

# Integracija BIM-a i Lean-a za optimizaciju produktivnosti u građevinarstvu

---

**Karaban, Karla**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:486199>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-26**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





## OBRAZAC 2

### TEMA DIPLOMSKOG RADA



Ime i prezime studenta:

JMBAG:

Diplomski rad iz kolegija:

Naslov teme diplomskog rada (HR):

Naslov teme diplomskog rada (ENG):

Opis teme diplomskog rada:

1. Uvod
2. BIM i Lean koncepti
3. O produktivnosti u građevinarstvu
4. BIM i Lean u akciji prema produktivnosti
5. Zaključak
6. Literatura

Datum:

Mentor:

Potpis mentora:

Komentor:



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Karla Karaban

**INTEGRACIJA BIM-A I LEAN-A ZA  
OPTIMIZACIJU PRODUKTIVNOSTI U  
GRAĐEVINARSTVU**

DIPLOMSKI RAD

Mentorica: Maja - Marija Nahod

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Karla Karaban

**INTEGRATION OF BIM AND LEAN FOR  
OPTIMIZING PRODUCTIVITY IN  
CONSTRUCTION**

MASTER THESIS

Supervisor: Maja – Marija Nahod

Zagreb, 2024.

## OBRAZAC 3



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet



### OBRAZAC 3

#### POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica :

|                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| Karla Karaban                  | 0082065097             |
| <small>(Ime i prezime)</small> | <small>(JMBAG)</small> |

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

|  |
|--|
| Integracija BIM-a i Lean-a za optimizaciju produktivnosti u građevinarstvu |
| <small>(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)</small>           |

|   |
|---|
| Integration of BIM and Lean for optimizing productivity in construction |
| <small>(Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)</small>        |

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

|  |
|--|
|  |
| <small>(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)</small> |

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

|   |
|---|
|   |
| <small>(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)</small> |

Datum:

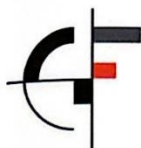
Mentor:

Potpis mentora:

Komentor:

Građevinski fakultet  
Fra Andrije Kačića-Miošića 26, HR-10000 Zagreb, OIB: 62924153420  
TEL.: +385 (0) 1 4639 115, FAKS: +385 (0) 1 4828 051  
www.grad.unizg.hr

## OBRAZAC 5



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet



OBRAZAC 5

### IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Karla Karaban, 0082065097

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio diplomskog rada pod naslovom:

Integracija BIM-a i Lean-a za optimizaciju produktivnosti u građevinarstvu

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum: 26.06.2024.

Potpis:

*Karabanc*

## OBRAZAC 6



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet



## OBRAZAC 6

## IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Ja :

Karla Karaban, 72539552516

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela diplomskog rada i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela diplomskog rada pod naslovom:

Integracija BIM-a i Lean-a za optimizaciju produktivnosti u građevinarstvu

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom diplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

Maja-Marija Nahod

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

04.07.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio diplomskog rada u cijelosti bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

26.06.2024.

Potpis:

Karaban

Građevinski fakultet  
Fra Andrije Kačića-Miošića 26, HR - 10000 Zagreb, OIB: 62924153420  
TEL.: +385 (0) 1 4639 115, FAKS: +385 (0) 1 4828 051  
www.grad.unizg.hr

## ZAHVALA

Želim izraziti svoju iskrenu zahvalnost svim profesorima, asistentima i kolegama s fakulteta koji su svojim znanjem, iskustvom i suradnjom doprinijeli mom akademskom razvoju.

Hvala mojoj mentorici prof. dr. sc. Maji – Mariji Nahod na vođenju kroz svaki korak izrade diplomskog rada. Njezina stručnost i savjeti bili su ključni za uspješno dovršavanje ovog rada.

Posebnu zahvalu upućujem svojoj obitelji, dečku i prijateljima na njihovoj bezuvjetnoj podršci, razumijevanju i ohrabrenju. Vaša ljubav je temelj mog uspjeha!



## SAŽETAK

Diplomski rad istražuje integraciju Building Information Modeling-a (BIM-a) i Lean menadžmenta u cilju optimizacije produktivnosti u građevinskom sektoru. Glavni cilj Lean gradnje je uz minimalne gubitke ostvariti maksimalne dobitke, dok je BIM moderni pristup koji omogućuje opisivanje i prikazivanje informacija potrebnih za projektiranje, izgradnju i održavanje objekta. Cilj ovog diplomskog rada je istražiti kako integracija BIM-a i Lean-a može doprinijeti optimizaciji produktivnosti u građevinarstvu. Kroz analizu ključnih koncepata, metoda i studija slučaja, ovaj rad prikazuje prednosti i izazove primjene ovih strategija te pruža preporuke za njihovu uspješnu implementaciju. Kombinacija BIM-a i Lean-a donosi značajne prednosti, uključujući poboljšanu kvalitetu, smanjenje troškova i vremena te bolju komunikaciju među sudionicima projekta. Analizirana su postojeća istraživanja i rezultati, te je dan kritički osvrt na mogućnosti takvog pristupa u Republici Hrvatskoj.

**Ključne riječi:** BIM, Lean, produktivnost, građevinska industrija, sinergija, optimizacija

## SUMMARY

The goal of research the results of which are presented in this paper was to gain an insight into the characteristics of integration of Building Information Modelling (BIM) and Lean Management in order to optimize productivity in the construction sector. Namely, Lean construction aims to achieve maximum gains with minimal losses, while BIM is a modern approach that enables the description and display of information necessary for the design, construction and maintenance of an object. Therefore, the main aim of the thesis is to investigate how the integration of BIM and Lean management can contribute to the optimization of productivity in construction. Through the analysis of key concepts, methods and case studies, this paper presents the advantages and challenges of applying these strategies and provides recommendations for their successful implementation. The combination of BIM and Lean management brings significant benefits, including improved quality, cost and time reduction, as well as better communication among project participants. Existing research and results on the subject are analysed, and a critical overview of the possibilities of such an approach in the Republic of Croatia is given.

**Key words:** BIM, Lean, productivity, construction industry, synergy, optimizing

**SADRŽAJ**

|   |            |
|---|------------|
| <b>OBRAZAC 3</b> .....  | <b>i</b>   |
| <b>OBRAZAC 5</b> .....  | <b>ii</b>  |
| <b>OBRAZAC 6</b> .....  | <b>iii</b> |
| <b>ZAHVALA</b> .....  | <b>iv</b>  |
| <b>SAŽETAK</b> .....  | <b>v</b>   |
| <b>SUMMARY</b> .....  | <b>vi</b>  |
| <b>SADRŽAJ</b> .....  | <b>vii</b> |
| <b>1. UVOD</b> .....  | <b>1</b>   |
| <b>2. BIM i LEAN KONCEPTI</b> .....   | <b>2</b>   |
| 2.1. Lean koncepti .....  | 2          |
| 2.1.1. Ključni elementi Lean-a .....  | 3          |
| 2.2. BIM koncepti .....   | 4          |
| 2.2.1. Postupak planiranja izvedbe BIM projekta .....                           | 5          |
| 2.3. Ključne poveznice između Lean gradnje i BIM-a .....                        | 6          |
| 2.4. Ključni pokretači za BIM i Lean implementaciju .....                       | 9          |
| 2.5. Prednosti korištenja BIM-a i Lean-a .....                                  | 9          |
| <b>3. O PRODUKTIVNOSTI U GRAĐEVINARSTVU</b> .....                               | <b>10</b>  |
| 3.1. Metode i tehnike mjerenja produktivnosti .....                             | 13         |
| 3.2. 10 Faktora koji utječu na produktivnost rada .....                         | 14         |
| <b>4. BIM I LEAN U AKCIJI PREMA PRODUKTIVNOSTI</b> .....                        | <b>16</b>  |
| 4.1. Utjecaj Lean – BIM sinergije na produktivnost rada .....                   | 16         |
| 4.2. Kombinacija BIM-a i Lean-a prema poboljšanju kooperativnosti .....         | 26         |
| 4.3. Lean i BIM: Međusobno nadopunjavanje za bolje upravljanje projektima ..... | 28         |
| 4.4. Lean i BIM u lancu vrijednosti građevinske tvrtke studija slučaja .....    | 31         |
| <b>5. ZAKLJUČAK</b> .....   | <b>36</b>  |
| <b>POPIS LITERATURE</b> .....   | <b>37</b>  |
| <b>POPIS SLIKA</b> .....  | <b>38</b>  |
| <b>PRILOZI</b> .....  | <b>40</b>  |

## 1. UVOD

Današnje stanje u graditeljstvu koje karakterizira stalna želja za povećanjem produktivnosti, smanjenjem troškova i poboljšanjem kvalitete rezultira korištenjem naprednih tehnologija i metodologija. Među brojnim učinkovitim pristupima, posebno se ističu Building Information Modeling (BIM) i Lean menadžment. Primjena i integracija modernih sustava i pristupa je kompleksna. Lean menadžment je zasnovan u proizvodnoj industriji, ali je svoj smisao pronašao i u građevinskoj industriji. Lean gradnja, inspirirana načelima tvrtke Toyota, fokusira se na eliminaciju otpada i povećanje vrijednosti u građevinskim projektima. Cilj je minimizirati gubitke i maksimizirati dobitke radi povećanja produktivnosti. Ovaj pristup naglašava kvalitetu uz smanjenje troškova i vremena, te nastoji postići veću dobit s manjim ulaganjima. Primjena Lean principa pozitivno utječe na produktivnost i efikasnost. Dok s druge strane, BIM predstavlja moderni pristup u građevinarstvu koji omogućava opisivanje i prikazivanje informacija potrebnih za projektiranje, izgradnju i održavanje objekata. Integracija BIM-a i Lean-a predstavlja sinergijski pristup koji kombinira prednosti oba koncepta s ciljem postizanja optimalne produktivnosti u građevinskim projektima. Kroz korištenje BIM-a za precizno planiranje i simulacije te primjenu Lean alata za optimizaciju procesa, moguće je postići značajna poboljšanja u efikasnosti, smanjenju troškova i kvaliteti izvedbe. Cilj ovog diplomskog rada je istražiti kako integracija BIM-a i Lean-a može doprinijeti optimizaciji produktivnosti u građevinarstvu. Kroz analizu ključnih koncepata, metoda i studija slučaja, ovaj rad prikazuje prednosti i izazove primjene ovih strategija te pruža preporuke za njihovu uspješnu implementaciju. Struktura rada podijeljena je u pet ključnih poglavlja. U drugom poglavlju razmatraju se osnovni koncepti Lean-a i BIM-a, uključujući njihove ključne elemente, postupke planiranja te prednosti i izazove integracije. Treće poglavlje bavi se produktivnošću u građevinarstvu, metodama mjerenja produktivnosti i faktorima koji na nju utječu. U četvrtom poglavlju analizira se sinergija između BIM-a i Lean-a, njihovi učinci na produktivnost, poboljšanu suradnju i upravljanje projektima, te je predstavljena studija slučaja koja prikazuje praktičnu primjenu ovih koncepata. Na kraju, u zaključku su sumirani glavni nalazi rada i dane preporuke za daljnja istraživanja i praktičnu primjenu. Stoga ovaj diplomski rad omogućuje sveobuhvatan pregled kako integracija Lean-a i BIM-a pridonosi produktivnosti u građevinskoj industriji, te predstavlja značajan doprinos u razumijevanju i primjeni navedenih modernih strategija u praksi.

## 2. BIM I LEAN KONCEPTI

Građevinska industrija, kao jedna od najstarijih i najkompleksnijih industrija, suočava se s izazovima u pogledu učinkovitosti, produktivnosti i kvalitete. Uvođenje naprednih metoda i tehnologija postalo je ključno za unapređenje cijelog procesa. Dva iznimno važna pristupa koja su revolucionirala način na koji se projekti planiraju i izvode su Lean menadžment i Building Information Modeling (BIM). Lean se fokusira na maksimalizaciju dobitaka s istovremenim minimiziranjem gubitaka, dok je glavna prednost BIM-a to što omogućava dijeljenje informacija tijekom cijelog životnog vijeka građevine, poboljšavajući komunikaciju među sudionicima projekta i olakšavajući donošenje odluka. Uvođenje BIM-a u građevinsku industriju donosi efikasnije upravljanje projektima te omogućava bolju kontrolu troškova, vremena i kvalitete. Iako je BIM relativno novi alat, njegova primjena varira od države do države. U Hrvatskoj, primjena BIM-a još nije na visokoj razini, većina poduzeća još uvijek je na početnoj razini. To je djelomično zbog nedostatka svijesti o prednostima BIM-a, ali i zbog visokih troškova i nedostatka jasnih zakonskih okvira. Potrebno je uložiti napore u podizanje svijesti o važnosti BIM-a. Definiranje jasnih pravila, normi i zakona bitno je za adekvatnu primjenu BIM-a. Također, važno je osigurati adekvatnu obuku kako bi se osiguralo pravilno korištenje ovog alata. U ovom poglavlju, objašnjeno je kako Lean i BIM koncepti funkcioniraju pojedinačno, te kako njihovo prisustvo može rezultirati pozitivnim ishodom u građevinskoj industriji. Kroz analizu teorijskih osnova, prikazano je kako ovi pristupi transformiraju suvremeno građevinarstvo, omogućujući bržu, jeftiniju i kvalitetniju izgradnju objekata.

### 2.1. Lean koncepti

Lean gradnja temelji se na eliminaciji otpada i povećanju vrijednosti u gradnji. Ovim pristupom teži se minimalizirati sve gubitke, i maksimalizirati dobitke. Glavni cilj Lean gradnje je povećati produktivnost u planiranju i izvođenju građevinskih projekata. Ovakvim načinom upravljanja građevinskim projektom pokušava se povećati kvaliteta, a smanjiti trošak i vrijeme. Najjednostavnije rečeno, Lean gradnja ukazuje da se što manjim ulaganjima ostvari što veća dobit (Karataš, Budak, 2023). Lean se pojavljuje početkom 1990-ih godina, po uzoru na proizvodnu industriju tvrtke Toyota. Tvrtka Toyota je 1980-ih godina postala vodeća svjetska sila u automobilskoj industriji. Ostvarila je velik uspjeh i pomak, što je doveo do istraživanja načina rada. Naime, moto firme temeljio se na visokoj kvaliteti proizvoda kojoj su prethodili smanjeni troškovi i vrijeme. Greške u proizvodnji su se svele na minimum što je uvelike pridonosilo zadovoljavanju željenog proizvodnog kapaciteta u zakazanom vremenu sa ograničenim troškovima. Takav princip rada voditelj tima dr. sc. Jim Womack nazvao je pojmom Lean, što u prijevodu znači „vitak, mršav“ (Žvorc, 2013). S obzirom na to da se u građevinarstvu kao gospodarskoj grani javljaju problemi s produktivnošću, brojni autori su to istražili te odlučili

primijeniti Lean principe u graditeljstvu. Lean gradnja donosi veće pozitivne promjene u produktivnosti i efikasnosti u građevinskom sektoru (Michalski, Głodziński, Böde, 2022).

### 2.1.1. Ključni elementi Lean-a

Lean se temelji na 5 načela (Womack i Jones, 1996):

1. Vrijednost povezana s proizvodom kako je odredio klijent
2. Identifikacija vrijednosnog toka za svaki proizvod i izbjegavanje otpada
3. Stvaranje kontinuiranog protoka vrijednosti
4. Potrebe naručitelja su u fokusu i vode proces proizvodnje
5. Kontinuirano poboljšanje, stvaranje kontinuiranog poboljšanja kroz cijeli proces

**Vrijednost povezana s proizvodom kako je odredio klijent** – ovaj ključni element odnosi se na važnost isporuke i precizno usklađivanje s vrijednosti koju traže naručitelji u određenom proizvodu ili usluzi. U svakoj djelatnosti naručitelj mora biti na prvom mjestu. Logično razmišljajući bez naručitelja nema ni posla. To je ključni faktor uspješnosti poduzeća. Svakom naručitelju se treba posvetiti i pokazati interes za njega. Najveći poslovni uspjesi se očitavaju upravo iz zadovoljstva naručitelja. Potrebno je slušati i promatrati njihove želje i potrebe, te sukladno tome usredotočiti se na posao. Ovakav pristup podrazumijeva lojalnost naručitelja, a tvrtkama nudi mogućnost inovacije, unaprjeđenje i povećanje kvalitete.

**Identifikacija vrijednosnog toka za svaki proizvod i izbjegavanje otpada** - Ova stavka odnosi se na analizu cijelog procesa kako bi se utvrdili koraci koji povećavaju vrijednost projekta i eliminirali oni koji negativno utječu na vrijednost projekta. Negativni utjecaj daje otpad, a glavni je cilj njegova eliminacija. Fokus je na optimizaciji procesa. Uklanjanje otpada je činjenica koja se spominje u svakoj definiciji Lean-a te predstavlja ključnu stavku kojoj se teži kroz cijeli proces. Omogućava povećanje efikasnosti, produktivnosti i kvalitete, dok s druge strane smanjuje potrebno vrijeme i trošak.

**Stvaranje kontinuiranog protoka vrijednosti** – Temelji se na proizvodnji bez zastoja i kašnjenja uz maksimalnu efikasnost.

**Potrebe naručitelja su u fokusu i vode proces proizvodnje** – Odnosi se na stvarnu potražnju naručitelja. Proizvodnja se mora temeljiti na željama naručitelja, a ne na lošim procjenama i pretpostavkama koje u konačnici neće prodati taj proizvod. Cilj je višak zaliha svesti na minimum, a postojeće resurse iskoristiti što je više moguće.

**Kontinuirano poboljšanje, stvaranje kontinuiranog poboljšanja kroz cijeli proces** - Ovo je princip koji omogućava opstanak pod konstantnim pritiskom konkurencije. Kontinuiranim poboljšanjem tvrtke lakše mogu konkurirati na tržištu i održati svoju visoku razinu profesionalnosti. Ovaj ključni element zahtjeva stalni rad i trud te se jedino tako može postići i održati. Bez učenja i praćenja inovacija napredak i konkurentnost na tržištu je gotovo

nemoguća misija. Vrijeme je stalnih modernizacija koje treba pratiti i koristiti se s njima. Ovaj element nudi nova znanja i tehnike, promjene razmišljanja, proširenja vidika i brojne druge prednosti. Učenje i inovacije u velikoj mjeri doprinose održivosti i kontinuiranom poboljšanju poduzeća.

## 2.2. BIM koncepti

BIM (Building Information Modeling) je relativno novi pristup u građevinarstvu. Koristi se za baze podataka o projektima, za opisivanje i prikazivanje informacija potrebnih za projektiranje, izgradnju i rad izgrađenih objekata (Michalski, Głodziński, Böde, 2022). BIM sadrži više dimenzija i nadilazi prostorni parametar, a temelji se na osnovnom 3D modelu. Velika prednost je omogućavanje dijeljenja informacija o projektu tijekom čitavog životnog vijeka građevine, što je olakotna okolnost sudionicima jer su informacije o projektu u svakom trenutku ažurirane. Ovakav pristup omogućava bolju komunikaciju među svim sudionicima projekta. Tako put do točnih informacija je brz i lak, i s obzirom na to može se puno kvalitetnije reagirati i donijeti ispravnu odluku (Cerić i sur, 2019).

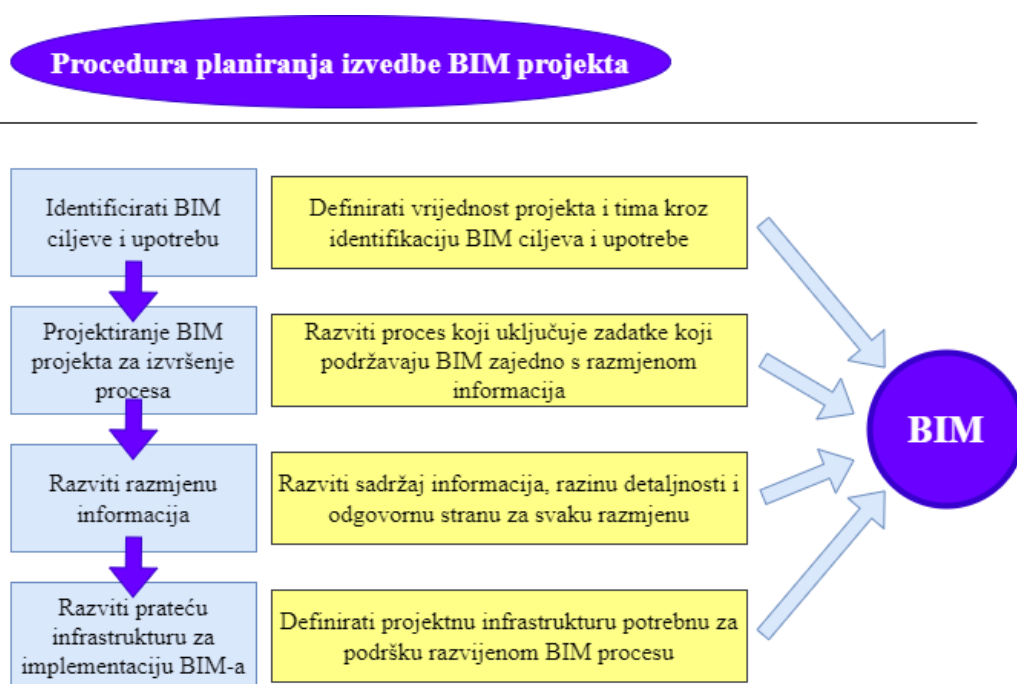
Građevinarstvo spada u djelatnosti s velikim brojem smrtnih slučajeva na radnom mjestu. Jedna je od opasnijih gospodarskih grana, ali s velikim brojem zaposlenika i s većim udjelom u BDP-u. Posao je težak i nepredvidiv, a uvjeti rada na gradilištima su zahtjevni. Dešavaju se različite nezgode i radnici su izloženi brojnim opasnostima i rizicima. Projekti su veliki, složeni i kompleksni – trend je da postanu sve zahtjevniji. Svaki projekt je izazov za sebe koji treba riješiti na najlakši i najbezbolniji način za svakog pojedinca koji je dio njega. S obzirom na to da se radi o velikim cijenama, kašnjenje projekta i plaćanje penala se uvelike pokušava izbjeći. Upravo zbog ovakvih nedostataka uvođenje moderniziranih informacijskih tehnologija pridonosi poboljšanju cijele djelatnosti.

U odnosu na druge djelatnosti građevinski sektor je relativno spor u provođenju digitalizacije. BIM model, odnosno zajednička baza podataka o projektu, omogućuje učinkovito upravljanje projektom u fazi inicijacije, projektiranja, izvođenja te korištenja građevine. Ovakav princip se koristi u različitim pravcima građevine, kao što su: izvođenje, projektiranje, kalkulacija, praćenje i kontrola, održavanje, itd.

Primjena BIM-a nije jednoliko raspoređena po državama Europske Unije. Potrebno je prilagoditi tržište, tako da se sudionici sami zainteresiraju za moderan način digitalizacije. Od iznimne je važnosti definiran i jasan skup zakona i normi za implementaciju i provođenje BIM-a u državi. U nekim državama BIM je obavezan i zakonski nametnut, te je takav način natjerao građevinska poduzeća da se koriste njime. Primjena BIM-a jako varira od države do države, te od tržišta do tržišta. U nekim država je razina jako visoka, te je gotovo nemoguće zamisliti upravljanje projekta na bilo koji drugi način. S obzirom na to da se radi o Europskoj zemlji, BIM u Hrvatskoj nije na visokoj razini. Znanje i primjena BIM-a je na razini države jako loša. Postoje 4 razine BIM-a, od 0 do 4. Hrvatska se još uvijek nalazi na nultoj razini, te ide prema prvoj razini (Kolarić i sur, 2020). S obzirom na razvoj i modernizaciju tehnologije i na rad digitalizacije u

građevinskom sektoru stanje je i dalje loše. Građevinarstvo je stara djelatnost koja slabo napreduje u moderniziranju za razliku od drugih djelatnosti koje su se u potpunosti digitalizirale. Upravo zbog takvog stanja, jako je bitno da se podiže svijest o važnosti BIM-a i da se sudionici informiraju o prednostima BIM-a. Za početak, primjena BIM-a je skupa što predstavlja problem manjim poduzećima koja imaju manje projekte. Često investitori nisu upoznati s dobrobitima i prednostima BIM-a, i upravo zbog toga treba pohađati edukacije i tečajeve jer samostalno učenje nije ispravna opcija. Istraživanja pokazuju da hrvatsko tržište još nije spremno za primjenu BIM-a u potpunosti. BIM nije na pravilan način shvaćen i upotreba BIM-a ne bi bila ispravna. Za početak potrebno je definirati različita pravila, norme i zakone po kojima bi se provodio BIM. Za adekvatnu provedbu i rad na ovakvom principu potrebno je potpuno razumijevanja BIM-a kao alata. Jedino na takav način se može postići obostrano zadovoljstvo (Kolarić i sur, 2020).

