

# Analiza vanjskih i unutarnjih čimbenika na realizaciju dinamičkog plana

---

Rogošić, Lara

Master's thesis / Diplomski rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:574506>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-25**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I  
GEODEZIJE**

**DIPLOMSKI RAD**

**LARA ROGOŠIĆ**

**Split, 2022.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Lara Rogošić**

**Analiza vanjskih i unutarnjih čimbenika na  
realizaciju dinamičkog plana**

**Diplomski rad**

**Split, 2022.**

# **Analiza vanjskih i unutarnjih čimbenika na realizaciju dinamičkog plana**

## **Sažetak:**

U ovo diplomskom radu prikazani su organizacijski izazovi gradilišta, vanjski i unutarnji čimbenici koji utječu na svakodnevnu realizaciju dinamičkog plana te je analiziran stvarni projekt aglomeracije Cetinske krajine. Do optimalnog rješenja došlo se koristeći Monte Carlo simulacijske metode čija je svrha sagledati sve ulazne parametre i donijeti najpogodniju odluku.

## **Ključne riječi:**

Vanjski čimbenici, unutarnji čimbenici, dinamički plan, realizacija, ključni faktori, aglomeracija, Monte Carlo simulacijska metoda

# **Analysis of external and internal factors on realization of a dynamic plan**

## **Abstract:**

This thesis presents the organizational challenges of the construction site, external and internal factors that affect the daily implementation of the dynamics plan, and the actual project of the agglomeration of Cetinska Krajina was analyzed. The optimal solution was established using Monte Carlo simulation methods, whose purpose is to review all input parameters and make the most suitable decision.

## **Keywords:**

External factors, internal factors, dynamic plan, realization, key factors, agglomeration, Monte Carlo simulation methods

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

KANDIDAT: LARA ROGOŠIĆ

MATIČNI BROJ (JMBAG): 6019832100832181776

KATEDRA: Katedra za organizaciju i ekonomiku građenja

PREDMET: UPRAVLJANJE PROJEKTIMA

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: ANALIZA VANJSKIH I UNUTARNJIH ČIMBENIKA NA REALIZACIJU  
DINAMIČKOG PLANA

Opis zadatka: U ovom diplomskom radu analiziraju se vanjski i unutarnjih čimbenici na realizaciju dinamičkog plana za stvaran projekt te se prikazuje vjerojatnosti preciznijih rješenja pomoću Monte carlo simulacije.

U Splitu, 01.04.2022.

Voditelj Diplomskog rada:

Prof.dr.sc. Nikša Jajac

Predsjednik Povjerenstva

za završne i diplomske ispite:

Izv. prof. dr. sc. Ivo Andrić

Komentor:

Doc. dr. sc. Katarina Rogulj

## Tablica sadržaja

1. UVOD.....	6
2. DINAMIČKI PLANOVI.....	7
2.1. Potreba za dinamičkim planom .....	7
2.2. AON mreže .....	8
2.3. AOA mreže .....	9
3. KLJUČNI FAKTORI U IZRADI DINAMIČKIH PLANOVA .....	11
4. PROJEKT INTEGRALNOG SUSTAVGA VODOOPSKRBE I ODVODNJE AGLOMERACIJE TRILJ I OTOK.....	13
4.1. Opće značajke projekta .....	13
4.2. Geološka karta na lokaciji projekta .....	17
4.3. Podaci o lokalnim i klimatskim uvjetima.....	18
5. ORGANIZACIJSKI IZAZOVI NA PRIMJERU AGLOMERACIJE.....	20
5.1. Transport i skladištenje materijala i opreme .....	20
5.2. Manevar na gradilištu .....	20
5.3. Problem naselja i infrastrukture .....	22
5.4. Geološki i klimatski problemi.....	23
6. USPOREDBA PLANA I REALIZACIJE .....	25
7. ANALIZA RIZIKA – MONTE CARLO SIMULACIJA.....	28
8. PRIMJER RAZRADE DINAMIČKOG PLANA MC ANALIZOM.....	31
8.1. Ulazni podaci (WBS struktura) .....	31
8.2. Popis aktivnosti .....	32
8.3. Priduživanje resursa .....	34
8.4. Kritičan put .....	34
8.5. Analiza rizika .....	34
9. ZAKLJUČAK.....	39
10. POPIS LITERATURE.....	40

## 1. UVOD

U današnje vrijeme susrećemo se s brojnim problemima gradilišta. Zbog nastojanja da se gradilište i svi prateći poslovi, koji su povezani u jednu zajedničku funkcionalnu sredinu, što elegantnije odvijaju i da se postigne radna atmosfera koja djeluje bez prekida i praznog hoda, potrebno je posvetiti mnogo vremena za pripreme, promatranja i kalkulacije radi bolje organizacije gradilišta, a jedan od ključnih elemenata za što bolje funkcioniranje cjeline je kvalitetna izvedba dinamičkog ili mrežnog plana. Sam projekt je niz aktivnosti i zadaća koji mora zadovoljiti određeni cilj unutar određenih posebnosti. Da bi cijeli projekt što bolje popratili i povezali sve aktivnosti potrebno je izraditi dinamički plan.

Izrada samog dinamičkog plana te ustrajnost u detaljnom praćenju istog predstavlja osnovni parametar za uspješnu realizaciju projekta. Organizacija projekta je ključan faktor kod složenih projekata koji su ograničeni vremenom, financijama i okolinom.

Koordinacija i disciplina između organizacijskih cjelina nužno je potrebna kod promjenjive okoline te unutarnjih i vanjskih faktora.

Uspješno obavljen projekt je projekt koji u predviđenom vremenskom okviru s pridjeljenim resursima, u skladu s traženom tehnološkom izvedbom izvede projekt poštujući sve dobivene smjernice.

Ovim diplomskim radom donosimo na uvid stvarno stanje organizacije jednog gradilišta. Promatramo rizične faktore, vanjske i unutarnje čimbenike koji su doveli do nepodudaranja predviđenog i stvarnog stanja te mogućnosti preinake istog za budućnost. Uz primjer stvarnog stanja i elaboriranje faktora koji su doveli do revidiranja postojećeg stanja, bavimo se i postupkom tj. alatom kojim se služimo da dođemo do kompletiranog dinamičkog plana. Kompletiran dinamički plan odlična je podloga koju koristimo za praćenje aktivnosti na gradilištu kako za izvođače, tako i za nadzorne inženjere i investitore. Dinamički plan prikazuje osmišljeni raspored izvršenja svih radova s obzirom na aktivnosti u funkciji vremena, a nekad i kao raspodjelu dodjeljenih resursa. Jedan događaj u dinamičkom planu predstavlja vrijeme početka i završetka pojedine aktivnosti. Skup više aktivnosti i događaja objedinjuju se u jedan dinamički plan. Početak aktivnosti predstavlja trenutak u kojem se može započeti s realizacijom iste dok završetak predstavlja vremenski događaj kada je aktivnost završena. Kod pojedinih događaja imamo aktivnosti koje nemaju prethodne ni naredne aktivnosti, to jest aktivnosti koje su nezavisne o ostalim događajima na gradilištu. S obzirom na svoju strukturu dinamički plan obuhvaća vremenski period od prvog do zadnjeg dana gradnje i obuhvaća sve događaje odnosno aktivnosti koje se odvijaju na samom gradilištu.

## 2. DINAMIČKI PLANOVI

### 2.1. Potreba za dinamičkim planom

Dinamički plan pomno je osmišljen projekt organizacije gradilišta koji nam jasno definira početak i kraj samog projekta i svake pojedine stavke. Organiziranje projekta i provedba kvalitetnog dinamičkog plana potrebna je ukoliko se radi o složenim, vremenski ograničenim projektima s ograničenom cijenom i okolinom. Javlja se potreba i za koordinacijom unutar organizacijskih cjelina. Sastavni dio svakog plana su različite aktivnosti, koje mogu biti prikazane grafički ili numerički, te su popraćene vremenskim intervalom za svaku aktivnost. Dinamički plan pokazatelj je rasporeda izvršenja aktivnosti u vremenskim intervalima i s obzirom na prikaz imamo podjelu na dinamičke planove izvršenja aktivnosti i dinamičke planove s uključenim resursima.

Gradilišta mogu imati više dinamičkih planova, zavisno o kompleksnosti projekta. Konkretno, kod planova koje popratimo možemo imati uz dinamički plan izvođenja radova i plan dobave materijala, radne snage, mehanizacije, itd.

Mrežni plan, osim što je glavna vodilja izvođačima, pomaže i nadzornim inženjerima u praćenju radova, te investitorima kod kontrole financijskog aspekta projekta. Potrebno je uskladiti radne dane s obzirom na vremenski period projekta, uskladiti broj osoblja s potrebnom dinamikom na terenu, sinkronizirati novčane resurse i mehanizaciju. U početku se napravi direktan plan ili okviran plan koji se kasnije s razradom digna na razinu detaljnog, to jest operativnog plana.

U današnje vrijeme rizici u građevinarstvu su u porastu. Kod planiranja se ne može jednoznačnom tehnikom planirati, potrebno je biti realan, nepristran, s jasnim ciljevima i svom potrebnom dokumentacijom.

Cilj svakog našeg plana je da dođemo do najkraćeg mogućeg vremena građenja pomoću kontinuiranog uključivanja proizvodnih faktora u proizvodnji i uz kontinuirani tijek aktivnosti. Kako bi dobili dobar dinamički plan potrebno je realizirati obuhvat projekta, a za to je potrebno definirati zahtjeve posla, definirati količinu posla te potrebne resurse. Dinamički plan mora zadovoljiti unaprijed zadane vremenske i financijske ciljeve, treba biti na traženoj tehnološko - izvedbenoj razini te učinkovito i djelotvorno koristiti pridjeljene resurse.

Učinkovita izvedba zahtjeva razumijevanje kvantitativnih alata i tehnika korištenja, razumijevanje organizacijskih struktura te ponašanja unutar same organizacije. Ispunjenje zahtjeva o razumijevanju projekta za izradu kvalitetnog dinamičkog plana rezultira tim da funkcionalne jedinice razumiju svoju odgovornost u kolektivu za postizanje ciljeva projekta. Potencijalni problemi koji bi inače proizašli iz raspodjele kritičnih resursa na ovaj način su unaprijed prepoznati i otklonjeni. Još jedan od benefita je rano prepoznavanje problematike koji potencijalno mogu ugroziti uspješnost samog projekta. Ukoliko se pak ne ispune zahtjevi o razumijevanju projekta dolazi do niza negativnih posljedica kao što su: kontinuirano revidiranje dinamičkog plana te uspostavljanje projektne politike, trajno prebacivanje organizacijske odgovornosti i nepotrebnog restrukturiranje te potrebe za osobljem koje bi prihvatilo nova znanja i vještine.

Za kvalitetan dinamički plan te uspješno ispunjenje zahtjeva treba postojati tehnička dokumentacija s proračunom i predmjerom radova. Razmatranje čimbenika na početku projekta, dugoročno značajno skraćuje isti, zahvaljujući dobroj organizaciji. Potrebno je precizno isplanirati

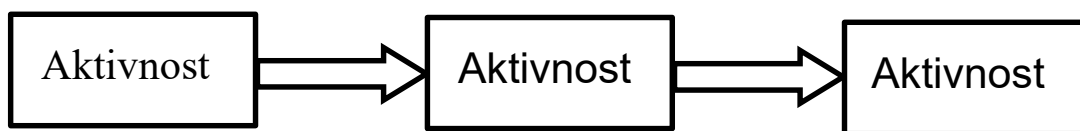


redosljed aktivnosti i približno točno procijeniti geološke, hidrološke te klimatske uvijete. Potrebno je i osigurati urednu dobavu svog potrebnog materijala, dovoljan broj radne snage te mehanizacije. Nadalje, treba logistički organizirati grupe radnika tako da je optimalan broj grupacija u svakom trenutku prisutan na gradilištu. Uz sve navedeno, dinamičke planove možemo sklopiti iz više manjih planova koji mogu biti s obzirom na grupe radnika, lokacije, vrste radova ili dostupnost mehanizacije, ili pak kao jedan veliki sveobuhvatni dinamički plan, koji prati sve aktivnosti od prvog do zadnjeg dana gradilišta.

