



[1] 2013 1[1]

АГГ+ часопис за архитектуру, грађевинарство, геодезију и сродне научне области
ACEG+ Journal for Architecture, Civil Engineering, Geodesy and other related scientific fields

214-225

Стручни рад | Professional paper

UDK | UDC 624.041.042.7

DOI 10.7251/AGGPLUS1301214S

Рад примљен | Paper received 16/11/2013

Рад прихваћен | Paper accepted 30/11/2013

Миленко Станковић

Архитектонско-грађевински факултет Универзитета у Бањалуци, Војводе Степе Степановића 77/3, Бањалука

Горан Ђировић

Висока грађевинско-геодетска школа у Београду, Хајдук Станкова 2, Београд, Србија

Снежана Митровић

Висока грађевинско-геодетска школа у Београду, Хајдук Станкова 2, Београд, Србија

Наташа Поповић-Милетић

Архитектонско-грађевински факултет Универзитета у Бањалуци, Војводе Степе Степановића 77/3, Бањалука

ПРЕГЛЕД МЕТОДА И
ТЕХНИКА ПЛАНИРАЊА И
РЕПЛАНИРАЊА
ГРАЂЕВИНСКИХ ПРОЈЕКТА

A REVIEW OF TECHNIQUES AND
METHODS FOR PROJECT
PLANNING AND RE-PLANNING IN
CONSTRUCTION

Стручни рад
Professional paper
Рад примљен | Paper accepted
30/11/2013
УДК | UDC
624.041.042.7
DOI
10.7251/AGGPLUS1301214S

Миленко Станковић

Архитектонско-грађевински факултет Универзитета у Бањалуци, Војводе Степе Степановића 77/3, Бањалука

Горан Ђировић

Висока грађевинско-геодетска школа у Београду, Хајдук Станкова 2, Београд, Србија

Снежана Митровић

Висока грађевинско-геодетска школа у Београду, Хајдук Станкова 2, Београд, Србија Снежана

Наташа Поповић-Милетић

Архитектонско-грађевински факултет Универзитета у Бањалуци, Војводе Степе Степановића 77/3, Бањалука

ПРЕГЛЕД МЕТОДА И ТЕХНИКА ПЛАНИРАЊА И РЕПЛАНИРАЊА ГРАЂЕВИНСКИХ ПРОЈЕКТА

АПСТРАКТ

Методологија планирања пројекта изучава се релативно дуго. До данас су развијене многе технике и методе за прецизно планирање. У раду је приказана анализа техника и метода планирања и репланирања грађевинских пројеката. Урађена је компарација СРМ и ССМ методе, као и PERT и осталих пробабилистичких метода и утврђени неопходни услови за њихову примјену. Традиционалне технике мрежног планирања СРМ и PERT су највише примјењиване протеклих деценија. Одступање од планираног рока завршетка пројекта честа је појава у градитељству. На успјех пројекта утичу бројни фактори. Нереалан мрежни план искувише је често главни разлог кашњења пројекта.

Кључне ријечи: планирање пројекта, мрежно планирање, мрежни дијаграм, СРМ метода, ССМ метода, PERT метода.

A REVIEW OF TECHNIQUES AND METHODS FOR PROJECT PLANNING AND RE-PLANNING IN CONSTRUCTION

ABSTRACT

Project scheduling methodology has been studied widely, and various tools have been developed for accurate scheduling. In this paper an analysis of the techniques and methods for project planning and re-planning in construction is presented. A comparison was made among CPM and CCM methods, PERT and other probabilistic methods and necessary conditions to apply each of these techniques were determined. Traditional network scheduling techniques, CPM and PERT have been widely applied for the past decades. However, schedule delays often occur in many construction projects. A multitude of reasons affect the success of a project and unrealistic schedules is often the main reason for project failure.

Keywords: Project Scheduling, Network Planning, Network Diagram, CPM Method, CCM Method, PERT Method.

1. УВОД

Планирање, управљање и оптимизације значајне су за многе области градитељства. У пословању домаћих грађевинских предузећа кашњење у реализацији пројекта и неквалитено изведени радови су честа појава.

Тачна процјена трајања пројекта утиче на уштеде у времену и трошковима и смањује ризик реализације пројекта. Одређивање трајања пројекта обједињује више научних дисциплина. Узмемо ли за примјер област управљања пројектима и његове технике, незаобилазне су методе операционих истраживања, нарочито у оквиру мрежног планирања, ту су математичко моделирање и симулација, економске науке, као и друге дисциплине.