### 2.2.1. Postupak planiranja izvedbe BIM projekta



**Slika 1.:** Procedura planiranja izvedbe BIM projekta (Chang-liu, 2018)

**Identifikacija BIM ciljeva i upotrebe** – ciljevi moraju biti jasno definirani. Svaki član tima mora se pridržavati ciljeva i zahtjeva u svakom trenu. Potreban je timski rad, tj. zajedničko koračanje prema cilju.

**Projektirati BIM projekt za izvršenje procesa** – nakon jasno postavljenih ciljeva, sljedeći korak odnosi se na projekt izvršenja. Ovaj korak uključuje planiranje kako će se BIM koristiti kroz faze projekta.



**Razviti razmjenu informacija** – podrazumijeva omogućenu razmjenu informacija u svakom trenutku svim sudionicima projekta.

**Definirati prateću infrastrukturu za implementaciju BIM-a** – da bi se BIM uspješno proveo, postoji mnoštvo popratnih aspekata koji također moraju biti provedeni, a to su: obuka sudionika, ažuriranje tehnologije, angažiranje savjetnika, itd. (Chang-liu, 2018).

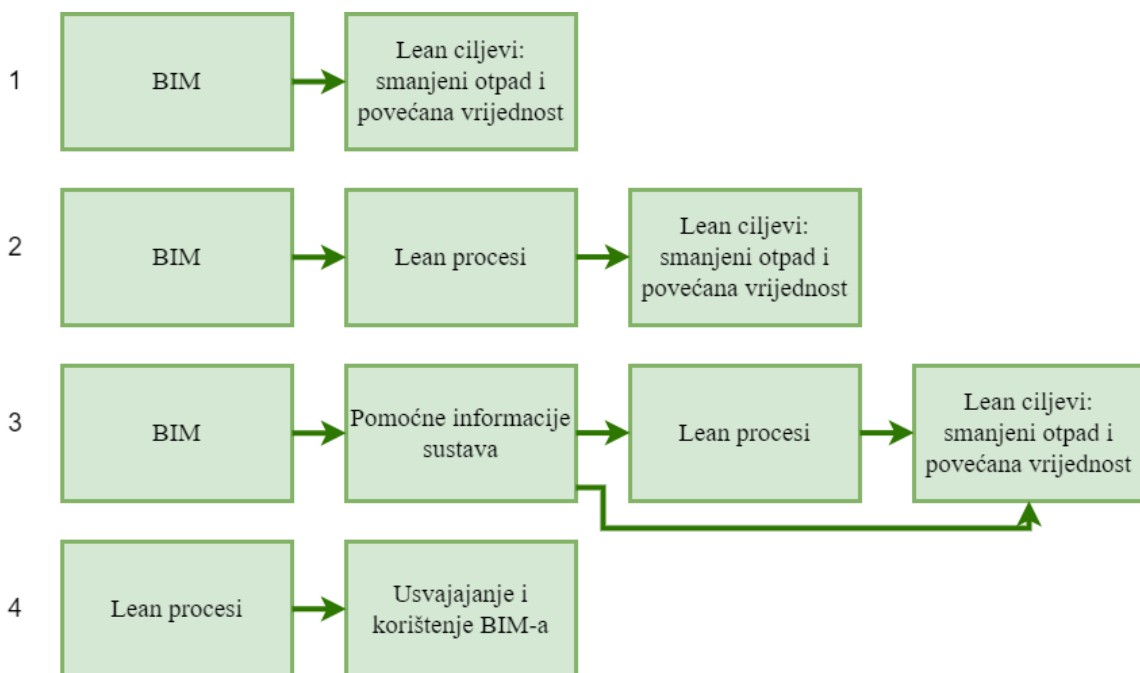
Ovi koraci su ključni za uspješnu realizaciju i implementaciju BIM-a. Omogućavaju da posao bude kvalitetniji i lakši, te da upravljanje informacijama bude na najvišoj razini tijekom cijelog životnog vijeka građevina.

### 2.3. Ključne poveznice između Lean gradnje i BIM-a

Lean ima 2 glavna cilja, a to su:

- Minimiziranje otpada
- Poboljšanje stvaranja vrijednosti za klijenta

Na slici 2 prikazana su četiri mehanizma za interakciju ovih dvaju principa.



**Slika 2.:** Konceptualna povezanost između BIM-a i Lean-a (Bhargav i sur., 2013)

**Prva razina** ukazuje na istraživanje sukoba među disciplinama. BIM izravno doprinosi Lean ciljevima. U ovom dijelu usklađuju se projekti iz različitih disciplina. Provjeravaju se preklapanja. Ako se nađe na neke nedostatke, modeli se ažuriraju i postupak se iterativno

ponavlja tako da dolazi do ispravnih rješenja. Ovakav način nije moguće provesti u 2D obliku. Unaprjeđenje ovog tipa uvelike olakšava kod izbora točnog rješenja te štedi vrijeme i novac.

**Druga razina** odnosi se na korištenje BIM modela s pomoću kojeg je moguća vizualizacija. U ovom slučaju BIM omogućava Lean procese, što neizravno pridonosi Lean ciljevima. Ovakav princip rada je izrazito važan kod složenih projekata gdje je potrebno dublje razumijevanje planiranih aktivnosti unaprijed. Na ovoj razini izvode se tzv. studije prvog pokretanja gdje se isprobavaju različite metode kako bi se otkrilo najbolje rješenje za određeni građevinski zadatak.

**Treća razina** sadrži pomoćni informacijski sustav koji je također omogućen s pomoću BIM-a. U ovom dijelu BIM izravno i neizravno omogućuje Lean ciljeve. Tu se nalaze dokumenti vezani za upravljanje troškovima koji nude korisne informacije.

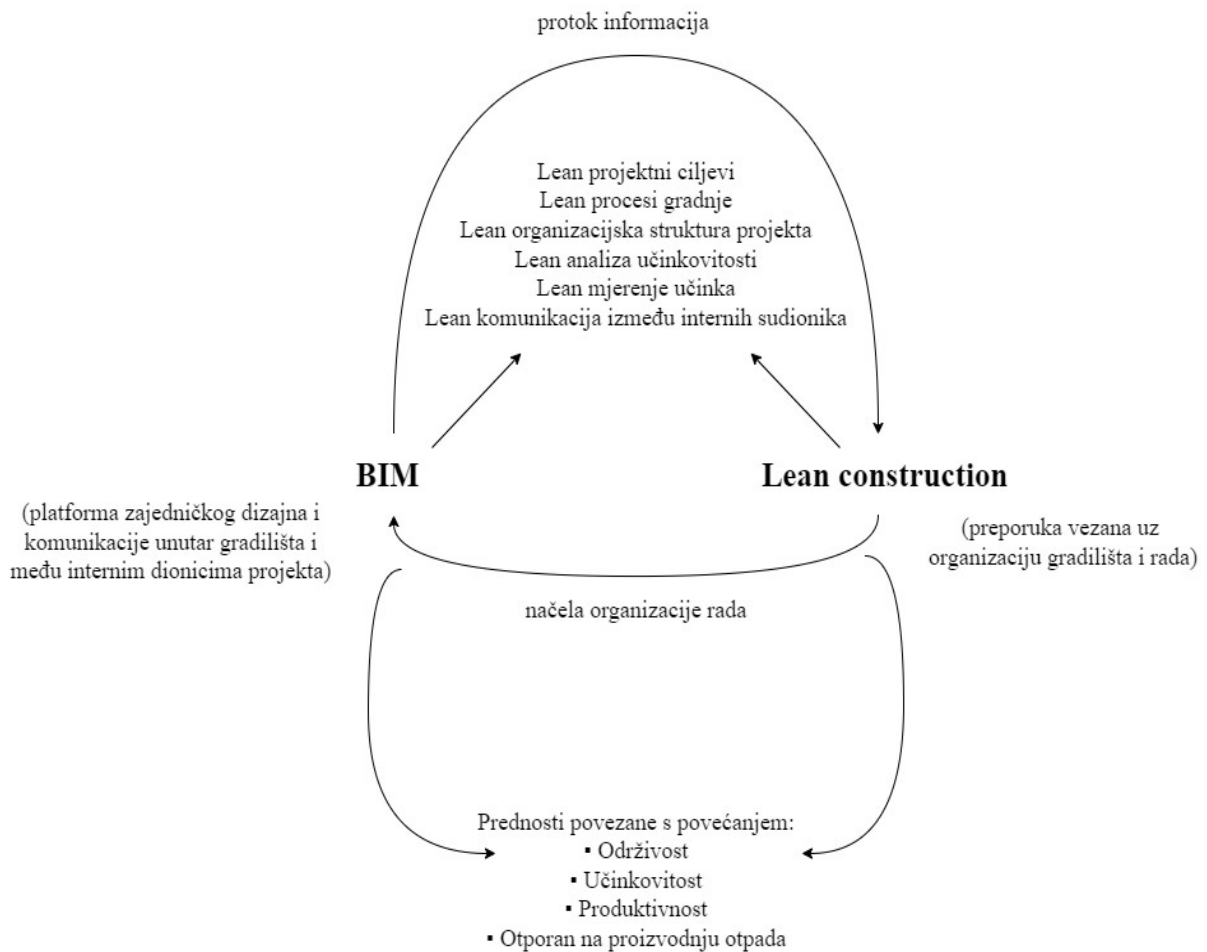
**Četvrta razina** govori da Lean procesi olakšavaju usvajanje i korištenje BIM-a. Takva suradnja nudi predvidljivost i disciplinu dok s druge strane omogućuje eksperimentiranje (Bhargav i sur., 2013).

Kombinacijom ovih dvaju principa građevinski projekti prelaze u neku drugu dimenziju na kojoj je učinkovitost puno veća.

Naredno istraživanje provedeno 2022. godine od strane istraživača Michalski, Głodziński i Böde rezultat je temeljen na 3 glavna pitanja kojima se težilo pronaći odgovor, a to su:

- Koja je razina popularnosti upravljanja Lean gradnjom i BIM-om među istraživačima?
- Zašto se Lean menadžment kombinira s BIM tehnologijom?
- Koji je postojeći jaz u istraživanju u akademskim studijama i/ili praktičarima u vezi s kombiniranjem upravljanja Lean gradnjom i BIM tehnologijom?

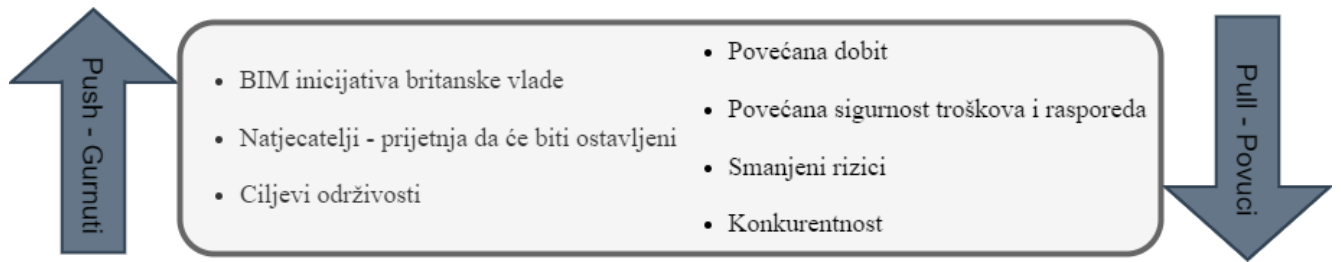
Mnogim istraživanjima se potvrdilo da kombinacija ovih dvaju principa donosi uspjeh te posjeduju široko priznato područje. Na sljedećoj slici detaljno su prikazane poveznice ovih dvaju principa (Michalski, Głodziński, Böde, 2022). Slika 3 grafički i tekstualno opisuje cijeli proces, ima kratke opise Lean-a i BIM-a te su istaknute prednosti.



**Slika 3.:** Ključne poveznice između Lean gradnje i BIM-a (Michalski, Głodziński, Böde, 2022)

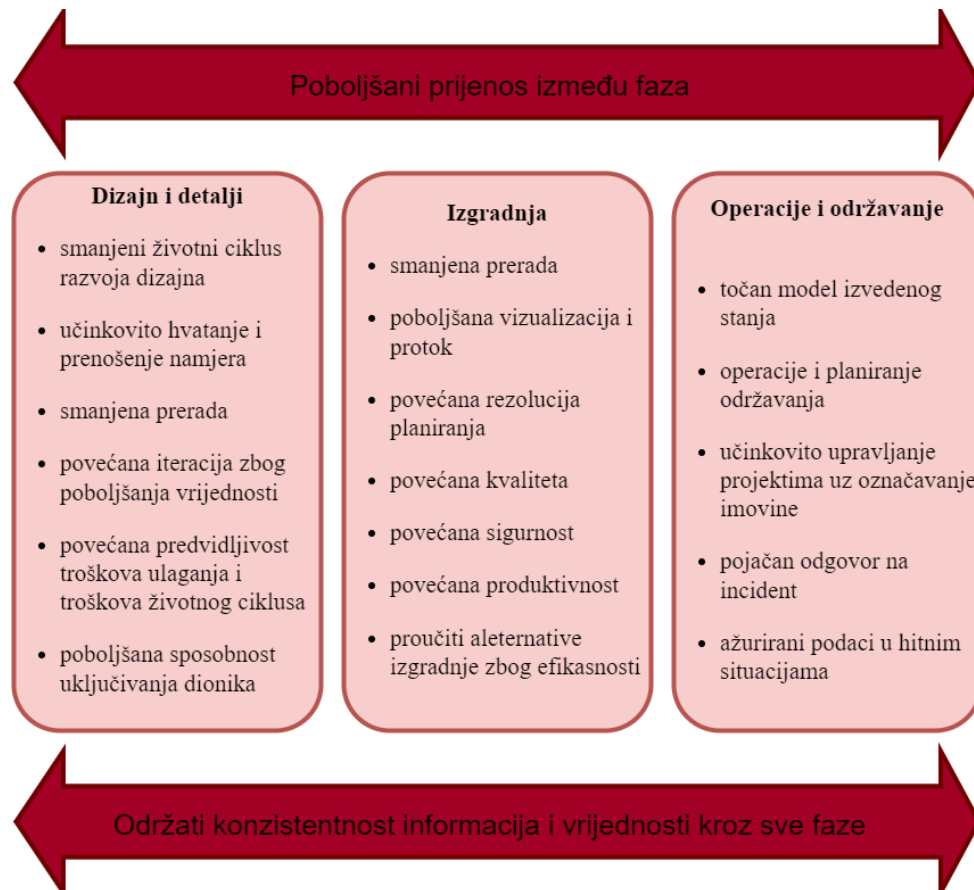
S obzirom na to da građevinska industrija ima nisku produktivnost, istraživanjem se teži istražiti kako to stanje pokrenuti na bolje. Neke od pretpostavka se odnose na nisku razinu digitalizacije. Ovim principima se takva situacija mijenja, ali uz mnoštvo prednosti nailazi se i na nedostatke od kojih se ističe loše obrazovanje i neposjedovanje IT vještina. Takve sposobnosti su od iznimne važnosti za uspješnu provedbu i povećanje produktivnosti. Također, građevinarstvo karakterizira slaba prilagodba na promjene što dodatno otežava provedbu. BIM je ključna tehnologija koja omogućava ostvarenje Lean-a, dok Lean također pozitivno utječe na implementaciju BIM-a.

## 2.4. Ključni pokretači za BIM i Lean implementaciju



Slika 4.: Ključni pokretači za implementaciju Lean-a i BIM-a (Bhargav i sur., 2013)

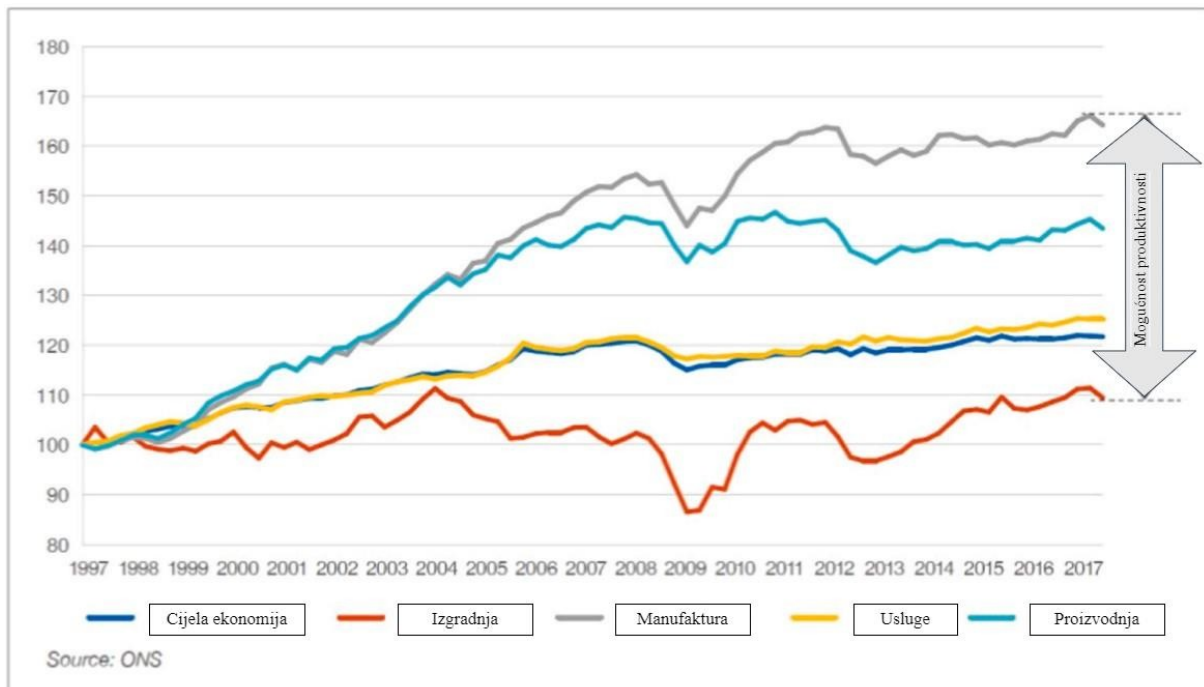
## 2.5. Prednosti korištenja BIM-a i Lean-a



Slika 5.: Prednosti korištenja BIM-a i Lean-a (Bhargav i sur., 2013)

### 3. O PRODUKTIVNOSTI U GRAĐEVINARSTVU

Produktivnost je jedna od najsloženijih tema u građevinarstvu koja se kontinuirano istražuje te zahtjeva i daljnja istraživanja. Predstavlja kompleksnu temu zbog različitosti poslova, a onda i učinaka tih poslova unutar građevinske industrije. S obzirom na veliku konkurentnost na tržištu produktivnost rada u građevinarstvu igra jednu od najvažnijih uloga (Malisiovas, 2010). Produktivnost se može tumačiti kao pokazatelj učinkovitosti gradnje. Učinkovito upravljanje projektima i građevinskim resursima dovodi do povećane produktivnosti i smanjenih troškova i vremena, što predstavlja poantu Lean-ovog istraživačkog rada (Ghate i Minde., 2016). Upravljanje produktivnošću je proces upravljanja procesima starenja i ljudima s fokusom na stanje produktivnosti (Bierman, Marnewick, Pretorius, 2016). Važan je pojam u svakoj industriji, a posebice u građevinarstvu jer građevinarstvo velikim udjelom doprinosi ukupnom BDP-u. Poznato je da je produktivnost građevinske industrije niža od produktivnosti drugih industrija. Međutim, u odnosu na druge industrije produktivnost u građevinarstvu i dalje teži znatnom povećanju. Razvoj građevinskog sektora izravno je proporcionalan povećanju produktivnosti građevinarstva. Na sljedećoj slici je grafički prikaz usporedbe različitih industrija, crvenom bojom je prikazano građevinarstvo što potvrđuje veliku potrebu za poboljšanjem (Karataš i Budak, 2023).



Slika 6.: Promjene u stopama produktivnosti industrija tijekom godina (Karataš i Budak, 2023)

Produktivnost se prikazuje kao odnos inputa i outputa, te se opisuje kao ispravno ulaganje onog što tvrtka posjeduje. Najvažniji segment svake građevinske tvrtke je rad, sve je orijentirano radu i radnoj snazi. Iako je ovo doba modernizacije i uvođenja unaprijeđenih tehnologija u sve djelatnosti, građevinarstvo je i dalje dosta tradicionalna i radno jaka industrija. Velik dio ukupnih troškova tvrtke otpada upravo na radnu snagu. S obzirom na to, radna snaga je u fokusu i produktivnost uvelike ovisi o njoj. Radna snaga je dominantan proizvodni resurs, a isporuka projekta ovisi o radu i trudu zaposlenika (Malisiovas, 2010).

$$\text{PRODUKTIVNOST} = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}}$$

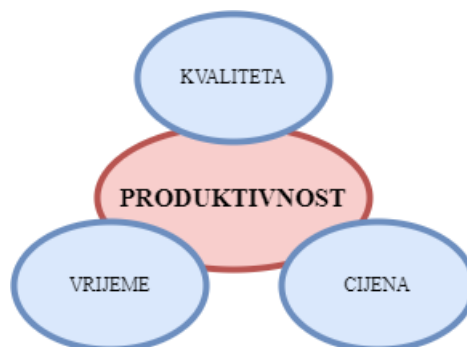
Slika 7.: Produktivnost = output/input (Malisiovas, 2010)

Iz formule za produktivnost vidljivo je da se produktivnost može poboljšati ako se izlaz poveća, a ulaz ostaje konstantan ili ako se ulaz smanjuje, a izlaz ostaje konstantan (Bierman, Marnewick, Pretorius, 2016).

Rad u građevinarstvu se sastoji od tri osnovna elementa, a to su:

1. Vrijeme
2. Cijena
3. Kvaliteta

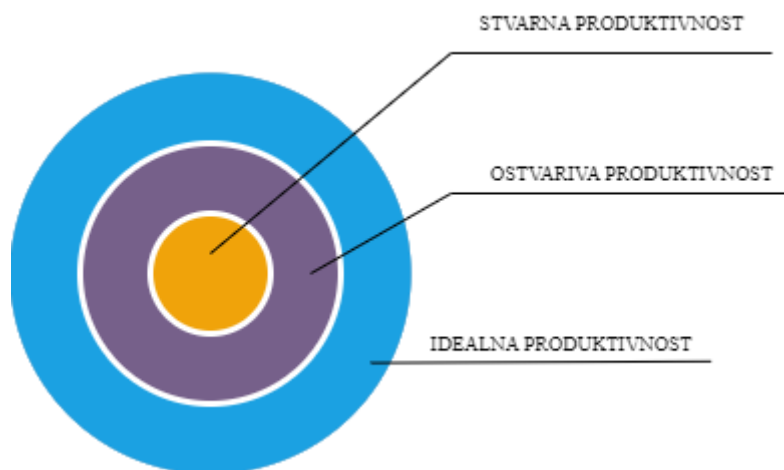
Međusobna povezanost ovih triju elemenata ima izravan utjecaj na produktivnost.



Slika 8.: Tri osnovna elementa građevinarstva: vrijeme, cijena i kvaliteta (Malisiovas, 2010)

Postoji uvriježeno mišljenje o egzistenciji dvije razine produktivnosti. Prva razina se odnosi na idealne situacije, te se naziva "idealna produktivnost", dok se druga razina odnosi na realne situacije te se imenuje kao "ostvariva produktivnost". Produktivnost koja se postiže na

projektima u stvarnosti je “stvarna produktivnost”. Stvarna produktivnost se matematički definira kao idealna produktivnost koja se umanjuje redukcijskim faktorom. Redukcijski faktor je onaj koji se koristi za prilagodbu idealne produktivnosti stvarnom stanju (Bierman, Marnewick, Pretorius, 2016).