Neke od metoda dijagramiranja aktivnosti i postavljanja prioriteta su grafičke tehnike koje prikazuju međuovisnost aktivnosti i koriste se kod izrade rasporeda aktivnosti. Tehniku još nazivamo i „Aktivnost na čvoru“ (AON – „activity on node“). Koristi se metoda dijagrama prioriteta koja se sastoji od pravokutnika tj. čvorova.

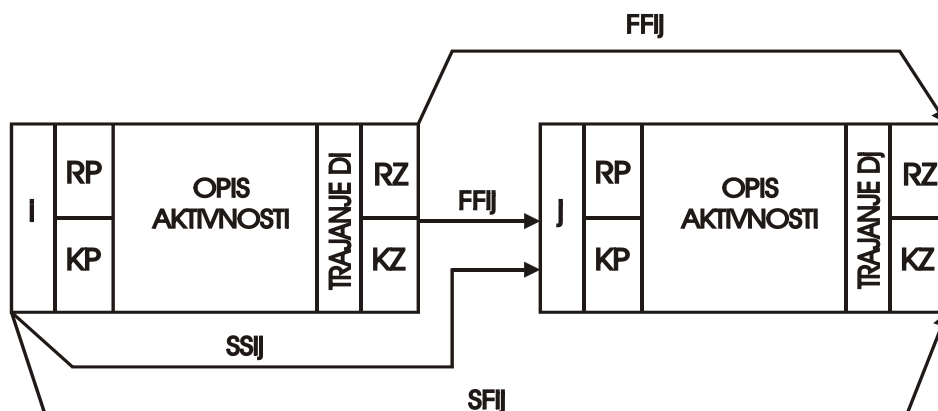
Uz AON postoji i AOA metoda dijagramiranja aktivnosti, odnosno „Aktivnost na luku“ (AOA – „activity on arc“).

## 2.2. AON mreže



Odnosi među aktivnostima:

- SS - početak naredne aktivnosti je nakon početka prethodne (**start to start**)
- FF - završetak naredne aktivnosti je nakon završetka prethodne (**finish to finish**)
- FS - početak naredne aktivnosti je nakon završetka prethodne (**finish to start**)
- SF - završetak naredne aktivnosti je nakon početka prethodne (**start to finish**)



**RP - NAJBRANIJI POČETAK AKTIVNOSTI**  
**KP - NAJKASNIJI POČETAK AKTIVNOSTI**  
**RZ - NAJBRANIJI ZAVRŠETAK AKTIVNOSTI**  
**KZ - NAJKASNIJI ZAVRŠETAK AKTIVNOSTI**

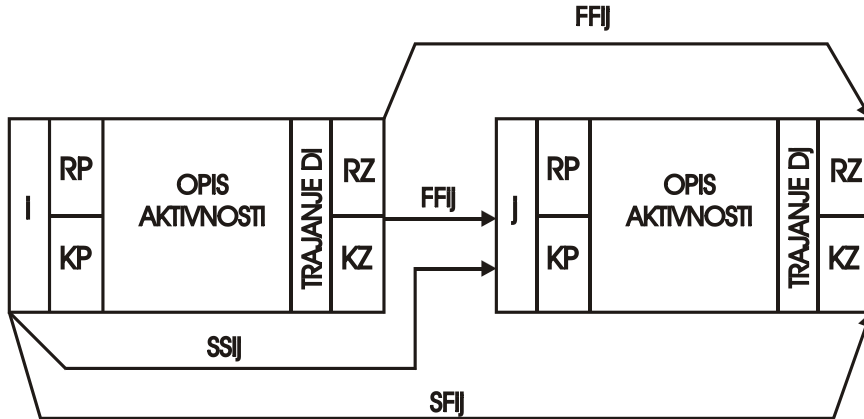
Za prolazak kroz mrežu unaprijed:

$$RP_j = \max (RP_i + SS_{ij}; RZ_i + FS_{ij})$$

$$RZ_j = \max (RZ_i + FF_{ij}; RP_i + SF_{ij}; RP_j + D_j)$$

Ukoliko ne postoje FS<sub>ij</sub> ni SS<sub>ij</sub>, a aktivnost se ne može razbiti tada je  $RP_j = RZ_j - D_j$ , i

$RP_j$  = početak projekta ukoliko nema FS<sub>ij</sub>, a aktivnost se može razbiti.



**RP - NAJRANIJI POČETAK AKTIVNOSTI**  
**KP - NAJKASNIJI POČETAK AKTIVNOSTI**  
**RZ - NAJRANIJI ZAVRŠETAK AKTIVNOSTI**  
**KZ - NAJKASNIJI ZAVRŠETAK AKTIVNOSTI**

Za prolazak kroz mrežu unazad:

$$KZ_i = \min (KZ_j - FF_{ij}; KP_j - FS_{ij})$$

$$KP_i = \min (KP_j - SS_{ij}; KZ_j - SF_{ij}; KZ_i - D_i)$$

Ukoliko ne postoje FF<sub>ij</sub> ni FS<sub>ij</sub>, a aktivnost se ne može razbiti tada je

$$RZ_i = RP_i + D_i, i$$

$KZ_i$  je vrijeme završetka projekta ukoliko se aktivnost može razbiti

### 2.3. AOA mreže



Kod AOA mreže najbitniji paramteri su najranija i najkasnija vremena početaka i završetaka aktivnosti te rezervna vremena aktivnosti (*activity floats*).

Graf  $D = (N, A)$

$N$  - skup vrhova, čvorova koji se odnose na događaje

$A = A_r + A_d$

$A_r$  - stvarne aktivnosti

$A_d$  - dummy aktivnosti

Rezervna vremena aktivnosti  $v$

**Total float:**  $TF(v) = LS(v) - ES(v) = LF(v) - EF(v)$

**Free float:**  $FF(v) = \min\{ES(w)\} - EF(v) <<$

**Safety float:**  $SF(v) = LS(v) - \max\{LF(u)\}$

**Interference float:**  $IF(v) = \min\{ES(w)\} - \max\{LF(u)\} - y(v)$ , pri čemu su

$A(v)$  - aktivnosti koje slijede nakon  $v$ , a

$B(v)$  - aktivnosti koje prethode  $v$

TF predstavlja maksimalno dozvoljenu vremensku rezervu bez produžetka trajanja projekta

FF predstavlja maksimalno dozvoljenu vremensku rezervu kada sve naredne aktivnosti započinju najranije moguće i sve prethodne aktivnosti završavaju najranije moguće.

SF predstavlja maksimalnu moguću vremensku rezervu kada sve prethodne aktivnosti završavaju najkasnije moguće i sve naredne aktivnosti završavaju najkasnije moguće.

IF, ukoliko je pozitivan, opisuje maksimalno moguću vremensku rezervu kada sve naredne aktivnosti započinju najranije moguće, a sve prethodne aktivnosti završavaju najkasnije moguće. U slučaju da je negativan, IF je minimalno skraćenje trajanja aktivnosti kako bi se omogućilo narednim aktivnostima da završe najranije moguće, a svim prethodnim aktivnostima da završe najkasnije moguće.

Dummy aktivnosti i događaje koristimo zbog zahtjeva da je svaka aktivnost jedinstveno definirana svojim završnim čvorom, za prezentaciju nekih posebnih odnosa u slijedu aktivnosti i za zahtjev da mreža nema više završetaka.

### 3. KLJUČNI FAKTORI U IZRADI DINAMIČKIH PLANOVA

Organizirati radnu snagu, strojeve, dobavu, redosljed zadataka i financije jako je izazovan zadatak za svakog inženjera. Tim poslom se bave inženjeri koji imaju dug niz godina iskustva na terenu, koji imaju mnogo znanja i zahvaljujući brojnim projektima već intuitivno znaju kako će se neki događaji odvijati, ali i kod stručnjaka s dugogodišnjim iskustvom može doći do nepredviđenih situacija i tada se u što kraćem roku pokušava naći odgovarajuće rješenje problema.

Postoje faktori kojima ne možemo upravljati, ali ih u određenoj mjeri možemo predvidjeti, odnosno svjesni smo da će se događati pa u startu uzimamo u obzir nemogućnost izvršenja u roku, na primjer vremenske nepogode, izostajanje radne snage zbog brojnih razloga (bolesti, neizbježnih događaja u obitelji, slavlja, itd).

Na određenim terenima, ovisno o geološkoj karti i povijesnom razvoju tog dijela, treba predvidjeti i mogućnost postojanja arheoloških nalazišta koja također usporavaju projekt obustavom daljnjeg rada dok se ne obavi arheološko ispitivanje i dokumentiranje istog. Osim navedenog, na konkretnom gradilištu dolazimo i do velikih problema koji uzrokuju kašnjenja zbog pandemije uzrokovane koronavirusom. Premda su sve branše pretrpjele posljedice uslijed korone, građevinarstvo je i dalje imalo mogućnost nastavka rada svog primarnog posla. U početku je posao dobro funkcionirao, no kasnije su radnici počeli obolijevati i grupe radnika su trebale ići u samoizolaciju. Projekti su se značajno usporili, radne snage je bilo sve manje, a rokovi su se približavali. Stvarno stanje na terenu nije pratilo dinamički plan i tada se počelo raditi na reviziji dinamičkog planova u manjim vremenskim intervalima.

Primjer utjecaja vanjskih i unutarnjih čimbenika na dinamički plan na koji se oslanjam u daljnjem tekstu stvaran je prikaz situacije na gradilištu, točnije aglomeracije Cetinske krajine u vrijeme pandemije. U trenutku pandemije korona virusom, svi planovi, kako društveni, poslovni pa tako i dinamički planovi morali su se mijenjati jer je došlo do restrikcija kojih smo se kao pojedinci i kao skupina radnika trebali pridržavati. Što se tiče manjih grupa radnika, ništa se nije mijenjalo jer su radnici svakako obavljali poslove po kolektorima tako da se međusobno nisu susretali. Najveći problem bi se stvorio kada su zbog zaraze jednog radnika cijele grupacije morale ići u dvotjednu izolaciju. S obzirom na godine i zdravstvena stanja radnika nerijetko je dolazilo i do zdravstvenih komplikacija pa je period zastoja na dijelu gradilišta često bio i znatno veći od 14 dana. Posebno je teška situacija kada izbivaju strojari, vozači i slično kvalificirani radnici kojima je u današnje vrijeme iznimno teško naći zamjenu.

Zastoj gradilišta, osim što povlači problem rokova, financija i drugih faktora koje direktno utječu na izvođača, često uzrokuje i negodovanje lokalnog stanovništva jer se radi o izrazito nepristupačnom terenu gdje se od trenutka kada se kolektor otvori više ne može prolaziti automobilom, a na pojedinim mjestima čak ni pješice. Dodatnu težinu tom problemu donijela je činjenica da se radi o poljoprivredno orijentiranom stanovništvu koje ima mnogo posla van kuće, a zbog novonastale situacije bilo je odsječeno od ostatka naselja.

Premda su izvođači rješenje pokušavali pronaći u pojačanom broju ekipa na terenu, nisu mogli utjecati na kašnjenja svih kooperanata i dobavljača koji su dostavljali okna, cijevi i druge proizvode koji su esencijalni za svakodnevni napredak. Puno je slijednih aktivnosti međuovisno i kašnjenje je u ovoj situaciji bilo neizbježno.

Još jedan od neočekivanih i nepredviđenih događaja koji su usporili cijelu situaciju je rat u Europi zbog čega je sav materijal na tržištu enormno poskupio i mnogi od kooperanata više nisu htjeli surađivati po prethodno dogovorenim cijenama.

U daljnjem dijelu teksta razmatrati će se svi rizici i poteškoće uključene u upravljanje projektima. Na takve projekte odnosno gradilišta značajno utječu faktori kao što su rizik mobilizacije, rizik nabave materijala te ekonomski rizik. Stoga je pravovremeno planiranje ključno za ublažavanje ovih rizika. Dobro upravljanje projektom od iznimne je važnosti u ovakvim situacijama.

## 4. PROJEKT INTEGRALNOG SUSTAVGA VODOOPSKRBE I ODVODNJE AGLOMERACIJE TRILJ I OTOK

### 4.1. Opće značajke projekta

Projektu integralnog sustava vodoopskrbe i odvodnje aglomeracije Trilj i Otok, čiji je investitor Vodovod i odvodnja Cetinske krajine d.o.o, pripadaju dva projekta.

