

Primjena 3D skenera u održavanju mostova

Svaguša, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:342403>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-24**

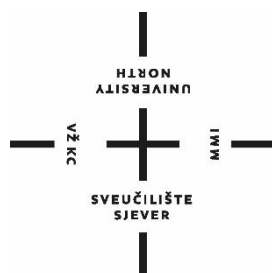


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br. 27/GRD/2021

**PRIMJENA 3D SKENERA U ODRŽAVANJU
MOSTOVA**

Petra Svaguša

Varaždin, srpanj 2021.

SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN
Studij Graditeljstva



DIPLOMSKI RAD br. 27/GRD/2021

**PRIMJENA 3D SKENERA U ODRŽAVANJU
MOSTOVA**

Student:
Petra Svaguša, 0313009448

Mentor:
doc. dr. sc. Danko Markovinović

Varaždin, srpanj 2021.

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

| | |
|--|--|
| ODJEL: Odjel za graditeljstvo | |
| STUDIJSKI: diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo | |
| PRISTUPNIK: Petra Svagaša | JMBAG: 0313009448 |
| DATA: 24.08.2021. | ORGANIZACIJA: Organizacija gradilišta i građenja |
| NASLOV RADA: Primjena 3D skenera u održavanju mostova | |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU: Application of 3D scanner in Bridge maintenance | |
| MENTOR: dr.sc. Danko Markovinić | ZVANJE: docent |
| ČLANOVI POVJERENSTVA | |
| 1. | doc.dr.sc. Željko Kos |
| 2. | doc.dr.sc. Danko Markovinić |
| 3. | doc.dr.sc. Goran Puž |
| 4. | prof.dr.sc. Božo Soldo |
| 5. | |

Zadatak diplomskog rada

| |
|---|
| BRUI: 27/GRD/2021 |
| OPIS: U diplomskom radu je potrebno napraviti pregled poslovnih procesa organizacije gradilišta i građenja povezanih s održavanjem građevina. Poseban dio diplomskog rada treba obuhvatiti održavanje mostova, s prikazom održavanja mostova u RH. S obzirom na važnost primjene i implementacije BIM tehnologije u graditeljstvu, ista treba biti objašnjena s prikazom mogućnosti BIMa, sudionicima i instrumenti koji se primjenjuju u smislu prikupljanja geoprostornih podataka. Nadalje na opis prikupljanja geoprostornih podataka, u radu treba objasniti 3D tehnologiju skeniranja, te instrumente koji će se raditi praktični dio zadatka. Praktični dio zadatka će obuhvatiti 3D skeniranje mosta bana Josipa Jelačića (na rijeci Dravi). Nakon skeniranja rezultata (cloud točke) je potrebno obraditi i prikazati koji se elementi mosta mogu prikazati tj. dobiti iz ovakvog skupa geoprostornih podataka. |

PRIJAVIŠTU PRILAZI: 01.04.2021.



Danko Markovinić

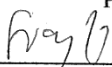


IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, PETRA SVAGUŠA pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključiva autorica diplomskog rada pod naslovom PRIMJENA 3D SKENERA U ODRŽAVANJU MOSTOVA te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

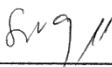
Studentica:
Petra Svaguša


(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, PETRA SVAGUŠA neopozivo izjavljujem da sam suglasna s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom PRIMJENA 3D SKENERA U ODRŽAVANJU MOSTOVA čija sam autorica.

Studentica:
Petra Svaguša


(vlastoručni potpis)

Zahvala

Zahvaljujem se svome mentoru doc.dr.sc. Danku Markovinoviću na pomoći i stručnim savjetima tijekom izrade završnog rada.

Veliku zahvalu upućujem svim profesorima na prenesenom znanju i pomoći tijekom studiranja.

Također zahvaljujem mojim roditeljima i obitelji na podršci i poticaju tijekom studija.

SAŽETAK

Ovim radom se ukazuje na važnost korištenja suvremenih tehnologija, kao što je tehnologija laserskog skeniranja - 3D LiDAR (*Light Detection and Ranging*), kod projektiranja i održavanja mostova u svrhu produljenja životnog vijeka građevina.

Uz produljenje životnog vijeka građevina, važnu ulogu predstavljaju prikupljeni podaci, koji se kao takvi koriste za izračune, simulacije, analize i izvješća te predstavljaju bazu za izradu digitalnih modela unutar BIM (*Building Information Modeling*) projektiranja i održavanja mostova.

Današnja gradilišta, tehnologije gradnje i novi strojevi iziskuju sve točnije i brže građenje, kontrolu i organizaciju. Stoga, ovaj rad prikazuje dio poslovnog procesa, kako uz pravilnu organizaciju gradilišta, suvremene tehnologije i metodologije, gradnja mostova, njihovo održavanje i nadziranje postaje sigurnije i troškovno prihvatljivije.

Ključne riječi: tehnologija, laser, skeniranje, 3D LiDAR, mostovi, BIM, održavanje, projektiranje, digitalizacija, organizacija

SUMMARY

Within master thesis I will point out the importance of modern technology usage, such as laser scanning technology - 3D LiDAR (*Light Detection and Ranging*), in the bridge planning and maintenance in order to extend the life of construction.

In addition to construction life extension, the key role is data collection; which as such is used for calculations, simulations, analyzes and reports and is the foundation for the development of digital models for BIM (*Building Information Modeling*) bridge planning and maintenance projects.

Today's construction sites, technologies and working machines require more accurate and faster construction, control and organization. Therefore, this master thesis shows how with the proper organization of construction sites, modern technologies and methodologies, the construction of bridges, their maintenance and monitoring becomes safer and more cost-effective.

Keywords: *technology, laser, scanning, 3D LiDAR, bridges, BIM, maintenance, planning, digitization, organization*

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. Općenito o mostovima | 3 |
| 2.1. Opći pojmovi i dijelovi mosta..... | 5 |
| 2.2. Podjela mostova | 7 |
| 3. Poslovni procesi organizacije građenja | 11 |
| 3.1. Trenutno stanje građevinske industrije i utjecaj tehnologije | 11 |
| 4. Održavanje građevina..... | 14 |
| 4.1. Održavanje mostova..... | 14 |
| 4.1.1. Održavanje mostova u Republici Hrvatskoj..... | 15 |
| 4.2. Gospodarski zahtjevi mostova | 17 |
| 4.2.1. Projekt održavanja mostova | 19 |
| 5. BIM u građenju i održavanju | 21 |
| 5.1. Mogućnosti BIM-a | 23 |
| 5.2. Sudionici BIM-a..... | 25 |
| 5.3. Instrumenti u BIM-u..... | 26 |
| 6. Laserska tehnologija..... | 28 |
| 6.1. LiDAR..... | 29 |
| 7. Laserski skeneri i primjena na mostovima | 32 |
| 7.1. Glavne značajke i karakteristike laserskih skenera | 39 |
| 7.2. Vodeći laserski skeneri/uređaji kod skeniranja | 41 |
| 7.3. Trimble SX-10 laserski skener | 43 |
| 7.3.1. Glavne značajke Trimble SX10 laserskog skenera | 44 |
| 7.3.2. Software Trimble Business Center..... | 47 |
| 8. 3D skeniranje mosta u praksi | 48 |
| 8.1. Općenito o mostu bana Josipa Jelačića | 48 |
| 8.2. Rezultati dobiveni 3D skeniranjem..... | 50 |
| 9. Zaključak..... | 54 |
| 10. Literatura | 55 |
| 11. Popis slika | 58 |
| 12. Popis tablica | 61 |
| 13. Popis jednadžbi | 62 |

1. Uvod

Mostovi su građevine koje služe za prijelaz preko određene zapreke. Izgrađuju se radi premošćivanja prirodnih zapreka, kao što su rijeke, kanjoni, suhe doline i morski tjesnaci, ili radi premošćivanja umjetnih zapreka, u što spadaju druge prometnice, ulice i kolodvori. Spadaju u kategoriju prometnih objekata koji u sebi sadržavaju nosive konstrukcije.

Osnovni zahtjevi koje most mora ispuniti su funkcionalnost, sigurnost, trajnost, ekonomičnost, zaštita okoliša te oblikovanje. Od svih navedenih zahtjeva, ovaj rad se ponajviše bazira na trajnosti mosta, u što spada sposobnost održavanja propisane razine pouzdanosti i uporabljivosti u životnom vijeku građevine (u ovom slučaju mosta). U nekim državama vijek trajanja mostova je propisan, međutim sve češći porast broja njihovih oštećenja pokazuje nam da je iznimno teško predvidjeti točan vijek trajanja. Možemo zaključiti da oštećenja svakako doprinose osjećaju nelagode, nesigurnosti i smanjenju uporabne vrijednosti mosta, stoga su adekvatne mjere održavanja jedan od najbitnijih faktora za predviđenu trajnost građevine. Projekt održavanja mosta sadržava bitne elemente, kao što su: podaci o mostu bitni za trajnost, plan pregleda, način pregledavanja pojedinih dijelova, formulare za pregled te popis projektne dokumentacije [1]. Pod samim pojmom nadzora mosta bitne su organizacija mjera i dokaz da su mjere poduzete. Stoga, svi sudionici u građenju sudjeluju u ostvarivanju kvalitete, dok sustav na pisan način regulira njihov sporazum o zahtjevanoj razini kvalitete građevine. Iako su tijekom posljednjih nekoliko godina razvijeni mnogi alati i tehnike koji pomažu inženjerima na objektivnoj osnovi procijeniti potrebe održavanja mostova, postupak odabira i opsega projekata održavanja mostova i dalje se većinom temelji na inženjerskoj prosudbi. Kod analize stanja mostova, uz BIM sustav kojeg možemo definirati kao inteligentan podatkovni model, čiji zadatak je da služi kao temelj za projektiranje, simulaciju i suradnju kroz sve faze građevinskog projekta, kao novu i modernu tehnologiju možemo navesti i 3D laserski skener.

Laserski skeneri bilježe sveobuhvatne podatke o zgradama, infrastrukturama i okolišu kroz slike od 360 stupnjeva i milijune točnih mjernih točaka, zajednički poznatih kao oblaci točaka, što omogućava brzo snimanje i analiziranje snimljenih podataka različitih lokacija i njihovo izravno analiziranje na terenu za mjere i kontrole kvalitete. Kako se popularnost tehnologije ubrzavala, tako se povećava i broj vrsta skenera i njihovih raznih modela.

Mostovi su bitne infrastrukturne konstrukcije koje je važno nadzirati i održavati kako bi osigurali i povećali njihov životni vijek. Pod održavanjem mostova podrazumijevaju se pregledi i sanacija njihovih oštećenja. Zadatak održavanja je prikupljanje podataka pomoću kojih se dokazuje da li se most ponaša prema projektiranim zahtjevima. Stoga, u ovom radu na temelju mjerenja mosta bana Josipa Jelačića, prikazano je znanje te su dati primjeri o ključnim pojedinostima laserskog skenera, koji može uvelike pomoći i iskazati se kao mudra investicija, koja će učiniti analizu određene konstrukcije učinkovitom i djelotvornom.

2. Općenito o mostovima

Mostovi se sastoje od gornjeg i donjeg ustroja mosta. Gornji ustroj mosta podrazumijeva dijelove iznad ležišta glavne rasponske konstrukcije, dok u donji ustroj mosta spadaju dijelovi ispod ležišta glavne rasponske konstrukcije, ili uz nju (slika 1.).

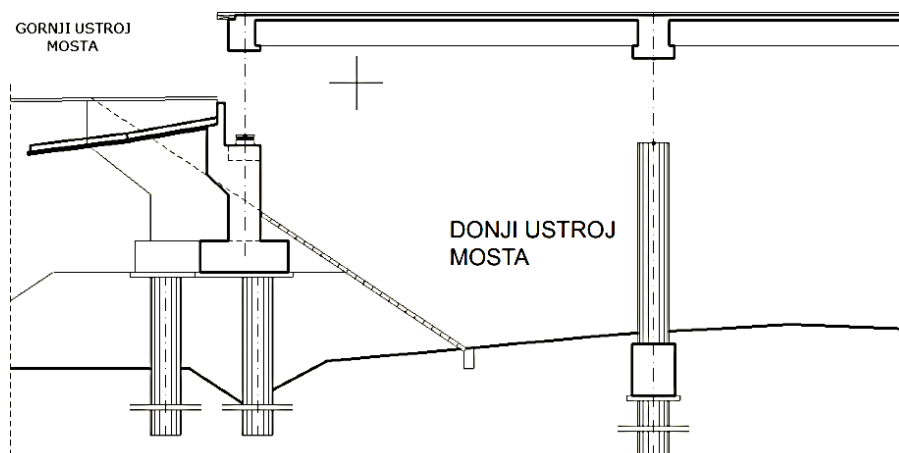
Dijelovi gornjeg ustroja su:

- glavni nosači
- poprečni nosači
- uzdužni (sekundarni) nosači
- spregovi i ukrute
- kolnička konstrukcija

Dijelovi donjeg ustroja su:

- temelji
- upornjaci
- stupovi

Prema podjeli, mostove možemo svrstati u cestovne, željezničke, pješačke, kombinirane, za cijevi, vodove ili kanale. Prema mjestu i položaju dijelimo ih na vijadukte, mostove preko vodotoka, gradske mostove, tvrđavne mostove i druge [2].



Slika 1. Gornji i donji ustroj mosta

Mostovi su građevine koje moraju biti postojane, trajne, stabilne, estetski prihvatljive, ekonomične i funkcionalne, stoga se kod njihove izgradnje i projektiranja trebaju ispuniti tehnički, gospodarski, prometni, estetski i izvedbeni zahtjevi.

Da bi most bio pravilno projektiran, neophodno je poznavati njegovu namjenu u određenom okolišu te na koji način će biti izveden. Dakle, on treba biti projektiran tako da bez oštećenja podnosi sva moguća opterećenja koja se mogu pojaviti tijekom njegove izgradnje ili njegovog korištenja.

Pravilnik o tehničkim normativima za određivanje veličine opterećenja mostova [3] djelovanja ovisno učestalosti njihovih pojava dijeli se na:

- **osnovna djelovanja** – djelovanja koja uvijek postoje na mostu i kojima su promjene njihovih vrijednosti zanemarive. U osnovna djelovanja spadaju vlastita težina, korisno opterećenje, stalni teret, sile od prednapinjanja, skupljanje i puzanje materijala, opterećenje vodovima, aktivni pritisak tla, pritisak i težina mirne vode, djelovanja tekuće vode, uzgon, pritisak na ogradu mosta i deformacije nastale kao posljedica izgradnje
- **dopunska djelovanja** – djelovanja koja se javljaju povremeno te su značajnih promjena vrijednosti. U dopunska djelovanja spadaju promjena temperature, skupljanje i puzanje betona, vjetar, snijeg, udar leda, sila pri pokretanju i zaustavljanju vozila, otpori u ležajevima, centrifugalna sila, potres Z1, moguće pomicanje temeljnog tla
- **iznimna djelovanja** – u iznimna djelovanja ubrajamo privremena stanja pri gradnji, udare vozila i plovila, potres Z2 te izvanredna opterećenja od specijalnih vozila

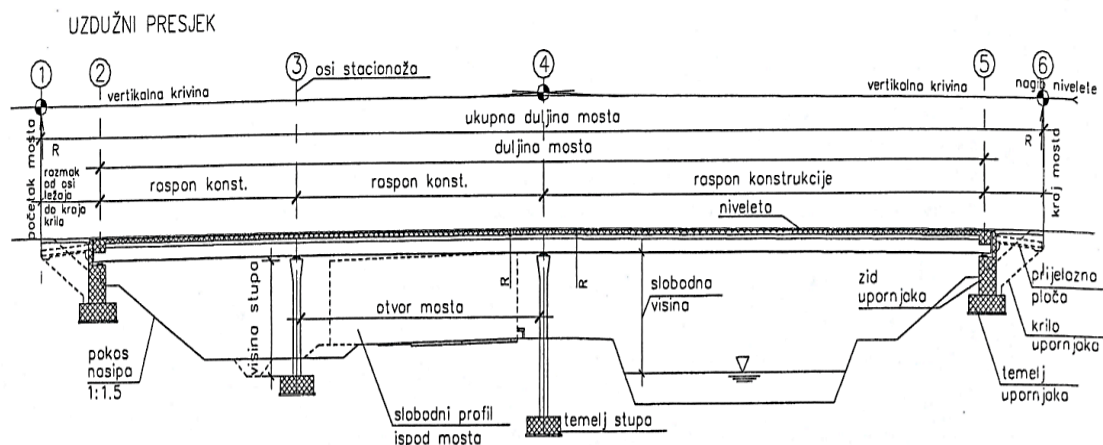
Putem promatranja ili sukladno zakonima fizike dobivaju se osnovni podaci o djelovanjima, koji se zatim obrađuju statističkim metodama. Pod promatranjem se smatra opterećenje snijega i vjetra, u zakone fizike se svrstava vlastita težina, dok se pod procjenom podrazumijevaju izvanredna djelovanja.