**Slika 9.:** Stvarna, ostvariva i idealna produktivnost (Kim i sur., 2011)

Kao što postoje različite vrste produktivnosti, tako postoje i različite vrste faktora redukcije. Nazivaju se kontrolirani i nekontrolirani faktori redukcije. Nekontrolirani faktori utječu na smanjenje idealne produktivnosti što rezultira optimalnom produktivnošću. Naknadno, na optimalnu produktivnost utječu i kontrolirani redukcijski faktori te na kraju nastaje stvarna produktivnost. Faktori mogu varirati ovisno o životnom ciklusu projekta, ali postoje i faktori koji su konstantni, stoga se nazivaju nepromjenjivi faktori. Na slici 10 prikazan je odnos faktora u matričnom formatu (Bierman, Marnewick, Pretorius, 2016). Faktore koji utječu na razinu produktivnosti treba identificirati i razmotriti zbog cjelokupnog poboljšanja. Duboko i sveobuhvatno razumijevanje čimbenika koji utječu na produktivnost pomaže u fokusiranju i usmjeravanju više istraživačkih napora, čime se povećava prilika za poboljšanje produktivnosti.



**Slika 10.:** Klasifikacija faktora na temelju kontroliranosti i varijabilnosti (Kim i sur., 2011)

### 3.1. Metode i tehnike mjerenja produktivnosti

Produktivnost se može mjeriti na različite načine uz pomoć raznovrsnih tehnika i metoda. Trenutno se teži unaprjeđenju metoda i tehnika za mjerenje produktivnosti, te se identificiranju ograničenja i nesigurnosti u istima. Prihvaćaju se svi prijedlozi poboljšanja u svrhu napredovanja. Problem nastaje jer ne postoji univerzalno prihvaćen standard za mjerenje produktivnosti. Neke od metoda su temeljene na iskustvu, dok se druge primjenjuju uz korištenje matematičkih i statističkih modela, tehnoloških alata i računalnih aplikacija. Iz prakse je vidljivo da se male tvrtke koriste metodama temeljenim na osobnom iskustvu, dok se veće tvrtke orijentiraju na dokazanim znanstvenim istraživanjima. Različite aktivnosti mogu mjeriti različiti ljudi na različite načine što rezultira različitim rezultatima koje je teško međusobno usporediti. Važno je odabrati prikladnu metodu za istraživanje produktivnosti jer korištenje krive metode istraživanje vodi u pogrešnom pravcu koji stvara lažnu sliku situacije. Nadalje, istraživači koji proučavaju produktivnost moraju se koristiti alatom za mjerenje. Moraju imati sva potrebna znanja za rukovanje analizom mjerenja te sposobnosti povezivanja vizije sa stvarnošću na licu mjesta, te naposljetku i odlučnost za poduzimanje mjera u svrhu povećanja produktivnosti. Unaprjeđenje produktivnosti moguće je na više načina, od poboljšanja tradicionalnih tehnika pa sve do uvođenja napredne tehnologije. Među brojnim naprednim metodologijama u građevinarstvu, Lean se ističe svojim kvalitetama, ali većina elemenata Lean-a još uvijek je na početnoj razini (Malisiovas, 2010).



### 3.2. 10 Faktora koji utječu na produktivnost rada

1. Nadzor (kontrola) radnih procesa
2. Kvalificiranost radne snage
3. Raspored rada u vremenu
4. Osposobljavanje radne snage
5. Plaćanje
6. Komunikacija između uprave gradilišta i radnika
7. Klimatski uvjeti
8. Očekivanja od radnog učinka
9. Neplanirani dodatni posao
10. Način gradnje

(Ghate i Minde, 2016).

**Nadzor radnih procesa** – ima ključnu ulogu u povećanju produktivnosti. Zadaća mu je da prati rad i napredak zaposlenika, uočava i ispravlja greške na vrijeme i motivira radnike. Nadzorom rada se osigurava učinkovito i uspješno radno okruženje. Uz sve navedeno, pomoću radnog nadzora uspoređuju se ostvareni i postavljeni ciljevi. Takav princip nudi pravovremeno reagiranje i optimizaciju procesa. U konačnici, radni nadzor fokusiran je na postizanje poslovnih ciljeva što direktno doprinosi povećanju produktivnosti.

**Kvalificirana radna snaga** – pridonosi produktivnosti kroz veću efikasnost i smanjen obujam grešaka. Rad kvalificiranih radnika se uvelike razlikuje od nekvalificiranih. Nude različite pristupe i rješenja ako dođe do komplikacija u radu. Njihova razina znanja omogućuje primjenu novih tehnologija i alata, a samim time podiže rad na višu razinu. Kvalificiranu radnu snagu se manje nadzire što je velika novčana i vremenska prednost.

**Raspored rada** – pravilnim i preciznim planiranjem postiže se optimalno korištenje radnog vremena i resursa. Vodi se briga da ne dođe do preopterećenja radnika. Jasnim rasporedom rada utječe se na zadovoljstvo radnika. Motivacija zaposlenika se podiže dok se sukobi između njih značajno smanjuju. Ovaj faktor je temelj za uspješan poslovni odnos na radu.

**Osposobljavanje radne snage** – pruža zaposlenicima potrebna znanja i vještine. Ulaganjem u znanje radne snage dolazi do mogućnosti primjene novih moderniziranih tehnologija koje nude kvalitetniji rad. Svako poduzeće treba ulagati u svoje radnike. Radna snaga je na taj način samopouzdanija i osjeća se spremnije za rad. Zadovoljstvo radnika na radnom mjestu utječe na produktivnost u radu te potiče radnika na veći trud i angažiranost.

**Plaćanje** – svi zaposlenici rade za svoju plaću koja ih motivira na rad i trud. Međutim, postoje i bonusi koji nagrađuju dodatnu angažiranost. Svaka povećana angažiranost treba biti dodatno nagrađena. Pravilno i pravovremeno isplaćivanje radnika osigurava motiviranost, stabilnost i kontinuitet u radu što rezultira uspjehom tvrtke.

**Komunikacija između uprave gradilišta i radnika** – jasna i redovita komunikacija ključ je svega u građevinarstvu. Omogućuje razmjenu informacija o ciljevima, rokovima, očekivanjima i drugim različitim pojedinostima projekta. Komunikacijom se radnicima pojašnjava točna ideja uloge njihovog zadatka. A isto tako, otvorenom komunikacijom daje se prilika zaposlenicima da iznesu svoje ideje, prijedloge poboljšanja, probleme ili prepreke. Redovitim sastancima i otvorenom komunikacijom uprava pravovremeno prepoznaje eventualne probleme ili prepreke s kojima se radnici suočavaju te dolazi u poziciju da ih rješava prije nego što utječu na produktivnost. Zaključno, dobra komunikacija između uprave gradilišta i radnika temelj je za formiranje suradničkog okruženja koje u svakom trenutku pozitivno utječe na produktivnost.

**Klimatski uvjeti** – određuju radne okolnosti na poslu. Za kvalitetan rad važni su kvalitetni uvjeti u kojima se obavlja posao. Temperatura, optimalna razina vlage i čist zrak samo su od nekih uvjeta o kojima ovisi radno okruženje. Ekstremni klimatski uvjeti onemogućuju obavljanje rada te stvaraju probleme na koje se teško može utjecati. Prilikom planiranja radova, potrebno je u početnoj fazi klimatske uvjete uzeti u obzir jer oni uvelike mogu utjecati na cjelokupnim proces.

**Očekivanja od radnog učinka** – radnici moraju imati jasnu viziju svog posla i točno definirane ciljeve koje moraju postići. Tvrtka treba biti strukturirana na način da su zaposlenici svjesni svojeg posla i odgovornosti koju on nosi. Očekivanja od radnog učinka pružaju smjernice za prioritizaciju zadataka, što pomaže pri usmjeravanju energije i raspoloživih resursa prema najvažnijim aktivnostima. Također, olakšavaju praćenje napretka i uspjeha te pružanje povratnih informacija što omogućuje pravovremenu intervenciju u slučaju kada su korekcije potrebne.

**Neplanirani dodatni posao** – kada dođe do njihove pojave radnici pokazuju fleksibilnost i sposobnost prilagodbe u zadanoj situaciji. Takve situacije nerijetko dovedu do timskog rada i poboljšane suradnje među zaposlenicima. Neplanirani dodatni posao iziskuje brze reakcije koje rezultiraju novim idejama i metodama rada. Na kraju, uspješno sanirani i obavljeni neplanirani poslovi kod klijenta bude zadovoljstvo i lojalnost.

**Način gradnje** – korištenjem različitih tehnologija i načina gradnje postižu se različite razine produktivnosti. Ispravno izabranim načinom gradnje povećava se efikasnost i ubrzava se proces gradnje. Ovim principom se smanjuje potrebno vrijeme te se minimizira gubitak materijala i trošak, dok se s druge strane povećava kvaliteta i preciznost.

## 4. BIM I LEAN U AKCIJI PREMA PRODUKTIVNOSTI

U suvremenom građevinarstvu, povećanje produktivnosti je postalo ključni faktor za uspjeh projekta. Tradicionalan način rada je u mnogim situacijama neadekvatan pristup za prepreke i izazove kao što su kašnjenje, prekoračenje troškova te nedostatak koordinacije. U takvim situacijama sinergija Lean-a i BIM-a pokazala se kao odlična strategija. Kombinacija BIM-a i Lean-a predstavlja moćan alat za unapređenje suradničkog rada. BIM, kao digitalna podrška i platforma, omogućava sveobuhvatno planiranje i simulaciju građevinskih projekata, poboljšavajući komunikaciju i suradnju među svim sudionicima. S druge strane, Lean menadžment, fokusiran na eliminaciju otpada i optimizaciju resursa, doprinosi efikasnijem vođenju projekata i smanjenju troškova. Sinergija BIM-a i Lean-a osigurava preciznije projektiranje i izgradnju, smanjujući mogućnost pogrešaka i poboljšavajući kvalitetu konačnog proizvoda. Rezultat je brža, učinkovitija i kvalitetnija izvedba građevinskih projekata. U ovom poglavlju objašnjeno je kako se BIM i Lean koncepti provode u praksi, pokazujući konkretne primjere njihove sinergije i utjecaja na produktivnost građevinskih projekata. Kroz analizu stvarnih slučajeva i praktičnih primjena, prikazani su načini na koje ove metode mogu unaprijediti svaki aspekt izgradnje, od početne faze planiranja do završne izvedbe. Opisana istraživanja obrađuju različite teme i probleme u građevinskoj industriji, te je svako istraživanje posebnog karaktera. Međutim, poanta svih istraživanja je jednaka, a to je povećanje produktivnosti. Sinergijom ovih dvaju pojmova, postižu se velike pozitivne promjene koje potvrđuju istraživanja u nastavku.

### 4.1. Utjecaj Lean – BIM sinergije na produktivnost rada

Postizanje željene produktivnosti jedan je od najvećih, a ujedno i najsloženijih izazova građevinske industrije. Upravo zbog toga, pojavili su se mnogi pristupi koji poboljšavaju produktivnost, međutim Lean i BIM ističu se kao pristupi s najvećim potencijalom u tom području. Njihov pozitivni učinak je potkrijepljen mnogim ispitivanjima i istraživanjima, ali postoji jako malo studija o sinergiji ovih dvaju pojmova. S obzirom na to ovo istraživanje se temelji upravo na sinergiji Lean-a i BIM-a. U Turskoj postoje primjene ovog principa na „Istanbul Grand Airport“ i „Dudullu-Bostanci“. Bitno je napomenuti da je ovo istraživanje ograničeno samo na fazu izvedbu konstrukcije. Fokus studije je na utvrđivanju sinergije između Lean-a i BIM-a koji funkcioniraju tijekom faze izgradnje te mjerenje utjecaja te sinergije na produktivnost rada u građevinarstvu (Karataš i Budak, 2023).

U ovoj studiji istraživanja navedena su relevantna načela Lean-a i BIM-a koja utječu na produktivnost rada tijekom faze izvođenja konstrukcije, a to su:

Lean relevantna načela:

- Smanjivanje vrijednosti u konstrukciji (L1)
- Smanjivanje trajanja proizvodnog ciklusa (L2)
- Smanjivanje veličine serije (L3)
- Odabiranje odgovarajućeg pristupa kontroli proizvodnje (L4)
- Korištenje vizualnog upravljanja (L5)
- Dizajniranje proizvodnog sustava za protok i vrijednost (L6)
- Osiguravanje sveobuhvatnog snimanja zahtjeva (L7)
- Odlazak i uvjeravanje na licu mjesta (L8)

BIM relevantna načela:

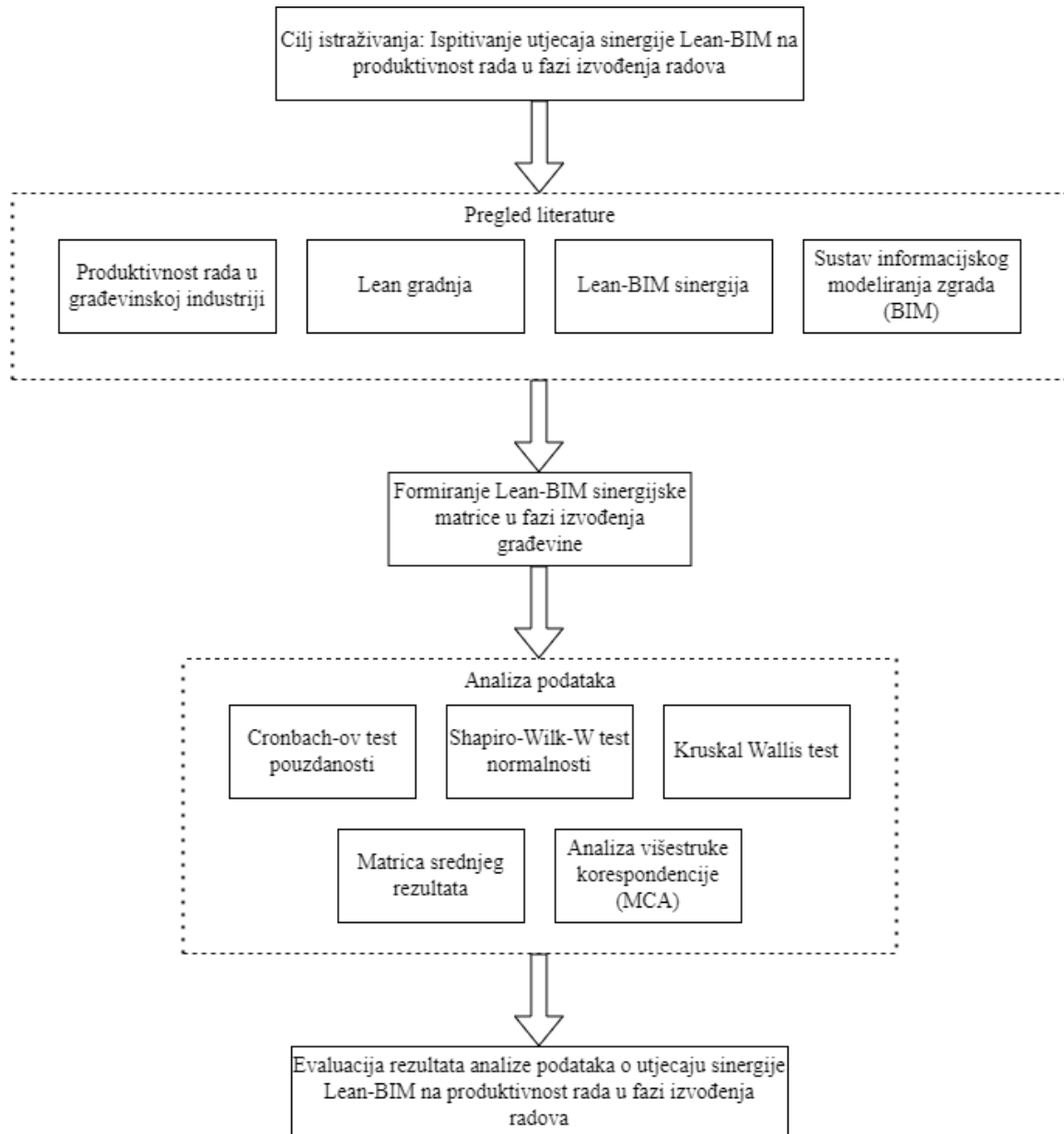
- Automatizirana procjena troškova (B1)
- Automatsko generiranje crteža i dokumenata (B2)
- 4D vizualizacija procesa izgradnje i rasporeda (B3)
- Online/elektronička komunikacija temeljena na objektima (B4)
- Prilagođeno dohvaćanje podataka i manipulacije (B5)
- Olakšavanje praćenja i izvješćivanja o izgradnji u stvarnom vremenu (B6)

Glavni zadatak ovog istraživanja leži u 2 pitanja koja glase:

- Koji Lean principi i koje BIM funkcije odgovaraju jedne s drugima?
- Koji Lean principi i koje BIM funkcije korespondiraju s kojim kategorijama stupnja utjecaja u smislu produktivnosti rada?

U daljem tekstu, detaljno je objašnjeno cijelo istraživanje, korak po korak kako se dolazilo do odgovora na navedena pitanja.

Predmet istraživanje studije provodi se prema dijagramu toka koji se nalazi na sljedećoj slici. Dijagram toka nudi točan i precizan raspored za otkrivanje sinergija između Lean-a i BIM-a.



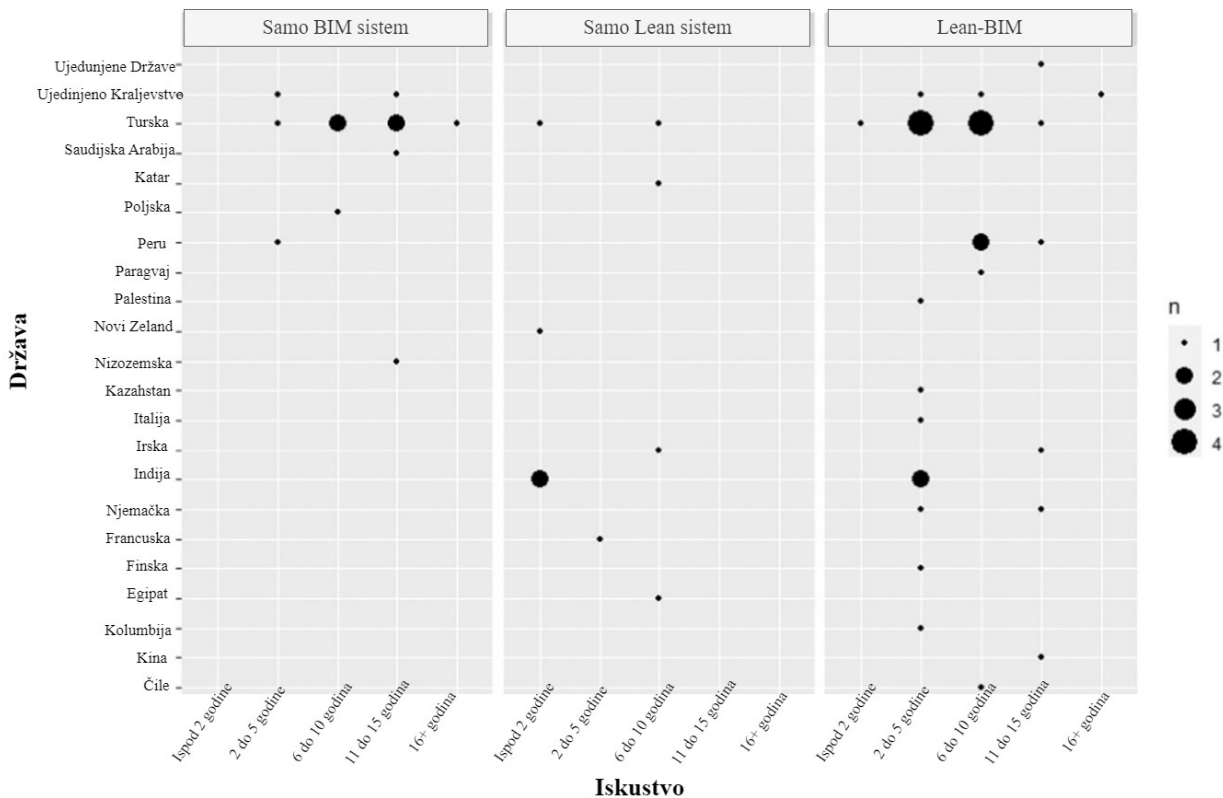
Slika 11.: Dijagram toka metodologije istraživanja (Karataš i Budak, 2023)

Nakon dijagrama toka definirana je sinergijska materija Lean-BIM. Prikazuje kombinacije Lean principa i BIM funkcija. Sinergijska matrica je osnova anketnog istraživanja. Sudionici su morali ocijeniti polja za koja smatraju da postoji sinergija između Lean-a i BIM-a ocjenama od 1 do 5 u smislu učinka sinergije na produktivnost rada. Sudionici koji su sudjelovali u istraživanju posjedovali su znanja o Lean-u i BIM-u. Osim toga, sudionici su iz različitih zemalja svijeta kako bi rezultati bili što realniji i objektivniji.

|               | BIM funkcije |       |       |       |       |       |       |
|---------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               | B1           | B2    | B3    | B4    | B5    | B6    |       |
| Lean principi | L1           | L1-B1 | L1-B2 | L1-B3 | L1-B4 | L1-B5 | L1-B6 |
|               | L2           | L2-B1 | L2-B2 | L2-B3 | L2-B4 | L2-B5 | L2-B6 |
|               | L3           | L3-B1 | L3-B2 | L3-B3 | L3-B4 | L3-B5 | L3-B6 |
|               | L4           | L4-B1 | L4-B2 | L4-B3 | L4-B4 | L4-B5 | L4-B6 |
|               | L5           | L5-B1 | L5-B2 | L5-B3 | L5-B4 | L5-B5 | L5-B6 |
|               | L6           | L6-B1 | L6-B2 | L6-B3 | L6-B4 | L6-B5 | L6-B6 |
|               | L7           | L7-B1 | L7-B2 | L7-B3 | L7-B4 | L7-B5 | L7-B6 |
|               | L8           | L8-B1 | L8-B2 | L8-B3 | L8-B4 | L8-B5 | L8-B6 |

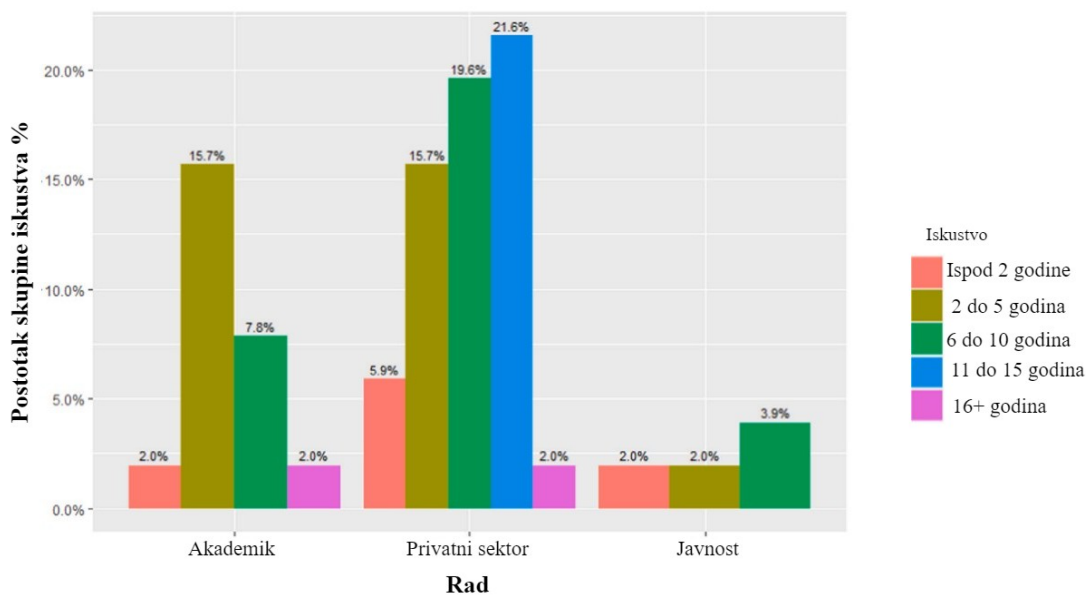
Slika 12.: Sinergijska matrica sastavljena između Lean principa i BIM funkcija (Karataš i Budak, 2023)

Anketa se provela u dva dijela. Prvi je dio demografski koji sadrži neke informacije kao što su: u kojem sektoru i državi rade, kojim se predmetima bave i kakva su njihova iskustva. Za ovu anketu veličina uzorka je određena s pomoću Cochran-ove formule koja glasi:  $n = \frac{Z^2 * p * (1+p)}{e^2}$ , gdje je n veličina uzorka, Z je faktor pouzdanosti, p je stopa uzrokovanja, i e je granica pogreške. U ovoj anketi faktor pouzdanosti bio je 1,96, stopa uzorkovanja 0,5, a margina pogreške 14 %. Veličina uzorka je određena na 49 za studiju, te je uključivala pojedince iz različitih zemalja. Većina sudionika je iz Turske, ali ostatak je iz različitih država svijeta kao što je prikazano na sljedećoj slici. Slika 13 prikazuje iskustvo sudionika po temama koje uključuju samo Lean i samo BIM te kombinaciju Lean-BIM. Na x-osi je iskustvo po godinama, dok se na y-osi nalaze države. Na temelju ovog grafa zaključilo se da sudionici koji rade isključivo s BIM sustavom imaju više iskustva od onih koji rade isključivo s Lean sistemom, pretpostavlja se da je to rezultat duže upotrebe BIM-a u građevinskoj industriji u odnosu na praksu korištenja Lean koncepta. Na temelju podataka vidljivo je da većina sudionika iz Turske posjeduje znanje o Lean-BIM-u i ima između 2 i 10 godina iskustva. Osim toga, oni koji samo poznaju BIM sistem tvrde da imaju 6-15 godina iskustva.