Prvi projekt sastoji se od 5 građevinskih i lokacijskih dozvola, a izvođači koji izvode radove su zajednica ponuditelja. Projekt pokriva sljedeće dozvole:

Tablica 1. Rekonstrukcija i dogradnja vodoopskrbnog sustava

PROJEKT	Lokacijska dozvola		Građevinska dozvola	
Poboljšanje sustava vodoopskrbe aglomeracije Trilj Dogradnja VS Trilj i izgradnja HS Trilj	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000019 URBROJ: 2181/1-11-00-05/02-17/0006	27.09.2017.	Klasa: UP/I-361-03/19-01/000009 Urbroj:2181/1-11-00-05/02-19-0008	28.02.2019.
Poboljšanje sustava vodoopskrbe aglomeracije Trilj Vodovod visoke zone naselja Jabuka	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000017 URBROJ: 2181/1-11-00-05/01-17-0007	25.07.2017.	Klasa: UP/I-361-03/18-01/000074 Urbroj:2181/1-11-00-05/01-18-0009	27.09.2018.

Tablica 2. Izgradnja sustava odvodnje

PROJEKT	Lokacijska dozvola		Građevinska dozvola	
Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Trilj Odvodnja naselja Trilj i Vedrine	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000013 Urbroj: 2181/1-11-00-05/01-17-0007	18.07.2017.	Klasa: UP/I-361-03/18-01/000071 Urbroj:2181/1-11-00-05/02-18-0007	24.9.2018
Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Trilj Odvodnja naselja Košute	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000003 Urbroj: 2181/1-11-00-05/01-17-0011	18.05.2017.	Klasa: UP/I-361-03/18-01/000043 Urbroj:2181/1-11-00-05/01-18-0011	13.09.2018.
Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Trilj Odvodnja naselja Jabuka	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000004 Urbroj: 2181/1-11-00-05/02-17-0013	24.05.2017.	Klasa: UP/I-361-03/18-01/000071 Urbroj:2181/1-11-00-05/02-18-0007	24.09.2018.

Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Trilj Odvodnja naselja Grab	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000015 Urbroj: 2181/1-11-00-05/01-17-0007	25.07.2017.	Klasa: UP/I-361-03/18-01/000073 Urbroj:2181/1-11-00-05/01-18-0009	26.09.2018.
--	---	-------------	--	-------------

Projekt aglomeracije obuhvaća izgradnju i rekonstrukciju 39,3 km cjevovoda odvodnje, izgradnju 8 crpnih stanica, rekonstrukciju i zamjenu dotrajale opreme na 3 crpne stanice, izvedbu novih 880 priključaka na sustav javne odvodnje, sanaciju 128 m cjevovoda odvodnje i pripadajuće 31 okno, sanaciju 5,3 km vodoopskrbnih cijevi, izgradnju i rekonstrukciju 2,1 km vodoopskrbnog cjevovoda i pripadajuće hidrostaniice, dogradnju vodospreme uz izmještanje posrojeće hidrostaniice na parceli, izradu svih izvedbenih projekata te projekata izvedenog stanja, provedba testova po dovršetku, provedba tehničkog pregleda te uklanjanje nedostataka u zakonskom garantnom roku, prema uvjetima FIDIC ugovora.

Za drugi projekt izvođač je također zajednica ponuditelja, a projekt se sastoji od 7 lokacijskih i građevinskih dozvola.

*Tablica 3. Rekonstrukcija i dogradnja vodoopskrbnog sustava*

PROJEKT	Lokacijska dozvola		Građevinska dozvola	
Poboljšanje sustava vodoopskrbe aglomeracije Dicmo A3 Vodoopskrba naselja Sušci Vodovodni cjevovodi I hidrostaniice	Klasa: UP/I-350-05/18-01/000009 Urbroj: 2181/1-11-00-05/02-18-0006	05.04.2018..	Klasa: UP/I-361-03/19-01/000145 Urbroj:2181/1-11-00-05/02-19-0007	31.07.2019.
Poboljšanje sustava vodoopskrbe aglomeracije Otok A1 Rekonstrukcija dijela vodovoda Otok-Sinj i Otok-Trilj	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000026 Urbroj: 2181/1-11-00-05/02-17-0008	20.12.2017.	Klasa: UP/I-361-03/20-01/000010 Urbroj:2181/1-11-00-05/01-20-0011	17.04.2020.

*Tablica 4. Izgradnja sustava odvodnje*

PROJEKT	Lokacijska dozvola		Građevinska dozvola	
Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Otok B4 Odvodnja naselja Otok – sliv sjeveroistok	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000022 Urbroj: 2181/1-11-00-05/01-17-0010	25.10.2017.	Klasa: UP/I-361-03/18-01/000088 Urbroj:2181/1-11-00-05/01-18-0007	08.11.2018.
Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Otok B3 Odvodnja naselja Otok – Slivovi centar, jug i istok	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000025 Urbroj: 2181/1-11-00-05/01-17-0007	30.10.2017.	Klasa: UP/I-361-03/18-01/000089 Urbroj:2181/1-11-00-05/01-18-0007	24.10.2018.
Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Otok B2 Kanalizacijska mreža centralnog dijela naselja 2.FAZA	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000027 Urbroj: 2181/1-11-00-05/01-17-00015	17.10.2017.	Klasa: UP/I-361-03/18-01/000092 Urbroj:2181/1-11-00-05/01-18-0007	31.10.2017.
Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Otok B1 Kanalizacijska mreža centralnog dijela naselja 1.FAZA	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000018 Urbroj: 2181/1-11-00-05/01-17-0002	15.10.2017.	Klasa: UP/I-361-03/18-25/0001 Urbroj:2181/1-11-05-18-03	15.10.2018.
Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Otok B0 Kanalizacijska mreža centralnog dijela naselja 1.FAZA	Klasa: UP/I-350-05/17-01/000020 Urbroj: 2181/1-11-00-05/01-17-0005	04.04.2018.	Klasa: 361-03/12-25/56 Urbroj:2181/1-11-05-13-16	07.06.2013.

Projekt aglomeracije obuhvaća poboljšanje sustava vodoopskrbe aglomeracije Otok, rekonstrukciju dijela vodovoda Otok-Sinj i Otok-Trilj. Rekonstrukcija obuhvaća dionicu od 63,71m kod desnog lateralnog kanala Sinjskog polja, 50,42m ispod glavnog odvodnog kanala, 1702,59m na dionici kroz polje u trupu lokalne ceste, 568,85m rekonstrukcije vodovoda koji se proteže uz županijsku cestu. Uz navedeno, radovi na vodoopskrbnom sustavu i sustavu odvodnje još obuhvaćaju 38724,88 m izgradnje i rekonstrukcije gravitacijskog cjevovoda odvodnje. 4716,02m izgradnje tlačnog cjevovoda odvodnje, izgradnja 7 crpnih stanica, izgradnju 4938,22m vodovodnog cjevovoda, rekonstrukciju 2440,57m vodovodnog cjevovoda, sanaciju glavne



vodospreme, izgradnju 892 kućna priključka, izradu svih izvedbenih projekata izvedenog stanja, provedbe testova po dovršetku, provedba tehničkog pregleda te uklanjanje nedostataka u zakonskom garantnom roku, prema uvjetima FIDIC ugovora.

## 4.2. Geološka karta na lokaciji projekta

Gledano s geološke strane Cetinska krajina predstavlja prostor čiju sjevernu i sjeveroistočnu granicu čini područje od najvišeg planinskog vrha, Dinare uz granicu s Bosnom i Hercegovinom te spajajući se s planinom Kamešnicom, istočno preko sela Aržano i Dobranje. Jugoistočnom granicom smatraju se Nova Sela, na jugu seže ispod sela Bisko i Dicmo, a na zapadu preko Osoja i Broćanca do Muća, odakle se proteže do Svilaje. Cetinska krajina sastoji se od krša, krških polja, rijeka pa i planina, i može se reći da ima izrazito šaroliku geološku kartu.

Opće informacije o lokaciji gradilišta imamo s obzirom na geološku kartu koja je napravljena sukladno zahvatu koji obuhvaća lokacijska dozvola. Kategorije terena se na svakom lokalitetu gradilišta razlikuju, ali uprosječene količine iskopa po kategorijama približno odgovaraju omjeru koji je izračunat u ponudbenom troškovniku.

Teren na kojem se odvijaju radovi po geološkoj karti i troškovničkoj stavci prikazan je kroz A, B i C kategoriju u omjeru 10% A, 30% B i 60% C kategorije tla. Uz navedeno postoji i ručni iskop koji se obračunava na mjestima postojećih instalacija, oborinskih propusta, itd...

Općenito, u A kategoriju svrstavamo stijenu ili njoj slične geološke formacije, uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini.

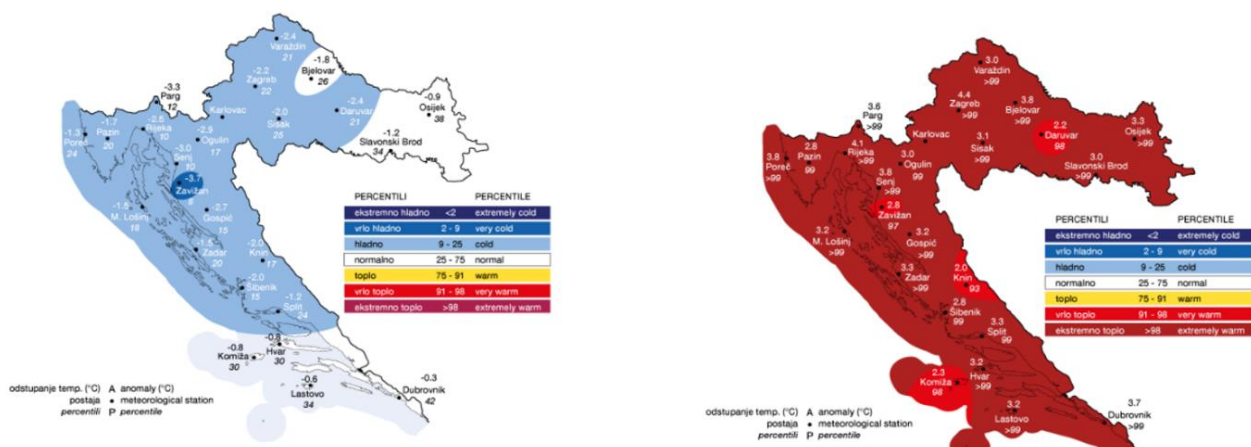
U B kategoriju spadaju slojevi vrlo zbijenog pijeska, šljunka ili vrlo čvrste gline, debljina najmanje nekoliko desetina metara, karakterizirani stupnjevitim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom, dok u C kategoriju svrstavamo slojeve zbijenog ili srednje zbijenog pijeska, šljunka ili čvrste gline, debljine od nekoliko desetina do više stotina metara.

