

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ANJA KUTNJAK

ULOGA GEODEZIJE U INŽENJERSTVU OKOLIŠA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2022.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 15.07.2022. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 01.07.2022.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

izr. prof. dr. sc. Saufje Korčić

Članovi povjerenstva

- 1) *Doc. dr. sc. Nikola Kraujčić*
- 2) *Doc. dr. sc. Mario Gazdek*
- 3) *Doc. dr. sc. Jasmin Jug*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

ULOGA GEODEZIJE U INŽENJERSTVU OKOLIŠA

KANDIDAT:

Anja Kutnjak
Anja Kutnjak

MENTOR:

doc.dr.sc. Nikola Kranjčić

VARAŽDIN, 2022.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

ULOGA GEODEZIJE U INŽENJERSTVU OKOLIŠA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc.dr.sc. Nikole Kranjčiča.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 27.6.2022.

ANJA KUTNJAK

(Ime i prezime)

Anja Kutnjak

(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

ULOGA GEODEZIJE U INŽENJERSTVU OKOLIŠA

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literatumom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 27.6.2022.

doc.dr.sc. NIKOLA KRANJČIĆ
(Mentor)



(Vlastoručni potpis)

Zahvala:

Zahvaljujem doc.dr.sc. Nikoli Kranjčiću na mentorstvu, smjernicama prilikom rada i utrošenom vremenu koje je uvijek pronašao za moje upite. Hvala! Nadalje, zahvalu dugujem i članovima povjerenstva, doc.dr.sc. Jasminu Jugu i doc.dr.sc. Mariu Gazdeku, također na utrošenom vremenu vezano uz ovaj završni rad.

Hvala mojoj obitelji za razumijevanje i potporu u svim trenucima tijekom preddiplomskog studija.

SAŽETAK

Inženjerstvo okoliša kao grana inženjerstva služi za očuvanje, zaštitu i upravljanje okolišem. Problemi vezani uz zaštitu okoliša svakim danom postaju sve veći i potreba za rješavanjem tih problema raste. U inženjerstvu okoliša primjena geodezije se očituje putem kartografskih prikaza, digitalnih modela terena i tomu slično. Geodezija je znanost koja se bavi prikazom Zemljine površine i određivanjem položaja točke pomoću koordinata. Kroz povijest razvili su se razni geodetski instrumenti i metode izmjere, a koriste ih stručnjaci iz područja geodezije koji se nazivaju geodetima. Uostalom, geodetske proizvode koriste i stručnjaci iz srodnih područja.

U ovom završnom radu obrađena je tema koja se tiče uloge geodezije u inženjerstvu okoliša s ciljem prikaza određenih geodetskih metoda i instrumentarija koji se klasično koriste u geodeziji pa tako i za potrebe praćenja promjena u okolišu.

Ključne riječi: inženjerstvo okoliša, zaštita okoliša, geodezija, geodetske metode, geodetski instrumentarij

ABSTRACT

The aim of environmental engineering, which is as a branch of engineering, is to preserve, protect and manage the environment. Since the problems concerning environmental protection are getting bigger every day, there is a growing need for finding a solution to them.. In environmental engineering, the application of geodesy is manifested trough cartographic representations, digital terrain models and alike. Geodesy is science that deals with the representation of the Earth's surface and determining the position of a point using coordinates. Throughout history, various geodetic instruments and survey methods have been developed and used by geodetic experts, which are called geodesists, as well as by other experts from similar fields.

This bachelor thesis describes the role of geodesy in environmental engineering with the aim showing how some traditional geodetic methods and instruments can be used for monitoring changes in the environment.

Key words: environmental engineering, environmental protection, geodesy, geodetic methods, geodetic instruments

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. GEODETSKE METODE I INSTRUMENTARIJ	3
2.1. Mjerne stanice.....	3
2.2. Niveliri.....	6
2.3. Laserski 3D skeneri.....	10
2.4. Беспilotne letjelice.....	12
2.5. Satelitske misije	14
3. ULOGA INŽENJERSTVA OKOLIŠA U SVAKODNEVNOM ŽIVOTU.....	16
4. PRIMJERI PRIMJENE GEODETSKIH METODA U INŽENJERSTVU OKOLIŠA	18
4.1. Primjena mjernih stanica	18
4.2. Niveliranje	20
4.3. Lasersko skeniranje	23
4.4. Primjena беспilotnih letjelica.....	25
4.5. Primjena satelitskih misija	29
5. ZAKLJUČAK	31
6. LITERATURA	32
6.1. Popis slika.....	36

1.UVOD

Nesporno stoji da je gospodarski napredak donio velike koristi čovječanstvu. Taj gospodarski napredak svakako nije u skladu s očuvanjem okoliša. Daljnje ne uključivanje brige o okolišu uvelike će utjecati i na napredak civilizacije. Riječ je dakle o veoma složenom problemu kojem se mora pristupiti na interdisciplinarnan način. U ovom slučaju, spomenuti interdisciplinarnan način pristupa problemima je inženjerstvo okoliša. Inženjerstvo okoliša je svoje mjesto pronašlo u tehničkim znanostima te uvelike pridonosi boljitku današnjice i svakako je usmjereno prema zaštiti prirodnih resursa i upravljanju istim. Korijeni ove profesije proizlaze iz određenih širih disciplina kao što su građevinarstvo, ekologija, kemija, meteorologija, zdravstvo. Ljudi koji se bave inženjerstvom okoliša će u budućnosti preuzeti brigu o zaštiti same prirode i svega što je izgrađeno ljudskim djelovanjem. Svakako, u inženjerstvo okoliša ubrajaju se različite vrste zadataka kojima se stručnjaci svakodnevno suočavaju. Postoji težnja traženju globalnih rješenja primjerice vezano uz gospodarenje otpadom koje je usko povezano i sa zagađenjem tla. Nezaobilazno je spomenuti i rješavanje problema otpadnih voda i plinova, recikliranje i odlaganje otpada. Dakle, inženjerstvo okoliša postoji s ciljem poboljšanja i/ili očuvanja stanja okoliša. Pri tome se misli i na stalno održavanje standarda, količine i kakvoće pitke vode koja je već sad globalni problem, te održavanje kvalitete zraka za dobrobit svega živoga što postoji na Zemlji. Korištenjem provjerenih inženjerskih i znanstvenih spoznaja dolazi se do stvaranja sustava zaštite okoliša. Okoliš podrazumijeva sav biljni i životinjski svijet koji uključuje čovjeka i ono što je on izgradio. S današnjeg socioekonomskog stajališta, okoliš za čovjeka predstavlja uravnoteženi sustav prirodnih i umjetnih elemenata koji grade život i društvo. U tome vrlo važnu ulogu imaju znanost i kultura. Dakle, inženjerstvo okoliša je interdisciplinarna tehnička disciplina koja daje rješenja za očuvanje zdravlja i poboljšanje kvalitete života. U tome je usmjerena prema svim sastavnicama okoliša, a to su voda, zrak, tlo, biljni i životinjski svijet, zemljina kamena kora, te krajobraz [1].

S druge strane, znanost koja se bavi izmjerom i prikazom fizičke Zemljine površine, određivanjem oblika Zemlje i njezina polja sile teže, a također služi kao podloga brojnim drugim disciplinama je geodezija. Glavni predmet istraživanja geodezije je geodetska izmjera različitih područja na Zemljinoj površini. Nadalje, osnovne grane geodezije su: primijenjena geodezija, satelitska, fizikalna, fotogrametrija, daljinska istraživanja te kartografija i geoinformatika. Same početke geodetskih izmjera može se pratiti zahvaljujući starogrčkim izvorima o izmjeri zemljišta. Što se tiče primijenjene geodezije, nalazimo je u građevinarstvu, rudarstvu, poljoprivredi, šumarstvu, a danas je nezaobilazna u zaštiti i inženjerstvu okoliša. Česta je primjena također i u zaštiti spomenika kulture, prostornom planiranju, urbanizmu, brodogradnji, industriji, medicini i slično [2].

2.GEODETSKE METODE I INSTRUMENTARIJ

Geodeti svoje zadatke rješavaju na terenu pomoću različitih mjernih instrumenata. Osnovni je cilj svake geodetske izmjere određivanje podataka radi uspostave položaja karakterističnih točaka terena uz digitalni ili grafički prikaz. Prostorni položaj jedne točke je određen na osnovi tri koordinate. Osnovne mjerne veličine kod geodetskih mjerenja su linearne veličine te horizontalni i vertikalno mjereni pravci. Uz pomoć tih veličina dolazi se do osnovnih podataka za određivanje prostornog položaja točaka.

2.1. Mjerne stanice

„Položaj točke u ravnini je određen s dvije veličine. U Kartezijevom pravokutnom koordinatnom sustavu to su dakle apscisa i ordinata koje određuju koordinate točke $T(X,Y)$. S druge strane, u polarnom sustavu to su duljina i orijentirani pravac. Za prostorni položaj točke potrebna je i treća koordinata. U geodetskoj izmjeri pri snimanju položaja točaka detalja primjenjuje se ortogonalna metoda snimanja mjerenjem duljina i polarna metoda mjerenjem horizontalnog kuta i duljine od stajališta instrumenta“[3].

