

Razvoj triangulacije skozi stoletja – s posebnim poudarkom na Sloveniji

(Predavanje z naslovom Triangulacija od Krima do danes na spominskem srečanju ob obletnici postavitve obeležja trigonometričnemu koordinatnemu izhodišču na Krimu, 14. oktober 1995)

Objavljeni naslov tega predavanja je treba razumeti splošneje; govoril bom namreč o razvoju triangulacije. Da pa ne bom dolgočasen, bom poskusil prikazati njen razvoj z različnih zornih kotov, vsakokrat od začetkov, ki segajo še dve stoletji nazaj pred nastanek tukajšnje krimske točke.

Ideja triangulacije je nastala v novem veku in je naslednja: če v mreži trikotnikov na terenu izmerimo vse kote in pa dolžino ene same stranice, omogočimo natančno določitev medsebojnega položaja vseh točk mreže. O tem je razpravljal danski astronom Tycho Brahe že pred koncem 16. stoletja in tudi uresničil svojo zamisel, da bi omogočil izdelavo dobrih kart svoje dežele. Nizozemec Willebrord Snellius je v začetku 17. stoletja razvil in izmeril verigo trikotnikov za stopinjsko merjenje: iz dolžine 130-kilometrskega loka in iz razlike astronomskih širin njegovih krajišč je izračunal polmer Zemlje. Sledile so številne in pomembne triangulacije. Ne bom jih našteval, rad bi le poudaril, da se je triangulacija uporabljala najprej za izmero velikosti in oblike Zemlje ter kot osnova t.i. deželne izmere – bolj sodobno: topografske izmere, potrebne zlasti za vojaške namene. Šele po dvesto letih, v začetku 19. stoletja, je dobila triangulacija tretje področje uporabnosti in postala obvezna osnova za katastrsko izmero. Prvi katastri iz 18. stoletja, ki so prikazovali zemljišča in objekte na geodetskih načrtih – mapah, so bili narejeni še brez enotne deželne triangulacije.

V Avstro-Ogrski se je katastrska izmera, osnovana na vsedržavni triangulaciji, začela po cesarskem odloku konec leta 1817. Nastal je franciscejski kataster, ki ga uporabljamo in vzdržujemo še danes. Sčasoma, zlasti v 20. stoletju, je triangulacija ob nenehnem povečevanju svoje natančnosti postala osnova še za druge aplikacije: za večja tehnična, zlasti gradbena dela, za prostorske evidence, za spremljanje pomikov terena in nazadnje, s satelitskimi tehnikami za opazovanje geotektonskega delovanja kontinentalnih plošč.

Zdaj pa pogledjmo razvoj merskega orodja za kote in dolžine. Razvoj kotomernih instrumentov lahko prikažemo na kratko takole. Najprej imamo dobo kvadrantov – nerodnih lesenih lokov s kotno razdelbo. Okoli središča loka se je vrtel radialni nosilec vizirne naprave – z nonijem na koncu. Polmeri kvadrantov za terensko uporabo so znašali od 60 cm do treh metrov. Natančnost izdelave kotnih razdelb je sčasoma napredovala; veliki polmeri niso bili več potrebni. V zadnji četrtini 18. stoletja je tako nastopila doba repeticijskih krogov in prvih teodolitov. Repeticijski krogi so imeli celo po dva daljnogleda – zgornjega in spodnjega – in so omogočali

odčitavanje mnogokratnikov (2x, 4x itn.) merjenega kota; značilni so za francosko geodezijo. Teodolite so bolj razvijali v Angliji in Nemčiji. Vemo, da so Angleži uporabljali teodolit s horizontalnim krogom premera 91 cm, daljnogled je bil dolg okoli 90 cm, njegova nagibna os pa 70 cm; imel je tri mikroskope. Poročajo tudi o 60-centimetrskih in 30-centimetrskih teodolilih.

Od sredine 19. stoletja dalje prevladujejo nekoliko manjši in tehnično bolj izpopolnjeni teodoliti, ki so še vedno opremljeni s kovinskimi krogi in mikroskopi. V dvajsetih letih tega stoletja je nastopila doba instrumentov s steklenimi krogi, v zadnjem desetletju pa uporabljamo vse več teodolitov z elektronskimi (oziroma elektrooptičnimi) krogi.

Kaj pa dolžinski pribori? Od vsega začetka se je precizno merjenje izvajalo z merskimi latami. Te so v 300 letih doživele velik razvoj, v tem stoletju pa so jih potisnili v pozabo žični pribori, zlasti tisti z invarno žico. Manj natančno, a bolj praktično orodje so bile najprej merske verige, nato jekleni merski trakovi. V sredini tega stoletja se pojavijo nova odlična orodja na osnovi interferenčne optike, elektrooptike in mikrovalovne tehnike. Elektronski razdaljemerji so zamenjali najprej trak, bazno in tahimetrično lato, nato tudi invarno žico. Omogočili so trilateracijo, ki pa se ni uveljavila kot splošna metoda razvijanja temeljnih mrež. Kot najbolj praktične so se izkazale hibridne mreže z merjenimi koti in dolžinami – mešanice triangulacije in poligonometrije. Dolžinskim priborom v širšem pomenu lahko prištevamo tudi aparature radiogeodetske in satelitske tehnike.