Djelovanja koja se klasificiraju su sljedeća [4]:

- **prema promjenjivosti tokom vremena** – stalna djelovanja G (vlastita težina, nepokretna oprema, kolnički zastor, prednapinjanje te slijeganje oslonaca), promjenjiva djelovanja Q (korisno opterećenje, opterećenje od snijega, vjetra te utjecaj temperature) i izvanredna djelovanja A (eksplozije, udari vozila, potres i drugo)
- **prema mogućnosti promjene položaja u prostoru** – fiksna djelovanja (vlastita težina) i slobodna djelovanja (pokretna korisna opterećenja, vjetar i snijeg)
- **prema svojoj prirodi** – statička djelovanja (ne izazivaju značajno ubrzanje konstrukcije ili njezinih elemenata) i dinamička djelovanja (izazivaju značajno ubrzanje konstrukcije ili njezinih elemenata)

2.1. Opći pojmovi i dijelovi mosta

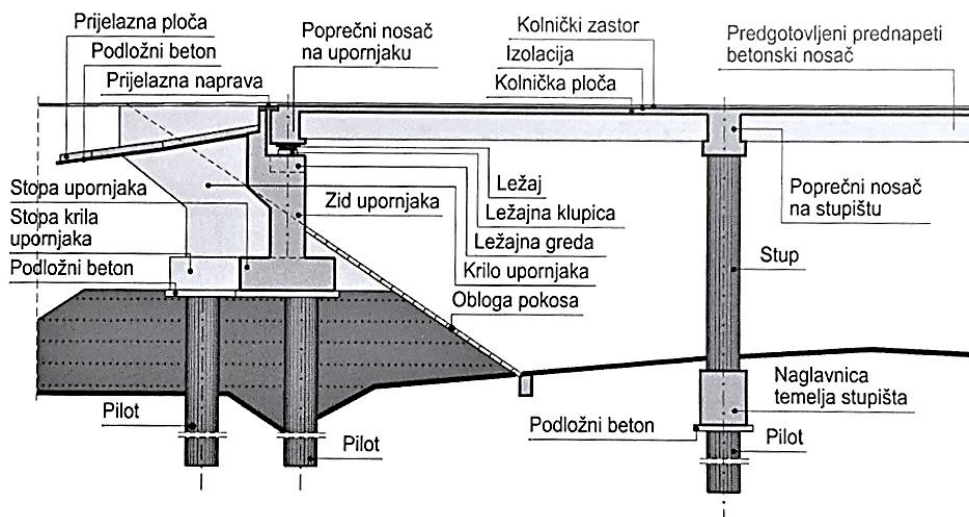
Most je složeni građevina koja se sastoji od mnogo konstrukcijskih elemenata. Na sljedećoj slici (slika 2.) i nastavku, navedene su neke od osnovnijih komponenta mosta [2]:



Slika 2. Primjer uzdužnog presjeka mosta

- **ukupna duljina mosta** - rasponski sklop je nosiva konstrukcija kojom se premošćuje otvor mosta, dok sam raspon podrazumijeva razmak osi ležaja mjeren po horizontali. Slobodni profil je zadani otvor. Kroz njega prolazi promet ispod ili prijeko mosta
- **niveleta** - osnovna linija mosta u uzdužnom smjeru. Definiramo ju kao presječnicu vertikalne plohe koja prolazi kroz os mosta
- **upornjak** - sastoji se od dvije ključne uloge: skrajnja potpora rasponskog sklopa, preko kojeg se prenosi opterećenje s uzdužnog kraja sklopa u tlo i služi kao prijelaz između područja prometnice direktno oslonjene na tlo.
 - glavni dijelovi upornjaka su greda, prsni zid, zid upornjaka, prijelazna ploča, stupovi upornjaka, krila i temeljna stopa upornjaka
- **stupovi** - spadaju u dijelove mosta koji podupiru rasponsku konstrukciju između upornjaka (u drvenim stupovima, za stupove se koriste nazivi jaram ili stupište). Stupovi se u pravilu sastoje od temelja stupa, tijela stupa, ležajne klupice, ležajne grede, prečka, ledobrana i ležajeva, od kojih razlikujemo nepokretne ležajeve, pokretne, linijske, točkaste, klizne i njihajuće
- **prijelazne ploče** - armiranobetonske ploče koje se nalaze na nasipu iza upornjaka. One su jednim rubom oslonjene na upornjak, dok su preostalim dijelom oslonjene na nasip te pomažu kod izjednačavanja vertikalnih pomaka između krute konstrukcije mosta i elastičnog nasipa

Bitno je naglasiti da različite vrste mostova nemaju iste dijelove, iz tog razloga je prikladnije prikazati primjer kontinuiranog grednog mosta (slika 3.), jer je najčešće korišten u praksi.



Slika 3. Dio uzdužnog presjeka grednog mosta

2.2. Podjela mostova

Mostove možemo svrstati u četiri vrste kategorije: prema vrsti prepreke, prema njihovoj namjeni, prema vrsti nosivog sklopa te gradiva. U tekstu koji slijedi objašnjene su osnovne karakteristike svake podjele [5]:

- **podjela mostova prema vrsti prepreke** - prepreke mogu biti prirodne i umjetne. U prirodne prepreke ubrajamo potoke, rijeke, zaljeve i morske tjesnace. U Hrvatskoj, kao među najpoznatije mostove možemo navesti one preko kanala. Ovakvi mostovi su najčešće raščlanjeni, gdje je najveći otvor namijenjen plovidbi
- **podjela mostova prema namjeni** - prema namjeni, mostove dijelimo na cestovne, željezničke, pješačke, mostove za kanale, opskrbne i kanalizacijske. Cestovni mostovi općenito “trpe” najjača prometna opterećenja, pa upravo iz tog razloga podložniji su strožim uvjetima i nadzorima. Za mostove koji trpe najveća opterećenja mogu se spomenuti željeznički, nakon njih spadaju cestovni, a u kategoriju namjane opterećenja možemo svrstati pješačke mostove, za koje kao primjer možemo navesti most hrvatskih branitelja iz Domovinskog rata u Rijeci (slika 4.)



Slika 4. Pješački most u Rijeci

- **podjela mostova prema statičkom sustavu** - prema statičkom sustavu (slika 5.), mostove možemo podijeliti na gredne, okvirne, lučne, viseće, poluovješene, ovješene i prednapete vrste

| STRUKTURA | OBRISI | MAX. RASPONI (m) |
|------------------|--------|------------------|
| GREDNI MOSTOVI | | 300 |
| LUČNI MOSTOVI | | 500 |
| VISEĆI MOSTOVI | | 2000 |
| OVJEŠENI MOSTOVI | | 1000 |

Slika 5. Vrste mostova prema statičkom sustavu

- **podjela mostova prema gradivu** - prema gradivu, mostove dijelimo na drvene, kamene, betonske i metalne. Za mostove od prirodnih materijala, kao što su drveni i kameni, može se reći da imaju najdužu povijest, jer su upravo oni bili među prvim mostovima koji su služili za prijelaz preko određene zapreke. Međutim, osim njihovih prednosti (lako oblikovanje i trajnost), kao nedostatak im se može navesti visoka cijena. Iz tog razloga se danas isključivo grade na mjestima gdje se trebaju “uklopiti” u okoliš. Kameni mostovi grade se još rijetko od drvenih, pa bi se moglo reći da se u biti samo obnavljaju već postojeći povijesni kameni mostovi, kojima je vrijednost iznimno visoka. Kao primjer takvog kamenog mosta može se navesti obnovljeni u Mostaru (slika 6.)



Slika 6. Obnovljeni kameni most u Mostaru

Što se tiče betonskih mostova, bez sumnje se može napomenuti da imaju najširu primjenu te su najzastupljeniji u području malih i srednjih raspona. Kao najbitnije prednosti samog betona možemo istaknuti visoku tlačnu čvrstoću, otpornost na atmosferilije, nezahtevnost u vezi radne snage, oblikovanje prema želji i relativno niska cijena održavanja. S druge strane, kao najveći nedostatak betona kod gradnje mostova moglo bi se navesti vrlo dugo vrijeme spajanja. Sljedeći nedostatak je njegova kemijska otpornost, jer nakon što gornji uništeni sloj otpadne, čelična armatura postaje izložena mnogim vrstama uzročnika korozije, pa je potrebno koristiti punjenja za

njezino sprečavanje. Dakle, potrebne su redovite sigurnosne provjere koje iziskuju specijalne mjere.

Za metalne mostove možemo još reći da se nazivaju i čeličnim mostovima, uz naglasak da je zastupljenost čelika u njihovoj primjeni gotovo stopostotna. Sustav čeličnih konstruktivnih mostova mogu se podijeliti prema statičkom sustavu i prema tipu glavnih nosača.

Kao glavne prednosti metalnih mostova mogu se spomenuti odličan omjer prostorne težine i čvrstoće, vrlo visoka trajnost, relativno lagana mogućnost zamjene određenih dijelova, dok su nedostaci podosta visoka cijena i relativno visoki troškovi održavanja. Iznimni primjer ovakvog mosta je željeznički most u Škotskoj, Forth Bridge (vidi sliku 7.). Nosi titulu najduljeg konzolnog željezničkog mosta na svijetu.



Slika 7. Forth Bridge u Škotskoj

3. Poslovni procesi organizacije građenja

Graditeljstvo podrazumijeva projektiranje, građenje, uporabu, održavanje i uklanjanje građevine pri čemu se ne smije ugroziti život i zdravlje ljudi, okoliš, priroda, druge građevine, kao niti stabilnost tla na okolnom zemljištu.

U karakteristike graditeljstva spadaju:

- nepokretnost građevinskih objekata
- složenost i nedjeljivost objekata
- vremensko trajanje gradnje
- uporaba velikih količina materijala
- izvođenje radova

Kod svakog planiranja, održavanja, građenja ili uklanjanja građevine, ključnu ulogu nosi upravo kvalitetna organizacija. Pojam organizacije prvi put se javlja u 18. stoljeću, dok sama riječ potječe od grčke riječi *organon*, koja znači alat. Organizaciju možemo definirati kao društvenu cjelinu nastalu svjesnim udruživanjem ljudi, pomoću koje bi se koordiniranim aktivnostima ostvarili točno određeni ciljevi [6].

3.1. Trenutno stanje građevinske industrije i utjecaj tehnologije

Trenutno građevinska industrija zapošljava oko 7% svjetske radno sposobne organizacije, što ju ujedno čini jednom od najvećih sektora svjetskog gospodarstva [6]. Trebalo bi naglasiti da se mnoge male tvrtke suočavaju s problemom niske produktivnosti, a građevinski projekti s prekoračenjem rokova i troškova, što rezultira time da je samo četvrtina građevinskih tvrtki u posljednjih deset godina uspjela ostvariti rast na razini lokalnog gospodarstva kojem pripadaju.

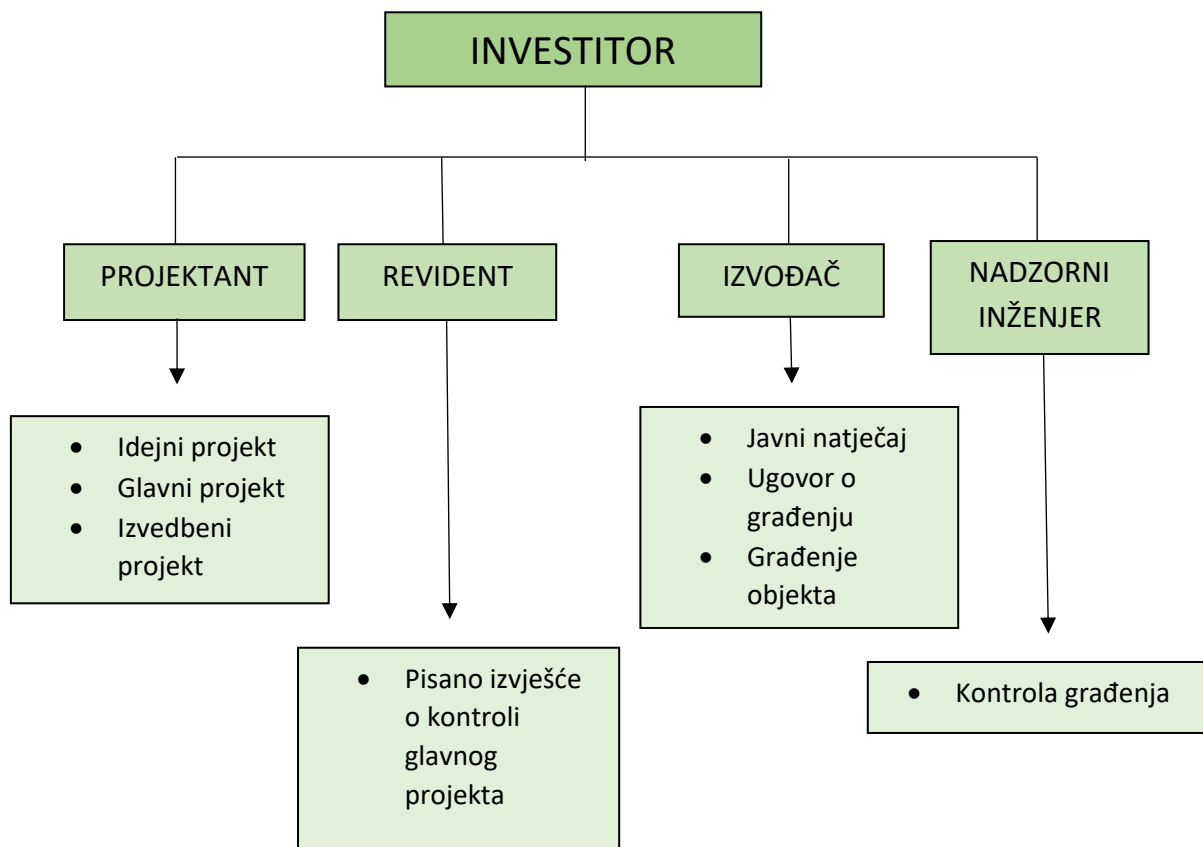
Kao direktan spoj organizacije poput jednog od najbitnijeg segmenta i suvremene nove tehnologije (3D skener i ostala tehnologija na području građevinarstva), može se reći da osim uz građevinsku struku, nema područja ljudske djelatnosti na koje tehnologija ne djeluje. Mnoge organizacije stavljene su pred izazov da li će se prilagoditi i uklopiti u tok informacijske tehnologije, ili će nažalost propasti.

