ и више. Према томе су узете вредности као што је приказано.



Слика 9.3.1. Оригинална верзија плана „Двор 2“

Task Name	Standardna devijacija 1	Standardna devijacija 2	Lambda	ksi	Z vrednost	fi(k,ksi)	fi(-k,ksi)	psi	Klarkovo trajanje	Klarkova standardna devijacija	ZVer	P(Zver)	Verovatnoca	Baseline Duration	Baseline1 Duration
Dvor 2	2.54	2.14	3.32	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	32.33	1.9	0.7	0.2580	0.76	31 days	31 days
Cevni most	2.38	2	3.11	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	30.24	1.88	0.66	0.2464	0.75	29 days	29 days
Razmera	0.08	0.07	0.11	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	1.04	0.11	0.36	0.1406	0.64	1 day	1 day
Mašinski	0.57	0.48	0.75	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	7.3	0.43	0.7	0.2580	0.76	7 days	7 days
Izrada ta	0.57	0.48	0.75	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	7.3	0.43	0.7	0.2580	0.76	7 days	7 days
Vezivanja	0.82	0.69	1.07	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	10.43	0.59	0.73	0.2673	0.77	10 days	10 days
Izrada, n	1.15	0.97	1.5	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	14.6	0.88	0.68	0.2517	0.75	14 days	14 days
Ugradnja	1.07	0.9	1.4	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	13.56	0.81	0.69	0.2548	0.75	13 days	13 days

Слика 9.3.2. Верзија плана „Двор 2“ након примене макро програма Clark у приказу Clark's Duration

Сам корисник може снимити разне верзије полазних планова и тако генерисати потребне критичне путање (које могу бити и различитих трајања) при чему нема потребе да се користи макро, док је анализа таквих података и даље доступна у поменутом приказу.

Посебна намена модела јесте за анализу података који су снимљени на један од претходно описаних начина, а подлежу изменама према потребама корисника. Наиме, корисник може мењати трајања појединих активности, односно симулирати различита трајања пројекта за која ће такође добити процене које су предвиђене моделом: Кларково трајање, стандардну девијацију, вероватноћу реализације итд. Илустрација овакве примене на примеру пројекта „Двор 2“ реализована је на следећи начин:

- у подразумеваном приказу пројекта *Gantt Chart*, датом на слици 9.3.1., повећано је трајање активности под редним бројем 14 за два дана (у колони *Duration* трајање ове активности је сада 24 дана);
- наведене измене су снимљене као нова верзија полазног плана *Baseline* (Tools – Tracking – Set baseline – Save – Yes);

- резултат измена се може анализирати у приказу *Clark's Duration* у видно означеним пољима, што је приказано на слици 9.3.3.

Task Name	Standardna devijacija 1	Standardna devijacija 2	Lambda	ksi	Z vrednost	fi(ksi)	fi(-ksi)	psi	Klarkovo trajanje	Klarkova standardna devijacija	ZVer	P(Zver)	Verovatnoca	Baseline Duration	Baseline1 Duration
Dvor 2	2.71	2.14	3.45	0.58	0.2190	0.72	0.28	0.34	33.61	2.27	0.27	0.1064	0.61	33 days	31 days
Cevni most	2.38	2	3.11	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	30.24	1.88	0.66	0.2454	0.75	29 days	29 days
Razmers	0.08	0.07	0.11	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	1.04	0.11	0.36	0.1406	0.64	1 day	1 day
Mašinski	0.57	0.48	0.75	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	7.3	0.43	0.7	0.2580	0.76	7 days	7 days
Izrada ta	0.57	0.48	0.75	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	7.3	0.43	0.7	0.2580	0.76	7 days	7 days
Vezivanje	0.82	0.69	1.07	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	10.43	0.59	0.73	0.2673	0.77	10 days	10 days
Izrada, ri	1.15	0.97	1.5	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	14.6	0.88	0.68	0.2517	0.75	14 days	14 days
Ugradnje	1.07	0.9	1.4	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	13.56	0.81	0.69	0.2549	0.75	13 days	13 days
Zalivanje	0.33	0.28	0.43	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	4.17	0.28	0.61	0.2291	0.73	4 days	4 days
Temeli posu	2.62	2.07	3.34	0.6	0.2257	0.73	0.27	0.33	32.56	2.21	0.25	0.0987	0.6	32 days	30 days
Mašinski	1.23	1.03	1.6	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	15.64	0.94	0.68	0.2517	0.75	15 days	15 days
Izrada ta	1.15	0.97	1.5	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	14.6	0.88	0.68	0.2517	0.75	14 days	14 days
Vezivanje	0.82	0.69	1.07	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	10.43	0.59	0.73	0.2673	0.77	10 days	10 days
Izrada, ri	1.64	1.38	2.14	0	0.0000	0.5	0.5	0.4	20.86	1.18	0.73	0.2673	0.77	20 days	20 days
Ugradnje	1.97	1.52	2.49	0.8	0.2881	0.79	0.21	0.29	24.3	1.72	0.17	0.0675	0.57	24 days	22 days

Слика 9.3.3. Верзија плана „Двор 2“ након измена трајања пројекта

Оваква измена се одражава на пројекат, чија је процена трајања повећана на 33.61 дан, док је стандардна девијација сада 2.27 дана, што је утицало на смањење вероватноће реализације пројекта на 61%. Према томе, ризик реализације пројекта је повећан за 15%.

Симулација попут ове може допринети бољем планирању и остваривању потребних уштеда у реализацији пројекта и само је једна од илустрација могућности модела.

9.4. Резултати вредновања модела

Сам развој модела, посебно његова имплементација у програмско окружење, захтевао је одређене механизме провере, односно тестирања, како би се остварио потребан квалитет.

У делу 5.3. описани су поменути механизми провере и звахваљујући њиховој примени прикупљен је емпиријски материјал са свим потребним подацима који су послужили дефинисању параметара модела. Такође, тестирана је исправност софтверске имплементације модела и његови резултати су потврђени на основу провере у математичком програму (електронски прилог Ђ). Модел је успешно тестиран на плановима из узорка и у настави предмета *Управљање пројектима*, што је показало да се може применити за широки спектар пројектних планова (показао се функционалним за све планове из узорка, као и остале који су испитивани), такође, да је једноставан за коришћење. Све ово је допринело верификацији модела.

9.4.1. Ваљаност модела

Испитивањем ваљаности модела требало би да се потврди слагање понашања модела са системом који је моделиран. Ово је реализовано, у првом реду, кроз испитивање *техничке ваљаности*, на основу емпиријских података. Према томе су идентификоване следеће претпоставке модела:

- стварно трајање пројекта (te_i) – један од података из прикупљеног узорка;
- планирано трајање пројекта – изједначено са трајањем полазног плана сваког пројекта из узорка;
- стандардна девијација трајања (σ) – израчуната према (7.2.3) у делу 7.2.

Овим подацима је описан стварни систем – трајање реалних пројеката, док се применом модела добијају:

- Кларково трајање (μ_c);
- Кларкова стандардна девијација (σ_c)

израчунати на основу аналитичке методе, односно према (3.1) и (3.2). Поређењем ових резултата добија се да је релативна грешка за сваки од излазних података модела редом:

$$R_{\mu_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\mu_i - te_i|}{|\mu_i|} = 0.189226, \quad R_{\sigma_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\sigma_{ci} - \sigma_i|}{|\sigma_{ci}|} = 0.955960, \quad n = 43.$$

Уколико се узме у обзир да је просечно трајање пројекта на нивоу узорка 102.14 дана, као и просечно трајање добијено применом модела (Кларково трајање) 111.24 дана, израчуната грешка имплицира на усаглашеност модела са реалним системом. Релативна грешка трајања за узорак је у интервалу $[0.0042, 0.9606]$. Аналогно, поређењем вредности добијених за стандардну девијацију, релативна грешка је у интервалу $[0.0534, 3.1484]$, што такође иде у прилог претходној тврдњи.

Поред овог поређења, у делу 9.3, тестиране су хипотезе о значајности разлика средњих вредности стварног и Кларковог трајања и њихових стандардних девијација.

Испитивање *операционе ваљаности* треба да укаже на значење дивергенције резултата добијених моделом у односу на реални систем и тако допринесе доношењу одлуке о прихватању модела. Подударање излазних података модела и реалних вредности изражена је кроз меру успешности модела, односно коефицијент квалитета, qc , чије је дефинисање описано у делу 7.3. Како је у дисертацији постављено да је минимална вредност коефицијента квалитета одређена правилом „једног сигма“, тј.

$$qc \geq P(|e - \mu_c| < \sigma_c) = 2\Phi\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 0.68268$$

и како је добијено

$$qc = 0.714286 \geq 0.68268,$$

следи да је остварен тражени ниво подударности модела и реалног система.

Поред наведеног, осетљивост модела је испитивана у *.xls бази пројектних планова узорка, експериментисањем над улазним подацима модела. Показало се да на повећање вредности коефицијента квалитета модела утиче број планова код којих је разлика између планираног и стварног трајања значајна (у неким случајевима чек већа од 100%) и то обрнуто сразмерно. Ово имплицира да се смањивањем броја таквих планова у бази, повећава вредност коефицијента квалитета. Значај ове карактеристике за прихватање модела је посебно описан у делу 10.1.

Како је у основи модела аналитичка метода заснована на Кларковим једначинама (део 6), чија се примена односи на мрежне моделе са уочене две критичне путање, за потврду добијених резултата, као и испитивање суперпозиције за случајеве више уочених критичних путања ($w \geq 3$) послужила је нумеричка метода – Монте Карло симулација. С обзиром на то да је природа ове методе добијање приближног решења, одабран је довољан број репликација (N) који осигурава потребну тачност. За одабрано N важи да грешка симулације није већа од $\frac{3\sigma}{\sqrt{N}}$, односно да је њена вероватноћа

$$P\left(\left|\frac{1}{N}\sum_{i=1}^N\mu_c - te\right| < \frac{3\sigma}{\sqrt{N}}\right) \approx 0.9973$$

Параметри вектора \mathbf{P} и \mathbf{t} из примера 1 и 2, редом, који су резултат Монте Карло симулације, могу бити и интервално оцењени. На пример, интервал поверења од 99% за средњу вредност резултујућег трајања вектора \mathbf{P} је:

$$\begin{aligned} I &= \left[\text{mean}(\mathbf{P}) - \frac{3\text{stdev}(\mathbf{P})}{\sqrt{N-1}}, \text{mean}(\mathbf{P}) + \frac{3\text{stdev}(\mathbf{P})}{\sqrt{N-1}} \right] = \\ &= \left[10.833396 - \frac{3 \cdot 1.123862}{\sqrt{99}}, 10.833396 + \frac{3 \cdot 1.123862}{\sqrt{99}} \right] = \\ &= [0.494539, 11.172253] \end{aligned}$$

Ово значи да 99% вредности из узорка добијеног симулацијом налази у добијеном интервалу, док је 1% изван интервала.

Такође, може се одредити $1 - \alpha = 99\%$ интервал поверења за варијансу истог примера:

$$\begin{aligned} I &= \left[\frac{(N-1)\overline{\text{var}}(\mathbf{P})}{\chi_{\alpha/2, N-1}^2}, \frac{(N-1)\overline{\text{var}}(\mathbf{P})}{\chi_{1-\alpha/2, N-1}^2} \right] = \\ &= \left[\frac{(99-1) \cdot 1.263066}{\chi_{0.005, 99}^2}, \frac{(99-1) \cdot 1.263066}{\chi_{0.995, 99}^2} \right] \approx \\ &\approx [0.920792, 1.783788] \end{aligned}$$

Наведене оцене параметара указују на карактеристике података из узорка, у овом случају података добијених симулацијом.

Предуслови за одржавање модела, односно његова *динамичка ваљаност*, обезбеђени су на основу карактеристика *.xls базе узорка. Постоји могућност допуне базе подацима нових планова, на које ће се одразити већ дефинисани прорачуни, који ће према томе утицати на измену постојећих параметара модела. Овако добијене нове вредности, напреднији корисници модела (са познавањем опције дефинисања поља у MS Project-у) ће једноставно имплементирати и користити при будућим проценама трајања пројекта.

10. ИНТЕРПРЕТАЦИЈА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Претходно приказани резултати су у складу са постављеним циљевима и задацима и њихова анализа ће омогућити прихватање или одбацивање хипотеза истраживања.

Постављени основни циљ истраживања – допринос аутоматизацији поступака за управљање пројектима је остварен развојем модела за одређивање трајања пројекта, који је описан у претходним поглављима.

У првом реду су приказане карактеристике примене аналитичке методе и испитани су случајеви у којима је решење суперпозиције критичних путева инваријантно у зависности од вредности њихових параметара, μ и σ , с обзиром на то да се управо ова метода користи у моделу. Такво решење се добија за мрежни модел са уочена два пута: критичним и (суб)критичним, што су потврдили и резултати примене нумеричке методе Монте Карло симулације. Даље испитивање је показало да је решење суперпозиције три критична тока инваријантно у само једном од 81 могућих односа њихових параметара, што имплицира да је у свим осталим случајевима неопходна примена симулације. Ово је приказано на примеру суперпозиције у поглављима 6.1.1, 6.2.1. као и прилогу Д за сложени мрежни модел. При томе се може уочити и подударње графичке презентације решења на сликама 6.2.1.1. и 15.5.1. Анализом решења је утврђено да је утицај субкритичне путање на трајање пројекта такав да се повећава ризик реализације пројекта, што свакако треба уважити при доношењу управљачких одлука. На овај начин је остварен и допринос у испитивању феномена суперпозиције засноване на свакој од метода, аналитичкој и нумеричкој.

Како је један од резултата истраживања прикупљени емпиријски материјал, тј. узорак планова реализованих пројекта, његовом анализом утврђене су заједничке карактеристике које су утицале на избор праваца развоја модела за одређивање трајања пројекта:

- сви планови из узорка, сем једног, дефинисани су применом софтвера. У питању је специјализовани софтвер намењен управљању пројектима (Microsoft Project), као и софтвер чија је првобитна намена рад са табеларним подацима (Microsoft Excel), што је искоришћено за креирање гантограма. Ово је утицало на одабир Microsoft Project-а, као програмског окружења за креирање модела, са намером да се његова примена настави и прошири у првом реду у фирмама из којих је потекао узорак;
- као и у претходном случају, исти је број планова из узорка који су дефинисани само до нивоа полазног плана, што значи да нису употребљене могућности софтвера за преостале фазе животног циклуса пројекта, првенствено, реализације пројекта, односно њеног праћења. Резултат овога јесте чињеница да је за потребе имплементације аналитичке методе –Кларкових једначина у програмско окружење MS Project-а, као и њихове примене, неопходно снимање полазног плана у две верзије (на тај начин се рачунају две критичне

путање). Ово је разлог и за дефинисање макро програма *Clark*, који реализује поменуте операције и саставни је део модела;

- поред двеју критичних путања (*Baseline Duration*, *Baseline1 Duration*) од полазних података за примену аналитичке методе неопходне су и стандардне девијације тих путања. За њихово одређивање послужио је узорак и оне су изражене као средња вредност процента у односу на критичну путању за све планове из узорка.