Mjerne ili totalne stanice su elektronički instrumenti koji uključuju elektroničko mjerenje udaljenosti kako bi se omogućilo mjerenje trodimenzionalnih lokacija s visokim stupnjem točnosti. Totalne stanice mjere horizontalne i vertikalne pravce [4].

Danas je totalna stanica kombinacija elektroničkog teodolita, elektroničkog uređaja za mjerenje udaljenosti EDM (engl. Electronic distance measurement) i mikroprocesora s memorijskom jedinicom. Odnosno, postoji uska povezanost s teodolitima, elektroničkim tahimetrima i sličnim instrumentima koji nemaju ugrađenu sposobnost preciznog mjerenja udaljenosti od „mete“ do instrumenta. Totalna stanica zapravo koristi funkcije različitih geodetskih instrumenata istovremeno[4].

Najprije, teodolit je najprecizniji instrument dizajniran za mjerenje vodoravnih i okomitih pravaca, te ima široku primjenu u geodetskim mjerenjima [5]. „Prema dodatcima, konstrukciji i namjeni teodolit može biti: kompasni, daljinomjerni

(tahimetar), giroteodolit, ovjesni, repeticijski, astronomski“[6], a teodoliti prema svojoj građi dijele se na mehaničke, optičke i elektroničke teodolite[5].

Nadalje, „tahimetri su najčešće teodoliti koji imaju i uređaj za mjerenje duljina, a često i mogućnost direktnog mjerenja visinske razlike, a prema uređaju za mjerenje duljine tahimetri se dijele na optički i elektronički“[5].

„U 19 st. pojavili su se optički tahimetri, s jedne strane, optički tahimetri su građeni od optičkog teodolita te optičkog daljinomjera, a 70-ih godina prošlog stoljeća dolaze i prvi elektronički tahimetri. Tokom razvoja automatiziran je tok mjerenja, uspostavljena automatska registracija, omogućena razna računanja u samom instrumentu, te se danas takvi instrumenti nazivaju mjernim stanicama (engl. total station)“[5]

„U prvo vrijeme totalne stanice izrađivale su se modularno; kao poseban modul bio je elektronički teodolit, poseban modul elektrooptički daljinomjer, te poseban modul memorija, tj. računalo. Poslije toga izrađivali su se tako da jedan modul bio elektronički teodolit i elektrooptički daljinomjer, a drugi modul računalo. U današnje vrijeme totalne stanice izrađuju se integrirano, tj. u jednom modulu su elektronički teodolit, elektrooptički daljinomjer i unutarnja memorija s računalom“[7].

Totalna stanica se fizički sastoji od teleskopa, tipkovnice za unos korisničkih specifikacija (koordinate, programske naredbe, itd.), zaslona za isporuku vizualnih te numeričkih informacija za korisnika, EDM (ugrađen u rotirajuću glavu koja sadrži teleskop) i postolje za horizontiranje koje obično stoji na vrhu stativa. EDM komponenta totalnih stanica emitira infracrvene laserske impulse koji se reflektiraju natrag u instrument od točke mjerenja. Upravo ta količina vremena koja je prošla u tom odskoku koristi se za precizno određivanje udaljenosti između instrumenta i „mete“ [8].

U praksi se totalna stanica stavlja iznad poznate točke ili datuma za fiksiranje trenutnog položaja instrumenta unutar koordinatne mreže, a određuje se usmjerenje i visina instrumenta. Nakon podešavanja, totalna stanica može „vidjeti“, mjeriti i snimati „mete“ na visokoj razni točnosti i preciznosti [8]. Rad na terenu omogućuje bilježenje lokacije artefakata, dimenzije građevina, topografije mjesta ili bilo koje druge značajke mjesta [8].

Neke od prednosti korištenja totalnih stanica su brzo postavljanje instrumenta na tronožac, mogućnost grafičkog prikaza parcela i zemljišta za brzu vizualizaciju, velika točnost u proračunima, točnost u mjerenju pravaca, veliki kapacitet pohranjivanja podataka, kratko vrijeme trajanja mjerenja [9].

Na slici 1. prikazana je mjerna stanica Leica Viva TS16, prva pametna totalna stanica na svijetu koja se „automatski i kontinuirano prilagođava različitim okruženjima, bez obzira na teške uvjete“ [10].



Slika 1. Mjerna stanica Leica Viva TS16 [10]

2.2. Niveliri

U geodetskim mjerenjima visinske razlike određuju se geometrijskim, trigonometrijskim, barometrijskim, hidrostatskim postupcima, ali i satelitskom GPS metodom [11].

Riječ je zapravo o geometrijskom, trigonometrijskom ili barometrijskom nivelmanu. Instrumenti geometrijskog nivelmana predstavljaju najpreciznija mjerenja visinskih razlika, a središte pozornosti je u sili teži [12].

S druge pak strane, „trigonometrijsko mjerenje se određuje na osnovi mjerenja vertikalnih pravaca i duljina iz kojih se potom pomoću trigonometrijskih formula izračunavaju visinske razlike“ [12]. Najmanje točna metoda je ona barometrijskog mjerenja [12]. Nivelir je osnovni instrument za mjerenje visinskih razlika u geometrijskom nivelmanu, a prikazan je na slici 2. [5]

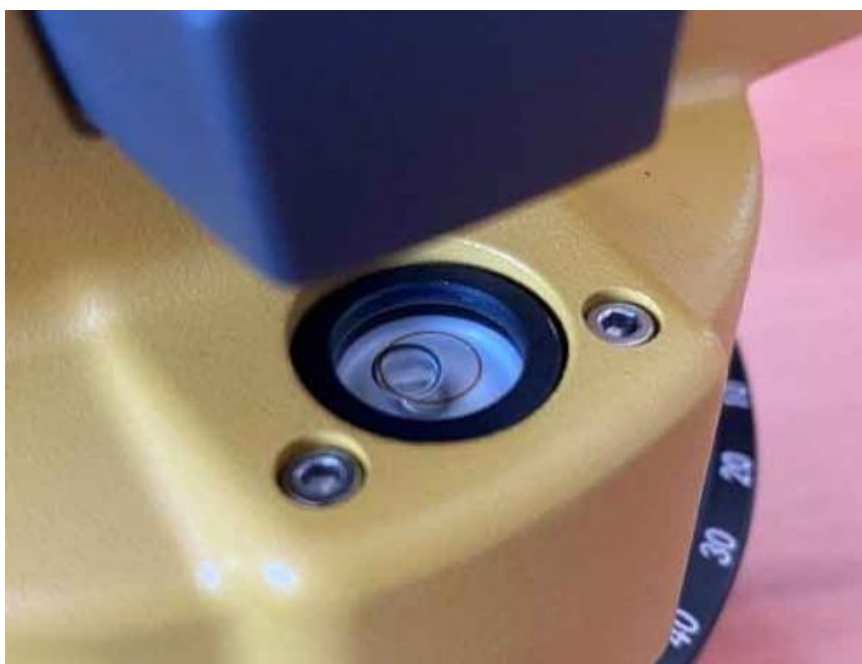
Metoda se naziva nivelman, a sam postupak određivanja visinskih razlika je niveliranje. Dodaci niveliru su nivelmanska letva i stativ. Nivelir se može podijeliti na gornji i donji dio [12].



Slika 2. Prikaz nivelira [5]

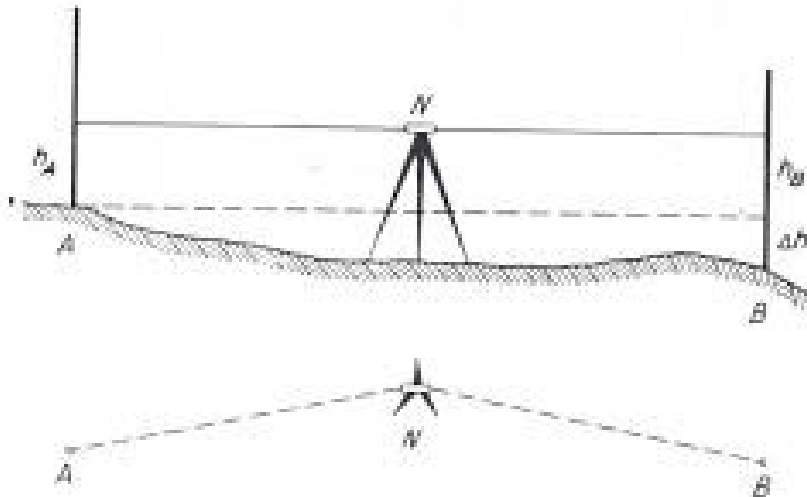
Osnovni dio gornjeg dijela je dalekozor koji se može okretati oko glavne, tj. vertikalne osi nivelira. Pomoću uređaja za „horizontiranje postavlja se vizurna os u horizontalnu ravninu pa se visinske razlike točaka određuju očitavanjem na mjernim letvama koje se postavljaju vertikalno pomoću dozne libele“ [12] na točke kojima se mjeri visinska razlika. Mjehurić kružne libele prikazuje položaj nivelira u odnosu na horizontalni položaj [12].