Sama poveznica između tehnologije i organizacije je ta da tehnologija iziskuje velike promjene u organizaciji i odnosima organizacije s okolinom. Danas se gotovo masovno primjenjuje projektiranje pomoću računala (CAD), proizvodi se pomoću računala (CAM) te samo projektiranje i proizvodnja pomoću računala (CAD i CAM)[7].

Trenutno, u organizacijama pod utjecajem nove tehnologije (tradicionalne organizacijske strukture), zamjenjuju se novijim netradicionalnim organizacijama, kao što je virtualna organizacija.

Kada se govori o utjecaju tehnologije na oblikovanje organizacije, trebalo bi spomenuti da jednoj tehnologiji može biti primjerena funkcijska struktura, a drugoj organizacijska struktura. Sama tehnologija određuje količinu kontrole, pa samim tim mnogi tehnološki postupci iziskuju različite načine raščlanjivanja zadataka u organizaciji.

Do dan danas, sve više se udaljava od industrijskog načina proizvodnje prema suvremenoj tehnologiji, odnosno automatizaciji i fleksibilnijim proizvodnim sustavima. Samim tim, mijenja se i organizacijska struktura same organizacije. Drugim riječima, s novim tehnologijama povećava se i razvoj organizacija, a uz to su potrebne stručne osobe koje mogu obavljati takve aktivnosti (slika 8.) [8].



Slika 8. Sudionici u gradnji

4. Održavanje građevina

Sama definicija održavanje građevina podrazumijeva niz građevinskih i srodnih aktivnosti na postojećoj građevini tijekom njezinog postojanja te kojima se ne mijenja njezina usklađenost s lokacijskim uvjetima na temelju kojih je izgrađena. Za održavanje građevine odgovoran je sam vlasnik, čija je dužnost osigurati njezino održavanje s ciljem da se očuvaju temeljni zahtjevi tijekom njezinog trajanja.

Isto tako, vlasnik građevine dužan je u slučaju opasnosti (urušavanje građevine i slično, koje mogu biti opasne po život i zdravlje ljudi, okoliš ili okolne građevine) odmah reagirati i poduzeti mjere koje omogućavaju otklanjanje opasnosti te istu tu građevinu označiti kao opasnu odgovarajućim metodama do otklanjanja njezinog oštećenja [9].

4.1. Održavanje mostova

Mostovi su građevine izložene djelovanju prometa i atmosferilija, koji utječu na trošenje, onečišćavanje te propadanje pojedinih dijelova. Upravo iz tih razloga potrebno je kontinuirano (u taj pojam spadaju radovi čišćenja mosta i odvodnje, dilatacijskih uređaja i slično) ili periodički (radovi ličenja, zaštita protiv korozije, izmjene i obnove dotrajalih dijelova, uređenja i poporavci ležajeva, ograda i ostalih dijelova mosta) te održavati konstrukciju u zahtjevanom adekvatnom stanju. Svako obavljanje rada na mostu mora biti propisano programom korištenja mostova.

Zahtjevi kojima mostovi moraju udovoljiti su složeni i raznoliki, na temelju kojih bi njihova izgradnja predstavljala izvrsno riješen građevinski zadatak. Osnovni zahtjevi za mostove mogu se podijeliti u četiri skupine:

- zahtjevi funkcije
- zahtjevi postojanosti
- zahtjevi ljepote
- zahtjevi gospodarnosti

Mostovi spadaju u prometne objekte te upravo iz ove činjenice proizlaze njihovi najosnovniji parametri (visinska i tlocrtna obilježja nivelete, dimenzije prometne podloge u poprečnom smislu i zahtjevi odvodnje, sigurnost prometa, zaštita od buke i slično). Osnovne stavke koje mostovi trebaju sadržavati jesu: uvjeti prelaženja, udobnost prometa, sigurnost prometa, psihički utjecaji, ponašanje u izvanrednim okolnostima, ponašanje u posebnim klimatskim okolnostima te ustrajnost svojstava [10].

4.1.1. Održavanje mostova u Republici Hrvatskoj

Stanje mostova obuhvaća tekuće i godišnje preglede (vizualne ocjene uz uočavanje nastalih promjena), zatim jednostavne i glavne preglede (slika 9.) (detaljni pregledi svih dostupnih pregleda, uključujući i potrebna posebna mjerenja) te posebne preglede (obavljaju se nakon izvanrednih stanja na temelju pojave koja je imala kao posljedicu sigurnost i upotrebljivost mosta).

U Republici Hrvatskoj izvode se redovni, godišnji, glavni i izvanredni pregledi mostova prema Zakonu o javnim cestama [11] i Pravilniku o održavanju i zaštiti javnih cesta [12]. Redovni pregledi na državnim cestama izvode se najmanje jednom tjedno, na županijskim cestama najmanje jednom u dva tjedna te na lokalnim cestama najmanje jednom u mjesec dana.

Od nadležnog inženjera iziskuje se obavljanje osnovnog pregleda mosta, zbog izrade troškovnika za glavni pregled mosta, kako bi bilo moguće sastaviti radni zadatak te optimalan troškovnik potrebnih ispitivanja.

Jedan od najvećih preduvjeta sigurnosti mostova proizlaze zahtjevi postojanosti koji se iskazuju parametrima te se odnose na obilježja nosive konstrukcije i njenu sposobnost preuzimanja svih djelovanja kojima će konstrukcija biti izložena tijekom svog životnog vijeka. Njih možemo iskazati kao sposobnost konstrukcije za preuzimanje vanjskih djelovanja, da se odupire promjeni oblika te da zadrži sva potrebna svojstva upotrebljivosti iznad minimalno dopustivih razina u određenom vremenu. Stoga možemo sa sigurnošću zaključiti da su konstrukcije (u ovom slučaju mostovi) postojane ako su sigurne, stabilne i trajne.



Slika 9. Glavni pregled mosta uporabom specijalnog vozila

Poseban zadatak ima nosivost i otpornost na djelovanja te razne utjecaje kojima konstrukcija može biti izložena, stoga zadatak inženjera proizlazi iz toga da konstrukcija mora biti sposobna da se odupre utjecajima vlastitih obilježja, korisnika i svih prirodnih sila u zadanom određenom roku (sklopovi, elementi, spojevi i osobito najkritičniji dijelovi među njima). Ovdje je naglasak o potrebi koja je zadatak graditeljima da projektiraju i sagrađe konstrukciju tako da se bez nepovoljnih utjecaja na razinu upotrebljivosti preuzmu sva vanjska djelovanja kojima će biti izložena tijekom svog životnog vijeka.

Ujedno, uz osnovne pretpostavke za sigurnost i stabilnost mostova, ne može se izostaviti niti manje bitan zahtjev ljepote, iz razloga jer su mostovi konstrukcije koje dominiraju prostorima, stoga estetska vrijednost također ne bi trebala ostati zapostavljena. Izgled mosta trebao bi se uklopiti u okolinu i arhitekturu samog mjesta gdje se on nalazi, osobito oni koji se vide i s veće udaljenosti.

Stoga, trebalo bi uskladiti unutrašnji sklad mosta, sklad s graditeljskim nasljeđem te sklad s okolnim prostorom, a sve to proizlazi iz zajedničke veze s izborom linija mostova, sukladnošću logike forme i funkcije, redom i proporcijom, odgovarajućim bojama te uzdržavanjem zadanih svojstava. Kao primjer možemo navesti gotički Karlov most u Pragu (slika 10.).



Slika 10. Karlov most u Pragu

4.2. Gospodarski zahtjevi mostova

U većini slučajeva, kao pogrešan cilj projekta može se navesti težnja k tome da je konstrukcija uz uspješnost i kvalitetu što jeftinija uz uštedu na materijalu. Stoga, kao jednu od najvećih zabluda u današnjem svijetu graditeljstva (uključujući i građenje mostova) jest upravo jeftino građenje, koje rezultira oštećenjima mosta, njihovim propadanjem te u najgorem slučaju, urušavanjem mosta (vidi sliku 11.).



Slika 11. Urušavanje mosta u Minneapolisu 2007. godine

Na sljedećem primjeru (slika 12.) prikazan je primjer urušavanja mosta, koji se nalazi u međimurskoj županiji pod imenom „Črni most“ te prelazi potok Trnavu. Razlog oštećenja mosta bio je prelazak s teškim strojem, unatoč tome što je znak na mostu ograničenja na 3,5 tone.



Slika 12. Oštećeni Črni most

Na temelju iskustva može se zaključiti da zbog individualnog nepoštivanja pravila za dopuštenu masu tereta na mostu, također se utječe na njegovu kvalitetu i izdrživost. Izbjegavanje odgovornosti od strane čovjeka da se prilagodi upozorenju danom ispred same građevine, uvelike doprinosi ranijem oštećivanju konstrukcije i njezinom propadanju.

Što se tiče same nepravilne gradnje i manjka nadzora kod građenja, kod mnogih jeftinijih konstrukcija kasnije u eksploataciji se pokaže da su potrebna dodatna znatna sredstva za redovito izvanredno održavanje, dok su s druge strane u gradnji skupljih konstrukcija ulaganja manja. Ekonomičnost mostova se treba sagledati kao potrebu da se uz postojan, siguran i estetski prihvatljiv način omogući kvalitetan prijelaz preko određene zapreke.

Međutim, ukupnoj cijeni mosta trebalo bi pridodati neizravne troškove, stoga možemo zaključiti da gospodarska analiza mosta uključuje:

- ukupne izravne troškove pripreme, projektiranja i izgradnje
- ukupne neizravne troškove
- planirane troškove redovitog održavanja
- trajanje izgradnje i trajnost mosta
- izravne i neizravne prihode od eksploatacije mosta, naplatom mostarine i uštedama u prometu

4.2.1. Projekt održavanja mostova

Proračunska stanja mostova možemo definirati kao stanja u kojima se nosivi sklop nalazi u vijeku trajanja te mora zadržati nosivost i uporabljivost. U proračunski vijek trajanja svrstavamo u razdoblje u kojem je most uporabljiv uz adekvatno održavanje, ali u principu se uzima sto godina trajanja.

Trajnost građevine (u ovom slučaju mosta) je njezina sposobnost da u svom proračunskom roku trajanja može izvršavati sve zadatke za koje je projektirana i maksimalno oduprijeti akcidentnim djelovanjima. Kada je u pitanju održavanje uobičajenih mostova, dostupne su opće upute za održavanje koje razrađuju cestovne uprave.

Nadzor i održavanje složenijih mostova trebalo bi biti organizirano na temelju posebno prepisanog elaborata uputa za prepoznavanje, ocjenjivanje nedostataka, kao i samog pristupa popravcima.

Projekt održavanja mostova treba sadržavati:

- bitne podatke za trajnost mosta
- plan pregleda
- način pregledavanja pojedinih dijelova konstrukcije
- formulare potrebne za pregled
- popis projektne dokumentacije

Sadržaj koji se mora nalaziti u projektu održavanja mostova je:

1. Za konstrukciju:

- temelji – duboko ili plitko temeljenje, podzemne vode, hidroizolacija ukopanih voda i geomehničke podloge za projektiranje
- stupovi i upornjaci – dostupnost dijelova, poduzete mjere za zaštitu od erozije, udara vozila i plovila, mjere osiguranja kod plastičnih zglobova te minske komore
- ležajevi – vrsta i njihov proizvođač, shema oslanjanja, predviđeni i dopušteni pomaci, mogućnost zamjene, predviđena trajnost i održavanje
- rasponski sklop – sustav, gradivo, postupak izvedbe, spojevi, zglobovi, prilaz nedostupnim dijelovima

2. Za prilazima mostu:

- nasip – zbijanje iza upornjaka i prijelazna ploča
- odvodnja – priključak na cestovnu odvodnju i šahtovi
- instalacije – šahtovi iza mosta i prijelaz instalacija na most

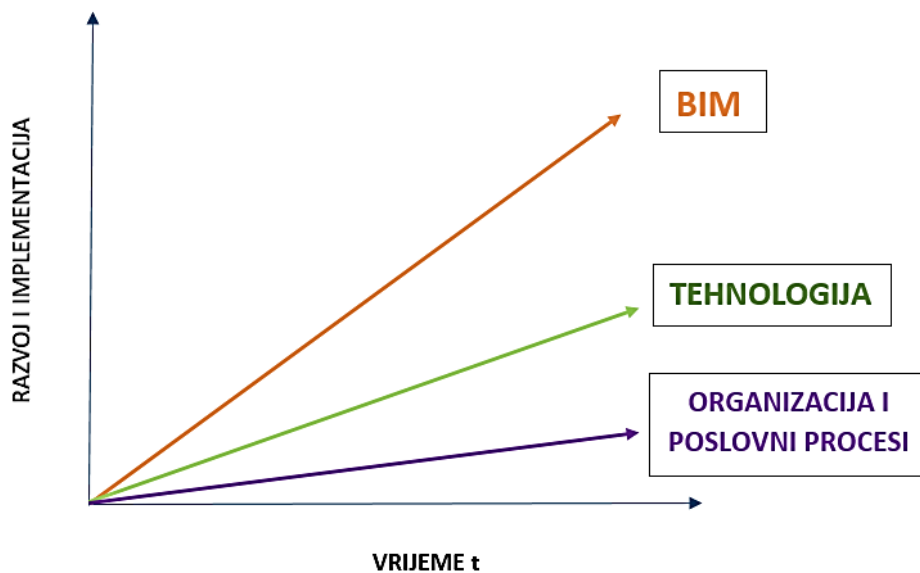
3. Za opremu mosta:

- kolnik – zastor (slojevi, projektiranje), hidroizolacija i uređenje spojka kolnika i rubnjaka
- pješačka staza – detalji povezivanja s konstrukcijom, armatura, instalacije, šahtovi te zastor i hidroizolacija pješačke staze
- odvodnja – shema sustava odvodnje, priključivanje na cestovnu odvodnju, informacije o slivnjacima, informacije o cijevima, plan čišćenja i održavanja te način čišćenja cijevi i otvora za čišćenje
- zaštitna i odbojna ograda – gradivo, antikorozivna zaštita, zamjena oštećenih dijelova
- prijelazne naprave – proizvođač, gradivo i plan čišćenja [7, 10]

5. BIM u građenju i održavanju

BIM (*Building Information Modeling*) se može definirati kao inteligentan podatkovni model, čiji zadatak je da služi kao temelj za projektiranje, simulaciju i suradnju kroz sve faze građevinskog projekta. Služi za izgradnju digitalnog integriranog modela za već postojećeg ili tek planiranog okoliša, a koristi se u svim etapama projekta; planiranju, projektiranju, građenju konstrukcije i njezinom održavanju.

Bilo bi dobro naglasiti da je BIM kombinacija organizacijskog i tehnološkog pristupa zajedno sa suradnjom sudionika koji pomoću određenih alata isporučuju točne informacije kroz sve faze BIM projekta (slika 13.) [6, 13].