Модел је према томе софтверски имплементиран, а затим тестиран и верификован, што је саставни део његовог развоја. Такође, показало се да модел има способност да ради у окружењу било ког пројектног плана и да је једноставан за коришћење. Ово је потврђено применом на цео узорак, као и укључивањем студената у тестирање модела. Стога се и будућа примена модела не доводи у питање.

Остварени су постављени циљеви истраживања и потврђена је његова главна хипотеза.

10.1. Показатељи резултата тестирања модела

Тестирање модела је реализовано у склопу вежби *Управљање пројектима* и његов резултат је према инструкцијама из програмираног материјала уписиван у претходно припремљену *.xls табелу (електронски прилог Ђ – *Testiranje modela.xls*). Инструкције су усмеравале студенте у примени модела и добијању тражених резултата што је постигнуто за релативно кратко време, а могло се закључити на основу непосредног рада. Ово би могло да укаже на једноставност у будућој примени модела, с обзиром на његову намену – процена трајања пројекта, и кориснике – студенте који за потребе развоја својих пројектних планова користе и ову процену, као и људе који у фирмама учествују у управљању пројектима и ангажовани су на развоју пројектних планова.

Обе групе студената које су учествовале у тестирању модела добиле су исте резултате, који се поклапају са претходно описаним подацима из табеле *Testiranje modela.xls* електронског прилога Ђ и прилога В. На тај начин је потврђена њихова тачност, као и рачун који се на њих односи.

За сваки од планова из узорка у табели *Testiranje modela.xls* дефинисано је израчунавање:

- вероватноће реализације пројекта за Кларково трајање – овај податак се налази и у прилагођеном приказу модела – *Clark's Duration* и један је од квалитета процене трајања пројекта. Ради илустрације претходно реченог, за један од планова из узорка, на пример *NG-274-Revision.mpp*²² модел даје Кларково трајање од 169.72 дана и вероватноћу реализације од 97.56%. Оваква процена

²² Одабран је овај пројектни план, с обзиром на то да је према њему пројекат реализован, што је и испраћено у самом софтверу.

може бити од изузетног значаја за корисника, који на основу два сценарија реализације пројекта, односно два процењена трајања, добија информацију о резултујућем трајању, као и вероватноћи да пројекат има такво трајање. Са том информацијом планирање се са трајања може проширити на остале области: трошкове, ризик реализације итд;

- коефицијент квалитета модела – ова вредност је израчуната на нивоу узорка према (7.3.2) и указује на проценат подударана Кларковог трајања које даје модел са стварним трајањем пројекта за планове из узорка. Оваква оцена говори о проценту „слагања“ теорије и праксе, а како је њена вредност 71.43% у односу на минимум од 1σ предвиђен у дисертацији (поглавље 5.3.), постављена је добра процена. Испитивањем његове осетљивости показало се да би проширивањем креиране базе планова узорка дошло до промене параметара модела, чиме би се утицало и на коефицијент успешности модела. Чињеница да према тренутној вредности модел у више од 70% случајева „успешно“ процењује трајање пројекта, не значи да би у преосталим случајевима модел требало одбацити, већ да су у питању карактеристике узорка;
- проценат промене – указује на процентуалну разлику између планираног и Кларковог трајања што се може применити и на остале показатеље реализације пројекта: трошкове, ризик... Ова вредност је такође приказана у збирној табели узорка за сваки пројектни план, као и просек за цео узорак, која износи 9.02%. Конкретно за претходно поменути пример пројекта NG-274-Revision.mpp планирано трајање пројекта је 148 дана, док модел даје Кларково трајање од 169.72 дана и проценат промене 14.68%. Према томе, корисник може са великом вероватноћом да рачуна на повећање, између осталих, процењених трошова пројекта у истом односу;

Наведене карактеристике се односе на затечени ниво развијености планова из узорка, који је у великој већини ових планова полазни. У случају детаљнијег планирања, којим би се у почетној фази идентификовале две критичне путање (два сценарија реализације пројекта) применом модела би се могли добити „тачнији“ резултати, што потврђује и дати пример пројектног плана NG-274-Revision.mpp. Ово значи да модел може да користи оригиналне улазне податке (за трајања критичних путања) на основу којих даје процене, за разлику од оних које је у могућности да генерише аутоматски и на основу процењених карактеристика узорка.

Претходно описано се односи и на потврђивање постављених потхипотеза дисертације.

10.2. Остали показатељи резултата истраживања

Испитивање могућности примене β расподеле у аналитичкој методи, приказано у претходном поглављу, потврдило је једну од потхипотеза дисертације. Ова потврда је резултат симулације као и χ^2 теста од којих је сваки указао на чињеницу да се трајања критичних путања могу узети из β расподеле: симулирани подаци се поклапају са аналитичким, односно са законом нормалне расподеле.

Значај овог резултата огледа се пре свега у проширењу описа улазних података и на β расподелу.

Да би се испитало подударање стварног трајања пројекта са оним које даје развијени модел – Кларковим трајањем, примењен је тест о значајности разлика средњих вредности, z -тест (с обзиром на то да је величина узорка већа од 30), као и тест о значајности разлика стандардних девијација, F -тест. Први тест је потврдио постављену нулту хипотезу да „не постоји значајна разлика између средњег трајања пројекта добијеног применом модела и стварног средњег трајања пројекта“. Без обзира на то што само тестирање више говори у случају да је разлика средњих вредности посматраних величина значајна, добијени резултат се сматра довољним показатељем степена подударања стварног и трајања које се добија на основу модела. Тест о значајности разлика стандардних девијација посматраних узорака такође иде у прилог слагању карактеристике стварног и трајања које даје модел.

У вези са претходним и са графика на слици 9.2.1.1. се може видети да се график за Кларково трајање, као резултат суперпозиције налази „између“ графика стварног и планираног трајања. Такође, на слици 9.2.1.2. разлика између стварног и Кларковог трајања опада са повећањем дужине пројекта. Све ово указује на чињеницу да су резултати добијени на основу модела блиски реалности и према томе оправдавају његову будућу примену за процене трајања пројекта.

Посебно је значајна могућност симулације трајања пројекта на основу модела. Она се односи на испитивање утицаја разних сценарија реализације пројекта на дужину његовог трајања. Промене једног од њих се ланчано одражавају на све параметре модела и добијају се нове процене, које могу бити значајни ресурс у управљању пројектом.

11. ЗАКЉУЧАК

11.1. Приказ истраживања и постигнути резултати

Чињенице да су управљање пројектима, његове методе и алати, присутни у свим сферама пословања предузећа, организација и институција, приватних, јавних или државних, и да омогућавају његово унапређење кроз разне видове уштеде (време, новац, ресурси...) утицале су и на одабир области истраживања. Са циљем да се допринесе једном од видова уштеде, у првом реду у времену, развијен је модел за одређивање трајања пројекта.

Од постојећих метода за одређивање трајања пројекта на располагању су методе мрежног планирања, чији се настанак подудара са развојем самог управљања пројектима. Даље су ту методе симулације, процена експерата, као и науке које за предмет истраживања у првом реду немају трајање пројекта: управљање оствареном вредношћу, управљање ризиком, фази логика, вештачка интелигенција и остале.

За разлику од стандардних метода мрежног планирања у којима се трајање пројекта изједначава са идентификованом критичном путањом, у дисертацији се трајање израчунава и посматра са аспекта суперпозиције. На тај начин се узима у обзир и утицај субкритичних путања на трајање пројекта, које с обзиром на стохастичку природу изучаваних процеса, посебно у области истраживања и развоја, могу постати критичне. За суперпозицију критичних путања одабране су две методе: аналитичка – заснована на Кларковим једначинама и нумеричка – Монте Карло симулација. Анализом ових метода је указано на значај добијених резултата суперпозиције, посебно у делу који се односи на вероватноћу реализације пројекта, тј. њен ризик. Ако је ослонац само на методама мрежног планирања могу се јавити пропусти са негативним последицама у планирању и реализацији пројекта.

Такође, испитано је у којим случајевима је решење суперпозиције инваријантно. Када се посматра мрежни модел са два критична тока (критичним и (суб)критичним) постоји аналитичко решење суперпозиције које је инваријантно, што је потврђено и симулацијом. Међутим, у случају мрежног дијаграма са три критичне путање, када је број могућих односа параметара токова (средње вредности и стандардне девијације) 81, само један од њих има инваријантно решење. Стога се за мрежне дијаграме са три и више критичних токова решење мора тражити симулацијом.

Анализом поменутих метода су уједно постављене основе развоја модела за одређивање трајања пројекта.

Развијени модел је заснован на методама мрежног планирања, као и аналитичкој методи – Кларковим једначинама, које се користе за суперпозицију критичних путања. Модел је имплементиран у софтверско окружење једног од програма за управљање пројектима Microsoft Project-а. Идеја је била да се одабране теоријске поставке приближе просечном кориснику софтвера за управљање пројектима и да

се омогуће процене које ће допринети бољем планирању и управљању пројектима. У том случају корисник, без потребног предзнања о аналитичкој методи, на основу модела добија значајне процене, а сам модел постаје широко доступан и применљив. На тај начин и одабране теоријске поставке добијају додатну потврду у пракси.

Креирање модела је базирано на прикупљеном узорку планова реализованих пројеката из великих предузећа, фирми које се баве производњом и грађевинарством, са намером да се утврди стање у пракси, које се тиче примене концепта управљања пројектом, првенствено његових метода и алата. У питању је хотимичан узорак, а предузећа су бирана на основу истраживања приказаног у [28], којим је утврђена листа оних која примењују софтвере за управљање пројектима. Карактеристике планова из узорка утицале су на одабир софтвера за управљање пројектима који је послужио за имплементацију модела, као и на дефинисање параметара модела.

Као софтвер за управљање пројектима, Microsoft Project омогућава кориснику примену метода управљања пројектима: рашчлањивања пројекта до активности одабраног нивоа значајности (WBS), мрежног планирања (CPM, PERT, PDM), прорачун трошкова и остварене вредности итд. Састављањем пројектног плана у програму се формира база табеларних података који подлежу одређеним прорачунима. Подразумевано, програм нема могућност анализе пројекта са циљем одређивања трајања на основу Кларкових једначина. Зато је креиран посебан кориснички приказ назван *Clark's Duration*, са свим потребним подацима за примену и приказ резултата аналитичке методе.

Једно од обележја планова из узорка је ниво употребе програма за управљање пројектима, који је у великој већини основни (односи се на планирање пројекта), али недостају неопходни улазни подаци за примену модела: трајања двеју критичних путања. Ове вредности се добијају снимањем полазног плана пројекта у две верзије, за чију реализацију је дефинисан посебан макро *Clark*. Према томе, активирањем овог програма добија се кориснички приказ *Clark's Duration*, са излазним подацима модела: Кларково трајање и стандардна девијација, вероватноћа реализације пројекта за процењено трајање и коефицијент квалитета модела.

Овако развијени модел је тестиран на свим плановима из узорка, док су резултати тестирања сабрани у једној табели (прилог В и електронски прилог Ћ) и као такви су послужили за вредновање модела. Модел је вреднован на основу усвојених критеријума којима је обухваћено испитивање његове техничке, операционе и динамичке ваљаности, као и верификације модела.

Претходно наведено значи да су потврђене постављене хипотезе истраживања и остварени његови циљеви и задаци.

11.2. Научни и друштвени допринос истраживања

Основни научни допринос истраживања огледа се у испитивању метода на основу којих се може остварити суперпозиција критичних путања. Како је процена

трајања пројекта већином базирана на методама мрежног планирања и идентификовању једне критичне путање која се поистовећује са трајањем, занемарује се утицај субкритичних путања. Такође, стохастичка природа процеса указује на потребу уважавања овог утицаја, јер у њиховом случају субкритична може постати критична путања. Управо одабране методе: аналитичка и нумеричка примењују суперпозицију и узимају у обзир утицај субкритичне путање на трајање пројекта.

Како је анализа ових метода у дисертацији потврдила, уколико се посматра резултат само PERT анализе мрежног дијаграма пројекта вероватноћа његове реализације је већа, односно ризик мањи, у односу на решење које се добија суперпозицијом. Занемаривање утицаја субкритичне путање према томе може довести до грешке у планирању и такође, проузроковати далеко веће негативне последице.

У вези са аналитичком методом постављена је хипотеза и, испитивањем на основу симулације, потврђено је да трајања посматраних критичних путања могу имати и вредности из β расподеле, док је подразумевана расподела нормална. Како се β расподела иначе користи за описивање времена завршетка активности (пројекта), овај резултат оправдава њену употребу за описивање трајања критичних путања, које се налазе у Кларковим једначинама. Ово је такође један од научних доприноса дисертације.

Научни допринос истраживања јесте и развијени модел који у односу на постојеће технике и алате за одређивање трајања пројекта нуди јединствено окружење базирано на методама мрежног планирања, суперпозицији критичних путања на основу Кларкових једначина и софтверу за управљање пројектима. На тај начин су теоријске поставке потврђене кроз праксу и омогућена је њихова широка примена. Према томе, ово је уједно и друштвени допринос истраживања.

Друштвени допринос се огледа и у могућности примене развијеног модела првенствено за потребе прелиминарних процена у високошколском образовању. Ово се односи на пројектне планове студената које они развијају у оквиру предмета *Управљање пројектима*, па и шире. Управо су студенти Техничког факултета први имали прилику да користе модел, с обзиром на то да су били укључени у његово тестирање. Тако су учествовали у научном истраживању и на располагању су им били резултати тог истраживања. Такође, наставницима и сарадницима је за потребе њиховог истраживања на располагању развијени модел.

Фирме које су омогућиле прикупљање емпиријског материјала на основу чијих карактеристика је креиран модел су уједно и његови потенцијални корисници. Према томе, друштвени допринос је уступање модела на коришћење фирмама које су допринеле његовом развоју.

11.3. Даље истраживање

Једна од могућности даљег истраживања у вези са анализом метода за одређивање трајања пројекта које се заснивају на суперпозицији свакако је испитивање

утицаја корелације критичних путања на трајање пројекта. У вези са тим би требало испитати корелацију која је резултат заједничких активности разних критичних путања. Оваквим испитивањем би се омогућила дубља анализа мрежног дијаграма, односно детаљније планирање пројекта и такође допринело бољем управљању.

Поред утицаја корелације на трајање пројекта могуће је испитивање суперпозиције критичних путања чија трајања нису само нормално распоређена. Дакле, симулација сложене мреже која је приказана у прилогу Д би се могла реализовати и за случај критичних путања са, на пример, β расподелом. На овај начин би се допринело истраживању методе симулације, која је послужила за суперпозицију три и више критичних путања, што значи у случајевима у којима нема аналитичког решења.