Mjehurić kružne libele bi trebao biti u centru ako je instrument u dobrom položaju, a prikaz tog kružnog mjehurića libele je na slici 3. [5]



Slika 3. Prikaz kružnog mjehurića libele [5]

Nadalje, unutar dalekozora je smješten kompenzator. „Kompenzator je optičko-mehanički dio koji radi na principu fizikalnog njihala. Donji dio nivelira se sastoji od ploče s tri podnožna vijka čija je svrha horizontiranje“ [12]. Niveliri se postavljaju na stativ, uglavnom u sredinu između točaka čija se visinska razlika određuje kako je i prikazano na slici 4. [13]



Slika 4. Nivelir postavljen na stativ između točaka čija se visinska razlika određuje [13]

Postupak rada s nivelirrom uključuje postavljanje nivelira u sredinu između dviju točaka, odnosno između letvi. Nivelir mora biti postavljen horizontalno, a vrijednost se očitava na svakoj letvi. Vrijednost pokazuje srednja nit nitnog križa za mjerenje visinske razlike. Očitana vrijednost između dviju točaka se zatim oduzme da bi se dobila visinska razlika[12].

Nezaobilazno je spomenuti i podjelu nivelira po razredima točnosti na osnovi standardnog odstupanja visinske razlike po 1 km dvostrukog nivelmana. Podjela je slijedeća: postoje „niveliri najviše točnosti ($\leq 0,5$ mm/km), niveliri visoke točnosti ($\leq 1,0$ mm/km), niveliri više točnosti (≤ 3 mm/km), niveliri srednje točnosti (≤ 8 mm/km) i obični niveliri (> 8 mm/km)“ [12].

Često se niveliri nazivaju po svojoj namjeni koja je povezana s točnošću geodetskih mjerenja, a to su: „precizni niveliri, inženjerski niveliri i građevinski niveliri“ [12].

Točnost nivelira ovisi o „osjetljivosti libela i kompenzatora, povećanju dalekozora, te građi“ [12]. Isto tako, točnost mjerenja nivelirrom ne ovisi samo o izvedbi, već o funkciji i položaju njegovih dijelova. Neki od čimbenika koji utječu na ispravnost mjerenja su podešavanje, rukovanje i ono nezaobilazno – vanjski utjecaji. Pod te vanjske utjecaje misli se na vremenske promjene. U svakom slučaju, potrebno je

često provjeravati, odnosno kontrolirati instrumente. U pravilu se uvijek obavlja osnovna provjera i rektifikacija. Ispitivanje i ispravljanje odstupanja od potrebnih uvjeta naziva se rektifikacijom ili podešavanjem nivelira. Neki od vanjskih utjecaja koji utječu na ispravnost mjerenja su npr. promjena temperature, vlaga, promjena geografske širine. Ponajprije, ističe se promjena temperature. Za nivelir i njegovu libelu, promjena temperature je primjetan izvor greške, najprije zbog osjetljivosti libela o temperaturi. Mjehurić libele se pri malom zagrijavanju pomiče bez ikakvog pomaka instrumenta prema izvoru topline. Instrument se mora štiti od izravnog utjecaja zagrijavanja [12].

2.3. Laserski 3D skeneri

Lasersko skeniranje – LIDAR (Light Detection and Ranging) jedna je od najnaprednijih metoda koja omogućuje odašiljanje laserskih zraka koje se odbijaju od čestica raspršenih u atmosferi i zatim se registriraju u optičkom prijemu [14].

Određivanje varijabilne (promjenjive i relativne) udaljenosti od nekog objekta ili površine mjerenjem vremena za refleksiju laserske zrake od mete (LIDAR) prihvaćena je metoda za precizno i izravno generiranje prostornih podataka. Ova metoda osigurava točnost i preciznost podataka. Rezultat mjerenja je gusta mreža georeferenciranih točaka i naziva se oblak točaka (engl. point cloud). Isto tako, ova metoda klasificirana je kao aktivna metoda prikupljanja podataka, budući da ne koristi energiju Sunca („pasivne“ svjetlosne zrake) jer je sam LIDAR sustav izvor laserskog svjetlosnog pulsa. Podaci se mogu skupljati i noću kad je zrak manje onečišćen npr. prometom) nego što je to danju. Uz to da se ne zanemaruje utjecaj i drugih onečišćenja kao što je svjetlosno onečišćenje. Laserske zrake ne mogu prodrijeti kroz oblake, gustu maglu ili kišu pa se snimanje mora provoditi u stabilno vrijeme. Na terenu se mogu registrirati različiti objekti. No, lasersko skeniranje ne predstavlja zamjenu za klasične geodetske metode mjerenja, već je to postala alternativa. Skeniranje podrazumijeva registraciju udaljenosti i kuta između položaja skenera i promatrane točke. Rezultat ovog načina snimanja je skup trokoordinatnih –točaka koji se naziva oblakom točaka.. Iz oblaka točaka može se dobiti dovoljan broj podataka za identifikaciju svih snimljenih objekata[15].

Laserski 3D skener zapravo radi na principu odašiljanja laserskih zraka prema objektu te se direktno mjeri vrijeme refleksije po izabranom pravcu od objekta do uređaja. Takvi tipovi laserskih skenera imaju široku upotrebu u arhitektonskom projektiranju, arheološkim, geološkim i geotehničkim istraživanjima, rudarstvu i slično. Isto tako, ova tehnologija omogućuje trajno digitalno pohranjivanje postojećeg stanja skeniranog objekta [15].

Nedostatak LIDAR metode je što se tijekom snimanja generiraju ogromne količine podataka, pa su prijeko potrebni odgovarajući resursi za rukovanje tim

podacima i njihovu obradu. Naime, u područjima guste i niske vegetacije metoda postaje manja pouzdana. U slučaju zračnog (engl. Airborne measurements) laserskog skeniranja koristi se mobilna platforma, avion ili helikopter, na koji se montira laserski skener radi snimanja. Time se i LIDAR sustav integrira s drugim tehnologijama i sensorima [16].

U pravilu je standardno geodetsko snimanje jeftinije od laserskog, ali je problem u utrošenom vremenu. S druge strane, lasersko skeniranje je veoma brz i točan proces, što omogućuje brzu izradu geodetskog zadatka. Da bi ova tehnologa rezultirala s odličnim rezultatima potrebno je stalno uređivati, mijenjati, dograđivati podatke[17].

Smatra se da će ova tehnologija postati nezamjenjiva (Tunjić [17]), a na slici 5. nalazi se primjer laserskog skenera.



Slika 5. Laserski skener [18]

2.4. Беспилотне летјелце

Беспилотне летјелце су летјелце без посаде. Могу се надзирати и управљати на далјину, а исто тако могу и летјети самостално уз помоћ програмiranог сложеног система кретања, те имају укључено аутоматско праћење мисије. Кретање беспилотне летјелце је увјетовано унапријед програмirаним планом летења (енгл. Flight plan). Поčetак развоја тих летјелца везан је с повећањем трајања и трошкова летаčke/борбене обуке pilota на савременим летјелицама. С друге стране, израда беспилотне летјелце показала се бржим, једноставнијим и ефикаснијим рјешенјем. Највећи напредак билежи се прије и тојеком ратних sukoba који су се догађали кроз прошлост[19]. Слика 6. приказује беспилотну летјелицу за цивилну употребу.



Слика 6. Беспилотна летјелица [20]

Осим за војну намјену, данас се користе и у цивилне сврхе. Беспилотне летјелце је потребно позиционирати у простору, неовисно ради ли се о самој навигацији летјелце или се ради о подацима који ће касније бити коришћени у обради података. Сврха беспилотних летјелца је потпуна аутономна навигација која пружа функционалност и у случајевима кад се прекине радијски контакт с летјелицом, а она даље аутономно извршава операцију [21].

У данашње вријеме за одређивање положаја беспилотне летјелце користи се систем за геолоцирање – GNSS, односно глобални навигацијски сателитски систем. Беспилотне летјелце се користе, најпрвије у рјешавању војних питања, а затим и као

sredstvo za istraživanja, identifikaciju objekata, u fotogrametriji, poljoprivredi, elektroprivredi, informacijskim uslugama, prometu, razminiravanju i slično [21].

