

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET
KATEDRA ZA SATELITSKU GEODEZIJU
KOLEGIJ: Integrirani sustavi u geomatici
Ak.god. 2024./2025.



Navigacija s inercijalnom mjernom jedinicom – mogućnosti i ograničenja

Tehničko izvješće

Izradili: Petra Prlić i Luka Skelo

Zagreb, prosinac 2024.

Sadržaj

SAŽETAK.....	1
UVOD.....	2
INERCIJALNI NAVIGACIJSKI SUSTAV (INS).....	3
ANATOMIJA INERCIJALNOG NAVIGACIJSKOG SUSTAVA (INS).....	4
OPIS ZADATKA.....	6
OPIS UREĐAJA I KORIŠTENIH ALATA.....	7
TERENSKO MJERENJE.....	11
KONVERZIJA PODATAKA.....	13
OBRADA PODATAKA.....	16
OBRADA PODATAKA ZA VERTIKALNO GIBANJE U LIFTU.....	16
OBRADA PODATAKA ZA VERTIKALNO GIBANJE PO STEPENICAMA.....	22
ZAKLJUČAK.....	31
LITERATURA.....	32

SAŽETAK

Integracija inercijalnih navigacijskih sustava (INS) s globalnim navigacijskim satelitskim sustavima (GNSS) pruža visok stupanj preciznosti i pouzdanosti u navigaciji i analizi prostornih podataka, čak i u uvjetima ograničenog GNSS signala. INS uređaji koriste senzore poput akcelerometra, žiroskopa i magnetometra za praćenje gibanja i orijentacije u stvarnom vremenu, dok GNSS omogućuje povremene korekcije kako bi se smanjile akumulirane pogreške.

Ovaj rad istražuje performanse inercijalne mjerne jedinice tvrtke Advanced Navigation u uvjetima vertikalnog gibanja, s posebnim fokusom na mjerenja unutar zatvorenog prostora bez dostupnog GNSS signala. Tijekom eksperimenta analizirani su podaci o kretanju kroz deset katova, uključujući gibanje liftom i stepenicama, pri čemu su identificirani ključni utjecaji brzine i vrste gibanja na točnost mjerenja.

Rezultati pokazuju da INS, unatoč gubitku GNSS signala, omogućuje bilježenje korisnih podataka za analizu. Vertikalno gibanje liftom pokazalo je manju varijabilnost u mjerenjima, dok je gibanje stepenicama rezultiralo češćim oscilacijama zbog naglih promjena smjera. Zaključeno je da INS uređaji nude pouzdane rezultate čak i u uvjetima ograničenog GNSS pristupa, što ih čini ključnim alatom za primjene u geodetskim mjerenjima, navigaciji i srodnim disciplinama.

UVOD

Integracija naprednih senzora unutar geodetskih sustava pruža temelj za visoku razinu preciznosti i pouzdanosti u navigaciji te analizi prostornih podataka. Među ključnim tehnologijama ističe se inercijalni navigacijski sustav (INS), koji u kombinaciji s globalnim navigacijskim satelitskim sustavom (GNSS) omogućuje optimalne performanse u uvjetima kada pojedinačni sustavi imaju ograničenja. GNSS sustavi osiguravaju globalnu pokrivenost i preciznost, ali su podložni gubitku signala u zatvorenim prostorima, urbanim kanjonima ili područjima s jakim elektromagnetskim smetnjama. Nasuprot tome, INS funkcionira autonomno, koristeći podatke o ubrzanju i rotaciji za kontinuirano praćenje položaja, no s vremenom akumulira pogreške koje zahtijevaju vanjsku korekciju.

Napredni sustavi, poput onih koje razvija tvrtka Advanced Navigation, integriraju INS tehnologiju s GNSS-om kako bi se osigurala pouzdana navigacija u složenim uvjetima. Takvi sustavi pronalaze primjenu u geodetskim mjerenjima, autonomnim vozilima, pomorstvu, zrakoplovstvu i raznim industrijskim sektorima.

Cilj ovog projekta bio je istražiti mogućnosti i ograničenja inercijalne mjerne jedinice tvrtke Advanced Navigation u različitim situacijama. Poseban fokus stavljen je na analizu vertikalnog gibanja kroz bar deset katova, pri čemu su razmatrane dvije različite brzine kretanja, kako prema gore tako i prema dolje. Analizirani su prikupljeni podaci, s naglaskom na točnost mjerenja u takvim uvjetima te identificirani izvori pogrešaka koji su diskutirani u kontekstu njihovog utjecaja na performanse uređaja.

INERCIJALNI NAVIGACIJSKI SUSTAV (INS)

Inercijalni navigacijski sustav (INS) predstavlja autonomnu tehnologiju za praćenje položaja, brzine i orijentacije objekta u prostoru. Njegova ključna značajka je neovisnost o vanjskim izvorima signala, što ga čini idealnim za primjenu u izazovnim okruženjima gdje tradicionalni GPS signali nisu dostupni ili su nepouzdana, poput unutrašnjosti zgrada, podzemnih prostora, podvodnih operacija ili područja s jakim elektromagnetskim smetnjama [Honeywell, 2024; Inertial Labs, 2024]. Središnji dio svakog INS-a je inercijalna mjerna jedinica (IMU), koja se sastoji od akcelerometara za mjerenje linearnih ubrzanja i žiroskopa za detekciju kutnih brzina. Ovi senzori kontinuirano prikupljaju podatke koji se integriraju kako bi se izračunali položaj, orijentacija i brzina objekta u odnosu na početnu referentnu točku [Advanced Navigation, 2024].

Jedna od najvećih prednosti INS-a je njegova otpornost na vanjske smetnje i sposobnost rada u realnom vremenu bez potrebe za vanjskom komunikacijom. Međutim, zbog prirode integracijskih algoritama, INS pati od akumulacije pogrešaka tijekom vremena, što se naziva drift. Drift nastaje zbog malih netočnosti u mjerenjima senzora, uključujući nepreciznosti u akcelerometrima i žiroskopima, koje se postupno akumuliraju tijekom vremena ili veće udaljenosti. Ovaj problem može dovesti do značajnog odstupanja od stvarne trajektorije, osobito u situacijama kada nije moguće koristiti vanjske izvore za korekciju. Primjerice, čak i male pogreške u mjerenju kutne brzine žiroskopa mogu prouzročiti netočnosti u određivanju orijentacije, što se s vremenom reflektira na pogrešnu procjenu položaja i brzine [Dewesoft, 2024; Inertial Labs, 2024].

Kako bi se umanjio utjecaj drifta, INS se često kombinira s GPS-om u hibridnim sustavima, koji spajaju prednosti obje tehnologije. U takvim sustavima GPS pruža povremene korekcije i referentne podatke, dok INS omogućuje neprekinutu navigaciju tijekom privremenih gubitaka GPS signala, primjerice unutar zgrada, pod zemljom ili u područjima s jakim elektromagnetskim smetnjama. Kombinacija podataka iz oba sustava omogućuje veću preciznost i pouzdanost, smanjujući akumulaciju pogrešaka karakterističnih za INS [Honeywell, 2024].

Osim toga, moderni INS sustavi koriste napredne algoritme za fuziju senzora, poput Kalmanovog filtra, kako bi dodatno smanjili utjecaj drifta. Ovi algoritmi omogućuju bolje procjene trenutnog položaja i orijentacije uspoređivanjem i kombiniranjem podataka iz različitih senzora, uključujući magnetometre i barometre, što pomaže u ispravljanju odstupanja uzrokovanih driftom. Napredak u tehnologiji senzora i računalnim metodama dodatno unapređuje učinkovitost INS-a, smanjujući pogreške i proširujući područja primjene ove tehnologije [Advanced Navigation, 2024]. Moderne verzije INS-a, poput onih koje razvija tvrtka Advanced Navigation, integriraju napredne algoritme za obradu podataka i fuziju informacija iz više senzora, uključujući magnetske i barometarske senzore, kako bi poboljšali preciznost [Advanced Navigation, 2024]. Njihova primjena je široka, od zrakoplovstva i pomorstva, preko autonomnih vozila, sve do geodetskih mjerenja i vojnih operacija. Na primjer, u zrakoplovstvu INS omogućuje preciznu navigaciju tijekom dugih letova na visinama gdje GPS signal može biti oslabljen, dok u geodeziji osigurava točne podatke o kretanju instrumenta u složenim terenima [Honeywell, 2024; Advanced Navigation, 2024].

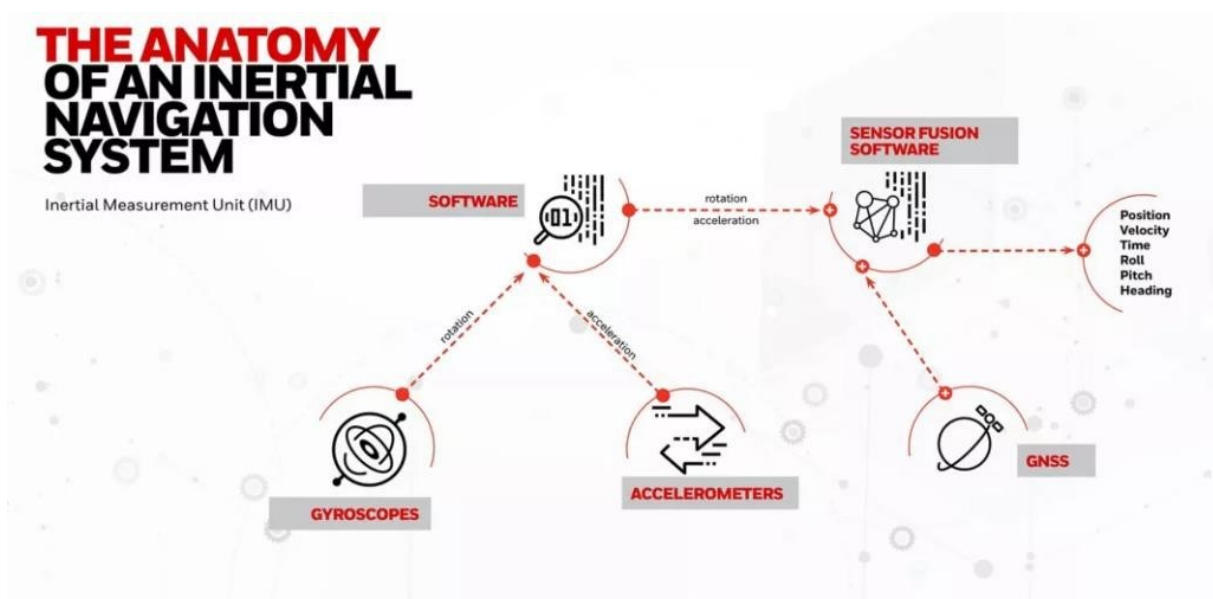
Iako ima ograničenja, INS ostaje ključna tehnologija u situacijama gdje je potrebna neovisna, precizna i pouzdana navigacija. Napredak u razvoju senzora i računalnih algoritama dodatno proširuje mogućnosti njegove primjene, čineći ga sve važnijim u suvremenim industrijama [Dewesoft, 2024; Inertial Labs, 2024].

ANATOMIJA INERCIJALNOG NAVIGACIJSKOG SUSTAVA (INS)

Slika 1. ilustrira osnovne komponente inercijalnog navigacijskog sustava (INS) i njihov međusobni odnos. Ključne komponente uključuju:

- Inercijalnu mjernu jedinicu (IMU) – Sastoji se od magnetometara, žiroskopa i akcelerometara koji mjere rotaciju i ubrzanje uređaja.
 - Žiroskopi pružaju informacije o kutnoj brzini rotacije, što omogućuje praćenje promjena orijentacije.
 - Akcelerometri detektiraju ubrzanje u tri osi, što omogućuje praćenje gibanja.
- Softver za obradu podataka – Podaci prikupljeni iz IMU-a prolaze kroz računalne algoritme koji obrađuju rotaciju i ubrzanje.

- GNSS sustav – Kada je dostupan signal satelitske navigacije (kao što su GPS, GLONASS ili Galileo), GNSS pruža apsolutnu referencu za položaj, brzinu i vrijeme, što dodatno poboljšava točnost sustava.
- Softver za fuziju senzora – Kombinira podatke iz IMU-a i GNSS-a koristeći napredne algoritme za fuziju podataka. Rezultat su točne informacije o položaju, brzini, kutovima (roll, pitch, yaw) i orijentaciji u prostoru.
- Izlazni podaci sustava – Na temelju ulaznih podataka i njihove obrade INS pruža korisniku ključne informacije, poput pozicije, brzine, vremena, kuta nagiba i smjera kretanja.



Slika 1. Anatomija inercijalnog navigacijskog sustava

Slika 1. prikazuje kako različite komponente međusobno surađuju da bi se osiguralo kontinuirano praćenje kretanja i položaja, čak i kada GNSS signal nije dostupan, primjerice unutar zgrada ili pod zemljom.

Magnetometri, žiroskopi i akcelerometri čine temelj inercijalnih navigacijskih sustava (INS) jer osiguravaju podatke potrebne za izračunavanje položaja, orijentacije i gibanja objekta u prostoru. Svaki od ovih senzora ima specifičnu ulogu u funkcionalnosti sustava i doprinosi točnosti i pouzdanosti navigacije.