Претходно наведено указује на могућности развијања нове методологије, односно праваца развоја теоријских истраживања. Такође, развојем модела се указало и на правце практичне примене која се огледа у могућности његове имплементације у комерцијалне софтвере.

Како је дисертација један од планираних резултата пројекта „Веб портали за анализу података и саветодавство“²³, имплементација развијеног модела у веб портал означава проширење његове примене у интернет окружење. На основу постављеног циља, као и задатака пројекта, који су „израда веб портала који корисницима домена омогућује:

- статистичку анализу, што обухвата прорачун статистичких показатеља који следе из табеларно организованих података;
- слање (upload) табеларно организованих података путем интернета на систем, у једном од стандардних формата;
- коришћење система преко корисничког интерфејса који је максимално једноставан за коришћење, разумљив и приступачан. Стандардни језик комуникације је српски али је омогућена вишејезичка подршка (енглески, мађарски...);
- издавање резултата у широко прихваћеној форми. Резултат анализе је приказан и дат на располагање кориснику у форми уобичајеног Microsoft Word документа, што омогућује најширу могућу доступност и употребу резултата. Microsoft Word документ је аутоматски генерисан и послат кориснику...“ (преузето из пријаве пројекта)

може се закључити да се табеларни подаци које генерише модел односе на један од видова употребе портала. Према томе, предвиђено је да анализа коју веб

²³ Пројекат „Веб портали за анализу података и саветодавство“ ИТ13013 је финансиран од стране Министарства за науку (са трајањем од 2008. до 2010.), чији је један од очекиваних резултата и ова дисертација.

портал издаје корисницима представља управо процену трајања пројекта. На основу послатих полазних података у табеларној форми, који су дефинисани моделом, рачуна се трајање пројекта применом Кларкових једначина и ова процена се шаље кориснику.

У вези са даљим истраживањем свакако је и повратна информација након коришћења модела у фирмама које су учествовале у дефинисању узорка. На основу ових информација утврдила би се употребна вредност модела у пракси, указало на могућности прилагођавања модела практичној примени и допринело бољим карактеристикама модела, као и проценама. Допуњавањем базе узорка новим пројектним плановима могле би се ажурирати вредности параметара модела као што су: стандардне девијације критичних путања, коефицијент квалитета модела и вероватноћа реализације пројекта.

Модел је намењен и процени трајања пројеката који се дефинишу у образовним институцијама у склопу изучавања концепта, метода и алата *Управљања пројектима*. Према томе би и ова примена могла иницирати нова истраживања и закључке.

12. RESUME

RESEARCH REVIEW AND RESULTS

The fact that project management, its methods and tools, is present in every business aspect of the company, organization or institution, in public and private sector, is implying on business improvement through a lots of kind of savings: time, money, resources... That was the reason for selection of research field, too. Accomplishing of time saving was the objective for development of project duration assessment model.

Methods for project duration assessment are network planning methods, and their occurrence was nearly the same time as the project management start. There are, also, simulation, expert judgment and sciences that do not have project duration as subject at the first place, such as: earned value management, risk management, fuzzy logic, artificial intelligence etc.

On the contrary to standard network planning methods, which equate project duration with identified critical path, in this dissertation, duration is calculated and observed based on superposition. In this way, influence of subcritical paths is taken into the consideration. Stochastic nature of the most of the projects, especially, research and development projects, can cause the subcritical path to become critical. There are selected two methods for superposition of the critical paths: analytical – based on Clark's equations and numerical – Monte Carlo simulation. Analysis of those methods shows the meaning of the superposition results, especially for the probability of project time completion, i.e. project risk. If we use standard network planning methods only, then we can make planning mistakes with negative consequences for project realization.

It was researched in which case the solution of superposition is invariant. If we observe network diagram with two critical paths (critical and (sub) critical) there is analytical solution of superposition, which is invariant and that is confirmed by simulation. But, for the network diagram with three critical paths, when we have 81 possible relations between flows parameters (mean value and standard deviation), only one of them has invariant solution. Therefore, network diagrams with three and more critical paths needs to be solved by simulation.

By analyzing methods for superposition, basis for project duration assessment model development was set up.

Created model is based on network planning methods, as well as analytical method – Clark's equations, which are used for critical paths superposition. Model is implemented in one of the project management software, Microsoft Project. The reason for that was to make theoretical research, which is close to the average user of the project management software, and to produce evaluations necessary for the better planning and project management. Having applied the model, user gets valuable evaluations, without the need to know anything about the analytical method. In that way, model can be used widely and analytical method can get proof in practice.

Model development is based on the empirical material, which is the baseline for realized projects, from big production and construction companies, because one of the research

tasks was to acquaint real situation in practice, in relation with project management concept, their methods and tools usage. Empirical material is purposive sample, and company selection was on the basis of the research that is shown in [28]. Purposive sample characteristics influenced on the project management software selection, which is used for model implementation, as well as on definition of the model parameters.

Microsoft Project is project management software that is based on project management methods: work breakdown structure (WBS), network planning (CPM, PERT, PDM), cost management, earned value method etc. By developing the project baseline with the software, we are creating database, which we can use for several calculations. By default, software does not have possibility to analyze the project duration based on Clark's equations. Because of that, special user view called Clark's duration, is created. That view contains all necessary data for analytical method application.

Most of the baselines from the empirical material are created at the beginners' level of project management software usage and input data for model application are missing (two baselines durations). By saving the two versions of baseline we get those data or we can use macro, *Clark*, specially created for that purpose. After using the macro Clark, we get view Clark's duration, together with the model output data: Clark's duration and standard deviation, probability of project time completion and model quality coefficient.

Created model was tested on all baselines from the empirical material and results of testing are given in table of the appendix. Those results are used for model evaluation. The model was evaluated upon expected criteria containing technical, operational and dynamical evaluation as well as model verification.

Research hypothesis was proved and tasks and objectives accomplished.

SCIENTIFIC AND SOCIAL CONTRIBUTION

Basic scientific contribution can be seen as the analysis and development of the methods for critical paths superposition. Project duration assessment is, usually, based on the network planning methods and on one critical path identification, which is equalized with project duration. Therefore, influence of the subcritical path is neglected. Stochastic nature of the most projects, implies that we need to include that influence, because, subcritical path can become critical. Chosen superposition methods: analytical and numerical, include subcritical path influence on the project duration.

By investigating of those methods in dissertation, it is confirmed that, if we use only PERT analysis of the network diagram, we can see that probability of the project completion time is greater and the risk is smaller, then the one we can get if we use superposition. Neglecting the subcritical path influence can cause the planning errors, and can have negative consequences in the project future.

Investigation in the dissertation is confirmed one of the hypothesis, that completion times of critical paths can be beta distributed, as well as normal distributed, which is stated by default. Beta distribution is used in the most cases for project completion times and therefore is assumed that can be used in Clark's equations. This is one of the scientific contributions also.

Scientific contribution is created model, which, comparing to the existing project duration assessment tools and techniques, offers unique environment based on network planning methods, superposition of the critical paths and project management software. In that way, theoretical basis has application in practice and can be widely used. This is the social contribution also.

Social contribution is possibility of using the created model for preliminary project duration evaluations in academic institutions. This refers to the student project plans, developed in Project management course, but wider also. Students of the Technical faculty were included in model testing and were its first users. In that way, they were the part of the scientific research, and the users of the research results. Teaching staff can use the model for the need of their research, but also the companies that were enabled empirical material.

FURTHER RESEARCH

One of the possibilities for the further research is related to the analysis of the project duration assessment methods based on superposition, i.e. investigation of critical paths correlation influence on the project duration. In such case should be analyzed correlation that is the result of the mutual activities of the different critical paths. This could improve network diagram analysis, project planning and management.

Further research could include superposition of the critical paths that have not only normally distributed completion times. So, simulation of the complex network (e-appendix) can be realized for the critical paths with beta distribution. In that way we can contribute to the analysis of the numerical method – simulation, which is used for superposition of the three and more critical paths (when we do not have analytical solution).

Previous implies on the new methodology development, i.e. on the ways of the theoretical research. Developed model implies on its own practical use and its implementation in commercial software also.

Doctoral dissertation is one of the planned results of the project “Web portals for data analysis and consulting”, and implementation of the developed model in web portal means wide and global use of the model. According to the project objective, as well as project tasks, that is “web portal development with:

- Statistical analysis, which includes statistical calculation for data represented by tables;
- Uploading data tables through internet through one of the standard file formats;
- Use of the system through simple user interface, which is understandable and accessible. Standard communication language is Serbian, but there is Multilanguage support also (English, Hungarian...);
- Output results in widely recognized form, i.e. MS Word document.“ (from the project application)

It can be concluded that data tables generated by the model are concerned about the ways of portal usage. Therefore, it is assumed that web portal analysis enables project duration assessment also. Based on sent user data in the form of the table, user can get project duration assessment according to the Clark's equations.

Further research is related to the feedback after applying the model in companies that were included in empirical material gathering. Feedback can confirm model usage, and the ways of its updating and maintaining. That can improve its features and results. Updating baselines database by new project plans model parameters can be changed, such as standard deviation of critical path, model quality coefficient and probability of project realization.

Using model for educational purposes, within project management concept, methods and tools investigation, can cause the new research and conclusion.

13. ПОЈМОВНИК

Arrow Diagramming Methods – ADM – методе мрежног планирања засноване на стреличастим дијаграмима од којих су најпознатије: CPM, PERT и GERT. Резултат примене ових метода јесу дијаграми типа „активност на стрелици“, тј. activity-on-arrow.

Capability Maturity Model – CMM је један од модела зрелости института SEI – Software Engineering Institute, којег је основало Министарство одбране САД при универзитету Питсбург у Пенсилванији. Овај институт у свом истраживачком раду сарађује са индустријама и академским институцијама. CMM модел је најбољи пример праксе овог института у области управљања пројектима. Састоји се од модела, метода и обуке за које се сматра да ће побољшати процес извођења. Последња верзија је издата 2007. године. [101]

ceil(x) – функција Mathcad-а која враћа најмањи цео број који је већи или једнак са x .

dbeta(x,s1,s2) – функција Mathcad-а која даје густину вероватноће за β расподелу.

dchisq(x,d) – функција Mathcad-а која приказује χ^2 расподелу.

dnorm(x, m, s) – функција MathCAD-а која даје расподелу вероватноћа нормалне дистрибуције.

Earned Value Management – EVM – управљање оствареном вредности обједињује управљање обимом, временом и трошковима пројекта са циљем да се оцени и контролише ризик и прати напредовање реализације пројекта, што је изражено у новчаним јединицама [11].

HERMES – је метода за управљање пројектима која се користи за управљање, развој и извршавање пројеката у области ИКТ-а (Информационо комуникационих технологија). Развијена је од стране швајцарске федералне администрације 1975. године, од када је имала ревизије 1986. и 1995. године. Без обзира на првобитну намену користи се и у образовним институцијама и предузећима са смерницама

за купце пројекта, руководиоце пројекта и чланове тима.

ISO 9000 – стандард интернационалне организације за стандарде (International Organization for Standardisation) који се односи на управљање квалитетом система (2000. и 2005. године), као и ISO 10006 стандард који се односи на управљање квалитетом пројекта (2003.).

Organizational Project Management Maturity Model – OPM3 је такође модел зрелости који је развио PMI. Представља модел систематског управљања пројектима, програмима и портфолиом ради остваривања стратешких циљева организације. Може се применити на читаву компанију или организацију као и на одређене пословне јединице, групе, одељења итд. [102]

PMBOK – Project Management Body of Knowledge – „Корпус знања о управљању пројектима“ који је објавио PMI, а који данас представља један од стандарда о управљању пројектима.

PMI – Project Management Institute – амерички институт за управљање пројектима који је дао велики допринос развоју управљања пројектима у свету.

PRINCE2 – **PR**ojects **IN** **C**ontrolled **E**nvironments – стандард управљања пројектом који је 1989. године установила британска агенција CCTA (Central Computer and Telecommunications Agency), касније преименована у OGC (Office of Government Commerce). У питању је метода за ефективно управљање пројектима заснована на процесима. Поред државног, користи се и у приватном сектору и интернационалног је карактера. [100]

Project Portfolio Management – PPM – управљање портфолиом или портфељима, у питању је управљање инвестицијама у хартије од вредности које у различитим формама потребно индивидуалним и инситуционалним инвеститорима.

rbeta(m,s1,s2) – функција Mathcad-а која враћа вектор од m случајних бројева који имају β расподелу.

norm(m, μ , σ) – функција Mathcad-a која омогућава дефинисање вектора од m случајних бројева који су нормално распоређени.

RUP – Rational Unified Process – методологија управљања пројектима која се примењује првенствено за реализацију пројеката информacionих технологија, заснива се на итеративности и настао је у корпорацији IBM-a, Rational Software, 2003.

Scrum – је итеративни процес управљања развојем софтвера који обухвата скуп смерница и одређених улога. Главне улоге су: ScrumMaster који одржава процес (слично руководиоцу пројекта), ProductOwner који представља заинтересоване стране и ScrumTeam, који представља развојни тим. Инкременти, тј. итерације у пројекту се одвијају у спринтовима, периодима од 15 до 30 дана (о чему одлучује тим) од којих сваки за резултат има потенцијално употребљиву верзију готовог производа, софтвера. [96]

Total Cost Management Framework – систематски приступ управљању трошковима током животног циклуса било ког предузећа, програма, пројекта, производа или услуге, као и интегрисана методологија за портфолио управљање, управљање програмом и пројектом. Ову методологију је 2006. године објавила америчка асоцијација – Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE), при Универзитету Њу Хемпшир. [103]

V-Model – стандард за управљање пројектом који је настао публикавањем *Development Standards for IT Systems of the Federal Republic of Germany* 1997. године са намером да се користи у свим цивилним и војним федералним агенцијама. Данас је присутна верзија V-Model XT из 2006. Реч је о моделу процеса за планирање и извршавање пројеката, који побољшава транспарентност пројекта, његово управљање и вероватноћу успеха дефинисањем конкретних акција са придруженим резултатима и одговарајућим улогама. [74]

WBS – Work Breakdown Structure – метода расчлањивања пројекта на фазе, подфазе итд. до појединачних активности.

Агилне методологије – односе се првенствено на пројекте у области информacionих технологија и промовишу

развој итерација, отворене сарадње и прилагодљивост процеса кроз животни циклус пројекта.

Адаптивно пројектно окружење – методологија управљања пројектима која се заснива на плану који се креира циклички током реализације пројекта. У план се уврштавају само оне активности које ће бити део коначног решења.

Активност – временски интервал потребан за реализацију одређеног радног процеса или достизање жељеног стања система. При томе су трошкови материјални, енергетски или временски. У случају када указује на логичку везу између две или више активности, она је фиктивна [42]. За означавање активности у мрежном дијаграму користе се велика слова.