<b>B1.1.2.</b>	<b>Zemljani radovi</b> <i>Napomena: radovi se izvode u skladu s OTU za radove u vodnom gospodarstvu osim radova gornjeg stroja ceste koji se izvode u skladu s OTU za radove na cestama.</i>		
B1.1.2.1	Iskop rova i proširenje za okna u tlu A, B ili C kategorije. Iskop izvesti u svemu prema poprečnim i uzdužnim profilima iz projektne dokumentacije. U cijenu stavke uključeno je razupiranje rova primjenom hidraulične oplata ili razupiranje drvenom oplatom i eventualno crpljenje vode iz rova (rad crpki, sav potreban pribor i oprema te sve potrebne pomoćne radnje).		
	A kategorija (10%)	m <sup>3</sup>	4225,0
	B kategorija (30%)	m <sup>3</sup>	12676,0
	C kategorija (60%)	m <sup>3</sup>	25351,0
B1.1.2.2	Ručni iskop rova u tlu "C" kategorije na mjestima križanja cjevovoda s postojećim instalacijama i postojećim oborinskim propustima/kanalima.	m <sup>3</sup>	1268,0

Slika 1. Stranica ponudbenog troškovnika koji obuhvaća jednu lokacijsku dozvolu s kategorijama terena

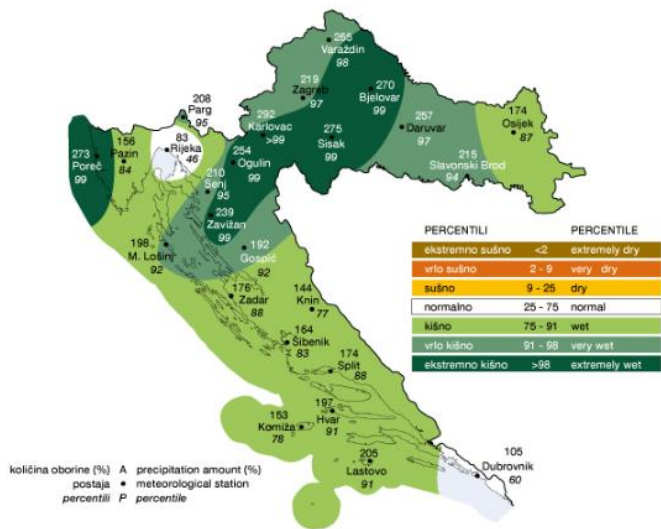
### 4.3. Podaci o lokalnim i klimatskim uvjetima

Temperatura i oborine vrlo su važan faktor u planiranju radova na određenim lokalitetima. Srednja mjesečna temperatura područja na kojem se vodi gradilište varira od ekstremno tople do hladne. U Cetinjskoj krajini prevladava submediteranska klima s godišnjom količinom padalina od oko 1300 mm. U Sinju i Cetinjskoj krajini zbog specifičnog geografskog položaja u kotlini i tek tridesetak kilometara od mora klimatski se isprepleće umjereno kontinentalna i submediteranska klima. Olakšanje u vrućim i sušnim danima donose svježije noći zbog blizine planinskih masiva. Oborine su znatnije u zimskom dijelu godine kada su i temperature vrlo niske. Zime su izrazito svježije i vlažne, osobito jutro kada se temperatura spušta i 10°C ispod nule, dok su za ljeta karakteristične visoke temperature, vrućine i izrazito suha razdoblja. Temperature su iznimno visoke i često prelaze 40 stupnjeva. S obzirom na položaj i okruženje, Cetinska krajina zimi spada u jedan od najhladnijih, dok je ljeti jedan od najtoplijih dalmatinskih lokaliteta.

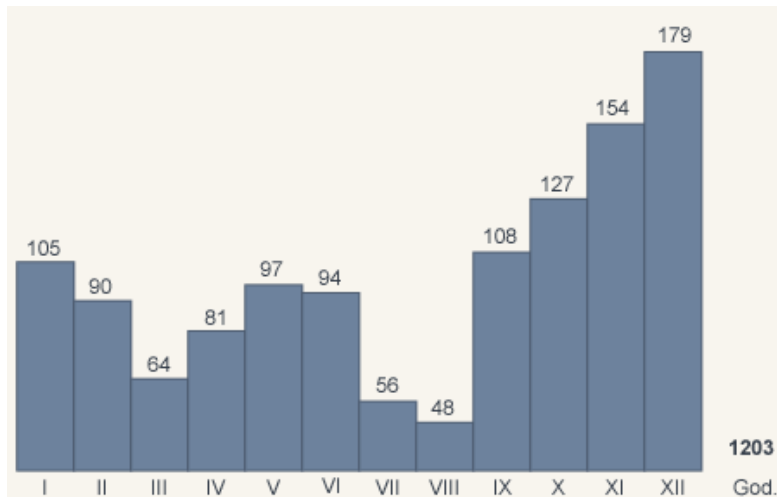


Slika 2. Prikaz ekstremnih temperatura na lokaciji gradnje

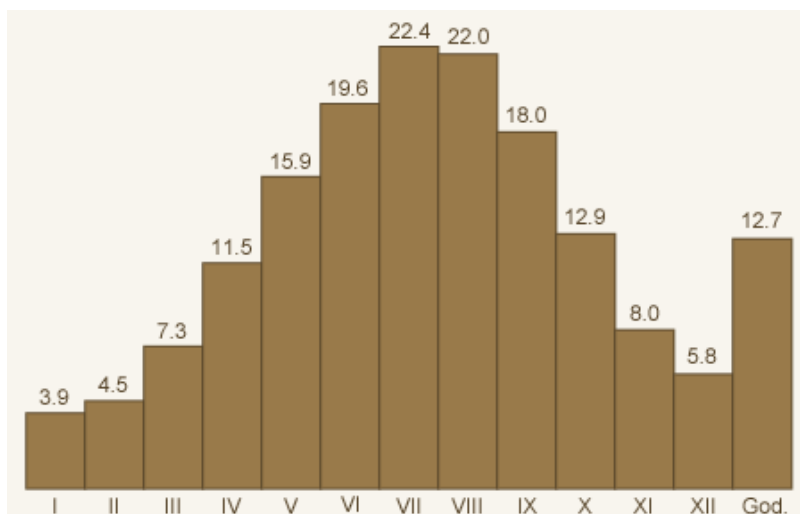
Oborinske prilike područja na kojem se objekt gradi variraju od kišnih do sušnih.



Slika 3. Prikaz oborina na lokaciji gradnje



Slika 4. Srednje mjesečne i godišnje količine oborina



Slika 5. Prosječne mjesečne temperature

## **5. ORGANIZACIJSKI IZAZOVI NA PRIMJERU AGLOMERACIJE**

U ovom poglavlju osvrnut ću se na izazove odnosno probleme s kojima sam se susretala prilikom sudjelovanja u nadzoru nad aglomeracijom. Problemi su razni i tiču se ljudskih resursa, nepostojeće infrastrukture i neposredne blizine gradilišta i stambenih kuća i vrtova, klime te geologije. Osim iznošenja problema, iznijet ću i rješenja za sporne situacije do kojih se kroz određeno vremensko razdoblje pomnim razmišljanjem došlo. Rješenja su se donosila na temelju izlaganja problema, proračuna troškova, razmatranja opcija te donošenja odluka koje su se u tom trenutku činile optimalne.

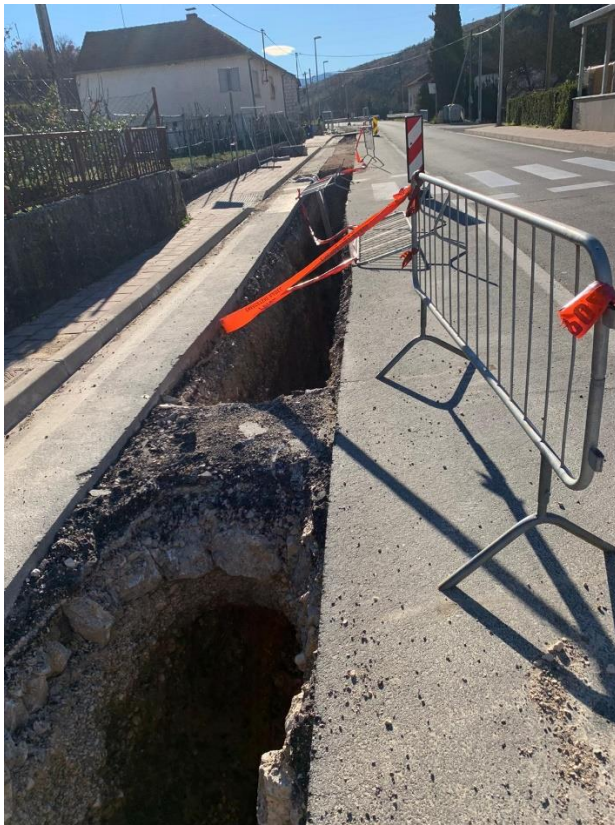
### **5.1. Transport i skladištenje materijala i opreme**

Što se tiče samog transporta, cetinska krajina je izrazito dobro prometno povezana, tako da u smislu transporta nije bilo problema radi dobave i dostave materijala, no problem se stvarao kod prenošenja materijala od skladišta do mjesta za rad. Prvi problem je nastao kod samog skladištenja, jer su radi o velikim i teškim građevinskim dijelovima, a gradilište nije lokalizirano na jednom dijelu nego se radi na cijelom području Otoka, Dicma, Trilja, Jabuke, Vedrina, Košuta i pripadajućih manjih mjesta te aglomeracija prolazi svakim od navedenih lokaliteta kroz cijeli grad tj. naselje. Rješenje za skladištenje materijala pronašlo se u iznajmljivanju parcela koje su se nalazile u okolnim mjestima, najviše na lokalitetu Čaporice jer je to industrijska zona koja je imala velike površine koje su poslužile za skladištenje materijala, no radi se o otvorenom području koji nosi sa sobom druge probleme. Jedan od problema je da se uslijed vremenskih neprilika svakodnevno uništavaju materijali za ugradnju, a nerijetko se događalo i da nestanu određeni manji, lakši dijelovi. Između ostalog, udaljeno skladište od gradilišta, izaziva probleme kod transporta za izvođače jer se radi o dugim i teškim cijevima, betonskim oknima visokim i preko 4 m, te se stvara problem kod prihvata tako masivnog materijala. Osim što je izazivalo navedene probleme, stvorilo je i dodatne troškove jer su izvođači bili primorani zaposliti čuvara koji će paziti na građevinske materijale.

### **5.2. Manevar na gradilištu**

Svako gradilište treba biti ograđeno i izvođačima treba omogućiti pristup za nesmetano kretanje i obavljanje svih poslova koji su predviđeni. Kod gradilišta aglomeracije, većina radova odvija se na samoj cesti, uz kraj jednog prometnog traka. Zbog potrebnog prostora za strojeve i radnike zatvarao se jedan prometni trak, a na dijelovima to nije ostavljalo dovoljno prostora za manevre strojeva. Zbog ovog problema, rješenje se pronalazilo u noćnom radu i zatvaranju prometnica za sav promet i uključivanje obilaznica. Noćni rad bio je zadovoljavajuće rješenje radi smanjenja gužva u prometu, no bilo je problema u pronalasku radne snage. Noćni rad nije poželjan među radnicima i može loše utjecati na privatni život zaposlenika. Privatni problemi mogu utjecati na samu produktivnost zaposlenika, a time i na učinkovitost cijelog gradilišta. Voditelj gradilišta u ovakvim slučajevima može odigrati veliku ulogu. Potrebno je adekvatno motivirati zaposlenike te im osigurati kvalitetne uvjete rada. Osim odgovarajuće mjesečne naknade, zaposleniku se mora

osigurati adekvatan smještaj, prijevoz do lokacije gradilišta te gotovi obroci. Sve navedeno potrebno je uzeti u obzir prilikom formiranja jediničnih cijena. Noćni rad je trebao biti kvalitetno i brzo odrađen jer se radilo o državnim i županijskim cestama i nije se moglo dopustiti da jedan dio grada i naselja bude odsječen od nekih primarnih svakodnevnih objekata. Osim noćnog rada na cestama veće važnosti, kod seoskih je cesta problem bio što su toliko uske da se posao morao obavljati manjim strojevima, samim time i slabijom snagom te se smanjivala produktivnost, a u najgorim situacijama iskop se vršio i ručno jer je postojala šansa od zarušavanja dijela pokosa uslijed vibracija strojeva. Još neke od posebitosti terena su uske ulice i nepristupačan teren koji rezultiraju korištenjem puno veće količine oplata i razupora nego što je predviđeno troškovnikom. Sve to su bili nepredvidivi troškovi koji su usporavaju radove.



*Fotografija 1. Zatvoren trak državne ceste*

### 5.3. Problem naselja i infrastrukture

Nedostatak koji je svakako potrebno uzeti u obzir jest nepostojanje infrastrukture na dijelovima gradilišta. Izolirana područja uglavnom nemaju vodovod, kanalizacijske mreže te elektroopskrbu. S obzirom da su te stavke neophodne za normalno funkcioniranje, one se moraju ostvariti prilikom faze pripreme gradilišta za rad. Osim navedenih nedostataka, jedna od većih zapreka su prilazni putevi gradilištu koji u daljim, zabačenijim dijelovima nisu adekvatno riješeni ili nisu riješeni uopće. Još jedan od problema infrastrukture stvara se na dijelovima gusto naseljenih mjesta u selima gdje se početkom gradnje, kopanjem i otvaranjem rova pojedine kuće u potpunosti „odcijepe“ od ostatka sela. Ljudi iz dvorišta izlaze preko dasaka, a auta moraju parkirati na cesti jer su im putevi do kuće nedostupni. Osim za ljude, navedeni problem je bio i za životinje, jer se radilo o seoskom stanovništvu koje se bavi poljoprivredom i često od nje živi. U takvim je situacijama ključna kvalitetna komunikacija među sudionicima projekta te o njoj uvelike ovisi uspješnost projekta. U otežanim uvjetima kada su suradnici fizički odvojeni, komunikacija se ne smije zanemariti ili dovesti u drugi plan. U svakom projektu sudjeluje velik broj ljudi i njihovo usklađivanje je nužno za kontinuirani rad gradilišta. Iako je dio komunikacije i usklađivanja moguće provesti putem digitalne komunikacije (internet, mobilni uređaji...), onaj najbitniji dio je uvijek rješavanje problema “na licu mjesta“ na gradilištu. U protivnom može doći do nesporazuma koji u većini slučajeva rezultiraju greškama prilikom izvođenja i utroškom vremena na ispravljanje istih. Zato je potrebno, usprkos velikoj udaljenosti sudionika, redovito organizirati koordinacijske sastanke s uvidom u stanje na gradilištu i zajedničkim rješavanjem svih problema.



