Prof. dr. Nedjeljko Frančula

ZNANSTVENI RAD AKADEMIKA PETRA KREŠIMIRA ČOLIĆA

Znanstveni rad akademika Čolića bio je vrlo plodan i raznovrstan pa je u ovom prikazu podijeljen u deset skupina.

Prvu skupinu čine radovi koji se nastavljaju na problematiku obranjenu u doktorskoj disertaciji kod prof. dr. Helmuta Wolfa. Za kontinuaciju prema dolje primijenio je u disertaciji trodjelni postupak, koji je tek 20 godina kasnije pod nazivom *Remove-Restore-Process* postao nezaobilazan u modernim određivanjima detaljnog oblika plohe geoida, kao najvažnije nivoplohe u polju Zemljine sile teže. U to doba (1970-ih godina) pozabavio se prvi u nas geodetsko-gravimetrijskim određivanjem srednje gustoće površinskih slojeva Zemljine kore, pa tako ukazao na nužnost interdisciplinarne suradnje, koja bi se pored tehničkih disciplina, kako je to ranije bilo u nas, protezala na čitavu sferu geoznanstvenih disciplina.

Drugu skupinu tvore radovi iz primjene metode težinskih faktora za točnije računanje topografskih utjecaja na otklon vertikale i silu težu. Budući da je iz vlastitog iskustva uočio da točna gravimetrijska mjerenja jako gube od svoje točnosti u obaveznom postupku njihove redukcije, što manje vrijedi i za astro-geodetske otklone vertikale, intenzivno se posvetio istraživanjima u cilju smanjivanja tog nedostatka. Razvio je originalnu *metodu težinskih faktora* za računanje topografskih utjecaja na izmjerene vrijednosti obiju komponenti otklona vertikale i na ubrzanje sile teže. Pri tome se više ne postavlja uobičajeni (pogrešni) uvjet da topografske mase poslije njihova fiktivnog izravnanja i rastavljanja na uspravne prizme moraju ostati po količi-

ni iste kakve su bile i prije toga, nego uvodi (ispravni) uvjet da njihova privlačna djelovanja (vertikalna i obje horizontalne komponente) moraju ostati nepromijenjene.

Trećoj skupini pripadaju radovi na istraživanju astrogeodetskog geoida na području bivše Jugoslavije primjenom gravimetrijskih podataka, i napose radovi na određivanju geoida na području Hrvatske i Slovenije na temelju uspostavljanja novih geoidnih točaka astronomskim mjerenjima. U suradnji s prof. dr. Nikolom Solarićem, koji je razvio vrlo uspješnu automatsku registraciju vremena, postignuti su izvanredni rezultati tima koji je vodio akademik Čolić, te su od 1985. do 2000. određeni otkloni vertikale na 265 točaka u Hrvatskoj i 40 u Sloveniji. Osim astrogeodetskih i gravimetrijskih podataka u određivanju geoida poduzeo je korake da se primijene i geološki podaci, napose mjerenja gustoće Zemlje, radi što točnijeg i efikasnijeg određivanja plohe geoida na području Hrvatske i Slovenije.

Zahvaljujući tome što je prišao određivanju geoida iz astrogeodetskih, gravimetrijskih, geoloških i geofizičkih podataka, on i njegova ekipa uspjeli su odrediti geoid u Sloveniji i rubnom dijelu Hrvatske s točnošću oko ±5 cm. Već 1992. izradili su poboljšanu varijantu geoida za područje Slovenije i okolnog područja Hrvatske zahvaljujući tome, što su u 1992. godini određene i neke nove geoidne točke u Istri, Hrvatskom primorju i Gorskom kotaru. Podneseni referati o tim radovima izuzetno su povoljno ocijenjeni na međunarodnim skupovima. Tim uspjehom istraživački tim akademika Čolića pokazao je da se može ravnopravno nositi i s najistaknutijim *geoidnim školama* u svijetu, te da na *zagrebačku školu* treba svakako računati u predstojećim istraživanjima geoida na Mediteranu, ispod Alpi i u Centralnoj Europi.

Četvrtu skupinu radova tvore radovi na primjeni informatike u geodeziji. Radi modernizacije rada u geodeziji organizirao je već 1973., preko Društva geodeta Zagreb, prvi seminar *Društveni i tehnički značaj automatizacije u geodeziji*.