Slika 13.: Iz koje zemlje se sudionici pridružuju prema svojim iskustvima i temama (Karataš i Budak, 2023)

Na slici 14 su prikazana iskustva sudionika u odnosu na rad. Podjela rada je na: akademike, privatni i javni sektor. Iskustvo u radu se dijeli na broj godina rada. Najviše sudionika u istraživanju radi u privatnom sektoru, te najveći postotak otpada na radno iskustvo u trajanju od 11 do 15 godina.



Slika 14.: Iskustva sudionika prema načinu rada (Karataš i Budak, 2023)

Iz dijagrama toka vidljivo je da se analiza podataka sastoji od:

1. Cronbach-ov  $\alpha$  test pouzdanosti
2. Shapiro-Wilk-W test normalnosti
3. Kruskal-Wallisov test
4. Matrica srednjeg rezultata
5. Analiza višestruke korespondencije (MCA)

### Cronbach-ov $\alpha$ test pouzdanosti

Izračunava se po formuli:  $\alpha = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}{\sigma_x^2}\right)$ , gdje je  $n$  broj stavki,  $\sigma_i^2$  varijanca svake stavke i  $\sigma_x^2$  varijanca zbroja svih stavki. Cronbach-ov test se koristi za ispitivanje unutarnje konzistentnosti varijabli na svakoj komponenti. Vrijednost  $\alpha$  mora biti između 0 i 1, a interna ocjena konzistencije prikazana je na sjedećoj slici.

| Cronbach-ov $\alpha$    | Unutarnja dosljednost i pouzdanost |
|-------------------------|------------------------------------|
| $\alpha \geq 0.9$       | Izvršno                            |
| $0.8 \leq \alpha < 0.9$ | Dobro                              |
| $0.7 \leq \alpha < 0.8$ | Prihvatljivo                       |
| $0.6 \leq \alpha < 0.7$ | Upitno                             |
| $0.5 \leq \alpha < 0.6$ | Siromašno                          |
| $\alpha < 0.5$          | Neprihvatljivo                     |

Slika 15.: Kategorije Cronbachov-og  $\alpha$  koeficijenta pouzdanosti (Karataš i Budak, 2023)

### Shapiro-Wilk-W test normalnosti

Govori nam o tome jesu li prikupljeni podaci normalne distribucije. Sadrži hipoteze  $H_0$  i  $H_1$ .  $H_0$  predstavlja da su podaci normalno raspoređeni. Ako je vrijednost  $p$  manja od 0,05, smatra se da podaci nisu normalno raspodijeljeni i hipoteza  $H_0$  se smatra nevažećom.

### Kruskal-Wallis-ov test

Procjenjuje razlike između tri ili više neovisno uzorkovanih skupina na kontinuiranoj varijabli koja nije normalno raspodijeljena. Ne-parametarski statistički test koji pokazuje jesu li medijani odgovora grupa jednaki. Za test se koriste hipoteze  $H_0$  i  $H_1$ ,  $H_0$  pokazuje da su medijani skupina isti, dok  $H_1$  ukazuje da su različiti. Ako je vrijednost  $p$  manja od 0,05 onda postoji razlika između skupina. U ovoj studiji istražuje se razlikuje li se utjecaj Lean-BIM sinergija na produktivnost rada u smislu iskustva sudionika, načina rada i znanja o Lean-u ili BIM-u.

### Matrica srednjeg rezultata

Kao što je već spomenuto u opisu istraživanja, sudionici su trebali ocijeniti sinergiju između Lean principa i BIM funkcija ocjenama od 1 do 5. Ako smatraju da ne postoji nikakva sinergija, polje se ostavlja prazno, a ta vrijednost se smatra kao ocjena 0. S pomoću ove matrice moguće



je zaključiti utječe li sinergija na produktivnost rada u građevinskoj industriji. Matrica je formirana u postotnom (%) obliku.

### **Analiza višestruke korespondencije (MCA)**

Koristi se kada se odnosi između varijabli istražuju unakrsnim tablicama s više od dvije dimenzije. Deskriptivna statistička tehnika koja ispituje slaganje varijanti. MCA koristi tehniku redukcije dimenzija, određena je prema odgovorima sudionika, kao i odnosima, kompatibilnosti i sličnostima između varijabli. Daje grafički prikaz varijabli u izvornom skupu podataka. U svrhu najboljeg prikaza podataka, MCA maksimizira varijabilnost projiciranih točaka na sekvencijalnim glavnim osima. Pruža vizualizaciju podataka s dvodimenzionalnim kartama izvedenim putem dviju glavnih koordinata koje najbolje aproksimiraju udaljenosti između podatkovnih točaka u izvornom prostoru.

Nakon detaljnog opisa svakog od načina koji se koristi za analizu podataka, slijedi prikaz rezultata koji su dobiveni u analiziranom istraživanju.

### **Cronbach-ov $\alpha$ test pouzdanosti**

Koeficijent  $\alpha$  iznosi 0,972, što u tablici za unutaraju dosljednost i pouzdanost predstavlja „Izvršno“ u smislu pouzdanosti.

### **Shapiro-Wilk-W test normalnosti**

Rezultat p vrijednosti je manji od 0,05 što ukazuje na nenormalnu distribuciju i stoga bi analizu trebalo napraviti korištenjem ne-parametarskih statističkih testova.

### **Kruskal-Wallis-ov test**

Sudionici su odgovorili na 3 kategorije pitanja vezanih za njihovo radno iskustvo, a to su:

1. Koliko imaju godina iskustva u Lean i BIM području?
2. Rade li u akademskoj zajednici, privatnom ili javnom sektoru?
3. Imaju li znanja samo o Lean području, samo o BIM području ili o kombinaciji Lean-BIM-a?

Kruskal-Wallis-ovim testom istražilo se mijenja li se utjecaj sinergija pomoću ove 3 kategorije pitanja. Rezultat govori da postoji značajna razlika ako je vrijednost p manja od 0,05 u odnosu na stanje kada je vrijednost p veća od 0,05.

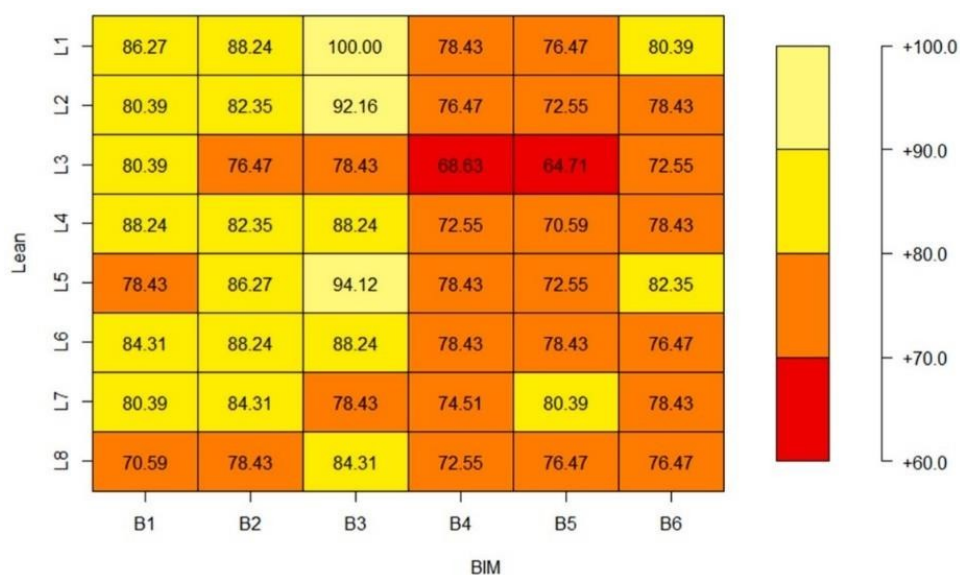
Na slici 16 prikazani su rezultati. Vidljivo je da se učinak sinergija L2-B3, L2-B4, L3- B2, L4-B3, L4-B4 i L8-B1 na produktivnost rada razlikuje ovisno o iskustvu sudionika. Broj godina iskustva ima velik značaj u ovom istraživanju jer sudionik s manjim brojem godina iskustva ima drugačije mišljenje i stav nego iskusan znalac u tom području koji ima preko 10 godina iskustva. Također, učinak sinergije L1-B1 i L3-B1 na produktivnost rada razlikuje se ovisno o promjeni predmetnih znanja sudionika.

| Kod   | Kruskal Wallis test |        |                     | Kod   | Kruskal Wallis test |        |                     |
|-------|---------------------|--------|---------------------|-------|---------------------|--------|---------------------|
|       | Iskustvo            | Rad    | Poznavanje predmeta |       | Iskustvo            | Rad    | Poznavanje predmeta |
| L1-B1 | 0,2052              | 0,5678 | <b>0,0169</b>       | L5-B1 | 0,1518              | 0,5130 | 0,6137              |
| L1-B2 | 0,2504              | 0,2019 | 0,1805              | L5-B2 | 0,3852              | 0,2995 | 0,7340              |
| L1-B3 | 0,0676              | 0,1031 | 0,0806              | L5-B3 | 0,7958              | 0,5465 | 0,1762              |
| L1-B4 | 0,5922              | 0,5844 | 0,4154              | L5-B4 | 0,6447              | 0,3138 | 0,8425              |
| L1-B5 | 0,3013              | 0,9835 | 0,9507              | L5-B5 | 0,6009              | 0,0634 | 0,4282              |
| L1-B6 | 0,6635              | 0,1928 | 0,8254              | L5-B6 | 0,6689              | 0,4147 | 0,6954              |
| L2-B1 | 0,1630              | 0,3389 | 0,4574              | L6-B1 | 0,4891              | 0,2298 | 0,2836              |
| L2-B2 | 0,2070              | 0,9417 | 0,3099              | L6-B2 | 0,6424              | 0,8655 | 0,0766              |
| L2-B3 | <b>0,0182</b>       | 0,5852 | 0,4690              | L6-B3 | 0,7589              | 0,5092 | 0,5424              |
| L2-B4 | <b>0,0295</b>       | 0,7345 | 0,9874              | L6-B4 | 0,5022              | 0,2510 | 0,9040              |
| L2-B5 | 0,6318              | 0,7462 | 0,4837              | L6-B5 | 0,5523              | 0,2898 | 0,4707              |
| L2-B6 | 0,6824              | 0,2234 | 0,4436              | L6-B6 | 0,2884              | 0,0987 | 0,5925              |
| L3-B1 | 0,6130              | 0,4266 | <b>0,0327</b>       | L7-B1 | 0,4263              | 0,3424 | 0,2596              |
| L3-B2 | <b>0,0257</b>       | 0,4261 | 0,3696              | L7-B2 | 0,2516              | 0,3465 | 0,1466              |
| L3-B3 | 0,1613              | 0,7017 | 0,1323              | L7-B3 | 0,3445              | 0,2032 | 0,4668              |
| L3-B4 | 0,2392              | 0,7189 | 0,8998              | L7-B4 | 0,2173              | 0,2395 | 0,8808              |
| L3-B5 | 0,6031              | 0,9549 | 0,9216              | L7-B5 | 0,3781              | 0,1221 | 0,5131              |
| L3-B6 | 0,4428              | 0,3176 | 0,7758              | L7-B6 | 0,3110              | 0,1381 | 0,3753              |
| L4-B1 | 0,1047              | 0,8347 | 0,0797              | L8-B1 | <b>0,0486</b>       | 0,4598 | 0,1110              |
| L4-B2 | 0,2101              | 0,6558 | 0,2807              | L8-B2 | 0,3968              | 0,1856 | 0,1953              |
| L4-B3 | <b>0,0190</b>       | 0,1051 | 0,6258              | L8-B3 | 0,0945              | 0,2893 | 0,6686              |
| L4-B4 | <b>0,0385</b>       | 0,1741 | 0,8465              | L8-B4 | 0,9189              | 0,5652 | 0,6604              |
| L4-B5 | 0,3923              | 0,0757 | 0,9003              | L8-B5 | 0,1828              | 0,3631 | 0,8440              |
| L4-B6 | 0,0904              | 0,0940 | 0,8535              | L8-B6 | 0,8376              | 0,3467 | 0,4157              |

Slika 16.: Rezultati p vrijednosti Kruskal Wallis testa (Karataš i Budak, 2023)

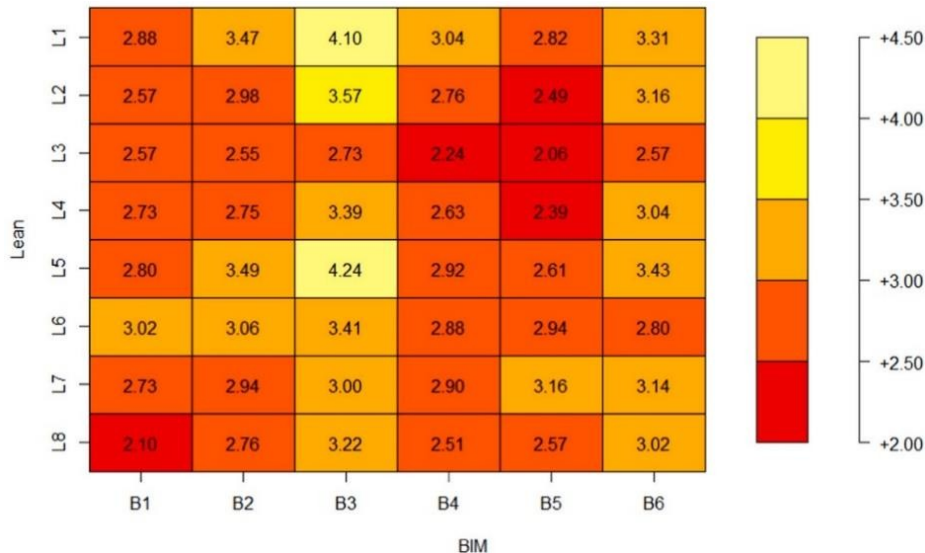
### Matrica srednjeg rezultata

Na slici 17 prikazana je matrica postotka sinergije Lean-BIM-a koja je nastala u skladu s dobivenim odgovorima sudionika. Na slici se može primijetiti da postoji velika sinergija između L1-B3, L2-B3 i L5-B3, a postotci iznose 100.00, 92.16 i 94.12. S druge strane postotci s najmanjom sinergijom iznose 68.63 i 64.71, te se nalaze između u L3-B4 i L3-B5. Matrica sadrži raznolike postotke sinergije, međutim sve interakcije imaju nekakvu sinergiju.



Slika 17.: Matrica postotka sinergije Lean-BIM-a (Karataš i Budak, 2023)

Na slici 18 je matrica srednjeg rezultata prema utjecaju Lean-BIM sinergije na produktivnost rada. Sinergije koje najviše utječu na produktivnost rada nalaze se između L5-B3, L1-B3 i L2-B3, a njihove vrijednosti iznose 4.24, 4.10 i 3.57. Suprotno tome, sinergije s najmanjim utjecajem na produktivnost rada nalaze se između L3-B5, L8-B1, L3-B4, L4-B5 i L2-B5.



**Slika 18.:** Matrica srednjeg rezultata prema utjecaju Lean-BIM sinergije na produktivnost rada (Karataš i Budak, 2023)

### Analiza višestruke korespondencije (MCA)

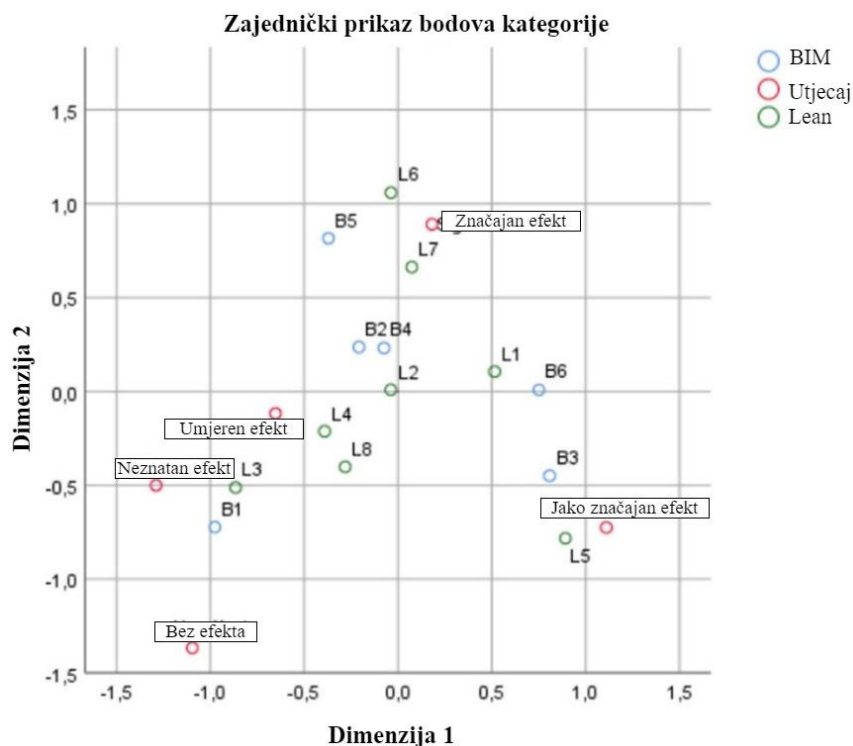
Prikazuje međusobno podudaranje Lean principa i BIM funkcija u stupnju utjecaja Lean-BIM sinergije na produktivnost rada. Na x-osi nalazi se „Dimenzija 1“, dok je na y-osi „Dimenzija 2“. Dimenzija 1 objašnjava 42,715% varijance, a dimenzija 2 objašnjava 37,030% varijance, i s obzirom na to ukupna varijanca je 79,745%. BIM funkcije imaju visoku posebnost u Dimenziji 1, a Lean principi u Dimenziji 2. Rezultati analize višestruke korespondencije glase:

- Ima jaku korespondenciju između L5 i B3
- Ima jaku korespondenciju između L1 i B6
- Ima jaku korespondenciju između L6 i B5 i između L7 i B5
- Ima jaku korespondenciju između L2 i B2 i između L2 i B4
- Ima jaku korespondenciju između L3 i B1
- Načela L4 i L8 nemaju snažnu korespondenciju ni s jednom BIM funkcijom. Međutim, može se reći da ova Lean načela imaju slabu korespondenciju s B1, B2 i B4
- Ima jaku korespondenciju između L6 i L7
- Ima jaku korespondenciju između L2, L4 i L8
- Načela L1, L3 i L5 nemaju jaku korespondenciju s drugim Lean načelima
- Ima jaku korespondenciju između B2 i B4
- Ima jaku korespondenciju između B3 i B6

- Funkcije B1 i B5 nemaju jaku korespondenciju s drugim BIM funkcijama

Usklađenost Lean principa i BIM funkcija prema stupnju utjecaja na produktivnost rada glasi:

- Sinergija L5-B3 ima jaku korespondenciju s "vrlo značajnim učinkom"
- Sinergija L1-B6 korespondira između "značajnog učinka" i "vrlo značajnog učinka"
- Sinergije L6-B5 i L7-B5 imaju jaku korespondenciju s "značajnim učinkom"
- Sinergije L2-B2 i L2-B4 odgovaraju između "umjerenog učinka" i "značajnog učinka"
- Sinergija L3-B1 ima snažnu korespondenciju s "blagim učinkom"
- Nijedna od analiziranih sinergija nema korespondenciju s "bez učinka"



**Slika 19.:** Vizualizacija analize višestruke korespondencije na dvije dimenzije (Karataš i Budak, 2023)

Zaključno, ovim istraživanjem potvrđene su sinergije između Lean-a i BIM-a. Potvrđene su i mnoge prednosti BIM funkcija kao što su: kontrola sukoba alata za 4D vizualizaciju, osnovni identifikator utvrđivanja i ispravljanja grešaka u dizajnu, automatsko kreiranje zadataka u planiranju, kreiranje simulacije procesa, rješavanje problema konstruktivne sposobnosti i sprječavanje pogrešaka pri radu. Ovim istraživanjem dokazano je da postoje sinergije između ovih dvaju principa tijekom cijelog životnog ciklusa projekta. U rezultatima je prikazano da je više od 75 % sudionika potvrdilo da je sinergija postojana u fazi izvođenja konstrukcije koja je i bila predmet istraživanja. Međutim, neka Lean relevantna načela variraju u jačini korespondencije s BIM funkcijama, od takvih ističu se "Odabiranje odgovarajućeg pristupa kontroli proizvodnje (L4)" i "Odlazak i uvjeravanje na licu mjesta (L8)". Neke od prednosti

ovakve sinergije su: smanjenje kašnjenja u rasporedu projekta i prekoračenja troškova, smanjenje otpada i kao rezultat toga povećavana produktivnost. Utvrđeno je da je sinergija koja najviše pridonosi povećanju produktivnosti sinergija između načela "Smanjivanje vrijednosti u konstrukciji (L1)", Smanjivanje trajanja proizvodnog ciklusa (L2) i "Korištenje vizualnog upravljanja (L5)" s "4D vizualizacijom procesa izgradnje i rasporeda (B3)" funkcija. Korištenje 4D vizualizacije i alata za praćenje u stvarnom vremenu BIM sustava čini snažnu sinergiju i korespondenciju s njegovim Lean principima. Kombinacija Lean-a i 4D planiranja omogućila je prepoznavanje nepredviđenih problema i njihovo pravovremeno rješavanje.