Magnetometri se koriste za mjerenje Zemljinog magnetskog polja i određivanje smjera prema sjeveru. Ovi senzori pomažu INS-u u određivanju orijentacije objekta u apsolutnim koordinatama. Magnetometri su posebno korisni u situacijama gdje je važno znati precizan

smjer kretanja, primjerice kod zrakoplovstva, pomorstva ili autonomnih vozila (Advanced Navigation, 2024). Međutim, oni su osjetljivi na magnetske smetnje u okolini, poput elektroničkih uređaja i metalnih struktura, što zahtijeva kalibraciju kako bi se osigurala točnost mjerenja (Dewesoft, 2024).

Žiroskopi mjere kutnu brzinu objekta, omogućujući praćenje rotacijskih gibanja oko tri osi (roll, pitch i yaw). Postoji nekoliko vrsta žiroskopa, uključujući mehaničke, optičke i MEMS žiroskope (Honeywell, 2024). U INS-u, žiroskopi imaju ključnu ulogu u izračunu orijentacije integracijom kutne brzine tijekom vremena. Iako pružaju visoku točnost na kratkim vremenskim intervalima, skloni su akumulaciji pogrešaka tijekom vremena, što može uzrokovati drift (Inertial Labs, 2024).

Akcelerometri mjere ubrzanje duž tri osi i koriste se za izračunavanje promjena brzine i položaja objekta. Integracijom podataka akcelerometara kroz vrijeme izračunavaju se brzina i položaj (Advanced Navigation, 2024). Akcelerometri su ključni za praćenje linearnih gibanja i reagiraju na sile koje djeluju na objekt. Međutim, zbog prirode integracije, čak i mala odstupanja u mjerenju mogu se akumulirati, uzrokujući dugoročne pogreške u navigaciji (Dewesoft, 2024).

INS sustavi kombiniraju podatke iz magnetometara, žiroskopa i akcelerometara putem naprednih algoritama poput Kalmanovog filtra kako bi se smanjio utjecaj pojedinačnih pogrešaka senzora i povećala ukupna preciznost (Honeywell, 2024). Žiroskopi osiguravaju kratkoročnu stabilnost, dok akcelerometri i magnetometri pružaju dugoročnu korekciju položaja i orijentacije (Inertial Labs, 2024).

Napredak u tehnologiji, posebno u razvoju MEMS senzora, omogućio je njihovu miniaturizaciju i široku primjenu, uključujući autonomna vozila, dronove, geodetske instrumente i vojne sustave (Advanced Navigation, 2024). Ovi senzori ključni su za rad INS-a jer omogućuju autonomnu i pouzdanu navigaciju u raznovrsnim uvjetima.

OPIS ZADATKA

Cilj zadatka bio je demonstrirati upotrebu INS/GNSS tehnologije u analizi vertikalnog gibanja, s posebnim naglaskom na praćenje trajektorije kretanja unutar zgrada. Odabrano je specifično područje opažanja, koje je obuhvaćalo vertikalno gibanje kroz najmanje deset katova zgrade, pri čemu su mjerene dvije različite brzine kretanja – jedna pri sporijem, koja uključuje hodanje

stepenicama, a druga pri bržem usponu i silasku liftom. Mjerenja su obavljena u neboderu na Srednjacima, u Ulici braće Domany, onom koji je najbliže Horvaćanskoj cesti (slika 2.).



Slika 2. Neboderi na Srednjacima

Glavni koraci zadatka uključivali su pripremu, izvođenje mjerenja, obradu i analizu prikupljenih podataka. Fokus je bio na identifikaciji odstupanja, detekciji pogrešaka povezanih s kretanjem i vremenskom akumulacijom pogrešaka, bez oslanjanja na vanjske sustave poput GNSS-a.

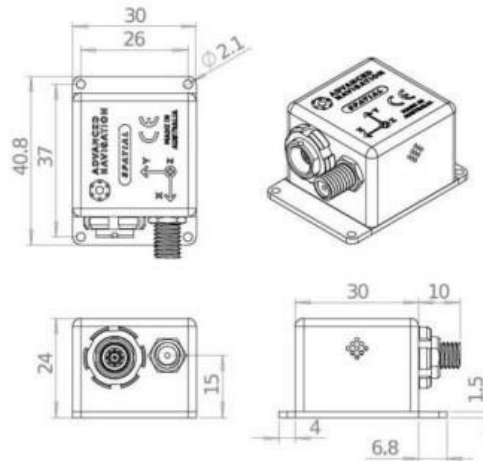
Mjerenja su provedena korištenjem inercijalne mjerne jedinice tvrtke Advanced Navigation, uz pažljivo definirane kontrolne uvjete kako bi se osigurala točnost i ponovljivost rezultata. Prije početka terenskog rada, provedena je preliminarna inspekcija područja, a za analizu su korišteni podaci o visinama i brzini gibanja u oba smjera – prema gore i prema dolje. Poseban izazov ovog zadatka bio je procijeniti utjecaj različitih brzina kretanja na preciznost podataka koje pruža uređaj.

OPIS UREĐAJA I KORIŠTENIH ALATA

Spatial INS/GNSS uređaj predstavlja integraciju GNSS prijarnika i inercijalne mjerne jedinice (IMU), temeljen na MEMS (Micro Electro-Mechanical System) tehnologiji. MEMS tehnologija omogućuje miniaturizaciju mehaničkih i elektromehaničkih komponenti, čime uređaj postaje kompaktno i prijenosno rješenje idealno za terenska mjerenja.

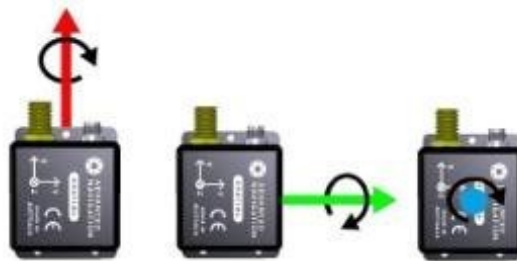
Za provedbu mjerenja korištena je oprema koja uključuje Advanced Navigation's Spatial INS/GNSS uređaj, GNSS antenu, antenski kabel, serijski kabel za spoj na računalo, mjerni štap i aplikativni program Spatial Manager.

Navigacijski INS/GNSS uređaj – Advanced Navigation's Spatial INS/GNSS uređaj ima težinu 37 grama i veličinu od nekoliko centimetara (Slika 3).



Slika 3. Dimenzije Spatial INS/GNSS uređaja (Horvat, 2014)

Orijentacija uređaja opisana je po modelu tri kuta: nagib (roll), posrtanje (pitch) i skretanje (heading) koji su poznatiji pod nazivom Eulerovi kutovi. Nagib je definiran rotacijom oko x osi, posrtanje oko y-osi i skretanje oko z-osi (Slika 4.).



Slika 4. Orijentacija uređaja opisana po modelu tri kuta

Uređaj podržava više globalnih satelitskih sustava, uključujući GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou, uz mogućnost korištenja SBAS korekcija poput WAAS, EGNOS i MSAS.

Što se tiče radne orijentacije, uređaj mora biti pravilno postavljen tako da su osi definirane prema smjeru gibanja: x-os u smjeru kretanja, z-os prema nadiru, dok y-os zatvara desni koordinatni sustav (Slika 5).



Slika 5. Uređaj Spatial INS/GNSS s prikazom koordinatnih osi

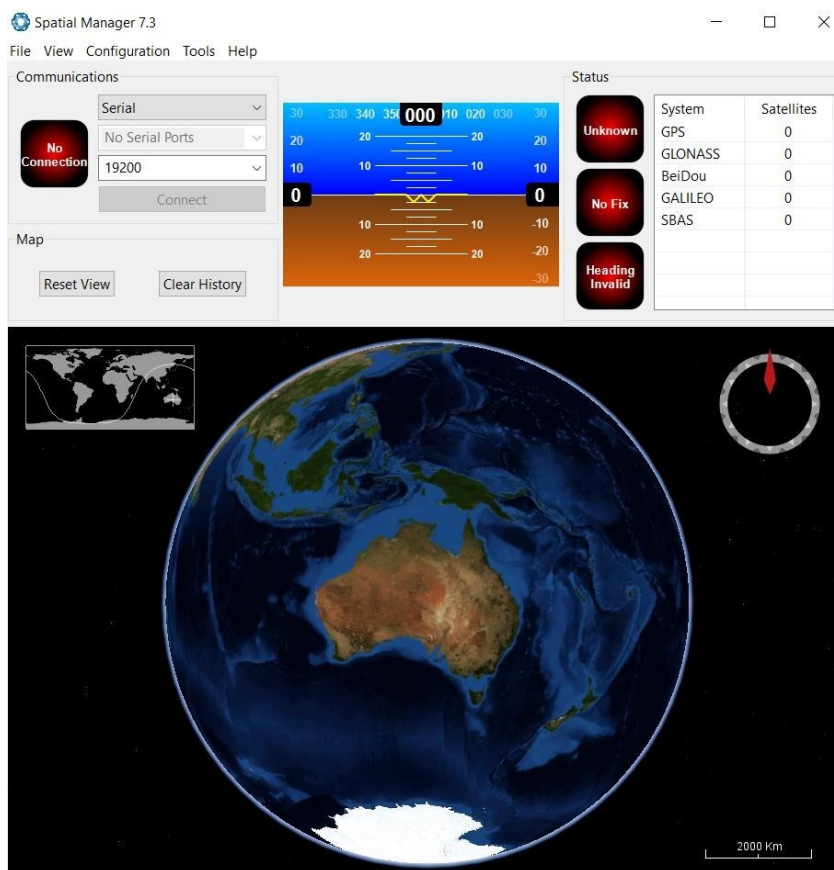
Na slici 6. prikazane su navigacijske specifikacije za Spatial INS/GNSS uređaj, prema podacima koje je deklarirao proizvođač.

Parametar	Vrijednost parametra
Horizontalna točnost	2,0 m
Vertikalna točnost	3,0 m
Horizontalna točnost (s DGNS–om)	0,6 m
Vertikalna točnost (s DGNS–om)	1,0 m
Točnost brzine	0,05 m/s
Točnost ljuljanja i posrtanja (eng. roll i pitch) – statička	0,1 °
Točnost zakretanja (eng. heading) – statička	0,5 °
Točnost ljuljanja i posrtanja (eng. roll i pitch) – dinamička	0,2 °
Točnost zakretanja (eng. heading) – dinamička s DGNS–om	0,2 °
Točnost zakretanja (dinamički i samo magnetski)	0,8 °
Unutarnji filter (frekvencija rada)	1000 Hz Interval pohrane 1 s
Izlazni podaci (frekvencija)	Do 1000 Hz

Slika 6. Navigacijske specifikacije Spatial INS/GNSS uređaja (deklarirane od strane proizvođača)

Uz uređaj dolazi softverski paket Spatial Manager (Slika 7), koji nudi sljedeće funkcionalnosti:

- Konfiguraciju uređaja: Omogućuje postavljanje stope registracije, inicijalizaciju senzora i prilagodbu filtera za specifične uvjete mjerenja.
- Prikupljanje podataka: Prati status uređaja, GNSS prijem i orijentaciju u realnom vremenu.
- Pohranu podataka: Podaci se mogu spremati u različite formate (.anpp, .csv, .kml) kako bi se omogućila daljnja obrada i analiza.



Slika 7. Sučelje Spatial menagera prije mjerenja

Pravilno postavljanje uređaja ključan je korak za osiguranje točnosti i pouzdanosti prikupljenih podataka. Spatial INS/GNSS uređaj zahtijeva specifične uvjete instalacije kako bi njegovi senzori i integrirani sustavi optimalno funkcionirali. U nastavku su navedene preporuke i uvjeti za postavljanje uređaja, uključujući zahtjeve za izbjegavanje vibracija, temperaturnih ekstrema, magnetskih utjecaja te pravilnu orijentaciju uređaja u prostoru.

Postavljanje uređaja:

- Spatial INS/GNSS uređaj bi trebalo postaviti izvan područja velikih vibracija,
- uređaj bi trebalo postaviti na područje, gdje se neće premašiti dozvoljeni temperaturni raspon ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $85\text{ }^{\circ}\text{C}$),
- ako je u filtru korištena atmosferska visina potrebno je osigurati da dva utora s lijeve i desne strane uređaja budu nepokrivena,
- ako filter koristi magnetsku orijentaciju potrebno je osigurati da uređaj bude najmanje udaljen 10 cm od izvora magnetskog utjecaja, posebice na dinamičke izvore zračenja,

- ako je moguće potrebno je uređaj postaviti u neposrednu blizinu gravitacijskog centra vozila,
- ukoliko je moguće montirati uređaj unutar nekoliko metara od pripadne GNSS antene,
- orijentacija: x-os u smjeru gibanja, z osi prema središtu Zemlje, pa onda y-os gleda na desnu stranu

Uređaj je tijekom mjerenja bio postavljen u skladu sa svim zadanim specifikacijama proizvođača, uključujući preporučene uvjete za vibracije, temperaturni raspon, magnetske utjecaje, pravilnu orijentaciju i blizinu GNSS antene. Iako su mjerenja GNSS-a bila irelevantna zbog provođenja mjerenja unutar zgrade, uređaj je bio postavljen u neposrednoj blizini GNSS antene, u skladu sa zadanim specifikacijama proizvođača, kako bi se osigurala maksimalna kompatibilnost sustava.

Svi tehnički podaci o uređaju i softverskim mogućnostima preuzeti su sa službene stranice tvrtke Advanced Navigation (Advanced Navigation, 2024).

