

UNIVERZITET „UNION – NIKOLA TESLA“ U BEOGRADU

FAKULTET ZA GRADITELJSKI MENADŽMENT

Khaled Omar Almayouf

**PROBABILISTIČKI NORMATIVI ZA
PLANIRANJE U USLOVIMA
NEIZVESNOSTI**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Beograd, 2017.

UNIVERSITY „UNION – NIKOLA TESLA“ OF BELGRADE

FACULTY OF CONSTRUCTION MANAGEMENT

Khaled Omar Almayouf

**PROBABILISTIC PRODUCTIVITY NORMS
FOR PLANING UNDER UNCERTAINTY**

DOCTORAL DISSERTATION

Belgrade, 2017.

Mojoj dragoj Nasibi i Mohamedu

Zahvalnica

Tokom doktorskih studija naučio sam mnogo toga što će mi omogućiti napredak u daljoj karijeri, i zato želim da zahvalim svim zaposlenima na fakultetu koji su mi pomogli u tome, a posebno prof. dr Slavku Božiloviću na vrednim sugestijama i smernicama tokom nastanka ove disertacije, koja bez njegove pomoći ne bi mogla da bude završena.

Hvala i svima koji su mi pomogli da obavim istraživanje i obezbedili mi neophodne podatke od ključne važnosti za ovaj rad.

Hvala mojim roditeljima na bezrezervnoj podršci.

I za kraj, hvala mojoj supruzi i deci, braći i sestrama na podršci.

Khaled Omar Almayouf

Probabilistički normativi za planiranje u uslovima neizvesnosti

APSTRAKT

Poznato je da je upravljanje rizicima u građevinskim projektima veoma važan segment menadžmenta za obezbeđenje uspešnog okončanja projekta u pogledu trajanja, troškova, kvaliteta radova, bezbednosti i ekoloških aspekata. Međutim, većina dosadašnjih istraživanja u ovoj oblasti bila je usmerena samo na pojedine aspekte upravljanja rizicima, bez primene sistematičnog holističkog pristupa u identifikaciji rizika, analizi verovatnoće njihovog pojavljivanja i uticaja na tok projekta.

Kod građevinskih projekata je, zbog dugog trajanja procesa i rizika koji ga prate, često teško ili čak gotovo nemoguće tačno predvideti trajanje pojedinačnih aktivnosti i tvrditi da će određena aktivnost biti okončana baš onog dana kad je predviđeno planom gradnje. Rezultat ovoga su nepouzdana dinamički planovi gradnje.

Pri planiranju građevinskih projekata koriste se različite metode, među kojima najčešće gantogrami, metod kritičnog puta (*Critical Path Method*, CPM) i PERT metod (*Program Evaluation and Review Technique*). Svaka od njih ima svoje prednosti, nedostatke i oblasti u kojima je najpodesnija za upotrebu, ali jedino su u PERT metodi prevaziđene teškoće u vezi s trajanjima aktivnosti kada za njih ne postoje pouzdani podaci.

PERT metoda omogućava planeru da proceni najverovatnije trajanje projekta i verovatnoću da će projekat ili neki njegov deo biti okončan u određenom vremenskom roku. Iako donekle slična metodi kritičnog puta, PERT metoda za svaku aktivnost koristi tri procenjena vremena njenog trajanja – optimističko, pesimističko i očekivano trajanje. Međutim, bez odgovarajućih normativa, procena i predviđanje trajanja gradnje zasnivaće se isključivo na slobodnoj ličnoj proceni i/ili na iskustvu stečenom na sličnim projektima u prošlosti.

Ova disertacija se bavi primenom naučnog pristupa u razvijanju savremenih probabilističkih normativa koji su primenljivi za PERT metod.

KLJUČNE REČI: upravljanje rizikom, normative, PERT, probabilistički normativi.

Probabilistic productivity norms for planning under uncertainty

ABSTRACT

Managing risks in construction projects has been recognised as a very important management process in order to achieve the project objectives in terms of time, cost, quality, safety and environmental sustainability. However, until now most research has been focused on some aspects of construction risk management rather than using a systematic and holistic approach to identify risks and analyse the likelihood of occurrence and impacts of these risks.

For construction projects, on account of long duration of the construction and risks that accompany this process, it is often very difficult or almost impossible to accurately predict the duration of an activity, and argue that the activity to finish the very day that is given in the program and progress schedule of construction. The result is an unreliable dynamic plan for construction.

A variety of methods and techniques for construction planning and scheduling exist e.g. Gantt or bar chart, Critical Path Method (CPM), and Program Evaluation and Review Technique (PERT). Each has its own advantages, disadvantages, and application areas for which it is most appropriate, but only PERT overcomes difficulties associated with duration of activities which could not be estimated reliably.

PERT enables the scheduler to estimate the most probable project duration and the probability that the project or any portion of the project will complete at particular time. PERT is similar to CPM, but unlike the CPM, it requires three estimates of duration for each activity – optimistic (high productivity), ; pessimistic (low productivity); and expected (average productivity) duration. However, without adequate productivity norms the scheduling and forecasting of construction duration is based on only the best guess, i.e. by using experiences gathered in similar projects in past.

This thesis involves scientific research work in developing contemporary probabilistic productivity norms that would be usable for the PERT method.

KEYWORDS: risk management, productivity norms, PERT, probasbilistic approach.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
1.1 Predmet istraživanja	1
1.2 Cilj istraživanja.....	2
1.3 Polazne hipoteze	2
1.4 Primenjena metodologija	3
1.5 Rezultati istraživanja i njihova primenljivost.....	3
1.6 Kratak sadržaj rada	4
2. Planiranje u uslovima neizvesnosti.....	5
2.1 Uvodna razmatranja.....	5
2.2 Upravljanje rizikom projekta.....	8
2.4.1 Identifikacija rizika.....	11
2.4.2 Analiza i procena rizika	13
2.4.3 Planiranje reakcija (odgovora) na rizik	15
2.4.4 Kontrola primene reakcija (odgovora) na rizik	17
2.3 Procena rizika	19
2.4 Tehnike mrežnog planiranja	21
2.4.1 Razvoj tehnike mrežnog planiranja	21
2.4.2 Osnovne karakteristike metoda mrežnog planiranja	23
2.4.3 Osnovni pojmovi u tehnici mrežnog planiranja	26
2.4.4 Analiza strukture.....	28
2.4.5 Analiza vremena	31
2.4.6 Analiza vremena po metodi <i>CPM</i>	32
2.4.7 Analiza vremena po metodi <i>PERT</i>	35
3. Normativi.....	38
3.1 Uvodna razmatranja.....	38
3.2 Vrste normativa u građevinarstvu.....	40
3.3 Normativi ljudskog rada	42
3.4 Definicija i karakteristike normativa	43
4. Istraživanje i rezultati	45

4. 1 Uvodna razmatranja.....	45
4.2 Plan istraživanja.....	46
4.3 Prikupljanje i organizacija podataka	52
4.4 Histogrami i poligoni frekvencija.....	59
4.5 Aproksimacija empirijskih podataka.....	77
4.5.1 Svojstva normalne raspodele	78
4.5.2 Rezultati aproksimacije	79
4.5.3 Evaluacija aproksimacije.....	90
4.5.4 Diskusija rezultata	94
4.6 Probabilistički normativi	95
5. Zaključak	100
5.1 Zaključna razmatranja	100
5.2 Smernice za dalji rad	101
6. Literatura	102

1. Uvod

1.1 Predmet istraživanja

Građevinarstvo, kao proizvodni proces čiji su produkt objekti, ima niz specifičnosti po kojima se razlikuje od drugih, klasičnih proizvodnih procesa. Za razliku od drugih vidova industrijske proizvodnje, gde su glavni činiooci procesa (radna snaga i sredstva za rad) uvek locirani na istom mestu a predmet rada (proizvod) menja lokaciju tokom različitih faza obrade, u građevinarstvu je predmet rada (zgrada) na fiksiranoj poziciji od početka do kraja čitavog procesa, gde i ostaje po završetku izrade, dok činiooci proizvodnje (ljudi i mašine) prelaze na novu lokaciju ili novi objekat kao proizvod. Klasična proizvodnja se u većini slučajeva obavlja u zatvorenim prostorima (fabrikama, proizvodnim pogonima i sl.), dok se građevinski objekti izrađuju na otvorenom, neretko na različitim, međusobno udaljenim lokacijama, što za posledicu ima značajan uticaj atmosferskih prilika na proces rada, kao i na potrebu da se privremeno angažuje lokalna radna snaga. Na taj način se gube prednosti klasične proizvodnje kao što su rad u kontrolisanim uslovima sa stalnom ekipom.

Zbog ograničenih novčanih sredstava i kratkih rokova za izvršenje projekta, građevinske firme su često prinuđene da upošljavaju radnu snagu s nedovoljnim ili neodgovarajućim radnim iskustvom, da koriste opremu i/ili materijale neodgovarajućih karakteristika, da zanemaruju planiranje i kontrolu odvijanja projekta i oglašuju se o pravila struke, što sve za ishod ima nezadovoljavajuć ishod procesa građenja, a samim tim i građevinarstva kao industrijske grane. Navedeni faktori za posledicu imaju to što tokom odvijanja građevinskog projekta dolazi do pojavljivanja različitih unutrašnjih i spoljnih faktora koji se ne mogu blagovremeno predvideti unapred, što može veoma nepovoljno uticati na uspeh izvršenja projekta. To znači da svaki građevinski projekat sa sobom nosi određenu dozu neizvesnosti, odnosno rizika da projekat neće biti ostvaren u skladu s planiranim vremenskim i novčanim parametrima.

S tačke gledišta izvođača, rizik se uglavnom javlja u dva oblika. Prvi je ugovorni rizik, kao posledica neiskustva i nedovoljnog poznavanja uslova na tržištu,

nedovoljnog poznavanja tehnologije i procesa gradnje, neadekvatnih normativa, nepoznavanja savremenih metoda planiranja, jake konkurencije na tržištu ili neiskorišćenih kapaciteta, što sve za posledicu može imati ugovaranje nerealno niske cene gradnje ili nerealnog roka za završetak radova. Drugi tip rizika vezan je za moguće prekide i zastoje tokom izvođenja građevinskog projekta.

Predmet ove disertacije je analiza rizika u planiranju trajanja gradnje, s posebnim osvrtom na istraživanje mogućnosti izrade savremenih, probabilističkih normativa u građevinarstvu primenom naučnog pristupa u definisanju trajanja pojedinih procesa i aktivnosti i njihovog uticaja na verovatnoću izvršenja u predviđenom roku i po predviđenoj ceni.

1.2 Cilj istraživanja

Istraživanje prikazano u ovoj disertaciji imalo je za cilj da se pokaže neophodnost i metodologiju izrade novih, savremenih normativa za izvođenje građevinskih radova, koji bi omogućili primenu savremenih metoda planiranja u uslovima neizvesnosti, realniji pristup pri izradi predmera i predračuna, kao i upravljanje rizicima primenom savremenih metoda operacionih istraživanja.

1.3 Polazne hipoteze

Postojeći normativi u građevinarstvu nisu primenljivi u savremenim metodama planiranja, a samim tim ni za planiranje dinamike projekta primenom savremenih softverskih alata. Osnovna hipoteza ovog istraživanja je da se prikupljanjem podataka sa gradilišta i obradom istih primenom adekvatno odabranih metoda naučnoistraživačkog rada, kao i primenom adekvatnog matematičkog aparata, mogu napraviti probabilističke norme koje odgovaraju zahtevima savremenih metoda planiranja.

1.4 Primenjena metodologija

Tokom izrade disertacije korišćene su adekvatno odabrane metode naučnoistraživačkog rada, među kojima su: prikupljanje podataka na terenu, u realnim uslovima; procena, obrada i razvrstavanje relevantnih podataka; obrada podataka primenom odgovarajućih statističkih metoda; analiza rezultata; aproksimacija empirijskih podataka matematičkim funkcijama; analiza korelacije primenom odgovarajućih testova značaja; analitička i grafička interpretacija dobijenih rezultata. Za obradu podataka i grafički prikaz rezultata korišćeni su programi Origin Pro 8 i SPS.

1.5 Rezultati istraživanja i njihova primenljivost

U disertaciji je pokazano da se naučnim pristupom u prikupljanju i obradi podataka, kao i primenom adekvatnog matematičkog aparata, mogu formirati savremeni probabilistički normativi zasnovani na realnim podacima, kakvi su neophodni za primenu PERT metode u planiranju u uslovima neizvesnosti.

Na ovaj način se stiče jasniji uvid u proces gradnje i omogućava se izrada dinamičkih planova sa željenim nivoom pouzdanosti, odnosno sa željenom verovatnoćom okončanja projekta u datom vremenu, pri čemu se kao konačan rezultat analize ne dobija samo jedan fiksirani vremenski rok, nego vremenski interval u toku kojega će projekat, ili bilo koji njegov deo, biti priveden kraju, što omogućava realnije planiranje i procenu trajanja radova.

1.6 Kratak sadržaj rada

Rad se sastoji od šest poglavlja. U drugom poglavlju su dati osnovni pojmovi iz domena planirawa u uslovima neizvesnosti i upravljanja rizicima s posebnim osvrtom na rizike u građevinskim projektima. Treće poglavlje se bavi pojmom normativa, njihovom klasifikacijom i karakteristikama. U četvrtom poglavlju detaljno je opisano istraživanje i prikupljanje podataka na terenu i njihova statistička obrada, kao i proces aproksimacije empirijskih odataka odgovarajućim matematičkim funkcijama. Na kraju poglavlja detaljno je objašnjena predložena metodologija za izradu savrmenih probabilističkih normativa za planirawe u uslovima neizvesnosti. U petom poglavlju data su zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja, a u šestom se nalazi spisak korišćene literture.

2. Planiranje u uslovima neizvesnosti

2.1 Uvodna razmatranja

Graditeljska proizvodnja odlikuje se nizom specifičnosti u odnosu na druge proizvodne procese. Dok su u drugim industrijskim procesima činioci proizvodnje (ljudi i sredstva za proizvodnju) locirani uvek na istom mestu, a proizvod putuje od jednog do drugog mesta primene, u graditeljstvu je to obrnuto. Graditeljski proizvod (graditeljski objekt) ne menja mesto po završetku "proizvodnog procesa", on ostaje tamo gde je nastao, dok se činioci proizvodnje sele na sledeći projekt, odnosno sledeću lokaciju - na novi "proizvod" [Fla 93]. Graditeljska proizvodnja, uglavnom, ne daje proizvod u izvornom smislu reči i ne rezultira gotovom uslugom, već omogućuje proizvodnju (industrijski objekti) i stvara preduslove za pružanje usluga (od niskogradnje - puteva, železnica i si., do finansijskih, zdravstvenih i ostalih usluga: banke, bolnice, objekti za sportske namene, itd.) [Ahm 99]. S obzirom na to da se graditeljski objekti proizvode u skladu sa specifičnim potrebama pojedinačnih kupaca, preovlađujući deo procesa izgradnje mora se kreirati iznova za svakog pojedinačnog investitora. Na taj način se umanjuju prednosti uobičajene industrijske proizvodnje, koja se odvija u velikom broju ciklusa, nakon probne proizvodnje u okviru koje se otklanjaju nedostaci proizvodnog procesa [Per 85]. Graditeljski objekti se proizvode na otvorenom prostoru, na različitim, međusobno udaljenim lokacijama, što rezultuje znatnim uticajem atmosferskih prilika na proces izgradnje i potrebom za privremenim angažovanjem velike količine lokalne radne snage. Na taj način ne postoje prednosti uobičajene industrijske proizvodnje koja se odvija na jednoj dobro kontrolisanoj lokaciji sa stalnim timovima. Uska specijalizacija graditeljskih privrednih društava za izvršenje pojedinih vrsta radova često zahteva angažovanje velikog broja podizvođača u procesu izgradnje [Kur 11].

Posledice napred navedenog su da se u toku realizacije graditeljskih projekata, pojavljuju razni unutrašnji i spoljni faktori koji se ne mogu unapred sigurno predvideti, a koji mogu sa velikom negativnom merom uticati na tok realizacije projekta [Ahm 99]. To znači da svaki graditeljski projekat ima izvestan stepen nesigurnosti, tj. da postoji neki rizik da se realizacija tog projekta neće odvijati po planiranim tokovima [Fla 93].

Sa aspekta izvođenja radova, rizik se može uglavnom pojaviti u dva oblika:

- Rizik izrade loše ponude koji nastaje zbog slabog poznavanja tržišta, nepoznavanja tehnologije i organizacije izgradnje objekata, loših normativa, nepoznavanja savremenih metoda planiranja i dr. [Tam 04] ili jednostavno kada se zbog velike konkurencije na tržištu, neiskorišćenosti kapaciteta i sličnih razloga nude nerealno niske cene građenja i,
- Rizici u građenju koji su vezani za moguće poremećaje u toku izvođenja radova na projektu [Kur 11].

Istraživanja pokazuju da da se u 34% slučajeva realizacija graditeljskih projekata ne završi u skladu sa planiranim rokom [Belj 11].

Projekti se analiziraju i pripremaju u sadašnjosti, baš kao i odluke o njihovoj realizaciji, ali se konkretna realizacija obavlja u budućnosti u kojoj se i očekuju rezultati od projekta [Per 85]. Budućnost je po definiciji nepoznata i neizvesna, pa su i realizacija svakog projekta i očekivani rezultati neizvesni. Jasno je da je svaka buduća aktivnost i budući događaji obavijeni neizvesnošću, odnosno da se za buduće aktivnosti i događaje ne raspolaže sa odgovarajućim informacijama kada će se, kako i sa kojim ishodom, ostvariti [Jov 08, Fla 93].

Kada se govori o budućim događajima, najčešće se pored neizvesnosti pominje i rizik. Rizik podrazumeva nešto neočekivano, odnosno nepredviđeno događanje. Obično se kaže da rizik uključuje neizvesnost i verovatnoću da će se dogoditi nešto nepredviđeno i najčešće nepoželjno [Fla 93, Gha 00].

Rizik očigledno predstavlja mogućnost ostvarenja nepredviđenih i neželjenih posledica. Rizik je dakle povezan sa neizvesnošću i sa opasnošću. Opasnost proističe iz mogućnosti ostvarenja nepovoljnih događaja i neželjenih posledica, odnosno rezultata [Smi 03]. Skoro uvek rizik je povezan sa nekim gubitkom ili nepovoljnim ishodom, sa mogućnošću da se usled nepredviđenih događaja i neželjenih događaja i posledica, ostvari nešto što je nepovoljno, što čoveku donosi izostanak očekivanog povoljnog rezultata ili nepovoljan i neželjen negativan ishod ili rezultat [Rei 00, Ahm 99].

Rizik je povezan sa verovatnoćom pojavljivanja budućih događaja. Često se u literaturi rizik definiše upravo kao verovatnoća da će neki poduhvat ili projekat pretrpeti neuspeh i posledice koje proizilaze iz tog neuspeha [Gha 00].

U teoriji postoje različite gradacije i definicije neizvesnosti i rizika [Gha 00]. Jedna od veoma poznatih definicija koja se koristi u poslovnom odlučivanju razlikuje sledeće tipove:

- **Izvesnost** – situacija kod koje možemo da tačno odredimo sve potrebne veličine i sva moguća rešenja.
- **Rizik** – situacija u budućnosti kod koje postoji više alternativnih rešenja sa poznatom verovatnoćom pojavljivanja.
- **Neizvesnost** – situacija u budućnosti kod koje postoji više alternativnih rešenja i mi ne znamo koje će se ostvariti. [Jov 99]

Jedna, nešto detaljnija podela, koja se pripisuje A. Kaufmanu razlikuje četiri osnovna stepena neizvesnosti, a to su:

- **Nestruktuisana neizvesnost** – situacija kod koje su stanja sistema nepoznata u bilo kom vremenu.
- **Struktuisana neizvesnost** – situacija kod koje su stanja sistema poznata, ali ne znamo kakvo će biti stanje sistema u bilo kom vremenu.
- **Rizik** – situacija kod koje su stanja sistema poznata, kao i zakoni verovatnoće pojavljivanja u bilo kom vremenu.
- **Izvesnost** – situacija kod koje su stanja sistema poznata i mi možemo opisati stanje u kome će se sistem naći u bilo kom vremenu [Kur 11].

2.2 Upravljanje rizikom projekta

Upravljanje projektom u celini podrazumeva da se upravlja svim delovima, područjima i aspektima projekta, kako bi se ostvarili željeni ciljevi projekta. To znači da upravljanje projektom podrazumeva i upravljanje rizikom projekta, kako bi se obezbedilo da se poveća i verovatnoća postizanja željenih ciljeva projekta i smanje mogućnosti ostvarenja nepovoljnih događaja i neželjenih ishoda [Ahm 99].

Pošto upravljanje kao proces podrazumeva i podproces kontrole, to znači da bi upravljanje rizikom trebalo da obuhvati, pored ostalog, i kontrolu rizika, odnosno rizičnih događaja. Međutim, upravljanje rizikom projekta se donekle razlikuje od drugih upravljačkih procesa, jer se kod upravljanja rizikom teško može vršiti kontrola rizičnih događanja, već se obično vrši prethodna priprema i reagovanje na moguća buduća rizična događanja, u cilju smanjenja verovatnoće njihovog nastupanja i povećanja verovatnoće ostvarenja očekivanog rezultata projekta.

Upravljanje rizikom obuhvata skup upravljačkih metoda i tehnika koje se koriste da bi se smanjila mogućnost ostvarenja neželjenih i štetnih događaja i posledica i time povećale mogućnosti ostvarenja planiranih rezultata, to jest metoda koje omogućavaju minimiziranje gubitaka i dovode u sklad smanjenje verovatnoće ostvarenja gubitaka, sa troškovima koje zahteva ovo smanjenje. To je formalan i veoma složen proces koji je moguće razmatrati na različite načine, zavisno od korišćenog prilaza podeli procesa upravljanja rizikom [Abd 96].

U jednom relativno užem pristupu, upravljanje rizikom se može definisati kao proces identifikacije, analize uticaja i planiranja reagovanja na određene faktore rizika koji nastaju u toku celog projekta [Jov 08].

Kada se govori o riziku u projektu i o upravljanju rizikom u projektu, nezaobilazno je i pominjanje faktora koji nastaju u toku projekta i doprinose postojanju rizika u toku realizacije projekta. Rizik u projektu se karakteriše sa tri ključna faktora rizika, a to su:

- Rizični događaj – pojava, aktivnost ili događaj koji mogu da donesu štetan uticaj na projekat i nepovoljne i neželjene posledice.
- Verovatnoća rizika – verovatnoća pojavljivanja rizičnog događaja.
- Veličina uloga – veličina gubitka koji može da nastane ako se ostvari događaj i on donese štetni uticaj na projekat. [Pro 87]

Upravljanje rizikom projekta predstavlja formalni proces koji obuhvata stalnu i sistematsku identifikaciju, predviđanje i procenjivanje faktora rizika, zatim pripremu i planiranje odbrambenih akcija i reakcija koje mogu doprineti smanjenju rizika u projektu. Upravljanje rizikom projekta obuhvata pronalaženje preventivnih mera radi smanjenja rizika koji mogu nastati u projektu. Pri tome se obavezno razmatraju i analiziraju troškovi vezani za ove preventivne mere i akcije i vrši procena da li je opravdano učiniti tolike troškove radi smanjenja, ali ne i eliminisanja, rizika koji nastaju u projektu [Jov 08].

Identifikacija rizičnih događaja predstavlja početnu fazu u upravljanju rizikom projekta u okviru koje se vrši utvrđivanje, klasifikovanje i rangiranje svih rizičnih događaja koji mogu imati određen uticaj na projekat. Rizični događaji se klasifikuju prema izvoru ili uzroku nastajanja, a najčešće se rangiraju prema mogućnostima uspešnog upravljanja reakcijama [Pro 87].

Svi rizični događaji neće uticati na projekat, već samo neki od njih koji su povezani sa ostvarenjem projektnih rezultata, s tim što pored uticaja pojedinih značajnih rizičnih događaja, posebno treba uzeti u obzir kombinaciju više rizičnih događaja koja može imati izuzetno ozbiljan uticaj na rezultate projekta [Ahm 99].

Rizični događaji u projektu mogu biti mnogobrojni i skopčani s različitim opasnostima za ostvarenje gubitaka. Međutim značajnija je činjenica da su rizični događaji međusobno povezani i da se na taj način ostvaruju veoma složeni i jaki uticaji na projekat. Zato je neophodno u identifikaciji i procenjivanju rizičnih događaja da se, korišćenjem sistemskog pristupa, odaberu najvažniji događaji i uzmu u obzir njihove veze i odnosi. Interaktivno dejstvo rizičnih događaja se procenjuje u odnosu na mogući gubitak, odnosno na iznos uloga koji je izložen riziku [Abd 96].

Analiza uticaja rizika predstavlja sistematski proces ispitivanja prirode pojedinih rizičnih događaja u projektu, njihovog mogućeg uticaja na ishod projekta i međuzavisnosti rizičnih događaja, kao i kvantifikaciju veličine uticaja rizičnih događaja na projekat, verovatnoću pojavljivanja rizičnog događaja i osetljivost na promene važnijih parametara projekta, ali i ispitivanje uticaja rizičnih događaja koji se procenjuju kao jako rizični, odnosno čiji uticaji na ostvarenje projektnih rezultata, mogu da budu izuzetno veliki. Pored analize pojedinih značajnih rizičnih događaja, analiza treba da obuhvati ispitivanje uticaja skupa povezanih, relativno malih i manje značajnih rizika, koji pojedinačno ne znače mnogo, ali koji zajednički ostvaruju veliki uticaj na projekat i realizaciju očekivanih rezultata projekta [Jov 08].

Planiranje reakcija na rizične događaje predstavlja proces formulisanja strategije upravljanja rizikom u projektu, uključujući i raspodelu odgovornosti na različite funkcionalne oblasti projekta [Uhe 99]. Planiranje reakcije obuhvata:

- **Smanjivanje rizika (ili izbegavanje rizika)** – vrši se uticanjem na ključne parametre projekta ali te promene ne smeju biti bitnije da utiču na ciljeve projekta. To može biti promena obima projekta, promena budžeta, promena plana projekta ili kvaliteta projekta i druge izmene koje doprinose smanjenju neizvesnosti i rizika projekta.
- **Prebacivanje rizika** – postupak prenošenja dela ili celog rizika na drugo pravno ili fizičko lice, obično putem osiguranja ili putem odgovarajućeg ugovora.
- **Kontigencijsko planiranje** – planiranje u uslovima neizvesnosti koje podrazumeva izradu odgovarajućih planova za postupanje u slučaju neizvesnosti, odnosno u slučaju pojave rizičnih događaja, kao i oprezno ponašanje kroz posebno planiranje budžeta za neizvesne situacije i pripremu alternativnih planova akcija za reagovanje u izuzetnim situacijama, radi smanjenja uticaja rizika [Pro 87].

Upravljanje rizikom projekta predstavlja, kako je već objašnjeno, izuzetno značajan deo celovitog koncepta upravljanja projektom, koji može veoma da utiče na ukupne rezultate projekta. To je takođe i jedan veoma složen upravljački koncept koji se sastoji od skupa relevantnih podprocesa, čijom realizacijom se ostvaruje koncept upravljanja rizikom projekta [Bak 05].

U jednom širem pristupu, koji je već prethodno pominjan, upravljanje rizikom projekta se može prikazati kroz sledeće podprocese:

- Identifikacija rizika,
- Analiza i procena rizika,
- Planiranje reakcija (odgovora) na rizik,
- Kontrola primene reakcija na rizik [Pro 87].

2.4.1 Identifikacija rizika

Identifikacija rizika predstavlja proces utvrđivanja, klasifikacije i rangiranja svih onih rizičnih događaja, koji mogu da imaju određen štetan uticaj na projekat [Cha 01]. Proces identifikacije otpočinje iznalaženjem i definisanjem rizičnih događaja.

Rizik se u opštem smislu može podeliti na dve osnovne vrste, a to su poslovni rizik i čisti rizik.

Poslovni rizik je rizik koji nastaje u obavljanju poslovnih aktivnosti i on uključuje mogućnosti ostvarenja pozitivnog ili negativnog rezultata, znači ostvarenja profita ili gubitka. Kod poslovnog rizika se teži da se minimizira mogućnost gubitka, a maksimiziraju šanse za ostvarenje profita. U realizaciji poslovnih aktivnosti, pored menadžera rade i kadrovi koji su posebno obučeni za pojedina područja poslovnih aktivnosti, koji svojim znanjem i umećem povećavaju šanse ostvarenja pozitivnih efekata [Cha 01].

Čisti rizik, za razliku od poslovnog rizika, uključuje samo mogućnost štetnog uticaja i ostvarenja gubitka. Čisti rizik se može podeliti na četiri osnovne vrste:

- Direktni gubitak imovine – gubitak koji nastaje zbog uništenja (npr. uništenje gradilišta, tj. imovine na gradilištu u oluji, poplavi, požaru ili zemljotresu).
- Indirektni gubitak imovine – troškovi ili gubici koji nastaju zbog neophodne zamene delova usled kvarova, oštećenja ili isteka veka eksploatacije.
- Gubitak odgovornosti – mogućnost da neko traži odštetu od druge ugovorne strane zbog nastalih telesnih povreda ili uništene imovine.
- Lični gubici – povrede zaposlenih, zbog kojih oni imaju pravo na nadoknadu. [Pro 87]

S obzirom na to da će u svakom projektu delovati skup rizičnih događaja različitih po broju, vrsti, verovatnoći nastajanja, načinu i veličini uticaja, identifikacija rizika podrazumeva da se, na osnovu opštih pravila i podela, za svaki posmatrani projekat, izvrši detaljno pronalaženje mogućih rizičnih događaja i utvrđivanje vrste rizika kojoj pripada. Na osnovu toga se obično vrši klasifikacija, a zatim i rangiranje rizičnih događaja. Klasifikacija se obično vrši prema uzroku nastajanja rizičnih događaja, a ponekad i prema posledicama. Rangiranje se najčešće vrši prema mogućnostima da se upravlja reakcijama, odnosno da se pronađu i planiraju reakcije na moguće rizične događaje [Cha 01].