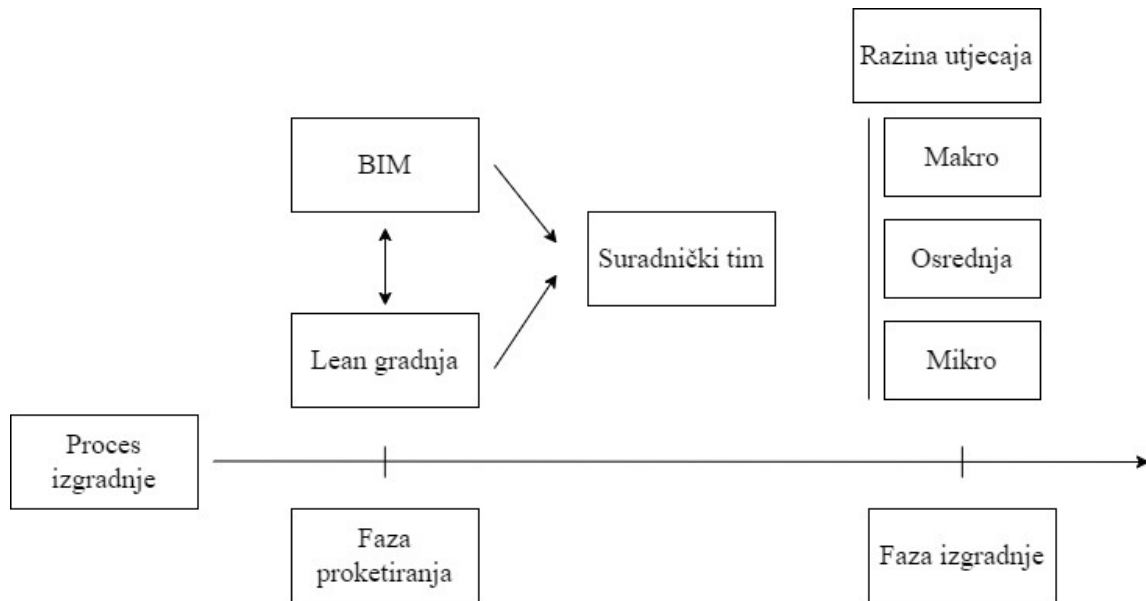
Korištenjem 4D alata, građevinski timovi mogu učinkovito usmjeriti svoj tijek rada i osigurati da svi aspekti njihovih projekata budu temeljito procijenjeni i optimizirani. Funkcija vizualizacije građevinskih projekata je od velike važnosti i u budućnosti se s pomoću nje planira veliki pomak u produktivnosti. Za uspješni postupak, ključno je integrirati 4D alate s dijagramom toka izvođenja radova i šire – svih aktivnosti koje se provode u ostvarenju građevinskog projekta. Ovim istraživanjem utvrđeno je da je najbolji način za povećanje produktivnosti rada kombinacija vizualnog upravljanja (L5) i 4D vizualizacije procesa izgradnje i rasporeda procesa rada (B3). S druge strane, sinergije između načela „Smanjenje veličine serije (L3)” i „Online/elektroničke komunikacije temeljene na objektima (B4)” i „Prilagođenog dohvaćanja podataka i manipulacije (B5)” funkcionira te između „Odlazak i uvjeravanje na licu mjesta (L8)” i funkcija “Automatizirana procjena troškova (B1)” utječu na produktivnost rada u manjoj mjeri i ne postoji jaka međusobna korespondencija (Karataš i Budak, 2023).

#### 4.2. Kombinacija BIM-a i Lean-a prema poboljšanju kooperativnosti

U ovom istraživanju (Brathen, 2016) ispituje se produktivnost rada u kombinaciji primjene BIM-a i Lean-a. Istraživanje je provedeno 2016. godine od strane istraživača Ketil Brathen-a. Lean se u ovom djelu sastoji od 2 principa, a to su: „co-location“ i „takt-time“ planiranje. „Co-location“ je način rada gdje sudionici projekta rade fizički na istom mjestu, u ovom slučaju u istoj prostoriji. Fokus je na olakšanoj komunikaciji, suradnji, razgovoru, brzom reagiranju, donošenju odluka i produktivnosti. U građevinskoj industriji nije moguće provesti „co-location“ na svakom projektu zbog različitih uvjeta koji moraju biti zadovoljeni. „Takt-time“ planiranje dio je Lean-a koji se fokusira na planiranje i raspodjelu aktivnosti i resursa da bi se održao kontinuitet rada na gradilištu. Cilj je da se postigne uhodani ritam i tempo rada s pomoću kojeg se izbjegava gubitak vremena, a povećava produktivnost. Interakcijom BIM-a i Lean-a, ovim radom želi se dokazati utjecaj na produktivnost tima. Glavni cilj je ispitati utjecaj BIM-a i Lean-a na ovaj projekt (Brathen, 2016).

Provedeno je istraživanje (Brathen, 2016) u Norveškoj čija je tema projektiranje zgrade sveučilišta. Naručitelj ovog projekta je Statsbygg. BIM i Lean svakako zasebno utječu na dobrobit građevinskih projekata i produktivnost, međutim ova dva pojma su neovisna jedan o

drugom. Pretpostavka je da djeluju pozitivno u kombinaciji, a to je upravo predmet istraživanja ovog rada. Na sljedećoj slici je grafički prikaz istraživanja.



Slika 20.: BIM, Lean gradnja i suradnički tim (Brathen, 2016)

Vidljivo je da kombinacija BIM-a i Lean-a u zajedničkom radu daje 3 utjecajne razine, a to su: mikro, osrednja i makro. Mikro-razina se temelji na pojedinačnom procesu, osrednja-razina na grupi, a makro-razina na projektu kao jednoj cjelini. BIM i Lean su neovisne varijable, dok je zajednički rad ovisna varijabla. Podaci za ovo istraživanje su se prikupljali s pomoću intervjua. Intervjuirali su se voditelji projekta, suradnici, članovi tima i članovi agencije Statsbygga. Zadatak projektnog tima bio je napraviti projekt s ciljem primjene BIM-a i Lean-a, zajedno sa „co-location“ i „takt-time“. Međutim, tijekom faze planiranja veći fokus je bio na BIM-u i „co-locationu“, dok se „takt-time“ zanemario. Sudionici projekta iako su pohađali edukaciju vezanu za ključne pojmove, i dalje nisu bili upoznati s „takt-time“ načinom planiranja. Fokus je bio na korištenju BIM-a u posebno određenim radnim uvjetima. Naime, suradnici su dva puta tjedno morali biti u zajedničkom uredu i tako obavljati posao. Ovakav princip rada dio je Lean-a i podrazumijeva lakše donošenje odluka, povećanu produktivnost, olakšava komunikaciju i niz drugih pozitivnih značajki. Uredski prostor bio je namješten da odgovara boravku sudionika te su imali svu potrebnu opremu i uslugu. Intervjuiranjem suradnika projekta u fazi projektiranja utvrđeno je da su suradnici još od prije bili upoznati s BIM-om. Sudionici ovog projekta su se već međusobno dobro poznavali jer ovo nije prvi projekt na kojem rade zajedno, te je u ovom istraživanju stavljen fokus na ovu činjenicu. Potvrdili su da im je BIM bio od velike pomoći te da im je olakšao rad i suradnju jer su se svi koristili jednim zajedničkim modelom koji je omogućio izravan pristup svim informacijama. Također, sudionici su podržali da korištenje „co-location-a“ donosi pozitivne značajke. Naglasili su da su takvim radom ostvarili bolje međuljudske odnose i veće poslovne uspjehe. Pitanja koja se protežu kroz projekt se rješavaju puno brže i lakše. Naime, problemi se iznose jasno i glasno te se rješavaju odmah, bez slanja

mailova, poruka, poziva itd. Također, i svi prisutni sudionici projekta slušaju rasprave i sudjeluju ako imaju neku ideju i znaju pomoći. U konačnici, postignut je timski rad. Ovo istraživanje je potvrdilo povećanje produktivnosti korištenjem BIM-a i Lean-a, ali s druge strane pojavljuju se i nedostaci. Neki od nedostataka odnose se na profesionalnu usamljenost. Radnici su se navikli jedni na druge i na takvu radnu okolinu i ako dođe do drugačijeg radnog okruženja, tj. samostalnog rada, oni se osjećaju izgubljeno i nedostaju im njihovi suradnici. S ovim problemom se susreću samo pojedinci stoga je ovo problem mikrorazine. Zamjerka koja se tiče cijelog projekta, a ne samo pojedinaca odnosi se na neprovođenje „takt-time-a“ kroz ovo istraživanje. Takav princip je bio nepoznat suradnicima, ali to nije razlog ignoriranja jer su postojale edukacije na tu temu.

Nije u potpunosti ispitan utjecaj Lean-a. Možda bi rad na projektu bio još produktivniji korištenjem „takt-time-a“, ili ne? Nedostatak je što se Statsbygg kao naručitelj nije više angažirao po pitanju tog dijela i inzistirao na njegovoj provedbi (Brathen, 2016). Zaključno, ovo istraživanje je bilo korisno, te je dokazalo pozitivne strane korištenja BIM-a i Lean-a, i pojedinačno i u kombinaciji. Dokazalo se da je potrebno koristiti modernizaciju tehnologije i biti u korak s digitalizacijom. Produktivnost rada se može povećati na različite načine. Bitno je naglasiti da je ovo slučaj gdje se radna grupa poznavala od prije, što ne znači da bi se jednaka produktivnost postigla da se radi o nepoznatoj grupi gdje su suradnici stranci jedni drugima, odnosno gdje zajednički posao nije uhodan od ranije. Upravo zbog toga, mora se napomenuti da je svako istraživanje slučaj za sebe, te da je potrebno ovaj način rada primijeniti na različitim grupama ljudi i u različitim situacijama. Svaki pojedinac je osoba za sebe, isto tako različitim osoba odgovaraju različiti uvjeti i principi, sukladno tome teško je pronaći odgovarajući način kako udovoljiti svima, a da produktivnost bude povećana.

#### **4.3. Lean i BIM: Međusobno nadopunjavanje za bolje upravljanje projektima**

Naredno istraživanje koje se analiziralo provedeno je u Rusiji. U posljednjih 20 godina bila je jako loša interakcija između Lean-a i BIM-a, međutim građevinska industrija potvrđuje da se takvo stanje u potpunosti promijenilo i da je došlo do popularizacije ovih dvaju koncepata. Na tržištu je puno prije do izražaja došao BIM, dok se Lean-u nije posvećivalo puno pažnje. Početak istraživanja BIM-a i Lean-a u kombinaciji započelo je prije desetak godina u SAD-u, gdje su se navele zajedničke strane Lean i BIM koncepata. Ovo istraživanje (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016) posvećeno je unaprjeđenju rada u građevinskoj industriji pomoću BIM-a i Lean-a u kombinaciji. Koncept Lean gradnje nije dovoljno razvijen u Rusiji. Na temelju poznatih postojećih činjenica o dobrobiti sinergije između BIM-a i Lean-a, u ovom istraživanju prikazana je detaljnija sistematizacija mogućnosti oživljavanja načela Lean gradnje uz korištenje BIM-a. Na sljedećoj tablici prikazano je kako se mogu realizirati Lean principi s pomoću BIM-a. Također, prikazana je i mogućnost ispunjenja tog zadatka s pomoću BIM-a. Rezultati u tablici prikazuju

kako se 50 % Lean principa može u potpunosti realizirati s pomoću BIM-a, 25 % rezultata nudi djelomičnu realizaciju, a samo se dva principa ne mogu realizirati primjenom ove metode.

| Površina                     | Princip Lean gradnje                                 | Moguće učiniti pomoću BIM-a | Kako se to radi s BIM-om  | Faza projekta                             |
|------------------------------|--|-----------------------------|---|---|
| Protočni proces              | Smanjiti varijabilnost                               | +                           | Evaluacija različitih alternativa i detaljno planiranje procesa izgradnje kroz vizualizaciju  | Pred-izgradnja i izgradnja                |
|                              | Smanjiti vrijeme ciklusa                             | +                           | Učinkovito planiranje vremena i procesa kroz vizualizaciju i evaluaciju različitih alternativa  | Projektiranje, pred-izgradnja i izgradnja |
|                              | Smanjiti veličinu serije                             | +/-                         | Brza generacija i evaluacija različitih alternativa te detaljno planiranje procesa izgradnje kroz vizualizaciju   |   |
|                              | Povećati fleksibilnost                               | +                           | Brza generacija i evaluacija višestrukih dizajnerskih i građevinskih alternativa (posebno u situacijama kada se susrećemo s neizvjesnostima i rizičnim situacijama) |   |
|                              | Odabrati odgovarajući pristup kontroli proizvodnje   | +/-                         | Evaluacija različitih alternativa i detaljno planiranje procesa izgradnje kroz vizualizaciju  |   |
|                              | Standardizirati                                      | +                           | Detaljno planiranje i suradnja tijekom faza dizajna i izgradnje kroz vizualizaciju, integracija informacijskih modela u različitim fazama projekta                  |   |
|                              | Dizajnirati proizvodni sustav za protok i vrijednost | +/-                         | Detaljno planiranje procesa izgradnje kroz vizualizaciju koje rezultira većom vrijednošću zgrada za klijente  |   |
|                              | Koristiti vizualno upravljanje                       | +                           | Vizualizacija procesa, vizualna procjena alternativnih odluka   | Sve faze                                  |
|                              | Institut stalnog poboljšanja                         |                             |   |   |
| Proces stvaranja vrijednosti | Osigurati prenošenje zahtjeva naniže                 | -                           | -   | -   |
|                              | Osigurati sveobuhvatno prikupljanje zahtjeva         |                             |   |   |
|                              | Usredotočiti se na odabir koncepata                  | +                           | Vizualna evaluacija alternativnih koncepata   | Projektiranje                             |
| Rješavanje problema          | Provjeriti i potvrditi                               | +                           | Brza generacija i evaluacija višestrukih dizajnerskih i građevinskih alternativa (posebno u situacijama kada se suočavamo s neizvjesnostima i rizičnim situacijama) | Projektiranje, pred-izgradnja i izgradnja |
|                              | Konsenzus, razmotrite sve opcije                     | +                           | Online/elektronička komunikacija temeljena na objektima, vizualna evaluacija  |   |
| Partneri u razvoju           | Idite i uvjerite se sami                             | +/-                         | vidjeti i provjeriti promjene u višedimenzionalnom informacijskom modelu (umjesto posjeta samom gradilištu)   | Pred-izgradnja i izgradnja                |
|                              | Razviti proširenu mrežu partnera                     | -                           | -   | -   |

**Slika 21.:** Načela Lean izgradnje s mogućnostima korištenja BIM-a (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016)

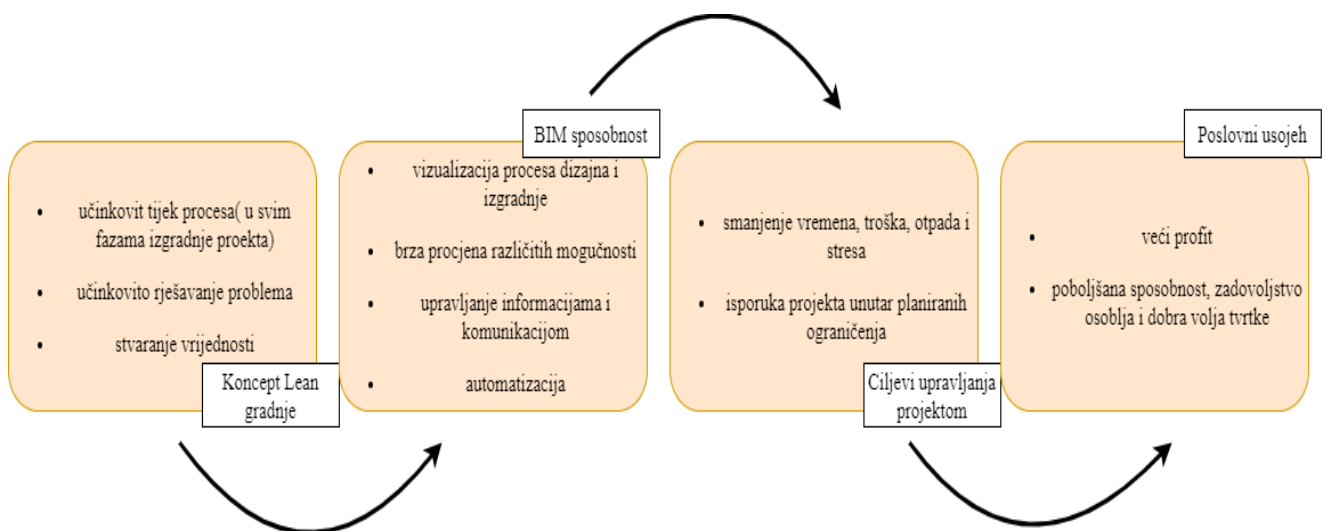
Ova je tablica od velike pomoći svim sudionicima u projektu, a posebice voditeljima projekta kojima omogućuje: poboljšanu suradnju cijelog tima na projektu, uklanjanje otpada svih vrsta te povećanu učinkovitost projekata. Ovakav princip mora dovesti do poboljšanja poslovanja u građevinarstvu. Nadalje, na slici 22 prikazana je veza između Lean principa i impresivnih BIM mogućnosti. Ovaj način dovodi do postizanja ciljeva u upravljanju građevinskim projektima. Ovakva kombinacija se popularno naziva „LeanBIM“. Na slici su vidljive specifične prednosti „LeanBIM-a“.



|   |   |
|---|---|
| Upravljanje kvalitetom i opsegom projekta | <ul style="list-style-type: none"> <li>• fokusiranje na vrijednost za klijenta od početka do kraja projekta</li> </ul>  |
| Upravljanje vremenom projekta             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• učinkovit i predvidljiv slijed</li> </ul>  |
| Upravljanje troškovima projekta           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• smanjenje nepotrebnih troškova</li> </ul>  |
| Upravljanje dionicama projekta            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• povećanje vrijednosti za klijenta</li> </ul>   |
| Upravljanje rizikom projekta              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• brza vizualna procjena promjena i alternativa koja omogućuje brzu reakciju na situaciju rizika</li> </ul>  |
| Upravljanje komunikacijom projekta        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• unaprijeđenje protoka informacija i komunikacije između partnera na projektu i lanca opskrbe, članova projektnog tima i menadžera, itd.</li> </ul> |
| Upravljanje ljudskim resursima projekta   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• standardizirani i kontrolirani protok članova projektnog tima</li> <li>• manje stresa i glatki rad projektnog tima</li> </ul>                      |
| Upravljanje nabavom projekta              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• omogućiti pravovremene isporuke materijala</li> <li>• učinkovito i predvidljivo slijedno postavljanje materijala</li> </ul>                        |

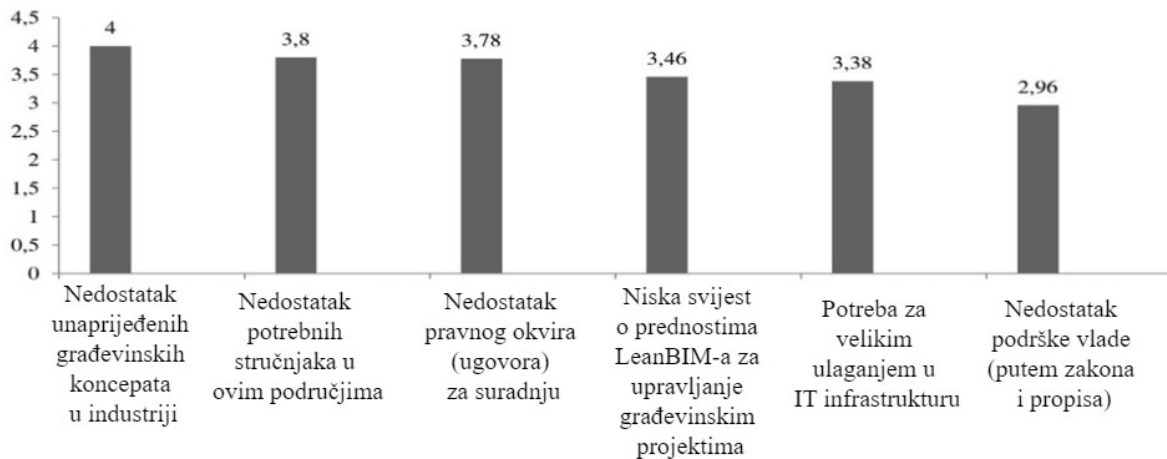
Slika 22.: Specifične koristi LeanBIM-a za područja upravljanja projektima (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016)

Na slici 23 je prikazan put do veće poslovne vrijednosti za građevinske tvrtke. Sve navedeno je posljedična veza „LeanBIM“ upravljanja projektom koja ima u cilju poslovni uspjeh. Početak su Lean koncepti, nakon kojih slijede BIM sposobnosti. Nakon što se utvrdi taj dio, dolaze na red ciljevi koji u sebi sadržavaju ključne zahtjeve: smanjenje vremena, troškova, otpada i stresa te isporuku unutar planiranih ograničenja. Na kraju je poslovni uspjeh koji je naposljetku i najbitniji, osiguravaju se veći profiti, sposobnosti i zadovoljstvo radnika te dobra volja tvrtke.



Slika 23.: Posljedična povezanost 'Lean-BIM-upravljanje projektom-poslovni uspjeh' (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016)

Kao i u svakom slučaju uvođenja promjena uvijek se pojave prepreke. Na sljedećoj slici su istaknuti izazovi pri implementaciji integriranih Lean i BIM metodologija u projekte građevinske industrije. Postotci se odnose na Rusiju jer je cijelo istraživanje provedeno za to područje. Najveće izazove predstavljaju nedostaci unaprijedenih konstrukcijskih koncepata u industriji i nedostaci stručnjaka u ovom području.



**Slika 24.:** Postupno razvrstavanje izazova s kojima se suočava prilikom implementacije LeanBIM-a u upravljanju građevinskim projektima (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016)

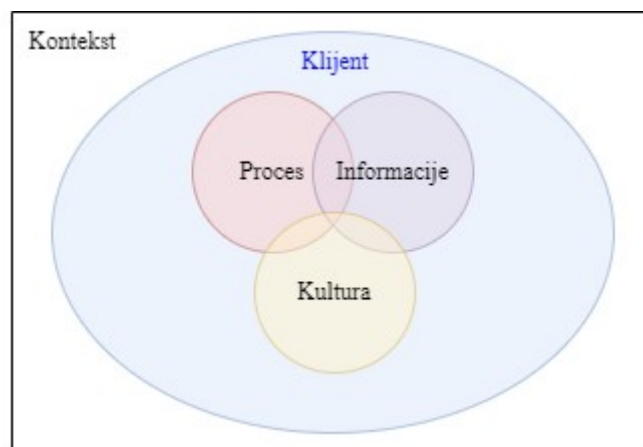
Zaključno, ovo istraživanje (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016) je pokazalo veliku korist od „LeanBIM-a“. Vrlo jasno je sve prikazano, nedostaci i prednosti kao i način implementacije i upotrebe. Ova dva koncepta uvelike pridonose jedan drugom. Lean ima kvalitete poput predvidljivosti i discipline, dok s druge strane nudi mogućnost učenja, suradnje i eksperimentiranja. Zaključno s ovim istraživanjem, sve prednosti i mogućnosti BIM-a se vrlo teško mogu ostvariti bez ugrađivanja modeliranja u Lean okruženje. Tvrtke koje se bave BIM-om na ozbiljnoj razini, gdje su suradnici vrlo dobro upoznati s istim, BIM bi trebao biti pozicioniran kao još jedan Lean alat (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016).

#### 4.4. Lean i BIM u lancu vrijednosti građevinske tvrtke studija slučaja

Korištenje Lean-a i BIM-a može promijeniti način isporuke projekata u građevinskim tvrtkama. Metodologija istraživanja koju su proveli Osorio-Gormez i suradnici, 2020-e godine podijeljena je u tri glavne faze, a to su: faza dijagnoze, evaluacija i poboljšanje procesa te kontrola i praćenje. Nadalje u tekstu svaka će faza biti detaljno objašnjena.