TERENSKO MJERENJE

Svrha ovog terenskog mjerenja bila je testiranje performansi Spatial INS/GNSS uređaja u uvjetima bez GNSS signala, čime se omogućuje procjena rada inercijalnih senzora u kompleksnom urbanom okruženju. Terensko mjerenje provedeno je na unaprijed odabranoj lokaciji u Zagrebu, u neboderu u Ulici braće Domany na Srednjacima. Ovo područje odabrano je zbog specifičnih uvjeta koji omogućuju evaluaciju performansi uređaja u urbanom okruženju, unutar zgrade gdje GNSS signal nije dostupan. Terenski rad bio je organiziran u tri glavne faze: pripremu, opažanje i završnu kontrolu. Na terenu su sudjelovala dva člana tima, Petra Prlić i Luka Skelo, koji su uspješno koordinirali aktivnosti u srijedu, 27. studenog 2024., od 13:00 do 15:00 sati. Tijekom mjerenja, članovi tima izmjenjivali su se u svojim zaduženjima kako bi osigurali preciznost i ravnomjernu raspodjelu zadataka. Jedan član bio je odgovoran za nošenje i orijentaciju INS/GNSS uređaja te za postavljanje i nošenje GNSS antene, dok je drugi član upravljao prijenosnim računalom i pratio status uređaja te njegove funkcionalne parametre u realnom vremenu.

Prije izlaska na teren provedene su detaljne pripreme kako bi se osigurala kvaliteta i učinkovitost mjerenja. Budući da se mjerenje provodilo unutar zgrade, prvi korak uključivao je

odabir konkretne lokacije koja zadovoljava tehničke uvjete i omogućuje nesmetan rad. Odabrana je zgrada najbliža Horvaćanskoj cesti zbog praktičnih razloga, poput neograničenog pristupa ulazu i adekvatnog prostora ispred zgrade za inicijalizaciju uređaja. Inicijalizacija uređaja odigrala je ključnu ulogu u pripremi za mjerenje. Postupak je obavljen na otvorenom prostoru ispred zgrade kako bi uređaj mogao uspostaviti stabilan GNSS signal i postići pouzdano fiksno rješenje (fix). Uređaj je bio uključen i zadržan u nepomičnom položaju tijekom 15-ak minuta na čistini, dovoljno udaljen od zgrade kako bi se minimizirali eventualni utjecaji refleksije signala ili magnetskih smetnji. Ovo vrijeme je dodatno produženo kako bi se osigurala potpuna stabilizacija signala i pravilno funkcioniranje uređaja prije početka opažanja.

Uređaj Spatial INS/GNSS konfiguriran je prije početka mjerenja. Spajanje na prijenosno računalo obavljeno je putem serijskog kabela, dok je GNSS antena postavljena na stabilnu platformu s čistim horizontom kako bi se osigurala optimalna vidljivost satelita. Iako GNSS signal nije imao značajnu ulogu tijekom mjerenja unutar zgrade, antena je postavljena u skladu sa standardnim specifikacijama kako bi se održala konzistentnost u postavljanju opreme. Visina antene zabilježena je i kalibrirana na -1,90 m radi uklanjanja potencijalnih utjecaja odstupanja visine tijekom konverzije podataka.

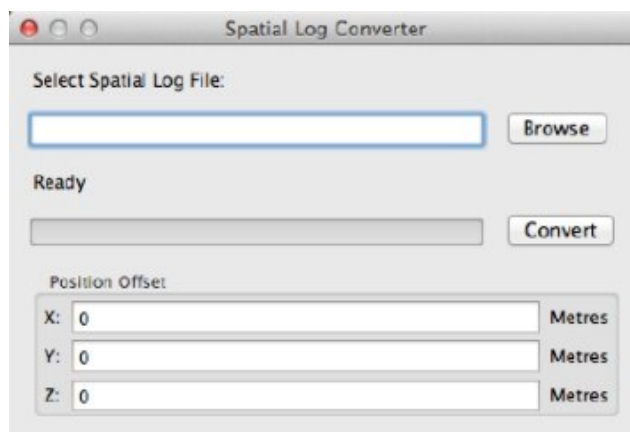
U softveru Spatial Manager podešena je stopa registracije na 1 sekundu, a rad senzora, uključujući akcelerometar, žiroskop i magnetometar, provjeren je kako bi se osigurala njihova funkcionalnost. Prije početka opažanja uređaj je inicijaliziran nekoliko minuta na otvorenom kako bi se osigurala stabilnost GNSS signala. Unatoč tome što GNSS podaci nisu mogli biti iskorišteni unutar zgrade, početna stabilizacija omogućila je pravilno funkcioniranje inercijalnih senzora uređaja. Terensko mjerenje provedeno je u skladu s tehničkim specifikacijama i preporukama za rukovanje Spatial INS/GNSS uređajem. Tijekom inicijalizacije i opažanja uređaj je bio pravilno orijentiran: os x usmjerena je u smjeru kretanja, os z prema nadiru (vertikalno prema dolje), a os y desno od smjera kretanja, u skladu s pravilima desnog koordinatnog sustava. Ova orijentacija osigurala je dosljedno prikupljanje podataka potrebnih za preciznu analizu inercijalnih i navigacijskih parametara. Mjerenje unutar zgrade provedeno je u dinamičkim uvjetima, što znači da su podaci bilježeni kontinuirano u intervalima od jedne sekunde tijekom kretanja članova tima unutar zadanih prostora nebodera. Uvjeti na terenu uključivali su izazove poput gubitka GNSS signala unutar zgrade i prisutnosti smetnji koje su mogle utjecati na magnetski senzor uređaja. Unatoč tome, zahvaljujući kvalitetnoj inicijalizaciji uređaja i pažljivoj konfiguraciji u softveru Spatial Manager, prikupljeni su podaci

relevantni za preciznu analizu kretanja i orijentacije. Također, prostorna ograničenja unutar zgrade mogla su utjecati na preciznost očitavanja, no pravilna orijentacija uređaja i kontinuirana provjera statusa senzora omogućile su minimalizaciju pogrešaka. Relevantni podaci prikupljeni ovim mjerenjem uključivali su informacije o ubrzanju, kutnoj brzini, magnetskom polju, te trajektoriji kretanja u trodimenzionalnom prostoru. Ovi podaci ključni su za validaciju rada uređaja u uvjetima bez GNSS signala i omogućuju analizu ponašanja senzora u kompleksnim prostornim okruženjima. Po završetku mjerenja provedena je završna kontrola podataka kako bi se osigurala njihova kvaliteta i konzistentnost. Sigurnosna pohrana svih prikupljenih podataka obavljena je putem softvera Spatial Manager, nakon čega je uređaj isključen u skladu s preporukama proizvođača.

Uređaj je postavljen i korišten u skladu sa svim tehničkim specifikacijama i preporukama proizvođača, uključujući visinu GNSS antene, pravilan način povezivanja te pažljivu pripremu i praćenje rada svih senzora. Zahvaljujući ovim mjerama, uspješno su prikupljeni podaci koji će omogućiti daljnju analizu navigacijskih performansi u uvjetima gdje GNSS signal nije dostupan.





KONVERZIJA PODATAKA

Nakon što su obavljena terenska mjerenja, dobiveni su različiti podaci u različitim formatima iz kojih su provedene brojne analize. Uz pomoć softvera Spatial Manager, konvertirani su navedeni podaci odabirom naredbe „Log Converter“, do koje se dođe odabirom naredbe „Tools“ na samom sučelju Spatial Manager-a. Odabere se lokacija gdje spremite podatke dobivene mjerenjem i nakon odabira konvertiraju se naredbom „Convert“. No prije toga, bitno je zadati visinu antene koja se proizvoljno namjesti na terenu. U projektnom zadatku, antena je bila podešena na visinu 1.90 m. Kod zadanog projektnog zadatka, taj podatak nije pretežno bitan jer podaci koordinata (X, Y i Z) nisu korišteni u analizama zbog toga što su se mjerenja obavljala u zatvorenom prostoru. GNSS signal je bio izgubljen tijekom mjerenja (no fix) te ako su se pokušali unijeti podaci npr. u QGIS softver, oni bi bili raštrkani na sve strane, bez ikakvog smisla i direkcije. Zbog toga nisu mogle biti provedene nikakve analize vezane uz koordinate točaka i njihov položaj u prostoru.



Slika 8. Izbornik *Spatial Log Converter-a*

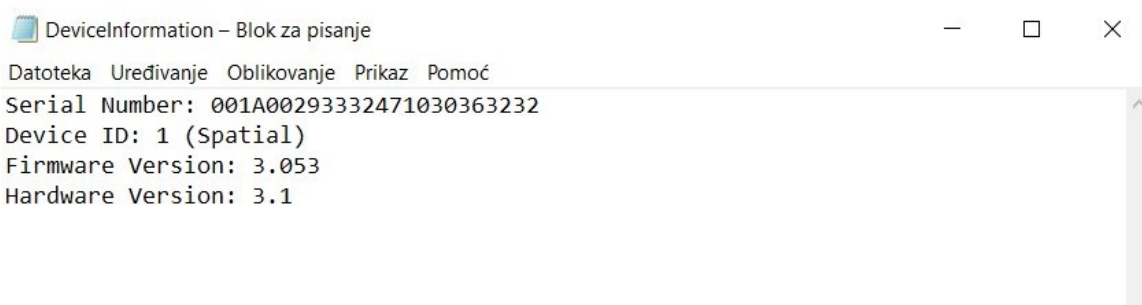
Nakon konverzije, dobije smo jedan zip dokument (*SpatialLog* dokument), točnije dva ako uzmemo u obzir da smo mjerenje obavili u dva navrata. Jedno za vertikalno gibanje u liftu a drugo za vertikalno gibanje kretanjem po stepenicama. U svakom od ta dva glavna zip dokumenta, nalazi se po 10 datoteka koje su prikazane na Slici 9.

 Configuration	27. 11. 2024. 15:20	Tekstni dokument	4 KB
 DeviceInformation	27. 11. 2024. 15:20	Tekstni dokument	1 KB
 GoogleEarthTrack.gpx	27. 11. 2024. 15:20	GPX datoteka	91 KB
 GoogleEarthTrack.kml	27. 11. 2024. 15:20	KML datoteka	368 KB
 LogConverter	27. 11. 2024. 15:20	Tekstni dokument	1 KB
 RawSensors	27. 11. 2024. 15:20	Datoteka program...	85 KB
 Satellites	27. 11. 2024. 15:20	Datoteka program...	33 KB
 State	27. 11. 2024. 15:20	Datoteka program...	165 KB
 Status	27. 11. 2024. 15:20	Datoteka program...	47 KB
 Terminal	27. 11. 2024. 15:20	Datoteka program...	1 KB

Slika 9. Prikaz konvertiranih *SpatialLog* datoteka

GoogleEarthTrack datoteke, u formatima .gpx i .kml nam nisu od velike važnosti. Pomoć njih se moglo izračunati odstupanje mjerenja od idealne trajektorije, da su terenska mjerenja obavljena negdje na otvorenom prostoru gdje bi GNSS signal odnosno status bio „fixed“.

Tri datoteke u .txt formatu (Configuration, DeviceInformation te LogConverter) daju općenite informacije npr. u kojoj verziji Spatial Manager-a se obavila konverzija i samo mjerenje. U projektnom zadatku je to verzija 7.3. Također, iz tih datoteka se može dobiti serijski broj, te hardware i firmware verzije korištenog uređaja koji su prikazani na Slici 10.



Slika 10. Prikaz DeviceInformation datoteke

Ostalih 5 datoteka u .csv formatu (RawSensors, Satellites, State, Status i Terminal) ključna su za obradu i analize. One su korištene kako bi izvršili mnoge usporedbe između vertikalnog mjerenja obavljenog kretanjem u liftu i kretanjem po stepenicama. Te usporedbe su pretežno bazirane na rezultatima mjerenja žiroskopa, magnetometra i akcelerometra. Na Slici 11. i 12. prikazan je izgled .csv datoteka RawSensors i State na koje će najviše biti bazirana obrada i analiza dobivenih podataka mjerenja.