Bespilotne letjelice omogućuju snimanja teško dostupnih područja na koja čovjek ne može u pravilu dospjeti. Zbog svoje veličine i težine veoma su prihvatljive i prilagodljive potrebama. U nesrećama bespilotnih letjelica šteta je najčešće materijalne prirode što se tiče letjelice, ali svakako predstavljaju opasnost i po ljude. Samo održavanje bespilotnih letjelica je jeftinije naspram održavanja npr. zrakoplova. Nedostaci bespilotnih letjelica ističu se u nemogućnosti korištenja u vremenskim neprilikama kad može doći i do većih oštećenja same letjelice. Letjelice imaju programiran plan letenja, no u iznimnim slučajevima može doći i do kvara u autonomnosti, odnosno samostalnosti sustava. Kvar može prouzročiti opasnost za ljude i okolinu ponajviše ako se primjenjuje u vojne svrhe. Isto tako, upravljanje bespilotnom letjelicom može dospjeti u različite ruke, odnosno u ruke ljudi koji mogu ovu tehnologiju upotrijebiti u negativne svrhe i time postaviti pitanje o samoj sigurnosti takvoga sustava [19].

2.5. Satelitske misije

Pomoću daljinskih istraživanja dobivaju se informacije o Zemljinoj površini bez direktnog fizičkog kontakta s površinom. Osnova daljinskih istraživanja je detekcija i opažanje fizikalnih svojstava istražnog prostora/objekta (mete) mjerenjem reflektirane i/ili emitirane i reflektirane količine elektromagnetskog zračenja. Sustave za mjerenje (specijalne vrste odašiljača, prijarnika i kamera) nose sateliti (ili zrakoplovi) pa je tijekom snimanja neizbježna interakcija s atmosferom, ali i s drugim objektima na površini terena. Daljinska istraživanja u geodeziji obavljaju se različitim metodama. Svakako treba spomenuti aerofotogrametriju, metodu kojom se izrađuju planovi, digitalne ortofoto karte i karte različitih mjerila, primjerice nekog povećeg zemljišta. Dakle, satelitske misije su dio daljinskih istraživanja, a omogućuju javnu dostupnost velikog broja podataka i satelitskih snimaka. Postoji više podjela satelita, odnosno satelitskih misija, a jedna od podjela je prema dijelu (rasponu) spektra elektromagnetskog zračenja koje se primjenjuje za mjerenje. U pravilu, dijele se na meteorološke satelite, na satelite koji opažaju kopnene i vodene površine, a isto tako i radarske sustave [22].

Sateliti koji opažaju kopnene i vodene površine snimaju Zemlju u infracrvenom i vidljivom dijelu elektromagnetskog zračenja. Primjenjuju se u kartografiji, geodeziji, geofizici, poljoprivredi, šumarstvu i srodnim granama. Postoje mnoge satelitske misije, no sa stajališta inženjerstva okoliša najzanimljiviji je program Copernicus. Program Copernicus je osnovan od strane Europske komisije. Najvažnija zadaća ovog programa je davanje točnih informacija i informacija vezanih uz klimatske promjene i probleme s kojima je izložen okoliš. Isto tako, sve informacije iz ovog programa su javno dostupne[22].

Copernicus informacijski servisi temelje se na podacima dobivenim iz konstelacije šest satelita, poznatih pod imenom „Sentineli”, te nekoliko sporednih satelita [23]. Slika 7. prikazuje satelit Sentinel 2A.

Copernicus program predstavlja europsko nastojanje za praćenje Zemlje. Dvije su osnovne komponente Copernicus programa: svemirska komponenta i Copernicus servisi. U današnjem svijetu daljinska istraživanja i satelitske misije

kao Copernicus koriste se u različite svrhe. Pomoću njih se predviđaju i analiziraju nepogode i promjene koje se događaju na Zemlji [23].



Slika 7. Prikaz satelita Sentinel 2A[24]

3. ULOGA INŽENJERSTVA OKOLIŠA U SVAKODNEVNOM ŽIVOTU

Problemi u okolišu postali su jedno od najvažnijih pitanja današnjice. To su zapravo socijalni i ekonomski problemi kojima se treba pristupiti na više različitih načina i shvaćanja. Sama politika zaštite okoliša se proširila od one nacionalne do sad globalnih razmjera. Uništavanje okoliša prouzročilo je zabrinutost i sve veću potrebu za znanstvenim istraživanjima na tom području[25].

Čovječanstvo sudjeluje u izgradnji okoliša. Od isušivanja močvarnih površina i potrebe za pitkom vodom, gradeći infrastrukturu, zaustavljanje onečišćenja vode, te je uvijek postojalo nastojanje da se maksimalno poboljšaju sanitarni uvjeti u kojima bi bio zagarantiran opstanak. Bez odgovarajuće sanitarne skrbi, češće bi se podleglo bolestima uz to i bolestima koje se prenose vodom. Postoji težnja pronalasku boljih rješenja odvođenja otpadnih voda, pročišćavanju vode. Dolaskom industrijske revolucije u 19. stoljeću bilo je neizbježno pronaći način kako spriječiti industrijska postrojenja, ali i pojedince da ne zagađuju okoliš štetnim tvarima. Suvremeni inženjer inženjerstva okoliša upravo je posvećen održavanju zraka i vode čistima od zagađivača i cilj je promicati što čišći okoliš. Danas se i velika važnost pridaje utjecaju klimatskih promjena na funkcioniranje okoliša[26].

Najvažniji uzročnici takvog, globalnog pritiska na okoliš su porast stanovništva i urbanizacija, razvitak niza gospodarskih djelatnosti, poljoprivrede, industrije, prometa, turizma, potrošnja fosilnih goriva, ali svakako i povećanje količine otpada. Nadalje, jedan je od najvećih problema suvremenog čovječanstva je proizvodnja dovoljne količine hrane za cjelokupno stanovništvo, a da se time ne ugrozi zdravlje ljudi i ne utječe na smanjenje kvalitete tla i podzemne vode. Upravo zbog takvih razloga bitno je pronaći različita rješenja pri samom praćenju, monitoringu cijele okoline, odnosno okoliša u cijelosti. Očuvanje okoliša zahtijeva sustavni pristup i uključenost svih, a svakako uključenost međunarodnih organizacija, nacionalnih, regionalnih i lokalnih vlasti, gospodarstva, nevladinog sektora i pojedinaca. Veliki broj međunarodnih ustanova i organizacija koje se usmjeravaju na uspostavljanje ravnoteže između čovjeka i njegova okoliša

indikator su sve razvijenije ekološke svijesti na međunarodnoj razini [27]. Slika 8. prikazuje promoviranje inženjerstva zaštite okoliša.



Slika 8. Utjecaj inženjerstva okoliša[28]

4. PRIMJERI PRIMJENE GEODETSKIH METODA U INŽENJERSTVU OKOLIŠA

Izbor metoda prikupljanja podataka temelji se na potrebama korisnika, zahtjevu točnosti, razini detalja, ekonomskoj mogućnosti i raspoloživim resursima. U daljnjem tekstu slijedi prikaz primjena spomenutih geodetskih instrumenata, sustava i metoda u inženjerstvu okoliša.

4.1. Primjena mjernih stanica

Mjerne stanice mogu se koristiti za različite namjene, a ovdje će se prikazati korištenje totalne stanice za mjerenje progiba mosta. Mjerenja robotske totalne stanice usmjerena su na reflektor koji je postavljen na sredinu povijesnog mosta koji je na određenoj udaljenosti, te se time omogućava identificiranje pomaka prilikom prolaska vlakova kroz most naspram mosta bez opterećenja. Dosadašnje analize ukazuju na mogućnost korištenja takvih totalnih stanica za praćenje dinamičkih pomaka, te kao koristan alat za praćenje stanja i ponašanja konstrukcija. Svakako, mjerenje progiba mostova zbog dinamičkih i statičkih opterećenja važno je za unapređivanje dizajna i povećanje/poboljšanje funkcionalnosti. Alternativna nova geodetska tehnika, odnosno robotska totalna stanica, uspješno se koristi za mjerenje takvih otklona relativno dugotrajnih mostova okarakteriziranih velikim progibima [29].

Rezultati koje su dali Psimoulis i Stiros [29] potvrđuju da se totalne stanice mogu koristiti za mjerenje progiba krutih mostova kakav je npr. most Gorgopotamos u Grčkoj. Most je ukupne duljine 211 metara i maksimalne visine 32 metra. Vlakovi koji dolaze na ovaj most moraju smanjiti svoju brzinu zbog relativno velikih vibracija, što ukazuje na smanjenu krutost i velike pomake samog mosta Gorgopotamos [29].

Robotska totalna stanica opremljena je i uređajem za automatsko prepoznavanje cilja koji se zaključava u određenu metu, odnosno prizmatični reflektor, te se direktno prati njegovo kretanje. Slika 9. prikazuje željeznički most i totalnu

stanicu, a umetak na slici prikazuje reflektor s antenom za GNSS pozicioniranje na vrhu, postavljenom na rukohvat mosta.



Slika 9. Željeznički most Gorgopotamos i robotska totalna stanica korištena za mjerenja s fokusom na reflektor [29]

Cilj spomenutog istraživanja na mostu Gorgopotamos je bio zabilježiti reakciju središnjeg raspona, tj. neoštećenog dijela mosta na opterećenje različitim vrstama vlakova.. Mjerna točka je bila na rukohvatu mosta gdje je fiksiran reflektor visoke preciznosti. Podaci prikupljeni ovakvom metodom su bili reprezentativni za progib i pomake promatranog raspona mosta. Ovdje se robotska totalna stanica pokazala kao pouzdana tehnika za bilježenje pomaka krutog mosta kratkog raspona. Glavni zahtjevi ove tehnike bili su ispunjeni: izvrsni atmosferski uvjeti i nadograđeni softver za snimanje i obradu mjerenja [29].