Временске резерве – *slack* – означавају време између најранијих, односно најкаснијих, почетка и завршетка активности и могу бити: укупне, слободне, независне, и условне или критичне.

Догађај – јесте временски тренутак, који означава почетак или завршетак једне или више активности или пројекта. Према томе, може бити почетни или завршни догађај. За означавање догађаја у мрежном дијаграму користе се бројеви.

Екстремно управљање пројектима – у вези је са методама управљања веома комплексних пројеката са високим степеном неизвесности. За разлику од традиционалног, оно има отворен, еластичан и недетерминистички приступ. Усмерен је пре на управљање сарадњом него на примену формалних техника управљања. [111]

Критичан пут – обухвата активности оне које немају временских резерви. Ово је најдужи пут у мрежном дијаграму и утицањем на његове активности истовремено се утиче на трајање пројекта у смеру продужења или скраћења.

Методе мрежног планирања – служе за дефинисање дијаграма пројекта што ће омогућити увид у међусобне везе активности, одређивање трајања пројекта и контролу распореда пројекта. Најпознатије су: метода критичног пута (CPM), метода оцене и ревизије програма (PERT) и метода „првенства“ (PDM).

Мимеплекс – комплекс мимова који је „јединица културне трансмисије“ [17], „информацијска шема, која постоји у меморији индивидуе и има могућност да се копира у меморију друге индивидуе“ [85], а као таква омогућава ширење идеја и културних феномена.

Монте Карло симулација – представља методе које се заснивају на компјутерском понављању избора случајних (псеудослучајних) бројева којима се математички моделује понашање система или објеката проучавања, и оне производе статистичко приближно решење проблема [47].

Пројекат – пројекат је јединствени низ активности које се предузимају ради остварења унапред постављеног циља у одређеном временском интервалу, помоћу ресурса и уз одређене трошкове. [28]

Софтвери за управљање пројектима – програми који омогућавају: сумарни приказ података пројекта, управљање подацима, СРМ анализу, стандардне и прилагођене извештаје, праћење више пројеката, умрежавање, „шта ако“ анализу, графичку презентацију трошкова, времена и података о активностима, планирање и уједначавање ресурса, анализу трокова и варијансе, вишеструке календаре [36].

Стандарди за управљање пројектима – IEEE Std 1490-2003, Guide Adoption of PMI Standard A Guide to the PMBOK, PRINCE2, V-Model, HERMES, модели зрелости (Capability Maturity Model и Organizational Project Management Maturity Model), ISO 9000 и Total Cost Management Framework.

Суперпозиција – поступак израчунавања трајања пројекта којим се узима у обзир трајање критичне и субкритичне путање и резултујуће, суперпонирано трајање је дуже од критичног пута.

Традиционалне методологије управљања пројектима – према овом приступу управљање пројектом се одвија у фазама: иницијације, планирања или дизајна, извршења, праћења и контроле и завршетка пројекта.

Трајање пројекта – број радних периода (не укључујући одморе или друге нерадне периоде) потребан за комплетирање активности или других елемената пројекта. Обично се изражава у радним данима или радним недељама [60]

Управљање временом пројекта – Project Time Management – део управљања пројектом који обухвата процесе: дефинисање листе активности, утврђивање типа везе међу активностима, процена трајања активности, развој распореда пројекта и контрола распореда.

Управљање програмом – односи се на усклађивање више независних пројеката са циљем унапређења функционисања организације.

Управљање пројектом – управљање пројектом је примена знања, вештина, алата и техника у активностима пројекта са циљем да се испуне потребе разних интересних страна и захтева пројекта, што значи успостављање равнотеже између: обима, времена, трошкова и квалитета пројекта. [27]

14. РЕФЕРЕНЦЕ И ШИРИ СПИСАК ЛИТЕРАТУРНИХ ИЗВОРА

- [1] АРИХ, Љ., МЕШКО, Ј. *Симулација извођења недетерминистичких пројеката*. Висока комерцијална школа, Марибор, SYM-OP-IS, 1977. (str. 17-24): Херцег Нови, 1977.
- [2] BUTTON, S.D. *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.
- [3] БРОНШТЕЈН, И.Н., СЕМЕНДЈАЈЕВ К.А., МУСИОЈ, Г. и МИЛИГ, Х. *Математички приручник*. SOHO GRAPH, Београд, 2004.
- [4] BENDELL, A., SOLOMON, D., CARTER, J. M. *Evaluating project completion times when activity times are Erlang distributed*. The Journal of the Operational Research Society, 1995.
- [5] BARKLEY, B.T. *Project Risk Management (Project Management)*. McGraw-Hill Professional; 1 edition, 2004.
- [6] BRUEGGE, B., DUTOIT, A. H. *Object-Oriented Software Engineering*. Person Education: Singapore, 2004.
- [7] BENT, J., HUMPHREYS, K.K. *Effective Project Management Through Applied Cost and Schedule Control (Cost Engineering)*. CRC, 1996.
- [8] WINTER, M., SMITH, C. *Making Sense So Far: Emerging Directions and Future Research – Interim Report*. Rethinking Project Management EPSRC Network, 2004-2006.
- [9] WHITTY, S. J. *A Memetic Paradigm of Project Management*. International Journal of Project Management, 23 (8): 575-583. 2005.
- [10] ВУЈАКЛИЈА, М. *Лексикон страних речи и израза*. Просвета, Београд, 2004
- [11] VANDEVOORDE, S. VANHOUSKE M. *A Comparison of Different Project Duration Forecasting Methods Using Earned Value Metrics*. International Journal of Project Management, Volume 24, Issue 4, Pages 289-302, May 2006.
- [12] VAN SLYKE, R.M. *Monte Carlo Methods and the PERT Problem*. Operation Research, Vol. 11, No. 5, (pp: 839-860), 1963.
- [13] WINSTON, L. W. *Operations Research Applications and Algorithms*. Duxbury Press by Wadsworth Publishing Company: Belmont, California, 1994.
- [14] ВУКАДИНОВИЋ, С., ПОПОВИЋ, Ј. *Методе Монте Карло*. Саобраћајни факултет: Београд, 1992.
- [15] ВУЈОШЕВИЋ, М., СТАНОЈЕВИЋ, М., МЛАДЕНОВИЋ, Н. *Методе оптимизације – Мрежни, локацијски и вишекритеријумски модели*. „ДОПИС”: Београд, 1996.
- [16] GOODPASTURE, J. *Quantitative Methods in Project Management*. J. Ross Publishing, Inc. Florida, 2004.
- [17] DAWKINS, R. *The Selfish Gene*. 2nd ed. Oxford, Oxford University Press, 1989.
- [18] DAWOOD, N. *A Method for Allowing Dependency Between Activities' Duration in Solving the Problem of Stochastic Network Analysis*. The University of Teesside, 1995.

- [19] DAWOOD, N. *Estimating Project and Activity Duration: a Risk Management Approach Using Network Analysis*. Construction Management and Economics, Issue 16, Pages 41-48. 1998.
- [20] *Definitions*, Microsoft Project 2000.
- [21] DUKIĆ, D., DUKIĆ, G., BABIĆ, D. *Simulation of Construction Project Activities Duration by Means of Beta PERT Distribution*.
- [22] DIAMANTAS, V.K., KIRYTOPOULOS, K.A., LEOPOULOS V.N. *Project duration prediction: traditional tools or simulation?* World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development, Vol. 3, No. 3/4 pp. 317-333, 2007.
- [23] DODIN, B. *Determining the (k) Most Critical Paths in PERT Networks*. Operation Research, Vol. 32, No. 4, (pp: 859-877), 1984.
- [24] ЂУРИЧИН, Д. *Програмирање и контрола истраживачко-развојних пројеката*. Универзитет у Београду, Економски факултет: Београд, 1989.
- [25] ЂЕРИЋ, В. *Методe вредновања симулационих модела*. SYM-OP-IS 1984., (str. 169-177): Херцег Нови, 1984.
- [26] EAST, E.W, HASSANEIN, A., MELIN, J. *Evaluating Factors that Affect Construction Project Duration*. Construction engineering research lab (army) Champaign IL, september 1992.
- [27] *IEEE Std 1490-2003 (Revision of IEEE Std 1490-1998)*, vol., no., pp. 0_1-216, 2004.
- [28] ЈЕВТИЋ, В. и ЛЕТИЋ, Д. *Примена концепта управљања пројектом у МСП Зрењанина*. Зборник радова YURMA: Златибор, 2002.
- [29] ЈЕВТИЋ, В. *Образовни модел управљања пројектом у Операционим истраживањима – магистарска теза*. Технички факултет „Михајло Пупин“: Зрењанин, 2003.
- [30] ЈОВАНОВИЋ, П. *Управљање пројектом*. Факултет организационих наука: Београд, 2006.
- [31] JASSBI, J., KHANMOHAMMADI, S. *A New Approach for Predicting Project Duration Using Beta Shape Membership Function and Simulation*.
- [32] ЈЕВТИЋ, В., ЛЕТИЋ, Д. и ИВКОВИЋ, М. *Анализа техничких карактеристика софтвера за управљање пројектима*. Зборник радова YURMA: Златибор, 2009.
- [33] ЈЕВТИЋ, В. и ЛЕТИЋ, Д. *Постојеће методе и приказ развијеног модела за одређивање трајања пројекта*. Зборник радова YUInfo: Копаоник, 2009.
- [34] ЈОВАНОВИЋ, Т. ЈОВАНОВИЋ, П. и ЂОРЂЕВИЋ, П. *Примена технике мрежног планирања*. Машински факултет: Београд, 1990.
- [35] ЈЕВТИЋ, В., ЛЕТИЋ, Д.: *Superposition of Critical Paths Based on Analytical and Numerical Method*, SISY 2009, Subotica, 25.-26. 9., 2009.
- [36] KERZNER, H. *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Wiley, 2003.
- [37] KERZNER, H. *Applied Project Management – Best Practices on Implementation*. John Wiley & Sons, Inc. USA, 2000.
- [38] KALOST, M.H., WHITLOCK, P.A. *Basics, Volume 1, Monte Carlo Methods*. Wiley-Interscience, 1986.
- [39] KOHLAS, J. *Monte Carlo Simulation in Operations Research (Lecture notes in economics and mathematical systems)*. Springer-Verlag, 1972.
- [40] KERZNER, H. *Project Management Case Studies*. Wiley, 2006.

- [41] KENDRICK, T. *Identifying and Managing Project Risk*. AMACOM, American Management Association, 2003.
- [42] LETIĆ, D., JEVTIĆ, V. *Operaciona istraživanja: algoritmi i metode*, ponovljeno izdanje, Zrenjanin, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, 2006.
- [43] ЛЕТИЋ, Д. *Едукативни и опитни модел критичних протока материјала PD – Precedence Diagramming structure*, (Докторска дисертација). Технички факултет „Михајло Пупин“: Зрењанин, 1996.
- [44] LETIĆ, D., JEVTIĆ, V. *The Distribution of Time For Clark's Flow and Risk Assessment For the Activities of PERT Network Structure*, YUJOR, Vol. 19, No. 1, str. 195- 207. 2009.
- [45] LETIĆ, D., BERKOVIĆ, I., JEVTIĆ, V. *Određivanje funkcije raspodele vremena osnovnog i proširenog Klarkovog protoka za aktivnosti mrežne PERT strukture*, Simpozijum o operacionim istraživanjima; Zlatibor, Beograd: Fakultet organizacionih nauka, 2007.
- [46] LUIS, J.P. *Project Planning, Scheduling & Control*. McGraw-Hill, 2000.
- [47] МАРКОВИЋ, М, ПЕТКОВИЋ, С. *Пословна статистика*, Виша пословна школа, Београд, 1999.
- [48] METROPOLIS, N. *The Beginning of the Monte Carlo Method*. Los Alamos Science Special Issue, Pages 125-130, 1987.
- [49] MILLIKEN, G. *The underestimation of project duration: a compensating graphic technique*. R&D management, Vol. 3, Issue 3, Pages 155-156, 2007.
- [50] MALCOM, D.G., ROOSEBOOM, J.H., CLARK, C.E., FAZAR, W. *Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation*. Operations Research, Vol. 7 p. 646, 1959.
- [51] MILOSEVIC, D.Z. *Project Management ToolBox: Tools and Techniques for the Practicing Project Manager*. Wiley, 2003.
- [52] MAREK, P., BROZZETTI, J., GUSTAR, M. *Probabilistic Assessment of Structures, Using Monte Carlo Simulation*. TeReCo, 2001.
- [53] MACKENZIE, A. *The Time Trap: The Classic Book on Time Management*. AMACOM/American Management Association; 3rd edition, 1997.
- [54] MULCAHY, R. *Risk Management, Tricks of the Trade for Project Managers*. RMC Publications, Inc. 2003.
- [55] MUN, J. *Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Forecasting, and Optimization Techniques*. Wiley, 2006.
- [56] MARMEL, E. *How to Do Everything with Microsoft Office Project 2007*. McGraw-Hill Osborne Media, ISBN: 0072263415, 2006.
- [57] MARMEL, E.J. *Microsoft Project 2002 Bible*. Wiley, ISBN: 0764536532, 2002.
- [58] NAGAI, M., KURIHARA, K., NISHIUCHI, N. *Project duration planning method based on the combination use of genetic algorithm and Monte Carlo simulation*. Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference on, Vol. 5, 2002.
- [59] НОУКС, С., МЕЈЏОР, И., ГРИНВУД, А., АЛЕН, Д., ГУДМАН, М. *Управљање пројектима*. Clio: Београд, 2005.
- [60] *Project Management Body of Knowledge*. Project Management Institute, Third Edition (PMBOK Guides): Upper Darby, 2004.
- [61] САВКОВИЋ-СТЕВАНОВИЋ, Ј. *Моделовање и симулација процеса*. Универзитет у Београду, Технолошко – Металуршки факултет, Београд, 1995.