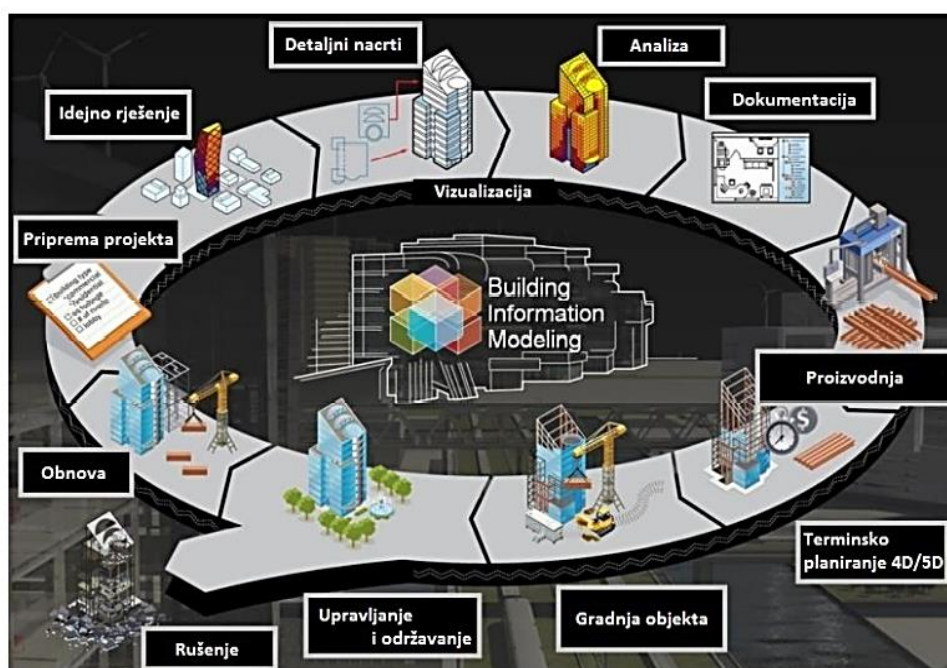


Slika 13. Razvoj i implementacija tehnologije i organizacije

BIM se koristi za projektiranje i dokumentiranje građevinskih i infrastrukturnih dizajna. Model se može koristiti za analizu kako bi se istražile mogućnosti dizajna i stvorile vizualizacije koje pomažu sudionicima da shvate kako će zgrada izgledati prije nego što se izgradi (vidi sliku 14.).

Stoga, ne samo da omogućuje projektnim i građevinskim timovima da rade učinkovitije, već im omogućuje prikupljanje podataka koje stvaraju tijekom procesa, kako bi se lakše pristupilo aktivnostima projektiranja ili održavanja. Iz tog razloga se BIM sve češće počeo koristiti širom svijeta.

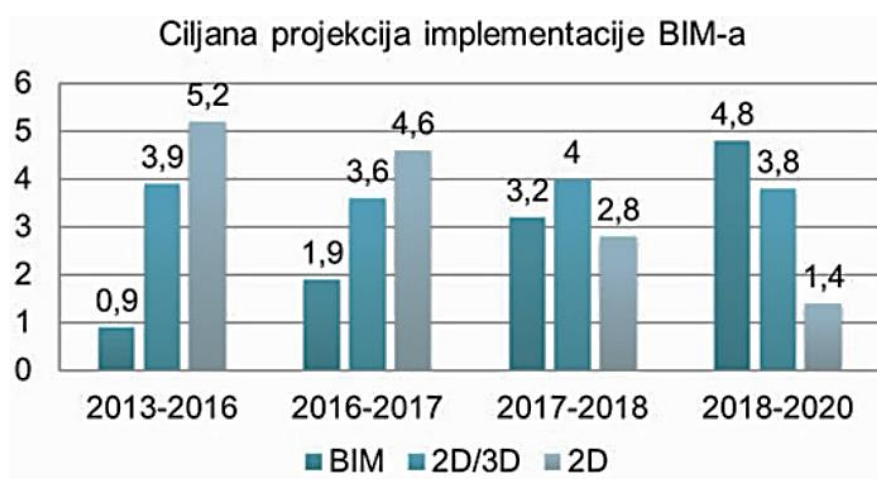
Može se napomenuti da je na području Europe već široko zastupljen (Velika Britanija od 2016. godine za sve javne investicije obvezala je upravo BIM Level 2 način rada, isto tako sličan način uvele su Francuska i Danska), dok nažalost u Hrvatskoj još nije zastupljen [13].



Slika 14. Prikaz BIM projekta

Treba se istaknuti da BIM ne spada samo u 3D program, nego se odnosi na proces izrade projekata i njegove dokumentacije. Međutim, BIM proces između ostalog podrazumijeva izradu 3D informacijskog modela, koji uz 3D geometriju sadržava i ostale podatke o konstrukcijskim elementima, kao što su njegova debljina, gustoća, fizikalne karakteristike i drugo.

U BIM-u su uključeni svi sudionici u procesu građenja. Dakle, može se reći da je upravljanje BIM sustavom izrada tehničke dokumentacije neusporedivo brža i točnija od uobičajenog 2D konstruiranja. Slika 15. prikazuje odnos BIM procesa, 2D/3D konstruiranja te 2D konstruiranja [14].



Slika 15. Implementacija BIM-a

5.1. Mogućnosti BIM-a

U ovom poglavlju navedene su učinkovitosti BIM-a. Kako njegovi korisnici s vremenom postaju sve učinkovitiji, s time se poboljšavaju mogućnosti za produktivnosti, koje sve su izraženije.

Prednosti BIM-a su:

- **reduciranje prerađivanja**

Najbolje ocijenjena prednost prema stručnjacima. Četiri od pet stručnjaka kažu da donosi visoku do vrlo visoku vrijednost

- **poboljšavanje produktivnosti**

Ocijenjeno od strane arhitekata, BIM je predstavljen kao najbolji način za poboljšanje povrata investicije u tehnologiju

- **smanjenje nesporazuma i promjena tijekom gradnje**

Spada među najbolji način za koji inženjeri kažu da dodaje vrijednost njihovom projektu

- **otkrivanje pogrešaka i sprječavanje prerade**

Korisnici tvrde da upotreba BIM-a štedi vrijeme i novac

Tablica 1. Prednosti BIM-a

| | |
|---------------------------|--|
| PROMJENE U RADNOM PROCESU | Nova metodologija projektiranja koja obuhvaća direktan rad u 3D modelu s znatnim brojem informacija, koja je uz to brža i točnija dokumentacija. |
| UŠTEDE | Korištenjem BIM tehnologija i procesa očekuje se ostvarivanje znatnih ušteda u procesu gradnje kroz jeftiniju gradnju, manje grešaka na gradilištu i slično. |
| DOKUMENTACIJA | Sadrži manje grešaka uz točnu dokumentaciju. Služi kao lakši način provođenja financijskih analiza i manjih troškova cjelokupnog životnog vijeka građevine. |
| ULAGANJA | Države i vlade svih članica EU potiču se da u prijelaznom periodu odrade što više projekata kroz BIM, stoga predstavlja vodeću konkurentnost na tržištu. |

U praksi korisnici BIM-a vide brojne mogućnosti da prepoznaju njegovu vrijednost. Budući da je BIM proces koji je počeo privlačiti pažnju širom cijele građevinske struke, njegov raspon mogućnosti, poput smanjenja prerade i pogrešaka pomaže kod uštede vremena i smanjenja troškova[14].

5.2. Sudionici BIM-a

Kod svakog pokretanja i vođenja BIM projekta, potrebno je imenovati osobe koje će voditi i rukovoditi projektom [15].

Sudionici BIM-a:

- **BIM menadžer**
 - određuje i definira pravila kojih se potrebno držati tijekom trajanja cijelog građevinskog projekta
- **BIM inženjer**
 - sposobnost pokazivanja BIM softverskih rješenja, sposobnost stvaranja dobre suradnje među sudionicima, vođenje i koordiniranje zadatacima
- **BIM koordinator**
 - većinom specijaliziran za jednu struku, ili uže područje te sposobnost za upravljanjem informacijama i modeliranja na potrebnim programima
- **BIM tehničar**
 - osoba koja ima razvijene vještine i znanja modeliranja u BIM softverima, gdje treba biti dobro upućen i isto tako izvrsno razumjeti projektne aspekte specifičnog strukovnog područja
- **BIM konzultant**
 - njegov zadatak je da vodi i konzultira sudionike građevinskih projekata. Dijelimo ih na strateške, funkcijske i operativne konzultante

5.3. Instrumenti u BIM-u

BIM podaci mogu se koristiti za ilustraciju cjelokupnog životnog ciklusa konstrukcije, od početka i dizajna do rušenja i ponovne upotrebe materijala. Prostori, sustavi, proizvodi i sekvence mogu se prikazati u relativnom mjerilu. Valja napomenuti da BIM nije samo skup softvera ili jednostavan 3D model. Ne sadrži samo elemente modela već i velike količine informacija koje čine projekt, kao i postupak razmjene tih informacija s drugim uključenim sustavima.

Dok su se prethodni programi oslanjali na više formata datoteka i nepovezane procese koji su postali nesinkronizirani kada su napravljene promjene, BIM omogućuje mnogo dinamičniji i sinkroniziraniji pristup upravljanju projektima.

Instrumenti BIM-a međusobno ovise od skupine BIM elemenata. U njegove instrumente možemo svrstati 2D i 3D geometrijske prezentacije fizičkih elementata. Uz 2D i 3D geometriju, BIM elementi mogu sadržavati vizualne karakteristike, kao i mnoge druge informacije.

Primjena BIM procesa uključuje planiranje (prostorne analize potencijalne lokacije građevine i snimanje postojećeg stanja), projektiranje (analiza građevnih sustava, projektiranje te inženjerske analize), građenje (organizacija građenja i vremensko planiranje, projektiranje, digitalna kontrola proizvodnje, geodetsko 3D upravljanje i snimanje izvedenog stanja) te na kraju, puštanje u pogon i upravljanje (sam način održavanja, upravljanje imovinom i prostorom te planiranje izvanrednih situacija).

Ako BIM definiramo kao tehnologiju, onda se može reći da je skup digitalnih reprezentacija fizičkih i funkcijskih karakteristika građevine. Drugim riječima, može se interpretirati kao virtualna inteligentna simulacija konstrukcije[16].

Simulacija bi trebala imati šest ključnih karakteristika putem kojih bi bilo moguće ostvariti integriranu isporuku projekta, stoga bi ona trebala biti [14]:

- **Digitalna**
drugim riječima, trebala bi biti izrađena računalom
- **Prostorna**
trodimenzionalna
- **Mjerljiva**
dobivanje količina, čitanje dimenzija i relacijska, odnosno, mora imati mogućnost odgovora na upite za podacima
- **Sveobuhvatna**
dizajn, performanse zgrade, izgradivost te uključuje financijske i vremenske aspekte odabranih sredstava i metoda
- **Pristupačna**
cijelom timu projekatana, proizvođača, izvođača i/ili vlasnika kroz interoperabilno i intuitivno sučelje
- **Trajna**
uporabljiva kroz sve faze životnog vijeka građevine

Što se tiče BIM softvera, ugrubo bi moglo biti rečeno da još uvijek ne postoji softver koji bi zadovoljavao sve kriterije koje uključuju BIM tehnologiju. Međutim, s vremenom njegove mogućnosti rastu u cilju složenijih, zahtjevnijih izvođenja i upravljanja [14, 17].

6. Laserska tehnologija

Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*: pojačanje svjetlosti pomoću stimulirane emisije zračenja) definiramo kao uređaj koji odašilja svjetlo koje je pojačano i stimulirano u lasersku zraku. Zraka se kreće brzinom svjetlosti, koja se odbija od fizičke prepreke te vraća u prijemnik, koji se nalazi u uređaju iz kojega je poslana.

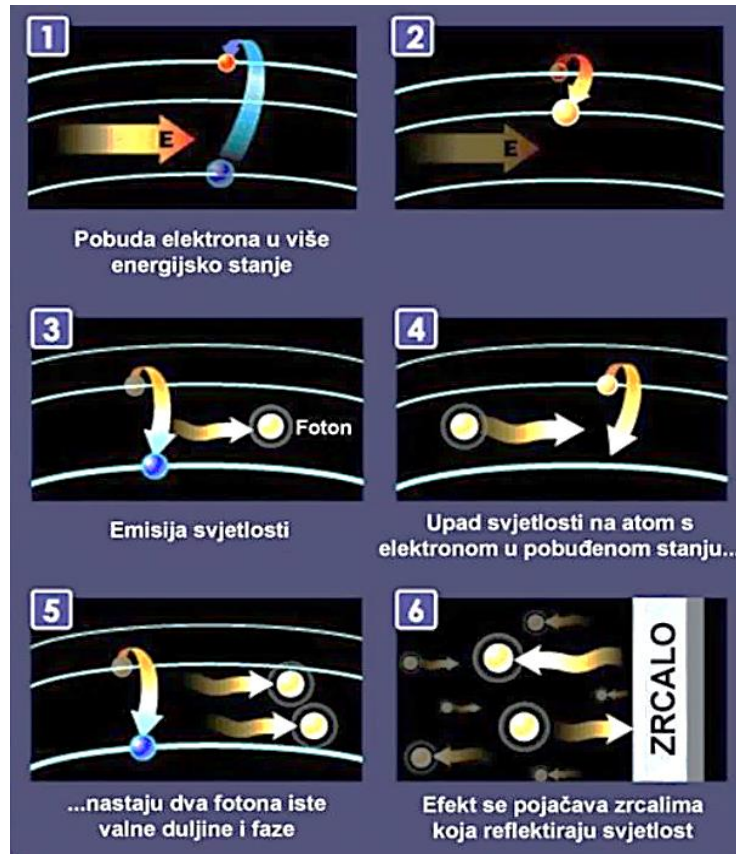
Njegov princip rada (slika 16.) je taj da se putem vanjske energije pobuđuju atomi, gdje oni prelaze na višu energetska razinu, uz otpuštanje čestica svjetlosti (fotona), pri čemu nastaje laserska zraka [18].

Među najbitnijim karakteristikama lasera možemo navesti da sve laserske zrake tvore jednu zajedničku te imaju iste karakteristike:

- boju
- brzinu
- valnu duljinu
- energiju
- smjer kretanja

Zahvaljujući tehnološkim dostignućima koji su uvjetovali unaprijeđenju raznih vrsta lasera, može se reći da ih dijelimo u 3 osnovna tipa:

- **po načinu rada**
 - pulsni laseri
 - kontinuirani laseri
- **ovisno o načinu pumpanja**
 - optički
 - električni
- **ovisno o snagama (mW-PW)**



Slika 16. Način funkcioniranja laserske zrake

6.1. LiDAR

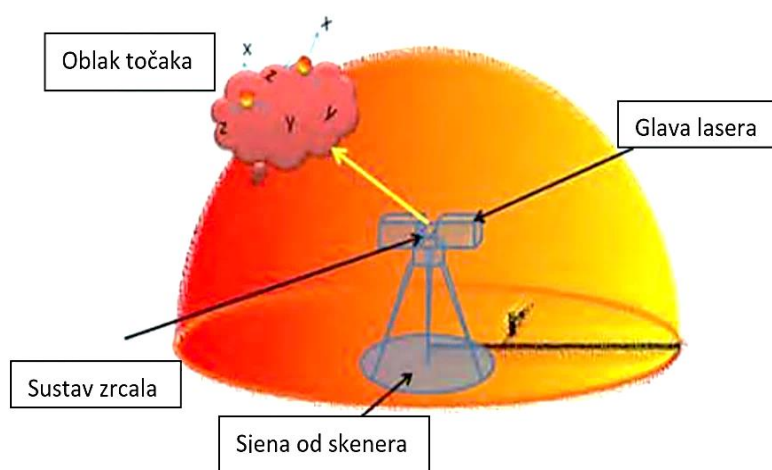
LiDAR (*Light Detection And Ranging*) je tehnologija koja se temelji na poznavanju brzine svjetlosti te uskom koherentnom snopu laserske zrake koju uređaj emitira u prostor. Može se reći da su budućnost građevine i geodezije temeljene na prikupljanju prostornih podataka, upravo zbog razvoja LiDAR tehnologije.