Nadalje, istraživački tim prof. Čolića uspostavio je niz datoteka potrebnih za istraživanje polja sile teže na površini Zemlje. To su datoteke temeljnih digitalnih modela reljefa, digitalnih modela gustoće površinskih masa

Zemljine kore, digitalnog modela baze sedimenata, digitalnog modela Mohorovičićeva diskontinuiteta, digitalnog modela različitih vrsta anomalija sile teže (Bougerovih, slobodnog zraka i Fayeovih) te datoteka otklona vertikale na novo uspostavljenim geoidnim točkama. To su sve početni radovi na uspostavi danas izuzetno važnih geoinformacijskih sustava Republike Hrvatske.

U petu skupinu radova mogu se ubrojiti radovi iz 1970-ih godina na usvajanju optičkih metoda opažanja umjetnih Zemljinih satelita i doplerovskih mjerenja pomoću satelita tipa TRANSIT. Posebno je puno truda uložio zajedno s prof. dr. Miljenkom Solarićem na dobivanju dozvole za međunarodnu suradnju (što je bilo vrlo teško ishoditi od tadašnjih vojnih vlasti). To je konačno urodilo plodom 1982. i 1983. godine, kad je dobivena suglasnost za sudjelovanje u međunarodnim doplerovskim opažačkim kampanjama *Italy and Greece Doppler Observation Campaigne* i *West-East-Doppler Observation Campaigne.* Tako su prvi put na području Hrvatske (i bivše Jugoslavije) primijenjena opažanja satelitske geodezije i određene koordinate Opservatorija Hvar Geodetskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u odnosu na težište Zemlje. Profesori Čolić i Solarić objavili su zajedno iz tog područja više radova u domaćim časopisima, ali i na međunarodnom INTERCOSMOS-ovom simpoziju u Karlovim Varyma. Na Opservatoriju Hvar održane su i dvije Doplerovske škole za polaznike iz drugih znanstvenih i proizvodnih organizacija u nas.

Radovi na istraživanju plimnih valova Zemljine kore pomoću horizontalnih njihala i stacionarnog gravimetra u tunelu na južnim obroncima Zagrebačke gore pripadaju ***šestoj skupini*** radova akademika Čolića. Istraživanja te vrste napravljena su u suradnji s Technische Universität Graz. To su prva takva mjerenja u cijelom ovom dijelu Europe. Rezultati tih istraživanja uvršteni su u svjetsku mrežu takvih stanica i o tome je objavljen rad u suradnji s dr. Lichteneggerom u publikaciji Instituta für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. U tu skupinu pripada i početni rad na analizi oblika trodimenzionalne geodetske mreže koja se trebala uspostaviti na *Geodinamičkom poligonu Kašina-Zagreb* za ispitivanje mogućnosti prognoziranja potresa. Taj projekt imao je osobitu važnost, ako se ima na umu da su Zagreb i okolicu pogodili mnogi potresi, najjači 1880.

Sedmu skupinu čine istraživanja o znanstvenom radu Ruđera Boškovića na području geodezije i geofizike. Izvrsnu monografiju pod naslovom Ruđer Bošković als Geodät und Geophysiker objavio je akademik Čolić 1992. u *Mitteilungen der Geodätischen Institute der Technischen Universität Graz* na ukupno 168 stranica kao 75. knjigu u toj uglednoj seriji, koja izlazi od 1959. godine. Akademik Čolić objavio je o Ruđeru Boškoviću više članaka i održao nekoliko predavanja u zemlji i u inozemstvu, a zajedno sa suradnikom dr. Svetozarom Petrovićem pripremio i jednu televizijsku emisiju. Naročito valja istaći svečano predavanje 10. srpnja 1990. o Ruđeru Boškoviću, u trajanju od 2×45 minuta, na 18. Helmertovom kolokviju u Centralnom institutu za fiziku Zemlje u Potsdamu, na koji se kao predavači pozivaju najpoznatiji geodetski i geofizički znanstvenici.

U osmoj skupini su radovi na ispitivanju korelacije između reljefa Zemljine kore, anomalija sile teže, plohe geoida i Mohorovičićeva diskontinuiteta, kojima je njegov istraživački tim postao poznat u svijetu. U tim radovima ispituje se korelacijska veza između prethodno navedenih veličina i na taj način prognozira dubina Mohorovičićeva diskontinuiteta u zonama između posvuda ipak rijetkih profila dubinskih seizmičkih sondiranja. Najprije je to ispitano na dinarsko-panonskom području Hrvatske i bivše Jugoslavije, a rezultati su objavljeni na međunarodnim skupovima.