U svakom projektu postoji ogroman, skoro neograničen broj mogućih rizičnih događaja, koji više ili manje mogu uticati na rezultate projekta. Kao i kod opšteg prilaza razmatranju uticajnih faktora pri upravljanju sistemima, poduhvatima i poslovima, moguće je i rizične događaje najpre podeliti na eksterne, one koje deluju iz okruženja, i interne, koji nastaju u samom projektu. Nakon toga mogu se vršiti dalje podele slične prethodno navedenoj, ili da se ustroji nova podela prema tehničko-tehnološkim, tržišnim, finansijskim, zakonskim, ugovornim, kadrovskim i drugim aspektima projekta [Bak 05].

Bez detaljnijeg ulaženja u moguće podele, može se reći da kod svakog projekta egzistiraju rizični događaji vezani za prirodne nepogode, ekologiju, zakonska ograničenja, monetarne i fiskalne aspekte, ugovorne stavke, projektna rešenja i specifikacije, nabavke i isporuke, tržišne probleme i konkurenciju, primenjena

tehnološka rešenja i način izvođenja projekta, kvarove i oštećenja opreme, probleme vezane za kadrove i si.

Za svaki projekat je veoma bitno da se utvrde sve vrste mogućih rizika, odnosno rizičnih događaja, bez obzira na veličinu uticaja, da bi znali sa kakvim problemima se u toku realizacije projekta se može sresti, i šta sve može uticati na smanjenje očekivanih projektnih rezultata u pogledu kvaliteta, vremena i troškova. Efikasno upravljanje projektom i planirani projektni ciljevi se ne mogu ostvariti, ako se unapred ne znaju svi rizični događaji koji očekuju projekat u toku njegovog životnog ciklusa. Zato je identifikacija rizika veoma važna faza procesa upravljanja rizikom [Jov 08].

2.4.2 Analiza i procena rizika

Analiza rizika je sledeća faza u procesu upravljanja rizikom projekta, koja se sprovodi nakon izvršene identifikacije rizika. U ovoj fazi se vrši detaljna analiza uticaja pojedinih rizičnih događaja na rezultate projekta, kroz istraživanje prirode pojedinih rizičnih događaja, analizu i procenu verovatnoće nastajanja rizičnih događaja, analizu međuzavisnosti rizičnih događaja i kvantifikaciju veličine uticaja pojedinih rizičnih događaja ili skupova rizičnih događaja na ostvarenje projektnih rezultata [Die 91]. Sprovođenje postupka analize rizika zahteva da se uzmu u obzir i analiziraju svi rizični događaji koji su utvrđeni u fazi identifikacije. Uobičajena praksa je da se oni rizični događaji koji se mogu oceniti kao visoko rizični, znači kod kojih postoji velika verovatnoća pojave rizika, veoma detaljno analiziraju [Aki 97]. Međutim kod analize rizika treba biti veoma oprezan. Iako se veći značaj u analizi daje visokorizičnim događajima, ne smeju se zanemariti ni niskorizični događaji. Skup ili kombinacija ovih događaja može imati veliki uticaj na projektne rezultate, a takođe oni mogu da imaju značajan uticaj i na druge poslovne aktivnosti preduzeća [Pro 87, He 95].

Polazni korak u analizi rizika predstavlja raščlanjavanje ili struktuiranje projekta na manje delove ili upravljačke nivoe, koje se vrši slično struktuiranju projekta uz pomoć *WBS* tehnike. Ovo struktuiranje se, posebno kod većih projekata, obično vrši

sve do nivoa aktivnosti, kako bi se dobila jasna slika o svakoj aktivnosti, uočili svi mogući rizici i sve međuzavisnosti rizičnih događaja [Pro 87, He 95].

Sledeći korak u analizi rizika je procena rizika, odnosno određivanje veličine mogućeg uticaja identifikovanih rizika. Ovaj postupak se obavlja tako što se, uz pomoć određenih kvantitativnih metoda, vrši najpre određivanje verovatnoće pojavljivanja određenog rizičnog događaja, a zatim i veličina mogućeg uticaja rizičnih događaja na rezultate projekta. Za složenije slučajeve najčešće se preporučuje korišćenje metoda matematičkog modeliranja koje omogućavaju svođenje i detaljno proučavanje realnih problema i dobijanje relativno pouzdanih zaključaka. Ako se uključi korišćenje računara i metode simulacije uz pomoć računara, onda su mogućnosti analize znatno poboljšane, a dobijeni rezultati precizniji [Aki 97].

Veliki broj metoda kvantitativne i kvalitativne analize koriste se i u određivanju međuzavisnosti rizičnih događaja i njihovog skupnog uticaja na projekat, i u analizi osetljivosti rizika i celokupnog projekta na promene pojedinih polaznih parametara [Die 91]. Pored navedenih metoda modeliranja i simulacije, posebno se može ukazati na senzitivnu analizu, metodu analize verovatnoće, metod stabla odlučivanja, razne dijagrame međuzavisnosti, a takođe i određen broj kvalitativnih metoda [Sch 01]. Kod procene rizika se kao početne metode koriste i razni upitnici i metod anketiranja, da bi se prikupljeni podaci kasnije obrađivali matematičkim i statističkim metodama [Bak 05].

Analiza rizika predstavlja izuzetno značajnu fazu procesa upravljanja rizikom u kojoj se dobijaju veoma značajni podaci vezani za rizike u projektu i ostvarenje projektnih rezultata. Pošto analiza predstavlja složen postupak u kome se uzimaju u obzir brojni parametri i pojave, i koristi veliki broj različitih metoda, ona normalno angažuje veliki broj specijalista i značajno vreme i troškove. Obzirom na ovu činjenicu sprovođenje analize treba uvek staviti u odnos sa potrebnim vremenom i troškovima, i na osnovu toga odrediti širinu i dubinu analize [Die 91]. U principu, ova analiza je opravdana samo kod onih projekata gde postoji značajna neizvesnost i kod koga je veličina uloga, odnosno mogućeg gubitka, velika [Jov 08].

2.4.3 Planiranje reakcija (odgovora) na rizik

Na osnovu izvršene identifikacije i analize rizika dobija se uvid u rizike koji se u realizaciji projekta očekuju. Pre svega dobijaju se informacije o vrstama rizika koji postoje, o tome gde i kada se mogu očekivati, koja je verovatnoća nastajanja rizika i koji je stepen izlaganja riziku [Bak 05]. Pošto na taj način dobijamo jednu relativno jasnu sliku o tome šta nas u pogledu rizika u projektu očekuje, treba planirati i formulisati određene odbrambene akcije, odnosno unapred pripremiti određene aktivnosti kojima bi se smanjila verovatnoća ostvarenja rizičnih događaja i mogućnosti nastajanja štetnih i neželjenih posledica i rezultata. Taj postupak pripreme akcija za odbranu od neželjenih događaja zove se planiranje reakcije [Jov 08, Die 91].

Planiranje reakcije predstavlja proces formulisanja strategija za upravljanje rizikom, odnosno pronalaženje i definisanje upravljačkih akcija u projektu kojima bi se mogući gubici od rizičnih događaja sveli na najmanju moguću meru [Che 04]. Planiranje reakcije obuhvata nekoliko mogućih strategija kao što su:

- **Ignorisanje rizika** – strategija kod koje se uočava mogući rizični događaj ali se ne preduzima nikakva akcija, računajući da se rizični događaj neće ostvariti ili da je mala verovatnoća njegovog ostvarenja.
- **Podnošenje rizika** – posebna strategija u kojoj se ne ignoriše rizik, već se prihvata mogućnost nastajanja rizičnog događaja i posledice koje on nosi. Rukovodilac projekta i projektni tim vrše detaljnu analizu i procenu rizika, posebno procenjuju i kvantifikuju veličinu uticaja pojedinih rizičnih događaja na realizaciju projekta i odlučuju da prihvate rizik i podnesu moguće posledice nastajanja rizičnih događaja.
- **Smanjivanje rizika** – upravljačka strategija vršenja određenih izmena u projektu radi smanjenja ostvarenja rizičnog događaja i njegovog uticaja na projekat. Drugim rečima, na osnovu saznanja o mogućim rizičnim događajima u projektu putem identifikacije i analize rizika, pronalaze se i definišu one promene u projektu koje će bitno doprineti smanjenju rizika. Ove izmene mogu biti vezane za vremenski plan projekta, za angažovanje pojedinih vrsta resursa, za budžet projekta, za

projektne specifikacije, za pojedine nabavke, za traženi kvalitet delova i celog projekta, itd. Bitno je da ove izmene ne utiču značajnije na definisane globalne ciljeve projekta, a da bitno doprinose smanjenju neizvesnosti i rizika u projektu.

- **Prebacivanje rizika** – strategija kod koje se da se ukloni ili smanji rizik u projektu tako što se deo rizika ili ceo rizik prebaci na drugu stranku ili drugu osobu. To se vrši tako što se izmenom ugovora oslobađamo nekih obaveza koje nose rizik, ili se ugovorom rizik prebacuje na drugu stranku, koja je sada odgovorna za upravljanje rizikom u projektu. Takođe moguće je zaključiti ugovor o osiguranju od rizičnih događaja i tako smanjiti štetu koju njihovo ostvarenje može doneti. Možemo planirati brojne akcije za npr. smanjenje rizika uništenja imovine, ali je takođe moguće napraviti ugovor o osiguranju mašina od štete ili osiguranju zgrade od požara i time nadoknaditi eventualne gubitke [War 95].
- **Podela rizika** – strategija u kojoj se vrši podela rizika između partnera kroz odgovarajući ugovor, a način i procenat podele rizika dogovara se između partnera u okviru određenog projekta i preciziraju odgovarajućim ugovornim obavezama. [Pro 87, Ada 79, Die 91].

Kontigencijsko planiranje je posebna strategija za postupanje u uslovima neizvesnosti i rizika, koja uvažava specifičnosti svake pojedinačne situacije. Kontigencijsko planiranje predviđa izradu posebnih upravljačkih planova za postupanje u slučaju pojave rizičnih događaja. Kontigencijsko planiranje obuhvata, pre svega, planiranje budžeta u uslovima pojave rizičnih događaja i izradu alternativnih planova aktivnosti i reakcija u izuzetnim situacijama. Kontigencijska strategija predviđa oprezno ponašanje i postepeno i racionalno odlučivanje radi prilagođavanja neizvesnim i rizičnim događajima i smanjenja moguće štete [Sch 01]. Ovo planiranje predviđa tačnu raspodelu nadležnosti i odgovornosti menadžerske strukture za postupanje u situacijama rizika i procenu odgovornosti ako je određeni rizični događaj naneo štete projektu [Pro 87, Die 91].

Međutim, pored primene pojedinih strategija, postoje i situacije kada je potrebno da se kombinuje više strategija. To su složene situacije sa kombinacijom rizika i različitim i promenljivim uticajima, koje zahtevaju da se u procesu upravljanja rizikom projekta primenjuje kombinacija više različitih strategija reagovanja na rizične događaje u projektu. U ovakvim situacijama potrebno je da se najpre utvrde određeni ciljevi, politike, procedure i odgovornosti za postupanje u takvim rizičnim situacijama, da bi odgovarajući sistem reakcije mogao biti uspostavljen [Aki 97].

Istraživanjem je utvrđeno da su neki rizici veći u određenim fazama realizacije projekta nego u drugim, odnosno da se ostvaruju različiti uticaji rizičnih događaja u različitim fazama projekta. Rizik u projektu se menja tokom odvijanja realizacije projekta i ove promene zavise od toga koje aktivnosti u projektu obavljamo i do koje faze je stigla i realizacija projekta. Ako se u nekom momentu obavljaju određene aktivnosti sa visokim stepenom rizika, onda se ukupan rizik u projektu povećava. Ukoliko se projekat bliži kraju, ukupan rizik u projektu se smanjuje. Veličina rizika u projektu se takođe značajno menja ako postoje promene u obimu projekta ili promene u metodu rada na projektu [Pro 87]. Zbog toga treba i planiranje reakcija prilagoditi i predviđenom vremenu nastupanja određenih rizika.

Zbog svega toga neophodno je da postoji kontinuirani uvid u situaciju u vezi sa odvijanjem projekta i da se neprekidno vrše potrebna prilagođavanja i promene u planiranju reakcija na rizične događaje. To znači da treba da postoji organizovan sistem reakcija, čiji je zadatak da prati odvijanje realizacije projekta i da permanentno menja i prilagođava planirane akcije i strategije [Jov 08].

2.4.4 Kontrola primene reakcija (odgovora) na rizik

Zbog specifičnosti procesa upravljanja rizikom, nije moguće vršiti kontrolu odvijanja rizičnih događaja. U ovom slučaju se, radi smanjenja rizika i posledica koje dešavanje rizičnih događaja donosi, vrši prethodno planiranje reakcija i odgovora na rizične događaje, kako bi se moguće štete koje oni donose svele na objektivno moguće minimum [She 97]. Zbog toga se u ovoj fazi procesa upravljanja rizikom vrši kontrola

sprovođenja reakcija ili odgovora na rizik, kako bi se utvrdilo da li su planirani odgovori adekvatni i da li treba uvoditi nove odgovore [McI 03]. Na taj način se uz pomoć praćenja i kontrole reakcija na rizik, mogu uvoditi novi odgovori na rizik, u skladu sa realnim odvijanjem projekta. Time se celokupan proces upravljanja rizikom pretvara u kontinuelan proces u kome se prethodno navedene faze procesa upravljanja rizikom, analiza, procena i planiranje reakcija, stalno ponavljaju, i tako obezbeđuje efikasna zaštita od rizičnih događaja [Jov 08].

Uspostavljanje neprekidnog procesa kontrole rizika podrazumeva da treba napraviti kontinuirani sistem identifikacija rizika, procene rizika i razvijanje strategija za reagovanje na moguće rizike [McI 03]. To znači da treba da se tokom odvijanja projekta vrši stalno prilagođavanje planiranih strategija novonastalim uslovima, kako bi se što više smanjio mogući rizik nastajanja štetnih događaja i mogući gubici nastajanja i delovanja rizičnih događaja [Abd 96].

Naime u toku odvijanja realizacije projekta, može doći do promena u projektnim rizicima. Promene mogu biti kako u vremenu, tako i u načinu uticaja, a neki rizici mogu biti povezani [She 97]. Zato je potrebno da se u procesu upravljanja rizikom, primenjuje kombinacija više različitih strategija reagovanja na rizične događaje u projektu, i da se tako ostvari celovit proces praćenja i kontrole rizika. To nije kontrola u klasičnom smislu, da se kontroliše odvijanje rizičnih događaja, već se vrši prethodna priprema i reagovanje na rizične događaje da bi se smanjili štetni uticaji na projekat.

Proces kontrole obuhvata organizovan sistem praćenja procesa realizacije projekta i nastajanja rizičnih događaja i permanentnog menjanja i prilagođavanja planiranih akcija i strategija [McI 03]. Taj organizovan proces kontrole obuhvata sve prethodno naznačene podprocese identifikacije rizika, procene rizika i razvijanja solucija, koji su povezani u jedan efikasan i fleksibilan sistem koji se može brzo i efikasno primenjivati [Jov 08].

2.3 Procena rizika

Procena rizika predstavlja postupak kojim se vrši merenje veličine rizika koji može izazvati određeni gubitak ili neuspeh, a takođe i uticaj pojave rizika na posmatrani projekat.

Postupak procene rizika može da se vrši na različite načine i različitim metodama. Metod koji je ovde prikazan sastoji se u kritičkom ispitivanju projekta u cilju određivanja vrste i stepena rizika pomoću određenog upitnika. Pomoću ovog metoda procene rizika određuje se kolika je verovatnoća da će projekat da pretrpi neuspeh u pogledu ostvarenja svojih osnovnih ciljeva - tehničkih, vremenskih i troškovnih [Pro 82]. Prema ovom metodu procene rizika, ocena veličine rizika u projektu vrši se prema tri osnovna kriterijuma:

- Fleksibilnost projekta,
- Veličina projekta,
- Tehnologija.

Ovi kriterijumi zavise od određenog broja faktora, koji mogu da utiču tako, da se različito procenjuje rizik od preduzeća do preduzeća. Uticaj faktora na kriterijume može biti takav da se jedan projekat u jednom preduzeću ocenjuje kao visokorizičan, a u drugom kao niskorizičan, što znači da ovi faktori onemogućavaju da se ocena rizika u projektu na osnovu predloženih kriterijuma uopšti. To su sledeći faktori: stil upravljanja, delatnost firme, kadrovi, vreme različite vrste portfolija, i različiti tipovi projekata [Pro 82, War 95].

Projekat koji ima veliku fleksibilnost je projekat koji je malo strukturiran i on pruža mali stepen izvesnosti u pogledu krajnjeg ishoda projekta, pa prema tome projekat sa velikom fleksibilnošću nosi i veliki rizik. Procene se teško mogu dati unapred, već se najvažnije procene mogu dati tokom realizacije projekta. Kod ovog projekta je teško odrediti funkcionalne specifikacije, tako da se one daju u toku realizacije projekta.

Projekat koji ima malu fleksibilnost je obično veoma strukturiran projekat, koji pruža znatno veći stepen izvesnosti u pogledu ishoda projekta. Kod ovakvih projekata

funkcionalne specifikacije i potrebni parametri su unapred utvrđeni i poznati, tako da ima veoma malo mogućnosti promena.

Zastupljena tehnologija u projektu predstavlja važan kriterijum za procenu rizika. Projekti kod kojih je zastupljena visoka tehnologija su obično složeni projekti kod kojih su karakteristike tehnologije nedovoljno poznate kadrovima koji ih realizuju. Oni su obavijeni velikom dozom neizvesnosti, pa zbog toga nose i veliki rizik. Projekti koji se rade sa niskom tehnologijom su projekti kod kojih su karakteristike primenjene tehnologije poznate, pa je neizvesnost znatno manja i rizik koji nosi projekat manji.

Veličina projekta takođe predstavlja značajan kriterijum za procenu rizika u projektu. Pri tome se najčešće koristi uprošćena klasifikacija na velike i male projekte. Klasifikacija se vrši, pre svega, prema vremenu potrebnom za realizaciju projekta, zatim prema broju ljudi koji su angažovani u realizaciji projekta i prema drugim pokazateljima projekta. Veliki projekti su oni projekti koji zahtevaju više od 20.000 radnih sati, odnosno traju više od 24 meseca, a mali projekti zahtevaju manje od 4.000 radnih sati, odnosno traju manje od 12 meseci. Kod procene rizika projekta, veliki projekti nose veliki rizik, a mali projekti nose mali rizik [Pro 82].

Svaki projekat koji ima veliku fleksibilnost i visoku tehnologiju je visokorizičan, bez obzira na veličinu. Kombinacija male fleksibilnosti i visoke tehnologije i obrnuto, donosi srednji rizik, dok mala fleksibilnost i niska tehnologija donose mali rizik [Jov 08].

2.4 Tehnike mrežnog planiranja

2.4.1 Razvoj tehnike mrežnog planiranja

Za efikasno upravljanje projektom danas se koristi veći broj različitih metoda planiranja i upravljanja. Među ovim metodama posebno se ističe tehnika mrežnog planiranja pomoću koje se, kako je već objašnjeno, planira celokupan tok realizacije određenog projekta i operativno prati i kontroliše odvijanje ovog procesa, kako sa vremenskog stanovišta, tako i u pogledu troškova [Jov 99].

Tehnika mrežnog planiranja je nastala krajem pedesetih godina u SAD za potrebe planiranja i kontrole dugoročnih i složenih, pre svega, vojnih projekata. Najpre je razvijena primena u oblasti planiranja i kontrole rokova, a nešto kasnije i na području planiranja i kontrole troškova i resursa. Za efikasno upravljanje projektom danas se koristi veći broj različitih metoda planiranja i upravljanja. Među ovim metodama posebno se ističe tehnika mrežnog planiranja pomoću koje se, kako je već objašnjeno, planira celokupan tok realizacije određenog projekta i operativno prati i kontroliše odvijanje ovog procesa, kako sa vremenskog stanovišta, tako i u pogledu troškova [Jov 99]. Tehnika mrežnog planiranja je nastala krajem pedesetih godina u SAD za potrebe planiranja i kontrole dugoročnih i složenih, pre svega, vojnih projekata. Najpre je razvijena primena u oblasti planiranja i kontrole rokova, a nešto kasnije i na području planiranja i kontrole troškova i resursa. Usled uočenih enormnih prekoračenja rokova i troškova krupnih vojnih projekata i slabosti dotadašnjih metoda za planiranje i kontrolu realizacije projekta, prišlo se razvijanju novih metoda sposobnih da obuhvate ogromnu složenost projekta i takođe ogroman broj učesnika u realizaciji projekta. Tako su nastale prvobitne metode mrežnog planiranja CPM i PERT, koje su vremenom ušle u široku upotrebu i danas predstavljaju nezamenljivo sredstvo za planiranje, praćenje i kontrolu, odnosno za efikasno upravljanje složenim, dugotrajnim i skupim razvojnim i investicionim projektima [Aki 97].

Smatra se da je najpre razvijena metoda CPM (*Critical Path Method*) -metoda kritičnog puta i to 1957 godine. Ovu metodu su, pod vođstvom M.R. Walker-a i J.E. Kelly-a, razvili stručnjaci firme Du Point De Nemours and Co., zajedno sa stručnjacima

iz firme Remington Rand, za potrebe planiranja, održavanja i izgradnje fabrika hemijske industrije [Aki 97].

Nezavisno od razvoja CPM metode, u okviru realizacije projekta razvoja raketnog sistema Polaris, za potrebe američke mornarice, razvijena je 1958. godine PERT metoda (*Program Evalution and Review Technique*). Metodu je razvila grupa Biroa za specijalne projekte američke mornarice pod vodstvom W. Fazar-a, zajedno sa stručnjacima firme Lockheed i konsultantima firme Booz, Allen and Hamilton. Najpre je razvijena metoda PERT-TIME za planiranje i kontrolu vremena odvijanja radova na projektima, a zatim 1962. godine je razvijena metoda PERT-COST za planiranje, praćenje i kontrolu troškova projekta.

Sasvim nezavisno od razvoja CPM i PERT metode, nastala je 1958. godine u Francuskoj metoda MDM (*Metoda Potencial Methode*), takozvana potencijalna metoda [Hau 75]. Ovu metodu je razvio francuski matematičar B. Roy iz istraživačke i savetodavne institucije SEMA, i ova metoda je korišćena krajem pedesetih godina za planiranje i kontrolu izgradnje atomske centrale u Francuskoj. U teoriji se često pominje, a u zadnje vreme sve više koristi metoda PD (*Precendenc Diagramming*) koja kao i MPM metoda koristi blok mrežni dijagram za grafički prikaz projekta. PD metoda je razvijena na teorijskim osnovama MPM metode i ona je razvijena u poznatoj firmi za proizvodnju računara IBM, i najpre upotrebljena kod formiranja programa PC (*Project Control System*) za upravljanje projektom. Treba takođe pomenuti i DBPS metodu kao metodu mrežnog dijagram događaja odluke, koja se koristi kod istraživačkih i razvojnih projekata kod kojih postoji neizvesnost u pogledu strukture odvijanja aktivnosti [Jov 08].

2.4.2 Osnovne karakteristike metoda mrežnog planiranja

Metode mrežnog planiranja su takve metode koje se baziraju na grafičkon prikazu redosleda aktivnosti u okviru jednog projekta (posla) i njihovih međusobnih zavisnosti preko mrežnog dijagrama. Metode mrežnoj planiranja donele su novi kvalitet u odnosu na prethodne metode planiranja izvođenja pojedinih aktivnosti jer prikazuju i povezanost aktivnosti u procesu realizacije određenog građevinskog projekta [Wan 04].

Grafičko prikazivanje odvijanja aktivnosti u jednom projektu uz pomoću gantograma, daje vremensko odvijanje pojedinih aktivnosti na vremenskoj osi, ali ne daje međusobnu povezanost i zavisnost pojedinih aktivnosti ui projektu, te tako ne omogućava i potpunu vremensku analizu [Uhe 03]. Metode mrežnog planiranja omogućavaju grafički prikaz odvijanja pojedinih aktivnosti i njihove međuzavisnosti preko mrežnog dijagrama čime se dobija logička struktura realizacije određenog projekta i omogućava detaljna analiza vremena realizacije pojedinih aktivnosti projekta u celini. Za razliku od drugih metoda planiranja, metode mrežnog planiranja vrše posebno analizu međuzavisnosti pojedinih aktivnosti odnosno analizu strukture projekta, i posebno analizu vremena [Jov 08].

Osnovne metode mrežnog planiranja, koje su bile prve razvijene su PERT metoda i CPM metoda, i one se i danas veoma široko koriste. Obe metode za grafičko prikazivanje strukture projekta koriste mrežne dijagrame orijentisane aktivnostima. Formiranje mrežnog dijagrama se vrši uz pomoć strelica kojima se označavaju aktivnosti i kružića kojima se označavaju događaji, pa se taj mrežni dijagram i naziva “i-j” mrežni dijagram. Ove dve metode se u osnovi razlikuju po načinu određivanja vremena trajanja pojedinih aktivnosti i po vremenskoj analizi, dok su im i pravila za formiranje mrežnog dijagrama i analiza strukture ista.

Metoda kritičnog puta (CPM) se upotrebljava u slučajevima kada je vreme pojedinih aktivnosti u projektu poznato i može se jednoznačno odrediti. Nakon određivanja vremena pojedinih aktivnosti u projektu, vrši se izračunavanje ukupnog vremena potrebnog za realizaciju projekta. Najduži put u mrežnom dijagramu,

vremenski izražen, predstavlja kritičan put. Kritični put označava najduže vreme realizacije celokupnog projekta, i to je vreme realizacije projekta.

PERT metoda se upotrebljava u slučajevima kada vreme trajanja pojedinih aktivnosti u projektu nije poznato, te nije moguće jednoznačno ga odrediti. Zato se kod ove metode vrši procena tri vrednosti vremena pojedinih aktivnosti - optimističko, normalno i pesimističko, i na osnovu njih vrši proračun vremena realizacije celokupnog projekta.

Za razliku od CPM i PERT metode, metoda MPM i metoda PD koriste blok mrežni dijagram za grafički prikaz strukture projekta. MPM metoda ima posebna pravila za formiranje strukture projekta i sopstveni prilaz analizi vremena. PD metoda je slična MPM metodi što je i logično s obzirom da se na nju teorijski oslanja [Jov 08].

Metode mrežnog planiranja koriste se u mnogim područjima čovekovog života i rada, ali najviše, kako je već rečeno, za upravljanje realizacijom kompleksnih, dugotrajnih i skupih razvojnih i investicionih programa i građevinskih projekata, sa velikim brojem učesnika [Uhe 03].

Pojedinačno posmatrano metode mrežnog planiranja najviše se koriste pri:

- Uvođenju novog tehnološkog procesa,
- Uvođenju novog proizvoda,
- Planiranju istraživačkih projekata,
- Realizaciji složenih remonta,
- Planiranju i terminiranju proizvodnih zadataka,
- Upravljanju složenim montažnim radovima,
- Upravljanju izgradnjom neproizvodnih objekata,
- Upravljanju izgradnjom industrijskih objekata,
- Upravljanju rekonstrukcijom proizvodnih kapaciteta,
- Dislokaciji proizvodnih objekata i postrojenja,
- Planiranju i realizaciji složenih razvojnih programa,
- Planiranju i realizaciji vojnostrateških programa i projekata, itd.

Treba posebno naglasiti da se različite metode mrežnog planiranja danas najviše koriste i najbolje rezultate ostvaruju u oblasti upravljanja realizacijom složenih razvojnih i investicionih projekata koje karakteriše veliki broj raznovrsnih aktivnosti, veliki broj učesnika i značajna sredstva koja se ulažu u realizaciju. Objektivna težnja svakog investitora je da realizuje projekat u najkraćem vremenu i sa minimalnim troškovima, te se u tom cilju koriste metode mrežnog planiranja, naravno zajedno sa drugim organizacionim i upravljačkim metodama.

Prednost primene metode mrežnog planiranja u navedenim područjima su veoma značajne i ogledaju se u sledećem:

- Izrada mrežnog dijagrama zahteva detaljnu prethodnu studiju celog projekta,
- Primena tehnike mrežnog planiranja donosi vremenske i materijalne uštede,
- U okviru celog projekta uočavaju se pojedinačni zadaci i pregledno predstavljaju sa svim vezama i zavisnostima,
- Obezbeđenjem kontrole odvijanja projekta i procene uspešnosti odvijanja tehnika mrežnog planiranja postaje značajno sredstvo za upravljanje realizacijom projekta,
- Omogućen je proračun vremenskih rezervi koje se mogu koristiti za analizu kapaciteta (resursa),
- Uska grla se mogu unapred utvrditi i predvideti mere za njihovo otklanjanje,
- Potreban kadar i sredstva rada mogu se unapred rasporediti i na najbolji način i
- Zahvaljujući višestrukim metodama obrade, mrežni dijagram se može koristiti u najrazličitijim varijantama [Bra 68].

2.4.3 Osnovni pojmovi u tehnici mrežnog planiranja

Radi lakšeg i korektnijeg objašnjavanja mogućnosti primene tehnike mrežnog planiranja u upravljanju realizacijom građevinskih projekata, pre svega treba se osvrnuti na pojam projekta i objasniti šta se pod ovim pojmom, u tehnici mrežnog planiranja, podrazumeva.

Pod projektom se podrazumeva zadatak, posao, problem, proces odnosno uopšteno rečeno poduhvat koji nameravamo realizovati i uz pomoć tehnike mrežnog planiranja planirati i pratiti. Kada su, npr. u pitanju investicioni problemi to je konkretan investicioni projekat čiju realizaciju treba planirati, pratiti i kontrolisati kao što je npr. izgradnja novog mosta, rekonstrukcija pogona kovačnice, dislokacija pogona industrije nameštaja, uvođenje nove opreme u elektrani, i sl [Ber 91].