##### 1. Faza dijagnoze

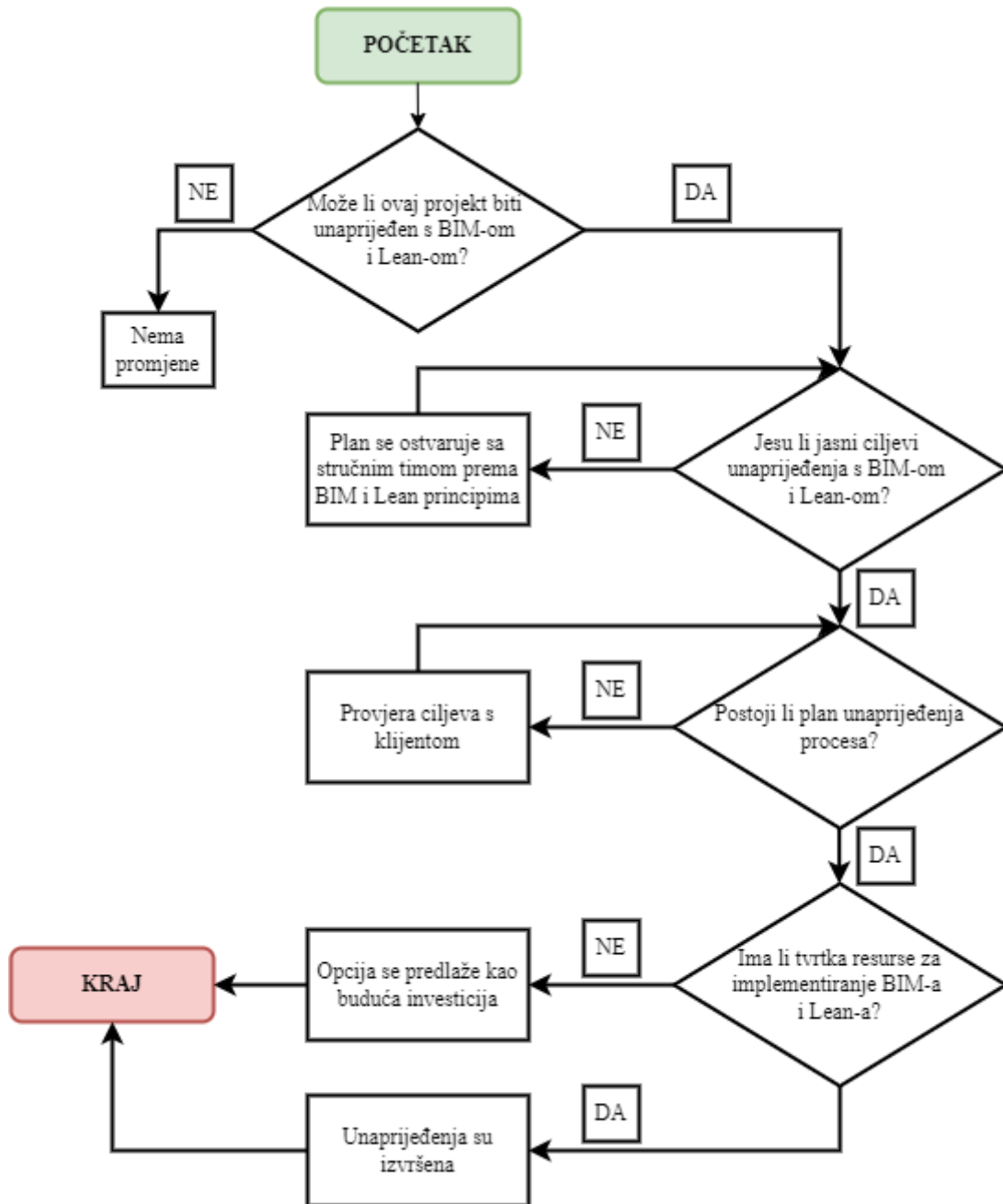
Za početak je bitno razumjeti strukturu tvrtke, zatim se skeniraju sve ključne operacije u tvrtki. Nakon što se identificiraju sve aktivnosti koje generiraju vrijednost za tvrtku, razvija se mapa procesa tvrtke. Mapom procesa stvara se strateški plan tvrtke te se identificiraju prednosti, uloge, resursi i protok informacija. Nakon mape procesa razvija se mapa toka vrijednosti koja se bavi pronalaženjem neučinkovitih procesa vezanih za komunikaciju, suradnju, dobavljače, transport i alate. Nakon razvoja mapa, potrebno je napraviti intervjue s pomoću kojih se sakupljaju informacije iz svih područja uključenih u stvaranje vrijednosti tvrtke. Broj sudionika u intervjuima varira te ovisi o mnogo faktora, međutim uvijek je bitno ispitati više menadžere i operativne djelatnike. Važno je da se pokrije cijela tvrtka te da se stvori što realniji pogled. Na slici 25 prikazane su dvije glavne grupe. Prva grupa je interna i predstavlja PIC ciklus koji se sastoji od: procesa, informacija i kulture, dok je druga grupa eksterna te se sastoji od spoja klijenata i konteksta. Internu okolinu predstavljaju tri faktora koja imaju značajan utjecaj na poduzeće. Promjenom tih triju faktora mogu se ostvariti pozitivne promjene. Eksterna okolina ima ograničen utjecaj, međutim poznavanjem tih ograničenja i očekivanja može se postići znatna konkurentna prednost u odnosu na ostale konkurente. Područje na slici gdje se nalazi klijent identificira neke veće nedostatke vezane za tržište te pokušava uskladiti očekivanja klijenta s vrijednostima tvrtke. Kontekst uzima u obzir politiku, gospodarstvo, kulturu, socijalna pitanja itd. S pomoću prikupljenih podataka teži se procesu poboljšanja vrijednosti u lokalnom, nacionalnom i međunarodnom kontekstu.



**Slika 25.:** PIC ciklus, klijent i kontekst (Osorio-Gomez i sur., 2020)

## 2. Evaluacija i poboljšanje procesa

Pregledom mape procesa uspostavlja se procedura za analizu procesa te se sagledava kakva se optimizacija može postići. Sva unaprjeđenja i poboljšanja moraju se temeljiti na Lean i BIM principima i na njihovoj interakciji. Na sljedećoj slici je prikazan tok za analizu procesa. Za uspješnu analizu procesa potrebno je utvrditi jesu li moguća takva poboljšanja. Ova slika je temelj za unaprjeđenje jer predstavlja utvrđenu mapu koja sadrži put do poboljšanja.



Slika 26.: Dijagram toka za poboljšanje procesa prema BIM-u i Lean-u (Osorio-Gomez i sur., 2020)

Potrebno je uspostaviti plan poboljšanja svakog procesa koji mora biti precizan i jasan. Svaka tvrtka je slučaj za sebe pa tako i svaka tvrtka treba imati svoj plan. Plan mora biti smislen i prilagođen svim vrijednostima tvrtke. Lean i BIM osiguravaju poboljšanja koja treba znati provesti u stvarnost, a zadaća tvrtke je da ima sve potrebne resurse za provedbu poboljšanja. S pomoću ovakvog dijagrama toka uspjesi su zajamčeni, a ostatak provedbe u stvarnost ostaje na volji tvrtke.

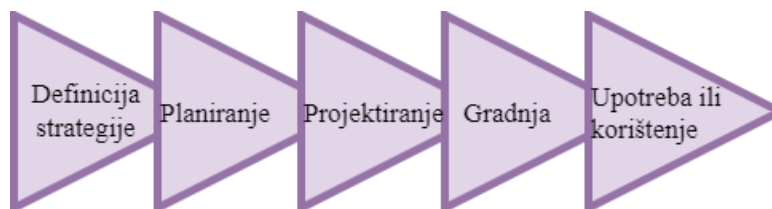
### 3. Praćenje i kontrola

Provedena poboljšanja je potrebno kontrolirati i provjeravati ispunjavaju li ciljeve. Bez kontrola je nemoguće procijeniti napredak. Preporučljivo je organizirati periodične kontrole da se vidi utječu li promjene na produktivnost. Uz sve navedeno, potrebno je uspostaviti postupak kontinuiranog poboljšanja.

Ova metodologija u ovom istraživanju primijenila se na vodeću kolumbijsku građevinsku tvrtku. Tvrtka ima projekte po cijeloj Kolumbiji. U nastavku će navedena tvrtka biti opisana kroz sve faze ove metodologije.

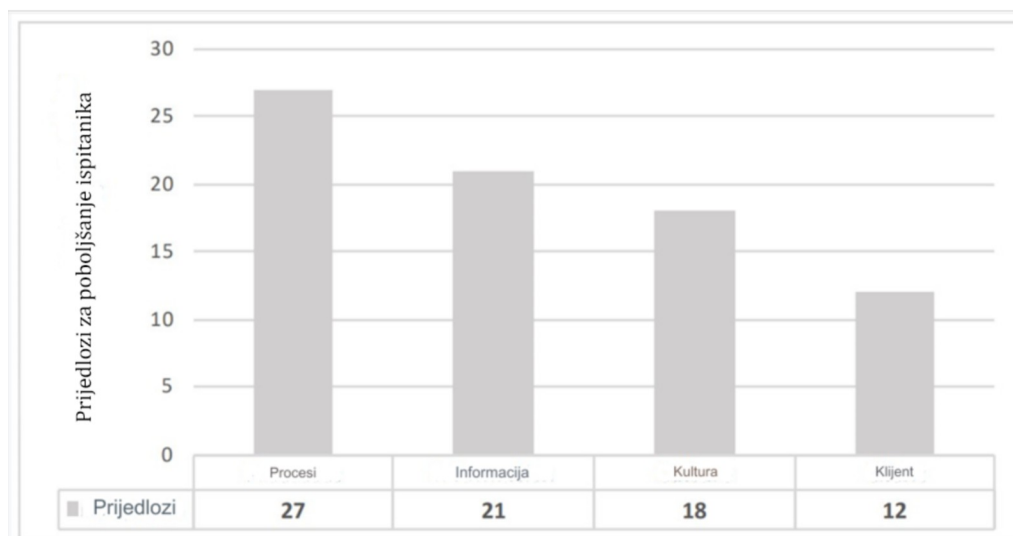
### 1. Faza dijagnoze

U fazi dijagnoze karta procesa je izgledala kao na slici 27. Međutim, navedeni procesi su prije implementacije Lean-a i BIM-a.



**Slika 27.:** Karta procesa prije implementacije BIM-a i Lean-a (Osorio-Gomez i sur., 2020)

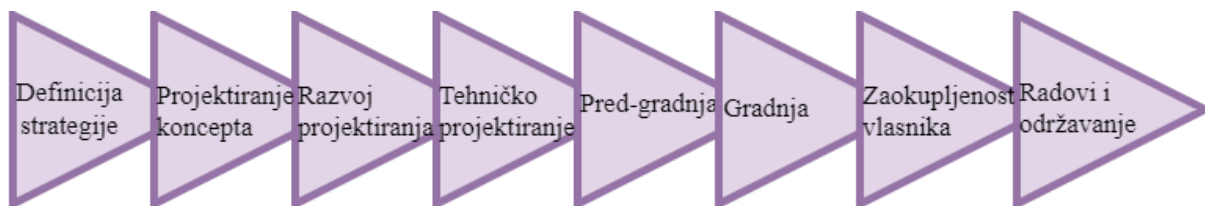
Nakon što je određena karta procesa, uslijedilo je intervjuiranje djelatnika tvrtke. Za početak bilo kojeg unaprjeđenja potrebne su informacije i mišljenja djelatnika tvrtke koji provodi istraživanje. Tako je i u ovom slučaju obavljeno 50 intervjua, što je rezultiralo s prijedlozima poboljšanja. Prijedlozi za poboljšanja su kategorizirani u procese, informacije, kulturu i klijenta. Broj prijedloga po kategorijama prikazan je na sljedećoj slici. Vidljivo je da je najviše poboljšanja moguće izvesti u procesima, dok se najmanje prijedloga odnosi na klijente.



**Slika 28.:** Prijedlozi poboljšanja ispitanika (Osorio-Gomez i sur., 2020)

## 2. Evaluacija i poboljšanje procesa

Sagledavajući sve prijedloge poboljšanja morao se odrediti kriterij za najkorisnije i najrelevantnije prijedloge. Tvrtka je odlučila da će uvažiti svaki prijedlog, ali s odgovarajućim redoslijedom važnosti provedbe. U ovoj fazi započeli su s Lean i BIM edukacijama. Najvažniju stavku za poboljšanje činile su mape procesa. S obzirom na to nova verzija mape je unaprijeđena, te je prikazana na slici 29. Mapi su dodane faze. Promjene su se objedinile i tako formirale potpuno drugačiju strukturu.



**Slika 29.:** Karta procesa nakon implementacije BIM-a i Lean-a (Osorio-Gomez i sur., 2020)

## 3. Kontrola i praćenje

Prijedlozi su uzeti u obzir, te je izvedeno poboljšanje svih odjela s implementacijom Lean-a i BIM-a. Opet su provedene kontrole isplativosti ovih promjena. Ako pri kontroli rezultati nisu u skladu s očekivanjima tvrtke, proces je ponovno vraćen na dijagram toka (Osorio-Gomez i sur., 2020). Kombinacijom Lean-a i BIM-a mogu se napraviti velike promjene i unaprijeđenja. Dokazano je da u toj kombinaciji ima mnoštvo pozitivnih stavki.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu predmet istraživanja je integracija Lean menadžmenta i BIM tehnologije u građevinskoj industriji s fokusom na njihovu popularnost, razloge kombiniranja te postojeće praznine u istraživanjima. Analizirana su postojeća istraživanja i rezultati, te je dan kritički osvrt na mogućnosti takvog pristupa u Republici Hrvatskoj. Lean menadžment se temelji na maksimizaciji produktivnosti uz smanjenje otpada, dok BIM omogućava učinkovitu razmjenu informacija kroz cijeli životni vijek građevine. Međutim, primjena ovih tehnologija suočava se s izazovima kao što su niska razina digitalizacije, nedovoljno obrazovanje i nedostatak IT vještina. Produktivnost u građevinarstvu je vrlo složena zbog raznolikosti poslova i njihovih učinaka unutar industrije. Efikasno upravljanje projektima i resursima može značajno poboljšati produktivnost, smanjiti troškove i vrijeme izgradnje, što i je glavni cilj Lean filozofije.

Upravljanje produktivnošću fokusira se na upravljanje procesima i ljudima s ciljem održavanja i povećanja produktivnosti što utječe na cjelokupni ekonomski doprinos građevinskog sektora. Napredak građevinske industrije je i dalje spor te zaostaje za drugim industrijama u pogledu produktivnosti. Na produktivnost utječu različiti faktori, od radne snage do klimatskih uvjeta. Radna snaga, kao glavni proizvodni resurs, ključna je za uspješnost projekata. Produktivnost se može poboljšati kroz pravilno ulaganje u obuku radnika, korištenjem naprednih tehnologija i alata, te efikasnim upravljanjem s radnim vremenom i resursima. Mjerenje produktivnosti može se provoditi različitim metodama i tehnikama, ali ne postoji univerzalno prihvaćen standard. Različite metode mjerenja mogu dovesti do različitih rezultata, a odabir prikladne metode je od presudne važnosti za točnost i uspjeh istraživanja. Kroz stalno unapređenje metoda i tehnika mjerenja, te identifikaciju i rješavanje ključnih faktora, građevinska industrija može postići značajan napredak u produktivnosti, što će se pozitivno odraziti na ukupni ekonomski rast i razvoj. Tradicionalan način rada u građevinarstvu u mnogim situacijama negativno utječe na kašnjenje, prekoračenje troškova te nedostatak koordinacije. Za poboljšanje takvih negativnih stavki koristi se sinergija Lean-a i BIM-a. Kombinacija BIM-a i Lean-a potkrijepljena istraživanjima koja se protežu kroz diplomski rad su potvrdila da kombinacija ovih dvaju pristupa donosi značajne prednosti, uključujući poboljšanu kvalitetu, smanjenje troškova i vremena te bolju komunikaciju među sudionicima projekta. S druge strane, s pomoću istraživanja utvrđeno je da rezultati istraživanja ukazuju na potrebu za poboljšanjem obrazovanja i prilagodbe na promjene kako bi se u potpunosti iskoristile prednosti Lean i BIM koncepta u građevinskoj industriji

**POPIS LITERATURE**

- [1] Bhargav, D., Kiviniemi, A., Koskela, L. J., Tzortzopoulos P. (2013) *Implementing Lean in construction: Lean construction and BIM*. London.
- [2] Bierman M., Marnewick A., Pretorius J. H. C. (2011) Productivity management in the South African civil construction industry – factors affecting construction productivity. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, Vol 58 No 3, September 2016, Pages 37-44, Paper 1253.
- [3] Brathen, K. (2016) *Combining BIM and Lean Construction : Towards enhanced collaborative working?* Norveška: Fafo & Norveško sveučilište znanosti i tehnologije.
- [4] Cerić, A., Završki I., Vukomanović, M., Ivić, I., Nahod M.-M. (2019) Implementacija BIM-a u održavanju građevina. *Građevinar*, 71 (2019) 10, 889-900.
- [5] Chang-liu, C. (2018) *Research on the application of BIM technology in the whole life cycle of construction projects*. Lanzhou, Kina: 2School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology.
- [6] Eroshkin S. Y. Kallaur G. Y., Papikian L. M., (2016) *Lean Construction and BIM: Complementing Each Other for Better Project Management. Review of Business and Economics Studies*, Volume 4, Number 4, 17-22.
- [7] Ghate, P. R., Minde P.R. (2016) *Importance of measurement of labour productivity in construction*. India: Department of Civil Engineering.
- [8] Karataš I., Budak, A. (2023) Investigating the impact of lean-BIM synergy on labor productivity in the construction execution phase. *Journal of Engineering Research*, 11 (2023), 322-333.
- [9] Kolarić, S., Vukomanović, M., Bogdan A. (2020) Analiza primjene BIM-a u hrvatskom graditeljstvu. *Građevinar*, 72 (2020) 3, 205-214.
- [10] Malisiovas, A. (2010) *Construction productivity: from measurement to improvement*. USA: University of Texas at Austin.
- [11] Michalski, A. Głodziński, E., Böde, K., (2022) Lean construction management techniques and BIM technology – systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 196 (2022), 1036–1043.
- [12] Osorio-Gomez, C.-C. Moreno-Falla, M.-J., Ospina-Alvarado, A., Ponz-Tienda, J.-L., (2020) *Lean Construction & BIM in the Value Chain of a Construction Company: A case study. Kolumbija*.
- [13] Žvorc M. (2013) Lean menadžment u neproizvodnoj organizaciji. *Ekonomski vjesnik*, God. XXVI, BR. 2/2013. str. 695-709.

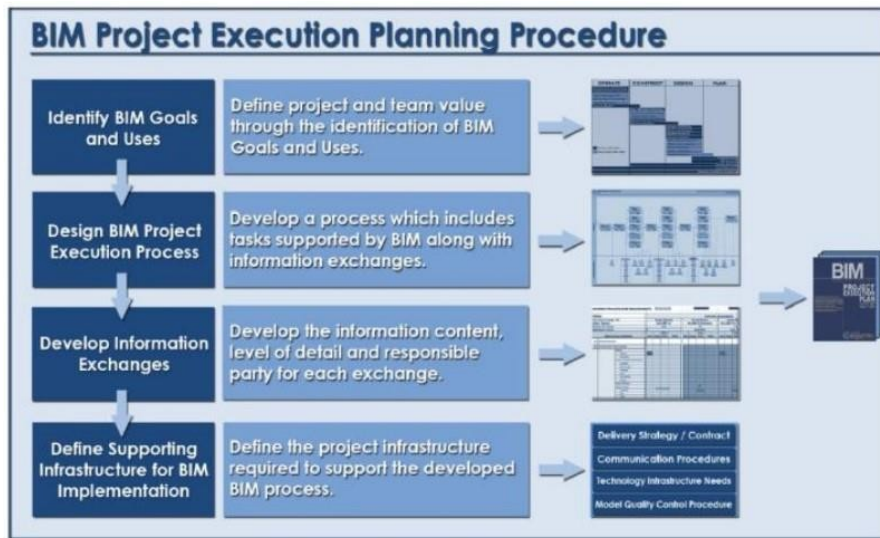


## POPIS SLIKA

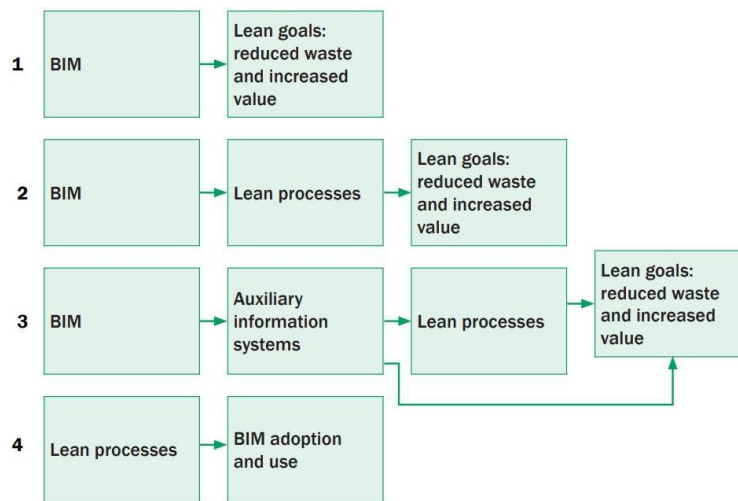
|  |    |
|--|----|
| Slika 1.: Procedura planiranja izvedbe BIM projekta (Chang-liu, 2018) .....  | 5  |
| Slika 2.: Konceptualna povezanost između BIM-a i Lean-a (Bhargav i sur., 2013) .....   | 6  |
| Slika 3.: Ključne poveznice između Lean gradnje i BIM-a (Michalski, Głodziński, Böde, 2022) .  | 8  |
| Slika 4.: Ključni pokretači za implementaciju Lean-a i BIM-a (Bhargav i sur., 2013) .....  | 9  |
| Slika 5.: Prednosti korištenja BIM-a i Lean-a (Bhargav i sur., 2013) .....   | 9  |
| Slika 6.: Promjene u stopama produktivnosti industrija tijekom godina (Karataš i Budak, 2023)<br>.....   | 10 |
| Slika 7.: Produktivnost = output/input (Malisiovas, 2010) .....  | 11 |
| Slika 8.: Tri osnovna elementa građevinarstva: vrijeme, cijena i kvaliteta (Malisiovas, 2010)  | 11 |
| Slika 9.: Stvarna, ostvariva i idealna produktivnost (Kim i sur., 2011) .....  | 12 |
| Slika 10.: Klasifikacija faktora na temelju kontroliranosti i varijabilnosti (Kim i sur., 2011) .....  | 13 |
| Slika 11.: Dijagram toka metodologije istraživanja (Karataš i Budak, 2023).....  | 18 |
| Slika 12.: Sinergijska matrica sastavljena između Lean principa i BIM funkcija (Karataš i Budak,<br>2023) .....  | 19 |
| Slika 13.: Iz koje zemlje se sudionici pridružuju prema svojim iskustvima i temama (Karataš i<br>Budak, 2023) .....  | 20 |
| Slika 14.: Iskustva sudionika prema načinu rada (Karataš i Budak, 2023) .....  | 20 |
| Slika 15.: Kategorije Cronbachov-og $\alpha$ koeficijenta pouzdanosti (Karataš i Budak, 2023) .....  | 21 |
| Slika 16.: Rezultati p vrijednosti Kruskal Wallis testa (Karataš i Budak, 2023) .....  | 23 |
| Slika 17.: Matrica postotka sinergije Lean-BIM-a (Karataš i Budak, 2023) .....   | 23 |
| Slika 18.: Matrica srednjeg rezultata prema utjecaju Lean-BIM sinergije na produktivnost rada<br>(Karataš i Budak, 2023) .....   | 24 |
| Slika 19.: Vizualizacija analize višestruke korespondencije na dvije dimenzije (Karataš i Budak,<br>2023) .....  | 25 |
| Slika 20.: BIM, Lean gradnja i suradnički tim (Brathen, 2016) .....  | 27 |
| Slika 21.: Načela Lean izgradnje s mogućnostima korištenja BIM-a (Eroshkin, Kallaur, Papikian,<br>2016) .....  | 29 |
| Slika 22.: Specifične koristi LeanBIM-a za područja upravljanja projektima (Eroshkin, Kallaur,<br>Papikian, 2016) .....  | 30 |
| Slika 23.: Posljedična povezanost 'Lean-BIM-upravljanje projektom-poslovni uspjeh'<br>(Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016) .....  | 30 |
| Slika 24.: Postupno razvrstavanje izazova s kojima se suočava prilikom implementacije<br>LeanBIM-a u upravljanju građevinskim projektima (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016) ..... | 31 |
| Slika 25.: PIC ciklus, klijent i kontekst (Osorio-Gomez i sur., 2020) .....  | 32 |
| Slika 26.: Dijagram toka za poboljšanje procesa prema BIM-u i Lean-u (Osorio-Gomez i sur.,<br>2020) .....  | 33 |
| Slika 27.: Karta procesa prije implementacije BIM-a i Lean-a (Osorio-Gomez i sur., 2020) .....   | 34 |
| Slika 28.: Prijedlozi poboljšanja ispitanika (Osorio-Gomez i sur., 2020) .....   | 34 |