Методе мрежног планирања реализацију пројекта представљају графички, помоћу дијаграма (плана). Израда мрежног плана представља процес уређења свих активности у пројекту у логичну мрежу, у складу са ограничењима и везама између активности, и одређивања времена изградње пројекта. Данас постоји много метода за мрежно планирање. Да би се побољшало рјешење, у пракси се често користи комбинација више метода за мрежно планирање. Ове методе се могу подијелити у различите групе као што су: детерминистичке методе, недетерминистичке методе, оптимизационе методе, хеуристичке методе и друге.

Најпознатије методе мрежног планирања су метода критичног пута CPM и метода оцјене и ревизије PERT. Обје методе су настале средином минулог вијека, али и даље се налазе у основи савремених истраживања.

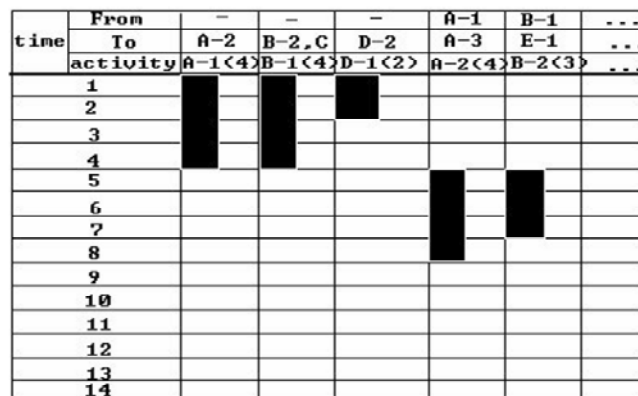
2. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ

Технике мрежног планирања пројекта су релативно младе технике, с обзиром на то да су настале 50-тих година прошлог вијека. Упркос томе, планирање је човјечанству познато много прије. Пирамиде у Египту су старе преко 3.000 година и њихова изградња се свакако планирала. Сун Тзу је, прије 2.500 година, писао о планирању и стратегији планирања војних подухвата. Кинески зид, римски аквадукти, мостови, колосеуми и многа античка здања су изграђена прије више од 2.000 година. Трансконтинентална жељезница у САД-у се градила прије 200 година. Она је у то вријеме била значајан подухват, који се морао планирати. Њена изградња је била потпуно базирана на комерцијалним и економским основама. Методе и технике планирања изградње здања изграђених до краја 19 вијека, нису нам познате, јер не постоје докази формалних техника за планирање. Прве, формалне, технике планирања настале су крајем 19. вијека.

Најранију технику планирања, хармониграф, осмислио је пољски научник Карол Адамиецки 1896. године у Пољској. Први пут је објавио свој граф тек 1931. године у раду "Хармонограф". Адамиецкијев хармониграф је сличан гантограму. Конструира се у координатном систему, гдје се на ординати (вертикалној оси са лијеве стране) наноси вријеме, а на апсциси (хоризонтална оса на врху) се налази списак активности. Активности се приказују правоугаонцима, чија дужина је пропорционална трајању активности [1]. На Адамиецкијевом хармониграфу су такође уписани слиједећи подаци о активностима: трајање активности, претходне и наредне активности. На слици 1 је

приказан примјер Адамиецкијевог хармониграфа. Упркос наведеном, ова техника планирања није постала популарна у свијету због непопуларности пољског језика. Користила се у Пољској од 1896. године, али је званично приказана свијету тек 1931. године, када је гантограм већ био откривен и увелико се користио за планирање.

Гантограм је осмислио амерички инжењер Хенри Гант (Henry L. Gantt) 1917. године, за потребе планирања изградње бродова у Првом свјетском рату. То је техника за визуелно планирање пројеката, која је убрзо постала општеприхваћена у свијету. Због добре прегледности и сликовитог, једноставног праћења реализације пројекта, представља најпознатију технику планирања пројеката. Гантограм је линијски (графички) план, који се састоји од координатног система, у коме је на апсциси назначено вријеме у одређеним временским јединицама (минут, сат, дан, итд.), а на ординати су активности, које се приказују линијама или правоугаоницима, чија дужина је пропорционална трајању (времену извршења) сваке активности. То је метода планирања која се највише користи.



Слика 1. Адамиецкијев хармониграф [1]

Метода кључних догађаја (*Milestone Method*) се користи од 1950-тих. Кључни догађаји представљају најважније активности у пројекту или у појединим фазама пројекта и њихова трајања су најчешће фиктивна. Они означавају завршетак или почетак значајне фазе пројекта, дефинисани организационо-технолошком структуром пројекта. Израда плана реализације једног пројекта јесте процес који се назива израда плана кључних догађаја или гантограма кључних догађаја. Помоћу методе кључних догађаја прати се одговарајуће временско напредовање у пројекту.

