

ANTONIO TUPEK, DOKTOR TEHNIČKIH ZNANOSTI



Antonio Tupek obranio je 2. veljače 2024. godine na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu doktorski rad naslova *Razvoj sustava za apsolutno umjeravanje GNSS antena* (engl. *Development of an Absolute GNSS Antenna Field Calibration System*). Doktorski rad izradio je pod mentorstvom prof. dr. sc. Mladena Zrinjskog s Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Povjerenstvo za obranu doktorskog rada bilo je u sastavu prof. dr. sc. Đuro Barković s Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (predsjednik), doc. dr. sc. Ivan Medved s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (član) i doc. dr. sc. Marko Švaco s Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu (član). Povjerenstvo za ocjenu doktorskog rada bilo je u istom sastavu.

Antonio Tupek rođen je 12. kolovoza 1992. godine u Zagrebu. Osnovnu školu pohađao je u Gornjoj Stubici. Godine 2011. maturirao je u Geodetskoj tehničkoj školi u Zagrebu i stekao zvanje geodetskog

tehničara. Od 2011. do 2016. godine studira na preddiplomskom sveučilišnom studiju Geodezije i geoinformatike te diplomskom sveučilišnom studiju Geodezije i geoinformatike, usmjerenje Geodezija, na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom diplomskog studija bio je demonstrator na Katedri za zemljomjerstvo i Katedri za inženjersku geodeziju. Primao je državnu stipendiju kategorije A, koju dodjeljuje Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa od 2011. do 2013. godine te stipendiju za izvrsnost Sveučilišta u Zagrebu od 2013. do 2016. godine. Diplomirao je *summa cum laude* dana 15. srpnja 2016. godine obranom diplomskog rada naslova *Određivanje dinamičkih pomaka pješačkog mosta primjenom integriranog CMOS senzora u RTS-u* pod mentorstvom doc. dr. sc. Rinalda Paara i doc. dr. sc. Ante Marendića te stekao zvanje magistra inženjera geodezije i geoinformatike.

Nakon stečene diplome zapošljava se u privatnom sektoru u geodetskoj tvrtki GeoTAG d.o.o. u Zaboku gdje primarno radi na poslovima katastarske i inženjerske geodezije. Na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, na Katedri za instrumentalnu tehniku, zapošljava se na radnom mjestu asistenta u siječnju 2018. godine. Sudjeluje u izvođenju nastave iz kolegija Geodetski instrumenti, Izmjera zemljišta, Stručni projekt, Geodezija u geoznanostima i Primjena laserskih uređaja, a bio je voditelj 16 izrađenih diplomskih radova. Sudjeluje u radu Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i razvoju različitih mjernih i umjernih metoda.

Kao autor i koautor, objavio je tri znanstvena rada u časopisima indeksiranim u bazi *Web of Science Core Collection* (WoSCC), tri znanstvena rada u ostalim časopisima, šest znanstvenih radova u zbornicima radova s međunarodnih znanstvenih skupova, tri stručna rada u časopisima te dva stručna rada u zbornicima radova s domaćih znanstveno-stručnih skupova. Njegovi znanstveni interesi uključuju geodetske instrumente i geodetska mjerenja, umjeravanje geodetskih instrumenata s posebnim naglaskom na umjeravanje GNSS antena.

Član je Hrvatskoga geodetskog društva, Prosudbenog povjerenstva za provedbu Državnog natjecanja učenika strukovnih škola – *WorldSkills Croatia*, Tehničkog odbora TO 172 – Optika i optički instrumenti u Hrvatskom zavodu za norme te Sabora Nezavisnog sindikata znanosti i visokog obrazovanja. Vanjski je stručnjak pri Agenciji za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih (ASOO).

Doktorski rad oblikovan je kao monografija i napisan na hrvatskom jeziku, sadrži 294 stranice (uključujući priloge) formata A4, sažetak i ključne riječi, prošireni sažetak na engleskom jeziku, popis slika, popis tablica, popis kratica, literaturu, priloge i životopis autora. Rad je podijeljen u devet osnovnih poglavlja:

1. Uvod i motivacija
2. Osnove GNSS antena
3. Kinematički model industrijskog robota
4. Umjeravanje GNSS antena
5. Sustavi apsolutnog umjeravanja GNSS antena u svijetu
6. Novorazvijeni sustav umjeravanja na Geodetskog fakultetu
7. Praktična primjena razvijenog sustava umjeravanja
8. Analiza rezultata i validacija razvijenog sustava umjeravanja
9. Zaključak

Poglavlje 1 sadrži uvod u doktorski rad i elaborira motivaciju za pristup predmetnom znanstvenom istraživanju. Definirani su glavni ciljevi i hipoteze istraživanja, detaljno je opisana metodologija provedenog istraživanja te izneseni očekivani znanstveni doprinosi doktorskog rada.