Razvoj metod in postopkov v triangulaciji je zelo široka tema, omenili pa bomo le najpomembnejše momente tega razvoja. Pred dvesto in več leti so pionirji triangulacije sami razvijali merske metode in določali ustrezna pravila; podobno je bilo pri računskem delu. Izmeritvene oznake, podobne današnjim, so bile predpisane šele proti sredini 19. stoletja, piramide, kot signali na točkah višjih redov, pa so se uporabljale še naprej. Tja do prvih desetletij 20. stoletja so se razvijale in izoblikovale tudi precizne metode merjenja kotov. Geodetski tehnični predpisi, kakršne poznamo danes pri nas, imajo svoje prve vzorce v pruskih pravilnikih. Gre za predpise, ki zagotavljajo ustrezno natančnost položajnih mrež, zahtevano z vse večjo uporabo numerične detajlne izmere v začetku stoletja. V današnjih časih pa predpisi le nepopolno ali sploh ne sledijo razvoju geodetske tehnike.

O računanju mrež naj povem le to, da so osnovne mreže računali z ravninsko trigonometrijo in analitiko najmanj do okoli 1840. leta. Izravnalnega računa, ki sta ga utemeljila Gauss in Legendre pred natanko 200 leti, niso poznali. Izravnavali so najprej trikotniške pogoje, nato so empirično dosegli, da so bile tudi vsote kotov na stojiščih enake 360. Sledilo je trigonometrično računanje stranic, prenašanje smernih kotov z danih stranic na vse ostale in računanje koordinatnih razlik. Iz teh so se koordinate novih točk računale po več poteh, dokončno pa so privzeli aritmetične sredine dobljenih koordinat. Čim bolj so s takšnim računanjem napredovali po mreži, tem večja so seveda postajala položajna nesoglasja.

Nazadnje pogledjmo razvoj triangulacijskih mrež na našem ozemlju. Iz pionirskih časov 18. stoletja je stopinjsko merjenje znamenitega geodeta, rojenega v Gradcu (morda celo slovenskega rodu), jezuita Liesganiga. Veriga je potekala od Brna na

Moravskem do Varaždina in je imela štiri točke na ozemlju današnje Slovenije: Sv. Urban nad Mariborom, Kapelo pri Radgoni, Jeruzalem in Belski vrh pri Zavrču. To so torej naši najstarejši trigonometri – z letnico 1762. V začetku 19. stoletja se na našem ozemlju pojavijo težnje po povezavi mrež severne Italije in avstrijskih dežel, ležečih severno od nas. Do leta 1811 je nastala osnovna mreža na zahodnem Koroškem, na Štajerskem in v severozahodni Hrvaški; takoj nato so sledila v časih Napoleonove Ilirije triangulacijska dela na Krasu in v Istri kot podaljšek mrež, nastalih pred tem v severni Italiji. Iz teh let so med drugimi sedanje točke I. reda: Jeruzalem, Donačka gora, Peca, Košuta in Opčine, Slavnik ter Učka. Zgoraj omenjena povezava je bila končno ustvarjena z mrežo prek Notranjske in Kranjske leta 1817. To je rojstna letnica točk Krim, Kucelj itn.

Zgoščevanje z mrežo II. in III. reda so v zahodni Sloveniji začeli leta 1817 na Krasu in končali leta 1825 na Koroškem; na Štajerskem pa so s temi deli začeli leta 1819. Namen je bil dvojen: najprej topografska izmera in takoj za tem katastrska izmera. Zadnja je zahtevala natančnejšo osnovo in tako so ob trianguliranju II. in III. reda skrbeli tudi za boljšo kvaliteto opazovanj v mreži I. reda. Topografska izmera večjega dela monarhije (razen zelo oddaljenih dežel) je bila v enem samem koordinatnem sistemu (in to v svetoš Stefanskem), medtem ko so morali za katastrsko izmero ustanoviti kakih deset deželnih sistemov – med njimi krimskega. Trigonometrične točke nižjega reda so se v vsakem primeru določale z grafično triangulacijo na merski mizi.

Naslednje obdobje trianguliranja je zajelo naše kraje med leti 1860 in 1910. Razlogi za ta dela so bili v glavnem trije: sodelovanje Avstro-Ogrske v evropskih stopinjskih merjenjih, topografska izmera za nove vojaške karte in končno, v perspektivi, nova numerična detajlna izmera za kataster in za druge civilne potrebe. Stari kataster je ostal, njegova triangulacijska osnova pa je z nastankom novih mrež v veliki meri fizično propadla.