- [62] PRITSKER, A.A.B. *GERT: Graphical Evaluation and Review Technique*. RM-4973-NASA, april, 1966.
- [63] PHILLIPS, J. *PMP Project Management Professional Study Guide*. McGraw-Hill/Osborne, USA, 2004.
- [64] ПЕТРОВИЋ, Д. *Управљање пројектима као нова пословна филозофија*. Зборник радова YUPMA: Златибор, 2001.
- [65] ПЕТРИЋ, Ј и други. *Мрежно планирање и управљање*. Информатор: Загреб, 1983.
- [66] PYRON, T. et al. *Project 2002 – до краја*. QUE, Компјутер библиотека: Чачак, 2003.
- [67] PIDD, M. *Computer Simulation in Management Science*. John Wiley & Sons, Inc.: New York, USA, 1998.
- [68] РАДУЛОВИЋ, А. и РАДОЈЕВИЋ, М. *Техника мрежног планирања*. Научна књига: Београд, 1988.
- [69] STOVER, T. *Microsoft Office Project 2007 Inside Out*. Microsoft Press, 2007.
- [70] SARGENT, R.G., *Verification and Validation of Simulation Models*, eds D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, pp 121-130, 1998.
- [71] УРОШЕВИЋ, Ј. и ДРАШКИЋ-ОСТОЈИЋ, Ј. *Primavera – управљање пројектима уз помоћ рачунара*. Институт за нуклеарне науке „Б. Кидрич”, Винча: Београд, 1991.
- [72] УУТТЕВААЛ, Е. *Dynamic Scheduling with Microsoft Office Project 2003: The Book by and for Professionals*. J. Ross Publishing, ISBN: 1932159452, 2004.
- [73] FRANK P. S, <http://www.allpm.com/print.php?sid=1750>, 2007.
- [74] <ftp://ftp.tu-clausthal.de/pub/institute/informatik/v-modell-xt/Releases/1.2.1/Documentation/V-Modell-XT-Complete.pdf>
- [75] FISHMAN, G. S. *Monte Carlo – Concepts, Algorithms and Applications*. Springer Series in Operations Research, New York, 1995.
- [76] FELLER, W. *An Introduction to Probability Theory and its Applications – volume one*. John Wiley & Sons, Inc.: New York, USA, 1950.
- [77] FELLER, W. *An Introduction to Probability Theory and its Applications – volume two*. John Wiley & Sons, Inc.: New York, USA, 1971.
- [78] FRAME, J.D. *The new project management: Tools for an Age of Rapid Change, Complexity, and Other Business Realities* (Jossey Bass Business and Management Series). John Wiley & Sons, CA, 2002.
- [79] FRAME, D. *Managing Projects in Organizations: How to Make the Best Use of Time, Techniques, and People*. Jossey-Bass, 1995.
- [80] FRASER, D. A. S. *Statistics – An Introduction*. John Wiley & Sons, Inc.: New York, USA, 1958.
- [81] FISHMAN, S. G. *A Monte Carlo Sampling Plan For Estimating Network Reliability*. Operations Research, Vol. 34, No. 4, (pp. 581-594), 1986.
- [82] FISHMAN, G. *Monte Carlo*. Springer, 2003.
- [83] FULKERSON, D. R. *Expected Critical Path Lengths In Pert Networks*. Operations Research, Vol. 10, No. 6, (pp. 808-817), 1962.
- [84] HAVRANEK, T.J. *Modern Project Management Techniques for the Environmental Remediation Industry*, http://books.google.com/books?id=bjS8ykmfG80C&pg=PA60&lpg=PA60&dq=project+management+definition&source=web&ots=WRiZ_bz6iV&sig=RN7nm

[LBnImMC6HYBYyeE05X1LE8&hl=en&sa=X&oi=book_result&resnum=6&ct=result#PPP1,M1](#)

- [85] HEYLIGHEN, F. *Memetics*. Principia Cybernetica Web. Ed. F. Heylighen, C. Joslyn & V. Turchin. Brussels: Principia Cybernetica. Nov 2001.
- [86] HUMPHREY, W. S. *Managing the Software Process*. Boston, MA: Addison-Wesley, 1989.
- [87] HAVRANEK, T.J. *Modern Project Management Techniques for the Environmental Remediation Industry*. Taylor & Francis, Inc. 1998.
- [88] HARRIS, P.E. *Planning and Scheduling Using Microsoft Project 2002*. Eastwood Harris, 2003.
- [89] CLARK, C. E. *The Greatest of Finite Set of Random Variables*. Operation Research, Vol. 9, No. 9, (pp: 145-162), 1961.
- [90] CHARVAT, J. *Project Management Methodologies: Selecting, Implementing, and Supporting Methodologies and Processes for Projects*. Wiley, 2003.
- [91] CLELAND, D.J., PUERZER, R., BURSIC, K.M., VLASAK, Y. *Project Management Casebook*. PMI, 1998.
- [92] COUTRET, G. и MARQUIS, A. *Project 2000 – детаљан изворник*. Компјутер библиотека: Чачак, 2000.
- [93] CHATFIELD, C and JONHSON, T. *Microsoft Project 2002 – Корак по корак*. CET Computer Equipment and Trade: Београд, Светлост: Чачак, 2002.
- [94] CHAPMAN, C., WARD, S. *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*. ISBN: 0470853557, John Wiley & Sons; 2 edition, 2003.
- [95] ШЕШИЋ, Б. *Опита методологија*. Научна књига: Београд, 1971.
- [96] SCHWABER, K. *Agile Project Management with Scrum*. Microsoft Press. Redmond, Washington, 2004.
- [97] <http://www.prince2.com/downloads/prince2-glossary-of-terms.pdf>
- [98] <http://www.visitask.com/project-life-cycle.asp>
- [99] <http://www.agilemanifesto.org>
- [100] <http://www.prince2.com/what-is-prince2.asp>
- [101] <http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/08.reports/08tr010.pdf>
- [102] <http://opmexperts.com/OPM3ExecGuide.pdf>
- [103] http://www.aacei.org/tcm/TCM_General_Overview.ppt
- [104] http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_project_management_software
- [105] http://en.wikipedia.org/wiki/Project_management_software
- [106] <http://nainfo.nbs.bg.ac.yu/Kobson/page/>
- [107] <http://openlearn.open.ac.uk/mod/resource/view.php?id=190538>
- [108] http://www.maxwideman.com/pmglossary/PMG_D04.htm
- [109] http://en.wikipedia.org/wiki/Project_management
- [110] <http://www.ipma.ch/about/Pages/History.aspx>
- [111] <http://espace.library.uq.edu.au/view.php?pid=UQ:13419>
- [112] http://www.srb-rss.com/article_agencija_za_privatizaciju_34udarnik34_na_aukciji_20_juna_2_5660.htm
- [113] <http://www.nis-naftagas.co.yu/j2ee/web2/index.jsp>
- [114] <http://www.begej.co.yu/sitenavf.html>
- [115] <http://ganttproject.biz>
- [116] <http://openproj.org/openproj>
- [117] <http://www.openworkbench.org/index.php>
- [118] <http://www.taskjuggler.org/index.php>

- [119] <http://www.dotproject.net/index.php>
- [120] <http://www.collanos.com/>
- [121] <http://www.project.net/index.htm>
- [122] <http://www.projectpier.org>
- [123] <http://trac.edgewall.org/>
- [124] <http://www.aisc.com/index.php>
- [125] <http://objective-decision.com/en/products/contactizerpro/>
- [126] <http://www.aecsoftware.com/products/fasttrack/>
- [127] <http://en.wikipedia.org/wiki/LisaProject>
- [128] <http://office.microsoft.com/en-us/project/HA101656381033.aspx>
- [129] <http://www.apple.com/>
- [130] <http://www.omnigroup.com/applications/omniplan/>
- [131] <http://www.matchware.com/en/products/openmind/default.htm>
- [132] <http://www.planisware.com/>
- [133] <http://www.primavera.com/index.asp>
- [134] <http://www.intaver.com/index-1.html>
- [135] http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/teamcenter/
- [136] <http://en.wikipedia.org/wiki/%40task>
- [137] <http://www.24sevenoffice.com/webpage/en/>
- [138] <http://alterfiction.com/index.htm>
- [139] <http://www.basecamphq.com/index>
- [140] <http://www.centraldesktop.com>
- [141] <http://www.daptiv.com/>
- [142] <http://www.gatherspace.com/index.html>
- [143] <http://www.geniusinside.com/web/website.nsf>
- [144] <http://www.liquidplanner.com/>
- [145] <http://studios.thoughtworks.com/mingle-project-intelligence>
- [146] <http://openair.com>
- [147] <http://web.archive.org/web/20060427142023/www.oracle.com/applications/e-business-suite.html>
- [148] <http://www.projectinsight.net>
- [149] <http://www.projectpartner.com/>
- [150] <http://www.projectplace.com/>
- [151] <http://www.twproject.com>
- [152] <http://www.trackplus.com/>
- [153] <http://www.trackersuite.net/>
- [154] <http://www.valleyspeak.com/>
- [155] <http://www.vcsonline.com>
- [156] <http://www.wrike.com/>
- [157] <http://projects.zoho.com/jsp/home.jsp>
- [158] <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda366h.htm>
- [159] <http://www.brighton-webs.co.uk/distributions/beta.asp>
- [160] www.knr.ns.ac.yu
- [161] www.cpm.co.yu
- [162] www.cmc-pro.net/index.php
- [163] www.yu-build.com
- [164] www.agtim.com/strane/o_nama.htm
- [165] www.fon.rs

15. ПРИЛОЗИ

15.1. А – Листа софтвера за управљање пројектима

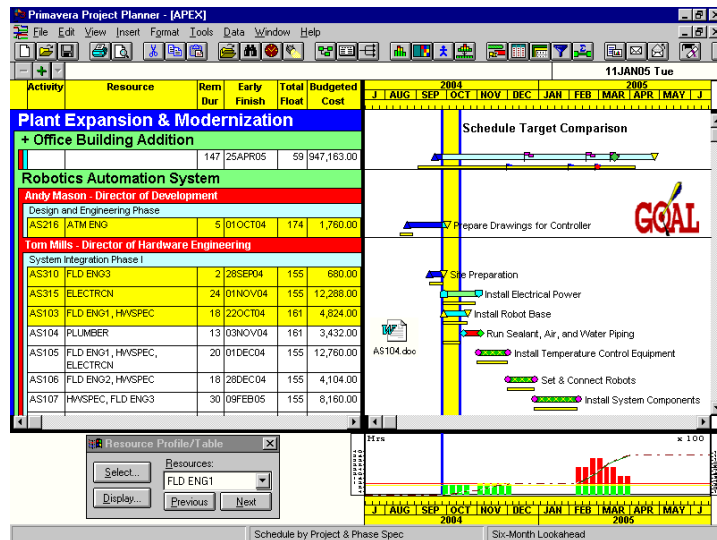
1. Бесплатне десктоп апликације отвореног кода (Open-Source desktop applications)
 - GanttProject (2003) – програм за распоређивање и управљање заснован на гантограмима. Омогућава дефинисање: хијерархије и зависности међу активностима, гантограма, дијаграма ресурса, PERT дијаграма, извештаја у *.pdf и *.html формату, импортовање и експортовање података са MS Project-ом, веб оријентисан тимски рад; [115]
 - OpenProj (2007, САД, Француска, Индија) – програм за управљање пројектима, замена за MS Project, Primavera и остале комерцијалне програме (чије пројекте може да покреће). Примењује се на Linux, Unix, Mac и Windows платформама, користи напредне индустријске алгоритме распоређивања и приказује гантограме, PERT дијаграме, WBS и RBS структуру пројекта, трошкове остварене вредности и остало; [116]
 - Open Workbench (2007, САД) – омогућава распоређивање и функционалност управљања и за веома захтевне пројекте. Од када је настао (март, 2006.) он је алтернатива MS Project-у; [117]
 - TaskJuggler (2001) – омогућава дефинисање обима пројекта, распоређивање ресурса, планирање трошкова, управљање ризиком и комуникацијама. Његов алат за оптимизацију распореда рачуна трајање пројекта и распоред ресурса на основу дефинисане структуре пројекта и ограничења. Аутоматски балансира ресурсе, приказује податке до одабраног нивоа детаља и омогућава примену разних стратегија управљања; [118]
2. Бесплатне веб базиране апликације отвореног кода (Open-Source web based applications)
 - dotProject (2001, група волонтера из Аустралије, САД, Немачке, Француске...) – апликација за управљање пројектом дизајнирана са пројектним окружењем и контролним функцијама. Заснован је на концепту управљања пројектом и руководиоцу пројекта нуди алате за управљање активностима, распоредима, комуникацијама и дељењем, са претпоставком да му је позната проблематика; [119]
 - Callonos Workplace (2006, Швајцарска) – програм погодан за тимски рад захваљујући радном окружењу које омогућава интеграцију и коришћење различитих садржаја везаних за пројекте (разних верзија пројектних фајлова, задужења, докумената са дискусијама, чак и са сликама, музиком или видео садржајем); [120]

- Project.net (1999, САД, добитник награде часописа PC Magazine, *Editors' Choice award in a review of web-based project management applications*) – комплетно веб базирани програм за управљање комплексним пројектима од фазе планирања преко реализације до затварања пројекта; [121]
- ProjectPier (2007) – омогућава управљање активностима, пројектима и тимовима преко интуитивног веб интерфејса. Функције управљања комуникацијама и остале сличне су комерцијалним програмима за управљање пројектима уз слободу у проширивању и прилагођавању разним окружењима; [122]
- Track (2006, САД) – програм намењен првенствено управљању софтверским пројектима. Користи минималистички приступ веб оријентисаном управљању софтверским пројектима са циљем скраћивања развојног процеса; [123]

3. Комерцијалне десктоп апликације (Proprietary desktop applications)

- Artemis (1983, САД) – програм за интегрисано управљање пројектима и инвестицијама у хартије од вредности (портфолио менаџмент). На тај начин омогућава планирање и контролу инвестиција, као и примену стратегија предузећа или организација; [124]
- Contactizer (2003, САД) – програм за ефикасно, продуктивно и инвентивно управљање, коришћење и организовање личних и пословних информација. Омогућава управљање и праћење реализације пројектима, разне приказе пројекта, комуникацију на пројекту, управљање догађајима, распоређивање ресурса на активности и синхронизацију са iSync, iPhone итд; [125]
- FastTrack Shedule (1988, САД) – програм за управљање пројектима користи се за планирање, праћење и извештавање о циљевима пројекта. Омогућава организовање активности у пројектном плану, распоређивање ресурса, детаљан приказ гантограма пројекта, месечне календаре и хистограме ресурса. Могу га користити почетници, као и професионалци у малим и средњим предузећима. Може радити на MS Windows и Mac OS X платформама и компатибилан је са MS Project-ом о осталим Office алатима; [126]
- LisaProject (1981, САД) – први програм са графичким окружењем намењен управљању пројектима који је корисницима омогућавао интерактивно цртање пројекта у форми PERT дијаграма. Ограничења на активностима, као и њихови односи и редослед су уношени у програм, на основу чега је програм динамички рачунао распоред и трошкове користећи хеуристичке методе. Након овога издавао је гантограм пројекта. Овај програм није имао већег успеха осим чињенице да је његов највећи корисник била NASA. Како је управљање пројектом постало универзални проблем, развијена је нова верзија програма MacProject; [127]