Poglavlje 2 daje sažeti pregled osnovnih parametara antena GNSS prijamnika. Nadalje, dokumentirane su i opisane osnovne i najčešće vrste GNSS antena koje se primjenjuju za geodetsko pozicioniranje.

Poglavlje 3 doktorskog rada daje kratak opis kinematičkog modela industrijskog robota te definicije osnovnih pojmova robotike koji su upotrijebljeni u radu. Nadalje, u preglednoj i sažetoj formi, dokumentiraju se temeljne relacije rješavanja direktnog i inverznog kinematičkog problema 6-osnog industrijskog robota primijenjene u okviru znanstvenog istraživanja i razvoja sustava apsolutnog umjeravanja GNSS antena.

Poglavlje 4 bavi se problematikom umjeravanja GNSS antena u općem smislu. Dana je definicija osnovnih i ključnih veličina u području umjeravanja GNSS antena, njihova geometrijska interpretacija te detaljan opis standardnoga i općeprihvaćenog apsolutnoga korekcijskog modela faznog središta GNSS antene. Nadalje, dan je detaljniji pregled karakteristika i specifičnosti pojedine metode umjeravanja GNSS antena. Također, opisuje se sadržaj i struktura IGS službenog formata za razmjenu podataka umjeravanja antena (ANTEX).

Poglavlje 5 sadrži koncizan pregled i osnovne informacije trenutno operativnih sustava apsolutnog umjeravanja GNSS antena, kao i sustava umjeravanja koji su u razvojnoj fazi u svijetu.

Poglavlje 6 sadrži detaljan opis i koncept rada novorazvijenog sustava apsolutnog umjeravanja GNSS antena te opis njegovih ključnih hardverskih i softverskih komponenta s naglaskom na metodologiju vremenske sinkronizacije rada svih dijelova sustava umjeravanja. Nadalje, jezgrovito je elaborirana nova metodologija određivanja korekcijskog modela faznog središta GNSS antene koja, suštinski, predstavlja središnji i ključni dio novorazvijenog sustava umjeravanja. Nadalje, dokumentirano je više eksperimentalnih analiza obavljenih u okviru razvojnih faza sustava umjeravanja. Navedeno obuhvaća procjenu mjerne nesigurnosti vremenske sinkronizacije sustava umjeravanja te određivanje i analizu točnosti pozicioniranja upotrijebljenog industrijskog robota. U konačnici, dokumentirani su postupak i rezultati uspostave ispitnog poligona kao sastavnog dijela novorazvijenog sustava umjeravanja do razine detaljnosti koja omogućava neovisnu rekonstruktibilnost.

Poglavlje 7 doktorskog rada sadrži rezultate praktične primjene novorazvijenog sustava apsolutnog umjeravanja GNSS antena. U tu svrhu dokumentirane su obavljene četiri kampanje umjeravanja u okviru kojih je razvijenim sustavom individualno umjereno ukupno šest različitih GNSS antena.

Poglavlje 8 sadrži sustavnu analizu i eksperimentalnu validaciju novorazvijenog sustava apsolutnog umjeravanja GNSS antena koje se obavljaju na implementacijskoj razini, tj. na razini konačnog proizvoda, odnosno korekcijskog modela faznog središta. Dokumentirani su rezultati ispitivanja ponovljivosti i kvantificiranja točnosti apsolutnog umjeravanja GNSS antena. Također, kreirani individualni modeli faznih središta validirani su testom kratkih baznih linija i temeljem rezultata uspostave konkretne GNSS mreže.

Poglavlje 9 rekapitulira zaključke svih znanstvenih istraživanja provedenih i dokumentiranih u okviru doktorskog rada. Sadržana je rasprava vezana uz postavljene hipoteze predmetnog istraživanja. Ujedno, iznesene su smjernice i preporuke budućih istraživanja.

Povjerenstvo za ocjenu doktorskog rada zaključilo je da su u radu ostvareni izvorni znanstveni doprinosi u području tehničkih znanosti, u polju geodezija, koji se očituju kroz razvoj novog sustava apsolutnog umjeravanja GNSS antena i s njime povezane metodologije kreacije korekcijskog modela faznog središta GNSS antene, razvoj metodologije vremenske sinkronizacije rada svih dijelova sustava apsolutnog umjeravanja s naglaskom na sinkronizaciju rada industrijskog robota u terenskim uvjetima s GPS vremenom. Nadalje, identificirane su vrijednosti parametara apsolutnog umjeravanja GNSS antena s ciljem postizanja povoljnog odnosa točnosti umjeravanja i trajanja umjeravanja. U konačnici, razvijenim sustavom umjeravanja i njegovom implementacijom, odnosno primjenom korekcijskog modela faznog središta GNSS antene, kreiranog razvijenim sustavom, povećana je točnost geodetskog pozicioniranja GNSS-om.

Mladen Zrinjski