Крајем 50-тих година 20. вијека долази до развоја техника мрежног планирања. Настале су за потребе планирања и контроле дугорочних и сложених, прије свега, војних пројеката. Усљед уочених енормних прекорачења рокова и трошкова крупних војних пројеката и слабости дотадашњих метода за планирање и контролу реализације пројекта, пришло се развијању нових метода способних да обухвате огромну сложеност пројеката и такође огроман број учесника у реализацији пројеката. Тако су настале првобитне методе мрежног планирања СРМ и PERT, које су временом ушле у широку употребу и данас представљају незамјенљиво средство за планирање, праћење и контролу, односно за ефикасно управљање сложеним, дуготрајним и скупим пројектима.

Крајем 1956. године, фирма *E.I. du Pont de Nemours and co.* започела је рад на развоју система планирања за радове на одржавању и генералном ремонту у хемијској индустрији (високо аутоматизовани погони) у сарадњи са фирмом *Remington Rand*. Почетком 1957. израђен је приједлог мрежног планирања времена, чија је значајна тачка била раздвајање анализе времена од анализе структуре. Овај поступак је прво био назван *Production Planning and Scheduling System*, а затим *Critical Path Method (CPM)*. Метода је била врло успјешно примијењена при изградњи нових производних погона, а затим и при планирању ремонтних радова. Заслуге за разраду методе припадају *J. E. Kelly*-у и *M. R. Walker*-у, који су након активног учешћа у поменутих експериментима у хемијској индустрији написали и прву оригиналну студију са изнијетим основним поставкама. Студија је објављена 1959. године, под називом *Critical Path Planning and Scheduling*, на конференцији *Eastern Joint Computer Conference* [2].

PERT метода је развијена 1958. године у оквиру реализације пројекта развоја ракетног система *Polaris*, за потребе морнарице Сједињених Америчких Држава, који је спроведен 1950-тих година. Методу је развила група Бироа за специјалне пројекте америчке морнарице (*Special Project Office of the Navy*), под вођством *W. Fazar*-а, заједно са стручњацима фирме *Locheed* и консултантима фирме *Booz, Allen and Hamilton*. Метода се прво звала *Program Evaluation Research Task*, па је послије име промијењено у *Program Evaluation Review Techniques* или PERT. Први оригинални рад у вези са методом PERT написао је адмирал *W. F. Raborn* 1957. године. Примјеном методе PERT на пројекат *Polaris* постигнуто је скраћење рокова његове реализације за готово двије године [2]. Нешто касније је фирма *American Management Association* прилагодила систем PERT широким потребама и свим типовима функција управљања у привреди. Данас се као основне оригиналне студије о PERT-у помињу извештаји Америчке морнарице *Summary report Phase 1* из јула 1958. године и *Summary report Phase 2* из августа 1958. године.

Метода PERT је развијена за планирање и контролу времена одвијања радова на пројектима (метода PERT/TIME). Године 1962. је развијена метода PERT/COST која служи за планирање, праћење и контролу трошкова пројекта. Заслуга за разраду PERT/COST методе припада *Department of Defence (DOD)* и *National Aeronautic and Space Administration (NASA)*, који су прву студију о тој методи написали јуна 1962. године. Послије су настале и друге методе, које су варијације почетне PERT методе: PERT-RAMPS (*Resource Allocation & Multi-Project Scheduling*), MAPS, SCANS, TOPS, PEP, TRACE, LESS i PAR.

Технике мрежног планирања су се развијале паралелно у САД-у и у Европи. Европљани су развили многе методе за планирање, али ниједна није постала популарна као CPM и PERT, које су од 1968. године постале водеће технике за мрежно планирање пројекта.

Британска хемијска компанија ICI је развила методу сличну CPM прије 1955. године. Секција за операцијска истраживања (ORS) Британске елекродистрибуције (CEGB) покушала је да развије њихову верзију CPM методе.

USSR, тј. Русија је развила своју PERT методу, под називом *Setevoe planirovanie i upravljenie*. Руси су развили софтвер за планирање пројекта, који повезује вријеме, ресурсе и трошкове уз могућност управљања ризиком. Софтвер се зове *SPIDER Project* и ради на принципу CPM методе [1].

Њемачка има своју технику за планирање, која се зове *ACOS Plus 1* и базира се на MPM методи, иако корисници кажу да је ова метода више слична PDM методи, тј. методи

претхођења. *Walter u Rainer Schleip* су у Минхену 1960. године осмислили нову врсту методе претхођења, која се звала RPS (*Regeltechnischen Planning und Steuerung*) [1].