- Microsoft Project 2007 (прва верзија 1984, САД) – представља алат за управљање пројектима и чини га ефектнијим и ефикаснијим. Омогућава контролу пројектних активности, распореда, трошкова, комуникацију чланова тима и у сарадњи са осталим програмима Office пакета обезбеђује већу продуктивност, извештавање, шаблоне и кориснички оријентисане алате. У комбинацији са Project Server-ом омогућава управљање пројектима компанија (ЕРМ – Enterprise Project Management – ЕРМ); [128]
- MacProject (1984, САД) – један од првих програма, пословних алата за управљање пројектима и планирање, који се појавио са оснивањем Apple Macintosh система. Омогућава корисницима прорачунавање критичне путање, процену трошкова и времена пројекта, управљање ресурсима, променама итд; [129]
- OmniPlan (2004, САД) – програм који омогућава креирање логичних, управљивих пројектних планова са гантограмима, распоредом активности, кључним догађајима, критичном путањом и извештајима, са циљем да се пројекат реализује у предвиђеном времену и буџету; [130]
- OpenMind 2 (1992, САД) – програм који спаја мапе ума са управљањем пројектима, на тај начин што руководиоцима пројекта омогућава визуелизацију идеја и пројектних планова применом динамичких гантограма. Руководиоци пројекта могу лакше да организују комплексне идеје, повећају разумевање у комуникацији чланова тима, планирају ефикасније и брже спроводе идеје у акције. Програм је компатибилан са MS Project-ом и осталим Office алатима; [131]
- Business Planisware OPX2 Pro (1999, САД) – програм који служи за управљање пројектима, портфолио менаџмент, управљање ресурсима и контролу трошкова и буџета. Омогућава извођење „шта-ако“ анализе на основу датих сценарија, оптимизацију избора пројектата, генерисање прогноза и буџета, управљање инвестицијама итд; [132]
- Primavera Project Planner (1983, САД, добитник више награда, готово сваке године од којих је само за 2008. *Northface Scoreboard Award for “World-Class” Customer Service for Seventh Consecutive Year*) – фирма Примавера се убраја у водеће светске произвођаче софтвера за управљање пројектима, програмима и портфолио менаџмент. Ови софтвери су намењени свим типовима предузећа и помажу им у доношењу бољих инвестиционих одлука, минимизирању ризика, времена и трошкова, побољшавају управљање пројектима и ресурсима, са циљем да се постигну бољи резултати пословања. Број фирми-корисника се мери у десетинама хиљада, а број реализованих пројектата помоћу Примавера програма у трилионима. На слици 15.1.1. је приказ програма; [133]

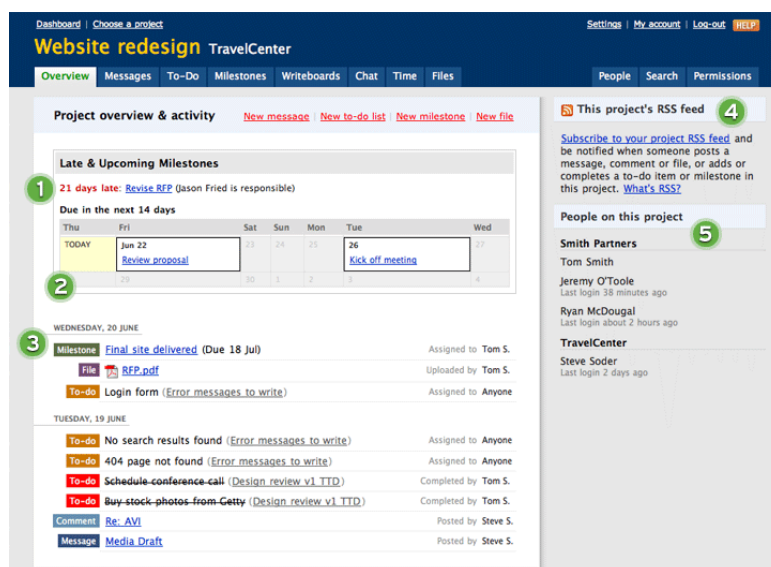


Слика 15.1.1. Primavera Project Planer

- RiskyProject (2004, Канада) – програм намењен првенствено управљању ризиком пројекта. Програм оптимизује ток пројекта, одређује вероватноћу утицаја ризика на распоред пројекта, прати реализацију пројекта заједно са ризиком и анализира ефекте предложених решења. Такође, одређује параметре са највећим утицајем на пројекат: трајање, трошкови, време завршетка са и без ризика, кључни догађаји, кључни ризици и рејтинг успеха. На тај начин повећава вероватноћу реализације пројекта у предвиђеном времену; [134]
 - Teamcenter (2007, САД) – програм који је осмишљен као свеобухватно решење за управљање животним циклусом производа (Product Lifecycle Management – PLM). Намењен је компанијама, у првом реду за комуникацију и креирање потребног скупа захтева као подршке одлучивању у животном циклусу производа. Подржава читав дијапазон управљања: материјалима, комуникацијама, инжењерским процесима, знањем предузећа, процесом производње, одржавањем, мехатроничким процесима, портфолио и пројектима, процесима симулације, односима набављача, системским инжењерством итд; [135]
4. Комерцијални веб базирани програми (Proprietary web-based applications)
- @task (2001, Јута, САД) – веб базирани, платформси независан пакет за управљање пројектом, који укључује управљање активностима, праћење реализације и времена, управљање документацијом пројекта и портфолио управљање; [136]
 - 24SevenOffice (1996, Норвешка, добитник више награда међу којима су: *Seal of Excellence*, 2004 на СеБИТ-у и *Product of the year 2005* од норвешког часописа *Kapital*) – програм који подржава планирање ресурса пројекта (Enterprise resource planning – ERP) и управљање односима са корисницима (Customer relationship management – CRM) за мала и средња предузећа. Омогућава: аутоматизацију продаје, управљање комуникацијама,

извештавање, дефинисање календара, дистрибуцију фајлова, управљање пројектом, онлајн састанке, аудио, видео и интерактивну продају; [137]

- AlterFiction (2004, Мумбаи, Индија) – програмски пакет који омогућава ERP, управљање пројектом, управљање пословањем, е-продају и консултовање; [138]
- Basecamp (1999, Чикаго, добитник је награде часописа *BusinessWeek*, Best of the Web, 2005. и 2006.) – програм који поседује алате за управљање пројектом, посебно за комуникацију чланова пројектног тима. На слици 15.1.2. је дат приказ пројекта у овом програму; [139]



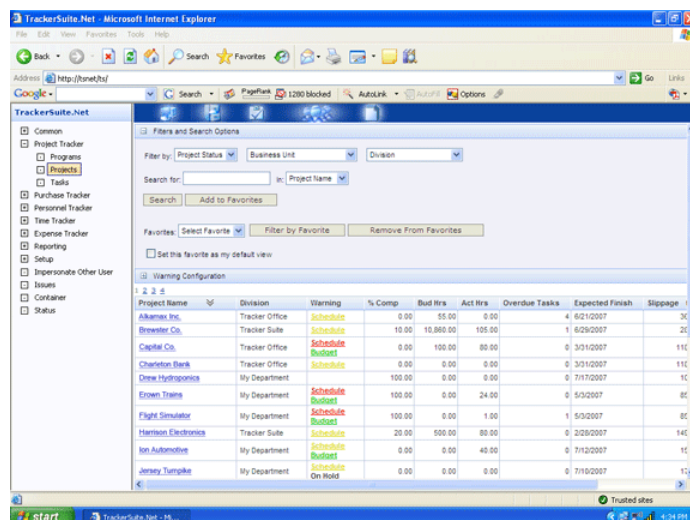
Слика 15.1.2. Приказ пројекта у Basecamp-у

- Central Desktop (2005, Калифорнија, Пасадена) – програм за ефикасну комуникацију чланова пројектног тима. Омогућава: календаре групе ресурса, рад у локалној и другим мрежама, сарадњу на пројекту, управљање активностима, веб и аудио конференције, дискусије у групама, форумима, претрагу, онлајн табеле података, iCal услугу; [140]
- Dartiv (1997, Вашингтон, Сиетл) – програм са окружењем лако прилагодљивим потребама управљања пројектом у његовим разним одељењима (информационе технологије, маркетинг, финансије, ресурси итд.) са опцијама једноставног конфигурисања, креирања форми, извештаја и подсетника. Компатибилан је са MS Project-ом и другим десктоп алатима. Подржава планирање пројекта, управљање пројектом, портфолио менаџмент, управљање ресурсима и сарадњом на пројекту; [141]
- GatherSpace (1990, Калифорнија, Санта Моника) – програм који у оквиру управљања пројектом подржава једноставно дефинисање услова потребних за успешну реализацију пројекта, комуникацију чланова пројектног тима, извештавање о пројекту, размену података итд; [142]

- Genius Inside (1997, Швајцарска, добитник награде *Lotus Software Award for Best Mid-Market Solution by IBM*, на годишњој конференцији *Lotushpere*, 2008.) – програм за управљање пројектима намењен средњим и великим предузећима, који поседује модуле за: портфолио управљање, управљање ресурсима, гантограме, управљање ризиком, комуникацију, документовање и компатибилан је са MS Project-ом. Покрива све кораке управљања пројектом, од селекције пројекта до његовог извршавања; [143]
- LiquidPlanner (2008, Вашингтон) – програм који је један од алтернатива MS Project-у, веб и SaaS базиран алат за управљање пројектом. Омогућава рад са активностима пројекта, планирање, сарадњу чланова пројектног тима и што је посебно битно, бави се управљањем променама и вероватноћом реализације активности. На тај начин нуди прецизније дефинисање планова пројекта; [144]
- Mingle (2006, Калифорнија, Сан Франциско) – програм за сарадњу чланова тима и агилно управљање ИТ пројектима. Прилагођава се начину рада чланова тима и тиме убрзава резултате пројекта; [145]
- OpenAir (1999, Масачусетс, Бостон) – програм који омогућава PSA (Professional Services Automation – софтвер који омогућава управљање пројектима, ресурсима, документовање, праћење времена, трошкова и извештавање о пројекту) и портфолио управљање пројектима на основу SaaS модела. Укључује управљање пројектима, временом, прашење трошкова итд, а не захтева ништа осим претраживача и приступа Интернету; [146]
- Oracle Applications (2007, САД) – овај назив указује на софтвере Oracle корпорације који се не односе на базе података. За потребе маркетинга постоји интегрисана група апликација *Oracle E-Business Suite* која обезбеђује пословне информације за подршку одлучивању и погодно окружење за дефинисање оптималних стратегија пословања. Она обухвата: управљање односима са клијентима (Customer Relationship Management – CRM), планирање ресурса предузећа (управљање финансијама, ресурсима и пројектима), управљање животим циклусом производа, управљање ланцима снабдевања, производњу итд; [147]
- Project Insight (2002, САД) – програм намењен средњим предузећима који спаја знање менаџера пројекта, који желе робусне алате управљања пројектом са члановима тима који желе једноставан софтвер за управљање пројектима. На тај начин они ефективније сарађују на реализацији пројекта. Једноставан је за коришћење са карактеристикама: веб базираност без потребе за додатним софтвером, интелигентно планирање пројекта, компатибилност са MS Project-ом, управљање ресурсима, извештавање о пројекту, примена шаблона пројекта и методологија управљања, јака заштита података и контрола приступа, праћење реализације пројекта, управљање трошковима; [148]

- ProjectPartner (2008, Нови Зеланд) – програм који за управљање пројектима и портфолио управљање захтева само Интернет или интранет приступ (преко SaaS модела) и претраживача Интернета. Омогућава брзи приступ појединостима задужења чланова тима, прорачун потребних ресурса са циљем максимизације ефикасности и остваривања постављених рокова, вишедимензионалне контролне извештаје, управљање трошковима пројекта итд; [149]
- Projectplace (1998, Шведска) – програм који поседује алате за управљање пројектом попут MS Project-а: планирање и праћење реализације пројекта, управљање комуникацијама, као и портал пројекта и дискусије преко форума; [150]
- Teamwork (2001, Италија, добитник награде *17th Jolt Productivity Award in 2007* у области управљања пројектом) – програм који је кориснички оријентисан и намењен управљању пословима и комуникацијама у било којој области. Компатибилан је са MS Project-ом, омогућава планирање и праћење реализације комплексних пројекта, управљање са више пројеката одједном (више од стотине) подешавање портала пројекта и комуникацију чланова тима, као и њихов допринос у управљању; [151]
- Trac+ (2008, Немачка) – софтвер за праћење и управљање пројектима који омогућава транспарентност у пројектима, праћење сваке врсте активности, подсетнике, праћење трошкова, контролу дозвола приступа, конфигурацију према потребама, извештавање, размену података са MS Project-ом. Подржава области управљања пројектима које дефинишу IEEE 1490 и PMBOK стандарди: управљање квалитетом, временом, обимом, ризиком, ресурсима и трошковима пројекта; [152]
- TrackerSuite.Net (1994, Аризона, Турксон, добитник је више награда: *Lotus Advisor Editors' Choice Award for Business Process Solutions*, 2006. и 2007. итд) – програм састављен од модула за веб оријентисано управљање пројектима, извештавање о времену и трошковима пројекта, куповини, управљању ресурсима итд. Доступан је преко Интернета или локалне мреже и компатибилан са многим програмима исте врсте, укључујући и MS Project. Постоји и десктоп верзија програма – TrackerSuite. На слици 15.1.3. је дат један приказ овог програма; [153]
- ValleySpeak Project Server (2001, Калифорнија, Сан Хозе) – софтвер за управљање пројектом и портфолио управљање (Project Portfolio Management – PPM – сврха портфолио управљања пројектима је оптимизација мноштва и редоследа предложених пројеката са циљем да се на најбољи начин остваре циљеви организације у односу на реална ограничења окружења. Овакво управљање укључује карактеристике као што су: укупни трошкови пројекта, потребни ресурси, предвиђено трајање и распоред инвестиција, очекиване карактеристике производа или услуге пројекта и повезаност са осталим пројектима). Он омогућава осигурано веб окружење MS Project (при чему он није неопходан) корисницима и

члановима тима ажурирање задужења у њиховим пројектима у реалном времену; [154]



Слика 15.1.3. TrackerSuite.Net

- VPMi (1998, Колорадо, Денвер и Индија, Калкута) – софтвер за управљање пројектом и портфолио управљање намењен компанијама за увид у хартије од вредности, распореде и стратегије пројекта, трошкове, обим, ресурсе и документе. Креирање софтвера је делом било усмерено на превазилажење тешкоћа у комуникацији између пословних јединица и ИТ подршке компаније. Програм омогућава кориснику једноставну контролу, подржава PMI PMBOK смернице, шаблоне, управљање ресурсима, буџетом, компатибилан је са MS Project-om итд; [155]
- Wrike (2004, САД, добитник је награде *eWEEK's 8th annual Excellence Awards program*) – интегрисано онлајн решење за управљање пројектима, тимовима и пословањем. Укључује колективну интелигенцију (облик интелигенције који произилази из сарадње и такмичења више индивидуа) у управљање пројектом, при чему чланови тима креирају листу активности, дискутују, раде заједно на реализацији, прате и контролишу реализацију пројекта и на тај начин доприносе процесу управљања. Посебна вредност програма је децентрализовано ажурирање пројекта захваљујући подједнаким дозволама за онлајн приступ одређеним члановима тима; [156]
- Zoho Projects (1996, САД) – програм који је део пакета Zoho Office Suite (пакет обухвата обраду текста, табела, презентација, база података, викија (део програма на серверу који корисницима омогућава окружење за креирање и измену веб страна без обзира на претраживач), управљање пројектима, управљање односима са клијентима итд.). Као такав, независан је од оперативног система, компатибилан је са MS Office, OpenOffice и осталим пакетима. Омогућава операције са активностима пројекта, дефинисање календара, гантограма, праћење реализације пројекта, комуникацију чланова тима преко форума итд; [157]