	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Accelerometer X (m/s/s)	Accelerometer Y (m/s/s)	Accelerometer Z (m/s/s)	Gyroscope X (degrees/s)	Gyroscope Y (degrees/s)	Gyroscope Z (degrees/s)	Magnetometer X (mG)	Magnetometer Y (mG)	Magnetometer Z (mG)
1									
2	1,5280842	0,4685911	-9,871787	-2,933077677	0,686750441	0,108866312	-303,91806	-259,3314	419,6756
3	1,6265693	0,39968053	-9,722962	0,964598802	-1,034162464	0,066107847	-317,6708	-252,03215	411,44193
4	1,5248429	-0,26198587	-9,910052	5,215644295	-0,260727877	-5,057862656	-299,14615	-235,32825	428,195
5	1,2716894	-0,12261688	-9,818295	0,291371601	-2,746757587	-10,52308462	-277,94745	-233,61655	436,4141
6	1,3631754	-0,8213484	-9,735824	2,972723936	0,475126955	-20,1960822	-173,06956	-268,46997	463,99078
7	1,0771301	-1,1091851	-9,83803	1,056093988	-3,392266812	-5,015060422	-118,85117	-248,37332	480,9592
8	0,9318675	-0,71008384	-9,809866	4,634203524	2,259334156	-4,835215564	-118,62499	-269,95383	472,03198
9	0,6986146	0,116915725	-9,942067	-6,572303425	0,15849442	-11,74153744	-93,18486	-287,91516	464,18564
10	1,0691665	-0,3847848	-9,917045	0,641376854	1,02090432	6,108256104	-92,72148	-279,7538	472,3063
11	1,4739951	0,038590327	-9,798845	-0,942178065	2,30967073	0,289045842	-101,34455	-288,4715	467,31903
12	1,6545341	0,15404443	-9,876069	0,227411549	-2,563616309	-2,047003212	-109,48082	-294,31183	458,76752
13	0,83496183	-0,22892621	-9,865582	-2,59855166	-5,599847985	19,93202196	-70,81712	-280,60785	470,22125
14	0,18894425	0,9506859	-9,86304	-4,492613703	-6,377711336	59,58558677	-231,86525	-236,68784	461,83264
15	0,31387448	1,0860736	-9,778257	1,228231724	-1,147946479	38,58486902	-299,09302	-25,088923	462,92087
16	0,2815843	0,4147364	-10,035888	0,352589493	-5,391147286	10,04487064	-267,38046	57,182796	452,85718

Slika 11. Prikaz nekih podataka iz RawSensors datoteke

	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT
1	Velocity North (m/s)	Velocity East (m/s)	Velocity Down (m/s)	Acceleration X (m/s/s)	Acceleration Y (m/s/s)	Acceleration Z (m/s/s)	G Force (g)	Roll (degrees)	Pitch (degrees)	Heading (degrees)
2	-0,10858014	0,11807039	-0,055144746	0,34620878	-0,11644561	0,05124915	0,9997935	-3,908305106	8,488840846	136,2844857
3	-0,12546927	0,1611084	-0,031191815	0,45701078	-0,16809113	-0,071309455	1,013945	0,526877271	8,556072105	131,0629427
4	-0,44317427	0,32898784	-0,17063135	0,46856755	0,015048389	0,050939534	1,0006466	-0,401603624	5,579328389	120,2487042
5	-0,3662938	0,53903764	-0,11001457	0,58677626	-0,22700262	0,1343762	0,9949615	0,668826211	6,705078461	99,7582323
6	-0,49621633	0,7178913	-0,11162252	0,2580844	-0,06546635	0,001487795	1,0028101	0,796920913	3,544022943	94,41000293
7	-0,29512268	0,49561855	-0,052871518	0,21673821	-0,312657	0,06363965	0,9955465	4,589277955	5,55515763	89,35987035
8	-0,23888132	0,43772697	-0,058231734	0,22583263	0,06992496	-0,052232366	1,0065273	-2,894285831	4,683589207	77,36114726
9	-0,033912923	0,17682101	-0,016675176	0,3457497	-0,19031738	-0,036007978	1,0073185	-1,7399432	5,817656741	83,53580902
10	0,021477625	0,118988544	-0,002011526	0,37468573	0,030019121	0,035390675	1,002317	-2,5966661	8,630705582	83,83070244
11	-0,00594593	0,16788091	-0,027459772	0,39418283	-0,05110559	-0,07317546	1,0138743	-2,554151161	6,177446774	81,97513812
12	-0,003196372	0,16771203	-0,014681738	0,42201877	-0,19146988	0,034547616	0,9991413	-4,467948609	1,871216127	102,1098938
13	-0,20756412	-0,105763264	-0,06932652	-0,004203319	0,23233488	0,003867489	1,0022014	-6,491729391	1,852899908	161,971065
14	0,24047525	-0,44610742	-0,07272636	-0,030392786	0,46244636	0,08961403	0,996109	-3,624616187	4,59410946	200,4043209
15	0,15743102	-0,1386902	0,061980795	0,031215753	0,2076349	-0,13305533	1,0145668	-2,774025836	-0,149588893	210,4689325
16	0,06369679	-0,1140837	-0,021634866	0,08964882	0,42182785	0,009939791	1,0008086	-2,383713182	1,199684201	220,6824149

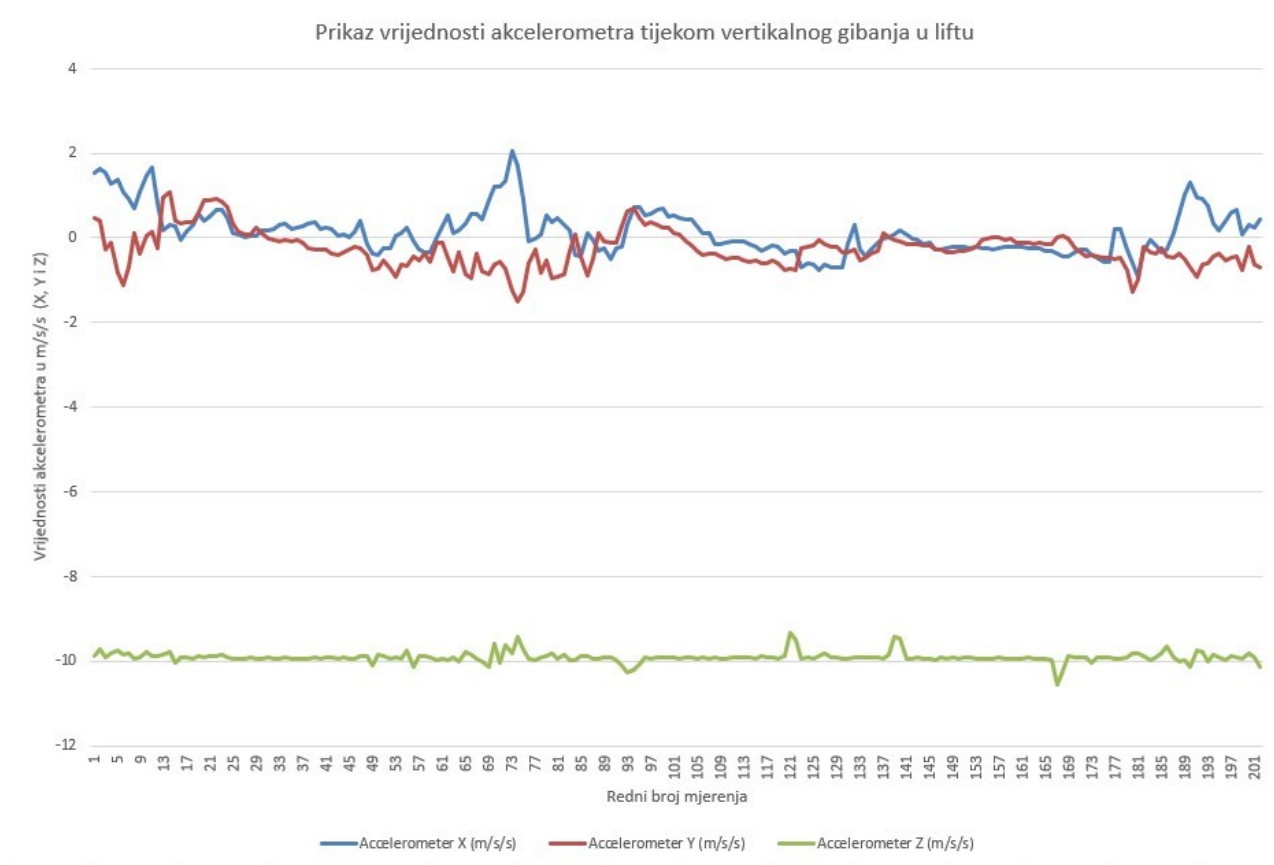
Slika 12. Prikaz nekih podataka iz State datoteke

OBRADA PODATAKA

Kada su konvertirani svi potrebni podaci, mogu se obavljati različite analize pomoću kojih se dolazi do zaključaka vezanih uz razlike vertikalnog gibanja sa INS uređajem liftom i stepenicama u oba smjera. Kao što je već prethodno navedeno, analize su najviše bazirane na mjerenjima žiroskopa, magnetometra te akcelerometra. Obrada je obavljena u programu Microsoft Excel, korištenjem konvertiranih podataka.

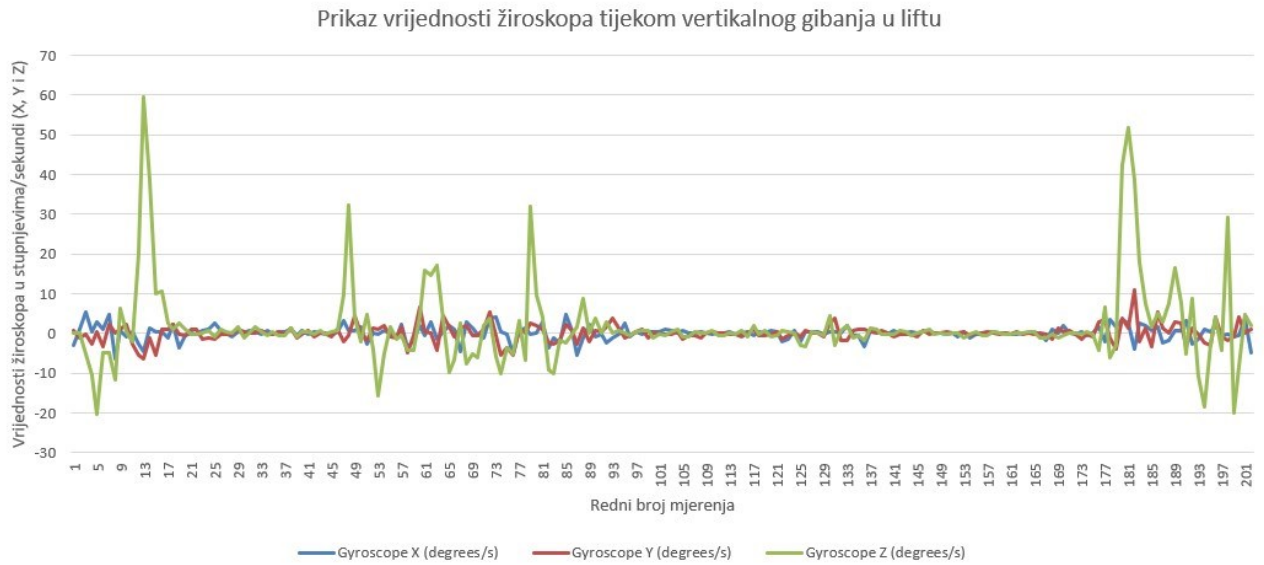
OBRADA PODATAKA ZA VERTIKALNO GIBANJE U LIFTU

Tijekom mjerenja u liftu, registrirana su 201 mjerenja. Za nekolicinu prvih mjerenja moramo uzet u obzir da su mjerena izvan lifta. U vremenu dok nismo došli do, i ušli u sami lift. Za prvu analizu uzete su vrijednosti akcelerometra (po X, Y i Z osi) tijekom vertikalnog gibanja u liftu izražene u jedinici m/s/s koje su prikazane na Slici 13. Iz dobivenih rezultata, može se zaključiti da su vrijednosti poprilično konstante, bez većih odstupanja. Vrijednosti za X i Y osi kreću se između vrijednosti -2 i 2, a za Z os -10.



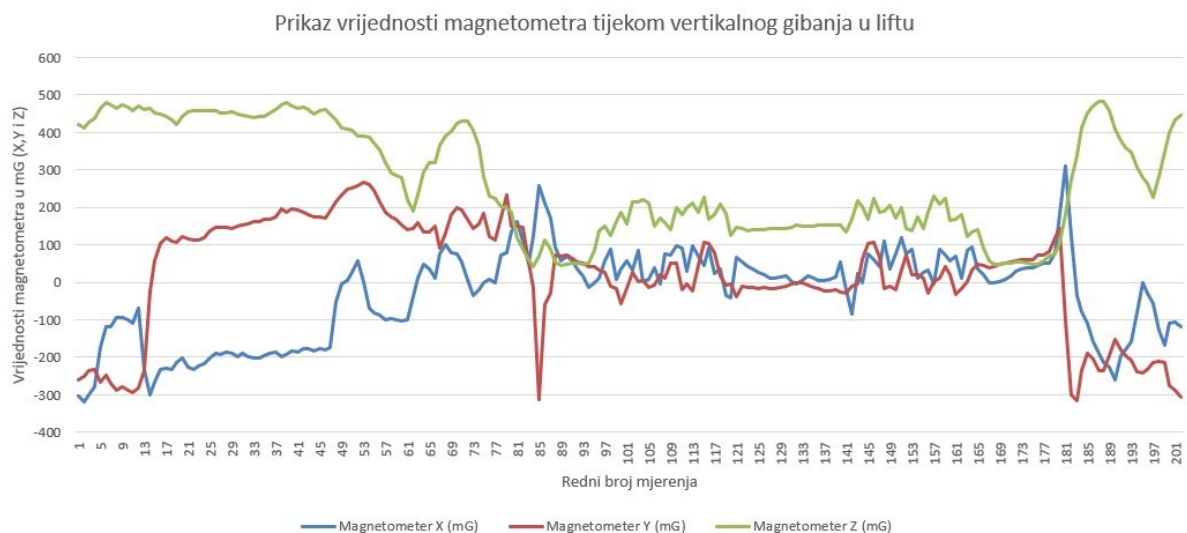
Slika 13. Prikaz vrijednosti akcelerometra tijekom vertikalnog gibanja u liftu

Iz rezultata žiroskopa, može se vidjeti da vrijednosti Z osi žiroskopa imaju određene oscilacije na par mjesta, odnosno nagla povećanja tj. promjene u vrijednostima (do 60 stupnjeva/sekundi). Može se pretpostaviti da su neke od tih oscilacija došle prilikom izlaska i ulaska u lift, otprilike kod 13. i 181. mjerenja. Vrijednosti X i Y osi žiroskopa su poprilično konstante te se kreću od -5 do 10 stupnjeva/sekundi.