Nakon postignutih izvrsnih rezultata na već navedenom području napravljeno je isto takvo ispitivanje na području Zapadnih Karpata u Slovačkoj u međunarodnoj suradnji sa Češkoslovačkom akademijom znanosti i tadašnjom Jugoslavenskom akademijom znanosti i umjetnosti. Na tom području prognozirani Mohorovičićev diskontinuitet ovom metodom i postojeći Mohorovičićev diskontinuitet određen seizmičkom metodom gotovo se idealno poklapaju. Standardno odstupanje bilo je ispod 0,5 km.

Nakon toga je isto takvo ispitivanje napravljeno u okviru međunarodne suradnje s TU Graz za područje Istočnih Alpi u Austriji, gdje trenutačno postoji najtočnije određeni geoid u svijetu. Korelacijska veza prethodno navedenih veličina i na tom području je dokazana, štoviše dobiven je najbolji model Mohorovičićevog diskontinuiteta za cijelo područje Austrije.

Na kraju je izvršena komparacija za sva tri planinska masiva (Dinaridi, Istočne Alpe i Zapadni Karpati), pri čemu su dobiveni vrlo interesantni

rezultati, koji ukazuju na srodnost i neke specifičnosti tih masiva, a definitivno potvrđuje ispravnost ove metode za predikciju prostornog pružanja Mohorovičićeva diskontinuiteta, granične plohe između Zemljine kore i plašta, koji je ustanovio Andrija Mohorovičić 1910. godine.

Pri ovim istraživanjima, prilikom *apsolutnog* orijentiranja geoida u prostoru primijenjena je metoda maksimalnih koeficijenata korelacije. Tu je metodu kasnije matematički detaljno razradio Svetozar Petrović, bliski suradnik akademika Čolića, i tako došao do originalne metode *izjednačenje maksimalnom korelacijom*. To je bio sadržaj njegove doktorske disertacije, koju je obranio kod uglednog profesora Moritza na Technische Universität Graz s najboljom mogućom ocjenom.

U devetu skupinu ubrojeni su radovi vezani uz istraživanja ležišta ugljikovodika (nafte i plina) u zoni tzv. Bjelovarske depresije i dijela brdovitog područja Bilogore. Početkom 1992. godine ugovorio je akademik Čolić s tvrtkom INA-Naftaplin projekt razvojnog karaktera *Primjena nove kombinirane metode u određivanju geološko-geofizičkih struktura u odabranom test-području Hrvatske*. Ovim projektom uvedene su u istraživanja ležišta nafte i plina nove korisne informacije: sve tri komponente vektora sile teže (umjesto dotadašnje jedne, *vertikalne* komponente) i ploha geoida. Uz seizmički, gravimetrijski, geološki i ovaj novi način prognoziranja je 1995. godine prvi put u slobodnoj Republici Hrvatskoj uspješno ostvarena bušotina nafte i plina u Pavljanima u okolici Bjelovara. Projekt se planirao ostvariti kroz pet godina u interdisciplinarnoj suradnji, pod vodstvom akademika Čolića, ali je ipak morao biti sveden na tri godine, i predstavlja korisno povezivanje geodezije s drugim geoznanostima. Taj podhvat predstavlja primjenu mnogih prethodno navedenih znanstvenih rezultata i angažman cijelog tima sposobnih mladih istraživača u naporima za obnovu Domovine i ponovno oživljavanje njenog gospodarstva.

Desetu skupinu čine radove vezani uz renesansu koju je geodezija doživjela 1990-ih godina zahvaljujući razvoju globalnih sustava za pozicioniranje (GPS). Tih godina započeo je akademik Čolić realizaciju nekoliko svojih najdražih i najvažnijih projekata. Godine 1994. bio je znanstveni voditelj projekta EUREF'94 na temelju kojega su osnovne geodetske mreže

Hrvatske i Slovenije povezane u jedinstveni europski koordinatni sustav. Iste je godine započela realizacija prve faze Hrvatskoga geodinamičkog projekta CRODYN, koji je imao za cilj ponavljanim preciznim mjerenjima utvrditi pomak jadranske mikroploče u odnosu na euroazijsku ploču. Druga i treća faza projekta CRODYN ostvarene su 1996. i 1998. godine. Zahvaljujući njegovoj međunarodnoj suradnji, Hrvatska je dobila dvije permanentne GPS-stanice u sklopu međunarodne mreže za permanentna opažanja.