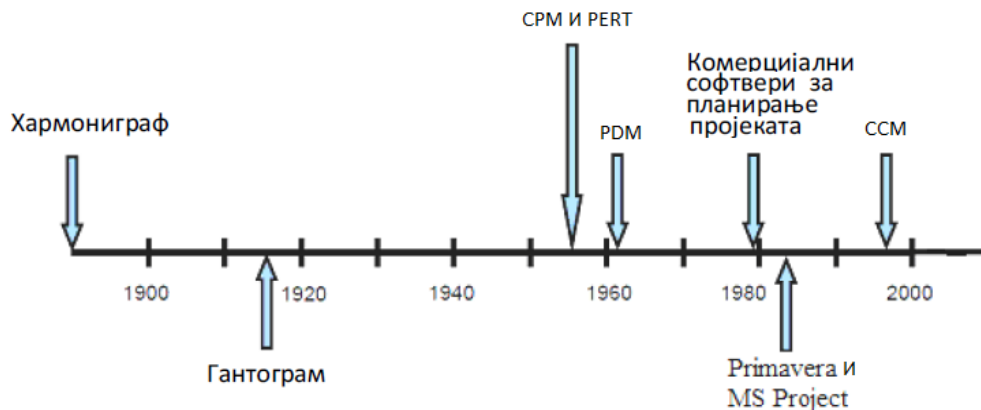
Сасвим независно од развоја CPM и PERT методе, настала је 1958. године у Француској метода MPM (*Metra Potencial Methode*), тзв. потенцијална метода. Ову методу је осмислио француски математичар *B. Roy* из истраживачке и савјетодавне институције SEMA, и коришћена је крајем педесетих година за планирање и контролу изградње атомске централе у Француској [3].

У теорији се често помиње, а у задње вријеме све више користи, метода PDM (*Precedence Diagramming Method*) која као и MPM метода користи блок мрежни дијаграм за графички приказ пројекта. Творац PDM методе је професор *J. U. Fondahl*, са Универзитета Станфорд. Први пут је приказана 1961. године у раду *A Non-computer Approach to Critical Path Methods for the Construction Industry*, чији је аутор професор *J. U. Fondahl*. CPM метода је компликована за прорачун и захтијевала је употребу рачунара, који су 1960-тих година били много скупи и ограничених могућности. PDM метода је осмишљена да се превазиђе употреба рачунара, тј. да се ручно може обавити прорачун CPM методе и да се елиминише употреба фиктивних активности. CPM метода има само једну врсту везе између активности, а то је веза "завршетак-почетак". Да би се обезбиједио реалан приказ повезаности појединих активности у цјелину пројекта, CPM метода користи фиктивне (лажне) активности. То су активности које не захтијевају ни утрошак времена ни утрошак средстава, али указују на логичну везу између двије или више операција – активности. У PDM методи, фиктивне активности се могу избјећи употребом више врста веза између активности. Премда је *Fondahl* осмислио PDM методу да би искључио употребу компјутера из прорачуна, она је убрзо постала основа за већину софтвера за планирање. Практично, сви софтверски пакети се позивају на AON мрежу, што у суштини значи да користе PDM методу. Информатичко доба већ је одавно ушло у подручје управљања и планирања пројектима, а софтверски алати за организирање ресурса, анализирање задатака и рокова те праћење резултата постали су свакодневница људи који се баве организацијом пословања.

Поменуте методе мрежног планирања су основне методе у теорији мрежног планирања, које су за кратко вријеме доживјеле најразличитију примјену у различитим сферама интересовања. Од ових метода изведене су различите модификације у зависности од конкретних случајева, а све се заснивају на примјени алгебре, теорије графова и математичке статистике.

Од 1997. године у техници мрежног планирања се користи нова метода, која се зове метода критичног ланца (*Critical Chain Method – CCM*). Осмислио ју је *Goldratt*, на темељу претходног истраживања на „теорији ограничења“ (*Theory of Constraints – TOC*) [4].

Историјски развој метода и техника за планирање пројекта приказан је графички на слици 2.



Слика 2. Историјски развој метода и техника за планирање пројеката

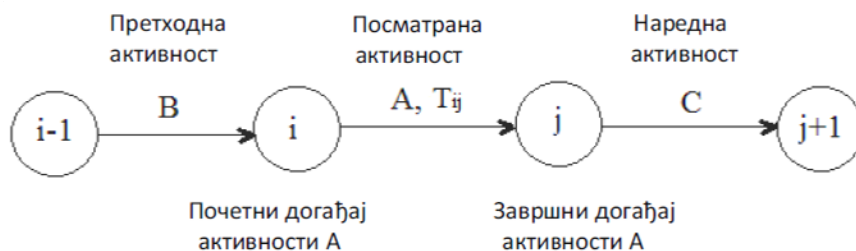
3. МРЕЖНО ПЛАНИРАЊЕ

Методe мрежног планирања реализацију пројекта представљају графички, помоћу дијаграма, тј. дају графички приказ свих активности пројекта, са њиховим међусобним зависностима (везама). Према начину утврђивања времена потребног за извршење сваке активности у мрежном плану, а самим тим и времена трајања пројекта, ове методе се дијеле на двије групе: детерминистичке и пробабилистичке методе.