Zasnovan je na pronalaženju dometa, koji radi na principu prijenosa i primanja impulsnih svjetala. Određivanjem heterodinskog laserskog faznog pomaka snopa, LiDAR skeniranje može otkriti podatke o udaljenosti iz ravnine podatkovne točke, čiji je stručan naziv oblak točaka [19].

Informacije od oblaka točaka mogu se koristiti na fizičkom položaju bilo koje površine koju laser vidi. Stoga, upotrebljuje se za otkrivanje korisnih informacija o građevini, uključujući nadmorsku visinu, površini (kvantifikacija oštećenja), deformacije pod opterećenjem i slično.

Princip rada LiDAR tehnologije je takav da se prikupljaju 3D prostorni podaci skeniranog područja kao oblak točaka, koji se dobiju slanjem laserske zrake prema objektu te njihovom refleksijom natrag u skener. Takva vrsta laserskog skeniranja rezultira upravo gustim oblakom točaka, iz kojeg naknadnom obradom, filtriranjem i modeliranjem dobivamo 3D model snimljenog područja. Na osnovi snimljenog oblaka točaka ili izrađenog 3D modela može se izraditi animacija odabranog područja [16].

Slika 17. prikazuje skeniranje LiDAR-a i osnove otkrivanja povratnih signala. Postoje dva pristupa otkrivanju podataka o položaju; vrijeme razlike leta između emitiranog impulsa i vraćenog signala te fazne razlike između dva signala. U tipičnom skeniranju od pet do deset minuta, jedinica za skeniranje LiDAR može prikupiti milijune podatkovnih točaka, koje uključuju XYZ položaj svake točke skeniranja.



Slika 17. 3D LiDAR sustav

Za analizu oblaka točaka LiDAR bitno je uvažavanje geometrijske složenosti skeniranih scena i tome kako su povezane s razlikama u odnosu na predmet interesa. Određene razlike u položaju mogu biti izračun fizičke udaljenosti za subjekte unutar iste snimke ili razlike između različitih snimanja (deformacija) istog subjekta.

Bilo bi dobro napomenuti da svaki pokušaj skeniranja može rezultirati različitim utjecajem pojave koja se snima, mjernog instrumenta i njegovog postupka. Na to mogu utjecati okoliš, jake vibracije, šumovi nastali pod djelovanjem prometa, ali naravno ne smije se izostaviti niti utjecaj osobnosti korisnika skenera, kao što su njegova koncentracija, uvježbanost i sama sposobnost procjene [20].

Prije skeniranja mosta, skener treba postaviti tako da svaka točka skeniranja predstavlja relativni položaj točke (X, Y, Z) prema skeneru. U sljedećoj tablici prikazane su različite LiDAR primjene za nadzor mostova, dok su zahtjevi razlučivosti povezani sa svakom od njih.

Tablica 2. Potencijalne LiDAR primjene

| PRIMJENA | GEOMETRIJSKE DIMENZIJE | ZAHTJEVI ZA RAZLUČIVOST |
|---|------------------------------------|--|
| Oštećenje mosta | L ² , L ³ | ±0.0001 m ² , ±0.000001 m ³ |
| Mjerenje zazora | L | ±0.001 m |
| Studija nesreća | L, L ² , L ³ | ±0.1 m, ±0.01 m ² , ±0.001 m ³ |
| Događaj prije i poslije izgradnje | L, L ² , L ³ | ±0.1 m, ±0.01 m ² , ±0.001 m ³ |
| Kvantifikacija opterećenja prometa | L, L/T | ±0.1 m, ±0.01 m ² , ±0.001 m ³ |
| Djelovanja temperature | L | ±0.1 m, ±0.01 m ² , ±0.001 m ³ |
| Otkrivanje namještaja | L ² | ±0.01 m ² |
| Otkrivanje zloupotrebe (grafiti i slično) | L ² | ±0.01 m ² |
| Izmjena mosta | L | ±0.001 m |

7. Laserski skeneri i primjena na mostovima

Laserski skeneri spadaju u noviju tehnologiju za snimanje konstrukcija, prostora i objekata, što je vrlo dobra metoda za dobivanje detaljnih digitalnih snimanja velikih konstrukcija. Tehnika laserskog skeniranja jedna je od tehnologija daljinskog istraživanja koja ima značajnu ulogu u procjeni i praćenju građevinskih objekata prostora, odnosno infrastrukture.

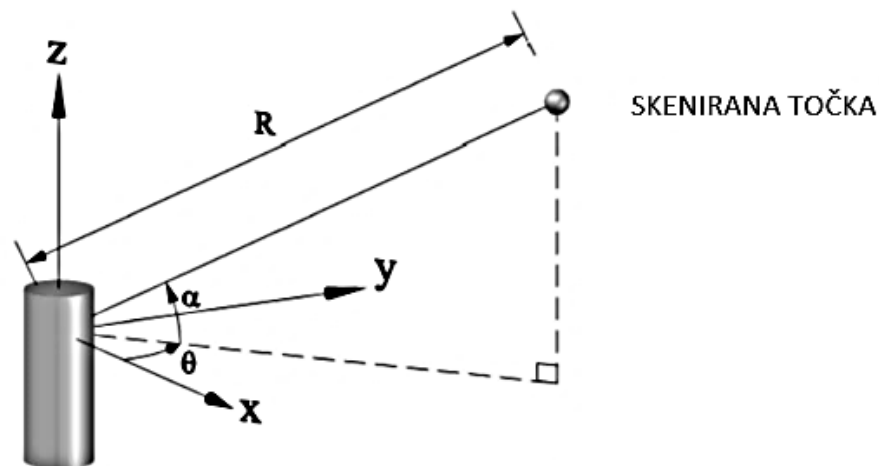
Današnju lasersku tehnologiju možemo podijeliti na dvije vrste tehnologije koje se koriste za geomonitoring mostova:

- statički
- dinamički

Oba laserska sustava su zemaljski i jednotočkasti sustavi koji koriste mehaničke ili optičke mehanizme za skeniranje kako bi kreirali vidno polje i oblak točaka. Skener prikuplja 3D geometrijske podatke površina konstrukcije kao diskretne podatkovne točke. Te informacije mogu se koristiti za rekonstrukciju 3D modela konstrukcija ili za otkrivanje površinskih promjena tijekom vremena.

Skener radi na principu snimanja udaljenosti između odašiljača i reflektirajuće površine te se izračunava kao vrijeme putovanja između signala prijensa i prijama koji se naziva *vrijeme leta* (eng. „*Time of Flight – ToF*“) laserskog impulsa ili fazna razlika između odašiljenog i primljenog vala.

Za mostove i druge velike građevine, laserski skeneri su poželjni zbog njihovog velikog dometa. Skener generira skenirane točke kroz niz mjerenja dometa s jednoličnim kutnim koracima u vodoravnoj i okomitoj ravnini. To se kontrolira okretanjem i klimanjem glave ogledala i mehanizama s rotirajućom glavom. Svaka uzrokovana točka definirana je sfernom koordinatom s mjerenjem dometa, vodoravnim smjerom i okomitim kutem (slika 18.) [21].



Slika 18. Princip laserskog skeniranja

Mjerenje dometa je udaljenost od odašiljača do reflektirajuće površine R , izražena u jednadžbi 7.1. [22]:

$$R = \frac{1}{2} c t \quad (7.1.)$$

Oznaka t je vremenski interval između emisije i impulsa te njegovog prijema povratno raspršeni dio, dok je c brzina svjetlosti kroz zrak (3×10^8 m/s). Točnost skenera uglavnom se temelji na preciznosti mjerenja vremena elektronike integrirane u sklop, kao što je prikazano u jednadžbi 7.2.

Nadalje, preciznost rangiranja obrnuto je proporcionalna omjeru signala i šuma, koji ovisi o različitim čimbenicima, kao što su snaga primljenog signala, ulazna širina pojasa, pozadinsko zračenje i šum pojačala.

$$\Delta R = \frac{1}{2} c \Delta t \quad (7.2.)$$

Svaka sirova skenirana točka automatski se pretvara u skup trodimenzionalnih Kartezijevih koordinata (x, y, z) pomoću softvera skenera, gdje su ishodišne koordinate na skeneru. Osim 3D koordinata skeniranih točaka, skener također dobiva vrijednosti intenziteta, koja je mjera snage elektroničkog signala dobivena pretvaranjem i pojačavanjem povratno raspršene optičke snage. Pfeifer je predložio odnos između emitirane snage (P_E) i primljene snage (P_R), kako je izraženo u jednadžbi 7.3., kada su vremenske varijacije zanemarene zbog impulsne snage.

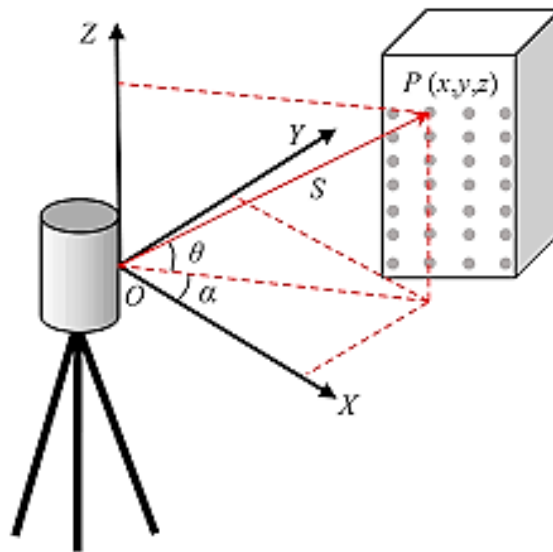
$$P_R = P_E \frac{\cos \alpha}{4 R^2} \pi \rho \eta_{Atm} \eta_{Sys} \quad (7.3.)$$

ρ predstavlja refleksiju materijala, R je oznaka za mjerenje dometa, a η_{Atm} i η_{Sys} su atmosferski i sistemski gubici. Jednadžba 7.3. implicira da vrijednosti intenziteta snažno ovise o refleksiji materijala, upadnom kutu ispod konstante atmosfere i mjerenje dometa.

Upravo zbog teške fizičke dostupnosti i sposobnosti daljinskog prepoznavanja, prednosti laserskog skenera su pristup oštećenjima, uz male zahtjeve za radnom snagom te pružanje trajnih elektroničkih dokumentacija o promjenama strukture. Uz poznavanje principa rada laserskog skenera (slika 19.), može biti od velike pomoći kao alat za nadzor mosta, u smanjenju troškova njegove inspekcije i istovremeno povećati njezinu točnost na terenu.

Nakon urušavanja mosta u Minneapolisu 2007. godine (vidi poglavlje 4.2.), ponovno je bio pobuđen interes za poboljšanjem praćenja infrastrukture mostova. Osim razvijanja tradicionalnih tehnika nadzora i ispitivanja materijala, pokrenute su i rasprave o mogućim primjenama daljinskog otkrivanja za nadzor civilne infrastrukture.

Tehnike laserskog skeniranja mogu se svrstati u tehnologije daljinskog istraživanja, koje igraju značajnu ulogu u procjeni okoliša, infrastrukture i praćenja. Međutim, postoje posebni zahtjevi za praćenje složenijih konstrukcija poput mostova (fizički teže dostupna područja), od konvencionalnih geoprostornih utjecaja poput kvalitete zraka, utjecaja na okoliš, prijevoza i slično. Najvažniji od njih je zahtjev za razlučivost senzora.



Slika 19. Princip rada laserskog skenera

Za kontrast konvencionalne analize fotografskih slika mogu se koristiti relativno jednostavni algoritmi za obradu podataka geometrijskog oblaka točaka, radi dohvaćanja gore spomenutih informacija. Za sve ostale aktivnosti vezane uz bilo koju konstrukciju ili most, uključujući i provjeru valjanosti novih konstrukcija za usporedbu prije i poslije kritičnog događaja, također uvelike može pomoći LiDAR skeniranje.

Ovdje opisane laserske tehnologije skeniranja mogu se najbolje opisati kao zemaljski sustavi laserskog skeniranja, koji su bili od značajne pomoći za nadzor i održavanje mostova u adekvatnom stanju.

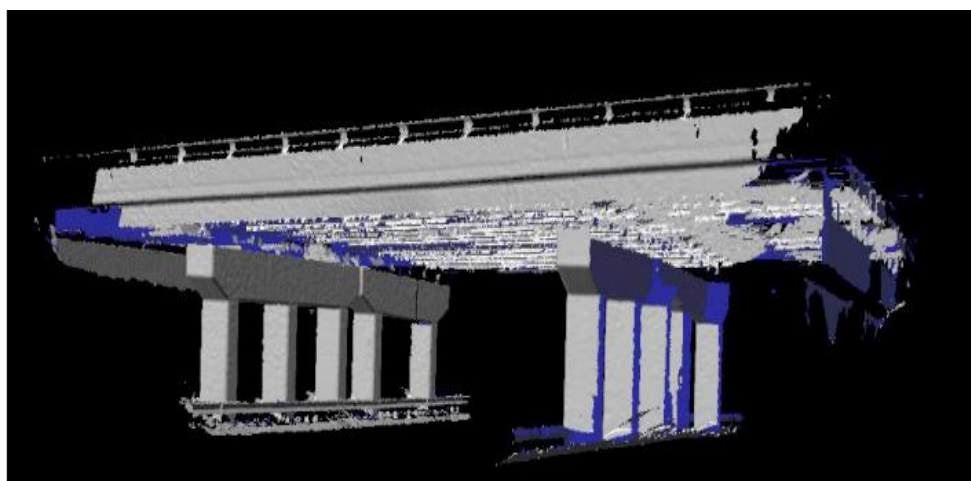
Većina laserskih skenera koristi servo upravljana rotirajuća zrcala da odražavaju laserske zrake na ciljane površine te obično dopuštaju pristup pokrivanja dvodimenzionalnih ili trodimenzionalnih područja. Pokretni sustav zrcala može biti bilo kojom upotrebom šesterokutnog zrcala, ili uporabom višeosnih rotirajućih ravnih zrcala. Laserske zrake odbijaju se od zrcala i putuju u različite položaje na ciljanom skeniranom području i vraćaju se u isti sustav zrcala. Vraćene laserske zrake pomažu u stvaranju podataka o položaju od ciljane površine[23].

Većina servo upravljanog rotirajućeg zrcala ima fiksnu brzinu skeniranja. Stoga, ovisno o potražnji podatkovnih točaka, trajanje skeniranja može varirati od par minuta do više minuta, ovisno o tome koliko detaljno skeniranje je potrebno.

Nadalje, temeljem dostupne literature američkih studija NBI (*National Bridge Inventory*) [24], zahtjevane su inspekcije za više od 600 000 mostova najmanje jednom u dvije godine. Posljednjih godina istraživači za upravljanje i nadzor mostova opisali su tehnologiju laserskog skeniranja kao obećavajuću alternativu za prikupljanje i dokumentaciju geometrijskih podataka mostova zbog svoje visoke točnosti i visoke stope prikupljanja podataka.