15.3. B – Подаци коришћени за статистичку обраду резултата истраживања

					Процент 1	Процент 2				Коефицијент квалитета модела	Процент промене
Редни број	Назив пројекта	Планирано трајање	Стварно трајање	Стандардна девијација	0.0825491	0.068889187	Кларково трајање	Кларкова стандардна девијација	Вероватноћа реализације	0.714285714	9.034346029
1	LADY M	66	66	0	0	0	68.81	4.06	0.755568457	1	4.257575758
2	Израда темеља за бушеће постројење Ајдеко I	61	31	14.28571429	0.23419204	0.460829493	66.46	7.92	0.754712302	0	8.950819672
3	Израда темеља за бушеће постројење Ајдеко VII	21	34	6.19047619	0.29478458	0.182072829	22.88	2.74	0.75368487	0	8.952380952
4	Изградња гасовода RG 08-08 Свилајнац	50	37	6.19047619	0.12380952	0.167310167	54.47	6.54	0.752850178	0	8.94
5	Изградња двосмерног гасовода DV 04-18 GRČ Госпођинци – PSG Банатски Двор	250	534	135.2380952	0.54095238	0.25325486	272.36	32.6	0.753608626	0	8.944
6	Двор 2	31	45	6.666666667	0.21505376	0.148148148	33.77	4.06	0.752464619	0	8.935483871
7	Уградња подизача нивоа	59	29	14.28571429	0.24213075	0.492610837	64.28	7.66	0.75468119	0	8.949152542
8	Замена гасовода SSII до KS Елемир RN-2	66	80	6.666666667	0.1010101	0.083333333	71.9	8.64	0.752655621	1	8.939393939
9	Израда издувног лонца C&B	48	57	4.285714286	0.08928571	0.07518797	52.29	6.28	0.752734813	1	8.9375
10	Израда издувног лонца FRENKS	54	83	13.80952381	0.25573192	0.166379805	58.83	7.03	0.753976115	0	8.944444444
11	Уградња лонац пумпе	90	123	15.71428571	0.17460317	0.12775842	98.05	11.72	0.753914544	0	8.944444444
12	Повезивање бушотине МК	31	45	6.666666667	0.21505376	0.148148148	33.77	4.06	0.752464619	0	8.935483871
13	Поправка дегазатора	269	301	15.23809524	0.05664719	0.050624901	293.06	35.07	0.753661247	1	8.944237918
14	II гасовод	96	128	15.23809524	0.15873016	0.119047619	104.59	12.5	0.754021648	0	8.947916667
15	Реконструкција грејања на новом комплексу I фаза	79	148	32.85714286	0.4159132	0.222007722	86.06	10.34	0.75262874	0	8.936708861
16	Израда двоструког вибратора (2 комада)	102	180	37.14285714	0.36414566	0.206349206	111.12	13.33	0.753066417	0	8.941176471
17	Сервис лаке механизације	125	125	0	0	0	136.18	16.3	0.753608626	1	8.944
18	Сервис тешке механизације	59	59	0	0	0	64.28	7.66	0.75468119	1	8.949152542

19	Рок оперативности групе за израду ценовода 26"	155	155	0	0	0	168.86	20.24	0.753259444	1	8.941935484
20	Сервисирање самоходног заваривачког агрегата	19	19	0	0	0	20.7	2.48	0.753480682	1	8.947368421
21	Сервисирање Aweling-Marshall	15	15	0	0	0	16.34	1.96	0.75290931	1	8.933333333
22	Мрестилиште	105	105	0	0	0	114.39	13.71	0.75329697	1	8.942857143
23	Извођење радова „Конзул“ Футог	81	81	0	0	0	88.24	10.6	0.75270254	1	8.938271605
24	Сервисно пр. центар	109.13	109.13	0	0	0	118.89	14.18	0.754365972	1	8.943461926
25	Градилиште „Јеер Commerce“	42	42	0	0	0	45.76	5.44	0.755272676	1	8.952380952
26	Спортска хала Зрењанин	100	100	0	0	0	108.94	13.07	0.753015316	1	8.94
27	Завршни радови I фазе спортска хала Сонта	50	50	0	0	0	54.47	6.54	0.752850178	1	8.94
28	Завршни радови II фазе спортска хала Сонта	45	45	0	0	0	49.2	5.9	0.761725628	1	9.333333333
29	Изградња „Градског гробља“ у Зрењанину	46	46	0	0	0	50.12	5.96	0.755303683	1	8.956521739
30	Завршни радови на градилишту „Градско гробље“ Зрењанин	66	66	0	0	0	71.9	8.64	0.752655621	1	8.939393939
31	Радови на објекту „Градска библиотека“ Зрењанин	41	41	0	0	0	44.67	5.33	0.754448435	1	8.951219512
32	Радови на објекту „Реформаторска црква“ Зрењанин	85	85	0	0	0	92.6	11.12	0.752839755	1	8.941176471
33	Проширење простора за производњу пива	46	46	0	0	0	50.12	5.96	0.755303683	1	8.956521739
34	Извођење радова на стамбено-пословном објекту В2 у блоку 29 на Новом Београду	415	415	0	0	0	452.12	54.11	0.753646592	1	8.944578313
35	Доградња и реконструкција прераде 2 АД „Полет“ Бечеј ИГК – Нови Бечеј	88	88	0	0	0	95.87	11.49	0.75331019	1	8.943181818

36	Изградња пропуста на укрштању пута М-24 и александровачког канала	29	29	0	0	0	31.59	3.8	0.752247385	1	8.931034483
37	Изградња управне зграде са магацином у Лештанима	119	119	0	0	0	129.64	15.55	0.753089567	1	8.941176471
38	Изградња темеља котла у кругу индустрије уља „Дијамант“ АД Зрењанин	20	20	0	0	0	21.79	2.59	0.755254837	1	8.95
39	Изградња пословно-стамбеног објекта „29. новембар“ у Зрењанину I анекс	377	377	0	0	0	410.72	49.15	0.753663332	1	8.944297082
40	Изградња пословно-стамбеног објекта „Нафтагас“	314	314	0	0	0	334.79	30.33	0.753473135	1	6.621019108
41	Изградња Медицинске школе у Зрењанину	298	298	0	0	0	324.65	38.87	0.753523216	1	8.94295302
42	Завршни радови на градилишту „Пекабета“	22	22	0	0	0	23.97	2.85	0.755288887	1	8.954545455
43	NG-274-Revision	148	169	10	0.06756757	0.059171598	169	33.8	0.732799457	1	14.18918919
			115.98				111.876512				
			13795.105				11265.6492				

15.4. Г – Садржај програмираног материјала

За вежбу *Тестирање модела за одређивање трајања пројекта* користити планове са студентског диска и фолдера **Upravljanje projektima\Testiranje modela** према следећем упутству.

Израчунавање Кларковог трајања

Учитавати редом пројектне планове из горе наведеног фолдера са редним бројевима од 1 до 43 и за сваки од њих:

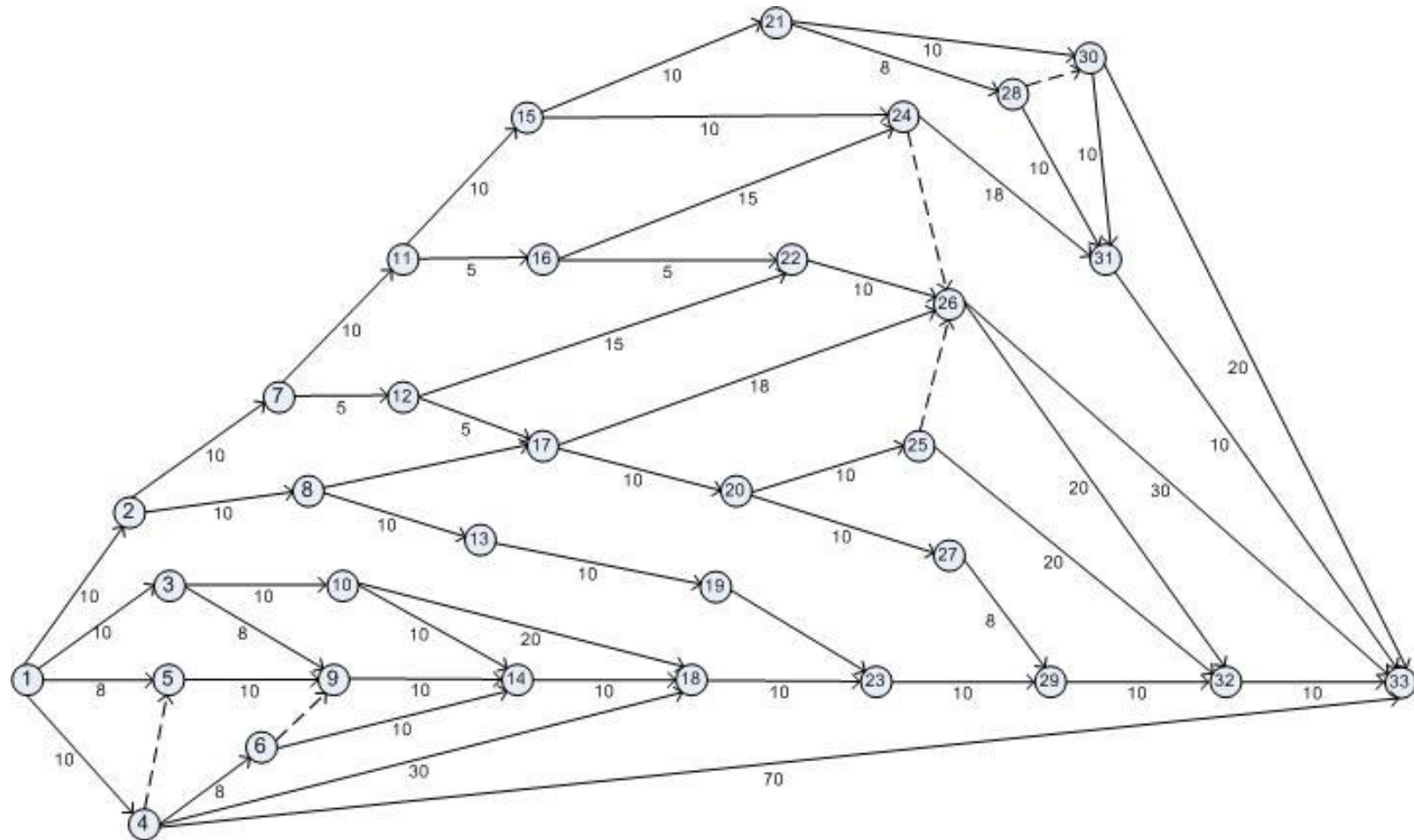
- активирати приказ **Clak's Duration**;
- приказати збирну активност пројекта: Tools – Options – View – Show project summary task и само ту активност за цео пројекат;
- уколико је вредност у колони **Baseline Duration** једнака нули снимити полазни план: Tools – Tracking – Set Baseline – Save;
- уколико је вредност у колони **Baseline1 Duration** једнака нули снимити још један полазни план: Tools – Tracking – Set Baseline – Baseline1 – Save;
- покренути Testiranje modela.xls из горе наведеног фолдера и у њега преписати податак из поља **Кларково трајање** у истоимену колону за одговарајући пројектни план;
- у исту табелу преписати и податак **Кларкова стандардна девијација**;
- након попуњавања *.xls табеле подацима свих планова из узорка на нивоу групе, одредити вредности поља: **Вероватноћа реализације** и **Коефицијент успешности модела**;

Процена трошкова пројекта на основу Кларковог трајања

За процену трошкова пројекта одабрати један од планова из предложене групе узорка и:

- креирати произвољну банку ресурса и дефинисати њихове појединости, посебно трошкове;
- распоредити ресурсе на активности по личном нахођењу;
- активирати табелу Cost ради увида у укупне трошкове пројекта према полазном плану;
- унети овај податак у *.xls табелу и утврдити колики су трошкови према процењеном – Кларковом трајању пројекта;
- анализирати добијене податке.

15.5. Д – Пример суперпозиције сложене мреже на основу Монте Карло симулације



Слика 15.5.1. Пример сложене мреже

Потребно је симулирати трајања критичних токова према подацима са слике 15.5.1. и одредити трајање пројекта на основу суперпозиције. Претпоставка је да су трајања критичних и субкритичних токова нормално распоређена. Према томе су за израчунате средње вредности и стандардне девијације токова (табеле 15.5.1. и 15.5.2.) симулирана трајања у Mathcad-у.