Постоје два начина графичког приказивања (конструисања) мрежних дијаграма [5]:

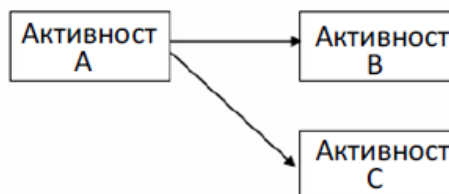
АОА мрежни дијаграм (*Activity on the arc*), гдје се активност приказује линијом оријентисаном стрелицом, која повезује два чвора, као на слици 3 и

АОН мрежни дијаграм (*Activity on the node*), гдје се активности приказују чвором, као што је приказано на слици 4.



T_{ij} – Трајање активности A

Слика 3. АОА мрежни дијаграм



Слика 4. AON Мрежни дијаграм

4. PROBABILISTIČKE METODE

За разлику од детерминистичких метода мрежног планирања, које вријеме трајања активности посматрају као егзактну величину (константу), пробабилистичке методе трајање активности посматрају као непознату величину, која се процјењује (предвиђа) уз примјену теорије вјероватноће.

За сваку активност се процјењују три врсте трајања: песимистичко, нормално и оптимистичко трајање. Након процјене ова три времена, потребно је за сваку активност израчунати очекивано вријеме трајања T_e , стандардну девијацију σ и варијансу σ^2 , што зависи од усвојене дистрибуције вјероватноће. Најчешће се користе нормална, бета, троугласта и униформна дистрибуција [6].

4.1. PERT МЕТОДА

Најпознатија пробабилистичка метода планирања је PERT метода (*Program Evaluation and Review Technique*), која претпоставља да се трајање свих активности понаша по закону β – расподеле, док се вријеме реализације читавог пројекта понаша по закону нормалне расподеле. Први корак у PERT методи је да се развије мрежни план пројекта исто као код CPM методе. Све активности треба да се повежу у логичну мрежу и одреди се критичан пут. PERT користи AOA мрежни дијаграм, у којем се активности графички приказују помоћу линија оријентисаних стрелицом, док се догађаји приказују чворовима. Анализа структуре по методи PERT је иста као по CPM методи, док се анализа времена разликује у томе што се по PERT методи за сваку активност претпостављају три вриједности трајања: песимистичко, нормално и оптимистичко трајање, и на основу њих се прорачунава вријеме реализације најприје активности, а затим и цијелог пројекта [2].

4.2. PNET МЕТОДА

PNET (*Probabilistic Network Evaluation Technique*) метода се углавном базира на PERT методи. Разлика између ове двије методе је у томе што PERT метода у прорачуну трајања пројекта узима у обзир само критични пут, док PNET метода узима у обзир све путеве у мрежном дијаграму [8]. PNET метода анализира све могуће путеве у мрежном дијаграму са циљем да се изабере онај пут који има највећи утицај на укупно трајање пројекта. PNET алгоритам се заснива на различитим моделима (начинима) неуспјеха које мрежни дијаграм може имати. Неуспјех, у овом случају, значи да се пројекат заврши за вријеме које је дуже од предвиђеног времена, а модел неуспјеха може постати сваки пут у мрежном дијаграму по којем ће пројекат трајати дуже од предвиђеног времена. Метода PNET користи исте претпоставке бета дистрибуције као и

PERT метода. Као резултат тога, поставља се питање да ли је тачно да се овим начином реалније приказује трајање активности. Улазни подаци у прорачуну су исти као код PERT методе и сходно томе тачност методе увелико зависи од знања и искуства особе која задаје улазне податке. Без обзира на то, много је теже поставити а затим израчунати резултате. Резултати добијени PNET методом су много песимистичнији у односу на резултате добијене PERT методом, јер у прорачун трајања пројекта узима у обзир више путева у мрежи, а не само критични пут као PERT метода [9].