Korištenje konvencionalnih metoda mjerenja, kao što je snimanje totalnom stanicom, oduzima više vremena pri npr. snimanju površine/plohe ceste. Veliki problem u izmjeri cesta s totalnom stanicom je sigurnost, odnosno nesigurnost geodeta jer je vrlo teško raditi na cesti kada nije zatvorena za promet. Rizici su još veći kada se mjerenja provode na autocestama gdje sigurnosni znakovi: reflektirajući prsluk i prometni čunjevi nisu dovoljne mjere zaštite. Često se koristi

komplet totalne stanice Leica TCRP 1203 koji sadrži totalnu stanicu, stup prizme, prizmu i daljinski upravljač[30].

4.2. Niveliranje

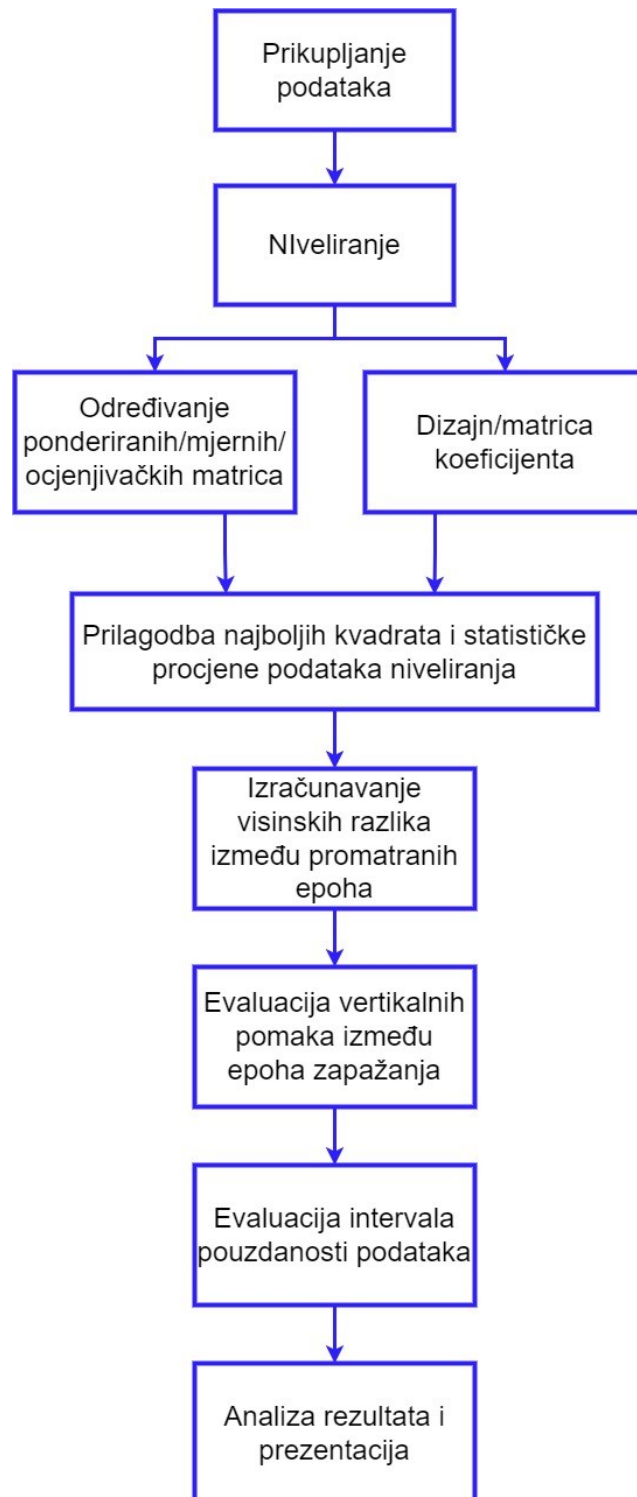
Velike inženjerske konstrukcije kao što su visoke zgrade ili mostovi potrebno je redovito nadzirati. Uz pomoć odgovarajućih metoda praćenja i pravovremenim reagiranjem na pomake takvih konstrukcija mogu se izbjeći velike štete. Konstrukcije su podložne deformacijama zbog čimbenika kao što su promjene razine vode, tektonski fenomeni, ljudska aktivnost, dugotrajna slijeganja, dinamički pomaci. Uloga nadzornih istraživanja proširena je i na samo objašnjavanje uzroka neočekivane deformacije koja posljedično ima utjecaj na sigurnost i ekonomičnost, a zbog toga i utjecaj na okoliš. Geometrijsko niveliranje je najstarija metoda geodetskog snimanja koja se koristi za mjerenje visinskih razlika između dvije ili više točaka na Zemljinoj površini, te je ova metoda pouzdana i vrlo precizna. Za visoko precizno geometrijsko niveliranje treba koristiti digitalne nivelire. Digitalna obrada slika omogućuje automatizirano očitavanje, ali i elektroničko snimanje. Na takav način se eliminiraju greške uzrokovane čitanjem i ručnim zapisivanjem, a naravno povećava se i brzina samog snimanja. Na primjeru jednog istraživanja zgrade Palm House u Benin Cityju upotrijebljena je metoda niveliranja[31]. Zgrada se sastoji od jedanaest katova, a prikazana je na slici 10.



Slika 10. Zgrada Palm House (Nigerija) [31]

Pri monitoringu bilo je potrebno označiti kontrolne točke, odrediti ortometrijske visine referentnih stanica korištenjem niveliranja, izvesti nivelmane u različitim epohama na objektu, te procjeniti veličine vertikalnih pomaka između prve epohe i onih slijedećih[31]. Metodologija je uključivala faze kao što su: prikupljanje podataka, obrada podataka, analiza i prezentaciju podataka, kao što i prikazuje slika 11.

Zgrada Palm House bila je praćena korištenjem digitalnog nivelira, četiri referentne stanice i šest nadzornih točaka, kako bi se utvrdio integritet (konstrukcijska cjelovitost) zgrade . Opažanja su bila prihvaćena jer su rezultati statističkih procjena i analiza pokazali da su preciznost i točnost svakog promatranja bili visoki. U rezultatima nisu vidljive oscilacije među rezultatima. Istraživanje je time pokazalo stabilnost zgrade, iako su daljnja istraživanja i opažanja neophodna. Opažanje je i dalje potrebno provoditi metodom niveliranja [31].



Slika 11. Metodologija niveliranja [31]

4.3. Lasersko skeniranje

Laserski 3D skeneri koriste se u prometnom inženjerstvu s ciljem povećanja sigurnosti u prometu. Tehnike 3D modeliranja služe kod modeliranja prometa i kao sustav za simulaciju prometa. Mjeri se interakcija u prometu, između vozila, pješaka i biciklista. U Finskoj se razvija sustav za kartiranje okoline nazvan Roamer. Sustav Roamer na vozilu se sastoji od platforme za nošenje, sustava za pozicioniranje i navigaciju, te 3D sustava za prikupljanje podataka. Isto tako, sustav koristi 3D laserski skener koji radi u modu profiliranja. Sustav Roamer služi prvobitno za mjerenje događaja u prometu u stvarnom vremenu [16].

Cilj je poboljšati učinkovitost praćenja prometa i davanja informacija za sve sudionike u prometu, s ciljem smanjenja broja nesreća. Mobilni sustav kartiranja, (engl. Mobile Mapping System, MMS) danas se smatra višesenzorskim sustavom koji uključuje različite senzore za navigaciju i prikupljanje podataka za daljinsko određivanje položaja okolnih objekata. Sustav za prikupljanje podataka sadrži sustav laserskog skeniranja. Važan zahtjev za MMS je da se vidljivi objekti trebaju mjeriti s visokim stupnjem točnosti. Razvoj MMS-a pokrenut je kako bi se maksimalno povećala automatizacija izdvajanja značajki u fazi naknadne obrade, a laserski skener bi trebao pružiti guste oblake točaka postavljenih kao preduvjet za uspješnost sustava[16]. Laserski skener je postavljen na čelično postolje na gornjem dijelu samog instrumenta, kao što je prikazano na slici 12.