*Fotografija 2. i 3. Iskop rova za polaganje cijevi i okana uz kućne prilaze stanovnika*

## 5.4. Geološki i klimatski problemi

S obzirom da je riječ o projektu aglomeracije, veći dio radova su iskopi rovova za polaganje cijevi i okana te izgradnje crpnih stanica. Geološka karta izrazito je bitna kod ovakvih projekata jer se oslanjajući na nju radi dinamički plan. U ovoj situaciji geološka karta se pokazala približno točnom, ali manje razlike su išle na štetu izvođača jer je bilo više terena s tлом A kategorije.

Na prvi pogled izvođaču je u interesu imati što više tla A kategorije jer je financijski isplativija, no gledajući isključivo dinamički plan dolazi do produljenja radova na jednom lokalitetu i kašnjenje na drugom i javlja se potreba za novom revizijom dinamičkog plana. Kod tla C kategorije također se stvaraju problemi jer je tlo izrazito slabe nosivosti, što se nije moglo ranije detektirati i nije se uračunalo u troškovnik ni sami dinamički plan. Javlja se potreba za zamjenom tla gdje ispitano tlo nije bilo zadovoljavajuće nosivosti te na dijelovima gdje je dolazilo do plavljenja terena. Rješenje je u postavljanju geotekstila te ugradnji zamjenskog materijala, koji se na nekim dionicama ugrađivao i preko 100 cm.

S obzirom na visoku razinu podzemne vode i kotu plavljenja terena, svi radovi su bili otežani i produžio se vremenski period rada. Što se tiče oborina, postoji uračunata rezerva jer se kalkulira s obzirom na prosječne periode unazad 5, 10 i više godina. Još jedna od posebnosti ovog lokaliteta je ta što od velike količine oborina bujaju kanali i rijeke te dolazi do plavljenja velikog dijela okolnog područja i u trenutcima kada dođe do prestanka nevremena, potrebno je nekoliko dodatnih dana da tlo apsorbira višak vode, pa se alternativno rješenje pokušava pronaći u ispumpavanju vode ukoliko se radi o vodi koja puni kanale ili mjesta koja je moguće ispumpavati.

Uz navedeno, u zimskim periodima je dolazilo i do zamrzavanja tla, a tada se laički rečeno teren koji pripada u C kategoriju približno može svrstati A kategoriji zbog slojeva leda koji se stvaraju na terenu.

U proljeće su se javljale drugačije posebnosti. Dio grada je na nižoj koti i ima propuste kroz koje se slijeva oborinska voda. Količina oborinske vode za razdoblje kišnog perioda je normalnog protoka, gdje se pod normalnim smatra protok koji se može primiti i razliti na način da ga polje upija.

Dodatni problem nastaje u proljeće kada kroz oborinske kanale osim kišnice počinje dopirati snijeg koji kopni. S obzirom da se radi o kotlini, sva voda se slijeva u ovo područje i poplavljuje okolni teren. U tim periodima protok kanala je izrazito velik i ta se količina vode dugo zadržava na terenu.





*Fotografija 4., 5. i 6. iskop rova i postava geotekstila u mekanom tlu C kategorije*



Neki od navedenih propusta u dostavljenom dinamičkom planu su sljedeći:

- Prema dostavljenom dinamičkom planu, do dana predaje istog, trebali su biti predani izvedbeni projekti za cjelinu A1, a projekti još nisu bili predani.
- Projekt odvodnje za centralni dio naselja Otok, također prema dostavljenom planu trebao je biti dostavljen, a isti još nije ni dovršen ni dostavljen u trenutku predaje dinamičkog plana.
- Potrebno je bilo ubrzati izradu izvedbenih projekata, posebno za cjelinu A1 kojoj pripada rekonstrukcija dijela vodovoda Otok - Sinj i Otok - Trilj, iz razloga nabavke vodovodnog materijala, budući da se radi o profilu DN 500, gdje su rokovi isporuke vodovodnog materijala izrazito dugi (rok ispostave materijala se naknadno dodatno odužio kao posljedica rata).
- Potrebno je bilo i ubrzati izradu elektrotehničkih izvedbenih projekata da bi se mogao naručiti materijal. U planu nije bila prikazana dinamika isporuke materijala, što bi bio koristan osvrt posebno zbog velikog kašnjenja isporuke okana.
- Još jedna od uočenih pogrešaka je preklapanje grupa radnika, odnosno ista grupa radnika je predviđena da u isto vrijeme radi na dvije različite lokacije, što je naravno nemoguće tako da su i u tom dijelu potrebne korekcije dinamičkog plana.
- Što se tiče kolektora B3 sa sekundarnim kolektorima S22, S23, S24, S27, S28 koji su predviđeni za rad od 13.07.2022. do 25.08.2022. potrebno je promijeniti plan izvođenja jer se radi o kolektorima u polju. Izvođač je pratio logiku da će tada biti suša i najmanja razina podzemne vode, no u to vrijeme se pušta voda iz vodospreme u napojne kanale za poljoprivredu mještanima i zbog toga razina podzemne vode bude na višoj koti nego kroz cijelu godinu.

Navedeni propusti su ljudski propusti koji su neizbježan faktor u svakom aspektu projekta. Ove greške su se popravile i dostavljen je revidirani dinamički plan, no do zastoja svakako može doći iz bilo kojeg razloga koji nismo u mogućnosti predvidjeti i takve, bilo vanjske ili unutarnje faktore, rješavamo u hodu kako se procijeni da je najbolje s obzirom na situaciju u kojoj se nalazimo i mogućnosti koje imamo. Iz sadašnje perspektive znamo da se nekolicina planiranih radova nije odvila po planu jer je došlo do kašnjenja materijala, a na jednom kolektoru došlo je i do pobune susjeda da na projektiranom dijelu ne može proći kanalizacija. Nakon interveniranja policije,

situacija se smirila te su se radovi nastavili po predviđenom planu, ali s pomakom od 10-ak dana. Ovo je dokaz da koliko god pomno planirali svaki detalj, uvijek postoji mogućnost nepredviđenih situacija zbog kojih smo primorani mijenjati i prilagođavati dotadašnju organizaciju.

Da bismo imali što manje propusta i odstupanja s obzirom na stvarno stanje na gradilištu, koje smo mi kao inženjeri u mogućnosti kontrolirati i predvidjeti, primjenjujemo Monte Carlo (MC) simulaciju na naš dinamički plan. MC simulacija nam omogućava vizualizaciju mogućih ishoda situacije s ciljem izračuna trajanja projekta ili ukupnog troška projekta za velik broj slučajeva vrijednosti slučajne varijable.

## 7. ANALIZA RIZIKA – MONTE CARLO SIMULACIJA

Projekti u građevinarstvu nerijetko imaju visok stupanj nesigurnosti koji se izravno povezuje s nepredvidivošću procesa i ishoda građevinskih objekata. Jedan od mnogih primjera je i utjecaj vremena na tijek aktivnosti. Kod modela kojim pokušavamo simulirati stvarno stanje, slučajne ulaze u sustav uzimamo kao varijable. Provodimo simulaciju eksperimentalnim putem s varijacijama ulaza i izlaza koje potom svrstamo u obliku statičke raspodjele i tada izlazne parametre analiziramo kako bismo dobili mjeru nesigurnosti i rizika. Jedna od najkorištenijih metoda simulacije je Monte Carlo simulacija. Monte Carlo je metoda rješavanja problema koji se oslanja na generiranje velikog broja slučajnih brojeva te promatranja udjela tih brojeva. Monte Carlo algoritam smatra se prikladnim alatom za donošenje odluka u uvjetima rizika jer daje sve moguće ishode rješenja i vjerojatnost pojave svakog od njih. Ključ ove metode razumijevanje je pojma „simulacija“. Izvođenje simulacije sastoji se od ponavljanja i umnožavanja karakteristika i ponašanja sustava. Glavni cilj simulacije MC je oponašanje stvarnih varijabli kako bi analizirali ili predvidjeli kako će se razvijati.

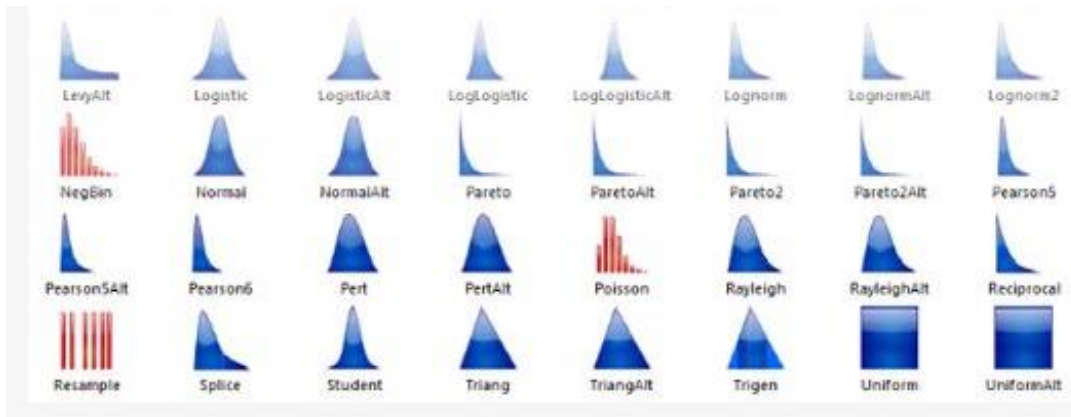
Nad dobivenim rezultatima koristeći MC algoritam provodimo i analizu osjetljivosti kako bi se identificirali čimbenici koji najviše utječu na ishod procesa kako bi se njihov utjecaj ograničio ili naglasio, ovisno o njihovoj prirodi.

Algoritam se sastoji od sljedećih koraka:

1. Matematičko modeliranje poslovnog procesa.
2. Pronalazak varijabli čije vrijednosti nisu potpuno izvjesne.
3. Određivanje funkcija gustoće koje dobro opisuju učestalosti kojima slučajne varijable poprimaju svoje vrijednosti.
4. Izrada matrice korelacija (ukoliko među varijablama korelacije postoje).
5. Dodjela slučajne vrijednosti proizašle iz funkcije gustoće (uzimajući u obzir matricu korelacija) svakoj varijabli u svakoj iteraciji.
6. Izračun izlaznih vrijednosti i spremanje rezultata.
7. Ponavljanje koraka 5 i 6  $n$  puta.
8. Statistička analiza rezultata simulacije.

Najučestalija metoda za rješavanje raznorodnih problema pomoću računala smatra se Monte Carlo metoda zbog svoje jednostavne upotrebe preko primjene problema svedenih na aproksimiranje integrala. Monte Carlo simulacija jednostavan je princip aproksimacije, ali računalno zna biti iznimno zahtjevna za izračun.

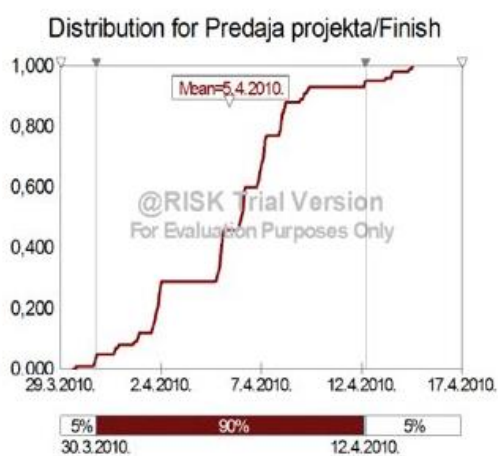
Kod Monte Carlo simulacije rizične varijable su nam vrijeme i novac, dok za rizične aktivnosti uzimamo one koje nemaju vremensku rezervu. Bitni parametri su i najranija i najkasnija vremena početaka i završetaka aktivnosti. Potrebno je u obzir uzeti i vremensku rezervu. Za odabrane rizične varijable i aktivnosti biramo funkciju distribucije.