Na temelju njihovog rada „*Laser Scanning for Bridge Inspection and Management*”, predstavljen je postupak geometrijskog prikupljanja podataka na bazi laserskog skeniranja za nadzor mosta koji pokazuje njegove prednosti i nedostatke. Postupak prikupljanja geometrijskih podataka mosta i laserskog skeniranja dijeli se na tri aktivnosti: prikupljanje podataka, obrada podataka i interpretacija podataka.

S obzirom da NBI iziskuje točnost, za većinu mostova zahtjevane su geometrijske značajke u mjerilu nekoliko centimetara ili milimetara, tako da je bilo očekivano da gustoća podataka ovog skenera zadovolji ove zahtjeve. Skeniran je most na autocesti, koji je pomoću softvera bio predodčen kao 3D model zasnovan na skeniranim podacima (vidi sliku 20.).



Slika 20. 3D model mosta iz laserski skeniranih podataka

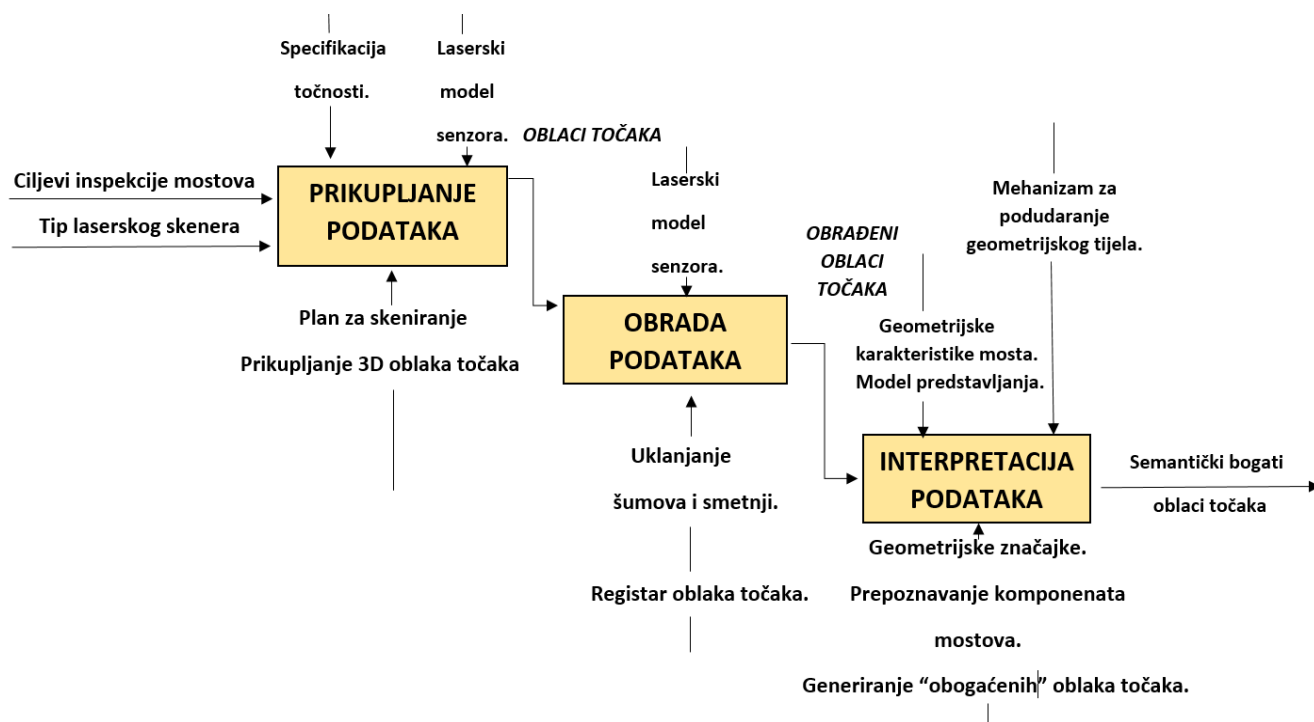
Uzeto je ukupno dvanaest snimaka skenera. Za svako skeniranje zadržavane su točke unutar 10 metara od mjesta skeniranja za 3D modeliranje i podatke analiza, iz razloga što je unutar 10 metara nesigurnost podataka manja od 5 milimetara. Na temelju obrađenih podataka, na 3D objektu mogle su biti uočene neke primjedbe. Prva je ta da je donja površina nadgradnje imala deformaciju na srednjem dijelu mosta. Takvo oštećenje bi bilo teško uhvatiti ručnim snimanjem.

Druga primjedba je jedna poprečna greda mosta, koja se nalazi na različitim mjestima u ova dva modela, što upućuje na pogrešku prilikom ručnog prikupljanja podataka. Ovaj slučaj pokazao je neke od prednosti prikupljanja podataka pomoću laserskih skenera.

Nadzorne osobe za mostove trebale bi obraditi „sirove“ 3D oblake točaka prije obrade podataka zbog osiguranja točnosti i cjelovitosti podataka. Da bi osigurali točnost podataka, podatke treba filtrirati, jer „sirovi“ 3D oblaci točaka sadrže buku i druge smetnje. Buka se odnosi na slučajne okolnosti za vrijeme skeniranja.

Korištenjem različitih filtara, poput Gaussovog filtra, rukovoditelj skenera može ublažiti te zvukove. Međutim, postoji rizik da se izgube detalji objekta, upravo zbog „izgladivanja“ podataka. Smetnje se odnose na pogrešne podatke u oblacima točaka zbog neizbježnih hardverskih učinaka skenera.

„Računalna vizijska zajednica“ dizajnirala je mnoge algoritme za točno otkrivanje i uklanjanje tih smetnji u oblacima točaka (slika 21).

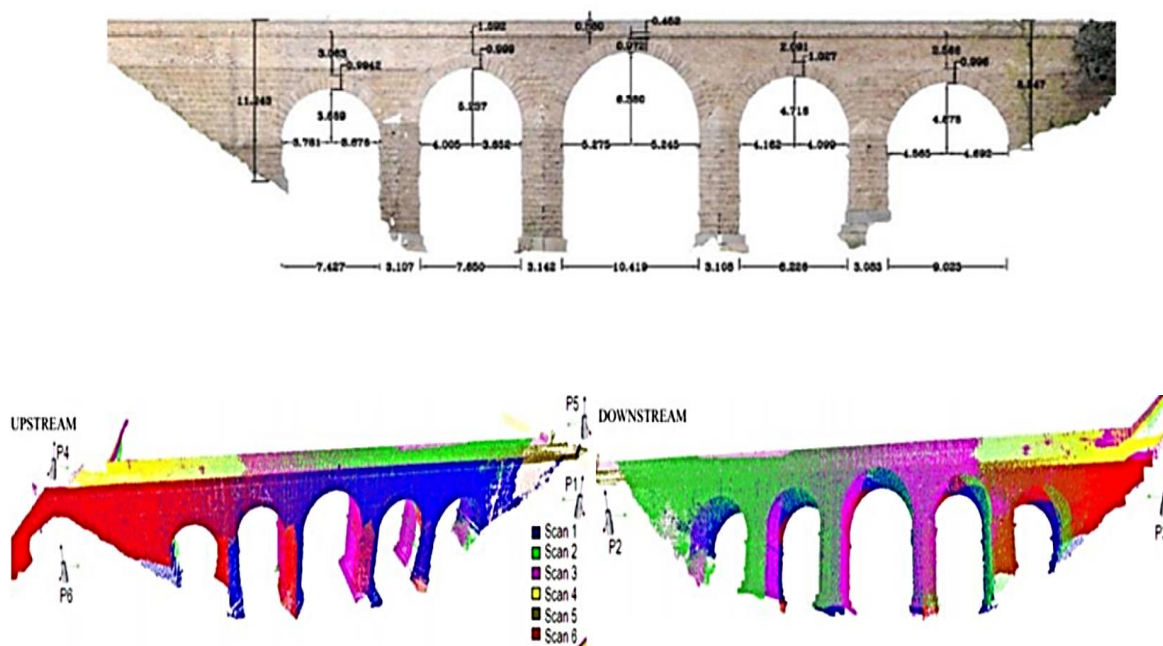


Slika 21. Predloženi postupak laserskog skeniranja na osnovi geometrijskog prikupljanja podataka za nadzor

Neke od najranijih primjena TLS-a (terestričko lasersko skeniranje) na mostovima bile su temeljene na povijesnom luku geometrije mostova. U nekim su slučajevima površine tada izvedene mrežnom triangulacijom do generiranjem čvrstih modela i stvaranje trajnog vijeka.

U drugim istraživanjima, poput onog od Riveiroa, TLS je kombiniran sa fotogrametrijom bliskog dometa. Slično tome, Lubowiecka je kombinirao TLS s probojnikom koji prodire u zemlju za srednjovjekovne modele mostova koji daju uvid u unutarnju strukturu (materijal za ispune, lučni kamen i sučelje zraka i vode) mosta.

Međutim, bila je predložena ugradnja neparametarske regresijske metode, koja se temelji na lokalnom pristupu bivarijantnom zaglađivanju zrna iz oblaka točaka za španjolski most Segura Roma (vidi sliku 22.).



Slika 22. Položaji skeniranja i točke oblaka mosta

Upravo iz razloga što laserski skeneri mogu uštedjeti do 90% vremena potrebnog za prikupljanje podataka, široko se koriste u civilnoj industriji inženjerstva. Međutim, postojeći algoritmi za obradu podataka ostaju ili poluautomatski ili zahtijevaju potpuno iskustvo ručnog korištenja.

Daljnja automatizacija u pregledu mostova, zahtjeva razvoj dodatnih učinkovitih, pouzdanih algoritama. Također se koriste za otkrivanje propadanja površine (npr. biološka kora, pucanje, ljuštenje ili gubitak volumena) [24, 25].

7.1. Glavne značajke i karakteristike laserskih skenera

Trebalo bi napomenuti da lasersko skeniranje nije zamjena za postojeće tehnike geodetskog snimanja, ali ga možemo navoditi kao alternativu koja se može koristiti u većini geodetskih poslova. Kao što je prethodno spomenuto, skeniranje se odvija metodom registracije udaljenosti i kuta do određene točke u području snimanja.

Danas razlikujemo tri vrste TLS-a prema načinu snimanja, ali nije još napravljen standard za usmjerenje laserske zrake, pa se može reći da svaki proizvođač ima vlastiti sustav za pojedine aplikacije (vidi sliku 23.).

Prema načinu snimanja, tri standardne vrste skenera su [26]:

1. Skeneri-kamere

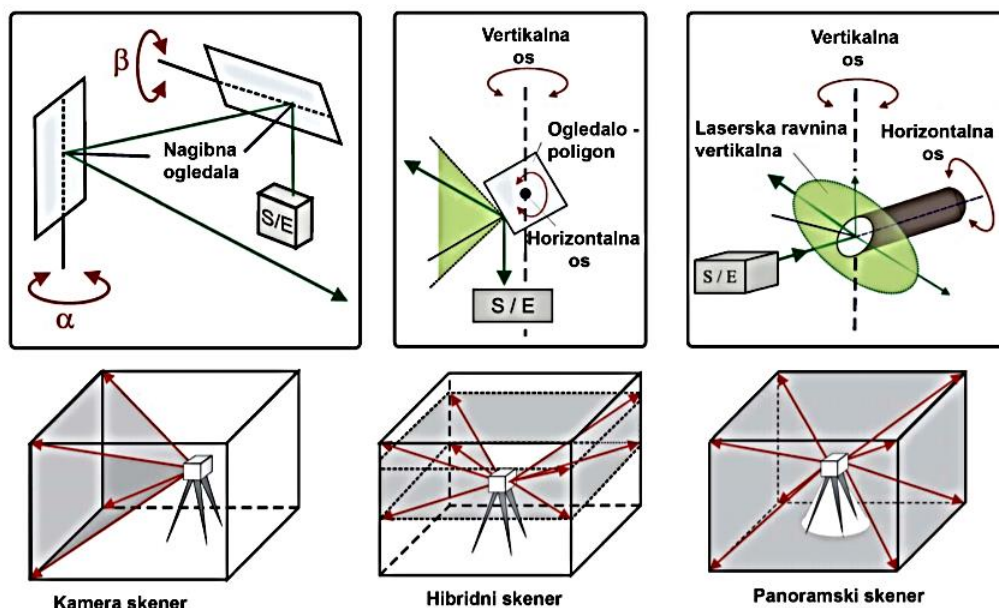
- imaju ograničen prozor snimanja, ili drugim riječima; FOV (*Field Of View*). Skeniraju sve što se obuhvati u trenutnom prozoru snimanja, stoga kao njihovu usporedbu možemo navesti fotogrametrijske kamere
- prednost je vrlo veliki domet, koji može biti i više od 1000 metara
- nedostatak ove vrste je nepraktičnost, zbog uskog područja snimanja

2. Panoramski skeneri

- kod ove vrste je FOV ograničen samo bazom instrumenata. Drugim riječima, skenira sve oko sebe, osim područja ispod postolja
- prednost je velika brzina prikupljanja podataka i veličina područja skeniranja
- nedostatak je uporaba ograničena na interijer objekta i kratki domet

3. Hibridni skeneri

- ova vrsta skenera sadrži rotacijsko zrcalo koje se rotira oko horizontalne osi. FOV u horizontalnoj osi iznosi 360°, a u vertikalnoj 60°
- prednost je ta da je zbog svojih specifikacija (cijeli instrument rotira oko vertikalne osi za 360°) najčešće korišten u praksi



Slika 23. Prikaz tri vrste skenera prema načinu snimanja

7.2. Vodeći laserski skeneri/uređaji kod skeniranja

Gledajući na to da tržište danas nudi bogatiju ponudu laserskih skenera, možemo reći da trenutno nema jedinstvenog koji bi bio primjeren za svaku primjenu. Mogu se samo izvući podaci i specifikacije koji bi bili najprimjereniji za područje ili objekt koji bi bio skeniran. Stoga je njihovu kategorizaciju teže napraviti, iz razloga što se primijenjena tehnologija znatno razlikuje do pojedinog modela. Vrlo je važno naglasiti da ne postoji univerzalni skener za sve primjene. S obzirom na njihovu tehničku izvedbu i tehničke specifikacije kojima se odlikuju, neki skeneri su bolji za interijere i detalje, dok su drugi bolji za eksterijere i velike objekte.

Skenere dijelimo prema načinu snimanja, mjerenja udaljenosti te prema načinu prikupljanja oblaka točaka.

Što se tiče skenera prema načinu snimanja, skeneri-kamere (npr. CYRA 2500 (Leica) i FARO S350) skeniraju sve što se nalazi u trenutnom prozoru snimanja, međutim nepraktični su zbog uskog područja snimanja, dok im domet seže preko 1000 metara.



Slika 24. FARO S350

Kod panoramskih skenera nedostatak je kratki doomet, dok je prednost njihova velika brzina prikupljanja podataka i veličina skeniranog područja. Kod takvih skenera možemo spomenuti IMAGER 5003 (Zoller + Frohlich) ili BLK 360 (LEICA).



Slika 25. Leica BLK 360

Što se hibridnih skenera tiče, možemo spomenuti TRIMBLE i LMS Z 360 (RIEGEL). Kao što je u prethodnom poglavlju bilo spomenuto, ovakav način skenera je najčešće korišten u praksi, upravo zbog rotacijskog zrcala koji se rotira oko horizontalne osi. U trenutnom smjeru gledanja mogućnost mu je skenirati sve u vertikalnom kutu od 60° , dok se oko vertikalne osi za 360° rotira cijeli instrument.