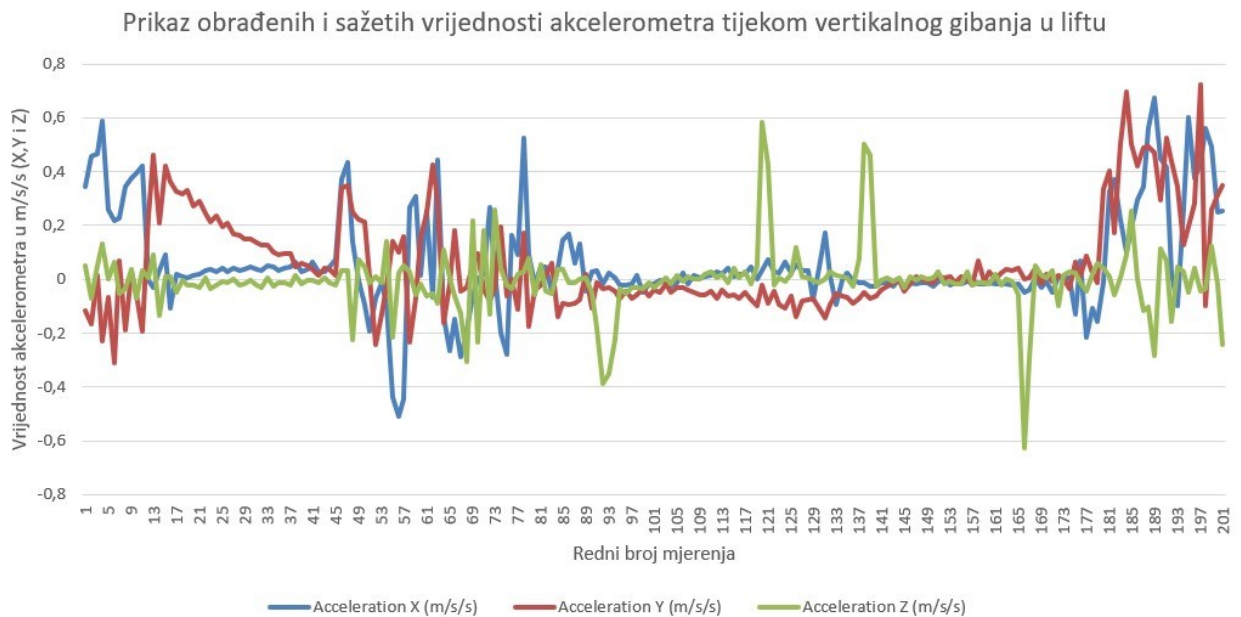
Slika 14. Prikaz vrijednosti žiroskopa tijekom vertikalnog gibanja u liftu

Kod rezultata magnetometra, može se zaključiti da su vrijednosti konstantnije za središnja mjerenja a više oscilacija ima na početnim i krajnjim mjerenjima. Do toga je moglo doći zbog prisustva nekih magnetskih predmeta, kao npr. konstrukcija zgrade ili neki dijelovi lifta i stubišta. Vrijednosti se kreću od -300 do 500 mg.



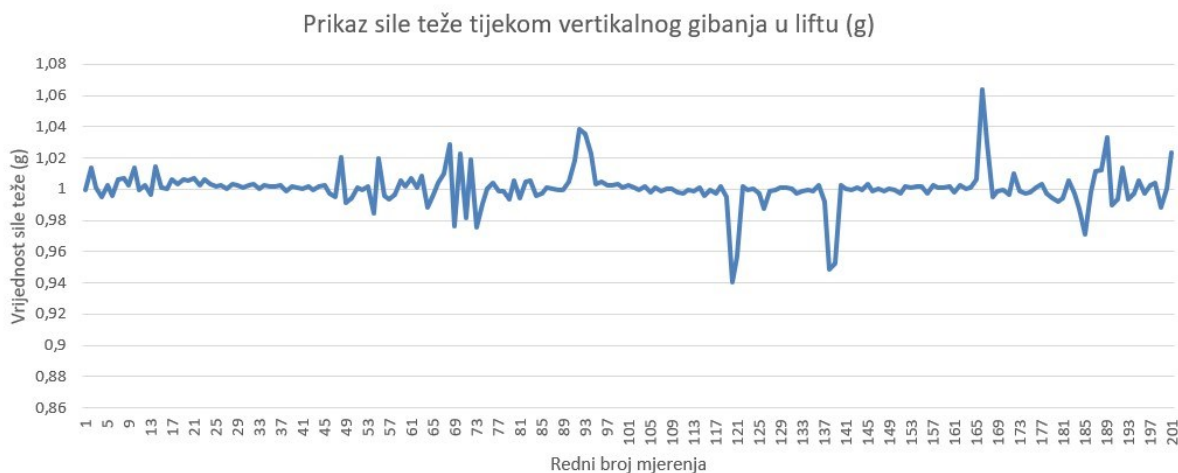
Slika 15. Prikaz vrijednosti magnetometra tijekom vertikalnog gibanja u liftu

Obrađene i sažete vrijednosti akcelerometra odnose se na podatke prikupljene s akcelerometra koji su prošli kroz različite korake obrade kako bi se iz njih izvukli ključni podaci, uklonili šumovi ili pojednostavile informacije. Te vrijednosti su dobivene uklanjanjem visokofrekventnih ili niskofrekventnih šumova pomoću digitalnih filtara (npr. Butterworth ili Kalman filtar), skaliranjem vrijednosti kako bi bile usporedive ili unutar određenog raspona i slično. To su zapravo vrijednosti akcelerometra samo sažete radi lakše uporabe.



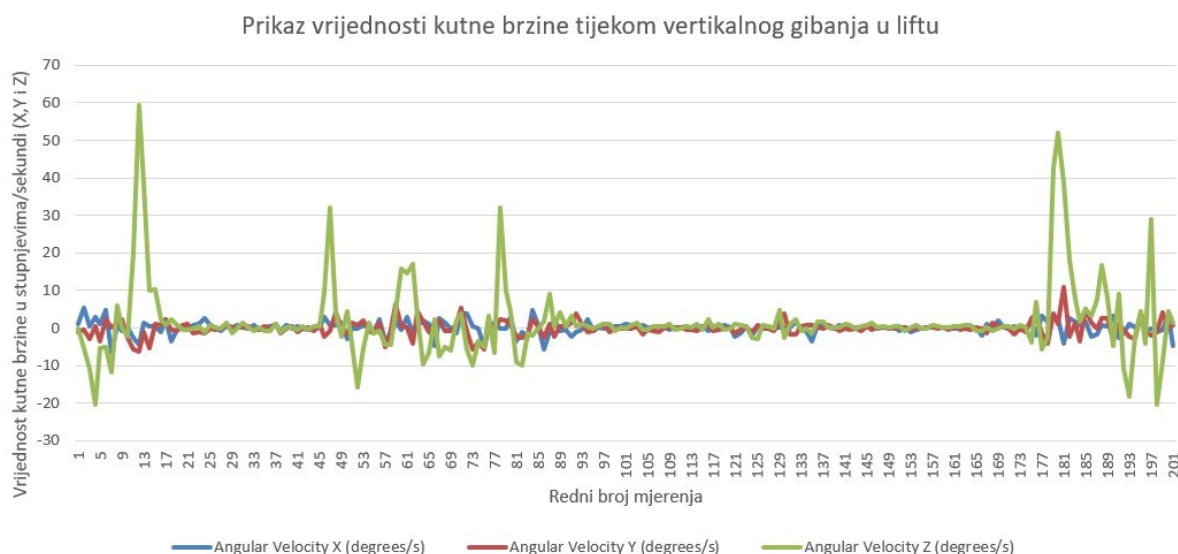
Slika 16. Prikaz obrađenih vrijednosti akcelerometra tijekom vertikalnog gibanja u liftu

Sila teža tijela tijekom vertikalnog gibanja u liftu varira ovisno o tome kako se lift kreće. Ako lift miruje ili se kreće konstantnom brzinom (bez ubrzanja), sila teža djeluje standardno prema formuli $F_g = m \cdot g$. Ako lift ubrzava prema gore ubrzanjem a (akceleracija), ukupna sila koja se osjeća povećava se jer na tijelo djeluje dodatna "inercijska" sila: $F = m \cdot (g + a)$. Ako lift usporava dok ide prema gore ili ubrzava prema dolje, u tom slučaju, ubrzanje je negativno (akceleracija djeluje u suprotnom smjeru gravitacije). Osjećat će se manja težina jer se smanjuje ukupna sila koju pod osjeća.



Slika 17. Prikaz sile teže tijekom vertikalnog gibanja u liftu

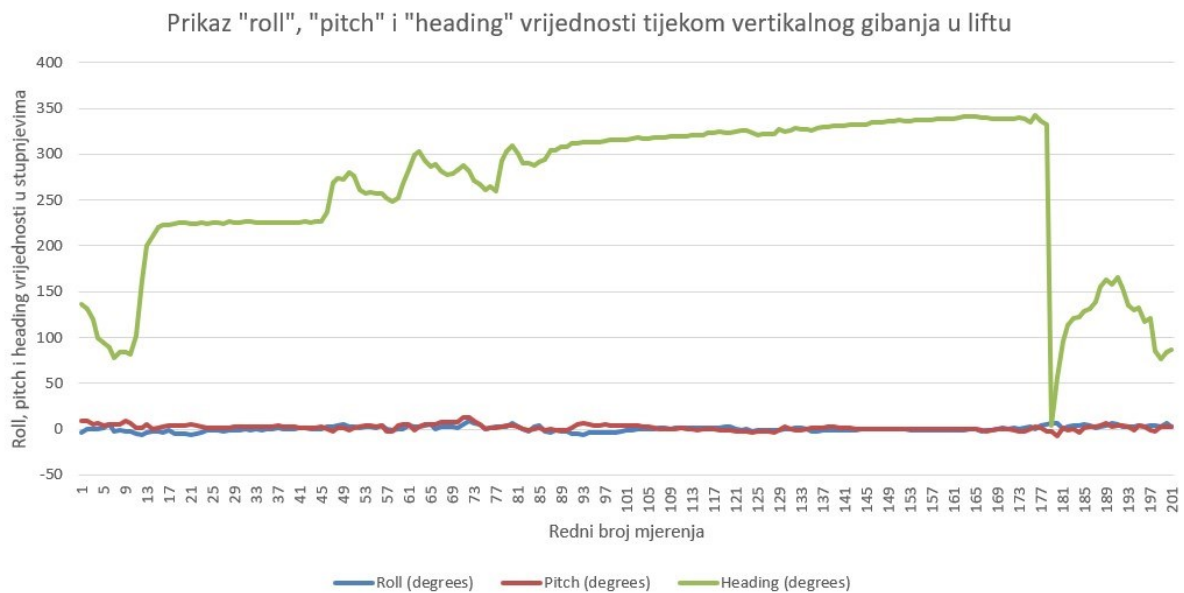
Kutna brzina tijekom vertikalnog gibanja u liftu mjeri rotacijsko gibanje, što je obično povezano s rotacijom samog INS uređaja, a ne s vertikalnim gibanjem lifta. U idealnim uvjetima, gdje lift se kreće vertikalno bez rotacije, kutna brzina sustava trebala bi biti nula. Može se vidjeti da imamo poneke veće oscilacije prilikom ulaska i izlaska iz lifta, dok su većinom vrijednosti konstante tijekom obavljanja mjerenja u liftu.



Slika 17. Prikaz vrijednosti kutne brzine tijekom vertikalnog gibanja u liftu

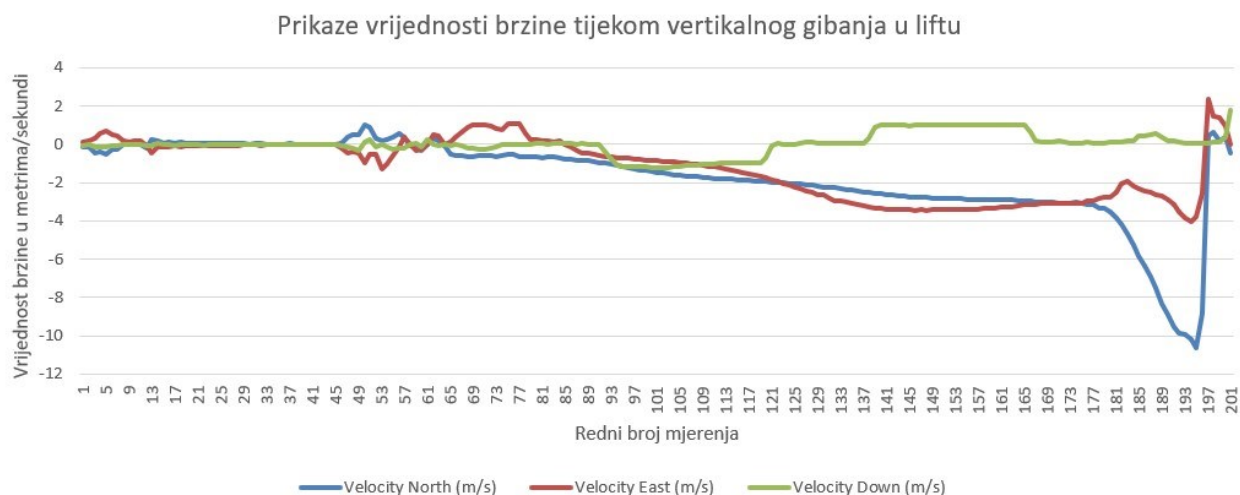
Tijekom vertikalnog gibanja u liftu, Roll, Pitch i Heading vrijednosti koje mjeri INS uređaj trebale bi ostati konstantne i ne bi se značajno mijenjale u idealnim uvjetima. Male oscilacije lifta mogu izazvati fluktuacije Roll i Pitch vrijednosti te ako uređaj nije čvrsto pričvršćen, može također očitavati male promjene u Roll i Pitch vrijednostima. U praksi, magnetske smetnje u

blizini lifta mogu utjecati na Heading, pogotovo ako INS koristi magnetometar, što je i slučaj u projektnom zadatku.