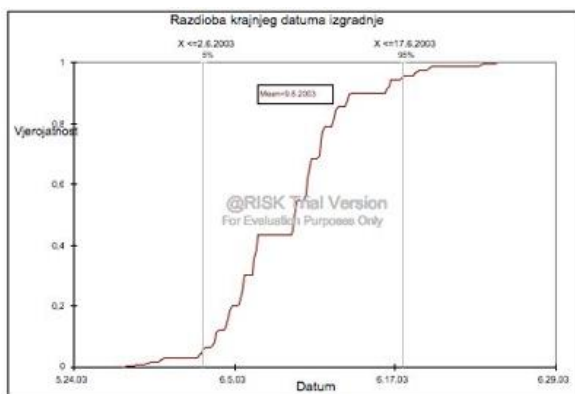
Slika 6. Simulacija

Izvor: [http://palisade.com/risk/monte\\_carlo\\_simulation.asp](http://palisade.com/risk/monte_carlo_simulation.asp)

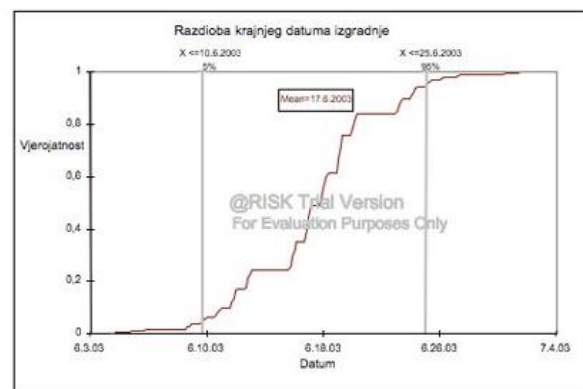
Pomoću simulacije se provodi izračun trajanja projekta ili ukupnog troška projekta za veliki broj slučajeva vrijednosti slučajne varijable.



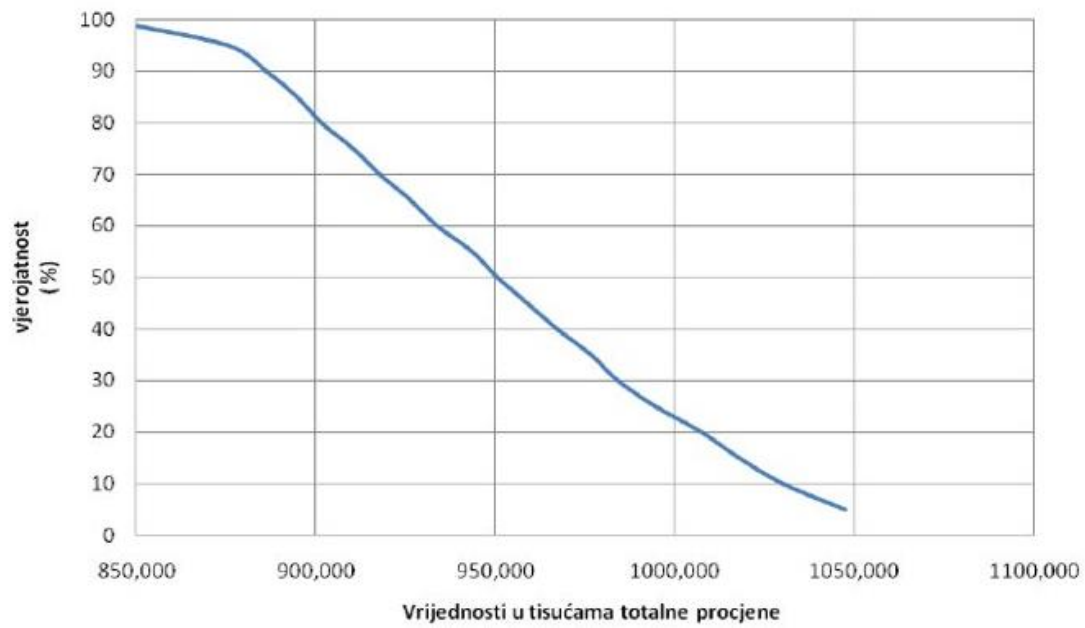
Slika 7. Funkcije distribucije završetka projekta i zadnje aktivnosti



Slika 8. Rezultat za beta raspodjelu



Slika 9. Rezultat za triangularnu raspodjelu

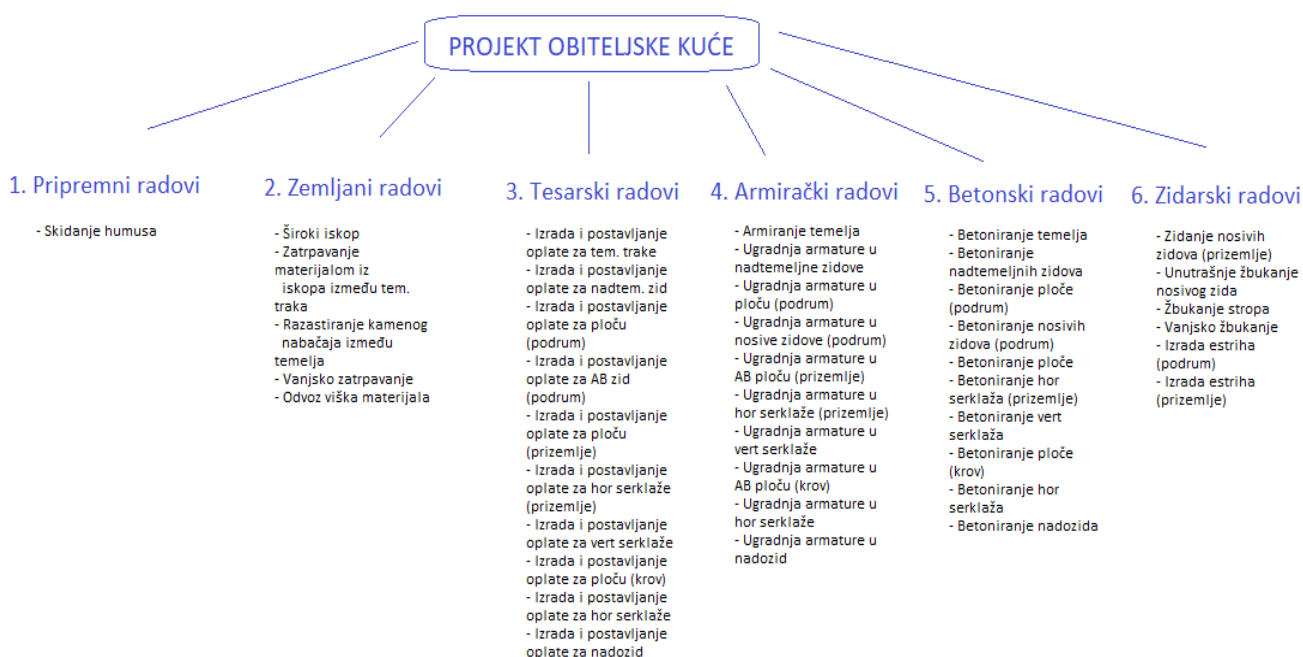


*Slika 10. Prikaz rezultata simulacije procjene izgradnje objekta*

## 8. PRIMJER RAZRADE DINAMIČKOG PLANA MC ANALIZOM

### 8.1. Ulazni podaci (WBS struktura)

Prvi korak u planiranju je raščlanjivanje projekta na jednostavnije elemente za upravljanje zadatkom. Za potrebe što boljeg razumijevanja izrađen je WBS-Work Breakdown Structure. WBS je glavna radnja koja se vrši u svakom projektu i temeljna komponenta u upravljanju projektima. Ulazni podaci za projekt obiteljske kuće.



Slika 11. Mrežno planiranje aktivnosti



## 8.2. Popis aktivnosti

<b>Pripremni radovi</b>	<b>1 day</b>
Skidanje humusa	1 day
<b>Zemljani radovi</b>	<b>55 days</b>
Široki iskop	0,5 days
Zatrpavanje materijalom iz iskopa između tem. traka	0,5 days
Razastiranje kamenog nabačaja između temelja	0,2 days
Vanjsko zatrpavanje	0,5 days
Odvoz viška materijala	0,5 days
<b>Tesarski radovi</b>	<b>49,5 days</b>
Izrada i postavljanje oplata za tem. trake	6 days
Skidanje oplata	0,5 days
Izrada i postavljanje oplata za nadtem zid	2 days
Skidanje oplata	0,5 days
Izrada i postavljanje oplata za ploču (podrum)	2 days
Skidanje oplata	0,5 days
Izrada i postavljanje oplata za AB zid (podrum)	2 days
Skidanje oplata	0,5 days
Izrada i postavljanje oplata za ploču (prizemlje)	1 day
Skidanje oplata	0,5 days
Izrada i postavljanje oplata za hor serklaže (prizemlje)	0,5 days
Skidanje oplata	0,5 days
Izrada i postavljanje oplata za vert serklaže	1 day
Skidanje oplata	0,5 days
Izrada i postavljanje oplata za ploču (krov)	1 day
Skidanje oplata	0,5 days
Izrada i postavljanje oplata za hor serklaže	0,5 days
Skidanje oplata	0,5 days
Izrada i postavljanje oplata za nadozid	1 day
Skidanje oplata	0,5 days
<b>Armirački radovi</b>	<b>41 days</b>
Armiranje temelja	0,5 days
Ugradnja armature u nadtemeljne zidove	0,2 days

Ugradnja armature u ploču (podrum)	0,5 days
Ugradnja armature u nosive zidove (podrum)	1 day
Ugradnja armature u AB ploču (prizemlje)	1,2 days
Ugradnja armature u hor serklaže (prizemlje)	0,5 days
Ugradnja armature u vert serklaže	0,5 days
Ugradnja armature u AB ploču (krov)	1,2 days
Ugradnja armature u hor serklaže	0,5 days
Ugradnja armature u nadozid	0,2 days
<b>Betonski radovi</b>	<b>41,5 days</b>
Betoniranje temelja	4 days
Betoniranje nadtemeljnih zidova	1 day
Betoniranje ploče (podrum)	1 day
Betoniranje nosivih zidova (podrum)	1 day
Betoniranje ploče	1 day
Betoniranje hor serklaža (prizemlje)	0,5 days
Betoniranje vert serklaža	0,2 days
Betoniranje ploče (krov)	1 day
Betoniranje hor serklaža	0,5 days
Betoniranje nadozida	1 day
<b>Zidarski radovi</b>	<b>21,6 days</b>
Zidanje nosivih zidova (prizemlje)	4,2 days
Unutrašnje žbukanje nosivog zida	3 days
Žbukanje stropa	2 days
Vanjsko žbukanje	4 days
Izrada estriha (podrum)	1 day
Izrada estriha (prizemlje)	1,5 days

### 8.3. Priduživanje resursa

Nakon određivanja vrsta radova za izvedbu obiteljske kuće bilo je potrebno zadati resurse koji će izvršiti zadane aktivnosti. U ovom programu korišteni su strojevi: buldozer za iskop te skidanje humusa, potom kamion kiper i utovarivač. Nakon izvedbe zemljanih radova vrše se tesarski, armirački i betonski radovi gdje se koristi automiješalica, betonska crpka te vibrator za zbijanje. Po pitanju ljudskih resursa u izradi projekta sudjeluju tri vrste radnika: PKR, KVR i VKR. Na samom početku planiran je veći broj PKR i KVR radnika za izvedbu objekta nego što je zaista potrebno. Potom je uočeno da dio radnika ima "prazan hod" prilikom izvedbe određenih radova. Kako bi se spriječilo nepotrebno plaćanje i prazan hod radnika smanjio se ukupan broj istih te su preraspodijeljeni. Ideja je da se neke radnje odgode za 1 dan u odnosu na sljedeće radnje kako bi izbjegli situaciju da radnici ne stignu izvršiti predviđenu radnju.