Slika 26. TRIMBLE SX10

Skeneri prema načinu prikupljanja oblaka točaka se dijele na dvije vrste: apsolutni i relativni. Trimble i Leica ScanStation imaju mogućnost direktnog georeferenciranja podataka na terenu. Kao i standardni geodetski instrumenti, ovi skeneri imaju ugrađene horizontalne i vertikalne kompenzatore. Međutim, u različitim smjerovima im je onemogućeno usmjeravanje i naginjanje skenera te zbog prisutnosti kompenzatora su podosta osjetljiviji na podrhtavanja u okolini [26, 27].

7.3. Trimble SX-10 laserski skener

Zemaljski laserski skener Trimble SX-10 (slika 27.) pripada grupi LIDAR (eng. *Light Detection and Ranging*) instrumenata, koji rade na principu emitiranja laserske zrake i mjerenju vremenskog putovanja nakon refleksije od određenog objekta. Kod snimanja laserskim skenerom, mjere se vertikalni kut, horizontalni kut udaljenost do objekta te daljenost do objekta. Nakon skeniranja, podatke kutova i duljina konvertiramo iz sfernog sustava u kartezijski. Tako se dobiju X, Y i Z zapis koordinata točke [28].

Trimble SX10 ima mogućnost velike preciznosti te skenira do 26 600 točaka/sec u punom krugu na udaljenosti do 600 metara. Svi skenirani podaci su precizno uklopljeni u jedinstveni koordinatni sustav.

Uz mogućnost naprednog upravljanja oblakom točaka, automatsko prepoznavanje i izdvajanje, uz izvoz u vodeće CAD i GIS softvere, može se reći da pomaže kod ispunjenja najzahtjevnijih zadataka [29].

Stoga možemo reći da je Trimble SX10 laserski skener među najmodernijim suvremenim geodetskim instrumentima, koji sadrži gotovo sve mogućnosti skenera, uz iznimno visoko precizne totalne stanice.



Slika 27. Trimble SX10 kod skeniranja mosta

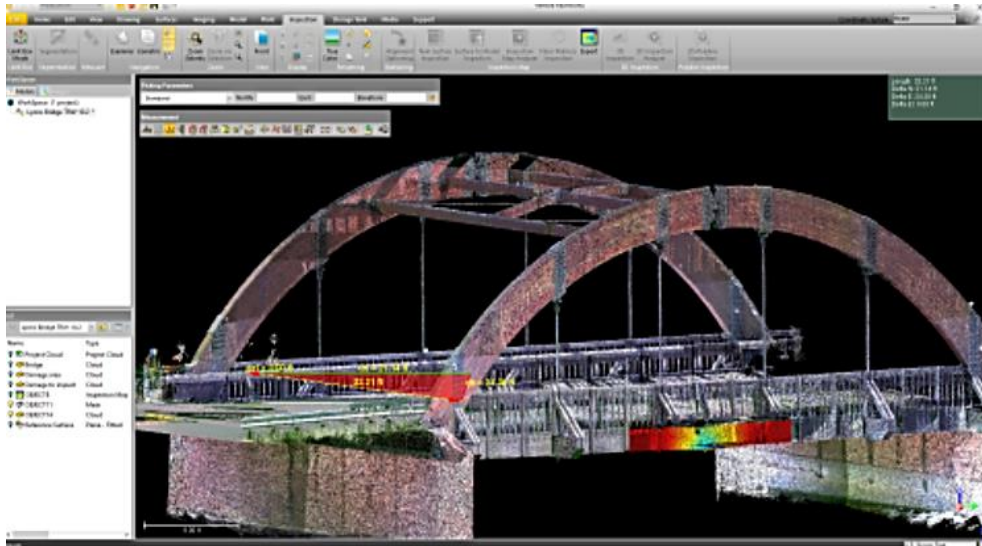
7.3.1. Glavne značajke Trimble SX10 laserskog skenera

Jedinstvena implementacija tehnologije Trimble SX10 donosi puno rješenja i olakšava do sad postojeće faze snimanja i skeniranja. Omogućuje skeniranje kompletne kružne panorame za 3 minute. Raspoloživo je sa više načina uvećanja i rezolucija. Trimble Business Center pruža mogućnost potpune integracije SX10 podataka u projekte te kombiniranje sa podacima drugih instrumenata.

Glavne značajke Trimble SX10 laserskog skenera [30]:

- brzina skeniranja do 26 600 točaka/sec
- unaprijeđena tehnologija omogućava brzo i lako snimanje fotografija visoke rezolucije
- Lightning 3DM daje mogućnost preciznog pojedinačnog mjerenja totalnom stanicom
- mogućnost brzog i detaljnog 3D skeniranja
- kombinira totalnu stanicu, kamere i brzi 3D skener u jedno revolucionarno rješenje
- mogućnost potpune integracije sa radnim procesima softvera Trimble Access i Trimble Business Center
- brzo prepoznaje cilj u mraku te kod slabog osvjetljenja, upravo zbog svijetla za osvjetljenje cilja (*TIL - Target Illumination Light*)

Sve do sad navedene značajke i prednosti Trimble SX10 skenera uvelike pomažu kod projektiranja, održavanja i sanacije mostova. Ove mogućnosti dopuštaju da se lakše pristupi potencijalnim opasnostima te da se dođe do fizički teško dostupnih mjesta na mostovima. Na njima se skeniranjem prikazuju riskantna i oštećena mjesta (slika 28.)



Slika 28. Primjer skeniranog mosta Trimble SX10 skenerom u RealWorks softveru

Tablica 3. Tehnički podaci Trimble SX10 skenera

| | |
|--|---|
| Točnost mjerenja kuteva | 1'' |
| Minimalno očitavanje | 0,1'' |
| Točnost mjerenja dužina | 1mm+1.5ppm na prizmu 2mm+1.5ppm DR mjerenja bez prizme |
| Domet mjerenja dužine na jednu prizmu u standardnim uvjetima | 1 m – 5500 m |
| Domet skeniranja | 0,9 m – 600 m |
| Brzina mjerenja dužine | 1,6 sec u standard modu |
| Brzina skeniranja | 26 600 točaka u sekundi |
| Minimalno vidno polje sustava kamera | 0,65° horizontalno, 0,5° vertikalno |
| Maksimalno vidno polje sustava kamera | 57,5° horizontalno, 43° vertikalno |
| Zoom sustav | 84 x zoom sustav, 36 mmm-3000 mm |
| Video visak točnosti | 0,5 mmm/1,55 m, korisno doseg 1-2,5 m |
| Servo | Robotski |
| Automatsko traženje i praćenje prizme točnosti 1'' | Enhanced Autolock |
| Komunikacija | USB, 2.4GHz Radio, WiFi |
| Zaštita od prašine i vode | IP55 |
| Masa instrumenta s podnožjem i baterijom | 8,55 kg |
| Visina okretne osi | 196 mm |
| Trajanje baterije | 2-3 sata rada |

7.3.2. Software Trimble Business Center

Trimble Geospatial kao tvrtka nudi rješenja koja može omogućiti samostalnu izradu projekta koristeći visoko kvalitetne i produktivne alate, kao i razmjenu informacija. S vremenom se počinje smatrati vodećim programom za globalnu i raznoliku bazu korisnika geodeta, inženjera, uslužnih tvrtki, komunalnih poduzeća i slično. Trimbleove inovativne tehnologije uključuju integrirane senzore, terenske primjene i uredski softver za obradu, modeliranje i analitiku podataka. Trimble Business Center (TBC) v5.30 softver objavljen je 27. travnja 2020 [30].

Nakon što se sa laserskim skenerom snimi odabrano područje ili dio konstrukcije koji je bio odlučan za skeniranje, snimke se prebacuju na tome predodređen softver (u ovom slučaju Trimble business center ver. 5.30.). U nastavku, predstavljene su neke od značajki koje se koriste u njemu:

- ***CAD command line*** – ova naredbena linija koristi se za pokretanje desetaka CAD naredbi jednostavnim unosom pseudonima naredbi, tipkovničkih prečaca i vrijednosti. Korištenje naredbenog retka više je usmjeren na tipkovnicu i stoga učinkovitiji od izvršavanja naredbi iz kontrolne ploče.
- ***Surfaces*** – služi za poravnanje površine koja omogućuje automatsko uklanjanje nepotrebnih dijelova s površine, što rezultira ravnijom površinom.
- ***Enhancements for corridor workflows***- služi za stvaranje i uređivanje pomaka te rotacije tunela izravno u prikazu tunela i prikazite više njegovih dizajna
- ***Road Workflows***- izvoz datoteka u LandXML format
- ***Mobile Mapping*** - ova značajka omogućuje kalibraciju Trimble MX9 kamere izravno u TBC. Kalibracija fotoaparata sastoji se od ručne optimizacije pomaka u orijentaciji fotoaparata (kotrlljanje, visina i smjer), kako bi se ispravila neusklađenost podataka o slici i podataka laserskog skeniranja.

8. 3D skeniranje mosta u praksi

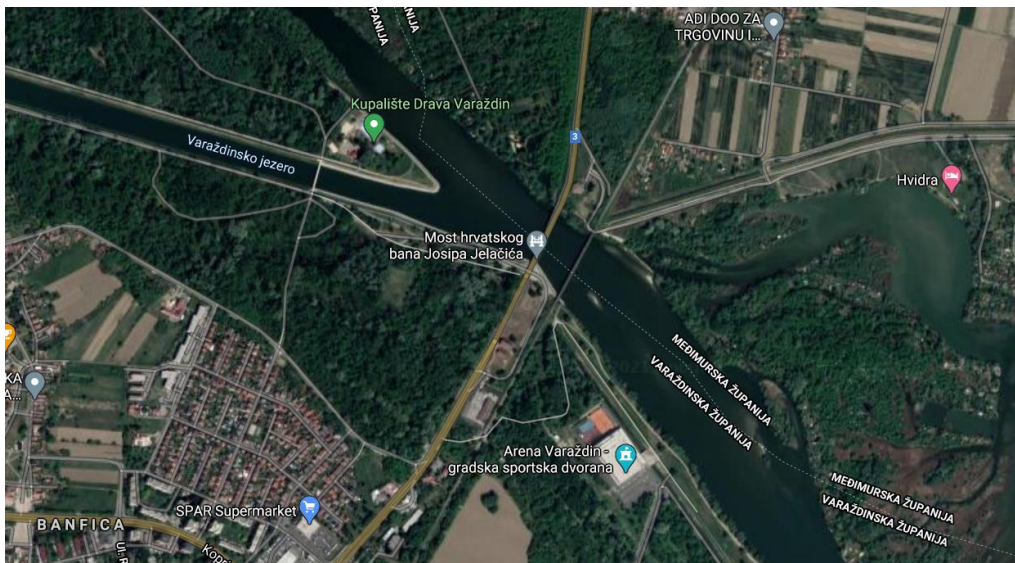
U sklopu ovog diplomskog rada, za geomonitoring mosta prikupljeni su podaci (oblak točaka), pomoću Trimble SX10 laserskog skenera. Predmet opažanja bio je betonski most bana Josipa Jelačića, koji premošćuje rijeku Dravu te od 1969. godine spaja varaždinsku i međimursku županiju.

Na ukupno 23 stajališta, pomoću Trimble laserskog skenera, mogli smo uočiti oštećenja. Posebna pozornost kod skeniranja konstrukcije davala se dijelovima koji su pod dužim utjecajem vlage, koji su rezultirali uzrokovanjem pukotina i oštećenjem konstrukcije. Upravo takvi uočeni dijelovi su dodatno skenirani i opažani telekamerom s potrebnim povećanjima, što je vidljivo iz slika u odlomku koje slijedi.

Ovi podaci su bili evidentirani te nakon skeniranja konstrukcije, isti opažani podaci obradili su se u softveru Trimble Business Center ver. 5.30. Nakon kreiranog 3D modela mosta, pomoću oblaka točaka očituju se sve potrebne dimenzije i na taj način kreira baza podataka.

8.1. Općenito o mostu bana Josipa Jelačića

Most bana Josipa Jelačića sagrađen je 1969. godine na državnoj cesti broju 3 GP. Goričan – Rijeka, dionica 5 Nedelišće (D208) – Varaždin (D2) (slika 29.). Unatoč tome što varaždinsku i međimursku županiju spajaju četiri mosta, za ovaj most možemo reći da je glavna prometna „žila kucavica“, preko koje dnevno prođe i do deset tisuća vozila. Prije njegove izgradnje, tu ulogu imao je obližnji željeznički most, koji se osim za prijevoz vlakova koristio i za prijelaz pješaka, kola i automobila, dok su cijeli promet regulirale rampe s obje strane [31].



Slika 29. Satelitski prikaz mosta bana Josipa Jelačića

Prema podacima, most bana Josipa Jelačića (slika 30.) bio je izgrađen da bi trajao pedeset godina, ali uz adekvatno održavanje (popravak oštećenih dilatacija i rješenje problema s korozijom), može mu se produžiti životni vijek i do sto godina.



Slika 30. Most bana Josipa Jelačića

Službena stacionaža mosta je od 6,192 m do 6,435 m [32]. Upravitelj mosta su Hrvatske ceste d.o.o , dok je održavanje povjereno izvoditelju redovitog održavanja PZC Varaždin d.d.. Most se sastoji 6 raspona.

Širina lijevog i desnog pješačkog hodnika iznosi 1,50 m. Rasponi su dužine po 37 m. Ukupna duljina mosta iznosi 243 m, a širina 13,10 m. Površina iznosi 3.183,30 m² . Širina kolnika je 7,30 m, širina rubnjaka 10,10 m te širina prilazne ceste iznosi 7,30 m.

8.2. Rezultati dobiveni 3D skeniranjem

3D opažanja obavljena su tijekom kolovoza 2020. godine i trajanja deset dana. Obavljena mjerenja dala su nam mogućnost za analizu oštećenja dijelova mosta, što je prikazano rezultatima na sljedećim slikama u poglavlju.

Za potrebe 3D izmjere i monitoringa mosta postavila se mreža od 23 stajališta u svrhu sveobuhvatnog preciznog 3D skeniranja mosta pomoću Trimble SX10 laserskog skenera (vidi slike 31. i 32.).

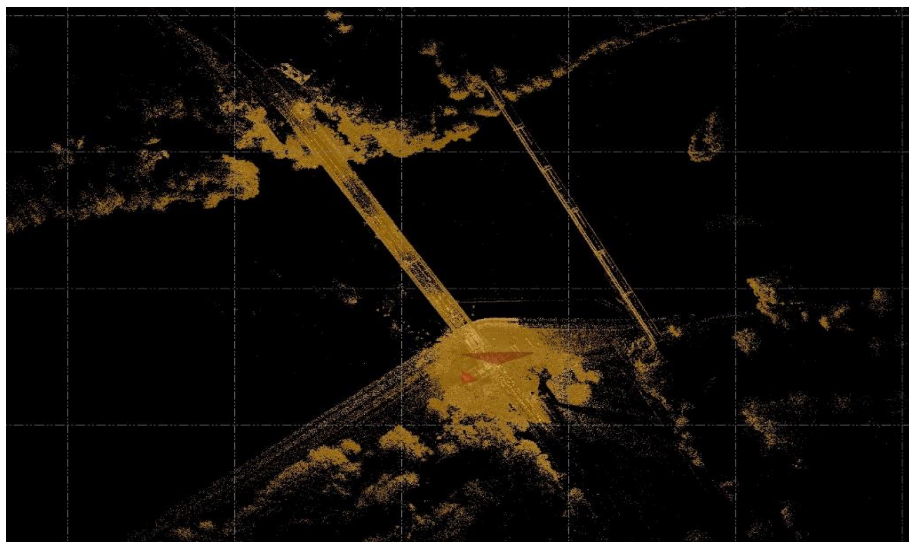


Slika 31. Skeniranje cestovnog mosta



Slika 32. Skeniranje željezničkog mosta

Preklapanja laserskih mjerenja na svim stajalištima omogućila su u potpunosti dobivanje visokopreciznog 3D modela mosta s približno 75 milijuna točaka (slika 33.), koji kreiraju geometrijski oblak točaka mosta.