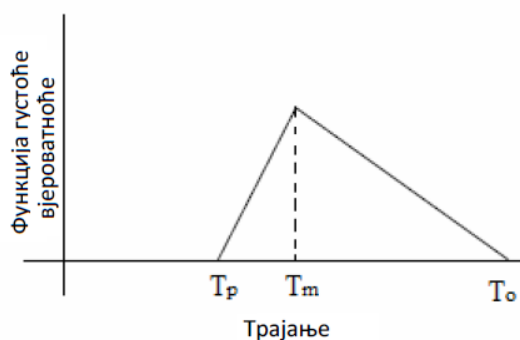
4.3. MONTE CARLO СИМУЛАЦИЈА

Monte Carlo симулација, тј. MCS, 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 рјешење проблема. Одређивање трајања пројекта MCS методом се обавља симулацијом могућих трајања пројекта, гдје је модел за симулацију мрежни дијаграм пројекта, а полазни подаци су трајања активности чије вриједности се симулирају. Због тога је прије *Monte Carlo* симулације потребно одредити:

мрежни дијаграм пројекта,

кумулятивну функцију дистрибуције за трајање сваке активности. Она се може одредити лако ако се зна дистрибуција вјероватноће за трајање сваке активности.

Готово све дистрибуције вјероватноћа се могу користити за трајања активности пројекта у *Monte Carlo* симулацији, али најчешће се користи троугласта дистрибуција. У овој дистрибуцији свака активност има три врсте трајања: песимистичко, нормално и оптимистичко трајање, као у PERT методи, чиме се одређује облик криве троугласте дистрибуције. Типична троугласта функција густоће вјероватноће (троугласта дистрибуција вјероватноће) изгледа као на слици 5, која се може трансформисати у кумулативну функцију дистрибуције за *Monte Carlo* симулацију. Помоћу кумулативне функције дистрибуције и понављањем избора случајних бројева, може се одредити трајање сваке активности. Након тога се одреде трајања свих путева у мрежном дијаграму и даље у разматрању се узима само пут у мрежи са најдужим трајањем. Да би се постигли најтачнији резултати, потребно је урадити 10.000 итерација (симулација), премда 1.000 итерација (симулација) даје задовољавајуће тачно рјешење [2]. Резултати се приказују као трајања пројекта и поредани су од најкраћих до најдужих трајања. На основу овога се може израчунати вјероватноћа да ће се пројекат завршити у предвиђеном времену T .



Слика 5. Троугласта функција густоће вјероватноће (троугласта дистрибуција вјероватноће)

4.4. SMCS МЕТОДА

SMCS метода (*Simplified Monte Carlo Simulation*) је веома слична *Monte Carlo* методи [9]. Поступак прорачуна је исти као код MCS методе, само је лакши, тј. краћи јер се не симулирају сви путеви у мрежи. Прво се одреде сви путеви у мрежном дијаграму и очекивано вријеме трајања сваког пута, на основу очекиваног трајања сваке активности. Затим се елиминишу они путеви у мрежи чије је трајање краће од трајања критичног пута. Овим се знатно смањује прорачун јер се симулирају само преостали путеви у мрежи. Симулација се обавља као у MCS методи. Због елиминације краћих путева у мрежи, SMCS метода даје доста песимистичније резултате него претходно споменуте методе, али у поређењу са MCS методом, резултати су незнатно песимистичнији.

4.5. NRB МЕТОДА

NRB метода (*Narrow Reliability Bounds Method*) се углавном базира на PNET методи. NRB метода проналази горњу и доњу границу варијансе одређене PNET методом. Циљ NRB методе је да пронађе доњу и горњу границу вјероватноће да ће се пројекат завршити за вријеме дуже од предвиђеног времена [10]. Поредџи са PNET методом, NRB резултати из доње границе су много оптимистичнији него резултати добијени PNET методом, а NRB резултати из горње границе су много песимистичнији. Ово се могло и очекивати, с обзиром на то да је NRB метода уско повезана са PNET методом. У поређењу са PERT методом, NRB резултати из обе границе су много песимистичнији.

4.6. МЕТОДА PERRY AND GREIG

Метода *Perry and Greig* је скоро идентична PERT методи. Разлика између ове двије методе је у начину одређивања три вриједности трајања за сваку активност (T_p , T_m , T_o) и у формулама за прорачун очекиваног трајања T_e и стандардне девијације σ сваке активности [11]. Даље се прорачун наставља идентично као код PERT методе. Будући да су ове двије методе скоро идентичне, и резултати су им слични.

Поређењем наведених метода, може се закључити слиједеће: PERT, PNET и NRB методе дају много оптимистичније резултате него MCS метода, MCS обезбјеђује најтачнију процјену вјероватноће завршетка пројекта, резултати добијени SMCS методом су веома слични резултатима добијеним MCS методом [9].