Resource Name	Type	Material	Initials	Group	Max.	Std. Rate	Ovt.	Cost/Use	Accrue	Base
Buldozer	Work		B		100%	0,00 kn/hr	0,00 kn/hr	0,00 kn	Prorated	Standard
Utovarivac	Work		U		100%	0,00 kn/hr	0,00 kn/hr	0,00 kn	Prorated	Standard
Kamion kiper	Work		K		100%	0,00 kn/hr	0,00 kn/hr	0,00 kn	Prorated	Standard
Vibrator	Work		V		200%	0,00 kn/hr	0,00 kn/hr	0,00 kn	Prorated	Standard
Automjesalica	Work		A		200%	0,00 kn/hr	0,00 kn/hr	0,00 kn	Prorated	Standard
VKR	Work		V		100%	0,00 kn/hr	0,00 kn/hr	0,00 kn	Prorated	Standard
PKR	Work		P		300%	0,00 kn/hr	0,00 kn/hr	0,00 kn	Prorated	Standard
KVR	Work		K		300%	0,00 kn/hr	0,00 kn/hr	0,00 kn	Prorated	Standard
Betonska crpka	Work		B		100%	0,00 kn/hr	0,00 kn/hr	0,00 kn	Prorated	Standard

Slika 12. Popis resursa

### 8.4. Kritičan put

Program Microsoft Project omogućuje jednostavnu izvedbu projekata te visoku razinu produktivnosti u upravljanju projektom. Prije unosa samih aktivnosti i resursa u program potrebno je definirati početak projekta te radno vrijeme radnika i praznike u kalendaru.

Kao početak projekta definiran je datum 10.01.2022. te su uneseni svi državni praznici u kalendar rada. Vrijeme rada je osmosatno s pola sata pauze za obrok, u trajanju od 7:00h do 15:00h, a radni tjedan traje od ponedjeljka do subote. Izvedba projekta završava 16.03.2022. godine, dakle potrebno je 56 radnih dana.

### 8.5. Analiza rizika

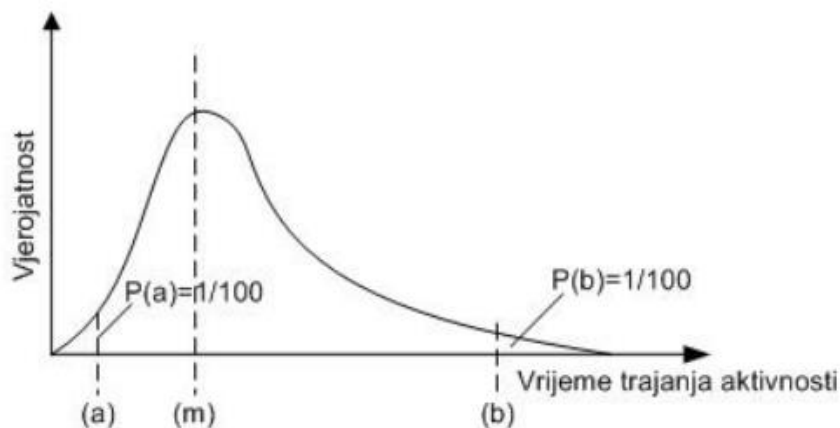
Aktivnosti koje nose najveći rizik s obzirom na dinamički plan su:

Ugradnja armature u ploču (podrum)	Betoniranje ploče (podrum)
Ugradnja armature u nosive zidove (podrum)	Betoniranje nosivih zidova (podrum)
Ugradnja armature u AB ploču (prizemlje)	Betoniranje ploče
Ugradnja armature u AB ploču (krov)	Betoniranje ploče (krov)

Navedene aktivnosti smatraju se najrizičnijima zbog kompleksnosti postupka izvođenja i puno različitih stavki koji utječu na isti. Kod betoniranja nosivih zidova treba se paziti na mnogo parametara. Od samog početka provoditi kontrolu nad betonom koji dolazi na gradilište te vremenske uvjete u trenutku betoniranja. Ukoliko imamo loše vremenske uvjete ne možemo izvršiti radnju sukladno dinamickom planu što bitno utječe na daljnje radnje i u konačnici na planirani datum završetka radova. Osim vremenskih uvjeta, potrebni su kvalificirani radnici kako ne bi došlo do loše izvedbe. Ukoliko nekvalificirani radnici obavljaju betonske radove, postoji mogućnost segregacije materijala, loše povezanosti betona na određenim dijelovima te nakon skidanja oplata mogu biti vidljive pukotine u zidovima koje trajno narušavaju stabilnost konstrukcije. Navedeni problemi povlače za sobom i problem kod armiračkih radova. Obnašanje betonskih radova koji ne zadovoljavaju određeni kvalitet propisan projektom za posljedicu ima nastajanje korozije, a samim time i slabiju učinkovitost armature.

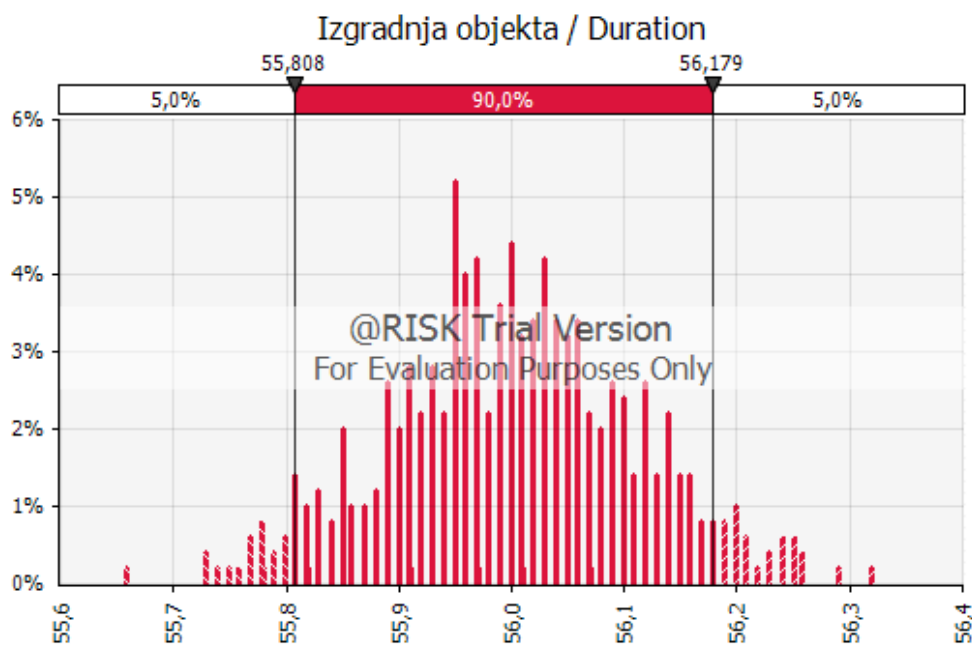
Građevinski projekti često imaju veliki stupanj nesigurnosti koje je u izravnoj vezi s nepredvidivim osobinama procesa izvođenja građevinskih objekata. Najčešća rizična varijabla je vrijeme što ujedno predstavlja i novčani problem. Svaki dodatni radni dan nakon predviđenog ima određenu cijenu poput dodatnih troškova resursa te mogućnost kašnjenja konačne izrade objekta. Pomoću Monte Carlo analize u računalnom programu @RISK 7.5 izvršit ćemo simulaciju rizičnih aktivnosti ovisno o vremenu, novac neće ulaziti u kalkulaciju.

Za simulaciju rizičnih aktivnosti koristimo PERT tehniku. Radi se o probabilističnoj tehnici pa se koristi u slučajevima kada ne možemo sa sigurnošću reći koliko će biti trajanje aktivnosti u projektu. PERT analize se zasnivaju na tri različite procjene vremena trajanja svake od projektnih aktivnosti: optimistično vrijeme trajanja aktivnosti (a), pesimistično vrijeme trajanja aktivnosti (b) i najpoželjnije vrijeme trajanja (m).



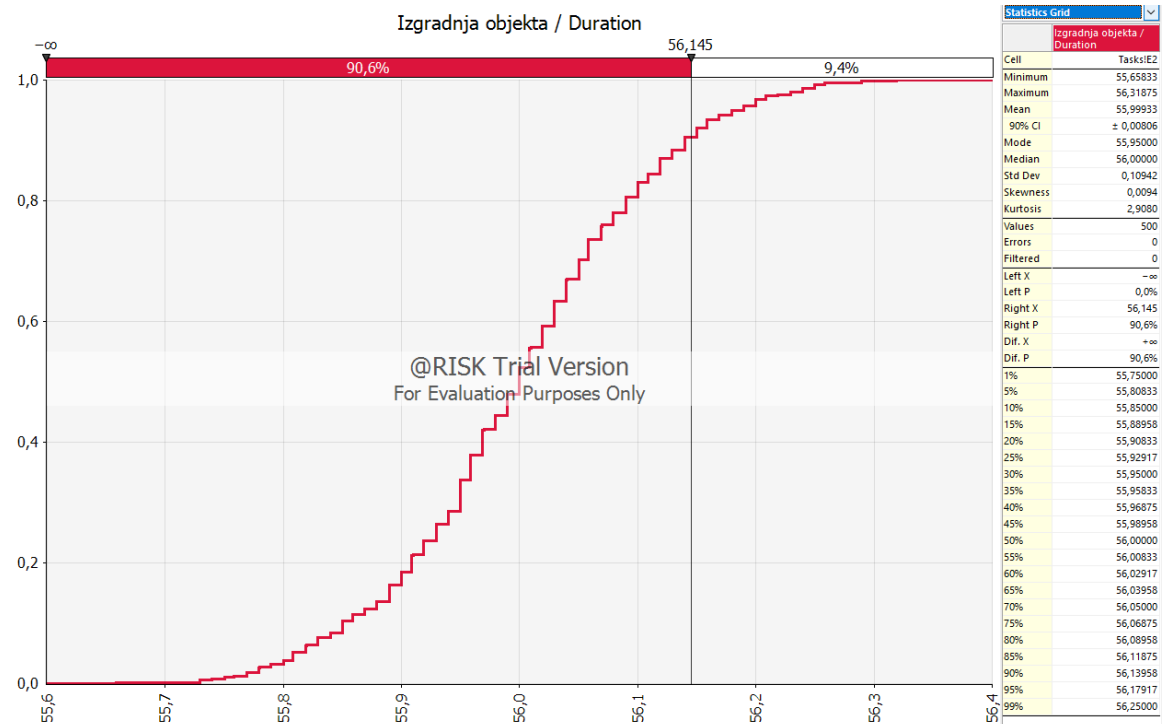
Slika 13. PERT analiza

Korištenjem računalnog programu @RISK izvršena je simulaciju rizičnih aktivnosti u ovisnosti o vremenu, a rezultat su sljedeći izlazni podaci.



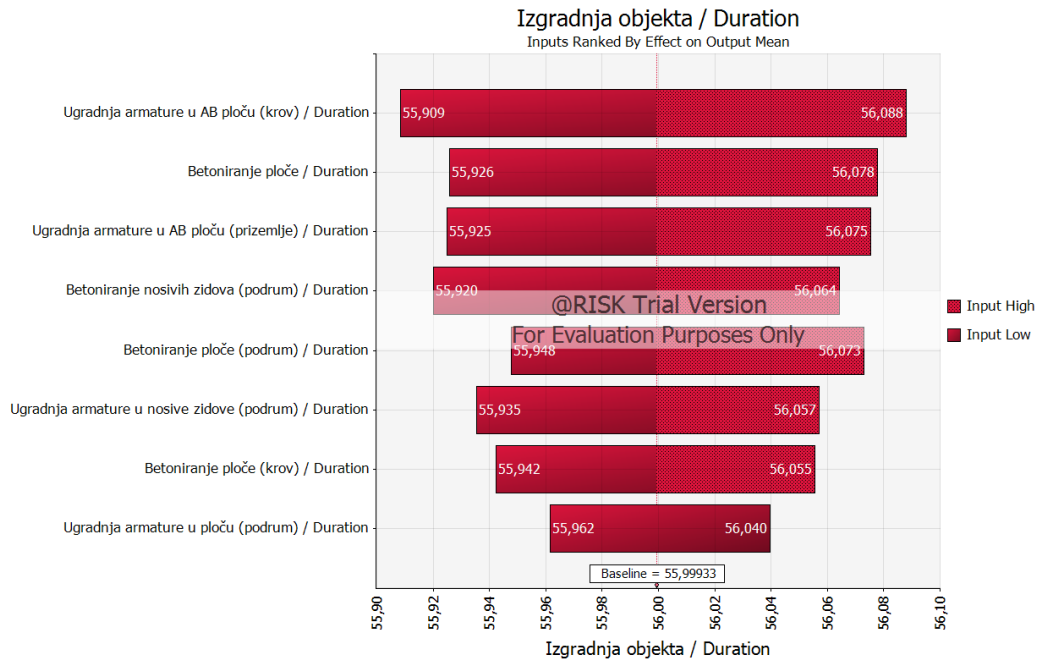
Slika 14. Funkcija gustoće vjerojatnosti PDF

Iz prikaza se može očitati 90 % vjerojatnosti da će trajanje izgradnje objekta biti između 55.808 i 56.179 dana.