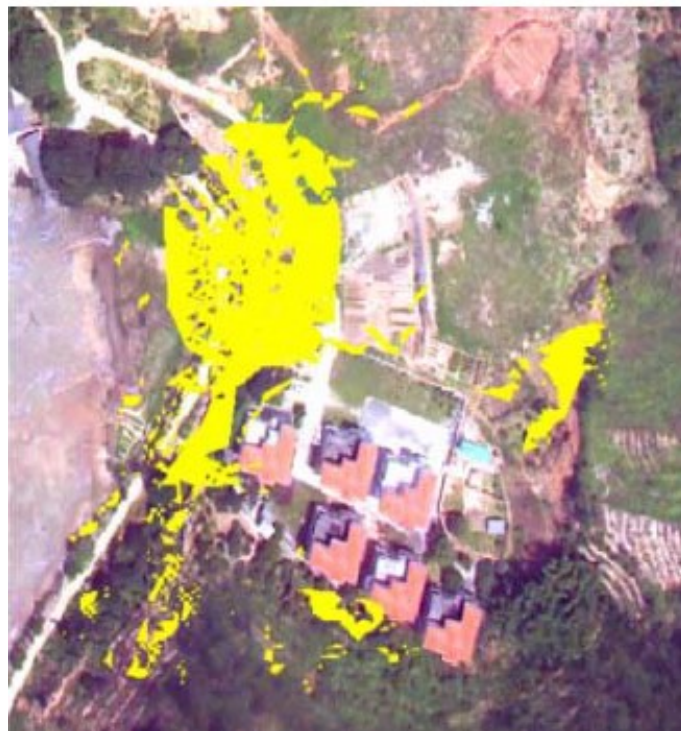
Slika 12. Instrument Roamer sa skenerom nagnutim u smjeru unatrag [16]

Skener se lako može nagnuti kako bi se dobila potpuno skenirana scena i profil pod različitim kutovima skeniranja. Normalni položaj skenera može se koristiti kada se u model moraju uključiti i konstrukcije iznad prometnih traka, mostovi, ali i prometni znakovi. Normalan položaj također je dobar za mjerenje fasada zgrada i slično. Mobilni sustav za kartiranje koristi zemaljski laserski skener FARO LS 880HE80 (FARO LS) za 3D mjerenja. Rad FARO LS-a se temelji na tehnici fazne razlike koja osigurava brzo prikupljanje podataka, a omogućuje mjerenje profila uz sinkronizaciju koja se koristi s vanjskim sustavima pozicioniranja i zapisivanja podataka [16].

Laserski 3D skeneri – LIDAR koriste se i u zaštiti i sanaciji klizišta. Pri kartiranju klizišta i analizi štete koriste se i LIDAR podaci. Na temelju LIDAR podataka moguće je izraditi digitalni model terena visoke rezolucije. LIDAR oblaci točaka i dobiveni mozaici mogu se kombinirati kako bi se mogle generirati karte kroz nekoliko faktora kao što je nagib, analiza podataka o lokaciji potencijalna, aktivna, sanirana i stabilizirana klizišta na primjer i slično. Takve karte se mogu koristiti za

analizu potencijalnih rizika od klizišta i procjenu razine rizika oko pojedinih zgrada [16].

Na slici 13. žutom bojom su prikazana izgrađena područja kod kojih postoji mogućnost odrona. U slučaju jakih kiša potrebno je obratiti pažnju na takva područja.



Slika 13. Izgrađena područja pod prijetnjom od odrona [16].

4.4. Primjena bespilotnih letjelica

Praćenjem npr. poljoprivrednih površina bespilotnim letjelicama mogu se odrediti oblici parcela, morfologija terena, gustoća sadnje i sjetve, detektiranje lošijih dijelova sadnje, a isto tako i područja na kojima se može zadržavati voda ili s njih brže otječe. Primjenom bespilotnih letjelica mogu se detektirati i nadzirati potencijalna žarišta pojave bolesti i štetnika [32], a primjenu bespilotne letjelice u agrikulturi prikazuje slika 14.

Tako je moguće izbjeći nepotrebno nanošenje sredstava po cijeloj površini, već je moguća primjena na određenom mjestu, što je s ekonomskog stajališta opravdano, a s ekološkog treba biti zahtjevano. Ovdje se ne radi samo o znatnim

uštedama, već se radi o značajnom povećanju učinkovitosti, koja osim financijske dobiti donosi i dobrobit za okoliš [32].



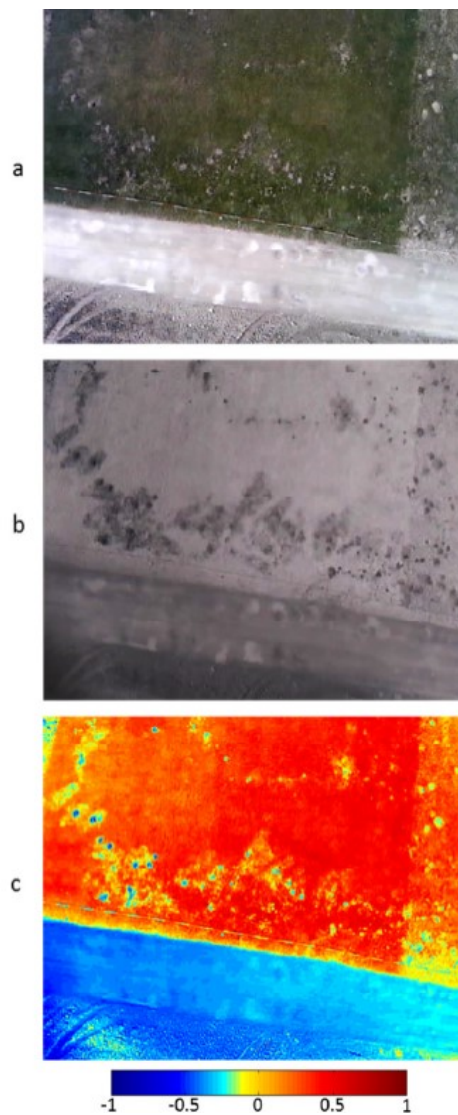
Slika 14. Беспилотна летјелца у агрикултури [33]

Osim prikupljanja podataka u vidljivom dijelu spektra, podaci se skupljaju i u širem dijelu elektromagnetnom spektra, poput infracrvenog, koji je vrlo pogodan za praćenje vegetacije. Ova metoda praćenja je jednostavnija, fleksibilnija, ekonomski isplativija, te je prihvatljivija za očuvanje okoliša [34].

Općenito se UAV (engl. Unmanned Aerial Vehicle) letjelice, poznatije kao dronovi, koriste za zadatke kao što su praćenje vegetacije, građenja zgrada, poljoprivrede i drugo. U SAD-u preciznu poljoprivredu (engl. Precision agriculture) koriste kao strategiju upravljanja proizvodnjom usjeva. Cilj precizne poljoprivrede je učinkovitija proizvodnja, profit, dobivanje kvalitetnih proizvoda te smanjenje onečišćenja nastalog od upotrebe različitih pesticida. Praćenje tla ključno je za maksimalni prinos usjeva. Točne i ažurne karte stanja vode u tlu omogućuju poljoprivrednicima da poduzmu brze i ciljanje mjere u slučaju nedostatka hranjivih tvari i najezde štetočina. Upravo karte biofizičkih parametara s visokom prostornom razlučivosti, pokazale su se kao dobar izvor informacija za tzv. preciznu poljoprivredu. Kamere postavljene na zrakoplove ili na letjelice bez posade dobar su kompromis. Zapravo, zeleno lišće snažno apsorbira vidljivu

svjetlost od 600 do 700 nm, a s druge strane snažno odbija infracrvenu svjetlost od 700 do 1100 nm [35].

Ako postoji mnogo više reflektiranog zračenja u infracrvenim valnim duljinama nego vidljivim, vegetacija će u tom pikselu biti zelene boje i može predstavljati neku vrstu šume. Upravo s multispektralnim sustavom kamera moguće je izmjeriti intenzitet svjetlosti koju reflektira Zemljina površina u vidljivom dijelu spektra i time kvantificirati fotosintetski kapacitet vegetacije. Slika 15. prikazuje snimku na kojoj je vidljivo da vegetacija apsorbira većinu vidljive svjetlosti koja ju pogađa i reflektira veliki dio infracrvene svjetlosti. Jasno su vidljive razlike između trave i tla [35].