5. ДЕТЕРМИНИСТИЧКЕ МЕТОДЕ

Детерминистичке методе мрежног планирања вријеме трајања активности третирају као егзактну величину. Оно се прорачунава на основу до сада употребљивих норматива, стандарда, искуствених података, при чему се сматра да је вјероватноћа да ће се активност завршити у предвиђеном времену потпуна ($p=1$). Свака активност има једно трајање T_i и претпоставља се да је планирано вријеме поуздана величина [7].

5.1. CPM И PDM МЕТОДА

Најпознатије детерминистичке методе мрежног планирања су:

- метода критичног пута (*Critical Path Method - CPM*) и
- метода претхођења (*Precedence Diagram Method - PDM*).

Поступак планирања CPM и PDM методом се спроводи кроз слиједеће фазе [6]:

- I фаза – анализа структуре, обухвата одређивање логичног, технолошког редослиједа активности и формирања почетног мрежног плана,
- II фаза – анализа времена, обухвата утврђивање времена потребног за извршење сваке активности, након чега се рачунају почети, завршети и временске резерве за сваку активност и одређује критичан пут у мрежи, тј. израчуна се трајање пројекта.
- III фаза – оптимизација почетног мрежног плана, подразумејева усклађивање ресурса, времена, трошкова и квалитета пројекта

PDM метода је настала као поједностављена верзија CPM методе. Обје методе врше посебно анализу структуре и анализу времена мрежног дијаграма. Анализа времена код PDM методе је иста као код CPM методе, док је анализа структуре нешто другачија код PDM методе. Разлике између ове двије методе су приказане у табели 1 [2].

Табела 1. Разлике између CPM и PDM метода

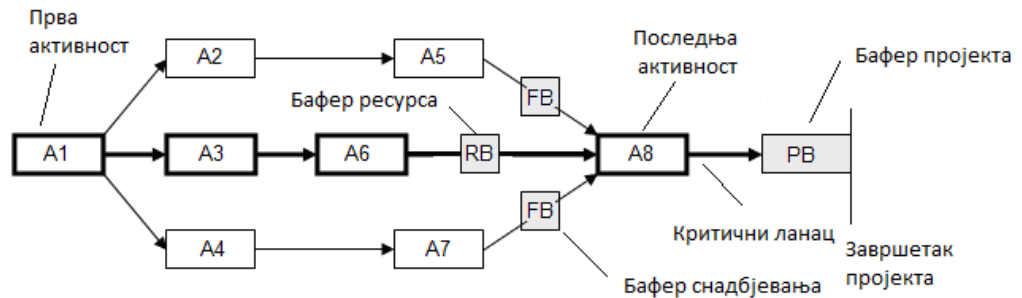
	CPM метода	PDM метода
Врста мрежног дијаграма	АОА мрежни дијаграм	АОН мрежни дијаграм
Тип везе између активности	"завршетак-почетак"	"завршетак-почетак" "почетак-почетак" "завршетак-завршетак" "почетак-завршетак"
Фиктивне активности	Користи	Не користи
Одгода (<i>Lag</i>)	Не користи	Користи
Прорачун	Компликован	Једноставан и лаган
Употреба компјутера	Неопходна	Није неопходна

Детерминистичка метода критичног пута CPM већ више од педесет година представља главно средство за планирање пројекта и израду мрежног плана, као и за контролу пројекта током реализације. Популарност је стекла јер је једноставна и лака за употребу, тј. може лако да идентификује критични пут (путеве), укупно трајање пројекта и рана и касна времена (датум почетка и завршетка) сваке активности у мрежном дијаграму. Међутим, поред својих предности, CPM има неке непредвиђене недостатке у пракси, који се могу превазићи употребом нове методе, која се показала ефикаснијом за планирање и контролу распоређивања ресурса него CPM метода, а зове се метода критичног ланца CCM.

5.2. CCM МЕТОДА

Метода критичног ланца (*Critical Chain Method* – CCM) је релативно нова метода за планирање и управљање пројектима, која може драстично да смањи вријеме реализације пројекта. CCM се базира на теорији ограничења (*Theory of Constraints* – ТОС). Ова метода представља један сасвим нови начин размишљања, гдје се акценат ставља на агресивно скраћење трајања активности, управљање временским заштитницима пројекта (*Project buffer*) умјесто временским резервама активности и на ресурсе да заврше активности на вријеме. Основна замисао аутора методе је да се идентификује критични ланац активности, на сличан начин као и критични пут, али се у обзир узимају логични односи, тј. везе између активности (као у CPM методи) и

ограничења ресурса [12]. План пројекта се штити од поремећаја помоћу различитих врста временских заштитника (*buffer*) постављених на стратешка мјеста [13], [14]. ССМ метода користи АОН мрежни дијаграм, гдје се активности приказују правоугаоницима, као што је приказано на слици 6.