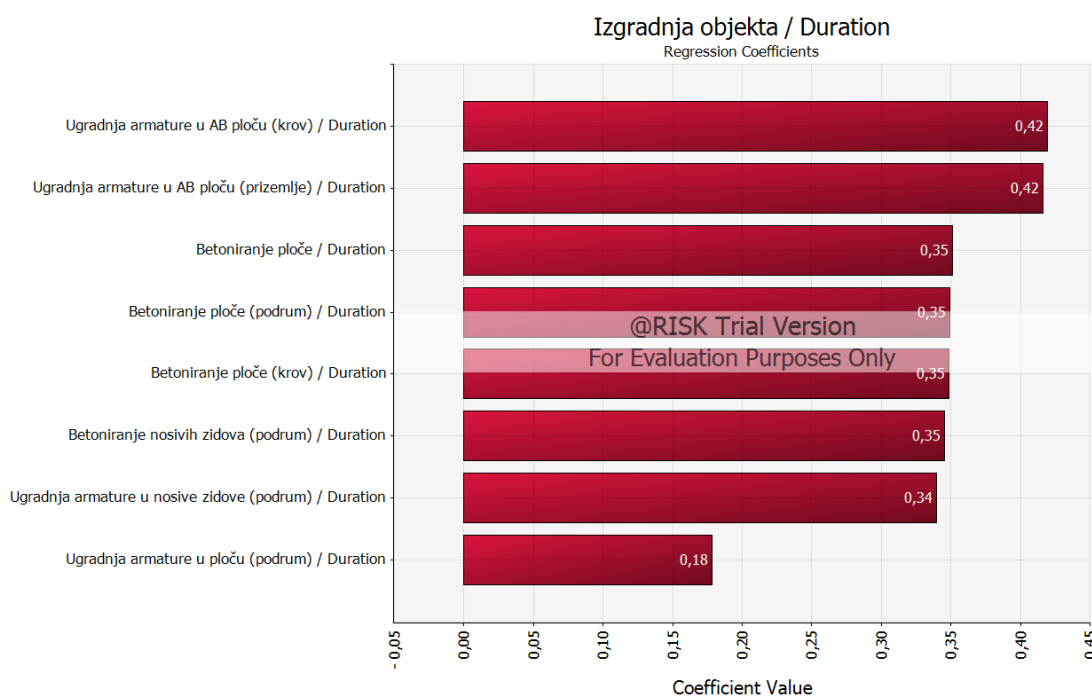
Slika 15. Kumulativna krivulja

Iz kumulativne krivulje može se očitati npr. 60% vjerojatnosti da dan završetka izgradnje objekta bude 56.02917.



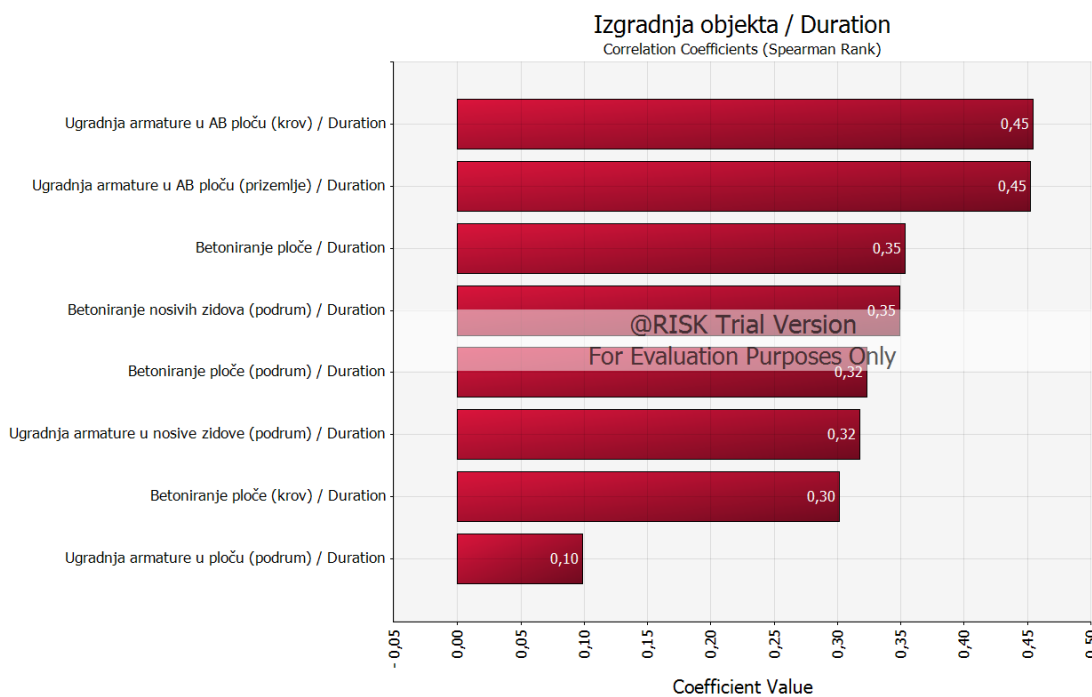
Slika 16. Utjecaj inputa na output

Slika 16. prikazuje promjenu ukupnog trajanja izgradnje (outputa) ovisno o minimalnoj i maksimalnoj vrijednosti inputa.



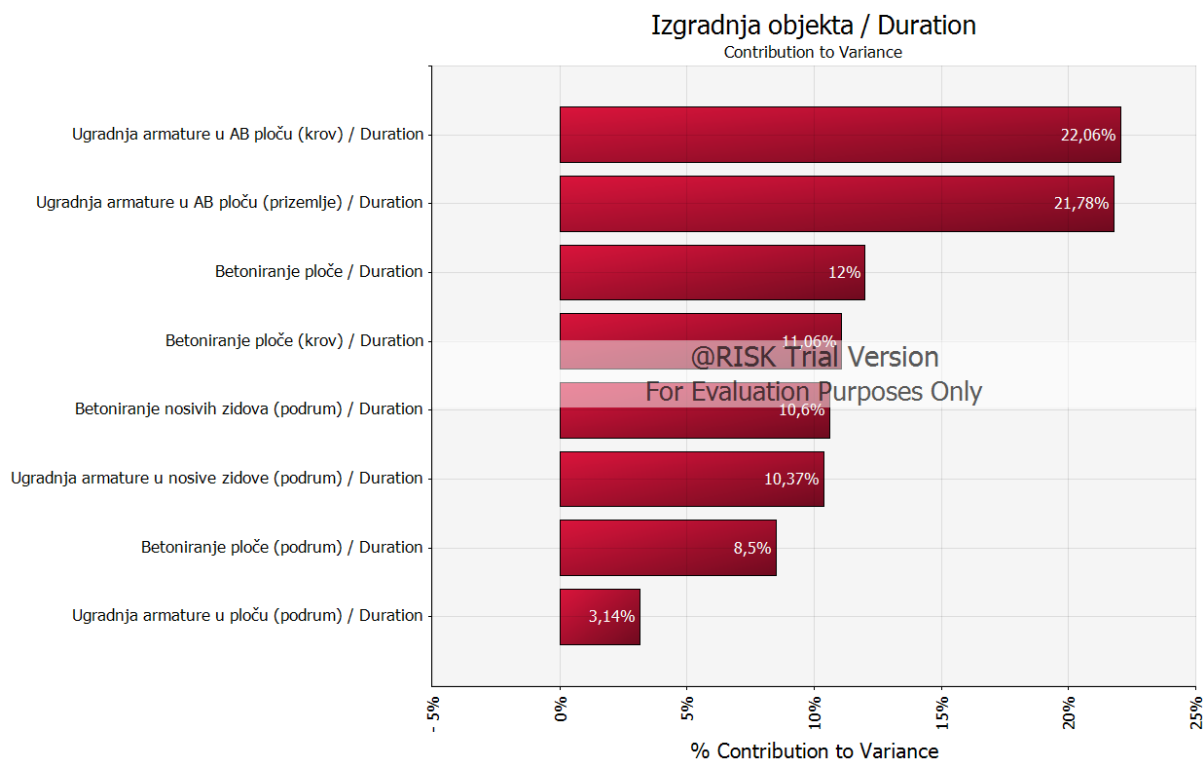
Slika 17. Regresijski koeficijenti

Slika 17. prikazuje podjelu regresijskih koeficijenata odnosno utjecaj pojedine aktivnosti na trajanje izgradnje.



Slika 18. Korelacijski koeficijenti

Slika 18. prikazuje korelacijske koeficijente odnosno međusobnu ovisnost aktivnosti.



Slika 19. Doprinos varijanci

## 9. ZAKLJUČAK

Monte Carlo simulacija kao i svaka druga ima svoja ograničenja s obzirom na stvarni sustav kojeg nije u mogućnosti u potpunosti ugraditi u simulacijski model. Ipak ukoliko joj se pristupa stručnom primjenom i ispravnim tumačenjem rezultata, dolazi do poboljšanja upravljanja rizicima u uvjetima neizvjesnosti, što konačnici rezultira uspješnijim poslovanjem. Građevinski projekti često imaju veliki stupanj nesigurnosti direktno povezanih s procesima izvođenja građevinskog objekta te je uvijek potrebno računati s vremenskom rezervom i na taj način smanjiti utjecaj kašnjenja jedne aktivnosti na ostale. Dinamički planovi pomažu u definiranju faznih i konačnih rokova gradnje te uvelike olakšavaju održati kontinuitet rada. Uspješna realizacija svih faznih dijelova projekta sukladno dinamičkom planu najbolji je pokazatelj da dobra organizacija i planiranje mogu značajno doprinijeti krajnjem ishodu, odnosno završetku objekta. Dinamički plan ne ovisi samo o inženjeru koji ga planira, nego i o kompletnoj mehanizaciji, koperantima i svim ostalim sudionicima projekta. Ne postoji metoda kojom je moguće sa potpunom sigurnošću doći do željenih rezultata, ali je svakako poželjno težiti što točnijim i preciznijim rezultatima.



## 10. POPIS LITERATURE

- [1] Upravljanje projektima, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb: . .  
[https://bib.irb.hr/datoteka/807419.Upravljanje\\_projektima\\_-\\_skripta\\_FER\\_2016.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/807419.Upravljanje_projektima_-_skripta_FER_2016.pdf)  
(15.12.2022.)
- [2] Wikipedia, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Strate%C5%A1ko\\_planiranje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Strate%C5%A1ko_planiranje)
- [3] IBM, <https://www.ibm.com/docs/hr/maximo-eam-saas?topic=overview-dynamic-job-plans>  
(10.11.2022.)
- [4] <https://www.edukacentar.hr/EdukaZona/Upravljanje-projektima-Jednostavan-vodic-za-buduce-projektne-menadzere>
- [5] [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021\\_12\\_137\\_2270.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_12_137_2270.html)
- [6] Mogućnost primjene Monte Carlo metode na primjeru agroekonomskog problema prilikom donošenja odluka u uvjetima rizika , dr. sc. Dominika Crnjac Milić, Dino Masle  
<https://hrcak.srce.hr/file/159533>
- [7] Nenad Mladineo: „Podrška izvođenju i odlučivanju u graditeljstvu“, skripta za internu upotrebu, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Splitu, 2004.
- [8] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=11353>
- [9] <https://aglomeracija-trilj-otok-dicmo.hr/>
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/Monte\\_Carlo\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method)