Табела 15.5.1. Средње трајање и стандардна девијација активности сложене мреже

Редни број	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
I-J	1-2	1-3	1-4	1-5	2-7	2-8	3-9	3-10	4-6	4-18	4-33	5-9	6-14	7-11	7-12	8-13	8-17	9-14	10-14
активности	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₂₇	X ₂₈	X ₃₉	X ₃₁₀	X ₄₆	X ₄₁₈	X ₄₃₃	X ₅₉	X ₆₁₄	X ₇₁₁	X ₇₁₁	X ₈₁₃	X ₈₁₇	X ₉₁₄	X ₁₀₁₄
t _{ij}	10	10	10	8	10	10	8	10	8	30	70	10	10	10	5	10	10	10	10
σ _{ij}	1	1	1	0.8	1	1	0.8	1	0.8	3	7	1	1	1	0.5	1	1	1	1

Редни број	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
I-J	10-18	11-15	11-16	12-17	12-22	13-19	13-20	14-18	15-21	15-24	16-22	16-24	17-20	17-26	18-23	19-23
активности	X ₁₀₁₈	X ₁₁₁₅	X ₁₁₁₆	X ₁₂₁₇	X ₁₂₂₂	X ₁₃₁₉	X ₁₃₂₀	X ₁₄₁₈	X ₁₅₂₁	X ₁₅₂₄	X ₁₆₂₂	X ₁₆₂₄	X ₁₇₂₀	X ₁₇₂₆	X ₁₈₂₃	X ₁₉₂₃
t _{ij}	20	10	5	5	15	10	10	10	10	10	5	15	10	18	10	8
σ _{ij}	2	1	0.5	0.5	1.5	1	1	1	1	1	0.5	1.5	1	1.8	1	0.8

Редни број	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
I-J	19-27	20-25	20-27	21-28	21-30	22-26	23-29	24-31	25-32	26-32	26-33	27-29	28-31	29-32	30-31	30-33	31-33
активности	X ₁₉₂₇	X ₂₀₂₅	X ₂₀₂₇	X ₂₁₂₈	X ₂₁₃₀	X ₂₂₂₆	X ₁₄₁₈	X ₂₄₃₁	X ₂₅₃₂	X ₂₆₃₂	X ₂₆₃₃	X ₂₇₂₉	X ₂₈₃₁	X ₂₉₃₂	X ₃₀₃₁	X ₃₀₃₃	X ₃₁₃₃
t _{ij}	10	10	10	8	10	10	10	18	20	20	30	8	10	10	10	20	10
σ _{ij}	1	1	1	0.8	1	1	1	1.8	2	2	3	0.8	1	1	1	2	1

Табела 15.5.1. Средње трајање и стандардна девијација активности сложене мреже

Редни број	Путање	Дужине	Девијације	Ознака у Mathcad-у
1.	1-2-7-11-15-21-28-30-33	78	$\sqrt{5 + 0.8^2 + 2^2}$	t24
2.	1-2-7-11-15-21-28-30-31-33	78	$\sqrt{7 + 0.8^2}$	t25
3.	1-2-7-11-15-21-28-31-33	78	$\sqrt{7 + 0.8^2}$	t26
4.	1-2-7-11-15-21-30-33	80	$\sqrt{6 + 2^2}$	t1
5.	1-2-7-11-15-24-26-32-33	80	$\sqrt{6 + 2^2}$	t2
6.	1-2-7-11-15-24-26-33	80	$\sqrt{5 + 3^2}$	t3
7.	1-2-7-11-15-24-31-33	78	$\sqrt{6 + 1.8^2}$	t27
8.	1-2-7-11-16-24-26-32-33	80	$\sqrt{4 + 1.5^2 + 2^2 + 0.5^2}$	t4
9.	1-2-7-11-16-24-26-33	80	$\sqrt{3 + 1.5^2 + 3^2 + 0.5^2}$	t5
10.	1-2-7-11-16-24-31-33	78	$\sqrt{4 + 1.5^2 + 1.8^2 + 0.5^2}$	t28
11.	1-2-7-11-16-22-26-32-33	80	$\sqrt{5 + 2^2 + 2 \cdot 0.5^2}$	t6
12.	1-2-7-11-16-22-26-33	80	$\sqrt{4 + 3^2 + 2 \cdot 0.5^2}$	t7
13.	1-2-7-12-22-26-32-33	80	$\sqrt{4 + 2^2 + 1.5^2 + 0.5^2}$	t8
14.	1-2-7-12-22-26-33	80	$\sqrt{3 + 3^2 + 1.5^2 + 0.5^2}$	t9
15.	1-2-7-12-17-26-32-33	78	$\sqrt{3 + 2^2 + 1.8^2 + 2 \cdot 0.5^2}$	t29
16.	1-2-7-12-17-26-33	78	$\sqrt{2 + 3^2 + 1.8^2 + 2 \cdot 0.5^2}$	t30
17.	1-2-7-12-17-20-25-26-32-33	80	$\sqrt{5 + 2^2 + 2 \cdot 0.5^2}$	t10
18.	1-2-7-12-17-20-25-26-33	80	$\sqrt{5 + 2^2 + 2 \cdot 0.5^2}$	t11
19.	1-2-7-12-17-20-25-32-33	80	$\sqrt{5 + 2^2 + 2 \cdot 0.5^2}$	t12
20.	1-2-7-12-17-20-27-29-32-33	78	$\sqrt{6 + 0.8^2 + 2 \cdot 0.5^2}$	t31
21.	1-2-8-17-26-32-33	78	$\sqrt{4 + 2^2 + 1.8^2}$	t32
22.	1-2-8-17-26-33	78	$\sqrt{3 + 3^2 + 1.8^2}$	t33
23.	1-2-8-17-20-25-26-32-33	80	$\sqrt{6 + 2^2}$	t13
24.	1-2-8-17-20-25-26-33	80	$\sqrt{5 + 3^2}$	t14
25.	1-2-8-17-20-25-32-33	80	$\sqrt{6 + 2^2}$	t15
26.	1-2-8-17-20-27-29-32-33	78	$\sqrt{7 + 0.8^2}$	t34
27.	1-2-8-13-20-25-26-32-33	80	$\sqrt{6 + 2^2}$	t16
28.	1-2-8-13-20-25-26-33	80	$\sqrt{5 + 3^2}$	t17
29.	1-2-8-13-20-25-32-33	80	$\sqrt{6 + 2^2}$	t18
30.	1-2-8-13-20-27-29-32-33	78	$\sqrt{7 + 0.8^2}$	t35
31.	1-2-8-13-19-23-29-32-33	78	$\sqrt{7 + 0.8^2}$	t36
32.	1-2-8-13-19-27-29-32-33	78	$\sqrt{7 + 0.8^2}$	t37
33.	1-3-10-18-23-27-32-33	80	$\sqrt{6 + 2^2}$	t19
34.	1-3-10-14-18-23-27-32-33	80	$\sqrt{8}$	t20
35.	1-3-9-14-18-23-27-32-33	78	$\sqrt{7 + 0.8^2}$	t38
36.	1-4-5-9-14-18-23-29-32-33	80	$\sqrt{8}$	t21
37.	1-4-6-9-14-18-23-29-32-33	78	$\sqrt{7 + 0.8^2}$	t39
38.	1-4-6-14-18-23-29-32-33	78	$\sqrt{7 + 0.8^2}$	t40
39.	1-4-18-23-29-32-33	80	$\sqrt{5 + 3^2}$	t22
40.	1-4-33	80	$\sqrt{50}$	t23
41.	1-5-9-14-18-23-29-32-33	78	$\sqrt{7 + 0.8^2}$	t41

$\mu_1 := 80$ $\sigma_1 := \sqrt{10}$ $\mu_{11} := 80$ $\sigma_{11} := \sqrt{9.5}$ $\mu_{21} := 80$ $\sigma_{21} := \sqrt{8}$ $\mu_{31} := 78$ $\sigma_{31} := \sqrt{7.14}$
 $\mu_2 := 80$ $\sigma_2 := \sqrt{10}$ $\mu_{12} := 80$ $\sigma_{12} := \sqrt{9.5}$ $\mu_{22} := 80$ $\sigma_{22} := \sqrt{14}$ $\mu_{32} := 78$ $\sigma_{32} := \sqrt{11.24}$
 $\mu_3 := 80$ $\sigma_3 := \sqrt{14}$ $\mu_{13} := 80$ $\sigma_{13} := \sqrt{10}$ $\mu_{23} := 80$ $\sigma_{23} := \sqrt{50}$ $\mu_{33} := 78$ $\sigma_{33} := \sqrt{15.24}$
 $\mu_4 := 80$ $\sigma_4 := \sqrt{10.5}$ $\mu_{14} := 80$ $\sigma_{14} := \sqrt{14}$ $\mu_{24} := 78$ $\sigma_{24} := \sqrt{9.64}$ $\mu_{34} := 78$ $\sigma_{34} := \sqrt{7.64}$
 $\mu_5 := 80$ $\sigma_5 := \sqrt{14.5}$ $\mu_{15} := 80$ $\sigma_{15} := \sqrt{10}$ $\mu_{25} := 78$ $\sigma_{25} := \sqrt{7.64}$ $\mu_{35} := 78$ $\sigma_{35} := \sqrt{7.64}$
 $\mu_6 := 80$ $\sigma_6 := \sqrt{9.5}$ $\mu_{16} := 80$ $\sigma_{16} := \sqrt{10}$ $\mu_{26} := 78$ $\sigma_{26} := \sqrt{7.64}$ $\mu_{36} := 78$ $\sigma_{36} := \sqrt{7.64}$
 $\mu_7 := 80$ $\sigma_7 := \sqrt{13.5}$ $\mu_{17} := 80$ $\sigma_{17} := \sqrt{14}$ $\mu_{27} := 78$ $\sigma_{27} := \sqrt{9.24}$ $\mu_{37} := 78$ $\sigma_{37} := \sqrt{7.64}$
 $\mu_8 := 80$ $\sigma_8 := \sqrt{10.5}$ $\mu_{18} := 80$ $\sigma_{18} := \sqrt{10}$ $\mu_{28} := 78$ $\sigma_{28} := \sqrt{9.74}$ $\mu_{38} := 78$ $\sigma_{38} := \sqrt{7.64}$
 $\mu_9 := 80$ $\sigma_9 := \sqrt{14.5}$ $\mu_{19} := 80$ $\sigma_{19} := \sqrt{10}$ $\mu_{29} := 78$ $\sigma_{29} := \sqrt{10.74}$ $\mu_{39} := 78$ $\sigma_{39} := \sqrt{7.64}$
 $\mu_{10} := 80$ $\sigma_{10} := \sqrt{9.5}$ $\mu_{20} := 80$ $\sigma_{20} := \sqrt{8}$ $\mu_{30} := 78$ $\sigma_{30} := \sqrt{14.74}$ $\mu_{40} := 78$ $\sigma_{40} := \sqrt{7.64}$

 $N := 500$ $\mu_{41} := 78$ $\sigma_{41} := \sqrt{7.64}$

$i := 0..N - 1$

$t1 := \text{mnorm}(N, \mu_1, \sigma_1)$

$t1^T =$		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0	78.612	77.852	78.503	76.991	74.669	80.138	79.619	81.76	86.931	82.557

$t2 := \text{mnorm}(N, \mu_2, \sigma_2)$

$t2^T =$		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0	81.702	79.595	77.72	83.108	78.343	85.532	74.64	84.83	87.562	79.257

$t3 := \text{mnorm}(N, \mu_3, \sigma_3)$

$t3^T =$		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0	82.373	81.093	80.529	81.301	78.565	79.738	76.394	77.908	72.304	79.38

...

t39 := mnorm(N, μ39, σ39)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	70.298	83.443	72.93	71.462	75.909	79.325	80.993	78.004	76.549	81.429

t40 := mnorm(N, μ40, σ40)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	75.505	84.587	79.284	79.934	81.706	80.969	75.193	75.504	74.44	76.638

t41 := mnorm(N, μ41, σ41)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	72.106	75.701	74.974	75.423	77.11	82.746	80.383	78.578	82.586	79.384

t123_i := max(t1_i, t2_i, t3_i, t4_i, t5_i, t6_i, t7_i, t8_i, t9_i, t10_i, t11_i, t12_i, t13_i, t14_i, t15_i, t16_i, t17_i, t18_i, t19_i, t20_i, t21_i, t22_i, t23_i)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	86.452	85.141	88.606	85.338	88.352	85.532	87.779	84.83	87.562	96.825

mean(t123) = 87.205 stdev(t123) = 2.555

t2441_i := max(t24_i, t25_i, t26_i, t27_i, t28_i, t29_i, t30_i, t31_i, t32_i, t33_i, t34_i, t35_i, t36_i, t37_i, t38_i, t39_i, t40_i, t41_i)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	81.096	85.033	84.407	86.265	83.838	84.753	84.99	84.871	82.586	84.98

t141_i := max(t123_i, t2441_i)

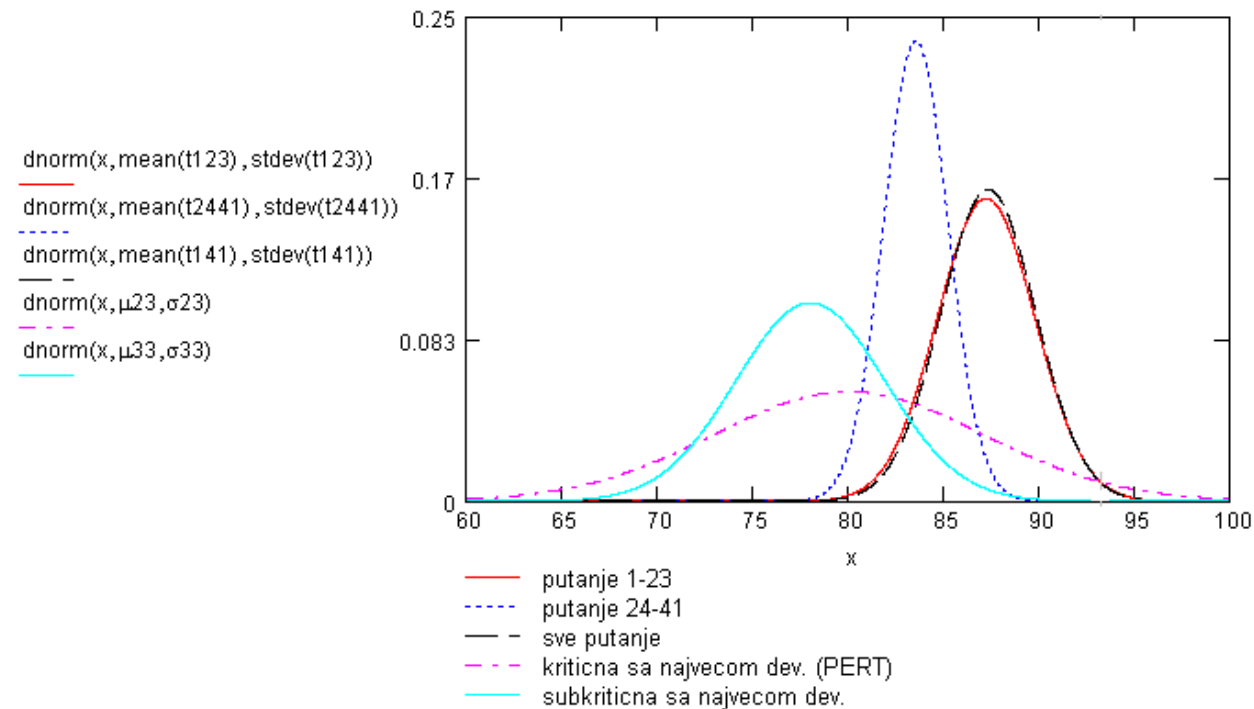
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	86.452	85.141	88.606	86.265	88.352	85.532	87.779	84.871	87.562	96.825

mean(t141) = 87.318 stdev(t141) = 2.483

$$pPERT := 1 - \left[\text{cnorm} \left[\frac{\left(80 + \frac{3 \cdot \sqrt{50}}{2} \right) - 80}{\sqrt{50}} \right] \right] \quad pPERT \cdot \% = 6.681 \times 10^{-4}$$

$$pMC := 1 - \left[\text{cnorm} \left[\frac{\left(80 + \frac{3 \cdot \sqrt{50}}{2} \right) - \text{mean}(t141)}{\text{stdev}(t141)} \right] \right] \quad pMC \cdot \% = 9.268 \times 10^{-4}$$

x := 60, 60.01 .. 100



Слика 15.5.2. Резултат суперпозиције критичних токова на основу симулације у односу на решење PERT методе

15.6. Ђ – Пројектни планови из узорка – електронски прилог