Ne moremo niti omenjati raznih triangulacijskih kampanj, morda tisto iz prvih let našega stoletja, ki nam je zapustila do današnjih dni množico točk II. in III. reda (cerkvenih stolpov in značilnih betonskih centrov), dokumentiranih v publikacijah dunajskega vojaškogeografskega inštituta, tako imenovanih *Ergebnisse*. V prvem zvezku *Ergebnisse* (1901) so končni podatki o mreži I. reda: v zahodni Sloveniji je ta skoraj identična z današnjo, po zahodni Štajerski in v velikem delu Dolenjske je praznina, nato pa obstajata le še Žigertov vrh in Donačka gora s sosednjima točkama Ivanščico in Hochstradnom, ki sta že zunaj naših meja. Omenjeno praznino so šele leta 1910 za silo izpolnili s točkama Velika Kopa in Bohor (Skalica), rezultatov pa niso objavili; prehitela jih je 1. svetovna vojna.

V jugoslovanskem obdobju naše triangulacije odkrijemo šele proti koncu tridesetih let ljubljansko in lendavsko mrežo, obenem pa obnovo in dokončno oblikovanje obstoječe mreže I. reda. Koordinate iz kataloga *Ergebnisse* so ostale samo točkama Bukovec in Krčevina v mariborskem baznem omrežju ter nekaterim točkam v zahodni Slavoniji; vsa ostala mreža v severni Hrvaški in v Sloveniji do ljubljanskega meridiana pa je bila ponovno izravnana. Zaradi tega ima Krim koordinate, ki se od starih razlikujejo za okrog 3 metre.

Po drugi vojni so bila dela na mreži I. reda zaključena leta 1948 z izvedbo dveh naslonjenih mrež, ki sta prekrili Gorenjsko, Primorsko, Istro in jadransko obalo z otoki. Zelo hitro so štiri leta za tem dokončali sedanjo mrežo II. reda, do leta 1967 pa tudi ostale rede triangulacije. Skoraj polovico tega dela smo opravili slovenski geodeti, ostalo pa Vojaškogeografski inštitut iz Beograda in še nekatere neslovenske ustanove. Drugi del, zaradi razpada države nedokončani del jugoslovanskega obdobja, se začneja že okoli leta 1963 z obnovo stabilizacije in z izvedbo kvalitetnih kotnih opazovanj v mreži I. reda. V tem času (celo nekaj let prej) so bile pri nas opazovane tudi prve Laplaceove in geoidne točke.

Pred dvajsetimi leti pa se je v triangulaciji začela tudi povsem slovenska iniciativa. V okviru raznih raziskav je bilo najprej izmerjeno veliko število stranic I. reda (59) in II. reda; opravili smo nekaj območnih sanacij mrež višjih redov; uspešno smo vpeljali navezovalne mreže (ki vključujejo sanacijo trigonometričnih točk nižjih redov); pomnožili smo geoidne točke. Zadnjih pet let, ko ni več ovir in prepovedi za povezovanje z Evropo, pa smo se vključevali v regionalne GPS-kampanje, od katerih je bila najpomembnejša prav letošnja (zaključena v začetku oktobra 1995), saj je zajela celotno slovensko mrežo I. reda.

Podatkov, ki čakajo na razgledane, sposobne in motivirane obdelovalce, je veliko. Od teh pač pričakujemo, da bodo nakazali in tudi izpeljali rešitve nekaterih osnovnih problemov slovenske geodezije.

Literatura:

Jordan et al., *Handbuch der Vermessungskunde. 10. Ausgabe. Band IV-Erste Haelfte. Stuttgart, 1958*

Svečnikov, N., *Osnovni radovi u FNR Jugoslaviji. Referat na I. kongresu GIGJ. Zagreb, 1953*

Zeger, J., *Die historische Entwicklung der staatlichen Vermessungsarbeiten (Grundlagenvermessungen) in Oesterreich-Band I. Wien, 1992*

Marjan Jenko
Ljubljana

Prispelo za objavo: 1996-01-23

Uporaba katastrskih podatkov pri vrednotenju zemljišč

Na 12. strokovnem srečanju geodetskih uprav (iz Avstrije, Republike Češke, Hrvaške, Furlanije-Juljske krajine, Slovaške, Slovenije, Madžarske in pokrajine Trentino Južna Tirolska) v Pragi (april 1995) je slovenska delegacija med drugim predstavila uporabo katastrskih podatkov pri vrednotenju zemljišč.

Strokovnega srečanja se udeležujejo države in pokrajini v Italiji, v katerih so stari avstrijski zemljiškokatastrski načrti osnova zemljiškega katastra in zemljiške knjige. V dneh od 5. do 8. marca 1996 bo v Sevilli v Španiji Delavnica o reformi katastra in zemljiške knjige v Srednji in Vzhodni Evropi in Latinski Ameriki. Delavnico organizira Komite za naselja in mesta pri Ekonomski komisiji Združenih narodov za