Projekat se sastoji iz većeg ili manjeg broja delova koji se u tehnici mrežnog planiranja nazivaju aktivnostima. Aktivnosti su pojedinačni tehnološki zaokruženi zadaci ili poslovi čija logička povezanost čini celinu posmatranog projekta, i čije izvršenje zahteva određena sredstva i određeno vreme. Pored aktivnosti koje zahtevaju vreme i sredstva, postoje i tzv. fiktivne ili prividne aktivnosti, koje ne zahtevaju ni sredstva ni vreme i koje omogućavaju realan prikaz povezanosti pojedinih aktivnosti u celini projekta [Jov 08].

Tipične aktivnosti za realizaciju investicionih projekata su:

- Izrada investicionog programa,
- Izrada glavnih projekata,
- Zatvaranje finansijske konstrukcije,
- Dobijanje saglasnosti i dozvola,
- Izgradnja građevinskog objekta,
- Ugrađivanje instalacija,
- Montaža opreme, i dr [Ber 91].

Zavisno od potrebe, i navedene aktivnosti u realizaciji jednog investicionog projekta mogu biti više ili manje raščlanjene.

Događaj u tehnici mrežnog planiranja označava početak ili završetak aktivnosti i nema vremensku dimenziju. Početni događaj označava početak aktivnosti, a završni događaj završetak aktivnosti, odnosno početak naredne aktivnosti. [Uhe 03]

Kod realizacije investicionih projekata događaji mogu biti: investicioni program završen, dobijena dozvola za izgradnju, oprema i instalacije dopremljeni, oprema montirana, itd.

Aktivnosti se grafički predstavljaju orijentisanom strelicom, čija dužina nije povezana sa vremenom izvođenja aktivnosti. Fiktivne aktivnosti se prikazuju icrtkanim strelicama. Događaji se grafički predstavljaju krugom u koji se upisuju potrebni podaci.

Mrežni dijagram se konstruiše uz pomoć aktivnosti - strelica i događaja - kružića, i on predstavlja grafički prikaz realizacije posmatranog projekta. Aktivnosti, pa samim tim i celokupan mrežni dijagram, su orijentisane u pravcu odvijanja projekta, od početnog događaja i aktivnosti, pa sve do završnih. Aktivnosti se odvijaju u skladu sa svojim tehnološkim redosledom, čime projekat ostvaruje svoju stvarnu, odnosno tehnološku strukturu i međuzavisnost [Jov 08].

Postoje dve vrste mrežnih dijagrama:

- Mrežni dijagrami orijentisani aktivnostima i
- Mrežni dijagrami orijentisani događajima.

Kod mrežnih dijagrama orijentisanih aktivnostima, aktivnosti se grafički predstavljaju strelicama u pravcu vremenskog odvijanja projekta, od njegovog početka, do završetka, kao što je to prethodno objašnjeno. Pri tome treba naglasiti da dužina strelice ne označava vremensku dimenziju aktivnosti [Ber 91].

Kod mrežnog dijagrama orijentisanog događajima (stanjima), u projektu se umesto aktivnosti definišu određeni događaji koji označavaju poslove koji su u toku odvijanja projekta završeni. Događaji su povezani strelicama u skladu sa njihovim stvarnim odvijanjem, odnosno tehnološkim redosledom, čime se dobija mrežni dijagram celog projekta. U praksi se više koristi mrežni dijagram orijentisan aktivnostima [Jov 08].

U postupku korišćenja tehnike mrežnog planiranja za planiranje i praćenje realizacije projekta najpre se vrši analiza strukture, a zatim analiza vremena i analiza troškova. Analiza strukture obuhvata određivanje tehnološkog redosleda i uzajamnih odnosa pojedinih aktivnosti u projektu i konstruisanje mrežnog dijagrama kao grafičkog prikaza odvijanja projekta. Analiza vremena obuhvata utvrđivanje vremena potrebnog za izvršenje pojedinih aktivnosti i realizaciju projekta u celini, i utvrđivanje "kritičnog", odnosno vremenski najdužeg puta realizacije projekta. Analiza troškova obuhvata utvrđivanje troškova pojedinih aktivnosti i celokupnog projekta i iznalaženja najpovoljnijeg odnosa između vremena i troškova realizacije pojedinih aktivnosti u projektu u celini [Jov 08].

2.4.4 Analiza strukture

Analiza strukture obuhvata, istraživanje i utvrđivanje redosleda i međuzavisnosti pojedinih aktivnosti i definisanje mrežnog dijagrama projekta, i ona je za CPM i PERT metodu ista.

- Analiza strukture se odvija kroz sledeće zadatke:
- Sastavljanje liste aktivnosti iz kojih se projekat sastoji,
- Izrada šeme odnosa aktivnosti,
- Konstruisanje mrežnog dijagrama projekta,
- Numerisanje mrežnog dijagrama i
- Kontrola izgrađenog mrežnog dijagrama.

Sastavljanje liste aktivnosti u okviru analize strukture otpočinje detaljnim proučavanjem svih karakteristika projekta čiju realizaciju nameravamo predstaviti mrežnim dijagramom. Ovo proučavanje nam omogućava da sa što više potrebnih podataka uđemo u sastavljanje liste aktivnosti, i uradimo je što tačnije.

Sastavljanje liste aktivnosti koja obuhvata sve zadatke, odnosno aktivnosti, koje se u okviru projekta trebaju izvršiti, može se obavljati na više načina: prikupljanjem podataka od stručnjaka koji poznaju tehnologiju posmatranog projekta,

poređenjem sa sličnim projektima, primenom Brainstorming tehnike, detaljnim razmatranjem i analizom projekta i podelom na delove i aktivnosti, uporednim sastavljanjem liste aktivnosti i konstruisanjem mrežnog dijagrama, itd.

Još kod sastavljanja liste aktivnosti treba definisati koji nivo raščlanjivanja projekta želimo i na taj način odrediti stepen detaljizacije aktivnosti. Ukoliko idemo na globalni mrežni dijagram jednog građevinskog projekta, onda će i aktivnosti biti ukrupljene i na odgovarajući način definisane. Zato je neophodno da se za svaki konkretan projekat unapred definiše željeni stepen detaljizacije u zavisnosti od namene mrežnog dijagrama i specifičnosti odnosnog projekta [Wan 04].

Šema međuzavisnosti služi kao sredstvo za pravilno konstruisanje mrežnog dijagrama, i ona se često koristi umesto tehnike postavljanja pitanja. Šema međuzavisnosti pokazuje uzajamne odnose između pojedinih aktivnosti i određuje koje aktivnosti se moraju završiti, da bi posmatrana aktivnost mogla otpočeti. Izrada šeme međuzavisnosti obično se ne vrši kod projekata sa većim brojem aktivnosti, jer su praktične mogućnosti izrade takve šeme ograničene.

Nakon izrade liste aktivnosti i šeme međuzavisnosti može se preći na crtanje mrežnog dijagrama projekta. Umesto šeme međuzavisnosti mogu se kod crtanja mrežnog dijagrama koristiti određena pitanja koja se odnose na međuzavisnost pojedinih aktivnosti u projektu [Bra 68]. To su sledeća pitanja:

- Koje aktivnosti moraju neposredno prethodno biti završene?
- Koje aktivnosti mogu neposredno posle otpočeti?
- Koje aktivnosti mogu da se izvršavaju nezavisno paralelno?
- Može li ova aktivnost da bude podeljena drugom?

Postavljanjem ovih pitanja kod svake aktivnosti dobija se pravi redosled i međupovezanost aktivnosti što omogućava crtanje mrežnog dijagrama. Konstruisanje mrežnog dijagrama je veoma značajno za celokupno upravljanje projektom, te ga zbog toga treba raditi lagano i pažljivo kako bi se izbegle eventualne greške. Ovako konstruisan mrežni dijagram je osnova za kasniju analizu vremena, tako da rezultati analize vremena zavise od prethodno obavljene analize strukture.

Kod većih i složenijih projekata veoma je teško unapred sastaviti dobru listu aktivnosti, tako da se konstruisanje mrežnog dijagrama i sastavljanje liste aktivnosti vrši istovremeno. Prilikom postepenog crtanja mrežnog dijagrama treba povremeno vršiti određene provere i kontrole kako ne bi bila izostavljena neka aktivnost ili ispuštena neka povezanost.

Nakon završetka mrežnog dijagrama potrebno je izvršiti numerisanje, odnosno obeležavanje svih događaja projekta. Pri tome treba naglasiti da proizvoljno numerisanje nije dobro i zbog značajnih nedostataka ne treba ga koristiti, već treba koristiti tzv. rastuće numerisanje. Kod ovog označavanja koriste se celi pozitivni brojevi u rastućem nizu, od početnog, pa sve do zadnjeg događaja.

Rastuće numerisanje se koristi na sledeći način. Najpre se početni događaj obeleži jednim brojem, npr. jedinicom. Zatim se sve aktivnosti koje polaze iz ovog početnog događaja precrtaju. Kao drugi (broj 2) biće obeležen onaj događaj kod koga su sve aktivnosti koje mu prethode precrtane. Ako imamo slučaj da se odjednom nađe više događaja koje možemo obeležiti, onda se obeležavanje najčešće vrši odozgo na dole.

Zadnju etapu u procesu analize strukture jednog mrežnog dijagrama čini kontrola završenog mrežnog dijagrama. Ova kontrola treba da utvrdi da li je mrežni dijagram konstruisan i numerisan u skladu sa pravilima tehnike mrežnog planiranja. Kontrolu završenog mrežnog dijagrama treba obaviti detaljno i veoma pažljivo kako bi se otklonile eventualne greške i nepravilnosti koje u daljem toku upravljanja realizacijom projekta mogu dovesti do težih posledica. U eventualnim slučajevima treba ići, ukoliko je potrebno, na delimično ili potpuno ponovno crtanje mrežnog dijagrama projekta [Jov 08].

2.4.5 Analiza vremena

Analiza vremena obuhvata procenu i utvrđivanje vremena potrebnog za izvršenje pojedinih aktivnosti i realizaciju projekta u celini. Trajanje pojedinih aktivnosti treba da bude što tačnije procenjeno, te zato ovaj posao treba da obavljaju iskusni i kompetentni stručnjaci koji poznaju posmatrani poduhvat. Mada razlike postoje, ipak se može reći da kod investicionih projekata možemo, na osnovu iskustva iz sličnih projekata, sasvim solidno proceniti vremena trajanja pojedinih aktivnosti. Iz iskustva se takođe zna kod kojih aktivnosti mogu da se pojave teškoće i problemi koji dovode do produženja potrebnog vremena.

Analiza strukture je, kao što smo rekli, za sve metode mrežnog planiranja slična, odnosno za metodu CPM i PERT metodu, ista. Analiza vremena se međutim razlikuje kod pojedinih metoda, a u ovom radu biće prikazana analiza vremena kod CPM i PERT metode.

Kod analize vremena, vreme trajanja određene aktivnosti $i-j$, koje se obeležava sa t_{ij} može se prikazati različitim vremenskim jedinicama kao što su minut, čas, dan, mesec, i dr. S obzirom da početak i završetak aktivnosti može da se dogodi u izvesnom periodu vremena, u analizi vremena razlikujemo sledeće vremenske parametre:

- t_i^0 - najraniji početak aktivnosti - vreme kada najranije može početi aktivnost,
- t_i^l - najkasniji početak aktivnosti - vreme kada najkasnije može početi aktivnost,
- t_j^0 - najraniji završetak aktivnosti - vreme kada najranije može da se završi aktivnost,
- t_j^l - najkasniji završetak aktivnosti - vreme kada aktivnost mora da se završi.

Sa ovim vremenskim parametrima se barata u analizi vremena i na osnovu njih se vrši proračun ostalih vremenskih parametara. Između najranijeg početka aktivnosti t_i^0 i najkasnijeg završetka aktivnosti t_j^l nalazi se raspoloživi vremenski period u kome se mora izvršiti posmatrana aktivnost [Jov 08].

2.4.6 Analiza vremena po metodi CPM

Metoda kritičnog puta koristi se u slučajevima kada se vreme trajanja pojedinih aktivnosti u projektu može jednoznačno odrediti, odnosno proceniti. Metoda kritičnog puta se znači oslanja na deterministički pristup i na relativno čvrste procene vremena trajanja aktivnosti.

U postupku analize vremena CPM metodom, najpre se vrši procena vremena trajanja pojedinih aktivnosti, koje se mogu označiti i na samom mrežnom dijagramu. Nakon toga se vrši izračunavanje najranijeg i najkasnijeg početka aktivnosti i najranijeg i najkasnijeg završetka aktivnosti, koji određuju i vreme zbivanja pojedinih događaja [She 01].

Podaci o najranijem i najkasnijem završetku događaja se unose u kružić kojim se označava događaj.

Proračun navedenih vremenskih parametara vrši se postupkom progresivnog i retrogradnog izracunavanja vremena. Progresivnom metodom se izračunava najraniji početak i najraniji završetak pojedinih aktivnosti i to od početnog događaja ka završnom. Najraniji početak aktivnosti i - j koji se označava sa t_i^0 (koji ujedno predstavlja i najranije vreme nastanka događaja i) određen je vremenom trajanja najdužeg puta koji ulazi u događaj i za početni događaj u mrežnom dijagramu ima vrednost $t_i^0 = 0$. Ostale vrednosti najranijih početaka aktivnosti izračunavaju se dodavanjem najdužeg trajanja prethodne aktivnosti $\max t_j^i$.

$$t_0^0 = 0;$$

$$t_1^0 = t_0^0 + \max t_{ij};$$

$$t_2^0 = t_1^0 + \max t_{ij};$$

Najraniji završetak aktivnosti t_j^0 dobija se kao zbir vremena najranijeg početka aktivnosti i vremena trajanja aktivnosti.

$$t_j^0 = t_i^0 + t_{ij};$$

Najkasniji završetak aktivnosti t_j^l izračunava se retrogradnom metodom, i to polazeći od krajnjeg događaja ka početnom.

Najkasnije vreme završetka zadnje aktivnosti, odnosno najkasnije vreme zadnjeg događaja, je jednako najranijem vremenu zadnjeg događaja, odnosno najranijem vremenu završetka projekta T ($t_j^0 = t_j^l = T$). Polazeći od najkasnijeg vremena završnog događaja mogu se odrediti najkasnija vremena završetka svih aktivnosti oduzimanjem odgovarajućih vremena aktivnosti.

Najkasniji početak aktivnosti t_i^l izračunava se kao razlika najkasnijeg završetka aktivnosti i vremena trajanja aktivnosti.

$$t_i^l = t_j^l - t_{ij};$$

Maksimalno dozvoljeno trajanje aktivnosti ($i-j$) predstavlja period između najranijeg početka aktivnosti t_j^0 i najkasnijeg završetka aktivnosti t_j^l . Ako je vreme trajanja jedne aktivnosti jednako razlici vremena najkasnijeg završetka i najranijeg početka te aktivnosti ($t_{ij} = t_j^l - t_j^0$) onda se ova aktivnost naziva kritičnom.

Događaji kod kojih se poklapaju najranija i najkasnija vremena ($t_i^0 = t_j^l$) su kritični događaji. Ovaj put u mrežnom dijagramu, koji se sastoji od kritičnih aktivnosti, računajući od početnog do završnog događaja, naziva se kritičan put. Prema tome kritičan put ima najduže vreme trajanja u celom mrežnom dijagramu.

Ostale aktivnosti koje nisu kritične, kod kojih je razlika najkasnijeg završetka i najranijeg početka aktivnosti veća od vremena trajanja aktivnosti, imaju određeni vremenski zazor, odnosno vremensku rezervu. Ove aktivnosti, za razliku od kritičnih, ne moraju se završiti tačno po predviđenom vremenu trajanja aktivnosti [Jov 08].

Kritične aktivnosti se moraju izvršiti za predviđeno vreme, je prekoračenje vremena završetka kritične aktivnosti dovodi do prekoračenja završetka celog projekta. Zato se te aktivnosti nazivaju kritičnim, a sve zajedno čine kritični put, i na njih se mora u upravljanju projektom obratiti posebna pažnja, kako bi se realizovao u predviđenom

vremenu. Zbog svega toga u okviru analize vremena posebno se vrši analiza vremenskih rezervi koje postoje kod aktivnosti koje nisu kritične.

U okviru metode kritičnog puta operiše se sa četiri vrste vremenskih rezervi [Bra 68]:

- **Ukupna vremenska rezerva** – vreme za koje se određen aktivnost može produžiti, odnosno pomeriti napred, a da se ne ugrozi rok završetka projekta. Dobija se kao razlika maksimalno dozvoljenog vremena za realizaciju aktivnosti i vremena trajanja te aktivnosti.
- **Slobodna vremenska rezerva** – vreme za koje se određen aktivnost može odložiti ili produžiti, a da ne ugrozi najranije početke sledećih aktivnosti.
- **Nezavisna vremenska rezerva** – vreme za koje se aktivnost *i-j* može produžiti ili odložiti pod uslovom da je događaj *i*, usled usporenja prethodne aktivnosti, dostignut u najkasnijem vremenu, a da se za događaj *j* postigne najranije vreme.
- **Uslovna vremenska rezerva** – vremenska rezerva koja se odnosi na dati događaj *i* i manje se koristi u praksi.

Treba posebno napomenuti da analiza vremenskih rezervi ima veliki značaj u analizi vremena jer omogućava skraćivanje i prepravljavanje mrežnog dijagrama projekta.

2.4.7 Analiza vremena po metodi *PERT*

PERT metoda se upotrebljava za one projekte čija je realizacija obavijena znatnom neizvesnošću, kod kojih vreme realizacije pojedinih aktivnosti nije poznato i nije moguće jednoznačno ga predvideti, već se vrši procena tri osnovne vrednosti vremena aktivnosti i sa njima se operiše u analizi vremena [Kur 14].

PERT metoda se oslanja na stohastički pristup i respektuje neizvesnost budućnosti i nemogućnost da se buduće situacije i događaji jednoznačno i tačno predvide. Ova metoda se zbog toga najviše koristi kod istraživačkih projekata, kod kojih je neizvesnost buduće realizacije osnovna karakteristika takvih projekata. Isto se odnosi i na dugotrajne investicione projekte, kod kojih duga vremenska distanca realizacije takode donosi značajnu neizvesnost budućih situacija [She 01].

U analizi vremena po *PERT* metodi za svaku aktivnost se procenjuju tri osnovna vremena:

- Optimističko
- Najverovatnije ili očekivano
- Pesimističko. [Bra 68].

Optimističko vreme trajanja aktivnosti (t_o) je ono vreme koje se može postići pod posebno povoljnim uslovima. To je minimalno vreme potrebno za izvršenje aktivnosti i verovatnoća ostvarivanja ovog vremena je veoma mala.

Najverovatnije vreme trajanja aktivnosti (t_n) je vreme koje se može postići pod normalnim uslovima izvođenja aktivnosti. To je vreme koje bi se najčešće ostvarilo kod izvođenja aktivnosti u normalnim uslovima.

Pesimističko vreme trajanja aktivnosti (t_p) je ono vreme koje se može postići pod nepovoljnim uslovima izvođenja aktivnosti. To je najduže vreme trajanja aktivnosti.

Na osnovu ovih vremenskih parametara, u okviru analize vremena po metodi PERT, vrši se izračunavanje očekivanog vremena trajanja aktivnosti i varijanse. Očekivano ili srednje vreme trajanja aktivnosti (t_e) se izračunava po sledećoj formuli:

$$T_e = (t_o + 4 t_n + t_p) / 6$$

Varijansa predstavlja meru nepreciznosti trajanja aktivnosti i izračunava se po formuli [Ive 87]:

$$\sigma^2 = (t_p - t_o) / 36$$

Nakon određivanja očekivanog vremena trajanja svake aktivnosti i varijanse, analiza vremena obuhvata utvrđivanje vremena nastupanja pojedinih događaja. Pri tome se izračunava najranije vreme odigravanja događaja (T_e), koje predstavlja najranije moguće vreme odigravanja događaja, i najkasnije vreme odigravanja događaja (T_L), koje predstavlja krajnje vreme u kome se jedan događaj mora odigrati da bi se projekat završio u predviđenom vremenu [Tur 01].

Najranije i najkasnije vreme odigravanja događaja računaju se po sledećim formulama [Tur 01]:

$$(T_E)_j = i^{max} \{ (T_E)_i + (t_e)_{ij} \} , (T_E)_1 = 0, (j = 2, 3, \dots, n) ,$$

$$(T_L)_i = j^{min} \{ (T_L)_j + (t_e)_{ij} \} , (T_L)_n = (T_E)_n, (i = n-1, n-2, \dots, 1)$$

Razlika između najkasnijeg i najranijeg vremena odigravanja jednog događaja predstavlja vremenski zazor događaja.

Vremenski zazor događaja znači da postoji određena vremenska rezerva za nastupanje događaja s obzirom da se najranije i najkasnije vreme nastupanja događaja ne poklapaju. U slučaju kada je vremenski zazor jednak nuli, odnosno kada se najranije i najkasnije vreme podudaraju, onda nema vremenske rezerve i taj događaj je kritičan. Kritičan put je onaj put u mrežnom dijagramu koji ima najduže trajanje [Pet 73].

Vrednost vremenskog zazora može biti pozitivna, negativna ili nula.

Pozitivan vremenski zazor pokazuje da postoji određena vremenska rezerva i mogućnost da se zadatak završi pre predviđenog roka.

Negativni vremenski zazor pokazuje da nema dovoljno vremena za izvršenje zadataka i da se on najverovatnije neće završiti u planiranom roku.

U okviru analize vremena vrši se i izračunavanje verovatnoće ispunjavanja planiranih rokova. Najpre se vrši određivanje stepena verovatnoće da će radovi biti završeni na vreme po sledećem obrascu:

$$Z = (T_s - T_e) / (T_e^2)$$

Simbol T_s ovde predstavlja planirano vreme završetka projekta ili nekog događaja koji smo uzeli u razmatranje. Na osnovu izračunatog stepena verovatnoće Z može se, uz pomoć odgovarajućih tablica ili dijagrama, odrediti verovatnoća odigravanja određenog događaja (p).

3. Normativi

3.1 Uvodna razmatranja

Reč *norma* je latinskog porekla, a znači pravilo, uzor, merilo, tip. Današnja upotreba reči u svim jezicima ima mnogo šire značenje. Brojni istraživači, u različitim oblastima proizvodnih procesa, snimanjem i studijom pojedinačnih i zajedničkih operacija, nastojali doći do odgovora na pitanje: kako doći do najboljih proizvodnih rezultata? Pri istraživanju se postavljalo pitanje: kojim redosledom operacija, pokretima tela i ruku u kojem položaju tela, pri kojem rasporedu materijala, alata i mašina se može obaviti grupa radnih operacija na izradi proizvoda, a uz najmanji utrošak energije čoveka, mašina i materijala, za najkraće vreme rada? Kada su se za jednu grupu radnih operacija, ustanovili najpovoljniji odnosi proizvodnih činilaca, zabeležen je postupak i to je propisano kao pravilo ili „norma“.

Daljim istraživanjem ustanovljeno je da svaka grupa radnika može postići iste radne rezultate ukoliko se poštuje normirani postupak rada, korišćenja alata i mašina uz normalne radne uslove. Nekada su iskusni majstori, u neposrednoj saradnji na izradi proizvoda, prenosili svoje znanje na mlađe naraštaje. Obučavanje se nazivalo šegrtovanje, a učenik je bio šegrt. Obučeni šegrt mogao je znati koliko je znao majstor. Normiranjem je osiguran isti nivo prenosa znanja na sve učenike. Danas je obučavanje mlađih naraštaja, u svim delatnostima i nivoima, u skladu sa pravilima struke i normativima u teorijskom i praktičnom delu [Car 06].

Pojam *normativ* ima određeno kontekstualno značenje u različitim naučnim disciplinama, ali se uglavnom povezuje sa pojmovima *standard* i/ili *model*. Međutim, u praksi ovaj pojam ima vrlo određeno značenje koje se vezuje za pojam *standard*, pošto se smatra da normativ predstavlja sastavni deo standarda koji opisuje šta bi trebalo da se postigne primenom standarda. Drugim rečima, normativ predstavlja jedan od preduslova za ostvarenje standarda.

U opštem slučaju, pojam *standard* opisuje niz svojstava koja nešto treba da poseduje, što u većini slučajeva podrazumeva jednu od sledeće tri definicije:

- Materijal ili supstanca čije su osobine poznate s nivoom tačnosti koji omogućava primenu tih osobina kao fizičkih referenci u kalibraciji ili merenju istih svojstava kod drugih materijala i supstanci.
- Koncept, norma ili princip sporazumno ustanovljen od strane nadležnog autoriteta kao primer ili model za evaluaciju kvaliteta ili ishoda određene prakse ili postupka.
- Definicija, ograničenje ili pravilo ustanovljeno od strane nadležne institucije kao minimalna mera prihvatljivosti.

U građevinarstvu je opšte prihvaćena praksa da se normativ smatra standardnom za rad, odnosno optimalno vreme da se obavi određeni radni zadatak ili operacija.

Normativi mogu imati mnogostruku namenu i pomoću njih se planiraju potrebne količine materijala, ljudskog i mašinskog rada za određeni poduhvat i to, mašinskog rada po vrstama mašina i učincima, a ljudskog rada po kvalifikacijama, broju ljudi, nivou stručne spreme; utvrđuje se proizvedena i prodajna cena proizvoda i građevine u celini; proveravaju se utrošene količine materijala, mašinskog rada i zarada radnika; obračunavaju se izvedeni radovi ukoliko nisu na drugi način ugovoreni.

Normativi osiguravaju traženi kvalitet radova i zaštićuju radnika od prekomernog iscrpljivanja i osiguravaju normalne uslove radnog okruženja.

3.2 Vrste normativa u građevinarstvu

Norme se razvrstavaju po proizvodnim resursima kao: norme ljudskog rada, norme mašinskog rada i norme materijala.

Norme rada ljudi su bitan i složen resurs proizvodnog procesa. Čovek je kreator i izvršilac proizvodnog procesa i bez ljudskog rada ne može se izraditi novi proizvod. Istovremeno je čovek i najslabija karika proizvodnog procesa u odnosu na uslove rada i okruženja. Drvo ili kamen, kao materijali u proizvodnom procesu imaju ista svojstva na svetlu, mraku, pri vetru, pri nepodnošljivoj buci i pri temperaturi od -20°C kao i $+100^{\circ}\text{C}$. Drvo ili kamen mogu biti odloženi na skladište u skoro neograničenom vremenu uz minimalne uslove zaštite a da ne izmene svojstva. Pojedini materijali odležavanjem poboljšavaju svojstva.

Čovek otežano radi, ili potpuno prekida proizvodnju, pri svim nepovoljnim uslovima okruženja, kao što su npr. nedovoljno svetlo, neodgovarajuća temperatura, buka, nedostatak kiseonika, prisutnost plina u vazduhu koji su štetni po zdravlje.

Kada su ispunjeni svi uslovi okruženja čovek može da radi brzo i učinkovito, ali i slabo, što zavisi od njegove psihološke motivacije za uspeh poduhvata. Pitanje motivacije čoveka za rad prelazi motive naknade za rad. Motivacija obuhvata mnogo šira i složenija psihološka i sociološka pitanja koja zadiru u šire društvene okruženje: od porodice do preduzeća, sigurnosti, ljubavi, afirmacije i priznanja. Poslednjih decenija istražuju se brojna pitanja motivacije čoveka za rad.

Norme mašinskog rada podrazumevaju prvenstveno izbor vrste stroja za određene radne operacije, način i uslove rada masine te utrosak masinskih sati na izradi jedinice proizvoda. Kada je utvrđeno potrebno vreme mašinskog rada, jednostavno je doći do ostalih utrošaka mašina u proizvodnji energije maziva, pomoćnih materijala i samih mašina. Iskusniji rukovodilac mašina za iskop tla može postići i bolje rezultate od norme. Zapravo i prosečan rukovodilac može u kratkom vremenskom intervalu postići bolje rezultate, ali norma, osim neposrednog rada na proizvodu sadrži i druga vremena kao što su : pripremno-završna, dodatna pomoćna vremena. Pri proizvodnji se mašina

troši, a to znači da deo svoje vrednosti prenosi na novi proizvod. Taj deo vrednosti naziva se **amortizacija**, to je tačno utvrđivanje koliko sati rada mašina utroši na izradu jedinice proizvoda, presudan činitelj za određivanje cene proizvoda.

Norme materijala utvrđuju tačnu vrstu i kvalitet materijala za pojedine radne procese i utrošak materijala za izradu proizvodne jedinice proizvoda. Pod utroškom materijala je obuhvaćen i neophodni otpadak materijala u procesu. Za zidanje jednog jubnog metra zida opekom normalnog formata 6.5x12x25 cm po normi se utroši 385 komada opeke i 0,32 m³ maltera, dok se stvarno u 1 m³ zida sa fugom maltera debljine 1 cm može se ugraditi 370–375 komada opeke, tako da predviđeni fraktil (lom i otpadak) iznosi 10 do 15 opeka. Pri dobrom kvalitetu opeke, dobro obučenom radniku otpadak može biti znatno manji, ali norma je uvek prosek.

3.3 Normativi ljudskog rada

Čovek je tvorac i izvršilac svakog radnog procesa i bez ljudskog rada ne može se stvoriti nijedan novi proizvod. Međutim, čovek je istovremeno i najslabija karika proizvodnog procesa po pitanju uticaja radnih uslova i okruženja [Car 06].

Materijali, kao što su drvo ili kamen, i sredstva za rad, kao što su alati i mašine, imaju ista svojstva bilo da je svetlo ili mrak, bilo da duva jak vetar ili ne, pri nepodnošljivoj buci i u veoma širokom opsegu temperature. Drvo i kamen se, primera radi, mogu držati u skladištu takoreći beskonačno dugo i s minimalnim merama zaštite, a da pri tom uopšte ne promene svojstva. Čovek se, s druge strane, više zamara ili čak ne može da radi ukoliko su uslovi u okruženju nepovoljni, primera radi pri nedovoljnom osvetljenju, neodgovarajućoj temperaturi, visokom nivou buke ili prašine, manjku kiseonika, prisustvu štetnih gasova i tsl.