Slika 29.: Karta procesa nakon implementacije BIM-a i Lean-a (Osorio-Gomez i sur., 2020) .. 35

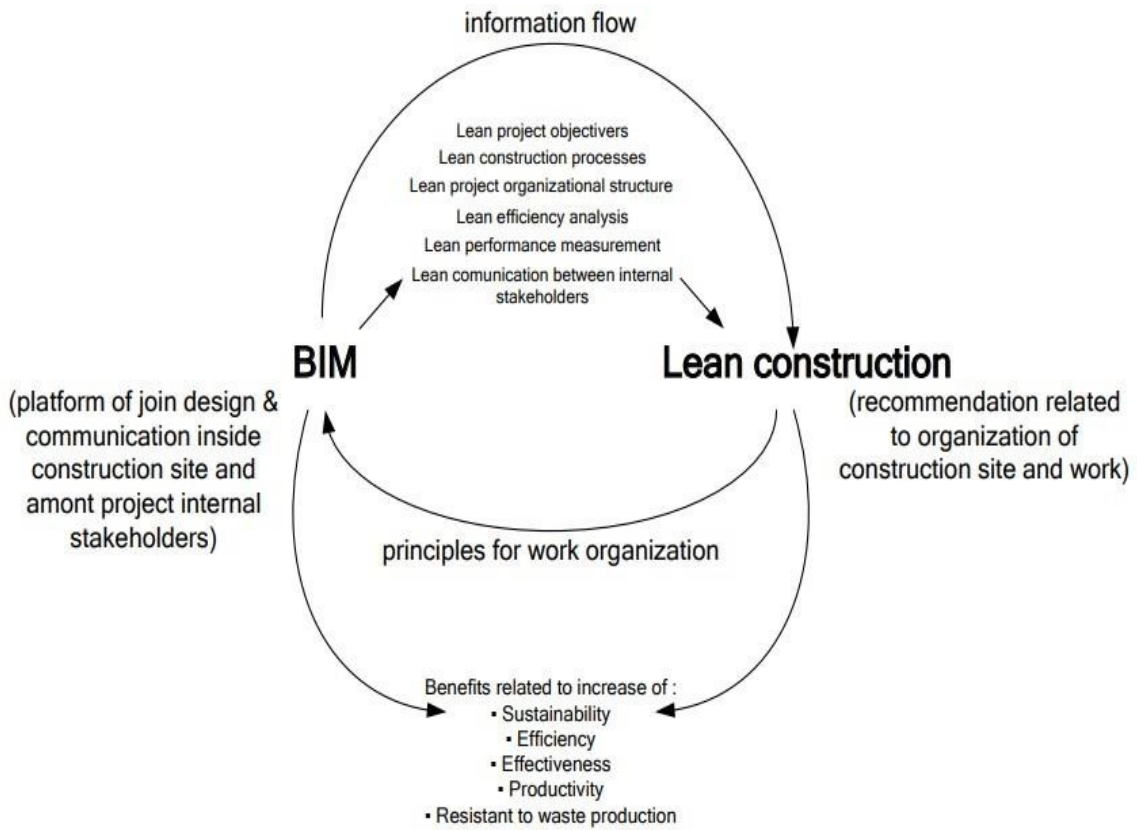
PRILOZI



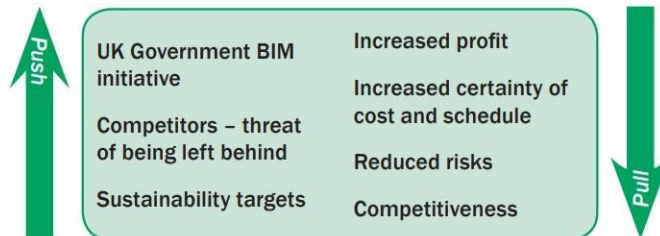
**Prilog A.:** BIM project execution planning procedure (Chang-liu, 2018)



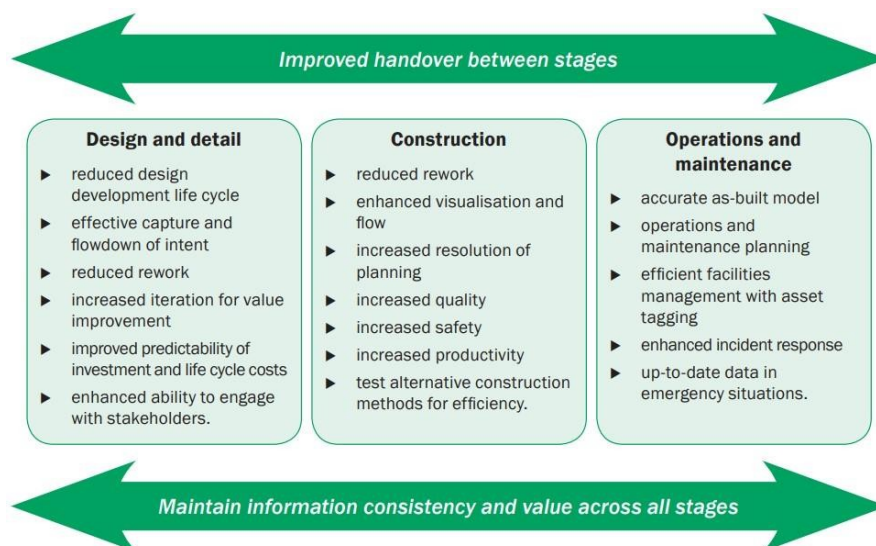
**Prilog B.:** Conceptual connections between BIM and Lean (Bhargava et al., 2013)



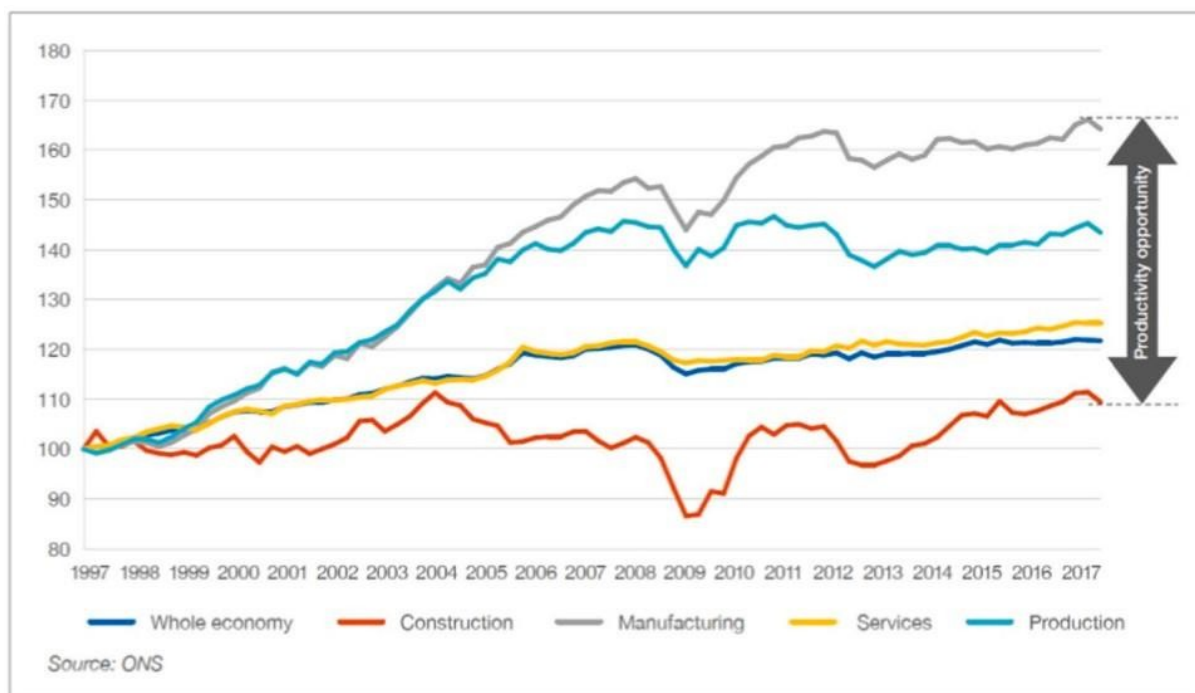
**Prilog C.:** The crucial linking points of lean construction and BIM (Michalski, Głodziński, Böde, 2022)



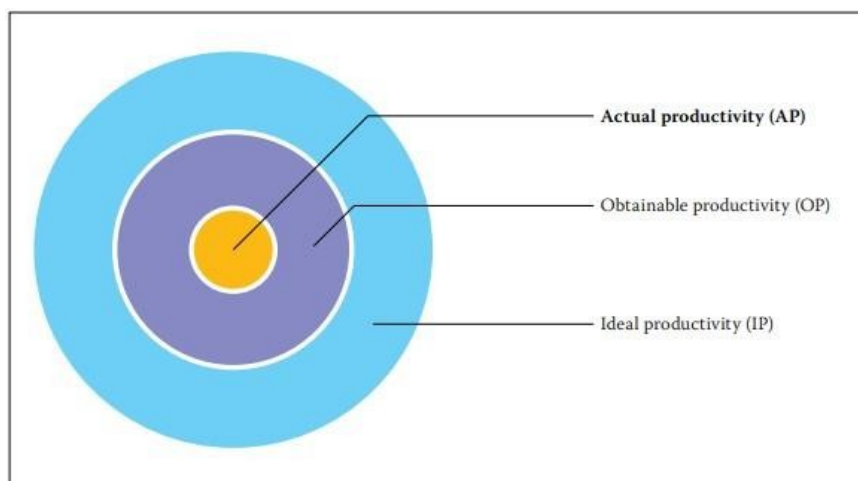
**Prilog D.:** Key drivers for Lean and BIM implementation (Bhargav i sur., 2013)



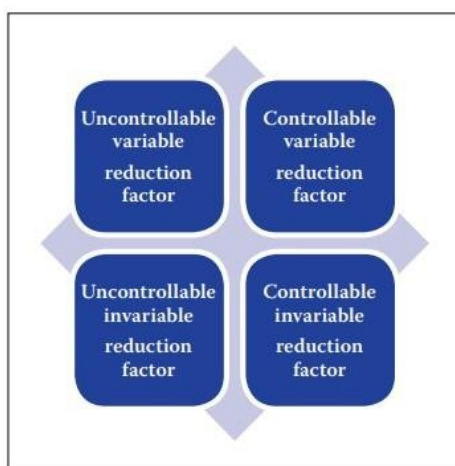
**Prilog E.:** Benefits of using Lean and BIM (Bhargava i sur., 2013)



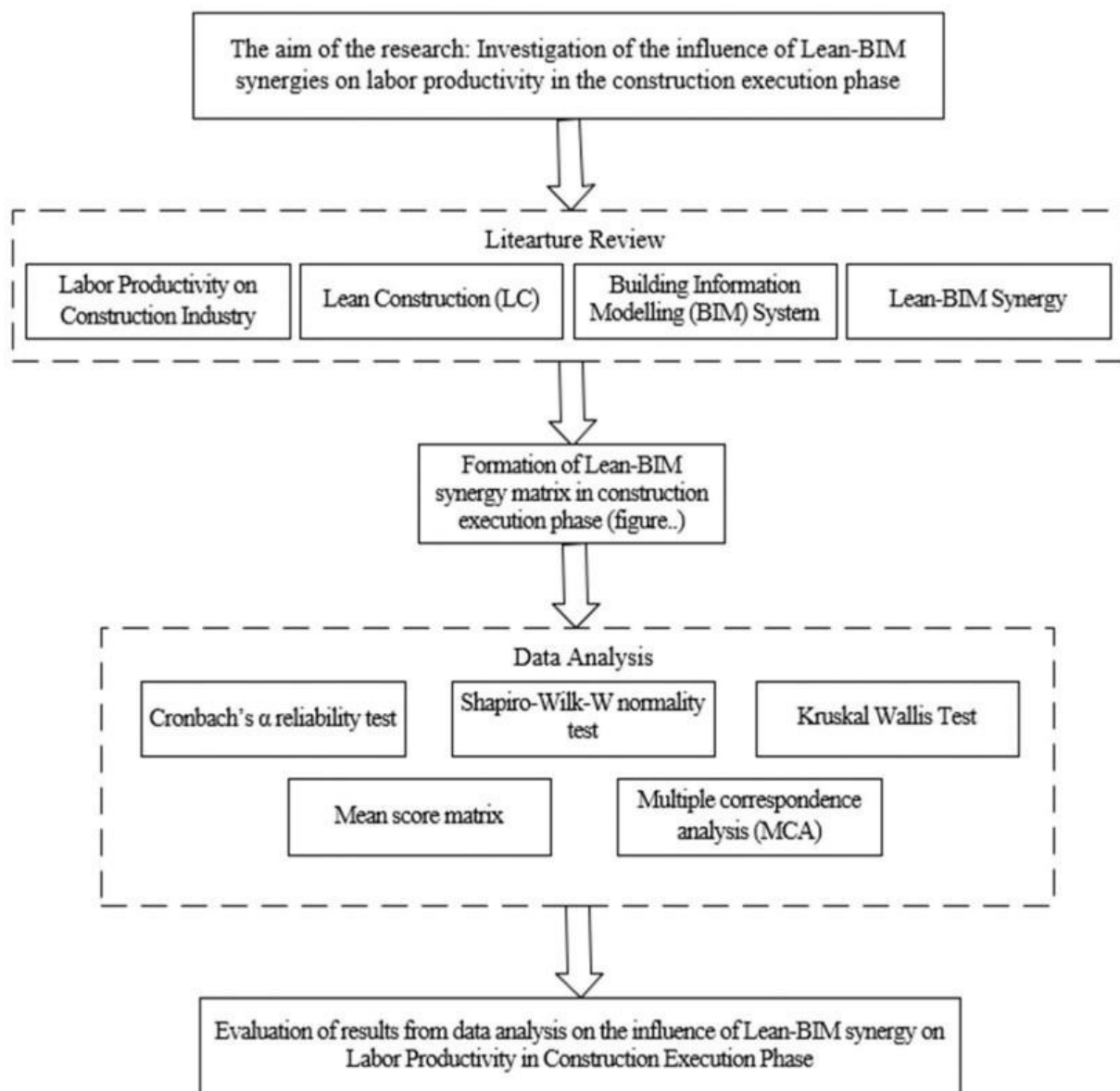
**Prilog F.:** Changes in productivity rates of industries over the years (Karataš i Budak, 2023)



**Prilog G.:** Actual productivity (Kim i sur., 2011)



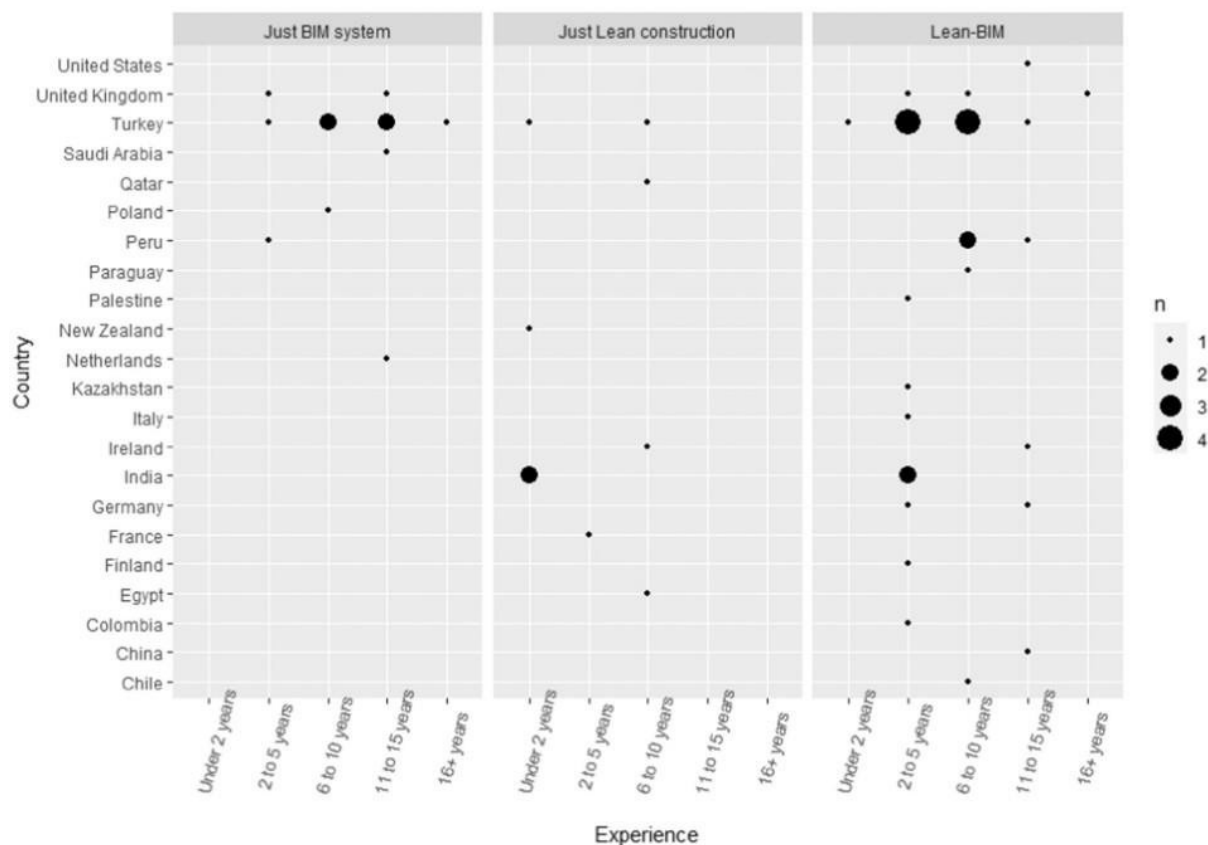
**Prilog H.:** Classification of factors based on controllability and variability (Kim i sur., 2011)



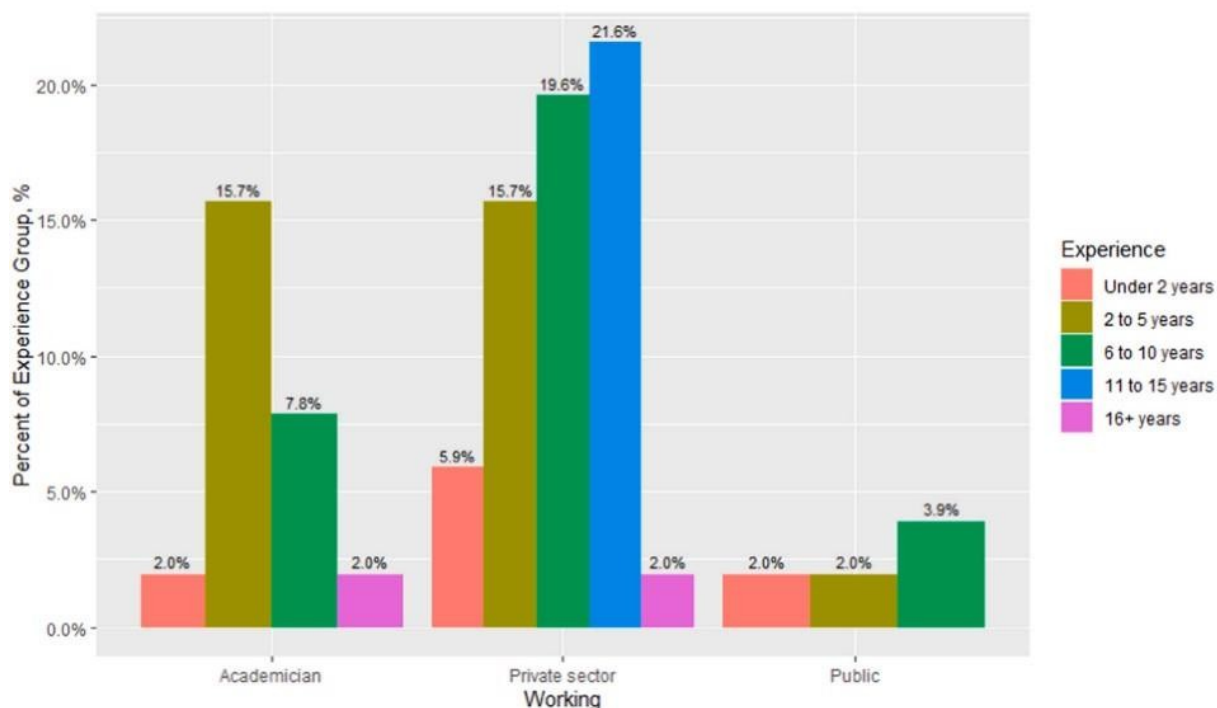
**Prilog I.:** Research methodology flowchart. (Karataš i Budak, 2023)

|                        | BIM Functions |              |              |              |              |              |              |
|------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                        | B1            | B2           | B3           | B4           | B5           | B6           |              |
| <b>Lean Principles</b> | L1            | <i>L1-B1</i> | <i>L1-B2</i> | <i>L1-B3</i> | <i>L1-B4</i> | <i>L1-B5</i> | <i>L1-B6</i> |
|                        | L2            | <i>L2-B1</i> | <i>L2-B2</i> | <i>L2-B3</i> | <i>L2-B4</i> | <i>L2-B5</i> | <i>L2-B6</i> |
|                        | L3            | <i>L3-B1</i> | <i>L3-B2</i> | <i>L3-B3</i> | <i>L3-B4</i> | <i>L3-B5</i> | <i>L3-B6</i> |
|                        | L4            | <i>L4-B1</i> | <i>L4-B2</i> | <i>L4-B3</i> | <i>L4-B4</i> | <i>L4-B5</i> | <i>L4-B6</i> |
|                        | L5            | <i>L5-B1</i> | <i>L5-B2</i> | <i>L5-B3</i> | <i>L5-B4</i> | <i>L5-B5</i> | <i>L5-B6</i> |
|                        | L6            | <i>L6-B1</i> | <i>L6-B2</i> | <i>L6-B3</i> | <i>L6-B4</i> | <i>L6-B5</i> | <i>L6-B6</i> |
|                        | L7            | <i>L7-B1</i> | <i>L7-B2</i> | <i>L7-B3</i> | <i>L7-B4</i> | <i>L7-B5</i> | <i>L7-B6</i> |
|                        | L8            | <i>L8-B1</i> | <i>L8-B2</i> | <i>L8-B3</i> | <i>L8-B4</i> | <i>L8-B5</i> | <i>L8-B6</i> |

**Prilog J.:** Synergy matrix composed between Lean principles and BIM functions (Karataš i Budak, 2023)



Prilog K.: From which country the participants join according to their experiences and subjects (Karataš i Budak, 2023)



Prilog L.: Experiences of the participants according to way of working (Karataš i Budak, 2023)



| <i>Cronbach's <math>\alpha</math></i> | Internal consistency and reliability |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| $\alpha \geq 0.9$                     | Excellent                            |
| $0.8 \leq \alpha < 0.9$               | Good                                 |
| $0.7 \leq \alpha < 0.8$               | Acceptable                           |
| $0.6 \leq \alpha < 0.7$               | Questionable                         |
| $0.5 \leq \alpha < 0.6$               | Poor                                 |
| $\alpha < 0.5$                        | Unacceptable                         |