Slika 18. Prikaz Roll, Pitch i Heading vrijednosti tijekom vertikalnog gibanja u liftu

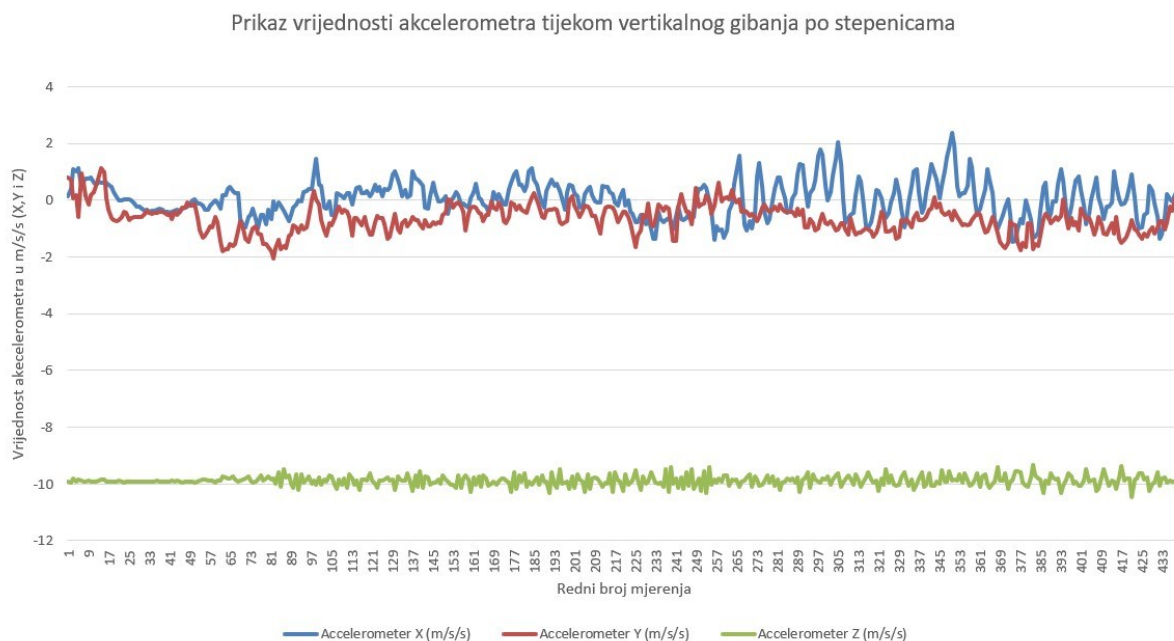
Vrijednost brzine tijekom vertikalnog gibanja u liftu ovisi o fazi gibanja i vrsti ubrzanja kojem je lift izložen. Brzina se može izračunati integracijom ubrzanja koje INS uređaj mjeri akcelerometrom. Iz Slike 19., vidimo da su vrijednosti brzine poprilično konstantne tijekom cijelog mjerenja, kreću se većinom između -3 i 2 metra/sekundi. Jedina većina oscilacija nalazi se na kraju, već kad smo izašli iz lifta, gdje je vrijednost brzine dole došla do vrijednosti -10. Može se pretpostaviti da je to neka sistemska, odnosno sustavna greška.



Slika 19. Prikaz vrijednosti brzine tijekom vertikalnog gibanja u liftu

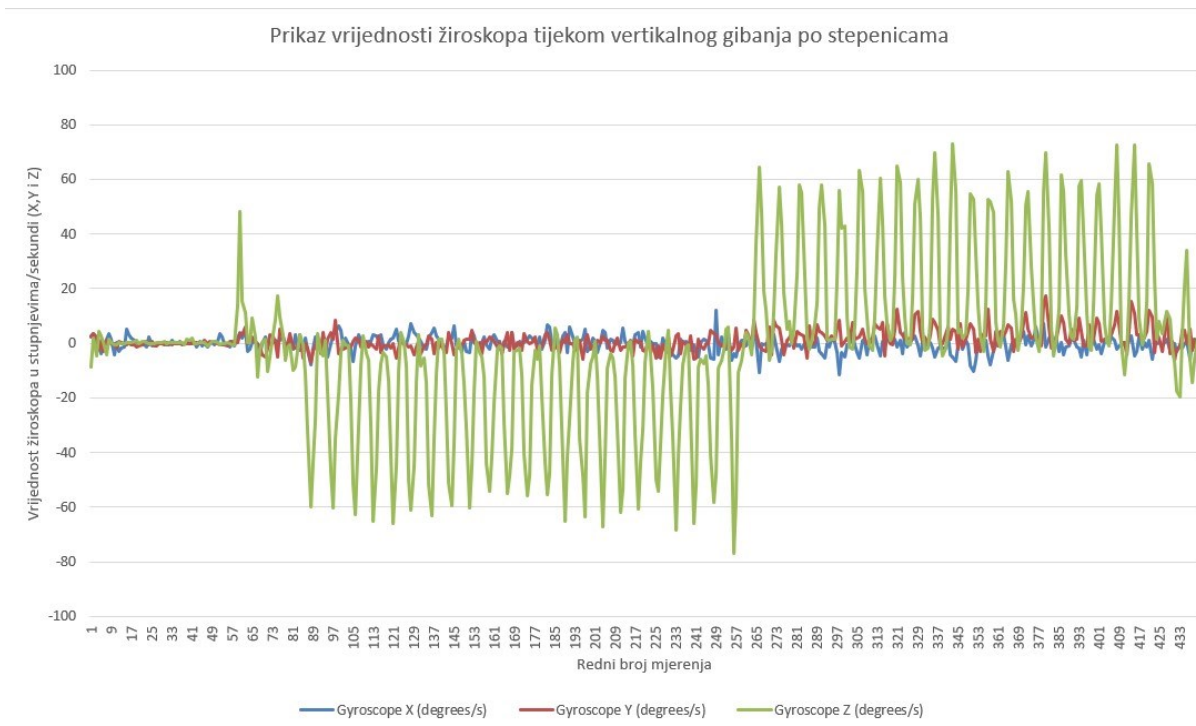
OBRADA PODATAKA ZA VERTIKALNO GIBANJE PO STEPENICAMA

Tijekom mjerenja po stepenicama, registrirana su 440 mjerenja. Za nekolicinu prvih mjerenja moramo uzeti u obzir da su mjerena izvan ulaza u zgradu te prije samog dolaska do stepenica. Za prvu analizu uzete su vrijednosti akcelerometra (po X, Y i Z osi) tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama izražene u jedinici m/s/s koje su prikazane na Slici 20. Iz dobivenih rezultata, može se zaključiti da se vrijednosti za X i Y osi kreću se između vrijednosti -2 i 2, a za Z os oko -10. Usporedivši graf sa prethodno dobivenim grafom rezultata akcelerometra tijekom vertikalnog gibanja u liftu, možemo zaključiti da se kod mjerenja po stepenicama vrijednosti akcelerometra brže i oštrije smanjuju i povećavaju tj. mijenjaju. Iako je riječ o poprilično jednakom intervalu vrijednosti za oba grafa. Glavni razlog toga je nagla promjena smjera prilikom penjanja po stepenicama, koju na taj način registrira i sam akcelerometar.



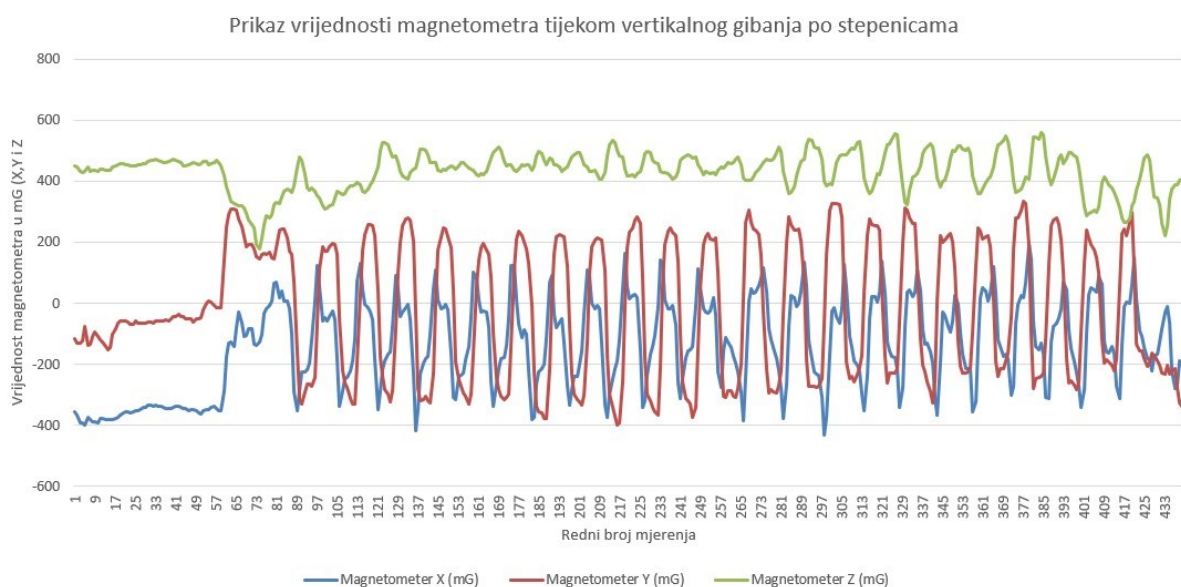
Slika 20. Prikaz vrijednosti akcelerometra tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama

Iz rezultata žiroskopa tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama u zgradi, može se vidjeti da vrijednosti Z osi žiroskopa imaju znatne oscilacije, odnosno nagla povećanja i smanjenja tj. promjene u vrijednostima (do 80 stupnjeva/sekundi). Te oscilacije su rezultat okretanja tj. rotiranja INS uređaja tijekom penjanja po stepenicama odnosno silaska niz njih. Točno vidimo kada je došlo promjene smjera, kod otprilike 260. mjerenja, koje predstavlja prekretnicu sa penjanja uz stepenice na silazak niz stepenice. U tom trenutku, vrijednosti Z osi prelaze sa osciliranja između 0 i -80 stupnjeva na osciliranje između 0 i 80 stupnjeva. Vrijednosti X i Y osi žiroskopa su poprilično konstante te se kreću od -20 do 20 stupnjeva/sekundi.



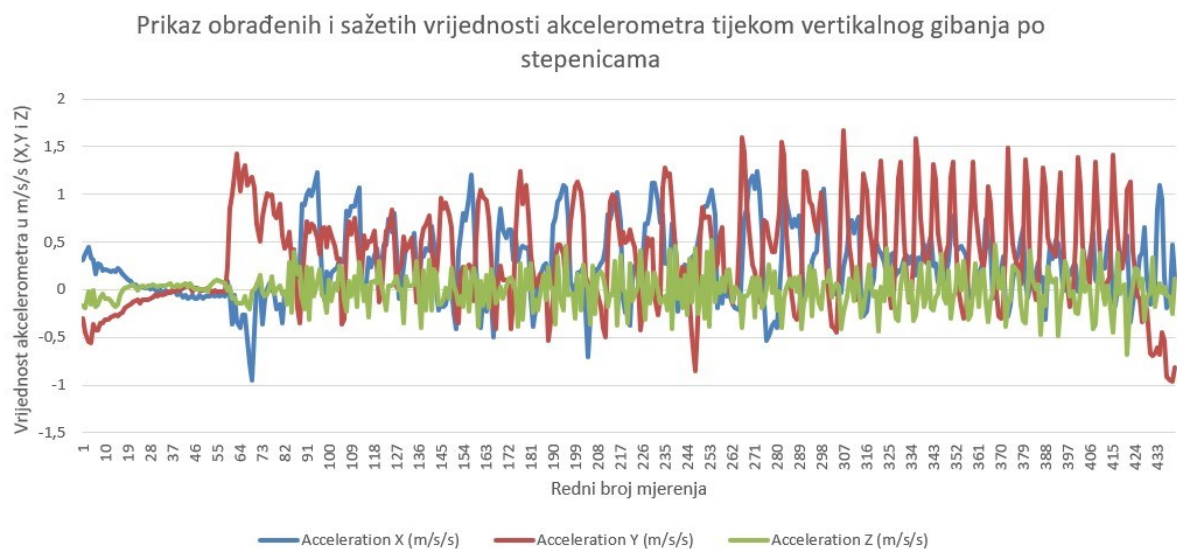
Slika 21. Prikaz vrijednosti žiroskopa tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama

Kod rezultata magnetometra, može se zaključiti da je početak mjerenja na stepenicama započeo otprilike na 70. mjerenju. Iz rezultata prikazanih na grafu na Slici 22., vidljive su nagle promjene vrijednosti X, Y i Z osi magnetometra od tog navedenog 70. mjerenja. Vrijednosti se kreću od -400 do 600 mG. Glavni razlog tome su neki magnetski predmeti u samoj zgradi tj. stubištu i stepenicama koje registrira i očitava magnetometar.