Čak i kada su svi spoljašnji uslovi optimalni, može se dogoditi da neko ipak ne obavlja svoj posao sa zadovoljavajućim nivoom kvaliteta zbog manjka motivacije. Nečija motivacija za obavljanje određenog posla obično je u tesnoj vezi s kompenzacijom koju dobija za taj posao, ali treba imati u vidu da motivacija uključuje mnogo šire i mnogo kompleksnije psihološke i društvene faktore koji utiču na nečiju radnu sposobnost i učinak, kao što su tekuće prilike u porodičnom ili radnom okruženju, osećanje sigurnosti, emocionalni status, profesionalni status i mnogi drugi, što je poslednjih godina predmet brojnih istraživanja [Car 06].

Predmet ove disertacije su normativi ljudskog rada, odnosno vreme potrebno da pojedinac ili grupa ljudi obavi određeni posao. Klasični normativi rada, koji se već decenijama koriste u građevinarstvu, imaju determinističku prirodu, što znači da su dati jasno definisanim brojem. Kao takvi su podobni za mrežno planiranje primenom metode kritičnog puta, ali su takoreći neupotrebljivi za planiranje u uslovima neizvesnosti i primenu metoda kao što je PERT, gde su za paniranje neophodna tri podatka – očekivano, pesimističko i optimističko vreme za obavljanje svake aktivnosti [Kur 14].

3.4 Definicija i karakteristike normativa

Da bi se tačno odredilo šta sve obuhvata normativ i koja je merenja neophodno izvršiti u cilju njegovog uspostavljanja, neophodno je poći od definicije normativa [Kur 11]:

Normativ je vreme koje je potrebno kvalifikovanom (obučenom) radniku odgovarajuće struke da ispravno obavi određenu operaciju ili niz radnih operacija određenim alatima ili mašinama u normalnim uslovima i okruženju s normalnim naprezanjem.

U cilju boljeg razumevanja, ova definicija će biti objašnjena u segmentima.

„Normativ je vreme potrebno... da ispravno obavi određenu operaciju ili niz operacija.“

Normativ predstavlja vreme (broj radnih sati) potrebno da se obavi jedinica mere rada, što u zavisnosti od predmeta rada može biti m^1 , m^2 , m^3 , komad, tona, itd, tako da se normativ izražava kao broj časova po jedinici mere, npr. h/m^2 .

„...potrebno kvalifikovanom radniku...“

Normativ predviđa da dotični posao obavlja kvalifikovan, obučen radnik odgovarajuće struke, koji poseduje neophodno znanje i veštinu za obavljanje predmetne aktivnosti (npr. zidar za zidarske radove, a tesar za tesarske radove).

„...određenu operaciju ili niz radnih operacija“

Svakim standardom predviđen je određeni metod rada, kao i redosled radnih operacija. Normativ je vreme potrebno da se te operacije obave na zahtevani način.

„...određenim alatima ili mašinama...“

Da bi normativ bio primenljiv, mora biti jasno na koji se način izvođenja operacije odnosi, pošto se ne može koristiti isti normativ za različite metodologije rada, npr. Za ručno i mašinsko malterisanje.

„... u normalnim uslovima i okruženju“

Pod normalnim uslovima i okruženjem podrazumevaju se normalna vidljivost, optimalna temperatura za obavljanje datog posla, čist vazduh bez prisustva gasova i umeren nivo buke. Primera radi, smatra se da je za zidarske radove i betoniranje normalna temperatura u rasponu od 10–30°C, dok niže i više temperature usporavaju rad pa samim tim utiču na vreme neophodno da se izvrši data aktivnost ili predviđeni niz operacija.

„...s normalnim naprezanjem.“

Normativ predviđa da se radnik tokom radnog vremena zamori u normalnoj meru, tj. da odmorom može povratiti fizičke i intelektualne sposobnosti do narednog radnog dana.

Iz navedene definicije vidi se da su normativi koji se već decenijama koriste za proračune i planiranje građevinskih projekata u suštini deterministički, zato što su uvek jasno određeni samo jednim brojem za datu aktivnost, tj. njenim trajanjem u napred navedenim okolnostima. U praksi se trajanja pojedinih aktivnosti uzimaju iz odgovarajućih normativa [Mij 09], koji, nažalost, nisu uvek dovoljno precizni, pa čak ni tačni. Primera radi, u normativima za oblikovanje i ugradnju armature na gradilištu merodavna je jedino količina čelika, a ne uzima se u obzir složenost šeme armiranja, koja bitno može uticati na vreme potrebno za izradu i kontrolu. Jasno je da šeme armiranja koje se sastoje od 12Ø16 i 3Ø32, koje u sebi sadrže istu količinu čelika i samim tim teorijski iziskuju isto vreme za ugradnju, u realnosti ne mogu biti propisno napravljene i ugrađene za isto vreme, kao što je i pokazano u studijama [Mil 13, Mil 15]. Pored toga, Proverbs je pokazao da normativi mogu značajno da variraju od zemlje do zemlje [Pro 98], što takođe ukazuje na njihovu nepouzdanost.

Cilj istraživanja opisanog u narednom poglavlju bio je da se ustanovi metodologija za izradu probabilističkih normativa, koji ne bi bili dati samo jednim, prosečnim vremenom, nego bi uz taj podatak bio dat i interval u okviru koga se, sa željenom verovatnoćom, može očekivati izvršenje neke aktivnosti.

4. Istraživanje i rezultati

4. 1 Uvodna razmatranja

Naučni pristup podrazumeva primenu određenih metoda i tehnika pri istraživanju neke pojave, sticanju novih saznanja ili korekcijama i integraciji postejećeg znanja. Da bi se smatrala naučnom, metodologija istraživanja mora biti zasnovana na empirijskim i samerljivim dokazima određenog stava. Metodologija obuhvata sistematično posmatranje, merenje i eksperimentisanje, a zatim formulaciju, testiranje i modifikaciju polazne hipoteze [Tho 47].

Naučnoistraživački rad podrazumeva sledeće četiri ključne aktivnosti:

- Karakterizacija – posmatranje, definisanje i merenje predmeta izučavanja.
- Hipoteza – teorijsko i/ili hipotetičko objašnjavanje uočenih ili izmerenih svojstava predmeta izučavanja.
- Predviđanje – logičko zaključivanje putem dedukcije i donošenje suda o hipotezi ili teoriji.
- Eksperiment – testiranje svega napred navedenog. [Dow 83]

Cilj naučnog istraživanja jeste sticanje saznanja u vidu proverljivih objašnjenja na osnovu kojih se mogu predvideti ishodi budućih eksperimenata, što naučniku omogućava pre svega da spozna i shvati stvarnost, a potom i da koristi to znanje kako bi uticao na uzročno-posledične veze između određenih faktora (npr. da izleči bolest). Što bolja predviđanja omogućava neko objašnjenje, to je korisnije [Tho 47]. Najbolja objašnjenja, koja objašnjavaju i daju tačna predviđanja za širok spektar različitih okolnosti, zovu se naučne teorije. Naučno-istraživački metod nije recept i uputstvo, nego iziskuje domišljatost, maštovitost i kreativnost [Dow 83]. Drugim rečima, to nije niz formalnih pravila i postupaka koje treba uzeti zdravo za gotovo, nego neprestani proces razvijanja boljih, tačnijih i jasnijih modela i metoda za sticanje novih saznanja i nadgradnju ranijih u cilju konzistentnog napretka u domenu našeg poimanja i razumevanja sveta koji nas okružuje [Tho 47].

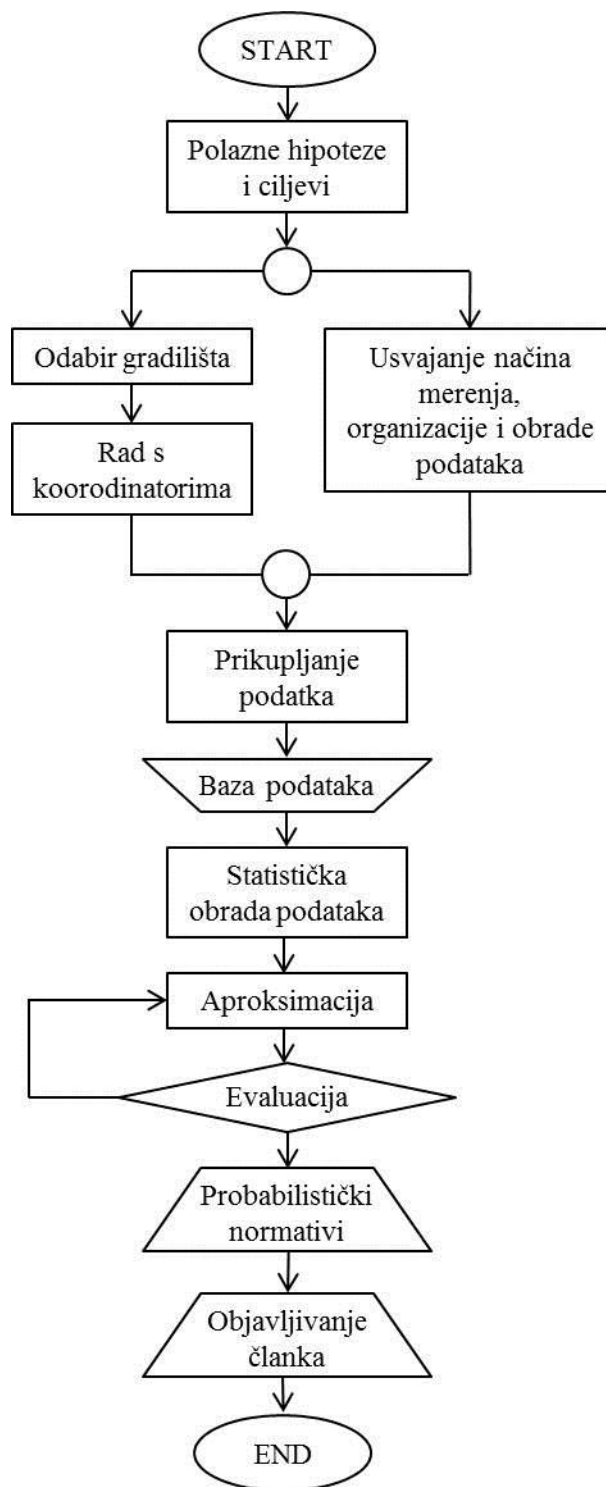
4.2 Plan istraživanja

Planiranje je najkompleksnija, najsloženija i najosetljivija, a samim tim i najvažnija aktivnost na svakom polju ljudskog delanja. Pod planiranjem se podrazumeva upravljačka aktivnost kojom se obezbeđuje da projekat kao sistem, bilo da je komercijalni ili naučnoistraživački, ne postane haotična mešavina ljudskih, materijalnih i finansijskih resursa, nego da u svakom trenutku svog odvijanja poseduje određenu ciljno orjentisanu organizacionu strukturu [Cor 00, Dow 83]. Planiranje je izuzetno složena aktivnost kojom se teži da se neizvesnost (budućnost) putem izvesnosti (poznata prošlost i sadašnjost) pretvori u prihvatljiv rizik. Rizik i neizvesnost koje budućnost nosi ne mogu se u potpunosti eliminisati, ali se planiranjem mogu smanjiti, preduprediti ili bar eventualno kontrolisati u manjoj ili većoj meri, čime se znatno povećava verovatnoća ostvarenja željenog cilja.

Kao konceptualno izolovana funkcija menadžmenta, planiranje podrazumeva predviđanje mogućih događaja u budućnosti i mera i akcija koje bi bile nužne ukoliko do tih događaja dođe.

Kako su predmet ove disertaciji bili normativi za kermačarske radove u građevinarstvu, istraživanje na terenu bilo je usmereno ka utvrđivanju vremena potrebnog za obavljanje različitih vidova predmetnih radova.

Uopšteni algoritam aktivnosti u okviru izrade ove disertacije dat je na Slici 1. Razradom tog algoritma [Wri 06] dobijen je detaljan spisak aktivnosti (Tabela 1) i njihovih međusobnih veza i redosleda (Tabela 2 i Slika 2), čime je preliminarno definisana dinamika čitavog istraživanja, tj. utvrđeno je koje aktivnosti moraju da počnu u isto vreme (S-S) ili da se istovremeno završe (F-F). Na osnovu predviđenih trajanja aktivnosti (Tabela 2) i dijagrama međuzavisnosti (Slika 2), u programskom paketu Primavera izrađen je mrežni plan čitavog istraživačkog projekta (Slika 3), kao i gantogram za lakše praćenje dinamike odvijanja projekta (Slika 4).



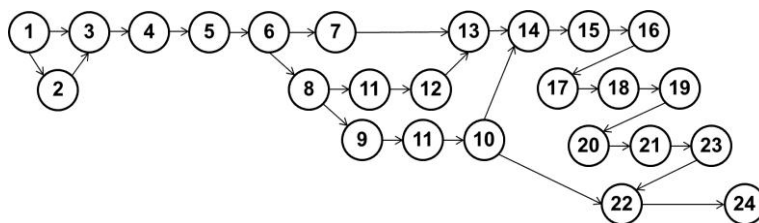
Slika 1. Algoritam istraživanja

Tabela 1. Razmatrane aktivnosti i njihove oznake i trajanja (u danima)

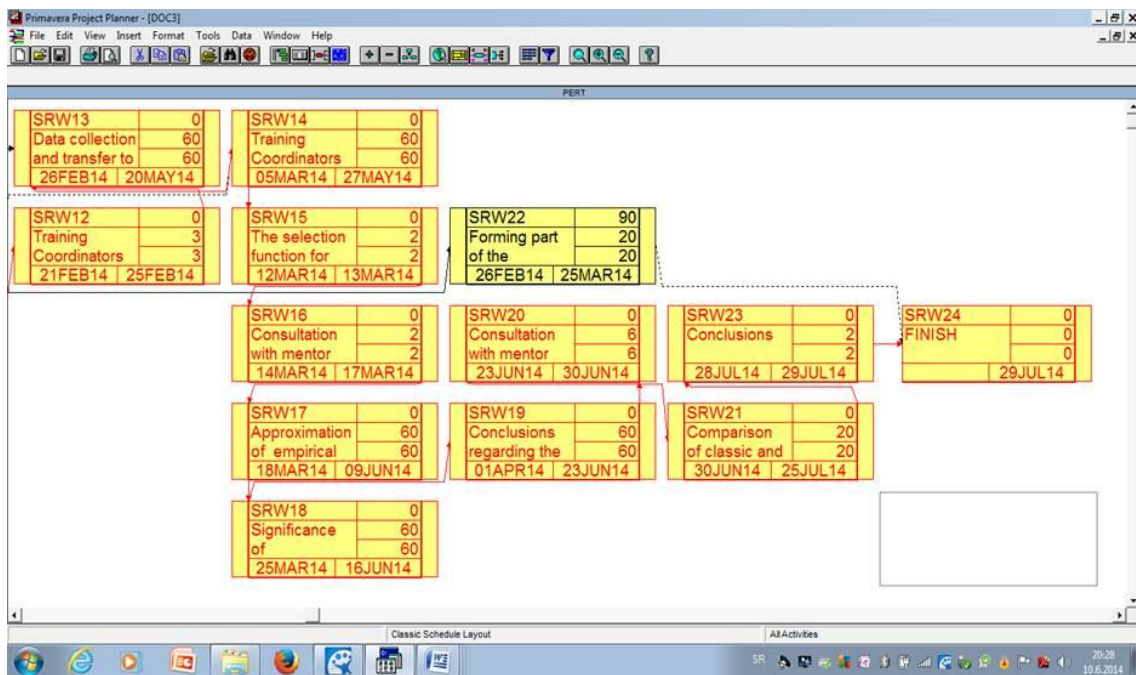
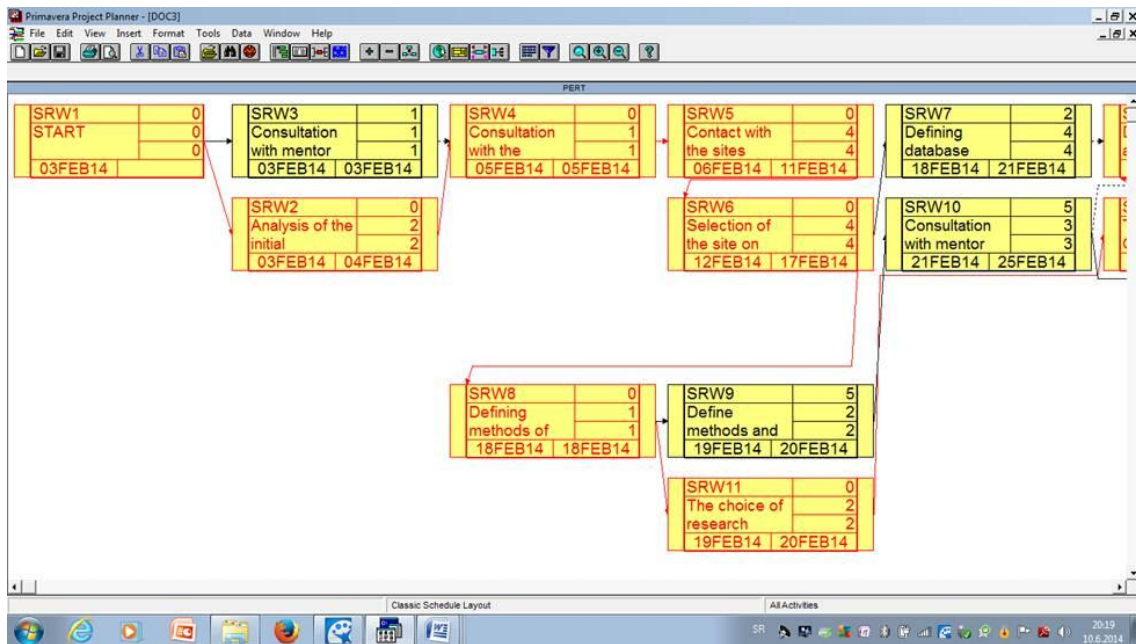
ID	Aktivnost	Trajanje
SRW1	Start	0
SRW2	Analiza polazne hipoteze i definisanje ciljeva istraživanja	2
SRW3	Konsultacija s mentorom	1
SRW4	Konsultacija s građevinskim preduzećem „Napred“ u pogledu gradilišta na kojima će se obavljati potrebna merenja.	1
SRW5	Obilazak gradilišta	4
SRW6	Izbor gradilišta na kojima će se obavljati merenja	4
SRW7	Usvajanje načina organizacije podataka za buduću bazu podataka	4
SRW8	Utvrdjivanje načina merenja podataka i njihovog smeštanja u bazu	2
SRW9	Usvajanje matematičkih metoda i softvera za obradu podataka	2
SRW10	Konsultacija s mentorom	3
SRW11	Odabir koordinatora istraživanja	2
SRW12	Obuka koordinatora za prikupljanje podataka	3
SRW13	Prikupljanje podataka	60
SRW14	Statistička obrada podataka	60
SRW15	Izbor načina aproksimacije empirijskih podataka	2
SRW16	Konsultacija s mentorom	2
SRW17	Aproksimacija empirijskih podataka	60
SRW18	Testiranje usvojenih aproksimacija	60
SRW19	Analiza i zaključci u pogledu aproksimacija	60
SRW20	Konsultacija s mentorom	6
SRW21	Poređenje klasičnih i probabilističkih normativa	20
SRW22	Priprema članka za objavljivanje	20
SRW23	Zaključci	2
SRW24	Kraj	0

Tabela 2. Šema relacija između aktivnosti

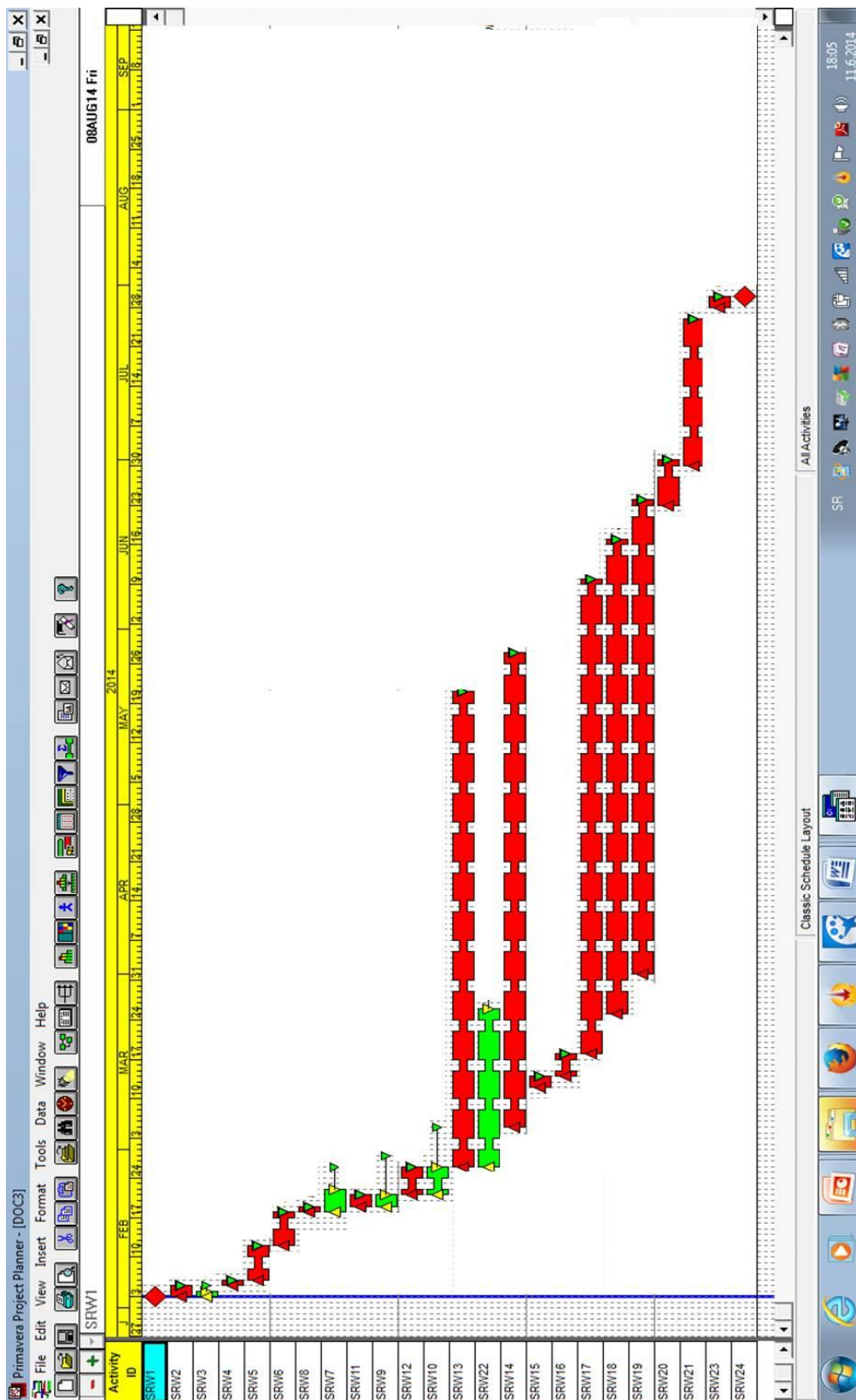
SRW	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	o																								
2	x																								
3	x																								
4		x	x																						
5				x																					
6					x																				
7						x																			
8							x																		
9								x																	
10									x																
11										x															
12											x														
13												x													
14													x	ss											
15														x	ss										
16															x										
17																x									
18																	x	ss							
19																		x	ss						
20																			x	ff					
21																				x	ss				
22																									
23																							x		
24																								x	o



Slika 2. Šematski prikaz relacija između aktivnosti



Slika 3. Mrežni plan istraživačkih aktivnosti



Slika 4. Gantogram istraživačkih aktivnosti

4.3 Prikupljanje i organizacija podataka

Da bi se kao rezultat istraživanja dobili relevantni podaci, neophodno je unapred isplanirati kako će se i gde oni prikupljati i pod kojim uslovima, kako će se beležiti i kako će se klasifikovati i grupisati za dalju obradu. [Ait 57]

Prikupljanje podataka [Gir 92] za potrebe izrade ove disertacije obavljeno je na gradilištima građevinskog preduzeća „Napred“ u Beogradu. Prikupljanje podataka obavljeno je merenjem vremena potrebnog za ugradnju različitih tipova keramičkih pločica, prikazanih u Tabeli 3.

Podaci su potom uneseni u bazu podataka i izvršena je njihova klasifikacija [Cor 00]. Podaci o trajanju pojedinih aktivnosti grupisani su u intervale od po dva minuta, pri čemu je za nazivnu vrednost datog intervala uzeta njegova središnja vrednost [Whi 67]. Primera radi, u intervalu s oznakom 66 nalazi se broj izmerenih rezultata čije je trajanje iznosilo između 65,0 i 66,99 minuta, dok se u intervalu s oznakom 100 nalazi broj izmerenih rezultata kod kojih je trajanje aktivnosti iznosilo između 99,0 i 100,99 minuta. Dobijeni i tako obrađeni rezultati prikazani su u tabelama 4–20, za svaku od predviđenih aktivnosti ponaosob.

Ovako prikazani rezultati nazivaju se frekvencije, zato što odlikavaju učestalost razmatrane pojave [Gir 92] (u konkretnom slučaju izvršenja predviđenog zadatka, odnosno postavljanja 1m^2 keramičkih pločica) u datom vremenu, odnosno u nazivnom vremenu za dati interval. Ovakav način izražavanja podataka omogućava izradu histograma i poligona frekvencija za pojedinačne aktivnosti, što je preduslov za izbor odgovarajućih matematičkih aproksimacija. [Ait 57, Wil 05].