Slika 15. Snimka (a) VIS(Visible Spectroscopy) slike, (b) NIR(Near Infrared) slike, te (c) prikaz reflektiranosti velikog dijela infracrvene energije [35]

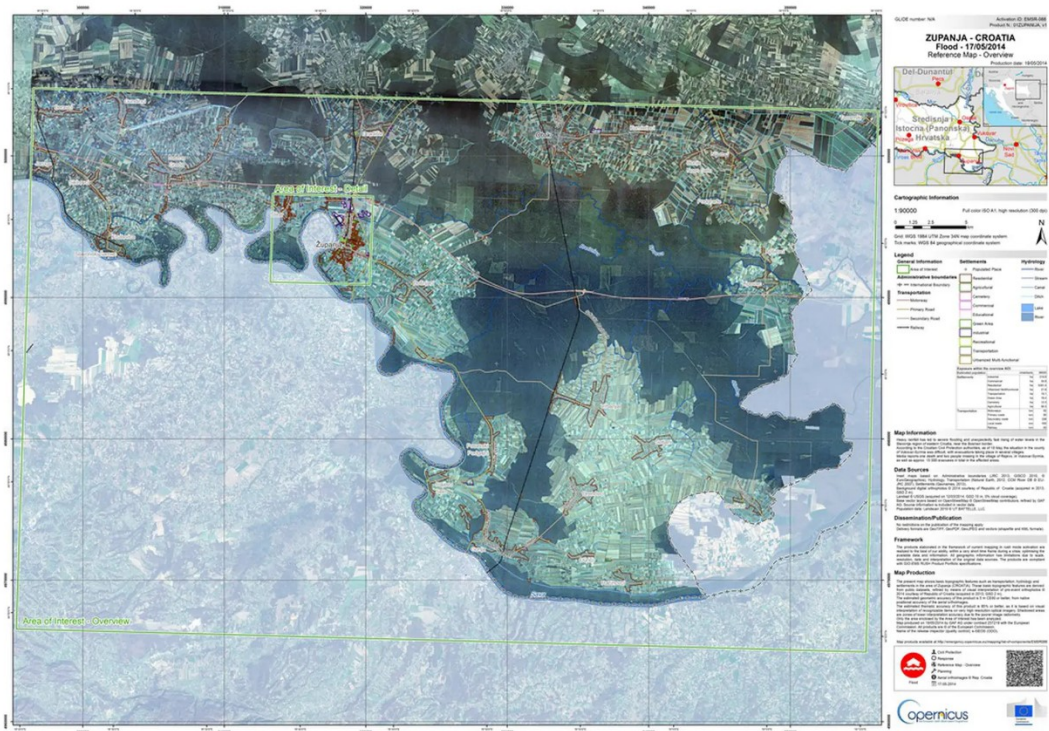
Sustav se pokazao učinkovitim u prepoznavanju postojeće vegetacije. Nedavno su bespilotne letjelice postale ekonomične pa se koriste u različite svrhe. Napredak u snimanju i računanju je učinio tehnike spektralnog snimanja pristupačnijim [35]. Primjena i uspješnost bespilotnih letjelica usko je povezana s razvojem informacijskih i komunikacijskih tehnologija, robotikom, strojnim učenjem i umjetnom inteligencijom, velikim podacima (engl. Big data) i Internetom stvari (engl. Internet of Things).

4.5. Primjena satelitskih misija

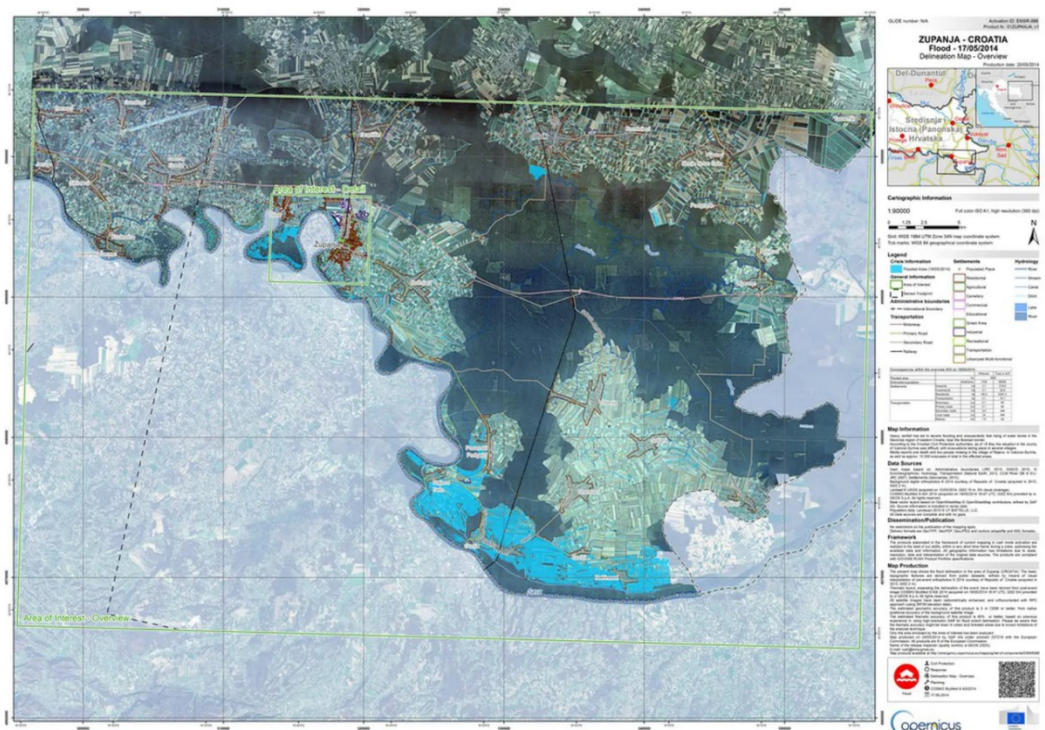
Podaci o satelitskim snimkama obično su isplativiji od drugih metoda snimanja slika kao što su npr. helikopter ili dron, ponajviše ako se i područje proučavanja povećava. Primjer takvih velikih površina su poplavna područja. Poplave imaju negativan utjecaj na okoliš, te je monitoring poplava bitan za inženjerstvo okoliša. Današnje metode u hidrologiji imaju ograničenu upotrebu u predviđanju, praćenju i mapiranju poplava, te se zbog toga koriste daljinska istraživanja i satelitske misije kao što je i Copernicus [23].

Upravo snimke satelitske misije Copernicus prikazane su na slikama 16. i 17. Slika 16. prikazuje vrijeme (vremenske prilike) prije same poplave rijeke Save u Slavoniji 2014. godine, a slika 17. prikazuje snimku tijekom te poplave [36].

Općenito za mapiranje poplava potrebne su dva seta podataka. Prvi set podataka je onaj prije poplave, a drugi dolazi za vrijeme same poplave. Satelitske snimke prije poplave koriste se kao podloga. Pomoću tih podataka moguće je kartirati područje poplava i ocrtati granice poplava i uništenja. Također se može izračunati koliko je vode otpušteno iz rijeka uz pomoć mjerenja na terenu, a procjena štete od poplava također se može postići satelitskim snimkama koje su srednje ili visoke rezolucije. Snimke srednje rezolucije se koriste za procjenu ukupne štete na velikim površinama, dok se snimke visoke rezolucije koriste za procjenu štete na kućama, cestama, nasipima i drugo [23].



Slika 16. Snimka prije poplave [36]



Slika 17. Snimka tijekom poplave [36]

5. ZAKLJUČAK

Bez opisanih geodetskih metoda praćenje promjena i stanja u okolišu je već danas nezamislivo.

Da bi se očuvao okoliš, a čovječanstvo spasilo od propadanja, ljudi se trebaju što prije upoznati s trenutnim stanjem i osvijestiti vlastiti utjecaj na okoliš. Krajnje je vrijeme shvatiti važnost praćenja promjena koje se događaju u okolišu bilo zbog prirodnih pojava ili zbog ljudskog djelovanja, odnosno zbog neracionalnog i zato neodrživog zadiranja čovjeka u prirodne procese.

Uloga geodezije u inženjerstvu okoliša je svrhovito raznolika. Primjenom različitih geodetskih metoda, moguće je procijeniti i uvidjeti stvarne promjene koje se događaju u okolišu, na prvi pogled možda i nezamjetno. Čovječanstvo se sada suočava s različitim promjenama u okolišu, promjenama koje ovise o prostoru i vremenu (razdoblju), a manifestiraju se značajnim varijabilnostima klimatskih veličina koje traju već nekoliko desetljeća. Čini se kao da se priroda svojim „ekstremnim ponašanjem prilagođava“ ponašanju čovječanstva. Ekstremno se ponaša zapravo čovjek.

Primjena samih geodetskih metoda se iskazuje u praćenju čestih nepogoda kao što su poplave, požari, a za što su neophodne satelitske snimke koje prikazuje stvarno stanje i promjene. Bez takvih mogućnosti snimanja nema razvoja znanja i svijesti o stalnoj i značajnoj, za život važnoj, interakciji čovjeka i prirode. Dakako da će se postojeće geodetske metode i dalje unaprjeđivati i omogućavati razvoj inženjerstva okoliša kao bitne djelatnosti za napredak u životu po mjerama vrijednosti uravnoteženog odnosa čovjek-priroda.. Konvencionalne metode koje se koriste neće nestati, ali će se razvijati u nekom drugom smjeru inženjerske primjene..., te će geodetske metode, kao i ostale poznate metode praćenja, biti podvrgnute svojevrsnom unaprjeđenju i dalje će koristiti svojoj prvobitnoj svrsi.