Akademik Čolić predvodio je sudjelovanje Republike Hrvatske u međunarodnome projektu unifikacije gravimetrijskih sustava u srednoj Europi – UNIGRACE, u sklopu kojeg je stvorena apsolutna gravimetrijska mreža Hrvatske i ostvarene su pretpostavke za novu preciznu gravimetrijsku izmjeru.

Akademik Čolić bio je voditelj kompletnog projekta GPS-mreže Grada Zagreba, kojim je glavni grad Republike Hrvatske dobio visokokvalitetnu geodetsku mrežu s oko 4250 točaka s koordinatama u službenome hrvatskom te u jedinstvenom europskom koordinatnom sustavu. Štoviše, za visinske koordinate svih GPS-točaka trodimenzionalnog homogenog polja stalnih geodetskih točaka su prvi put u nas određene korektne ortometrijske visine primjenom precizno određenog modela plohe geoida za cjelokupno područje hrvatskoga glavnog grada. Ta mreža ostvarena je ne samo u cilju poboljšanja katastra zemljišta već i kao osnova suvremenih geodinamičkih istraživanja.

Također je akademik Čolić inicirao i uspješno proveo početne radove na velikom geodetskom projektu *Dinamički trodimenzionalni model Plitvičkih jezera, sedrenih barijera i pritoka* pod pokroviteljstvom Ureda za očuvanje svjetske baštine UNESCO-a.

Osim navedenih, akademik Čolić vodio je još cijeli niz znanstveno-stručnih projekata kojima je bila svrha u prvom redu primjena znanstvenih istraživanja u svakodnevnoj geodetskoj praksi.

Izraženo u brojkama akademik Čolić objavio je sam ili u suradnji sa svojim suradnicima

- 3 monografije
- 8 znanstvenih radova u inozemnim časopisima s međunarodnim uredničkim odborom i međunarodnom recenzijom

- 17 znanstvenih radova u časopisima citiranim u uglednim sekundarnim i tercijarnim publikacijama
- 54 znanstvena rada u zbornicima radova s međunarodnih skupova
- 25 znanstvenih radova, recenziranih i objavljenih u zbornicima radova s domaćih znanstvenih skupova
- 3 popularna znanstvena članka i
- 10 sažetaka i postera na međunarodnim skupovima.

Osim toga održao je:

- 16 pozivnih predavanja na inozemnim sveučilištima (u Beču, Hannoveru i Grazu)
- već spomenuto svečano predavanje na 18. Helmertovom kolokviju u Potsdamu
- 15 pozivnih predavanja na domaćim skupovima i
- 17 ostalih javnih predavanja.

Od svih njegovih znanstvenih radova naročito treba naglasiti:

- po jedan članak na engleskom u najpoznatijim svjetskim geodetskim časopisima *Manuscripta geodetica* i *Studia geophysica et geodaetica,*
- 2 članka na engleskom u uglednom talijanskom časopisu *Bollettino di geodesia e sienze affini,*
- 2 članka na njemačkom u najpoznatijim njemačkim i ujedno najstarijim svjetskim geodetskim časopisima *Zeitschrift für Vermessungswesen* i *Allgemeine Vermessungsnachrichten* i
- 24 članka na engleskom u zbornicima radova najuglednijih europskih i svjetskih međunarodnih skupova.

Sada na kraju teško je izdvojiti najbitnije iz njegovoga cjelokupnog rada. Ipak, posebno treba istaći njegov veliki doprinos istraživanju Zemljinog polja sile teže i nastojanje da se što točnije odredi ploha geoida na području Hrvatske, jer to zahtijeva široka primjena GPS-tehnologije na našem državnom prostoru, te novu metodu prognoziranja dubina Mohorovičićeva diskontinuiteta pomoću kombinacije Bouguerovih anomalija sile teže i apsolutnih geoidnih undulacija naspram rijetkih i skupih profila dubinskih seizmičkih

sondiranja. Nadalje posebno se istakao pionirskim radovima iz fizikalne geodezije i njenom utemeljenju u Republici Hrvatskoj, doprinoseći i izvanrednom usponu satelitske geodezije u našoj državi.

Ime i djelo akademika Petra Krešimira Čolića ostat će zlatnim slovima zapisano u povijesti hrvatske geodezije.

In memoriam Petru Krešimiru Čoliću u najuglednijim svjetskim geodetskim časopisima *Journal of Geodesy, Zeitschrift für Vermessungswesen i Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation* svjedoče da je ostavio zamjetan trag i u svjetskoj geodeziji.