Tabela 3. Razmatrane aktivnosti i njihove oznake

ID	Aktivnost
SRW1	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom
SRW2	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x20 lepkom
SRW3	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x10 cementnim malterom
SRW4	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x10 lepkom
SRW5	Lepljenje podnih keramičkih pločica 20x20 cementnim malterom
SRW6	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom
SRW7	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom s obradom ivica
SRW8	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom
SRW9	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom s obradom ivica
SRW10	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 lepkom
SRW11	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 lepkom s obradom ivica
SRW12	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 lepkom
SRW13	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 lepkom s obradom ivica
SRW14	Lepljenje fasadnih keramičkih pločica 6,5x2,5 cementnim malterom
SRW15	Lepljenje fasadnih keramičkih mozaik pločica cementnim malterom
SRW16	Lepljenje kadnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom
SRW17	Lepljenje kadnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom

Tabela 4. Rezultati merenja za aktivnost SRW1

Interval [min/m ²]	91-92,9	93-94,9	95-96,9	97-98,9	99-100,9	101-102,9	103-104,9	105-106,9	107-108,9
Nominalna vrednost	92	94	96	98	100	102	104	106	108
Frekvencija	3	8	14	21	24	18	16	10	2

Tabela 5. Rezultati merenja za aktivnost SRW2

Interval [min/m ²]	69-70,9	71-72,9	73-74,9	75-76,9	77-78,9	79-80,9	81-82,9	83-84,9	85-86,9	87-88,9
Nominalna vrednost	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88
Frekvencija	4	6	14	20	24	22	12	8	5	1

Tabela 6. Rezultati merenja za aktivnost SRW3

Interval [min/m ²]	95-96,9	97-98,9	99-100,9	101-102,9	103-104,9	105-106,9	107-108,9	109-100,9	111-112,9	113-114,9
Nominalna vrednost	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114
Frekvencija	2	4	9	14	20	24	21	12	8	2

Tabela 7. Rezultati merenja za aktivnost SRW4

Interval [min/m ²]	75–76,9	77–78,9	79–80,9	81–82,9	83–84,9	85–86,9	87–88,9	89–90,9	91–92,9	93–94,9
Nominalna vrednost	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94
Frekvencija	3	1	9	7	20	23	20	10	8	2

Tabela 8. Rezultati merenja za aktivnost SRW5

Interval [min/m ²]	79–80,9	81–82,9	83–84,9	85–86,9	87–88,9	89–90,9	91–92,9	93–94,9	95–96,9	97–98,9
Nominalna vrednost	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
Frekvencija	2	4	10	12	16	22	18	14	9	6

Tabela 9. Rezultati merenja za aktivnost SRW6

Interval [min/m ²]	117–118,9	119–120,9	121–122,9	123–124,9	125–126,9	127–128,9	129–130,9	131–132,9	133–134,9	135–136,9	137–138,9
Nominalna vrednost	118	120	122	124	126	128	130	132	134	136	138
Frekvencija	2	3	4	16	19	22	18	15	8	4	1

Tabela 10. Rezultati merenja za aktivnost SRW7

Interval [min/m ²]	147–148,9	149–150,9	151–152,9	153–154,9	155–156,9	157–158,9	159–160,9	161–162,9	163–164,9	165–166,9	167–168,9
Nominalna vrednost	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168
Frekvencija	2	1	10	12	15	17	17	12	3	3	2

Tabela 11. Rezultati merjenja za aktivnost SRW8

Interval [min/m ²]	151–152,9	153–154,9	155–156,9	157–158,9	159–160,9	161–162,9	163–164,9	165–166,9	167–168,9	169–170,9
Nominalna vrednost	152	154	156	158	160	162	164	166	168	170
Frekvencija	2	1	13	15	18	20	14	16	5	3

Tabela 12. Rezultati merjenja za aktivnost SRW9

Interval [min/m ²]	189–190,9	191–192,9	193–194,9	195–196,9	197–198,9	199–200,9	201–202,9	203–204,9	205–206,9
Nominalna vrednost	190	192	194	196	198	200	202	204	206
Frekvencija	1	4	6	14	18	26	16	8	2

Tabela 13. Rezultati merjenja za aktivnost SRW10

Interval [min/m ²]	73 – 74,9	75 – 76,9	77 – 78,9	79 – 80,9	81 – 82,9	83 – 84,9	85 – 86,9	87 – 88,9	89 – 90,9
Nominalna vrednost	74	76	78	80	82	84	86	88	90
Frekvencija	3	2	9	17	18	10	5	2	2

Tabela 14. Rezultati merjenja za aktivnost SRW11

Interval [min/m ²]	91–92,9	93–94,9	95–96,9	97–98,9	99–100,9	101–102,9	103–104,9	105–106,9	107–108,9	109–100,9
Nominalna vrednost	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110
Frekvencija	1	1	4	11	17	19	15	13	3	1

Tabela 15. Rezultati merenja za aktivnost SRW12

Interval [min/m ²]	95–96,9	97–98,9	99–100,9	101–102,9	103–104,9	105–106,9	107–108,9	109–100,9	111–112,9	113–14,9	115–116,9
Nominalna vrednost	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116
Frekvencija	1	3	11	20	14	26	20	10	7	5	1

Tabela 16. Rezultati merenja za aktivnost SRW13

Interval [min/m ²]	113–114,9	115–116,9	117–118,9	119–120,9	121–122,9	123–124,9	125–126,9	127–128,9	129–130,9
Nominalna vrednost	114	116	118	120	122	124	126	128	130
Frekvencija	2	3	4	7	16	21	17	9	3

Tabela 17. Rezultati merenja za aktivnost SRW14

Interval [min/m ²]	189–190,9	191–192,9	193–194,9	195–196,9	197–198,9	199–200,9	201–202,9	203–204,9	205–206,9	207–208,9	209–210,9
Nominalna vrednost	190	192	194	196	198	200	202	204	206	208	210
Frekvencija	1	1	3	15	17	22	14	10	6	2	1

Tabela 18. Rezultati merenja za aktivnost SRW15

Interval [min/m ²]	97–98,9	99–100,9	101–102,9	103–104,9	105–106,9	107–108,9	109–100,9	111–112,9	113–14,9
Nominalna vrednost	98	100	102	104	106	108	110	112	114
Frekvencija	3	5	12	20	24	17	9	2	1

Tabela 19. Rezultati merenja za aktivnost SRW16

Interval [min/m ²]	311–312,9	313–314,9	315–316,9	317–318,9	319–320,9	321–322,9	323–324,9	325–326,9	327–328,9
Nominalna vrednost	312	314	316	318	320	322	324	326	328
Frekvencija	1	7	15	13	19	17	6	1	2

Tabela 20. Rezultati merenja za aktivnost SRW17

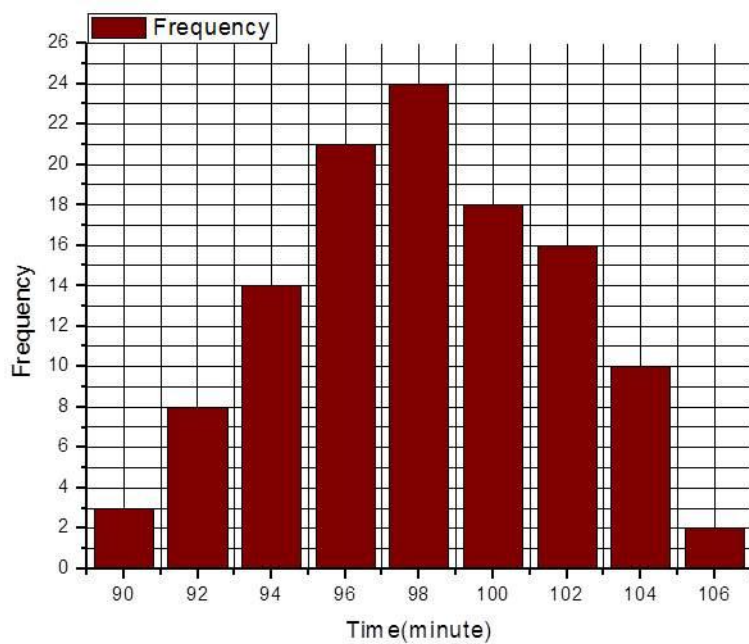
Interval [min/m ²]	319–320,9	321–322,9	323–324,9	325–326,9	327–328,9	329–330,9	331–332,9	333–334,9	335–336,9	337–338,9
Nominalna vrednost	320	322	324	326	328	330	332	334	336	338
Frekvencija	1	1	10	10	15	13	12	8	4	2

4.4 Histogrami i poligoni frekvencija

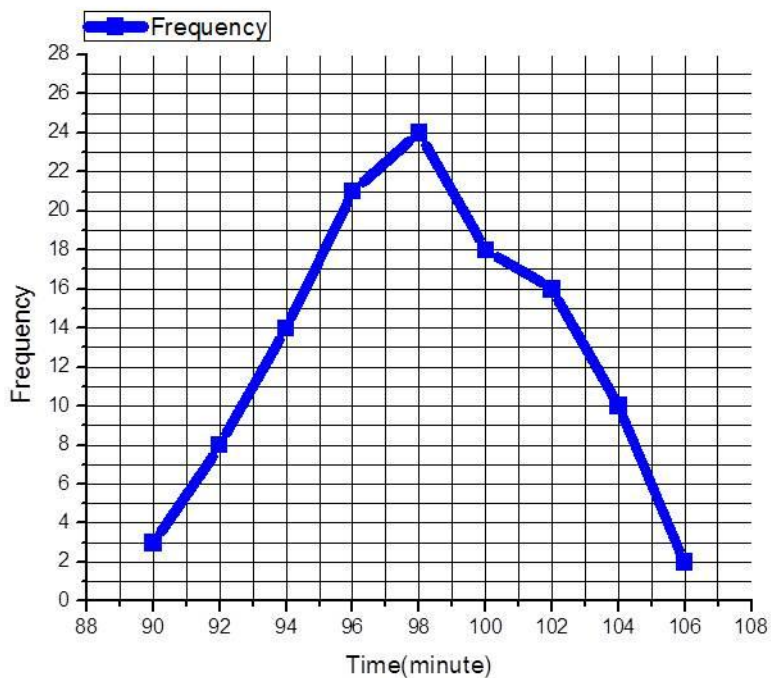
U cilju sticanja jasnijeg uvida u zakonitosti ispoljavanja određene pojave, u velikom broju slučajeva najpogodniji pristup je da se napravi grafički prikaz prvo u vidu histograma frekvencije (odnosno učestalosti ispoljavanja pojave u određenim vremenskim intervalima), a da se zatim na osnovu histograma nacrtaju poligon frekvencija kao najpodesnije sredstvo za izbor odgovarajuće aproksimacije [Alg 03].

Kod histograma se klase frekvencija predstavljaju stupcima, pri čemu visina svakog stupca označava frekvenciju pojavljivanja posmatrane pojave u datoj klasi, odnosno u datom nazivnom vremenskom intervalu [Cro 68]. Na taj način su pravilnosti ili nepravilnosti u učestalosti manifestacije date pojave mnogo uočljivije nego pri korišćenju tabela ili numeričkih podataka [Pea 94]. Histogrami kojima se prikazuje učestalost neke pojave na apscisi imaju jednake, podesno odabrane vremenske intervale, dok apscisa predstavlja broj ispoljavanja posmatrane pojave u svakom od tih vremenskih perioda. Na taj način može se pratiti kroz vreme promena po učestalosti i po intenzitetu [Act 66, Dod 03]. Poligoni frekvencije koriste se za sticanje jasnijeg uvida u oblik raspodele neke promenljive u funkciji druge [Cro 68]. U suštini predstavljaju iste podatke kao histogrami, ali su pregledniji i primenljiviji za poređenje setova podataka i određivanje aproksimacija. Poligon frekvencije se dobija iz histograma, povezivanjem središta vršnih linija histograma dužima, čime se dobija dvodimenzionalna zatvorena poligonalna linija. Početna tačka poligona je koordinatni početak, odnosno središte intervala koji prethodi prvom intervalu prikazanom histogramom, dok je poslednja tačka poligona ponovo na x osi, u središtu intervala koji ide nakon poslednjeg intervala prikazanog histogramom. Najvažnije svojstvo poligona frekvencije jeste to što se povezivanjem početne i krajnje tačke dobija površ omeđena poligonom i apscisom, čija je površina jednaka površini polaznog histograma, čime je ispoštovan osnovni princip crtanja i tumačenja histograma, a to je da ista površina uvek predstavlja isti broj podataka ili slučajeva [Lev 90].

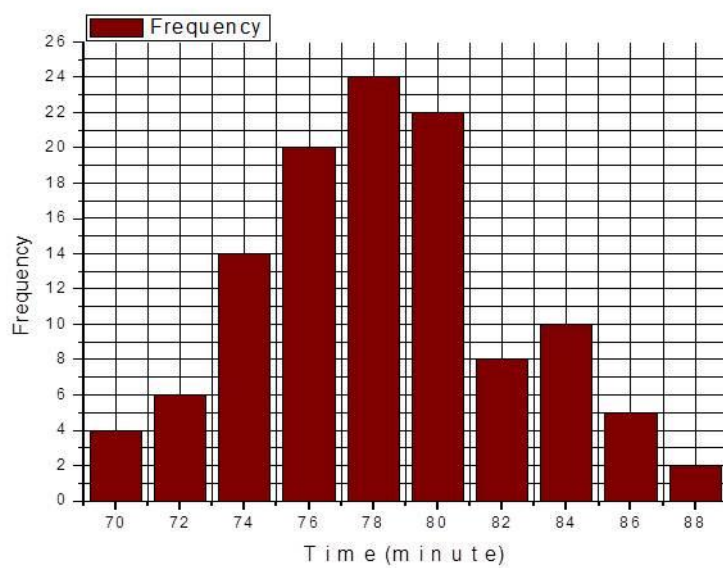
Na slikama 5–38 prikazani su histogrami i poligoni frekvencija svih razmatranih aktivnosti.



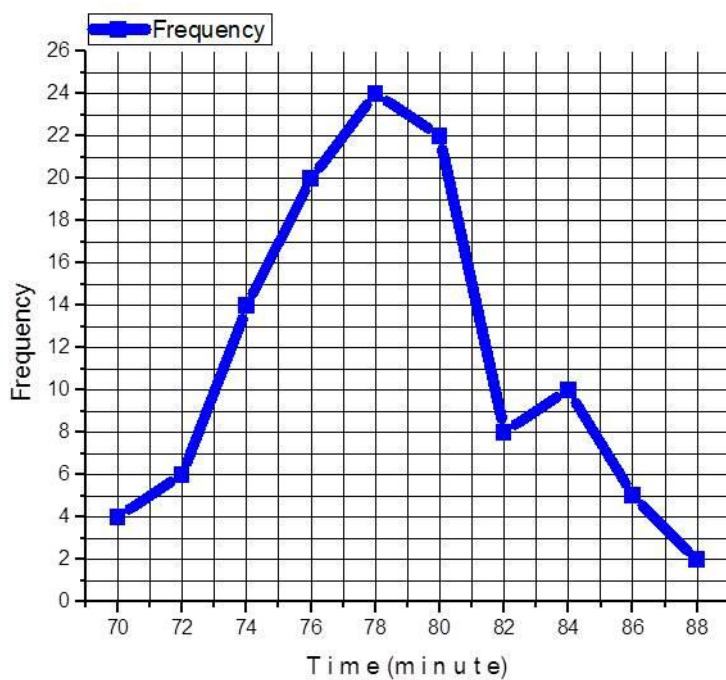
Slika 5. Histogram frekvencija za aktivnost SRW1



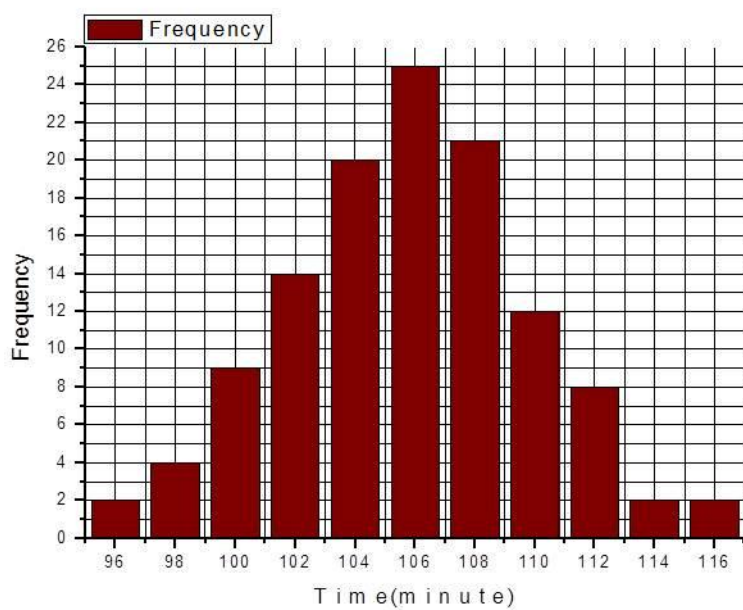
Slika 6. Poligon frenkvencija za aktivnost SRW1



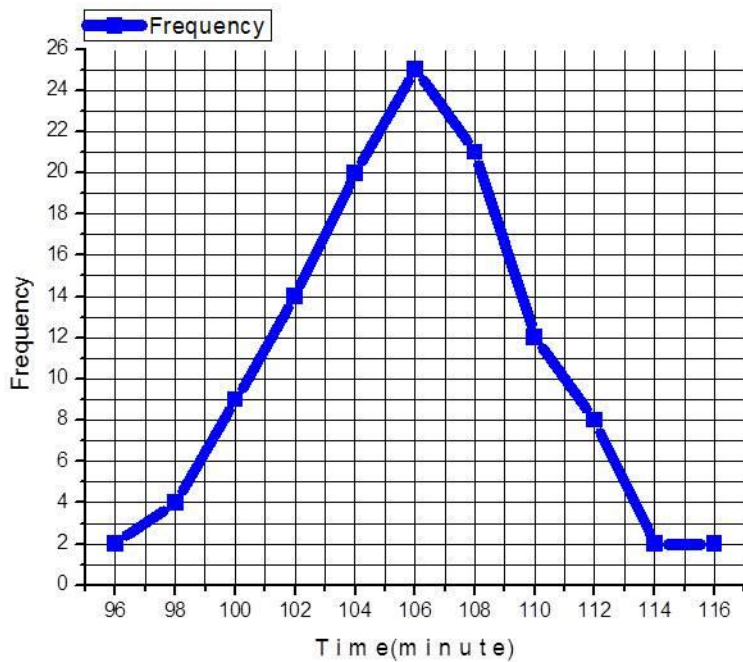
Slika 7. Histogram frekvencija za aktivnost SRW2



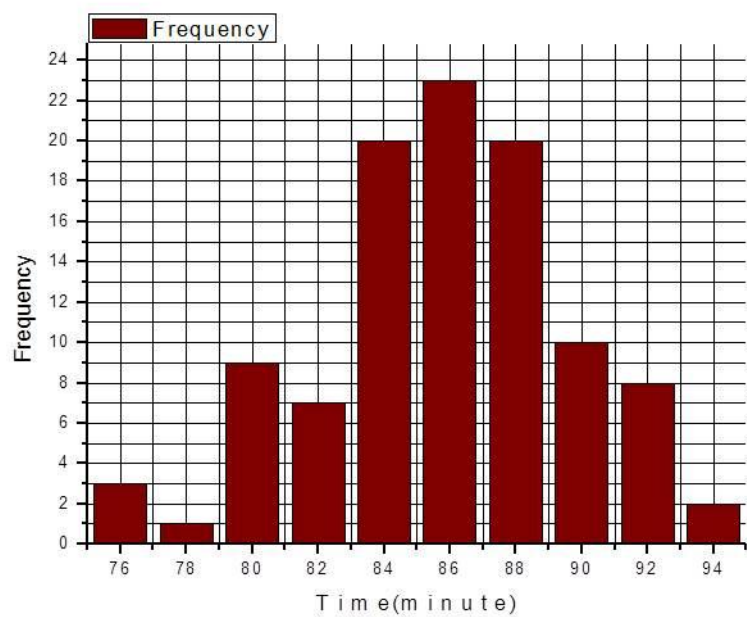
Slika 8. Poligon frekvencija za aktivnost SRW2



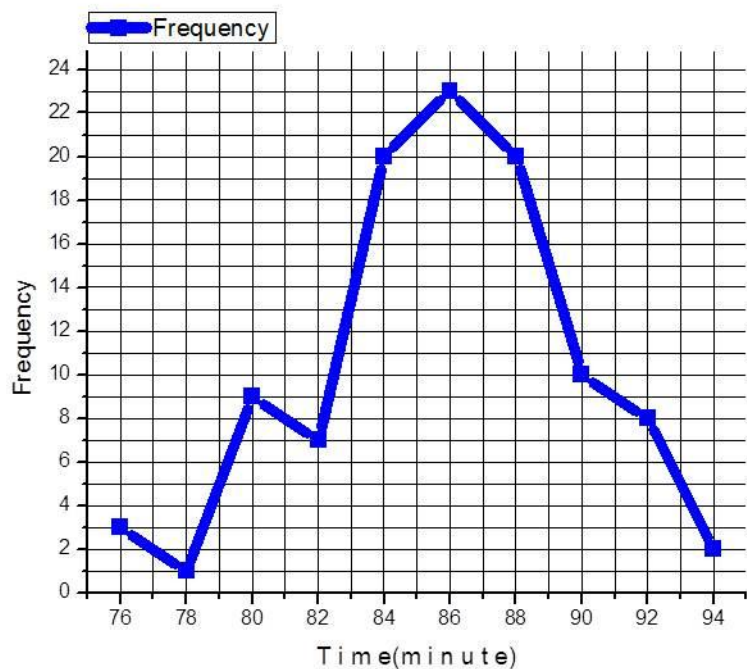
Slika 9. Histogram frekvencija za aktivnost SRW3



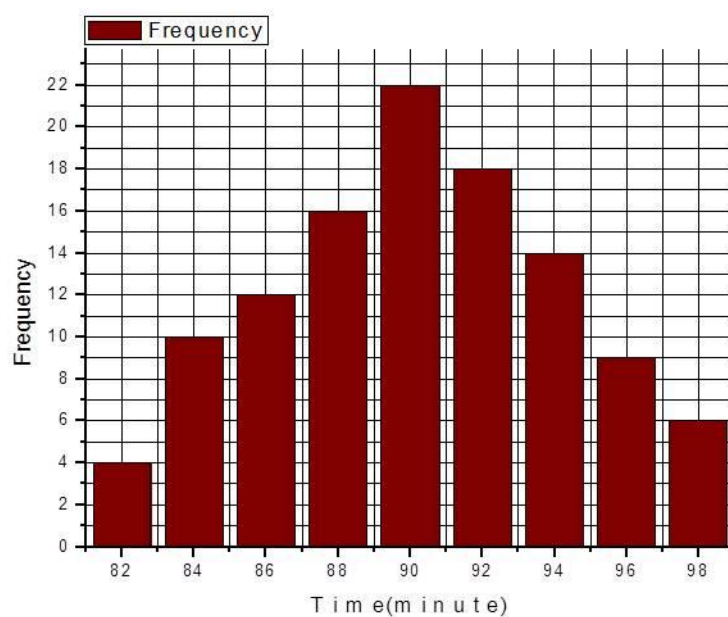
Slika 10. Poligon frekvencija za aktivnost SRW3



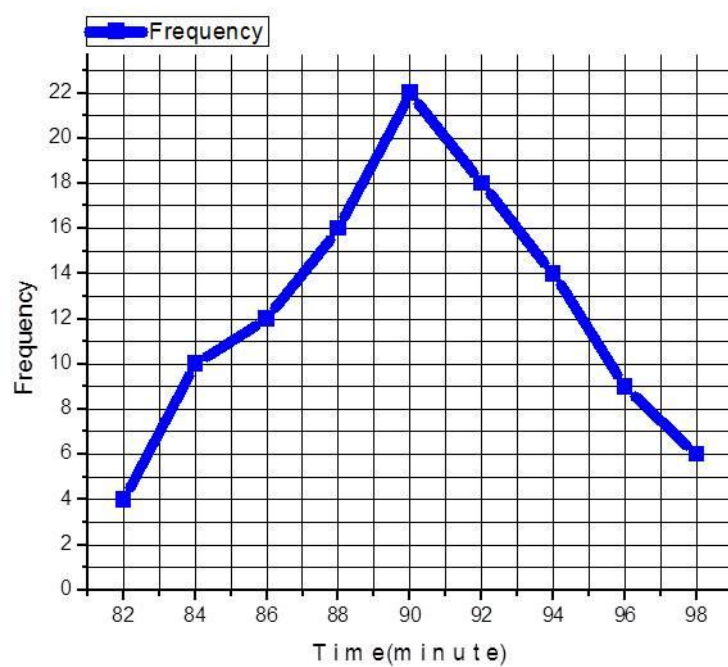
Slika 11. Histogram frekvencija za aktivnost SRW4



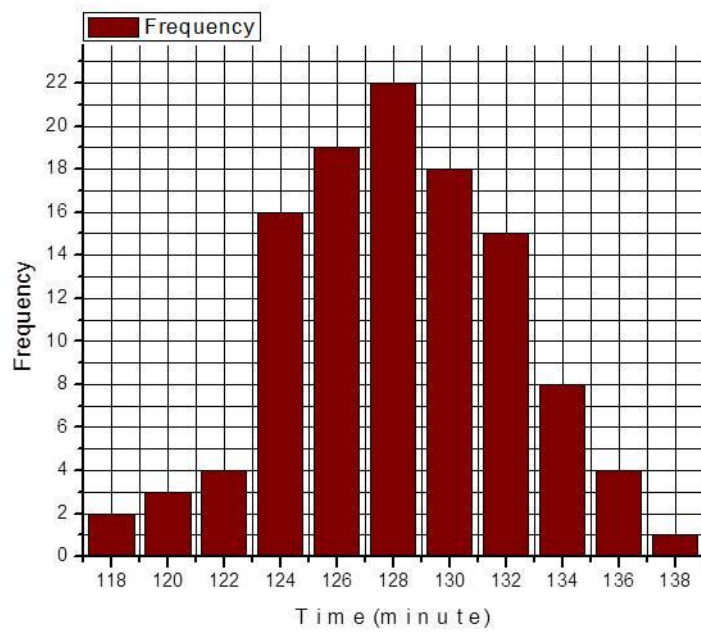
Slika 12. Poligon frekvencija za aktivnost SRW4



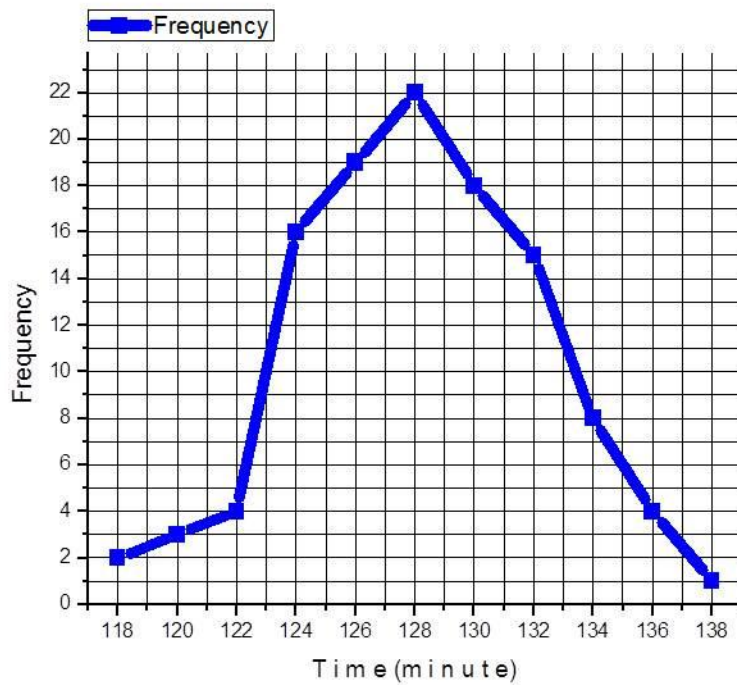
Slika 13. Histogram frekvencija za aktivnost SRW5



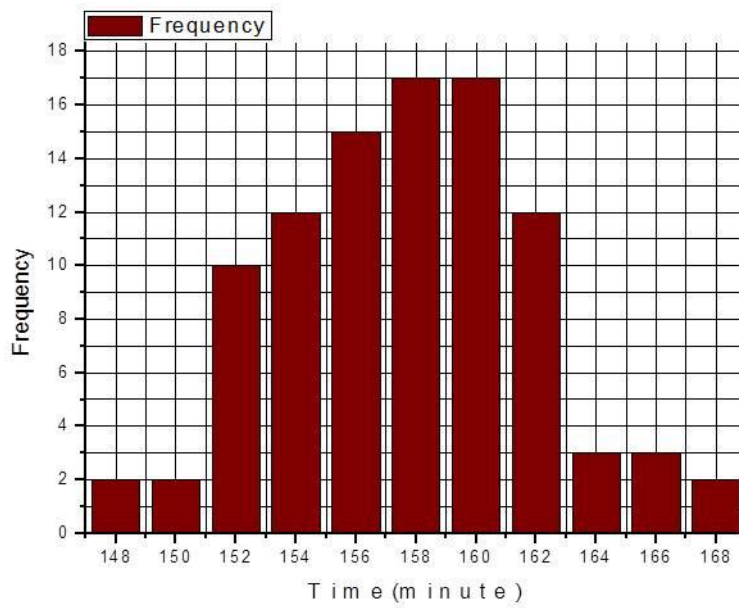
Slika 14. Poligon frekvencija za aktivnost SRW5



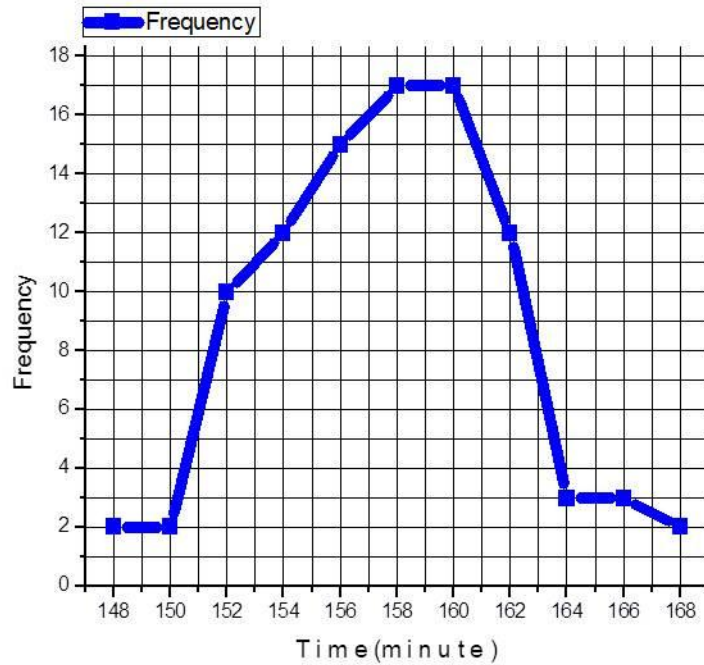
Slika 15. Histogram frekvencija za aktivnost SRW6



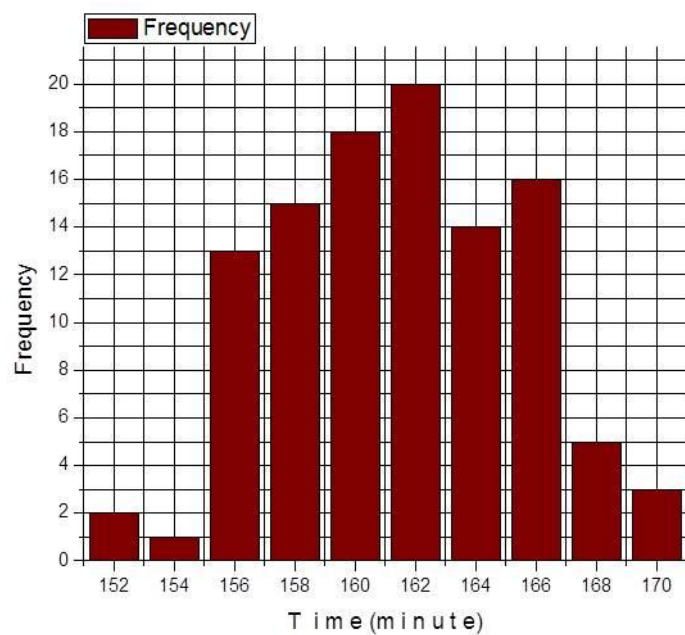
Slika 16. Poligon frekvencija za aktivnost SRW6



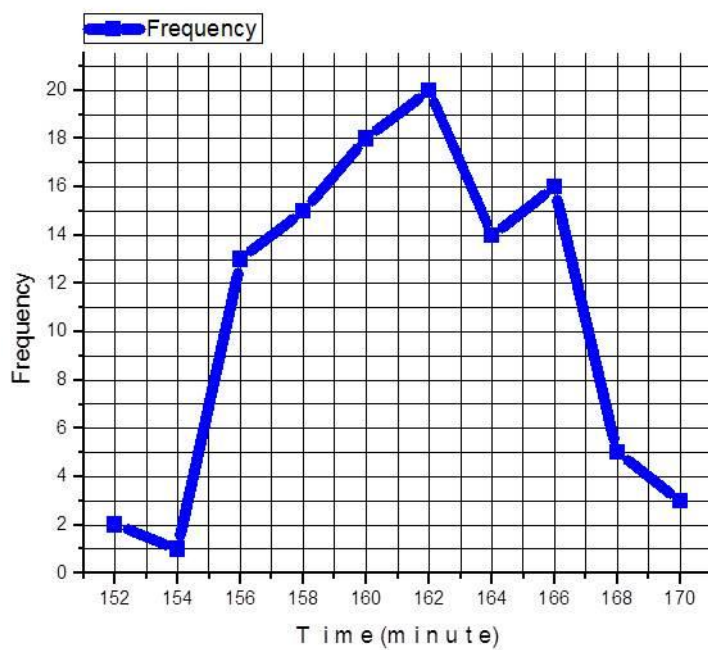
Slika 17. Histogram frekvencija za aktivnost SRW7