Слика 6. ССМ мрежни дијаграм

ССМ управља варијабилношћу трајања активности, а самим тим и пројекта, агресивним смањењем трајања активности у односу на СРМ методу и одузимањем временских резерви активностима. Трајање активности по ССМ методи се рачуна тако што се трајање израчунато по СРМ методи смањи за 50%. Сигурност и заштита од неизвјесности која је одузета активностима сабира се и убацује се на крају сваког ланца, тј. пута у мрежном дијаграму у виду временских заштитника, тј. бафера, као што је приказано на слици 6 и тиме се штити пројекат од кашњења. Управљањем баферима може се пратити и контролисати реализација пројекта [13], [14]. У СРМ методи сигурност је уграђена у сваку активност и често због људског понашања долази до кашњења пројекта. Због наведених карактеристика ССМ метода постаје популарна и конкурентна традиционалној методи критичног пута СРМ.

6. ЗАКЉУЧАК

Упркос недостацима, PERT метода једна је од познатијих техника за израду мрежног плана и у планирање она укључује временску несигурност. Ова метода даје превише оптимистичне резултате јер у обзир узима само критични пут и користи бета расподелу за одређивање трајања активности, која узрокује велике грешке у прорачуну очекиваног времена трајања пројекта.

Методe PNET и NRB су настале као побољшана верзија PERT методе и дају много песимистичније резултате у односу на PERT методу.

MCS и SMCS методе су такође пробабилистичке методе, али се доста разликују од PERT методе и дају много песимистичније резултате него методе PERT и PNET.

Метода *Perry and Greig* је једноставна и лака за употребу као и PERT, и сматра се да њеном употребом може да се ријеша проблем бета расподеле у PERT методи.

СРМ метода је једноставна и лака за употребу. Поред својих предности, она има неке непредвиђене недостатке у пракси који често доводе до кашњења у реализацији пројекта.

Планирањем пројекта методом критичног ланца ССМ потребно је мање времена за реализацију пројекта, тј. мање су могућности да дође до прекорачења планираног рока завршетка пројекта, него примјеном методе критичног пута СРМ.

7. БИБЛИОГРАФИЈА

- [1] P. Weaver (2006, April). "A Brief History Of Scheduling - Back To The Future." [On-line]. Available:
http://www.mosaicprojects.com.au/PDF_Papers/P042_History%20of%20Scheduling.pdf [12.01.2011]
- [2] J. Moder, C. Phillips and E. Davis, *Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming*. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc, 1983.
- [3] J. Kerbosch and H. Schell. (1975, June). "Network Planning by the extended Metra Potential Method." [On-line]. Available:
<http://alexandria.tue.nl/repository/books/104181.pdf> [25.04.2010]
- [4] T. Lechler, B. Ronen and E. Stohr, "Critical Chain: A New Project Management Paradigm or Old Wine in New Bottles?" *Engineering Management Journal*, vol. 17, No. 4, pp. 45–58, 2005.
- [5] К. Куриј, *Методe и технике израде планова у градитељству*. Београд: Грађевинска књига, 2007.
- [6] Б. Трбојевић, *Организација грађевинских радова*. Београд: Научна књига, 1992.
- [7] М. Тривунић и З. Матијевић, *Технологија и организација грађења – практикум*. Нови Сад: Факултет техничких наука у Новом Саду, 2006.
- [8] A. Ang, A. Chaker and J. Abdelnour, "Analysis of Activity Networks under Uncertainty," *Journal of the Engineering Mechanics Division*, vol. 101, No. 4, pp. 373–387, 1975.
- [9] C. Diaz and F. Hadipriono, "Nondeterministic Networking Methods," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 119, No. 1, pp. 40–57, 1993.
- [10] O. Ditlevsen, "Narrow Reliability Bounds for Structural Systems," *Journal of Structural Mechanics*, vol. 7, No. 4, pp. 453–472, 1979.
- [11] C. Perry and I. Greig, "Estimating the Mean and Variance of Subjective Distributions in PERT and Decision Analysis," *Management Science*, vol. 21, No. 12, pp. 1477–1480, 1975.
- [12] J. Yang, "Applying the theory of constraints to construction scheduling," *Proceedings of Second International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC 02)*, vol. 1, pp. 175–180, 2003.
- [13] L. Leach, *Critical Chain Project Management*. Norwood: Artech House, 2000.
- [14] H. Kerzner, *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*, Eighth Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.