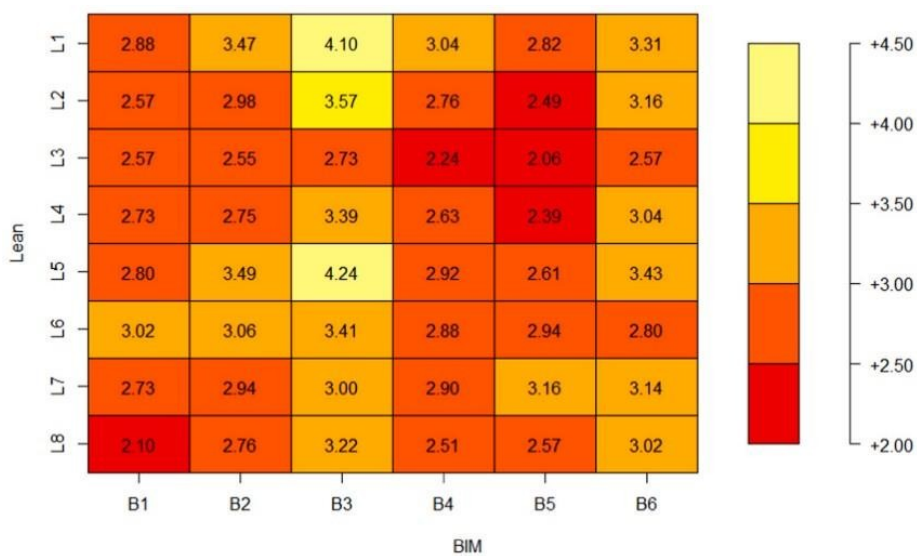
Prilog M.: Categories of Cronbach's  $\alpha$  reliability coefficient (Karataš i Budak, 2023)

| Code  | Kruskal Wallis test |         |                   | Code  | Kruskal Wallis test |         |                   |
|-------|---------------------|---------|-------------------|-------|---------------------|---------|-------------------|
|       | Experience          | Working | Subject Knowledge |       | Experience          | Working | Subject Knowledge |
| L1-B1 | 0,2052              | 0,5678  | <b>0,0169</b>     | L5-B1 | 0,1518              | 0,5130  | 0,6137            |
| L1-B2 | 0,2504              | 0,2019  | 0,1805            | L5-B2 | 0,3852              | 0,2995  | 0,7340            |
| L1-B3 | 0,0676              | 0,1031  | 0,0806            | L5-B3 | 0,7958              | 0,5465  | 0,1762            |
| L1-B4 | 0,5922              | 0,5844  | 0,4154            | L5-B4 | 0,6447              | 0,3138  | 0,8425            |
| L1-B5 | 0,3013              | 0,9835  | 0,9507            | L5-B5 | 0,6009              | 0,0634  | 0,4282            |
| L1-B6 | 0,6635              | 0,1928  | 0,8254            | L5-B6 | 0,6689              | 0,4147  | 0,6954            |
| L2-B1 | 0,1630              | 0,3389  | 0,4574            | L6-B1 | 0,4891              | 0,2298  | 0,2836            |
| L2-B2 | 0,2070              | 0,9417  | 0,3099            | L6-B2 | 0,6424              | 0,8655  | 0,0766            |
| L2-B3 | <b>0,0182</b>       | 0,5852  | 0,4690            | L6-B3 | 0,7589              | 0,5092  | 0,5424            |
| L2-B4 | <b>0,0295</b>       | 0,7345  | 0,9874            | L6-B4 | 0,5022              | 0,2510  | 0,9040            |
| L2-B5 | 0,6318              | 0,7462  | 0,4837            | L6-B5 | 0,5523              | 0,2898  | 0,4707            |
| L2-B6 | 0,6824              | 0,2234  | 0,4436            | L6-B6 | 0,2884              | 0,0987  | 0,5925            |
| L3-B1 | 0,6130              | 0,4266  | <b>0,0327</b>     | L7-B1 | 0,4263              | 0,3424  | 0,2596            |
| L3-B2 | <b>0,0257</b>       | 0,4261  | 0,3696            | L7-B2 | 0,2516              | 0,3465  | 0,1466            |
| L3-B3 | 0,1613              | 0,7017  | 0,1323            | L7-B3 | 0,3445              | 0,2032  | 0,4668            |
| L3-B4 | 0,2392              | 0,7189  | 0,8998            | L7-B4 | 0,2173              | 0,2395  | 0,8808            |
| L3-B5 | 0,6031              | 0,9549  | 0,9216            | L7-B5 | 0,3781              | 0,1221  | 0,5131            |
| L3-B6 | 0,4428              | 0,3176  | 0,7758            | L7-B6 | 0,3110              | 0,1381  | 0,3753            |
| L4-B1 | 0,1047              | 0,8347  | 0,0797            | L8-B1 | <b>0,0486</b>       | 0,4598  | 0,1110            |
| L4-B2 | 0,2101              | 0,6558  | 0,2807            | L8-B2 | 0,3968              | 0,1856  | 0,1953            |
| L4-B3 | <b>0,0190</b>       | 0,1051  | 0,6258            | L8-B3 | 0,0945              | 0,2893  | 0,6686            |
| L4-B4 | <b>0,0385</b>       | 0,1741  | 0,8465            | L8-B4 | 0,9189              | 0,5652  | 0,6604            |
| L4-B5 | 0,3923              | 0,0757  | 0,9003            | L8-B5 | 0,1828              | 0,3631  | 0,8440            |
| L4-B6 | 0,0904              | 0,0940  | 0,8535            | L8-B6 | 0,8376              | 0,3467  | 0,4157            |

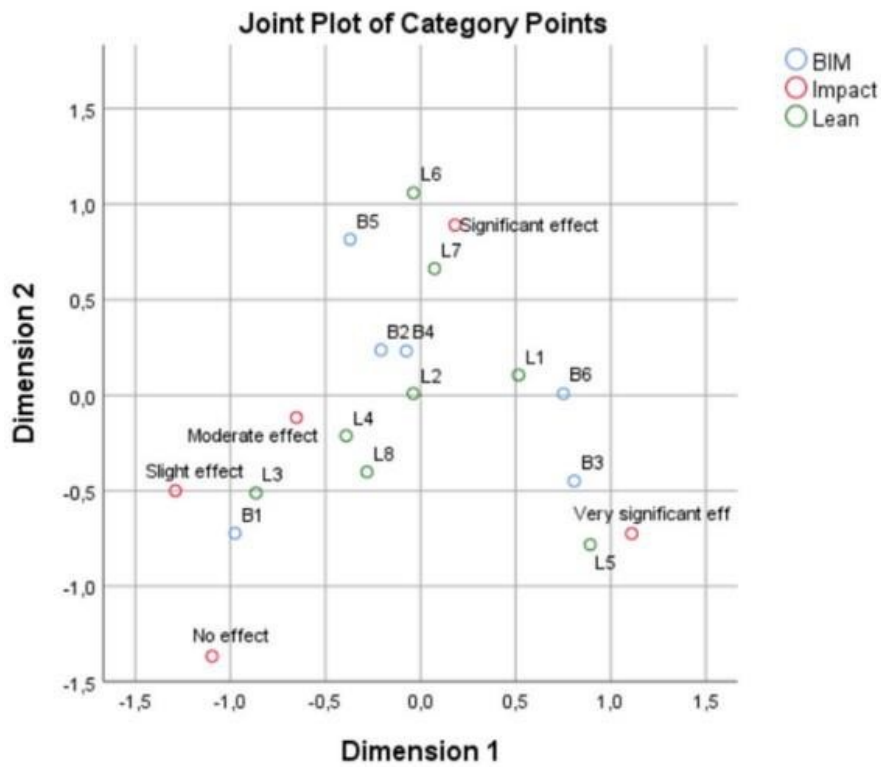
Prilog N.: p value results of Kruskal Wallis test (Karataš i Budak, 2023)



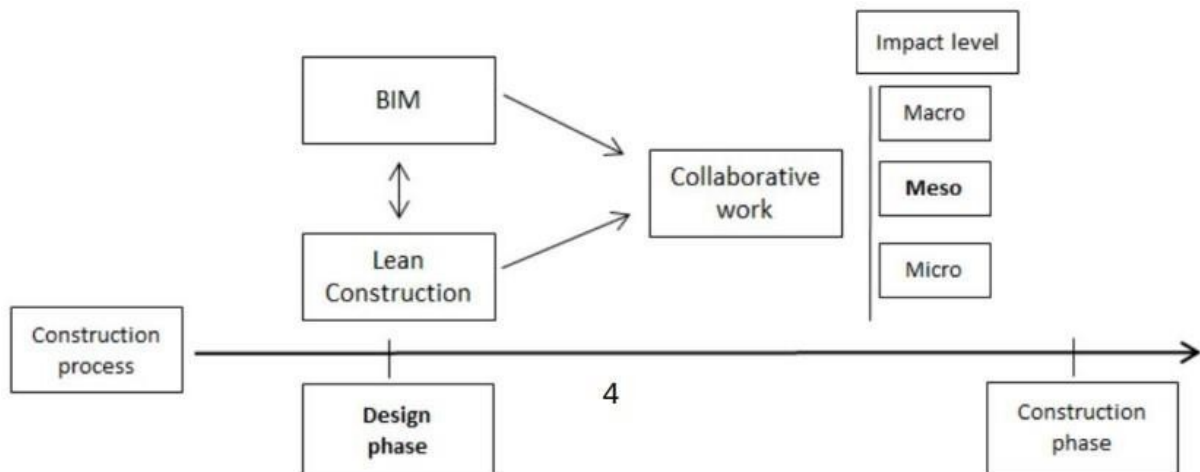
**Prilog O.:** Lean-BIM synergy percentage matrix (Karataš i Budak, 2023)



**Prilog P.:** Mean score matrix according to the impact of Lean-BIM synergy on labor productivity (Karataš i Budak, 2023)



**Prilog Q.:** Visualization of multiple correspondence analysis on two dimension (Karataš i Budak, 2023)



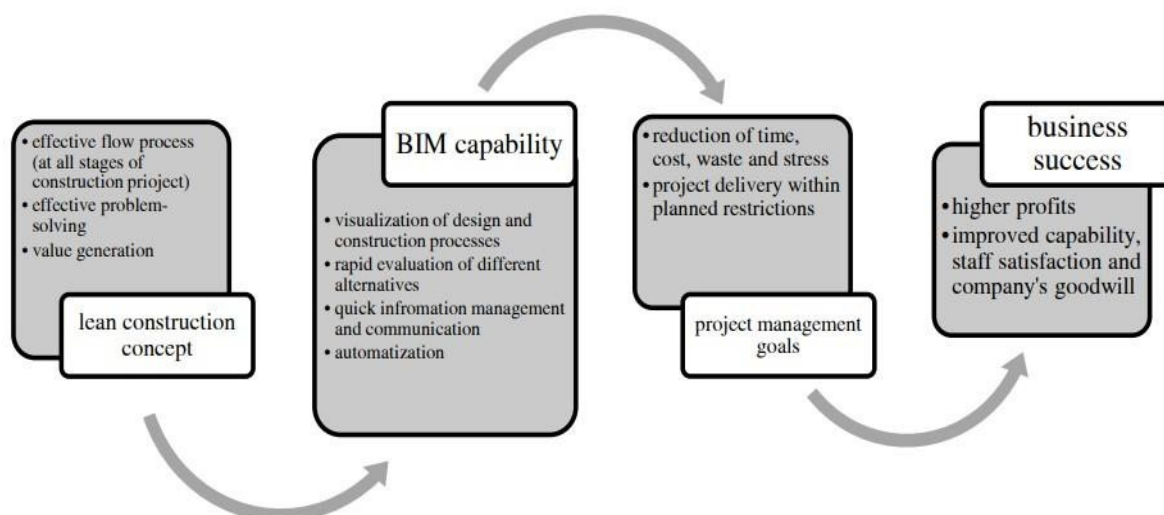
**Prilog R.:** BIM, Lean Construction and collaborative work (Brathen, 2016)

| Area                     | Principle of lean construction                    | Possible to do it with BIM | How it is done with BIM  | Project stage                             |
|--------------------------|---|----------------------------|--|---|
| Flow process             | Reduce variability                                | +                          | evaluation of different alternatives and detailed planning of construction process through visualization   | pre-construction and construction         |
|                          | Reduce cycle times                                | +                          | effective time and processes planning through visualization and evaluation of different alternatives   | design, pre-construction and construction |
|                          | Reduce batch sizes                                | +/-                        | rapid generation and evaluation of different alternatives and detailed planning of construction process through visualization                              |   |
|                          | Increase flexibility                              | +                          | Rapid generation and evaluation of multiple design and construction alternatives (especially when facing uncertainties and risk situations)                |   |
|                          | Select an appropriate production control approach | +/-                        | Evaluation of different alternatives and detailed planning of construction process through visualization   |   |
|                          | Standardize                                       | +                          | detailed planning and collaboration at design and construction stages through visualization, integration of information models at different project phases |   |
|                          | Design the production system for flow and value   | +/-                        | detailed planning of construction process through visualization which leads to higher value of buildings for clients                                       |   |
|                          | Use visual management                             | +                          | Visualization of processes, visual evaluation of alternative decisions   | all stages                                |
|                          | Institute continuous improvement                  |                            |  |   |
| Value generation process | Ensure requirement flow-down                      | -                          | -  | -   |
|                          | Ensure comprehensive requirements capture         |                            |  |   |
|                          | Focus on concept selection                        | +                          | visual evaluation of alternative concepts  | design                                    |
| Problem-solving          | Verify and validate                               | +                          | Rapid generation and evaluation of multiple design and construction alternatives (especially when facing uncertainties and risk situations)                | design, pre-construction and construction |
|                          | Consensus, consider all options                   | +                          | online/electronic object-based communication, visual evaluation  |   |
| Developing partners      | Go and see for yourself                           | +/-                        | See and check changes through multidimensional information model (instead of visiting the building site itself)  | pre-construction and construction         |
|                          | Cultivate an extended network of partners         | -                          | -  | -   |

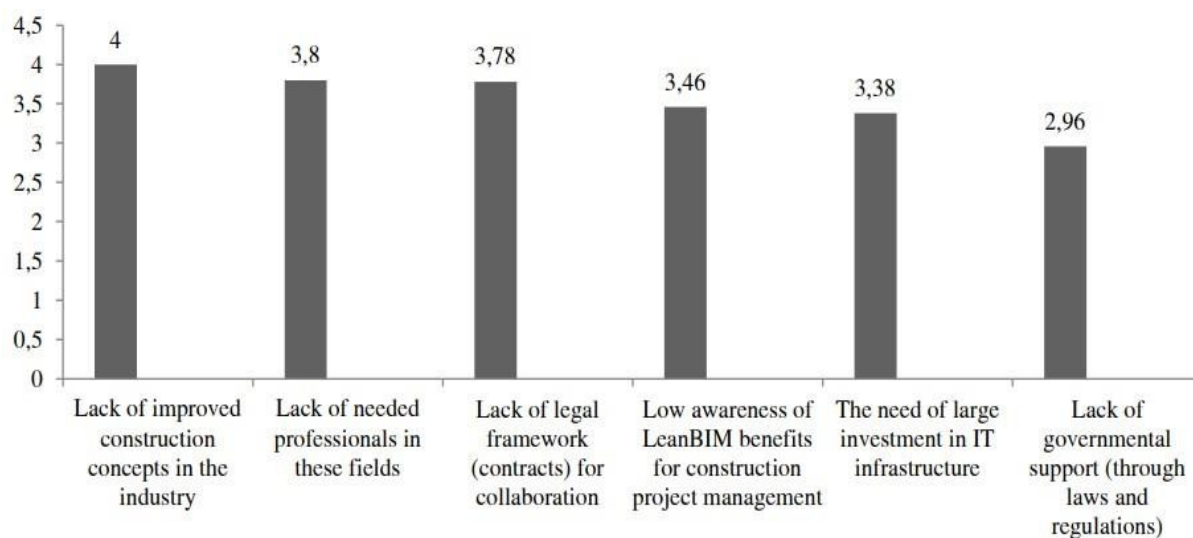
**Prilog S.:** Lean construction principles enabled with BIM use opportunities (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016)

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| project quality and scope management | <ul style="list-style-type: none"> <li>• focusing on client value from the beginning up to the end of project</li> </ul>   |
| project time management              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• lean and predictable sequencing</li> </ul>  |
| project cost management              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• reducing unnecessary costs</li> </ul>   |
| project stakeholder management       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• increasing value for clients</li> </ul>   |
| project risk management              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• rapid visual valuation of changes and alternatives which enables rapid reaction to risk situations</li> </ul>                               |
| project communications management    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• improving information flow and communications between project partners and supply chain, project team members and managers, etc.</li> </ul> |
| project human resources management   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• standardised and controlled flow of project team members</li> <li>• less stress and smooth work of project team</li> </ul>                  |
| project procurement management       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• enabling just in time supply of materials</li> <li>• lean and predictable material sequencing</li> </ul>                                    |

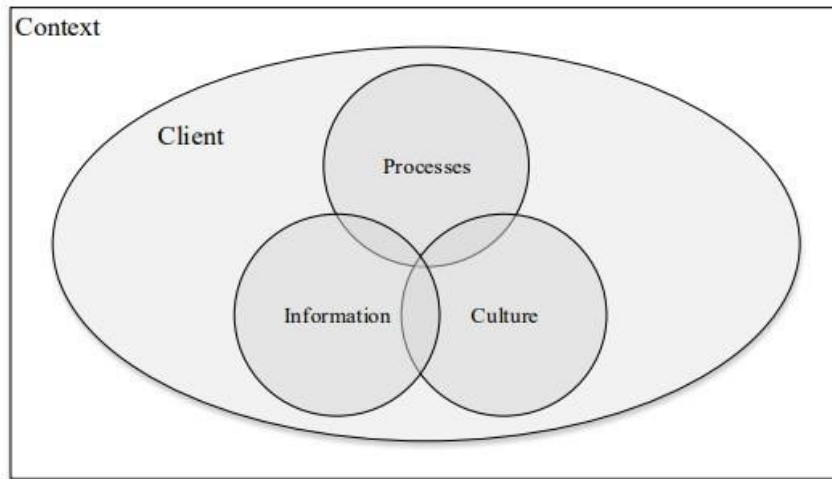
**Prilog T.:** Specified benefits of LeanBIM for project management fields (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016)



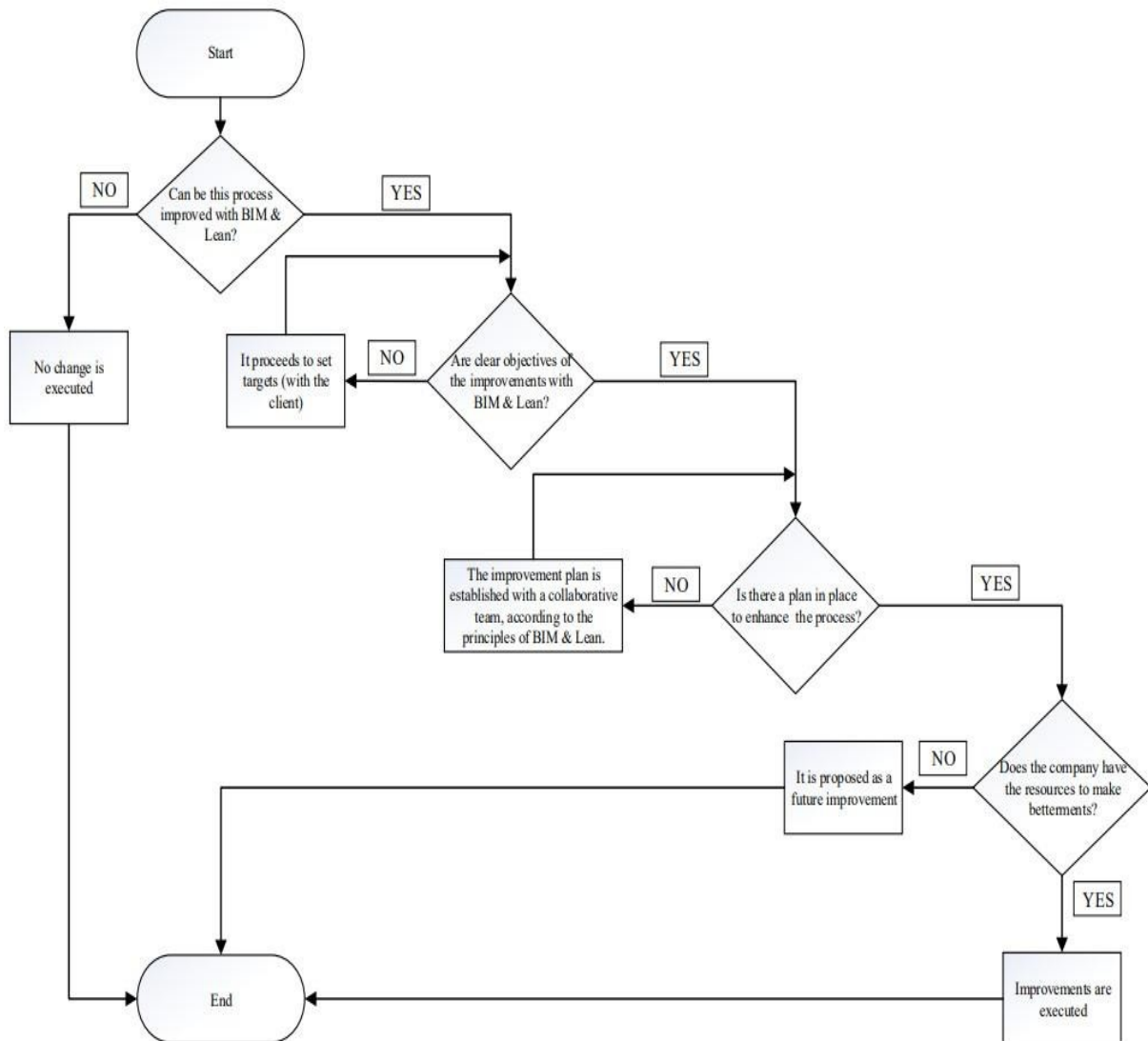
**Prilog U.:** Consequent linkage 'Lean-BIM-project management-business success' (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016)



**Prilog V.:** Gradation of challenges facing while implementing LeanBIM in construction project management (Eroshkin, Kallaur, Papikian, 2016)



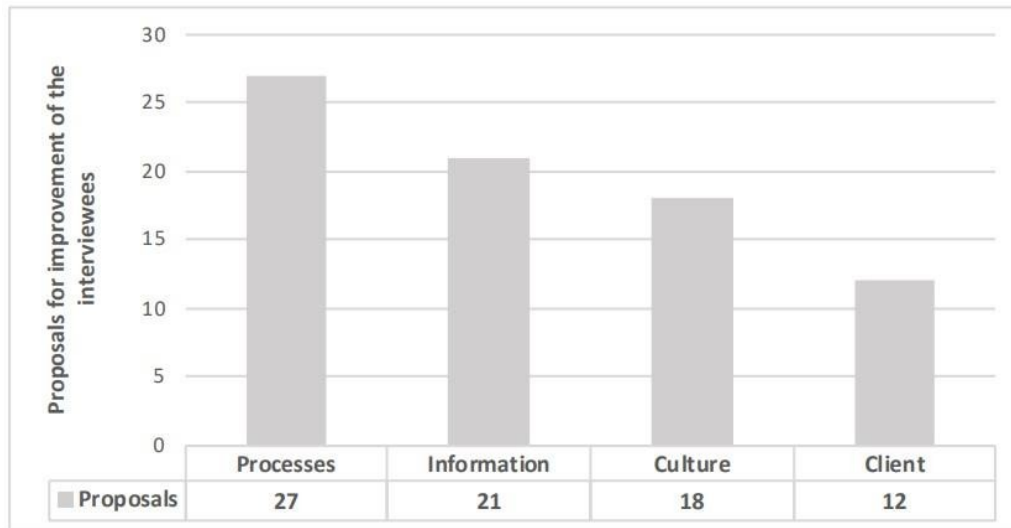
Prilog W.: PIC Cycle, Client, and Context (Osorio-Gomez i sur., 2020)



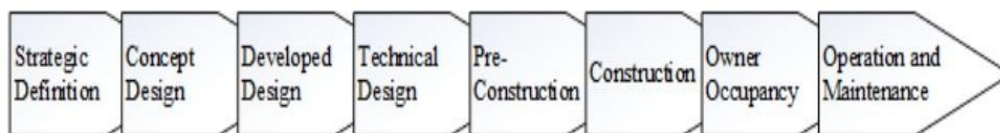
Prilog X.: Flow diagram for process improvement according to Lean & BIM (Osorio-Gomez i sur., 2020)



**Prilog Y.:** Process Map Stages before Lean / BIM Implementation (Osorio-Gomez i sur., 2020)



**Prilog Z.:** Proposals for improvement of the interviewees (Osorio-Gomez i sur., 2020)



**Prilog AA.:** Process Map Stages after Lean / BIM implementation (Osorio-Gomez i sur., 2020)