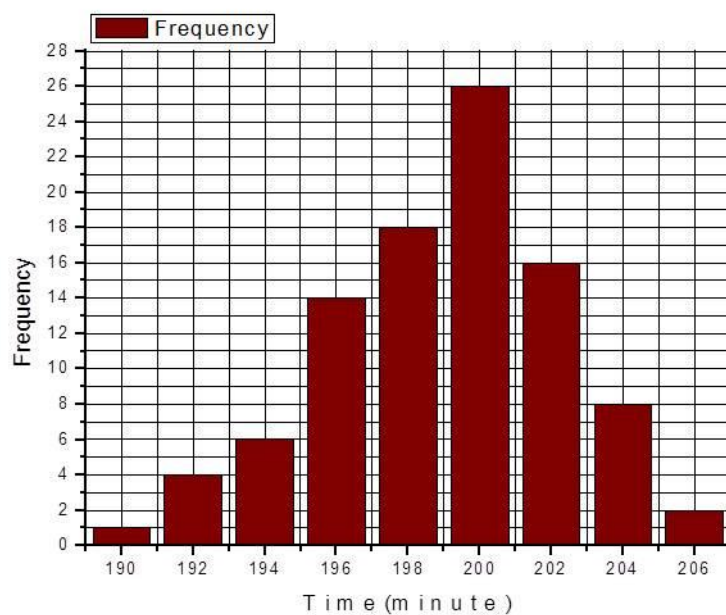
Slika 18. Poligon frekvencija za aktivnost SRW7



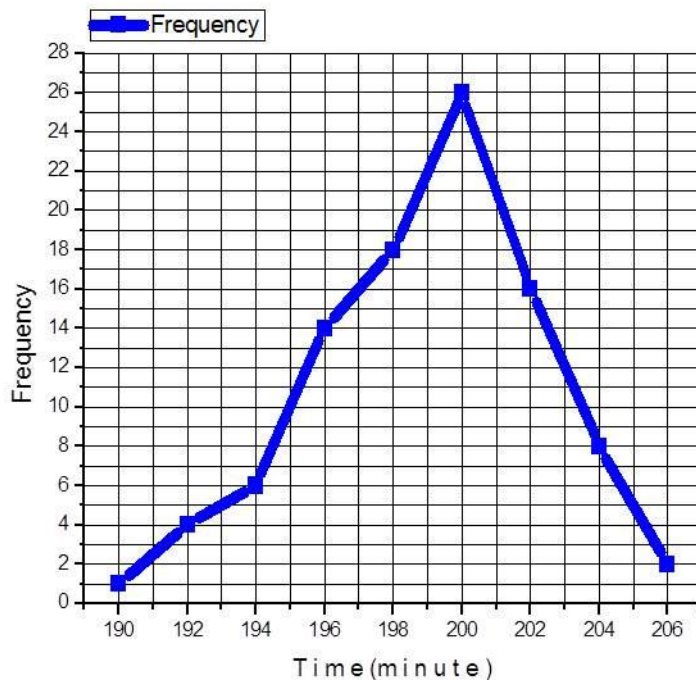
Slika 19. Histogram frekvencija za aktivnost SRW8



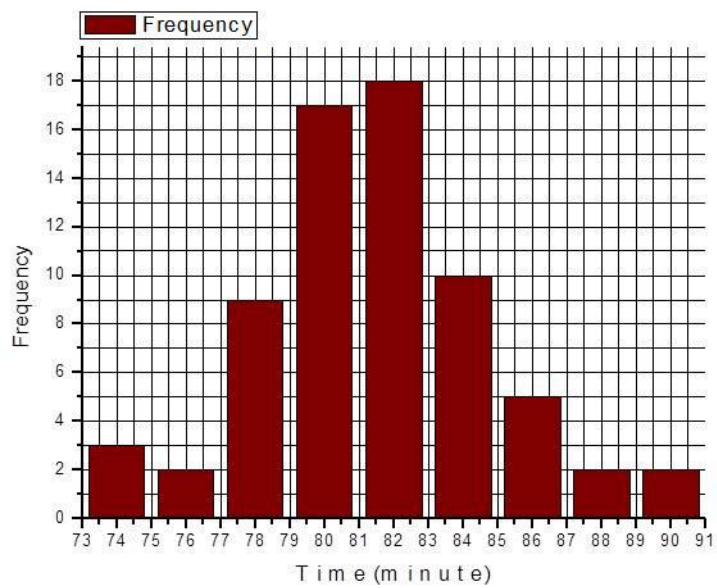
Slika 20. Poligon frekvencija za aktivnost SRW8



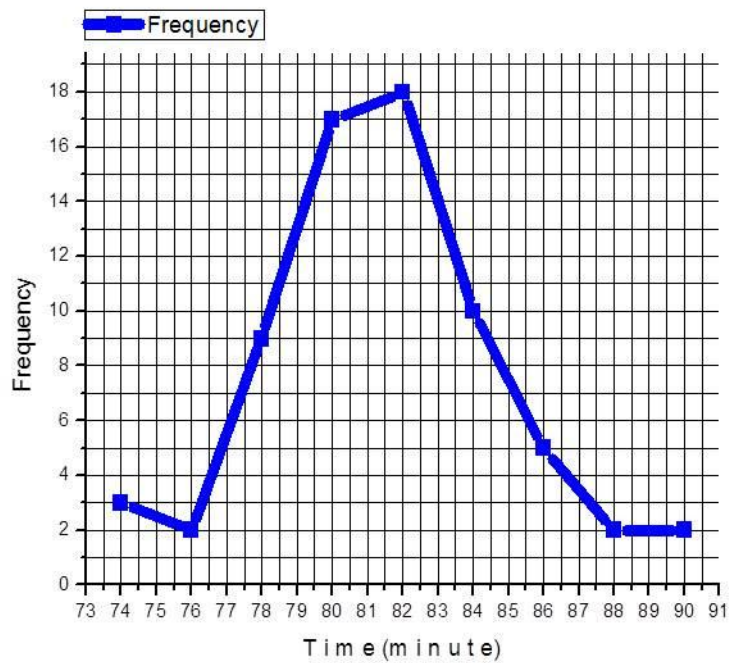
Slika 21. Histogram frekvencija za aktivnost SRW9



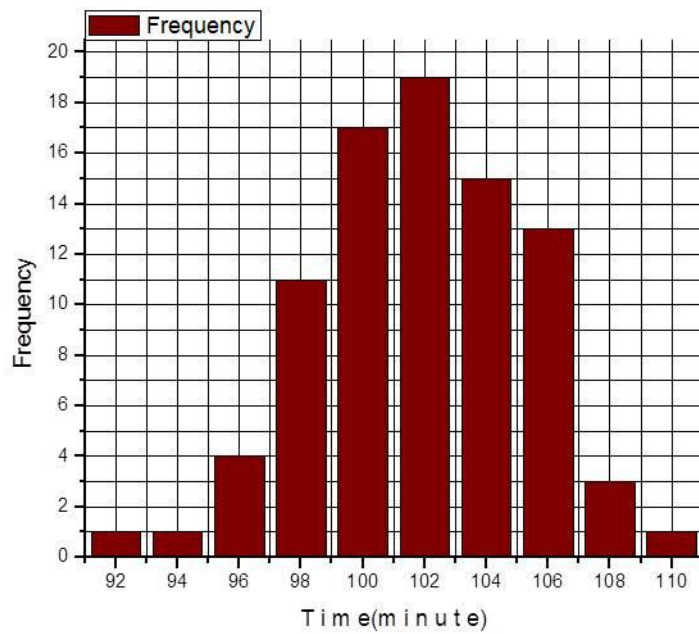
Slika 22. Poligon frekvencija za aktivnost SRW9



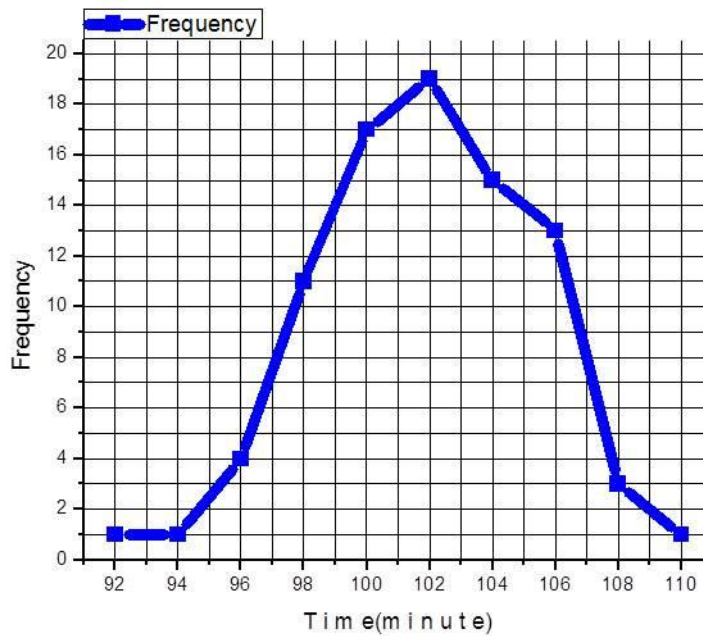
Slika 23. Histogram frekvencija za aktivnost SRW10



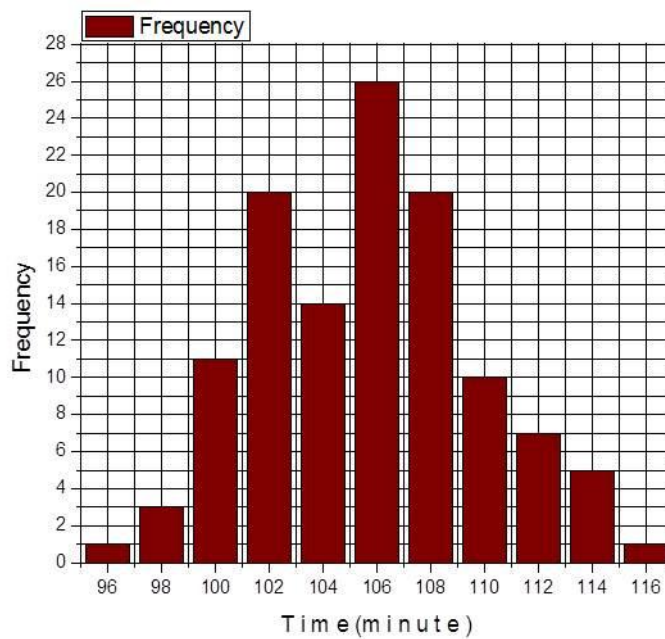
Slika 24. Poligon frekvencija za aktivnost SRW10



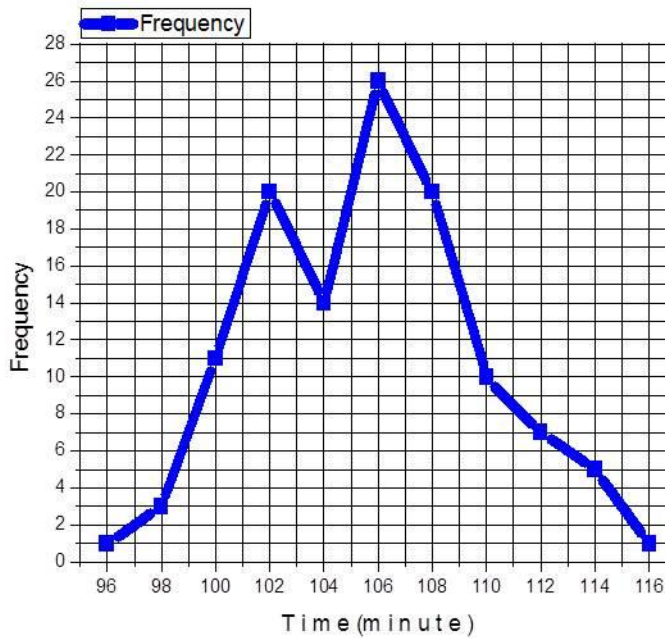
Slika 25. Histogram frekvencija za aktivnost SRW11



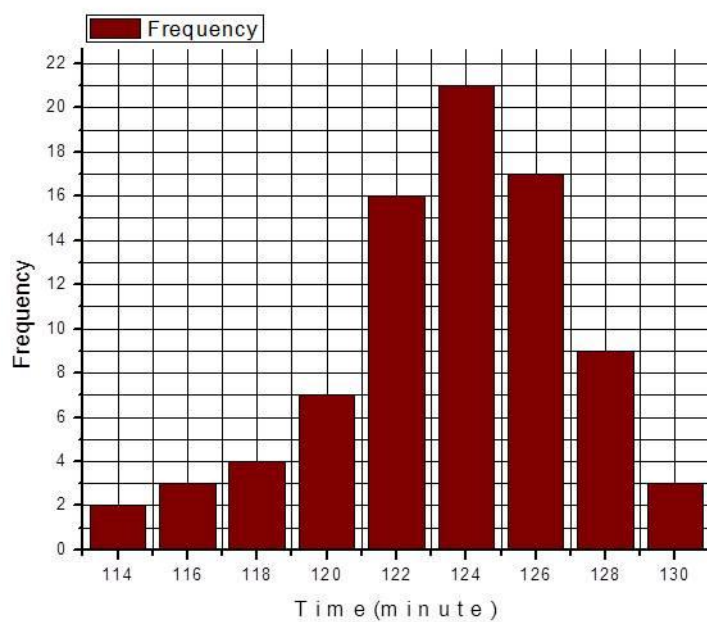
Slika 26. Poligon frekvencija za aktivnost SRW11



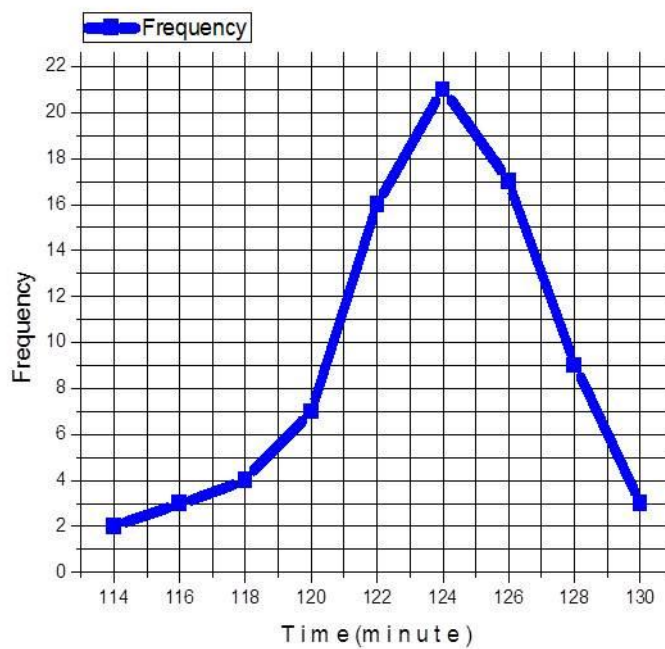
Slika 27. Histogram frekvencija za aktivnost SRW12



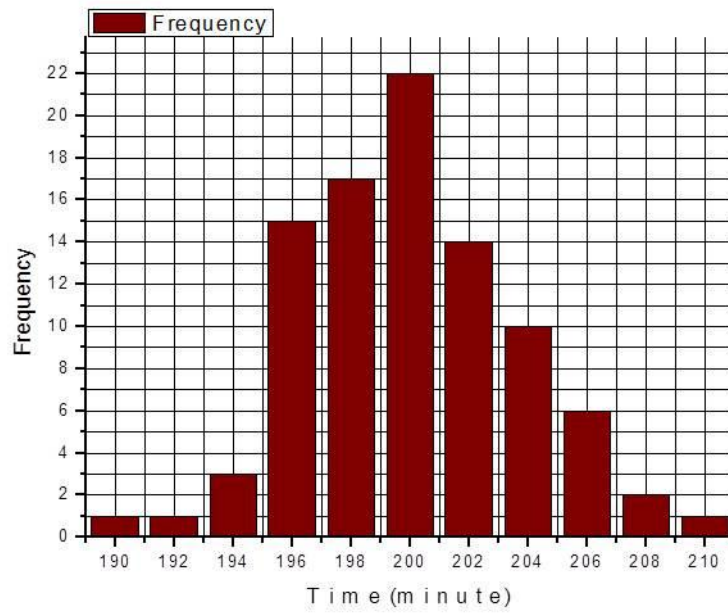
Slika 28. Poligon frekvencija za aktivnost SRW12



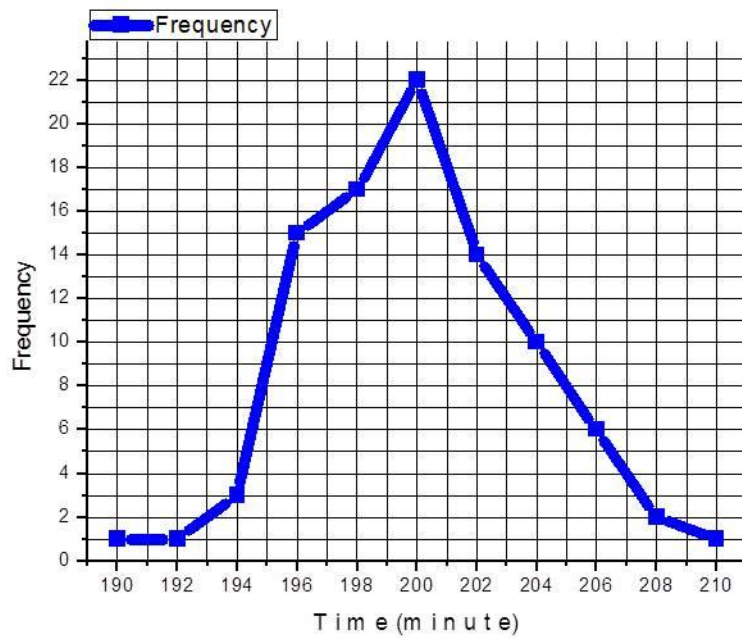
Slika 29. Histogram frekvencija za aktivnost SRW13



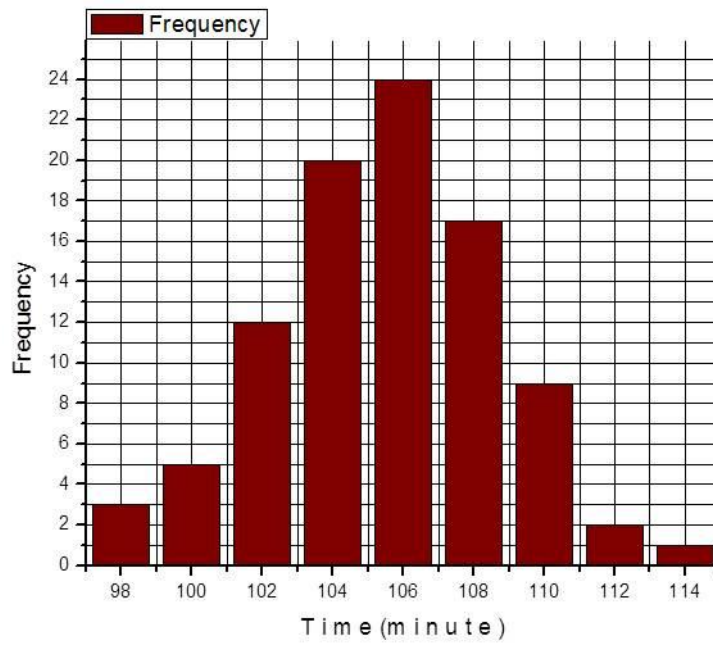
Slika 30. Poligon frekvencija za aktivnost SRW13



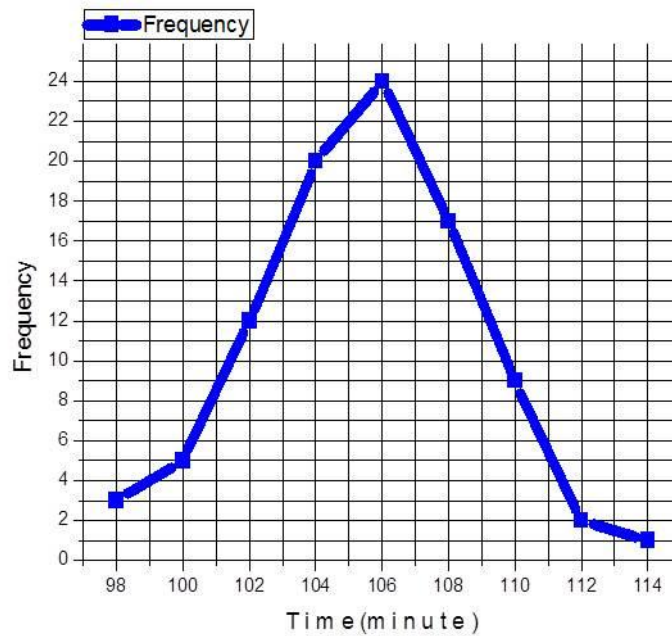
Slika 31. Histogram frekvencija za aktivnost SRW14



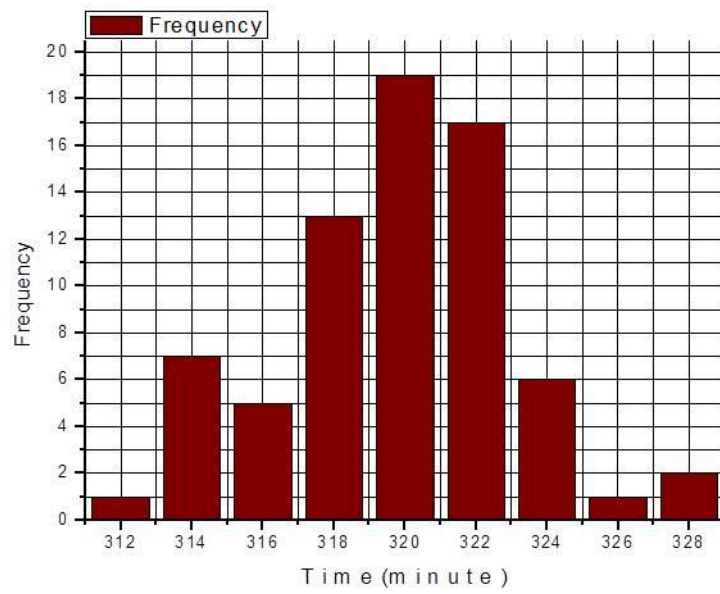
Slika 32. Poligon frekvencija za aktivnost SRW14



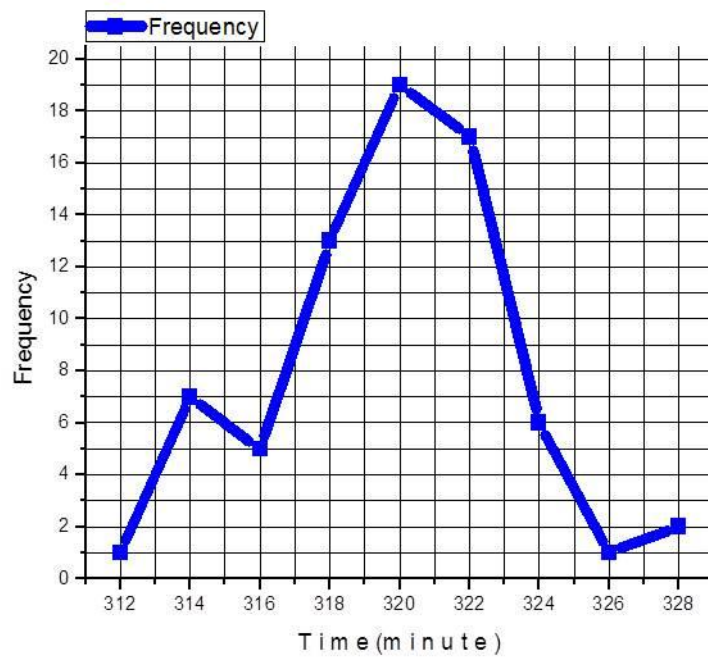
Slika 33. Histogram frekvencija za aktivnost SRW15



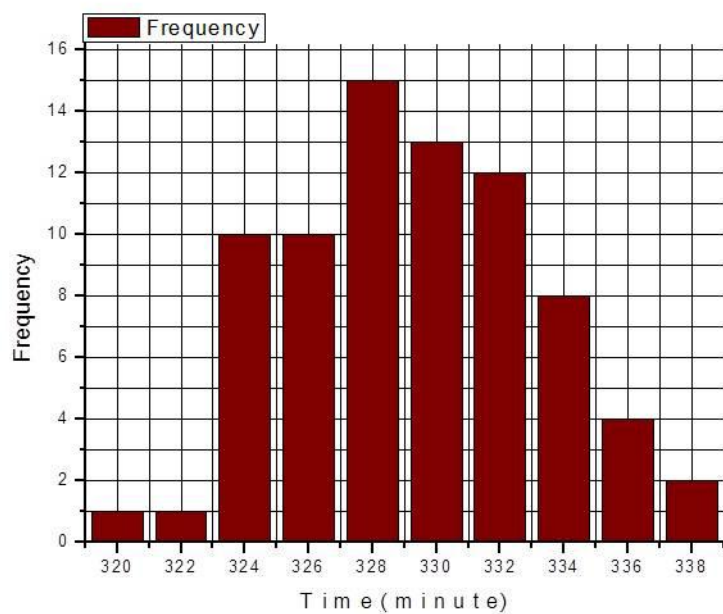
Slika 34. Poligon frekvencija za aktivnost SRW15



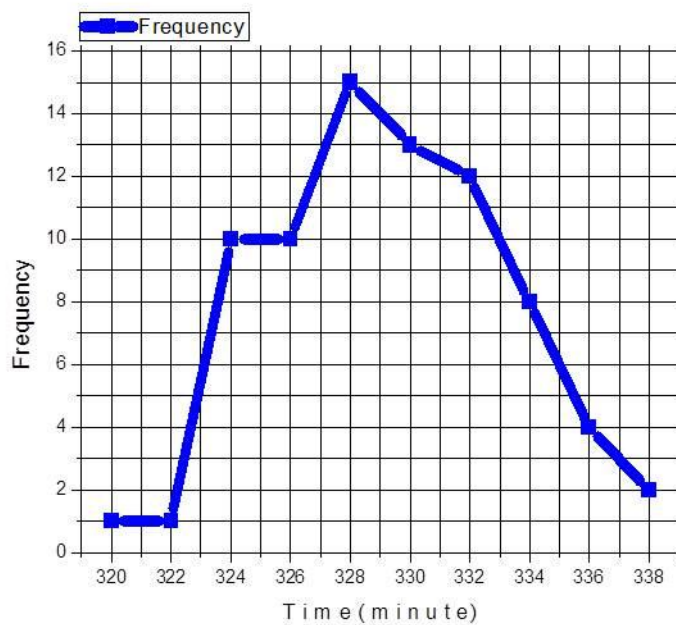
Slika 35. Histogram frekvencija za aktivnost SRW16



Slika 36. Poligon frekvencija za aktivnost SRW16



Slika 37 Histogram frekvencija za aktivnost SRW17



Slika 38. Poligon frekvencija za aktivnost SRW17

4.5 Aproksimacija empirijskih podataka

Empirijski podaci se gotovo nikada ne ponašaju onako kako bismo mi to želeli, pa je zato iznalaženje odgovarajuće statističke raspodele delom nauka a delom umetnost, pri čemu neprestano iziskuje određene kompromise [Rut 01]. Ključ dobre analize podataka leži u održavanju ravnoteže između usvajanja dobre aproksimacije i očuvanja tačnosti procene, budući da je konačan cilj čitavog postupka analiza koja treba da omogući olakšano donešenje odluka [Act 66]. Pri tome ne treba težiti pojednostavljavanju postupka usvajanjem jednostavnije aproksimacije zato što je jednostavnija, a na štetu tačnosti [Jac 94]. Upravo zato se u praksi najčešće koristi aproksimacija normalnom raspodelom, čak i kad to nije najbolji izbor, budući da je jednostavna za proračun [Too 93].

Pri izboru adekvatne aproksimacije treba imati u vidu potrebu da ona verno odslikava tendenciju ponašanja empirijskih podataka [Wal 31]. Stoga treba uočiti što pravilniju tendenciju u raspodeli što većeg broja tačaka, dok one koje odstupaju od te pravilnosti predstavljaju slučajna odstupanja [Ans 73, Jac 94]. Ove varijacije predstavljaju glavnu prepreku usvajanju glatkih krivih kao aproksimacija, te zato treba imati u vidu kako varijacija određenog broja uslova utiče na prosečnu vrednost posmatrane pojave. Najbolje rešenje bila bi, naravno, linija koja prolazi kroz sve tačke poligona empirijskih podataka i koja bi mogla da prikaže i uključu čak i uticaj slučajnih faktora na posmatranu pojavu, ali takvu funkcija bi bilo teško matematički formulirati, a čak i uslučaju da je to moguće, verovatno bi bila previše složena i teška za proračun, što se kosi s osnovnim zahtevom svake aproksimacije, a to je jednostavnost [Rut 01].

Na osnovu izgleda dobijenih histograma i poligona frekvencija prikazanih na slikama 5–38, nameće se zaključak da je u ovom slučaju normalna raspodela adekvatan izbor aproksimacije. Još jedan od faktora koji je uticao na ovakvu odluku jeste činjenica da se normalna raspodela pokazala kao adekvatna i u slučaju mnogih psiholoških i edukacionih promenljivih, kao i promenljivih iz oblasti medicine rada i psihologije rada, kao što su, primera radi, pismenost, introvertnost, zadovoljstvo poslom i pamćenje [Act 66].

Dodatna, iako ne ključna, prednost normalne raspodele jeste i to što je jednostavna za statističku obradu podataka i što je pogodna za različite tipove statističkih testova. Svi testovi korišćeni u prikazanom istraživanju razvijeni su za normalnu raspodelu, mada neki od njih daju veoma dobre rezultate i za raspodele koje znatno odstupaju od normalne. Pored navedenog, uz poznatu srednju vrednost i standardnu devijaciju normalne raspodele, jednostavno je konvertovati brojčane podatke u procentualni zapis [Ans 73].