6. LITERATURA

- [1] Lončar J. Globalizacija i/ili održivi razvoj?. Geografski horizont [Internet]. 2019 [pristupljeno 20.05.2022.];65(2):7-16. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/239739>
- [2] Lapaine M. Geodezija u Hrvatskoj. Annual of the Croatian Academy of Engineering [Internet]. 2019 [pristupljeno 20.05.2022.];2019(1):235-250. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/238720>
- [3] Lasić Z. (2007): Geodetski%20instrumenti_predavanja, Dostupno na: http://www2.geof.unizg.hr/~zlastic/Geodetski%20instrumenti_predavanja.pdf, Pristupljeno: 20.5.2022.
- [4] Rick JW. Total Station. In: The Encyclopedia of Archaeological Sciences. John Wiley & Sons, Inc.; 2018. p. 1–3., Pristupljeno: 20.5.2022.
- [5] Benčić D., Solarić N., Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici, Zagreb, Školska knjiga, 2008., 477.-548.str.
- [6] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno: 25.5.2022. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=60833>
- [7] Wikipedia: the free encyclopedia [Internet]., Totalna stanica, Datum pristupa: 25.5.2022., Dostupno na: https://hr.wikipedia.org/wiki/Totalna_stanica
- [8] Rehman A, Gill S, Aryan A. Related papers Survey practical laboratory manual Part 2 S R Kiran Bharat Institute engineering and technology department of civil engineering surveying... khalid haider Laboratory Manual surveying-department of civil engineering To Experimental Study for Comparison Theodolite and Total Station. Pristupljeno: 21.5.2022.
- [9] 9. Građevinski portal, Elektronička Totalna Stanica-U Pitanjima Geodezije Bez Nje Ne Možete, (mrežne stranice), citirano: 25.5.2022., Dostupno na: <https://hr.gardendecorgalore.com/6844711-electronic-total-station-in-questions-of-geodesy-you-cannot-do-without-it>
- [10] Leica Viva TS16. Dostupno na: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/aa/Leica_TCRP_1203.jpg/800px-Leica_TCRP_1203.jpg, Datum pristupa: 20.05.2022.
- [11] Šimić Z. Metode i instrumenti za određivanje visinskih razlika., predavanja, Dostupno na: <https://www.geoskola.hr/~gsurina/Metode%20nivelmana%20i%20instrumenti.pdf>, Pristupljeno: 20.5.2022.
- [12] Lasić Z. (2008) Prakticni_rad_s_geodetskim_instrumentima. Dostupno na: http://www2.geof.unizg.hr/~zlastic/Practicni_rad_s_geodetskim_instrumentima.pdf, Pristupljeno: 20.5.2022.

- [13] Primjer GFOS. Dostupno na: https://www.google.hr/search?q=niveliranje+s+kraja&tbm=isch&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwjWrPWfm-z3AhVv7rsIHVB0DhsQrNwCKAB6BQgBENwB&biw=1519&bih=696#imgrc=vUiZGfg_lqb_yM, Pristupljeno: 20.5.2022.
- [14] Franković N. Realizacija SLAM sustava uz algoritam otvorenog koda i LiDAR čvrstog stanja, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, diplomski rad, 2022., 76.str. Pristupljeno: 21.5.2022.
- [15] Andrei O, Kukko A, Andrei CO, Salminen VM, Kaartinen H, Chen Y, et al. Road Environment Mapping System of the Finnish Geodetic Institute FGI Roamer road environment mapping system of the finnish geodetic institute-FGI Roamer. Pristupljeno: 20.5.2022.
- [16] Bulatovic V, Kuzmić T, Ninkov T, Bulatović V, Vasić D, Davidović M. Modern geodetic methods with application in the environmental management and it s protection. [Internet]. 2017. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/322603245>, Pristupljeno: 20.5.2022.
- [17] Tunjić B. 3D skeniranje-Teorijska i praktična primjena, Varaždin, Sveučilište Sjever, Završni rad, 2019., 76.str. Pristupljeno: 21.5.2022.
- [18] Pozdysheva ON, Taldykina V v. Geodesy and modern technologies. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing; 2020. Pristupljeno: 20.5.2022.
- [19] Pavlik D, Popčević I, Rumora A. Беспилотне летјеліце подржане ІNS і GNSS сенсоріма. Ексцентар [Internet]. 2014 [pristupljeno 21.05.2022.];(17):65-70. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/125500>.
- [20] Green DR, Hagon JJ, Gómez C, Gregory BJ. Using low-cost UAVs for environmental monitoring, mapping, and modelling: Examples from the coastal zone. In: Coastal Management: Global Challenges and Innovations. Elsevier; 2018. p. 465–501. Pristupljeno: 20.5.2022.
- [21] Sušac A., Беспилотне летјеліце у функціі унапрједенја логістічкіх процеса, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Završni rad, 2020., 54.str. Pristupljeno: 21.5.2022.
- [22] Copernicus Programme. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus_Programme. Datum pristupa: 20.05.2022.
- [23] Jakopović L, Kolarek M, Rezo M, Kranjčić N. Satelitska misija Copernicus – mogućnosti nadziranja prirodnih nepogoda . Environmental Engineering – Inženjerstvo okoliša [Internet]. 2018 [pristupljeno 21.05.2022.];5(1-2):41-50. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/215201>

- [24] Sentinel 2A. Dostupno na: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2, Pristupljeno: 21.5.2022.
- [25] Vlašić I, Feketija MV. Važnost zaštite okoliša u Hrvatskoj u procesu pristupanja Europskoj uniji., *Zaštita okoliša, Kem. Ind.*, 2007., 56 (6), 364-366., Pristupljeno: 20.5.2022.
- [26] Environmental science. org. Dostupno na: <https://www.environmentalscience.org/environmental-engineering>, Pristupljeno: 22.6.2022.
- [27] Afrić, Kristina. „Ekološka svijest – pretpostavka rješavanja ekoloških problema.“ *Ekonomski pregled*, vol. 53, br. 5-6, 2002, str. 578-594. <https://hrcak.srce.hr/28358>. Citirano 21.5.2022.
- [28] The-real-impact-of-environmental-engineering. Dostupno na: <https://carrollengineering.com/the-realimpactofenvironmentalengineering/> Pristupljeno: 22.6.2022.
- [29] Psimoulis PA, Stiros SC. Measuring Deflections of a Short-Span Railway Bridge Using a Robotic Total Station. *Journal of Bridge Engineering*. 2013 Feb;18(2):182–5. Pristupljeno: 21.5.2022.
- [30] Ellmann A, Mill T, Uueküla K, Joala V. Road surface surveying using terrestrial laser scanner and total station technologies environmental engineering road surface surveying using terrestrial laser scanner and total station technologies. In. Available from: <http://enviro.vgtu.lt>, Citirano: 21.5.2022.
- [31] Sylvester Okiemute E, Matthew N. O, Olujimi Fatai O. Monitoring and Analysis of Vertical Deformation of Palm House Benin City Using Digital Level. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*. 2018;4(9):6–16. Citirano: 21.5.2022.
- [32] Sito S., Kovačić F., Krznarić K., Bilandžija N., Džaja V., Šket B., Grubor M. (2016). Primjena bespilotnih sustava u hortikulturnoj proizvodnji. *Proceedings: 51st croatian and 11th international symposium on agriculture*. Opatija, Croatia, 507-511, Citirano: 21.5.2022.
- [33] Dron, Dostupno na: <http://agrosavjet.com/wp-content/uploads/2021/12/dron.jpg>, Pristupljeno: 21.5.2022.
- [34] Lu Y, Macias D, Dean ZS, Kreger NR, Wong PK. A UAV-Mounted Whole Cell Biosensor System for Environmental Monitoring Applications. In: *IEEE Transactions on Nanobioscience*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2015. p. 811–7. Citirano: 21.5.2022.
- [35] Arnold T, de Biasio M, Fritz A, Leitner R. UAV-based measurement of vegetation indices for environmental monitoring. In: *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST*. 2013. p. 704–7. Citirano: 21.5.2022.

[36] Snimke poplave, Tportal.hr, Dostupno na:
<https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/sateliti-snimili-detalje-poplava-u-slavoniji-20140522>

6.1. Popis slika

Slika 1. Mjerna stanica Leica Viva TS16 [10]

Slika 2. Prikaz nivelira [5]

Slika 3. Prikaz kružnog mjehurića libele [5]

Slika 4. Nivelir postavljen na stativ između točaka čija se visinska razlika određuje [13]

Slika 5. Laserski skener [18] Slika 6. Беспilotna letjelica [20]

Slika 7. Prikaz satelita Sentinel 2A [24]

Slika 8. Utjecaj inženjerstva okoliša [28]

Slika 9. Željeznički most Gorgopotamos i robotska totalna stanica korištena za mjerenja s fokusom na reflektor [29]

Slika 10. Zgrada Palm House (Nigerija) [31]

Slika 11. Metodologija niveliranja [31]

Slika 12. Instrument Roamer sa skenerom nagnutim u smjeru unatrag [16]

Slika 13. Izgrađena područja pod prijetnjom od odrona [16].

Slika 14. Беспilotna letjelica u agrikulturi [33]

Slika 15. Snimka (a) VIS (Visible Spectroscopy) slike, (b) NIR (Near Infrared) slike, te (c) prikaz reflektiranosti velikog dijela infracrvene energije [35]

Slika 16. Snimka prije poplave [36]

Slika 17. Snimka tijekom poplave [36]