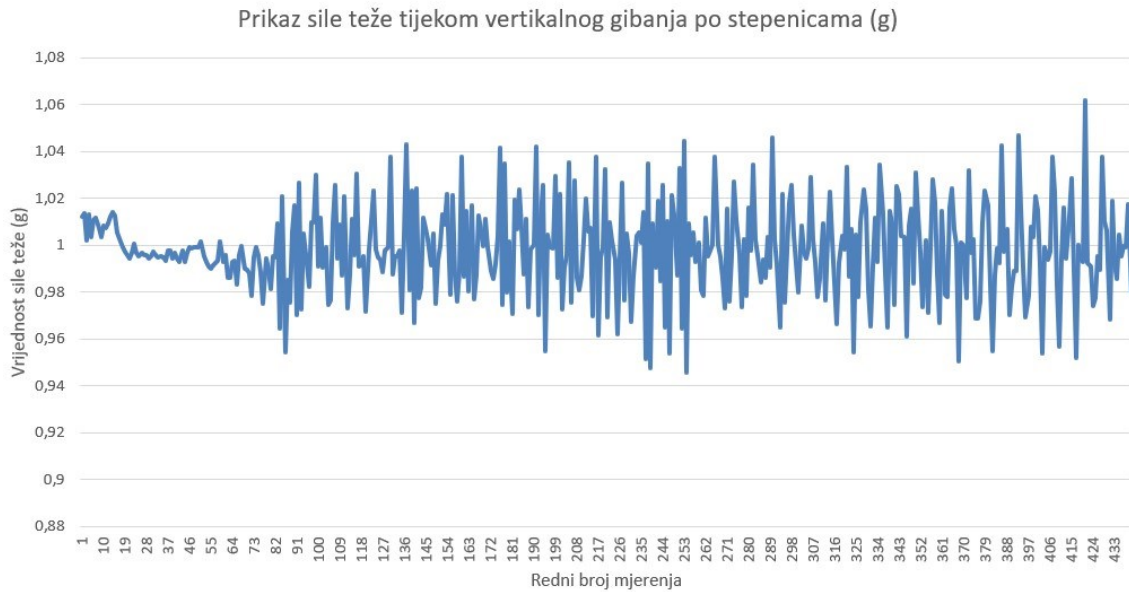
Slika 22. Prikaz vrijednosti magnetometra tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama

Obrađene i sažete vrijednosti akcelerometra tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama su zapravo obične vrijednosti akcelerometra, samo sažete i obrađene zbog lakše upotrebe i lakšeg izvršavanja nekih analiza. Sažete su u manje intervale vrijednosti. U odnosu na obrađene i sažete vrijednosti akcelerometra tijekom mjerenja u liftu, također se može vidjeti mnogo veći nagli porast i pad vrijednosti za sve tri osi, pogotovo za X i Y osi koje se znatno mijenjaju i rotiraju prilikom promjene smjera (lijevo odnosno desno). Razlog tome je stalna promjena smjera i orijentacije prilikom penjanja odnosno silaženja niz stepenice.



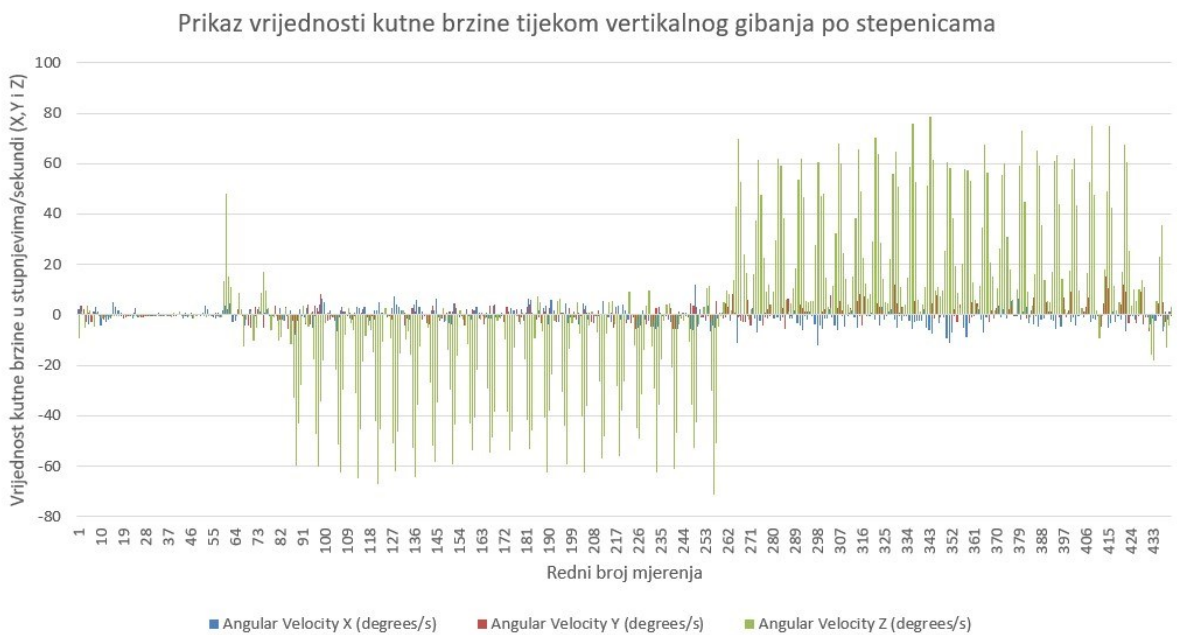
Slika 23. Prikaz obrađenih i sažetih vrijednosti akcelerometra tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama

Pri mjerenju vertikalnog gibanja po stepenicama, vrijednosti mjerene sile teže će također, kao i vrijednosti akcelerometra, dobivati nagle i brže promjene u svojim vrijednostima u odnosu na rezultate dobivene mjerenjem vertikalnog gibanja u liftu. Vrijednosti se kreću od 0,94 do 1,06. Za te navedene nagle promjene u vrijednosti može se vidjeti da počinju kod otprilike 70. mjerenja, kada se započelo samo penjanje uz stepenice.



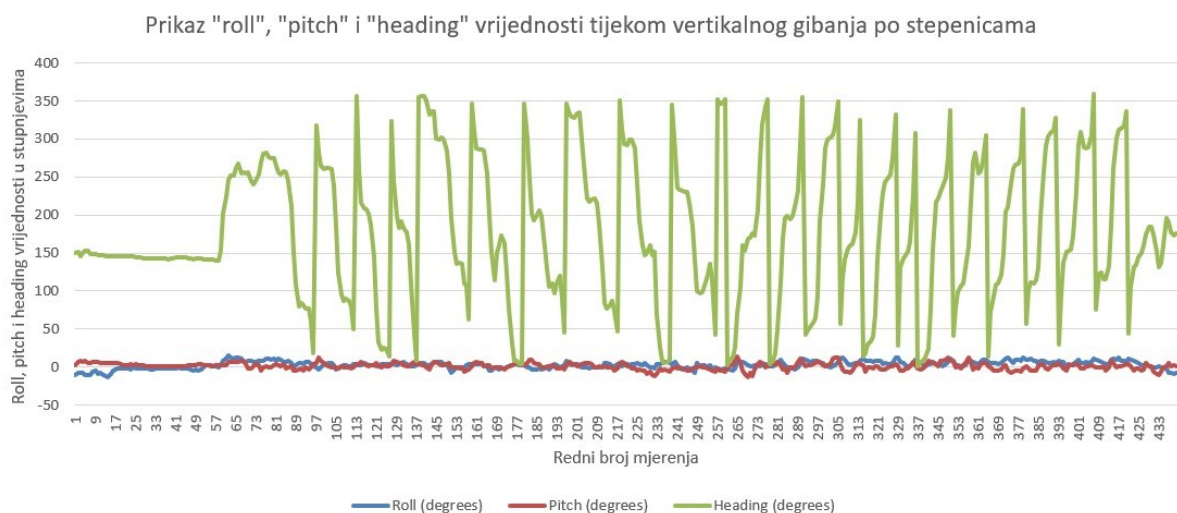
Slika 24. Prikaz sile teže tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama

Iz dobivenih kutnih brzina pri vertikalnom gibanju po stepenicama, može se točno odrediti trenutak u kojem dolazi do promjene smjera, sa penjanja po stepenicama prema gore na silazak po stepenicama prema dole. Ta promjena dolazi na snagu kod otprilike 260. mjerenja. Do promjene u vrijednosti dolazi najviše kod Z osi jer je ona zaslužna za promjenu smjera goredole.



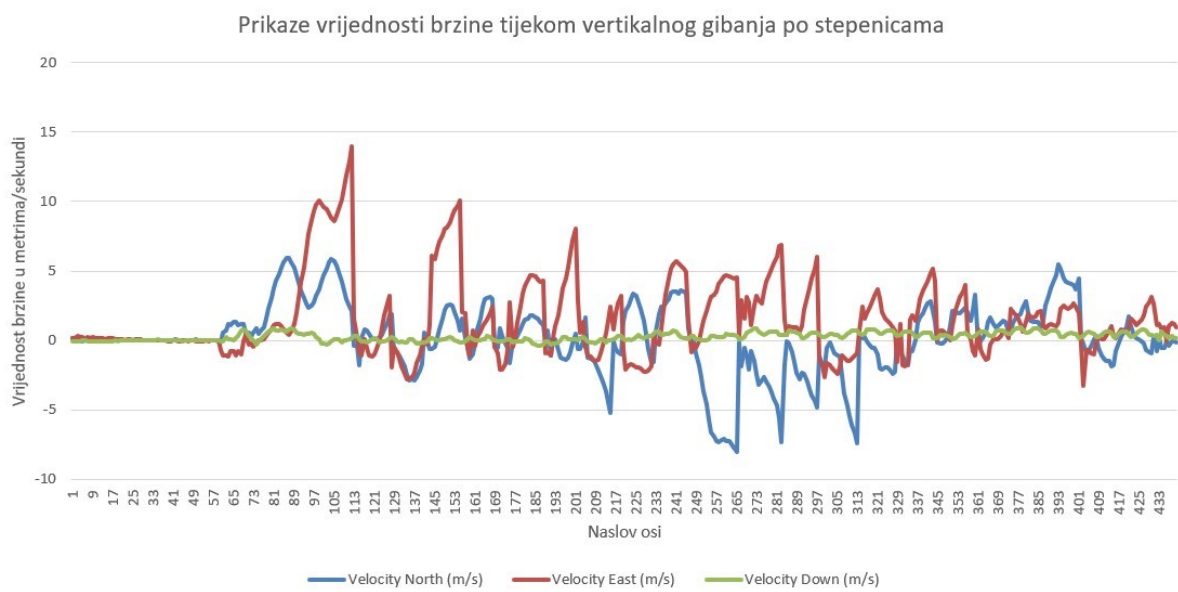
Slika 24. Prikaz vrijednosti kutne brzine tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama

Tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama, vrijednosti Roll, Pitch, i Heading mijenjaju se ovisno o dinamici gibanja i postavljanju INS uređaja. Vrijednost Pitch predstavlja nagib tijela prema naprijed ili unazad. U tipičnom hodu uz stepenice, nagib može varirati od 5° do 20° prema naprijed. Vrijednost Roll predstavlja naginjanje tijela u lijevo ili desno. Tijekom simetričnog penjanja (ravno po stepenicama), Roll vrijednosti su minimalne, obično unutar $\pm 5^\circ$. Kod asimetričnog penjanja ili kod prilagodbe nestabilnoj površini, roll može doseći do $\pm 10^\circ$ ili više. Vrijednost Heading predstavlja horizontalni kut orijentacije tijela. Tijekom penjanja ravno po stepenicama, Heading ostaje gotovo konstantan (minimalne promjene). Ako osoba mijenja smjer (npr. okreće se na stepenicama), Heading se prilagođava zakretanjem u rasponu od $\pm 10^\circ$ do 90° ili više ovisno o kutu zakreta. Vrijednost Heading-a je kontinuirana i prati promjene smjera tijela tijekom penjanja. Maksimalni kut zakreta u projektom zadatku je puni krug tj. skoro 360° , dok je minimalni oko 0° .