4.5.1 Svojstva normalne raspodele

Normalna ili Gausova raspodela [Gau 16] je familija kontinualnih raspodela verovatnoće, definisanih preko dva osnovna parametra, a to su matematičko očekivanje μ i varijansa (disperzija) σ^2 . Za slučajnu promenljivu x sa raspodelom verovatnoće f , gde je f :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)$$

kažemo da ima normalnu raspodelu s parametrima μ i σ^2 odnosno:

$$X \sim N(\mu, \sigma^2)$$

gde je μ matematičko očekivanje, σ^2 je varijansa (ili disperzija), a σ je standardna devijacija [Gau 16, Sze 07, Sze 09].

Matematičko očekivanje normalne raspodele određuje se kao:

$$E_{(x)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} x \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx = \mu$$

Varijansa ili disperzija predstavlja matematičko očekivanje odstupanja slučajne promenljive od matematičkog očekivanja, a izračunava se kao [Ive 87]:

$$Var_{(x)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} (x-\mu)^2 \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx = \sigma^2$$

Standardna devijacija je mera disperzije u osnovnom skupu i opisuje koliko u proseku elemenata skupa odstupa od aritmetičke sredine kao matematičkog očekivanja, a izračunava se po formuli [Jac 94]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

Funkcija verovatnoće normalne raspodele definisana je kao:

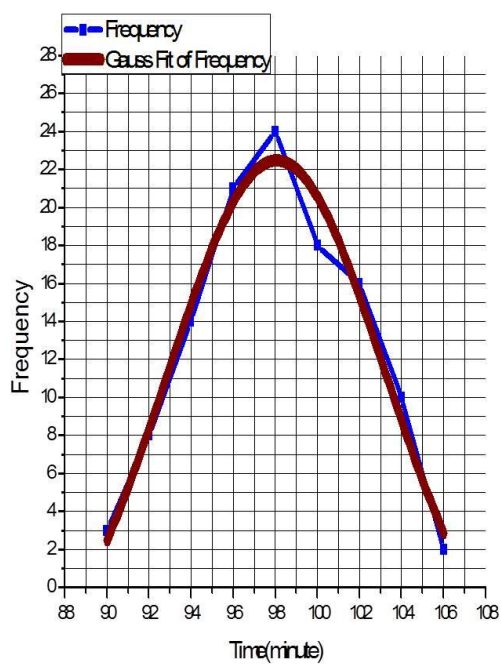
$$F_{(x)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) dt$$

a tumači se kao gustina verovatnoće za standardnu normalnu raspodelu ($\mu = 0$, $\sigma = 1$), a u slučaju predmetnog istraživanja predstavlja verovatnoću da će doći do određenog trajanja date aktivnosti.

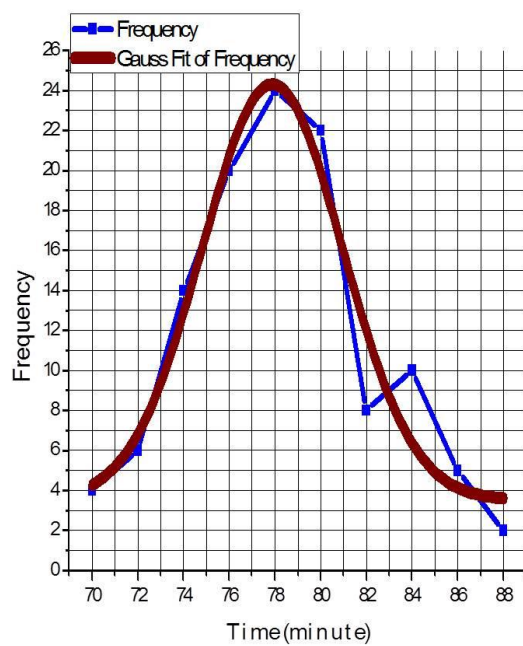
Intervali na rastojanju od jedne, dve i tri standardne devijacije od matematičkog očekivanja 0 zauzimaju 68 %, 95,5 % i 99,7 %, respektivno, površine ispod zvonaste krive [Rut 01]. Isti procenti važe za svaku normalnu raspodelu, bez obzira na matematičko očekivanje i standardnu devijaciju. Drugim rečima, u intervali od plus-minus jedne standardne devijacije od aritmetičke sredine nalazi se oko 68% vrednosti, u intervalu od plus-minus dve standardne devijacije od aritmetičke sredine nalazi se oko 95% od ukupnog broja vrednosti promenljive, a u intervalu od plus-minus tri standardne devijacije nalazi se oko 99,7% vrednosti. U praksi se poslednja vrednost (99,7%) često uzima kao 100%, odnosno smatra se da sve relevantne vrednosti promenljive leže u okolini od plus-minus tri standardne devijacije od aritmetičke sredine, a da se ostatak može smatrati slučajnim greškama [Ans 73].

4.5.2 Rezultati aproksimacije

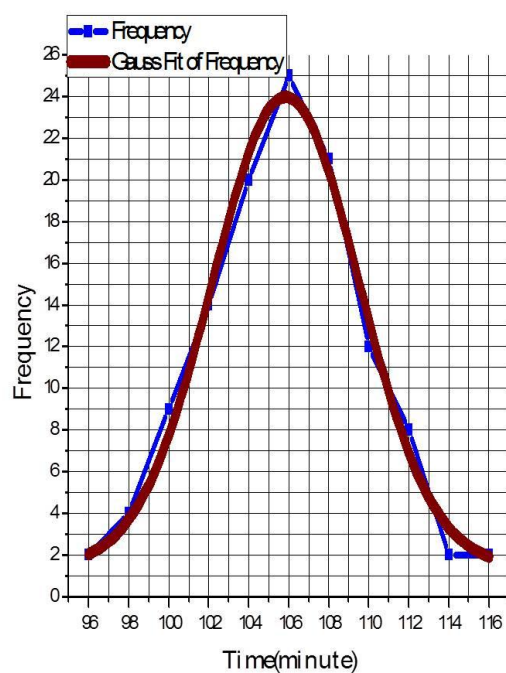
Shodno napred navedenom, poligoni frekvencije su za sve posmatrane aktivnosti aproksimirani normalnom raspodelom i sračunate su karakteristične vrednosti [Sne 80], što je prikazano na slikama 39–55, dok su karakteristične vrednosti date u tabeli 21.



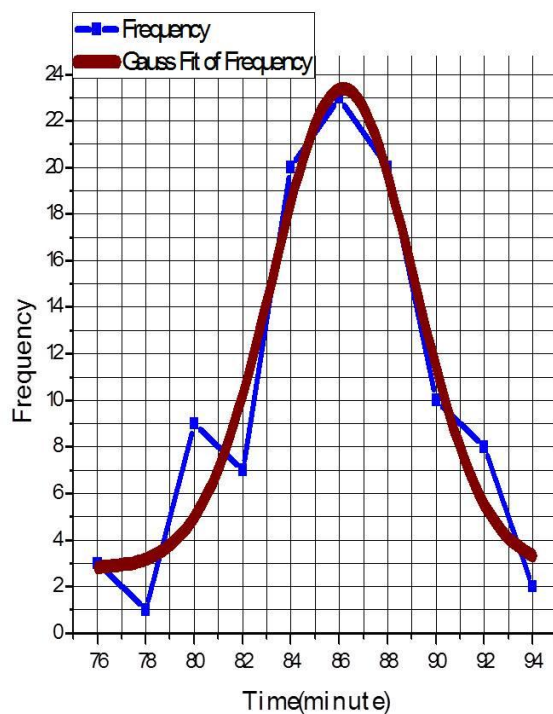
Slika 39. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW1



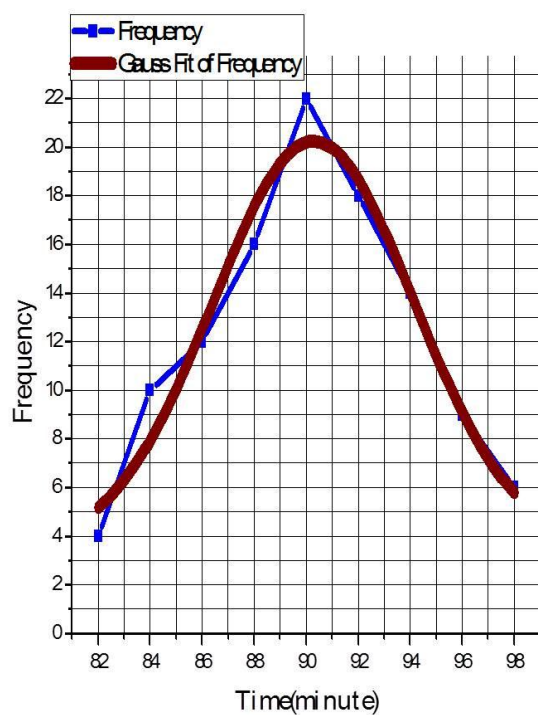
Slika 40. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW2



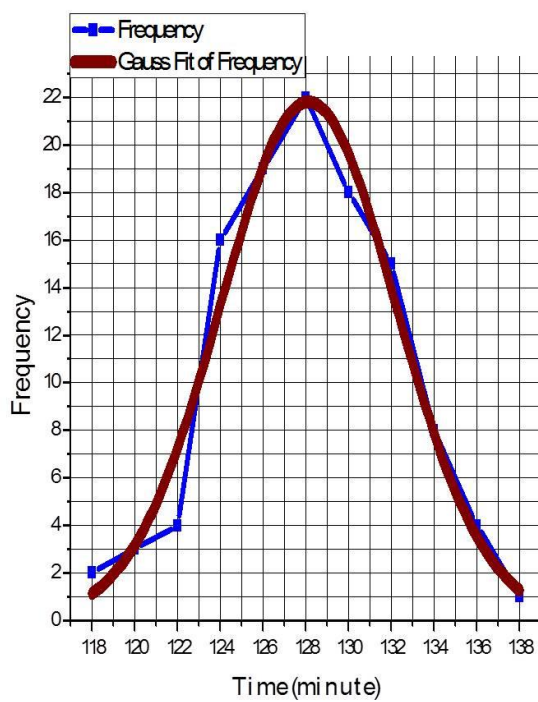
Slika 41. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW3



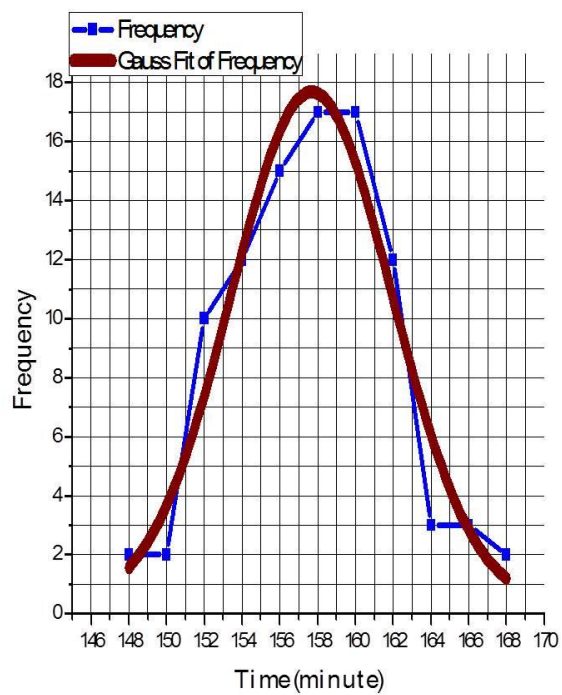
Slika 42. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW4



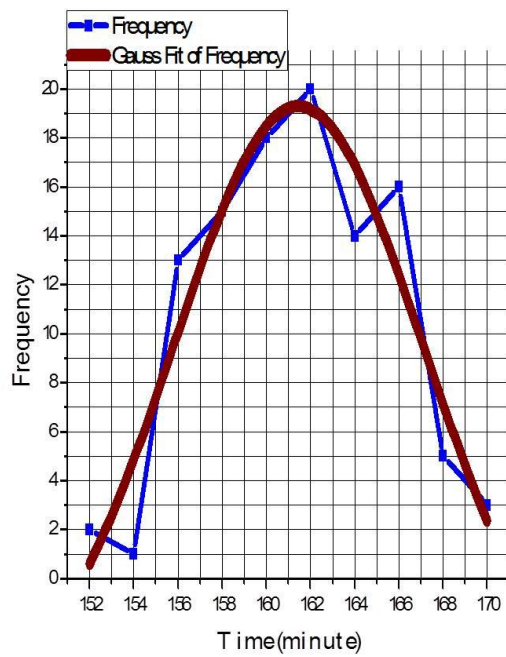
Slika 43. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW5



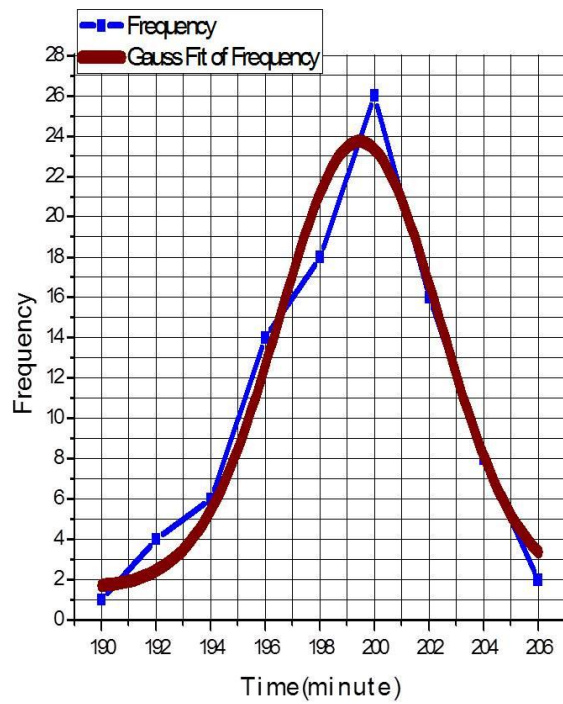
Slika 44. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW6



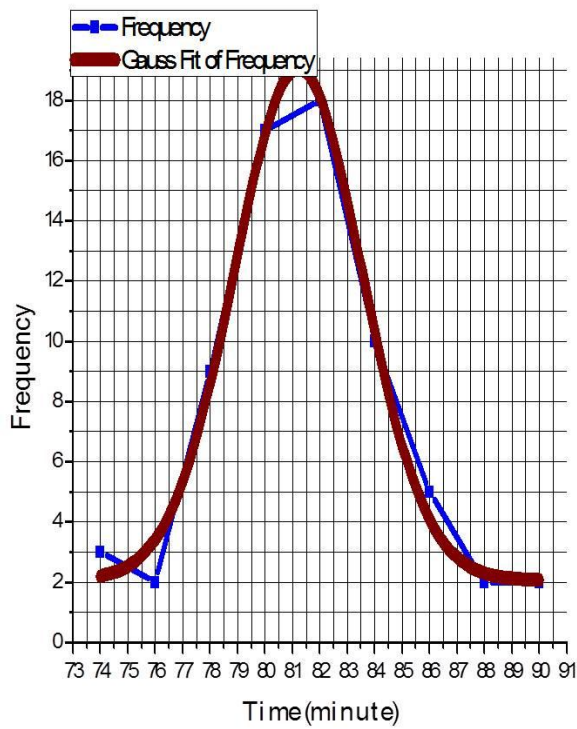
Slika 45. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW7



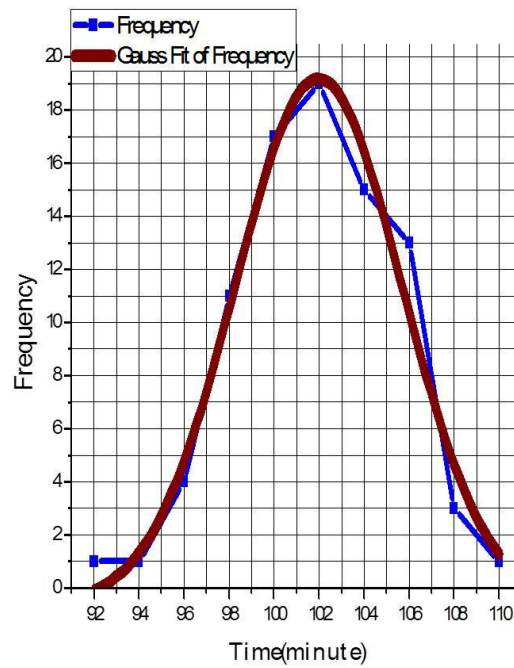
Slika 46. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW8



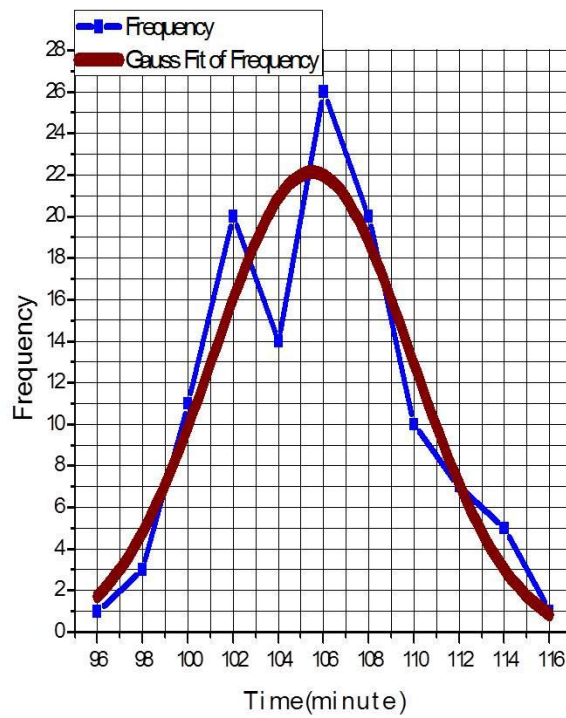
Slika 47. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW9



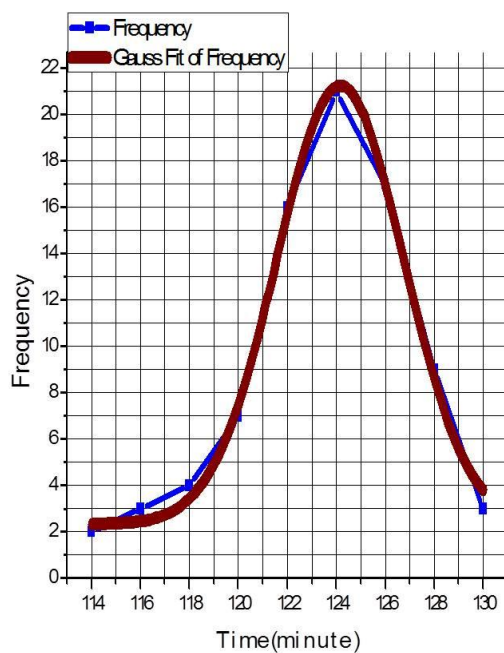
Slika 48. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW10



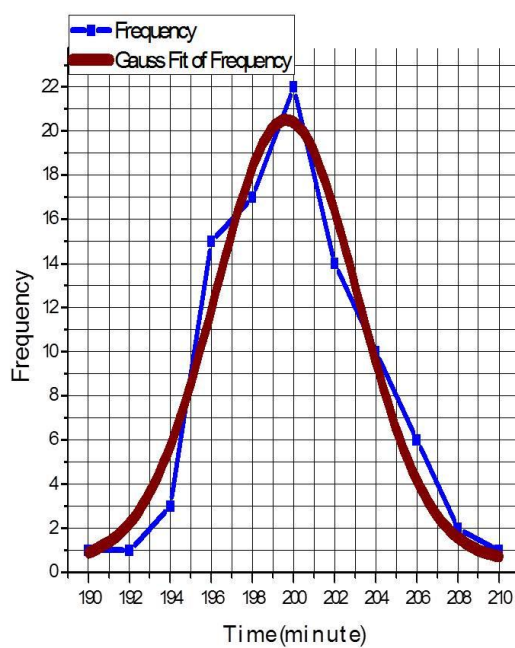
Slika 49. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW11



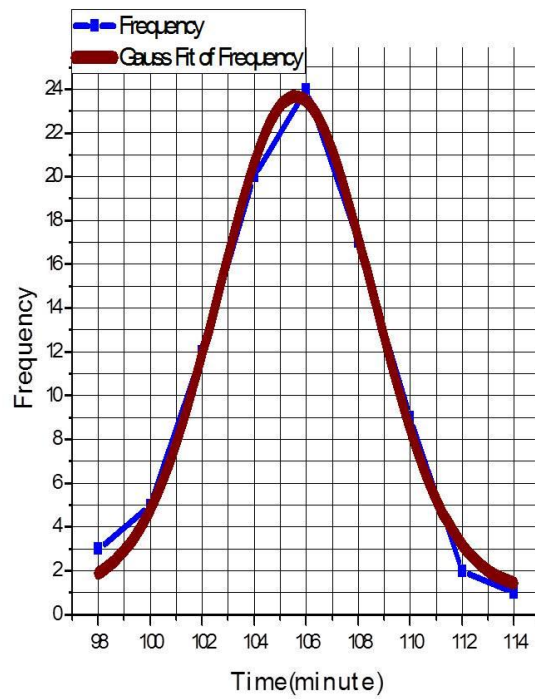
Slika 50. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW12



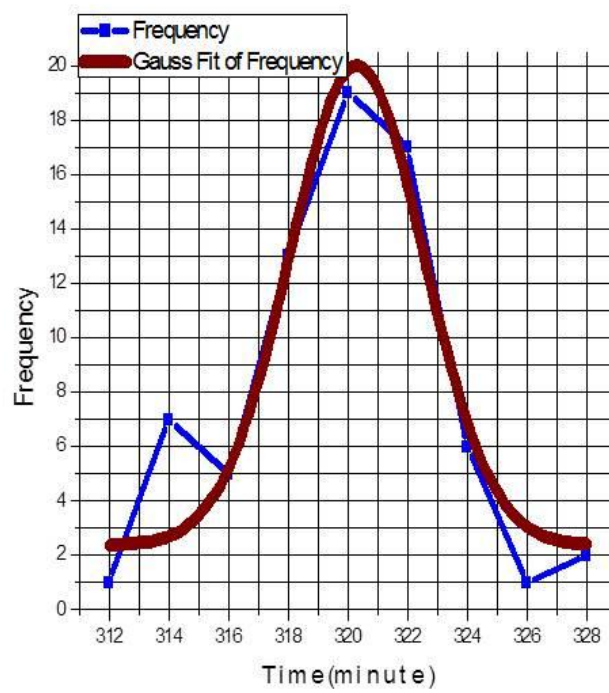
Slika 51. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW13



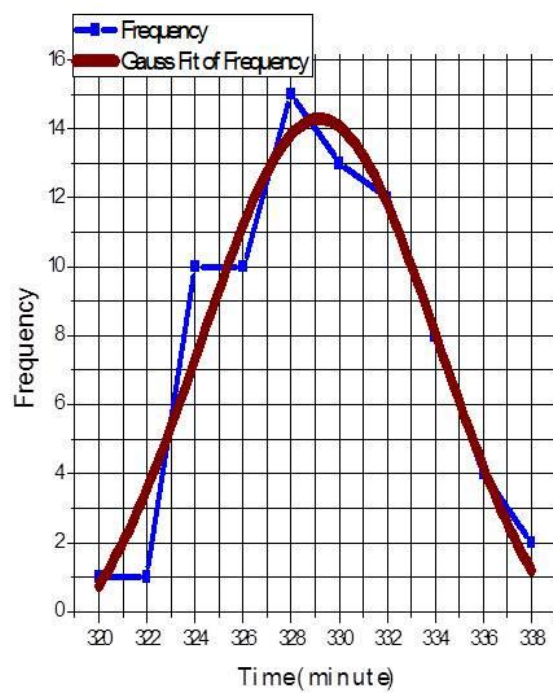
Slika 52. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW14



Slika 53. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW15



Slika 54. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW16



Slika 55. Aproksimacija poligona frekvencija za aktivnost SRW17

Tabela 21. Karakteristične vrednosti raspodela empirijskih podataka i aproksimacija Gausovom (normalnom) raspodelom

ID	μ_E	σ_E	μ_A	σ_A	NP	DF
SRW 1	98,05	5,48	98,00	5,15	9	5
SRW 2	78,22	6,05	77,90	3,07	10	6
SRW 3	105,80	6,63	105,80	3,66	11	7
SRW 4	85,84	6,05	86,15	2,91	10	6
SRW 5	90,12	5,48	90,29	3,86	9	5
SRW 6	128,14	6,63	128,00	4,10	11	7
SRW 7	157,68	6,63	157,60	4,26	11	7
SRW 8	161,60	6,05	161,44	5,634	10	6
SRW 9	199,01	5,47	199,44	2,91	9	5
SRW 10	80,41	5,47	81,20	2,32	9	5
SRW 11	101,65	6,05	101,92	3,70	10	6
SRW 12	105,69	6,63	105,40	4,39	11	7
SRW 13	123,51	5,47	124,10	2,58	9	5
SRW 14	200,00	6,63	199,60	3,45	11	7
SRW 15	105,44	5,48	105,60	2,95	9	5
SRW 16	319,77	5,47	320,00	2,252	9	5
SRW 17	329,31	6,05	329,00	4,95	10	6

μ_E – srednja vrednost empirijskih podataka, σ_E – standardna devijacija empirijskih podataka, μ_A – srednja vrednost aproksimacije, σ_A – standardna devijacija aproksimacije, NP – broj tačaka, DF – broj stepeni slobode

4.5.3 Evaluacija aproksimacije

Da bi se ocenilo da li i u kojoj meri predložena analitička funkcija oslikava raspodelu empirijski dobijenih podataka, neophodno je da se na osnovu karakterističnih vrednosti raspodela datih u tabeli 21 sprovedu adekvatno odabrani statistički testovi za evaluaciju datih aproksimacija [Alg 03, Ald 95, Dav 94].

Analiza korelacije i determinacije koristi se za ocenu povezanosti između dva skupa promenljivih (X i Y, ili u ovom slučaju empirijske i aproksimacione raspodele), pri čemu se pod korelacijom podrazumeva analiza oblika i smera povezanosti, a pod determinacijom intenzitet povezanosti [Ans 73, Dav 94].

Zavisna promenljiva, odnosno promenljiva koja se predviđa ili procenjuje, prikazuje se na vertikalnoj osi (y-osi) a nezavisna promenljiva, odnosno promenljiva na osnovu koje predviđamo i kao takva predstavlja osnovu procene, prikazuje se na horizontalnoj osi (x-osi). Koeficijent korelacije, koji može imati bilo koju vrednost na intervalu od -1 do +1 uključujući i te dve vrednosti, opisuje jačinu veze između dva skupa promenljivih [Edw 76, Rod 88]. Drugim rečima, što je vrednost koeficijenta korelacije veća, to je veza između dveju promenljivih „linearnija“, odnosno izrazitija [Ald 95, Fra 99].

Vrednost koeficijenta korelacije izračunava se kao [Edw 76]:

$$R = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

gde je σ_{xy} kovarijansa, a σ_x i σ_y su standardne devijacije promenljivih x i y [Nik 12]:

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i y_i - \bar{x} \bar{y})^2$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$$

Vrednost koeficijenta korelacije tumači se na sledeći način:

- Vrednost koeficijenta korelacije od -1 ili +1 predstavlja savršenu korelaciju, pri čemu pozitivna vrednost znači da promenljiva y raste s porastom promenljive x , dok vrednost -1 znači da y opada kada x raste.
- Vrednost 0 znači da nema korelacije između promenljivih x i y .
- Vrednosti između 0 i 0,3 (i 0 i -0,3, respektivno) ukazuju na slabu pozitivnu, odnosno negativnu vezu između promenljivih.
- Vrednosti između 0,3 i 0,7 (i -0,3 i -0,7, respektivno) ukazuju na umereno jaku pozitivnu, odnosno negativnu vezu između promenljivih.
- Vrednosti između 0,7 i 1,0 (-0,7 i -1,0, respektivno) ukazuju na jaku pozitivnu, odnosno negativnu vezu između promenljivih [Bla 96, Edw 76, Rod 88].

Međutim, pojmovi kao što su slab, umeren i jak nemaju precizno značenje [Fra 99]. Stoga se često koristi mera koja ima tačnije značenje, a to je koeficijent determinacije [Pre 92], koji se izračunava kao kvadrat koeficijenta korelacije (R^2) i predstavlja ukupnu varijaciju zavisne promenljive Y koja se objašnjava ili pripisuje varijaciji u nezavisnoj promenljivoj X [Mah 13]. Primera radi, za vrednost koeficijenta korelacije $R = 0,922$, koeficijent determinacije iznosi $R^2 = 0,85$, što znači da se 85% varijacija nezavisne promenljive Y može objasniti ili pripisati varijacijama promenljive X [Dav 94, Rod 88].

Hi-kvadrat (χ^2) test je vrlo praktičan test koji je naročito zgodan kada treba utvrditi da li i koliko dobijene (opažene) frekvencije odstupaju od frekvencija koje bi se očekivale pod određenom hipotezom ili kada treba utvrditi jesu li i u kojoj meri dve promenljive povezane [Bla 96, Dav 94]. Stoga se veoma često se koristi u slučajevima kada treba proveriti koliko dobro neka teorijska raspodela frekvencija opisuje opaženu ili izmerenu raspodelu. U tom slučaju, nulta pretpostavka je da odabrana teorijska

raspodela dobro aproksimira empirijsku, a razlika opaženih frekvencija u odnosu na teorijske (očekivane) dobija se kao [Nik 12]:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$$

gde su f_o opažene frekvencije, a f_t teorijske ili očekivane frekvencije.

Ukoliko je vrednost χ^2 manja od tablične kritične vrednosti χ^2_α za datu raspodelu i broj stepeni slobode, nulta hipoteza je ispravna, a ukoliko je dobijena vrednost jednaka kritičnoj ili veća od nje, nulta hipoteza se odbacuje [Wil 78].