Slika 33. Obradeni 3D oblak točaka mosta bana Josipa Jelačića

Most je bio opažan sa svih strana, dok je donji postroj opažan sa po tri, tj. četiri točke ispod mosta (slika 34.), što je omogućilo pouzdano dobivanje informacija o linijskoj infrastrukturi koja prolazi donjim dijelom mosta. Za izmjeru je korišten „standardni“ i „superfine“ mod mjerenja u ovisnosti od površine i snimanja objekta, odnosno oštećenja.



Slika 34. Opažanje donjeg postroja mosta

Nakon što se učitaju svi opažani podaci, obrade podataka i analize u softveru Trimble Business Center ver. 5.30, iz kreiranog 3D modela mosta (slika 35.) pomoću oblaka točaka očitujemo sve potrebne dimenzije (slika 36.) i na taj način kreiramo bazu podataka, dimenzije i sve druge potrebne tehničke karakteristike. Podaci mogu biti relativni i/ili apsolutni.



Slika 35. 3D model mosta



Slika 36. Očitovanje dimenzija pomoću oblaka točaka u Trimble Business Center softveru

Kao posebno opažanje mosta bana Josipa Jelačića možemo navesti uočavanje eventualnih oštećenja te njihovo evidentiranje i analiza. Jedno od većih oštećenja nalazi se na jednom od nosivih stupova mosta, čije je oštećenje posebno doskenirano (koristeći tzv. „superfine“ mod), te je iz dodatnog oblaka točaka utvrđeno oštećenje trapezastog oblika (vidi sliku 37.). Kod te analize korištena je i telekamera kojom je uvećano oštećenje, jer se fizički ne može pristupiti opažanoj lokaciji.



Slika 37. Snimka oštećenja

Posebna pozornost kod skeniranja konstrukcije daje se dijelovima koji su pod dužim utjecajem vlage (slika 38.). Ona može uzrokovati pukotine ili oštećenja konstrukcije. Upravo takvi uočeni dijelovi su dodatno skenirani i opažani telekamerom s potrebnim povećanjima.



Slika 38. Oštećenje nastalo pod utjecajem vlage

9. Zaključak

Teški promet i agresivni okolišni uvjeti dovode do prouzrokovanja neočekivanih pogoršanja i oštećenja mostova. Posljednih se nekoliko godina posebno velika sredstva ulažu upravo u njihovu obnovu. Kod nas i u svijetu ocjena suvremenog stanja mostova neminovno ukazuje na zaključak da su mostovi danas izloženi svakakvim vanjskim djelovanjima te da među njima, bez obzira na vrstu i materijal od kojeg su izgrađeni, nema konstrukcije koju nije potrebno održavati. Održavanje i bilo koja vrsta obnove treba biti propisana programom korištenja mostova, gdje se ovisno o njihovim obilježjima i uvjetima eksploatacije definira obujam i količina pojedinih radova.

Kao neke od mana današnjeg održavanja mostova mogu se spomenuti njihovi nedostaci tehničkih podataka, gdje nerijetki slučajevi ukazuju na to da se sretne sa situacijom u kojoj se ne raspolože s potrebnom projektnom dokumentacijom, pa čak niti s minimalnim podacima prilikom izvođenja nekih većih radova na održavanju mostova, kao što su rekonstrukcija, sanacija, provjera te dokazi nosivosti s obzirom na izmijenjena opterećenja. Upravo takve situacije stvaraju različite probleme, kao što su nemogućnost efikasnog i pravilnog rješavanja postavljenog zadatka, što uzrokuje znatne dodatne troškove. Kao samu pomoć kod sveg spomenutog, može se navesti BIM, čije korištenje je izvrstan način za uštedu vremena, a samim tim uz to ima i pristup vrijednim informacijama, koje je potrebno integrirati u određeni projekt. Svaki korisnik bi kroz iskustvo ovog programa imao priliku poboljšati svoj projekt, ne samo u njegovoj početnoj fazi, već u cjelokupnom procesu upravljanja i koordinacije cijelog životnog ciklusa određene konstrukcije: od planiranja, projektiranja, same gradnje i upravljanja.

Isto tako, brzi napredak tehnologije, tehnike građenja, kao i njihovih instrumenata u posljednjih dvadesetak godina nije zaobišao navedene elementarne građevinske postupke, stoga izvrsnu pomoć nudi i primjena laserskog skeniranja, koja je od uvelike pomoći kod praćenja i održavanja mostova. Korištenje laserskog 3D skenera u posljednje vrijeme nalazi svoju veliku primjenu i posebno mjesto u većini geomatičkih zadataka, kao što su praćenje i monitoring građevina, upravo zbog njihove kompleksnosti i zahtjevnosti. Navedeni primjer uporabe 3D laserske tehnologije pokazao je svrhu primjene kao pouzdan način kod otkrivanja oštećenja i praćenju stanja građevine.

10. Literatura

- [1] Radić, J. (2009): „Uvod u mostarstvo“, Hrvatska sveučilišna naknada, Zagreb
- [2] Puž, G. (2020): Predavanja sa e-učenja Mostovi, Sveučilište Sjever, Varaždin
- [3] Pravilnik o tehničkim normativima za određivanje veličine opterećenja mostova, Službeni list SFRJ br.1, 1991.
- [4] Čaušević, M.: „Statika i stabilnost konstrukcija - Geometrijska nelinearnost, Školska knjiga, Zagreb
- [5] Z. Marić (2016): „Mostovi 1“, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku
- [6] Markovinović, D. (2020): Predavanja sa e-učenja Organizacija gradilišta i građenja. , Sveučilište Sjever, Varaždin
- [7] URL2: http://www.grad.hr/amca/wp_web/alumni_veceri/havarije_mostova_6_5_2015.pdf
(pristupljeno: 10. listopada 2020.)
- [8] P. Sikavica (2011): „Organizacija“, Školska knjiga, Zagreb
- [9] URL1: https://www.academia.edu/19802558/Skripta_Mostovi
(pristupljeno: 10. listopada 2020.)
- [10] J. Radić, A. Mandić i G. Puž (2005): „Konstruiranje mostova“, Hrvatska sveučilišna naknada Zagreb
- [11] ZAKON O JAVNIM CESTAMA, Urednički pročišćeni tekst, “Narodne novine”, broj 84/11 (pristupljeno: 12. prosinca 2020.)
- [12] PRAVILNIK O ODRŽAVANJU I ZAŠTITI JAVNIH CESTA, “Narodne novine”, broj 25/98 (pristupljeno: 12. siječnja 2021.)
- [13] URL3: <https://www.thebalancesmb.com/building-information-modeling-bim-benefits-845045> (pristupljeno: 12. siječnja 2021.)
- [14] URL4: <https://www.bim-hrvatska.hr> (pristupljeno: 24. listopada 2020.)
- [15] URL5: <https://www.autodesk.com/solutions/bim> (pristupljeno: 2. studenog 2020.)

- [16] URL6: <https://www.thecadroom.com/bim-manager-become-one/> (pristupljeno: 2. studenog 2020.)
- [17] URL7: <https://www.magicad.com/en/bim/> (pristupljeno: 2. studenog 2020.)
- [18] URL8: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/laser-source> (pristupljeno: 8. studenog 2020.)
- [19] URL9: https://geocentar.com/home/geodezija/masovno_prikupljanje_podataka_fotogrametrija_i_skeniranje/ (pristupljeno: 7. prosinca 2020.)
- [20] Pribičević i D. Medak (2003): „Geodezija u građevinarstvu“ V.B.Z. d.o.o., Zagreb
- [21] URL11: https://cdn.intechopen.com/pdfs/34081/...technology_for_bridge_monitoring.pdf (pristupljeno: 04. prosinca 2020.)
- [22] URL12: <https://www.researchgate.net/publication/280085119> (pristupljeno: 04. prosinca 2020.)
- [23] URL13: http://www2.geof.unizg.hr/~zlasic/Primjena_laserskih_uredaja.pdf (pristupljeno: 07. prosinca 2020.)
- [24] URL14: https://www.researchgate.net/publication/282753883_3D_Laser_Scanners'_Techniques_Overview (pristupljeno: 13. studenog 2020.)
- [25] URL 15: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/laser-scanner> (pristupljeno: 13. studenog 2020.)
- [26] Miler, M., Đapo, A., Kordić, B., Medved, I. (2007): Terestrički laserski skeneri, Ekscentar, br. 10, 35-38. Đapo, A. (2008): Terestričko lasersko skeniranje, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- [27] Staiger, R. (2003): Terrestrial Laser Scanning Technology, Systems and Applications, 2nd FIG Regional Conference
- [28] URL16: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-sx10> (pristupljeno: 17. prosinca 2020.)
- [29] URL17: <https://www.precisionmidwest.com/wp-content/uploads/2018/05/Datasheet-SX10-Scanning-Total-Station-English-USL-Screen.pdf> (pristupljeno: 23. prosinca 2020.)
- [30] URL18: <https://geospatial.trimble.com/blog/whats-new-tbc-v530-v531-and-v532> (pristupljeno: 23. prosinca 2020.)

[31] URL19: https://hrvatskeceste.hr/uploads/documents/attachment_file/file/363/PLDP2018.pdf
(pristupljeno: 19. prosinca 2020.)

[32] URL20: <https://hrvatske-cestce.hr/hr/stranice/javna-nabava/arhiva?page=7> (pristupljeno:
19. prosinca 2020.)

11. Popis slika

Slika 1. Gornji i donji ustroj mosta, *izvor: www.gfos.unios.hr (preuzeto: 17.prosinca 2020.)*

Slika 2. Primjer uzdužnog presjeka mosta, *izvor: Puž, G. (2020): Predavanja sa e-učenja Mostovi, Sveučilište Sjever, Varaždin*

Slika 3. Dio uzdužnog presjeka grednog mosta, *izvor: Marić, Z. (2016.): "Mostovi 1", Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku*

Slika 4. Pješački most u Rijeci, *izvor: vlastiti*

Slika 5. Vrste mostova prema statičkom sustavu, *izvor: Puž, G. (2020): Predavanja sa e-učenja Mostovi, Sveučilište Sjever, Varaždin*

Slika 6. Obnovljeni kameni most u Mostaru

Slika 7. Forth Bridge u Škotskoj, *izvor: <https://www.newcivilengineer.com/latest/procurement-starts-for-35m-forth-bridge-experience-design-and-build-03-07-2020/> (preuzeto: 02.listopada 2020.)*

Slika 8. Sudionici u gradnji

Slika 9. Glavni pregled mosta uporabom specijalnog vozila, *izvor: <http://www.wagmanengineering.com/bridge-inspection.html> (preuzeto: 2. listopada 2020.)*

Slika 10. Karlov most u Pragu, *izvor: <https://architecture.desktopnexus.com/wallpaper/2133548/> (preuzeto: 2. listopada 2020.)*

Slika 11. Urušavanje mosta u Minneapolisu 2007. godine, *izvor: <https://www.npr.org/2017/08/01/540669701/10-years-after-bridge-collapse-america-is-still-crumbling?t=1603758701559> (preuzeto: 14. prosinca 2020.)*

Slika 12. Oštećeni Črni most

Slika 13. Razvoj i implementacija tehnologije i organizacije, *izvor: Markovinović, D. (2020): Predavanja sa e-učenja Organizacija gradilišta i građenja, Sveučilište Sjever, Varaždin*

Slika 14. Prikaz BIM projekta, *izvor: <https://www.gioinfra.com/blogs/details/what-is-bim-and-its-benefits-to-the-construction-industry> (preuzeto: 15. studenog 2020.)*

Slika 15. Implementacija BIM-a, *izvor: <https://arhitekti-hka.hr/hr/bim/opcenito-o-bim-u/> (preuzeto: 19. studenog 2020.)*

Slika 16. Način funkcioniranja laserske zrake, *izvor: <https://slideplayer.com/slide/15485283/> (preuzeto: 29. studenog 2020.)*

Slika 17. 3D LiDAR sustav, *izvor: https://www.researchgate.net/publication/224829351_Laser_Scanning_Technology_for_Bridge_Monitoring (preuzeto: 04. prosinca 2020.)*

- Slika 18. Princip laserskog skeniranja, *izvor:* https://www.researchgate.net/publication/224829351_Laser_Scanning_Technology_for_Bridge_Monitoring (preuzeto: 05. prosinca 2020.)
- Slika 19. Princip rada laserskog skenera, *izvor:* <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/1/22/htm> (preuzeto: 17. ožujka 2021.)
- Slika 20. Položaji skeniranja i točke oblaka mosta, *izvor:* <https://www.researchgate.net/publication/280085119> (preuzeto: 04. prosinca 2020.)
- Slika 21. Lasersko skeniranje i otkrivanje oštećenja, *izvor:* <http://www.cbcgeospatial.com/> (preuzeto: 17. siječnja 2021.)
- Slika 22. Prikaz tri vrste skenera prema načinu snimanja, *izvor:* Miler M., Đapo A., Kordić B., Medved I. (2007): *Terestrički laserski skeneri*, Ekscentar, no. 10, pp. 35-38
- Slika 23. FARO S350, *izvor:* <https://geo-matching.com/terrestrial-laser-scanners/faro-focus-laser-scanner-s350> (preuzeto: 19. studenog 2020.)
- Slika 24. Leica BLK 360, *izvor:* <http://www.noartechnologies.com/wp-content/uploads/2017/05/BLK360-PDF.pdf> (preuzeto: 19. studenog 2020.)
- Slika 25. TRIMBLE SX10, *izvor:* <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-sx10> (preuzeto: 19. studenog 2020.)
- Slika 26. Trimble SX10 laserski skener, *izvor:* <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-sx10> (preuzeto: 21. studenog 2020.)
- Slika 27. Trimble SX10 kod skeniranja mosta
- Slika 28. Primjer skeniranog mosta Trimble SX10 skenerom u RealWorks softveru, *izvor:* <https://monseneengineering.com/trimble-realworks/> (preuzeto: 23. prosinca 2020.)
- Slika 29. Satelitski prikaz mosta bana Josipa Jelačića, *izvor:* <https://www.google.com/maps/@46.321375,16.3578804,1889m/data=!3m1!1e3> (preuzeto: 17. ožujka 2021.)
- Slika 30. Most bana Josipa Jelačića
- Slika 31. Skeniranje cestovnog mosta
- Slika 32. Skeniranje donjeg dijela željezničkog mosta
- Slika 33. Obradeni 3D oblak točaka mosta bana Josipa Jelačića
- Slika 34. Opažanje donjeg postroja mosta
- Slika 35. 3D model mosta
- Slika 36. Očitovanje dimenzija pomoću oblaka točaka u Trimble Business Center softveru
- Slika 37. Snimka oštećenja

Slika 38. Oštećenja nastala pod utjecajem vlage

12. Popis tablica

Tablica 1. Prednosti BIM-a

Tablica 2. Potencijalne LiDAR primjene

Tablica 3. Tehnički podaci Trimble SX10 skenera

13. Popis jednadžbi

Jednadžba 1. Mjerenje dometa

Jednadžba 2. Preciznost mjerenja vremena elektronike integrirane u sklop

Jednadžba 3. Odnos emitirane i primljene snage