Slika 24. Prikaz Roll, Pitch i Heading vrijednosti tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama

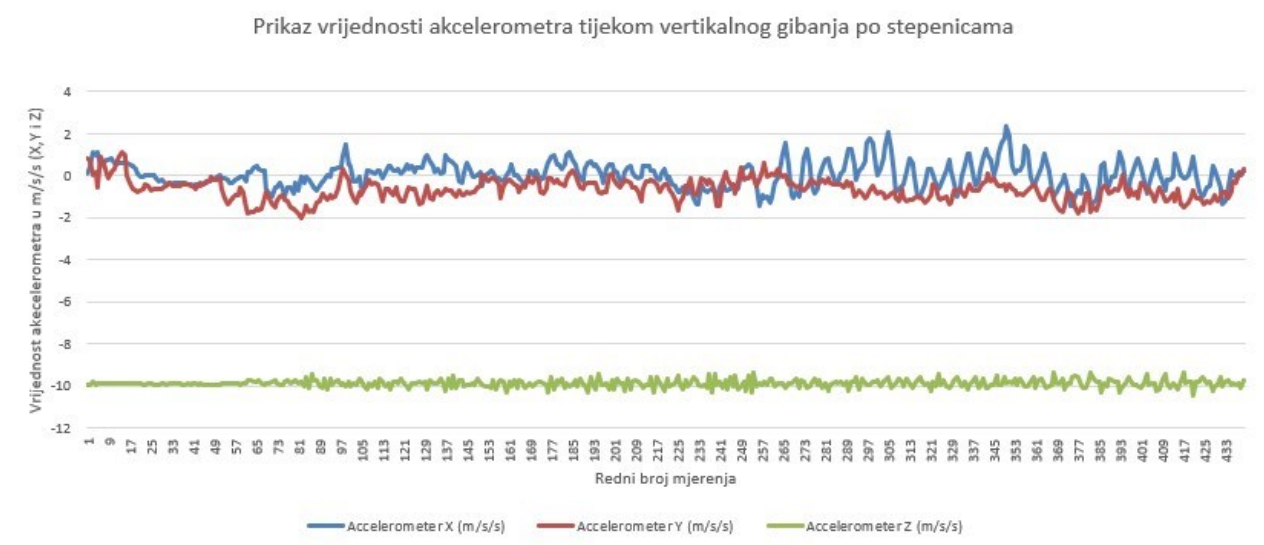
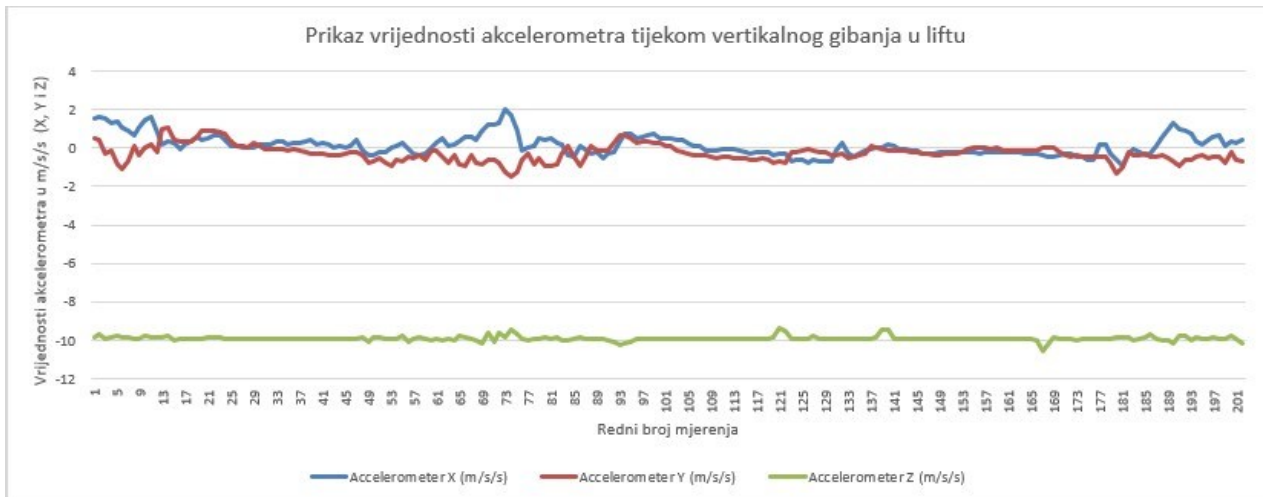
Iz Slike 25., vidimo da su vrijednosti brzine prilikom vertikalnog gibanja po stepenicama poprilično konstantne za brzinu „dolje“, kreću se većinom između 0 i 1 metra/sekundi. Za vrijednosti brzine „sjeverno“ i „istočno“, očitavane su mnogo veće oscilacije, koje dosežu do vrijednosti 15 (za brzinu „istočno“) te do vrijednosti -8 (za brzinu „sjeverno“). Glavni razlog tome je nagla promjena brzine i smjera pri penjanju po stepenicama. Točno je vidljivo da otprilike na 70. mjerenju (kada se došlo do stepenica) započinju nagle promjene u vrijednostima brzina.



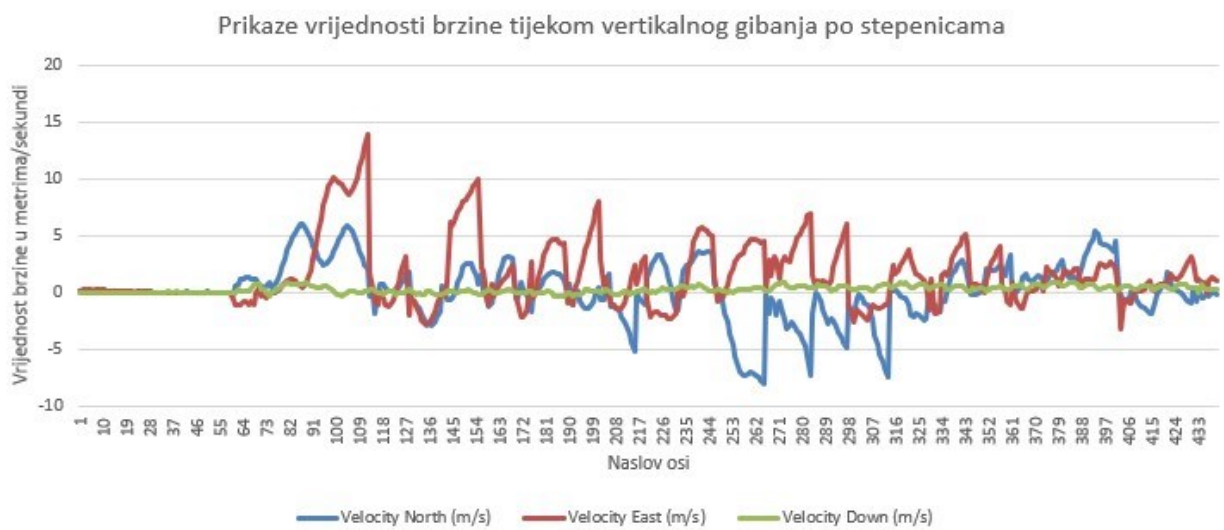
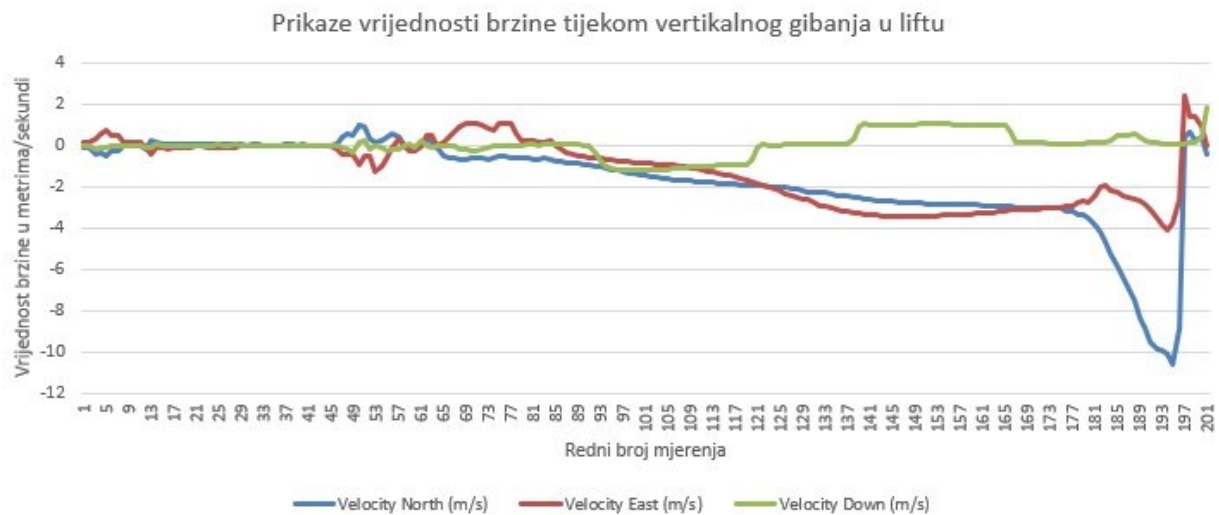
Slika 25. Prikaz vrijednosti brzine tijekom vertikalnog gibanja po stepenicama

DISKUSIJA

Kada se usporedi vertikalno gibanje u liftu i po stepenicama, odnosno njihovi rezultati i točnosti, može se dobiti uvid u mnoge stvari. Ključna stvar je ta da li više utječe brzina ili duljina gibanja na točnost odnosno da li ona opada s vremenom ili prijeđenim putem. Na Slici 26. prikazana je usporedba dobivenih rezultata akcelerometra za vertikalno gibanje liftom i stepenicama te na Slici 27. prikaz vrijednosti brzina tijekom vertikalnog gibanja liftom i stepenicama. Iz ta četiri grafa može se doći do zaključka da se pri vertikalnom gibanju po stepenicama kretalo većom brzinom nego tijekom vertikalnog gibanja liftom iako se na kraju prešao i duži put. Prilikom vertikalnog gibanja na točnost više utječe brzina gibanja nego duljina gibanja te točnost zapravo također opada sa prijeđenim putem, zato što je mjerenje veće brzine ujedno i mjerenje koje je duže trajalo. Pri vertikalnom gibanju liftom točnost je veća zato što je brzina gibanja niža i konstantnija, te nema naglih promjena u njezinom vrijednosti. Na točnost najviše utječe brzina gibanja. Što je ona veća točnost je manja.



Slika 26. Usporedba rezultata akcelerometra za vertikalno gibanje liftom i stepenicama



Slika 27. Usporedba rezultata brzina za vertikalno gibanje liftom i stepenicama

ZAKLJUČAK

Navigacija sa inercijalnom mjernom jedinicom (INS uređaj) ima brojne mogućnosti ali i ograničenja. Pomoću nje možemo dobiti razne informacije i podatke vezane za koordinate i položaj točaka (uz pomoć konstantnog „fixed“ GNSS signala), vrijednosti akcelerometra, žiroskopa, magnetometra i slično. Za zadani projektni zadatak glavno ograničenje je bilo to što tijekom mjerenja u neboderu nije bilo GNSS signala (izgubio se jer su mjerenja obavljena u zatvorenom prostoru u zgradi), samo se prije početka ulaska u neboder dohvatio „fixed“ signal koji se nedugo nakon ulaska u zgradu izgubio (postao „no fix“). Baš zbog toga, nisu mogle biti provedene brojne analize vezane uz prostor i položaj kao npr. odstupanje mjerenja od idealne trajektorije, koja je vrsta satelita i koliko ih je bilo aktivno i prisutno tijekom izvođenja mjerenja i slično. I dalje su mjereni i GNSS podaci no oni su zanemareni jer nisu točni zbog gubitka pristupa uređaja satelitima tj. satelitskom GNSS signalu. Bitna i ključna stvar je što neovisno o odsutnosti konstantnog GNSS signala, INS uređaj je (točnije akcelometar, žiroskop i magnetometar) i dalje bilježio i prikupljao ostala mjerenja koja su korištena za analize vertikalnog gibanja u liftu i po stepenicama. Pomoću podataka dobivenih od akcelerometra, žiroskopa i magnetometra, odnosno njihove obrade i analize, došlo se do brojnih zaključaka vezanih uz vertikalno gibanje. Iz dobivenih rezultata, može se zaključiti da prilikom vertikalnog gibanja u liftu sa INS uređajem dolazi do puno manje oscilacija u vrijednostima, bilo to akcelerometra, žiroskopa ili magnetometra. Razlog tome je jednostavno gibanje vertikalno prema gore bez naglih promjena u smjeru. Dok prilikom penjanja po stepenicama sa INS uređajem, dolazi do čestih naglih promjena u smjeru, koje se najviše očituju u vrijednostima dobivenim akcelometrom te žiroskopom (kutnim brzinama). Također, važno je naglasiti da prilikom provedene usporedbe i korelacije između rezultata akcelerometra i odgovarajućih brzina mjerenja, može se doći do činjenice da na točnost više utječe brzina gibanja nego duljina gibanja. Što je brzina gibanja veća točnost je manja. Sve u svemu, zaključak je da se i bez stalnog GNSS signala, odnosno podataka o položaju i prostoru, pomoću INS uređaja može doći do ključnih informacija i analiza koje mogu pomoći u brojnim poslovima, kako geodetske tako i drugih bliskih struka.

LITERATURA

Honeywell Aerospace, *What is an Inertial Navigation System?*, dostupno na:

<https://aerospace.honeywell.com/us/en/about-us/blogs/what-is-an-inertial-navigation-system>

Inertial Labs, *What is an Inertial Navigation System?*, dostupno na: <https://inertiallabs.com/what-is-an-inertial-navigation-system/>

Advanced Navigation, *Inertial Navigation Systems (INS): An Introduction*, dostupno na:

<https://www.advancednavigation.com/tech-articles/inertial-navigation-systems-ins-an-introduction/>

Dewesoft, *What is an Inertial Navigation System?*, dostupno na: <https://dewesoft.com/blog/what-is-inertial-navigation-system>