Fišerova analiza varijanse (F test) koristi se za poređenje dva seta podataka s normalnom raspodelom, kao i za utvrđivanje u kojoj se meri empirijska raspodela može aproksimirati normalnom, a zasniva se na poređenju varijansi datih setova podataka (u ovom slučaju empirijske i normalne raspodele) [Ive 87].

$$F = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (y_i - \bar{y})^2$$

Ukoliko je količnik dobijenih vrednosti varijansi (F) veći od granične tablične vrednosti za dati broj stepeni slobode i traženi nivo tačnosti α (F_α), smatra se da između datih setova podataka postoji značajna statistička razlika, što znači da se nulta hipoteza odbacuje [Ive 87, Tsa 04, Wel 62].

Svi opisani testovi sprovedeni su za sve aproksimacije prikazane u prethodnom poglavlju, a rezultati testiranja aproksimacija s karakterističnim vrednostima navedenim u Tabeli 22.

Tabela 22. Rezultati statističkih testova

ID	σ_E^2	σ_A^2	R	R^2	DF	χ^2	χ^2_α	F	F_α
SRW 1	30,03	26,52	0,977	0,955	5	2,640	11,10	1,132	5,0503
SRW 2	36,60	9,42	0,943	0,890	6	6,560	12,60	3,885	4,2839
SRW 3	43,96	13,39	0,989	0,980	7	1,359	14,10	3,283	3,7870
SRW 4	36,60	8,47	0,938	0,880	6	7,300	12,60	4,321	4,2839
SRW 5	30,03	14,90	0,959	0,920	5	2,400	11,10	2,033	5,0503
SRW 6	43,96	16,81	0,969	0,940	7	3,300	14,10	2,615	3,7870
SRW 7	43,96	21,16	0,948	0,900	7	3,820	14,10	2,077	3,7870
SRW 8	36,60	31,70	0,905	0,820	6	8,790	12,60	1,154	4,2839
SRW 9	29,92	8,47	0,964	0,930	5	4,920	11,10	3,532	5,0503
SRW 10	29,92	5,38	0,989	0,980	5	0,781	11,10	5,561	5,0503
SRW 11	36,60	13,69	0,974	0,950	6	2,370	12,60	2,673	4,2839
SRW 12	43,96	19,27	0,894	0,800	7	14,030	14,10	2,281	3,7870
SRW 13	29,92	6,66	0,994	0,990	5	0,387	11,10	4,492	5,0503
SRW 14	43,96	11,90	0,959	0,920	7	4,580	14,10	3,694	3,7870
SRW 15	30,03	8,70	0,989	0,980	5	0,790	11,10	3,452	5,0503
SRW 16	29,92	6,35	0,937	0,879	5	5,660	11,10	4,712	5,0503
SRW 17	36,60	24,50	0,940	0,890	6	3,080	12,60	1,494	4,2839

σ_E^2 – varijansa empirijskih podataka, σ_A^2 – varijansa aproksimacije, R – koeficijent korelacije, R^2 – Koeficijent determinacije, DF – broj stepeni slobode, χ^2 – sračunate vrednosti za hi-kvadrat test, χ^2_α – granične vrednosti za hi-kvadrat test, F – sračunate vrednosti za Fišerov test, F_α – granične vrednosti za Fišerov test.

4.5.4 Diskusija rezultata

Sve vrednosti koeficijenta korelacije (R) nalaze se u intervalu između 0,987 i 0,994, što ukazuje na jaku pozitivnu korelaciju između empirijskih podataka i Gausove raspodele [Mah 13].

Vrednosti koeficijenta determinacije (R^2) kreću se od 0,80 do 0,99, što u proseku daje vrednost varijacije između empirijske i Gausove raspodele od 0,9. To znači da regresiona linija prolazi kroz 90 % tačaka poligona, tako da se može zaključiti da Gausova raspodela veoma dobro aproksimira empirijski dobijene podatke [Ken 62].

Sve sračunate vrednosti χ^2 manje su od kritičnih vrednosti χ^2_{α} , pa se sa dovoljno velikom sigurnošću može smatrati da se svako odstupanje empirijskih frekvencija od Gausove raspodele može pripisati slučajnoj grešci.

Samo jedna vrednost F je veća od kritične vrednosti F_{α} , što se praktično može smatrati slučajnom greškom. Kako sve ostale vrednosti ispunjavaju kriterijum da F mora biti manje od F_{α} , može se zaključiti da razlike između varijansi posmatranih setova podataka nisu statistički značajne.

Iz napred navedenog može se zaključiti da empirijski dobijeni podaci zadovoljavaju Gausovu raspodelu, te da se stoga ona može s dovoljnom tačnošću koristiti u daljem proračunu.

4.6 Probabilistički normativi

Nakon što je itvrđeno da se dobijene raspodele empirijskih rezultata mogu adekvatno aproksimirati normalnom raspodelom, pristupa se formiranju probabilističkih normativa. Vreme koje odgovara najvećoj vrednosti frekvenciji usvaja se za očekivano vreme (t_e). Intervali na rastojanju od jedne, dve i tri standardne devijacije od matematičkog očekivanja 0 zauzimaju 68 %, 95,5 % i 99,7 %, respektivno, površine ispod zvonaste krive. Isti procenti važe za svaku normalnu raspodelu, bez obzira na matematičko očekivanje i standardnu devijaciju. Drugim rečina, u intervalu od plus-minus jedne standardne devijacije od aritmetičke sredine nalazi se oko 68% vrednosti, u intervalu od plus-minus dve standardne devijacije od aritmetičke sredine nalazi se oko 95% od ukupnog broja vrednosti promenljive, a u intervalu od plus-minus tri standardne devijacije nalazi se oko 99,7% vrednosti. U praksi se poslednja vrednost (99,7%) često uzima kao 100%, odnosno smatra se da sve relevantne vrednosti promenljive leže u okolini od plus-minus tri standardne devijacije od aritmetičke sredine, a da se ostatak može smatrati slučajnim greškama [Alg 03].

Shodno navedenom, može se smatrati da će u 68% slučajeva data aktivnost biti obavljena u vremenskom intervalu $t_e \pm \sigma$, da će u približno 96% slučajeva aktivnost biti obavljena u vremenskom intervalu $t_e \pm 2\sigma$, a da će aktivnost gotovo sigurno biti okončana u vremenskom intervalu $t_e \pm 3\sigma$.

U kontekstu verovatnoće, to znači da verovatnoća da će se vreme trajanja date aktivnosti nalaziti u intervalu $t_e \pm \sigma$ iznosi 68%, što znači da će u najboljem slučaju trajanje aktivnosti biti $t_e - \sigma$ (optimističko vreme, t_o), a da će u najgorem slučaju trajanje aktivnosti iznositi $t_e + \sigma$ (pesimističko vreme, t_p). Na sličan način se oduzimanjem i dodavanjem vrednosti 2σ od srednjeg vremena dobijaju optimističko i pesimističko vreme za verovatnoću ostvarenja date aktivnosti od 96 %.

Rukovodeći se ovim zaključkom, dobijeni su probabilistički normativi s verovatnoćom izvršenja aktivnosti od 68 i 96%, koji su dati u minutima i satima u tabelama 24–27 [Alm 16].

Tabela 24. Probabilistički normativi s verovatnoćom ostvarenja od 68 % [min]

ID	Aktivnost	t _o	t _e	t _p
SRW 1	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	92,5	98	103,15
SRW 2	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x20 lepkom	74,3	77,9	80,97
SRW 3	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x10 cementnim malterom	102,14	105,8	109,46
SRW 4	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x10 lepkom	83,24	86,15	89,06
SRW 5	Lepljenje podnih keramičkih pločica 20x20 cementnim malterom	86,43	90,29	94,15
SRW 6	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom	123,9	128	132,1
SRW 7	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom s obradom ivica	153,34	157,6	161,86
SRW 8	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	155,81	161,44	167,07
SRW 9	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom s obradom ivica	196,49	199,4	202,31
SRW 10	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 lepkom	78,88	81,2	83,52
SRW 11	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 lepkom s obradom ivica	98,22	101,92	104,9
SRW 12	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 lepkom	101,01	105,4	109,79
SRW 13	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 lepkom s obradom ivica	121,3	124,1	126,68
SRW 14	Lepljenje fasadnih keramičkih pločica 6,5x2,5 cementnim malterom	196,15	199,6	203,1
SRW 15	Lepljenje fasadnih keramičkih mozaik pločica cementnim malterom	102,65	105,6	108,55
SRW 16	Lepljenje kadnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom	317,75	320	322,25
SRW 17	Lepljenje kadnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	324,05	329	333,95

Tabela 25. Probabilistički normativi s verovatnoćom ostvarenja od 68 % [h]

ID	Aktivnost	t _o	t _e	t _p
SRW 1	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	1,547	1,633	1,691
SRW 2	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x20 lepkom	1,236	1,298	1,359
SRW 3	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x10 cementnim malterom	1,702	1,763	1,824
SRW 4	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x10 lepkom	1,387	1,436	1,484
SRW 5	Lepljenje podnih keramičkih pločica 20x20 cementnim malterom	1,441	1,505	1,569
SRW 6	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom	2,065	2,133	2,201
SRW 7	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom s obradom ivica	2,556	2,627	2,698
SRW 8	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	2,597	2,691	2,785
SRW 9	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom s obradom ivica	3,275	3,323	3,372
SRW 10	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 lepkom	1,315	1,353	1,392
SRW 11	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 lepkom s obradom ivica	1,637	1,699	1,761
SRW 12	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 lepkom	1,683	1,757	1,830
SRW 13	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 lepkom s obradom ivica	2,025	2,068	2,111
SRW 14	Lepljenje fasadnih keramičkih pločica 6,5x2,5 cementnim malterom	2,270	3,327	3,385
SRW 15	Lepljenje fasadnih keramičkih mozaik pločica cementnim malterom	1,711	1,760	1,809
SRW 16	Lepljenje kadnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom	5,296	5,333	5,371
SRW 17	Lepljenje kadnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	5,40	5,483	5,566

Tabela 26. Probabilistički normativi s verovatnoćom ostvarenja od 96 % [min]

ID	Aktivnost	t_o	t_e	t_p
SRW 1	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	87,35	98	108,3
SRW 2	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x20 lepkom	71,23	77,9	84,04
SRW 3	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x10 cementnim malterom	98,48	105,8	113,12
SRW 4	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x10 lepkom	80,33	86,15	91,97
SRW 5	Lepljenje podnih keramičkih pločica 20x20 cementnim malterom	82,57	90,29	98,01
SRW 6	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom	119,8	128	136,2
SRW 7	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom s obradom ivica	149,08	157,6	166,12
SRW 8	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	150,18	161,44	172,7
SRW 9	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom s obradom ivica	194,39	199,4	205,22
SRW 10	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 lepkom	76,56	81,2	85,84
SRW 11	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 lepkom s obradom ivica	94,52	101,92	108,6
SRW 12	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 lepkom	96,62	105,4	123,78
SRW 13	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 lepkom s obradom ivica	118,72	124,1	129,26
SRW 14	Lepljenje fasadnih keramičkih pločica 6,5x2,5 cementnim malterom	192,7	199,6	206,55
SRW 15	Lepljenje fasadnih keramičkih mozaik pločica cementnim malterom	99,7	105,6	111,5
SRW 16	Lepljenje kadnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom	315,5	320	324,5
SRW 17	Lepljenje kadnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	319,1	329	338,9

Tabela 27. Probabilistički normativi s verovatnoćom ostvarenja od 96 % [h]

ID	Aktivnost	t _o [min]	t _e [min]	t _p [min]
SRW 1	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	1,456	1,633	1,805
SRW 2	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x20 lepkom	1,187	1,298	1,401
SRW 3	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x10 cementnim malterom	1,641	1,763	1,885
SRW 4	Lepljenje podnih keramičkih pločica 10x10 lepkom	1,339	1,436	1,533
SRW 5	Lepljenje podnih keramičkih pločica 20x20 cementnim malterom	1,376	1,505	1,633
SRW 6	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom	1,997	2,133	2,270
SRW 7	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom s obradom ivica	2,497	2,627	2,769
SRW 8	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	2,503	2,691	2,878
SRW 9	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom s obradom ivica	3,240	3,323	3,420
SRW 10	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 lepkom	1,276	1,353	1,431
SRW 11	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 15x15 lepkom s obradom ivica	1,575	1,699	1,810
SRW 12	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 lepkom	1,610	1,757	2,063
SRW 13	Lepljenje zidnih keramičkih pločica 10x20 lepkom s obradom ivica	1,979	2,068	2,154
SRW 14	Lepljenje fasadnih keramičkih pločica 6,5x2,5 cementnim malterom	1,545	3,327	3,442
SRW 15	Lepljenje fasadnih keramičkih mozaik pločica cementnim malterom	1,662	1,760	1,858
SRW 16	Lepljenje kadnih keramičkih pločica 15x15 cementnim malterom	5,258	5,333	5,408
SRW 17	Lepljenje kadnih keramičkih pločica 10x20 cementnim malterom	5,318	5,483	5,648

5. Zaključak

5.1 Zaključna razmatranja

Danas se u građevinarstvu za izradu dinamičkih i finansijskih planova koriste različiti službeni i zvanični normativi, kao i interni normativi proizvođača građevinskih materijala i opreme ili izvođača građevinskih radova. Međutim, ni u jednome od njih nema podataka o tome kako se došlo do datih vremena potrebnih za izvođenje pojedinih aktivnosti, na osnovu kakvih eksperimenata, u kakvim uslovima i s kolikim uzorkom, kao ni koja je statička metoda primenjena, tj. koju od statički bitnih vrednosti predstavlja podatak u normativu.

Ovi normativi se često kritikuju u praksi, obično iz razloga što su data vremena nerealno mala, ili čak neostvariva u realnim uslovima. Takve kritike su uglavnom neopravdane, jer iz same definicije normativa proističe objašnjenje kako se normativ određuje. Međutim, bili ispravni ili ne, takvi normativi su neupotrebljivi za planiranje trajanja aktivnosti i izradu dinamičkih planova u uslovima neizvesnosti i procene rizika ostvarenja projekta u predviđenom vremenu. Za planiranje u uslovima neizvesnosti i ocenu rizika neophodno je da se za svaku aktivnost poseduju tri podatka o vremenu trajanja te aktivnosti, a to su očekivano, pesimističko i optimističko vreme.

Stoga je uobičajeno da se pri planiranju u uslovima neizvesnosti podatak iz normativa uzme kao očekivano vreme, a da se druge vrednosti, optimističko i pesimističko vreme, procene na osnovu iskustva, intuicije ili na osnovu vrlo ograničene baze podataka iz prethodnih izvedenih projekata dotičnog pojedinca ili firme, što se može smatrati donekle površnim, a ni u kom slučaju naučnim pristupom.

Osnovna hipoteza pri izradi ove disertacije bila je da se dobro organizovanim naučnim pristupom može sprovesti u delo prikupljanje relevantnih podataka u realnim uslovima, tj. na gradilištima, i da se zatim primenom adekvatnog matematičkog aparata mogu dobiti probabilistički normativi koji bi se mogli upotrebiti za planiranje u uslovima neizvesnosti. Ispostavilo se da je najveći problem u prikazanom istraživanju

bio trivijalne prirode, a to je bilo prikupljanje podataka, tj. merenje vremena trajanja aktivnosti na različitim realnim gradilištima, pošto je bilo teško naći građevinske firme i saradnike voljne da se pored redovnog posla bave još i prikupljanjem podataka, što je zarad postizanja zadovoljavajuće tačnosti iziskivalo veliki obim uzorka.

U poslednjem poglavlju disertacije dati su probabilistički normativi za postavljanje različitih tipova keramičkih pločica koji se mogu primeniti za planiranje u uslovima neizvesnosti, i to za željenu, veću ili manju verovatnoću (68 ili 92 %) izvršenja aktivnosti u predviđenom vremenu. Novina koju ovakvi normativi nude u odnosu na postojeće jesu tri podatka o vremenu umesto jednog – očekivano, pesimističko i optimističko vreme trajanja aktivnosti – što znači da se umesto determinističkog očekivanog vremena dobija vremenski interval u kome će aktivnost biti obavljenja.

Probabilistički normativi su dobijeni u skladu sa striktnim kriterijumima naučnoistraživačkog rada i mogu se koristiti za primenu odgovarajućih softverskih alata i matematičkih metoda za planiranje u uslovima neizvesnosti i procenu rizika.

5.2 Smernice za dalji rad

Da bi se planiranje u građevinarstvu podiglo na viši novo, neophodno je u proces uključiti planiranje u uslovima neizvesnosti i procenu rizika, za šta su neophodni novi i savremeni probabilistički normativi. Danas se u toku procesa planiranja inženjeri uglavnom služe iskustvom i intuicijom, ali to se pre može nazvati veštinom nego egzaktnim pristupom. Da bi se uspostavili probabilistički normativi za sve vrste građevinskih radova, neophodno je organizovati i pokrenuti dugotrajan istraživački projekat, koji bi zbog obima, budući da je reč o hiljadama normativa, prevazilazio mogućnosti pojedinca ili jednog istraživačkog tima.

Takav projekat bi morao da se organizuje na nivou nadležnog ministarstva ili makar na nivou privredne ili inženjerske komore, uz saradnju privrednih društava i priznate izdavačke kuće.

6. Literatura

[Abd 96] Abdou, O.A. Managing Construction Risks, *Journal of Architectural Engineering*, 1996, 2(1), 3-10.

[Ada 79] Adams J. R., Brandt S.E., Martin M. D.: *Managing by Project Management*, UTC, Dayton, Ohio, 1979.

[Ahm 99] Ahmed, S.M., Ahmad, R. and Saram, D.D. Risk Management Trends in the Hong Kong Construction Industry: a Comparison of Contractors and Owners Perceptions, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 1999, 6(3), 225-234.

[Aki 97] Akintoye, A.S. and MacLeod, M.J. Risk Analysis and Management in Construction, *International Journal of Project Management*, 1997, 15(1), 31-38.

[Alg 03] Algina, J., & Olejnik. Conducting power analyses for ANOVA and ANCOVA in between-subjects designs. *Evaluation & the Health Professions*, 2003, 26(3), 288-314.

[Alm 16] Almayouf, K. O. et al. Methodology for developing probabilistic productivity norms in civil engineering, *Tehnika*, 70 (2016) 4, 527-533.

[Ait 57] Aitken, Alexander Craig. *Statistical Mathematics* 8th Edition. Oliver & Boyd, 1957.

[Act 66] Acton, F. S. *Analysis of Straight-Line Data*. New York: Dover, 1966.

[Ald 95] Aldrich, John (1995). "Correlations Genuine and Spurious in Pearson and Yule". *Statistical Science* 10 (4): 364–376.

[Ans 73] Anscombe, Francis J. (1973). "Graphs in statistical analysis". *The American Statistician* 27: 17–21.

[Belj 11] Dejan Beljaković, Aleksandar milajić, Zorica Milovanović: "Upravljanje graditeljskim projektima u Srbiji – trenutno stanje i tendencije", XV internacionalni simpozijum iz projektnog menadžmenta YUPMA 2011: "Projektni menadžment u Srbiji – uspesi i mogućnosti" Zlatibor, 2011., ISBN 978-86-86385-08-6.

[Bla 96] Bland, J.M.; Altman, D.G. "Statistics notes: measurement error.". *Bmj*, 312(7047), 1654..

- [Bak 05] Baker, W. and Reid, H. (2005) Identifying and Managing Risk, Frenchs Forest, N.S.W.: Pearson Education.
- [Ber 91] Berkeley, D., Humphreys, P.C. and Thomas, R.D. (1991) Project Risk Action Management, *Construction Management and Economics*, 9(1), 3-17.
- [Bra 68] Brandenberger J. Konrad R.: Tehnika mrežnog planiranja, ISPU, Beograd, 1968.
- [Cha 01] Chapman R.J. (2001) The Controlling Influences on Effective Risk Identification and Assessment for Construction Design Management, *International Journal of Project Management*, 19, 147-160.
- [Che 04] Chen, H., Hao, G., Poon, S.W. and Ng, F.F. (2004) Cost Risk Management in West Rail Project of Hong Kong, 2004 AACE International Transactions.
- [Car 06] Cardinal, R. N., & Aitken, M. R. F. (2006). ANOVA for the behavioural sciences researcher. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [Cor 00] Cortina, J. M., & Nouri, H. (2000). Effect size for ANOVA designs. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- [Cro 68] Croxton, Frederick Emory; Cowden, Dudley Johnstone; Klein, Sidney (1968) Applied General Statistics, Pitman.
- [Dav 94] Davison, M. L., & Sharma, A. R. (1994). ANOVA and ANCOVA of pre- and post-test, ordinal data. *Psychometrika*, 59(4), 593-600.
- [Die 91] Dietrich, Cornelius Frank (1991) Uncertainty, Calibration and Probability: The Statistics of Scientific and Industrial Measurement 2nd Edition, A. Higler.
- [Dow 83] Dowdy, S. and Wearden, S. (1983). "Statistics for Research", Wiley.
- [Dod 03] Dodge, Yadolah (2003). *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*. Oxford University Press.
- [Edw 76] Edwards, A. L. "The Correlation Coefficient." Ch. 4 in *An Introduction to Linear Regression and Correlation*. San Francisco, CA: W. H. Freeman, pp. 33-46, 1976.
- [Fla 93] Flanagan, R. and Norman, G. (1993) Risk Management and Construction, Victoria: Blackwell Science Pty Ltd, Australia.
- [Fra 99] Francis, DP; Coats AJ, Gibson D (1999). "How high can a correlation coefficient be?". *Int J Cardiol* 69 (2): 185–199.

- [Gau 16] Gauss, Carl Friedrich (1816). "Bestimmung der Genauigkeit der Beobachtungen". *Zeitschrift für Astronomie und verwandte Wissenschaften* 1: 187–197.
- [Gir 92] Giriden, E. R. (1992). *ANOVA repeated measures*. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- [Gha 00] Ghahramani, Saeed (2000). *Fundamentals of Probability (2nd Edition)*. Prentice Hall: New Jersey.
- [Hau 75] Hauc A.; *Upravljanje projektima*, Informator, Zagreb, 1975.
- [He 95] He, Z. (1995) Risk Management for Overseas Construction Projects, *International Journal of Project Management*, 13(4), 231-237.
- [Ive 87] Iverson, G. R., & Norpoth, H. (1987). *Analysis of variance*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- [Jac 94] Jackson, S., & Brashers, D. E. (1994). *Random factors in ANOVA*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- [Jov 99] Jovanović Petar: *Upravljanje Projektom*, Grafoslog, Beograd, 1999.
- [Jov 08] Jovanović Petar: *Upravljanje projektima*, Zuhra, Beograd, 2008.
- [Ken 62] Kenney, J. F. and Keeping, E. S. "Linear Regression and Correlation." Ch. 15 in *Mathematics of Statistics, Pt. 1*, 3rd ed. Princeton, NJ: Van Nostrand, pp. 252-285, 1962.
- [Ken 55] Kendall, M. G. (1955) "Rank Correlation Methods", Charles Griffin & Co.
- [Kur 11] Kazimir Kurij, Dejan Beljaković: *IZRADA PLANOVA U GRADITELJSTVU*, Građevinska knjiga, Beograd, 2011.
- [Kur 14] Kurij, K., Milajić, A., Beljaković, D.: *Analysis of Construction Dynamic Plan Using Fuzzy Critical Path Method*, *Tehnika* 69 (2), 2014, pp. 209–215.
- [Lev 90] Levy, M. S., & Neill, J. W. (1990). Testing for lack of fit in linear multiresponse models based on exact or near replicates. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 19(6).
- [Mah 13] Mahdavi Damghani B. (2013). "The Non-Misleading Value of Inferred Correlation: An Introduction to the Cointelation Model". *Wilmott Magazine*.
- [McI 03] McIntosh, K. and McCable, B. (2003). Risk and Benefits Associated with International Construction-Consulting Joint Ventures in the English-Speaking Caribbean, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30, 1143-1152.

[Mij 09] Mijatović R, *Norms and Standards in Civil Engineering, Book 2* (in Serbian), Građevinska knjiga, Belgrade, 2009.

[Mil 13] Milajić A, Beljaković D, Pejičić, G. Optimal reinforced concrete beams design using hybrid GA-TABU algorithm. *Technics Technologies Education Management*, Vol. 8, No. 2, pp. 533-540, 2013.

[Mil 15] Milajić A, Prokić A, Beljaković D, Pejičić G. Quantitative method for evaluating applicability of designed reinforcement pattern, *Technical Gazette*, Vol. 22, No. 1, pp. 119-124, 2015.

[Nik 12] Nikolić D, Muresan RC, Feng W, Singer W (2012) Scaled correlation analysis: a better way to compute a cross-correlogram. *European Journal of Neuroscience*, pp. 1–21.

[Per 85] Perry, J.H. and Hayes, R.W. (1985) Risk and Its Management in Construction Projects, *Proceedings of the Institution of Civil Engineering, Part I*, 78, 499-521.

[Pea 94] Pearson, Karl (1894). "On the dissection of asymmetrical frequency curves". *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 185: 719–810.

[Pet 73] Petrić J.: *Operaciona istraživanja*, PFV, Beograd, 1973.

[Pre 92] Press, W. H.; Flannery, B. P.; Teukolsky, S. A.; and Vetterling, W. T. "Linear Correlation." §14.5 in *Numerical Recipes in FORTRAN: The Art of Scientific Computing*, 2nd ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, pp. 630-633, 1992.

[Pro 87] Project Management Institute Standard Committee, *Project Management Body of knowledge (PMBOK)*, Project Management Institute, Drexel Hill, 1987.

[Pro 82] *Project Management Assessment Method*, Honeywell Informations Systems, 1982.

[Pro 98] Proverbs D, Holt G.D, Olomolaiye P. A comparative evaluation of planning engineers' formwork productivity rates in European construction, *Building and Environment*, Vol. 33, No. 4, pp. 181-187, 1998.

[Rei 00] Reiss G.: *Programme Management Demystified*, E&FN Spon, London and New York, 2000.

[Rod 88] J. L. Rodgers and W. A. Nicewander. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician*, 42(1):59–66, February 1988.

[Rut 01] Rutherford, A. (2001). *Introducing ANOVA and ANCOVA: A GLM approach*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

- [Rut 92] Spiegel, M. R. "Correlation Theory." Ch. 14 in *Theory and Problems of Probability and Statistics*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, pp. 294-323, 1992.
- [Sch 01] Schuyler, J. (2001). *Risk and Decision Analysis in Projects* (second edition), Pennsylvania: Project Management Institute, Inc, USA.
- [She 97] Shen, L.Y. (1997). Project Risk Management in Hong Kong, *International Journal of Project Management*, 15(2), 101-105.
- [She 01] Shen, L.Y., Wu, G.W.C. and Ng, C.S.K. (2001) Risk Assessment for Construction Joint Ventures in China, *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(1), 76-81.
- [Smi 03] Smith, N.J. (2003). *Appraisal, Risk and Uncertainty* (Construction Management Series), London: Thomas Telford Ltd, UK.
- [Sne 80] Snedecor, G. W. and Cochran, W. G. "The Sample Correlation Coefficient r " and "Properties of r ." §10.1-10.2 in *Statistical Methods*, 7th ed. Ames, IA: Iowa State Press, pp. 175-178, 1980.
- [Sze 07] Székely, G. J. Rizzo, M. L. and Bakirov, N. K. (2007). "Measuring and testing independence by correlation of distances", *Annals of Statistics*, 35/6, 2769–2794.
- [Sze 09] Székely, G. J. and Rizzo, M. L. (2009). "Brownian distance covariance", *Annals of Applied Statistics*, 3/4, 1233–1303.
- [Tam 04] Tam, C.M., Zeng, S.X. and Deng, Z.M. (2004) Identifying Elements of Poor Construction Safety Management in China, *Safety Science*, 42, 569-586.
- [Too 93] Toothacker, L. E. (1993). *Multiple comparisons procedures*. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- [Tsa 04] Tsangari, H., & Akritas, M. G. (2004). Nonparametric ANCOVA with two and three covariates. *Journal of Multivariate Analysis*, 88(2), 298-319.
- [Tur 01] Turner, J. R., & Thayer, J. F. (2001). *Introduction to analysis of variance: Design, analysis, & interpretation*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- [Tho 47] Thorndike, Robert Ladd (1947). *Research problems and techniques* (Report No. 3). Washington DC: US Govt.
- [Uhe 03] Uher, T. (2003) *Programming and Scheduling Techniques*, UNSW Press, Sydney
- [Uhe 99] Uher, T.E. and Toakley, A.R. (1999) Risk Management in the Conceptual Phase of a Project, *International Journal of Project Management*, 17(3), 161-169.

- [Wan 04] Wang, J.Y. and Liu, C.L. (2004) Risk Management for Construction Projects, Beijing: China Water Publication.
- [War 95] Ward, S.C. and Chapman, C.B. (1995) Risk-Management Perspective on the Project Lifecycle, *International Journal of Project Management*, 13(3), 145-149.
- [Wil 05] Wilcox, R. R. (2005). An approach to ANCOVA that allows multiple covariates, nonlinearity, and heteroscedasticity. *Educational and Psychological Measurement*, 65(3), 442-450.
- [Wil 78] Wildt, A. R., & Ahtola, O. T. (1978). *Analysis of covariance*. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- [Wri 06] Wright, D. B. (2006). Comparing groups in a before-after design: When t test and ANCOVA produce different results. *British Journal of Educational Psychology*, 76, 663-675.
- [Whi 67] Whittaker, E. T. and Robinson, G. "The Coefficient of Correlation for Frequency Distributions which are not Normal." §166 in *The Calculus of Observations: A Treatise on Numerical Mathematics*, 4th ed. New York: Dover, pp. 334-336, 1967.
- [Wal 31] Walker, Helen (1931). *Studies in the History of the Statistical Method*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins Co. pp. 24–25.
- [Wel 62] Welford, BP (August 1962). "Note on a Method for Calculating Corrected Sums of Squares and Products". *Technometrics* 4 (3): 419–420.