Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

Univerzitetni študij geodezije,
Geodezija

Kandidat:
Florjan Zorenč

Priprava tehnične dokumentacije za izdelavo računalniškega programa za izračun koordinat točk v geodetski mreži

Diplomska naloga št.: 846

Mentor:
izr. prof. dr. Bojan Stopar

Somentor:
izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Ljubljana, 2010

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **Florjan Zorenč** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: **Priprava tehnične dokumentacije za izdelavo računalniškega programa za izračun koordinat točk v geodetski mreži.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, ………………………

(podpis)

BIBLIOGRASKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK	528.2/.3:741/744(043.2)
Avtor	Florjan Zorenč
Mentor	izr. prof. dr. Bojan Stopar, UL FGG
Somentor	izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič, UL FGG
Naslov	Priprava tehnične dokumentacije za izdelavo računalniškega programa za izračun koordinat točk v geodetski mreži
Obseg in oprema	78 str., 5 pregl., 25 sl., 140 en., 2 pril.
Ključne besede	metode določitve koordinat točk, redukcije merjenih dolžin, izravnava po metodi najmanjših kvadratov, uporabniški vmesnik, logične kontrole

Izvleček

V okviru diplomske naloge se je za potrebe izdelave računalniškega programa za izračun koordinat točk pripravila tehnična geodetska dokumentacija. V okviru dokumentacije so v prvem delu opisane različne metode določanja koordinat točk v geodetski mreži (tahimetrija, poligoni, zunanji urez, notranji urez, ločni presek), redukcije merjenih dolžin (meteorološki, geometrični in projekcijski popravki) in izravnava po metodi najmanjših kvadratov. V drugem delu je opisan uporabniški vmesnik. Vnos merskih podatkov je lahko ročni ali iz datoteke kodiranih meritev z merskega instrumenta. Analizirana je implementacija opisanih metod določanja koordinat točk, redukcij merjenih dolžin in izravnave. Poudarek je na logičnih kontrolah, ki jih mora program izvajati pri posameznih izračunih. Logične kontrole so postavljene tako, da je možen tudi samodejni izračun koordinat točk – program se sam odloča za pravo metodo odločitve glede na merske podatke, ki so mu na voljo.

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC	528.2/.3:741/744(043.2)
Author	Florjan Zorenč
Supervisor	assoc. prof. dr. Bojan Stopar, UL FGG
Co-supervisor	assoc. prof. dr. Tomaž Ambrožič, UL FGG
Title	Preparation of technical documentation for a computer program to calculate the coordinates of the points in the geodetic network
Notes	78 p., 5 tab., 25 fig., 140 eq., 2 encl.
Key words	methods of calculating point coordinates, reductions of the measured distances, least squares adjustment, user interface, logical controls

Abstract

Purpose of this diploma work was a preparation of geodetic technical documentation for a computer program for calculating the points coordinates of in the geodetic network. Documentation in the first part describes different methods of calculating point coordinates (tacheometry, traverse, resection, intersection, arc cross section), reductions of the measured distances (meteorological, geometric and projection corrections) and angles and procedures of least squares adjustment. The second part describes the user interface of the computer program. The input of measurement data can be done manually or from a file prepared by the measurement instrument. Emphasis is placed on logical controls performed by the program in different situations. Logical controls are applied in a way that it is possible an automatic calculation of the coordinates of the points - the program can choose the best calculating method, depending on the available input measurement data.

KAZALO VSEBINE

KAZALO PREGLEDNIC

KAZALO SLIK

UVOD

V današnjih časih, ko je skoraj vsaka naša poteza funkcija časa in denarja, se venomer iščejo načini, na katere bi naše delo optimizirali. Sodobni merski inštrumenti in pripomočki ponujajo hiter in samodejen izračun koordinat na podlagi izmerjenih vrednosti in nekaterih vnaprej nastavljenih parametrov za izračun. Podobne rešitve ponujajo tudi različna programska orodja za osebne računalnike. Tovrstne rešitve so za orientacijo v prostoru zelo koristne, za geodetske izračune koordinat pa je potrebno upoštevati še mnogo dejavnikov, ki so vplivali na merjenje osnovnih količin in vse parametre državnega koordinatnega sistema.

V zadnjem času je najpogostejše metoda določanja koordinat točk kombinacija meritev GNSS s pomočjo državnega omrežja SIGNAL, merjenja kotov s tahimetri in merjenja dolžin z laserskimi razdaljemeri. Vsaka od metod lahko v različnih pogojih ponuja različno natančnost. To pa zahteva tudi povezan preračun izmerjenih količin ter dosledno upoštevanje vseh korekcijskih faktorjev.

Cilj diplomske naloge je izdelava geodetske tehnične dokumentacije za izdelavo računalniškega programa ali modula za izračun koordinat točk, določenih s poljubno kombinacijo GNSS in terestičnih meritev. V okviru dokumentacije bo izvedena analiza različnih metod za izračun koordinat točk v geodetski mreži, ocenjena bo natančnost opazovanj, izbrani bodo algoritmi za izračun popravkov opazovanj in algoritmi za izračun ter izravnavo koordinat novih točk v geodetski mreži. Pri izdelavi dokumentacije bo poudarek na uporabi dveh aktualnih koordinatnih sistemov, D48/GK in D96/TM.

Pri celotnem projektu bo potrebno ves čas paziti na to, da bo uporabniški vmesnik, v katerem bomo vnašali, analizirali in preračunavali podatke, zadosti prijazen, da končne uporabnike ne bo odbijal od uporabe in zadosti kompleksen, da bo pokril želje čim več nivojev uporabnikov. Pri vsakem sklopu računanj (sredinah opazovanih kotov v več krožnih legah, sredinah opazovanih kotov v več girusih, srednje vrednosti orientacijskega kota, postopkov izračunov približnih koordinat točk, popravkov približnih vrednosti koordinat točk) bo imel uporabnik možnost preglednega izpisa vhodnih in izhodnih elementov, da bo lažje nadzoroval potek dela. Vse prevečkrat se namreč zgodi, da dobra ideja zaradi napačne izvedbe naleti pri uporabnikih na slab odziv, s tem pa se geodeziji v slovenskem prostoru dela škoda v smislu kvalitete opravljenega dela.

1 METODE DOLOČITVE KOORDINAT TOČK

Že v uvodu smo omenili, da je naš cilj izdelava dokumentacije za osnovna geodetska izračunavanja in pa določiti uporabniški vmesnik, ki bo zadosti prijazen, da končne uporabnike ne bo odbijal od uporabe in zadosti kompleksen, da bo pokril želje čim več nivojev uporabnikov. Najprej se je potrebno posvetiti geodetskim izračunom. Ogledali si bomo le najbolj pogoste, s katerimi se geodeti srečujemo pri svojem delu.

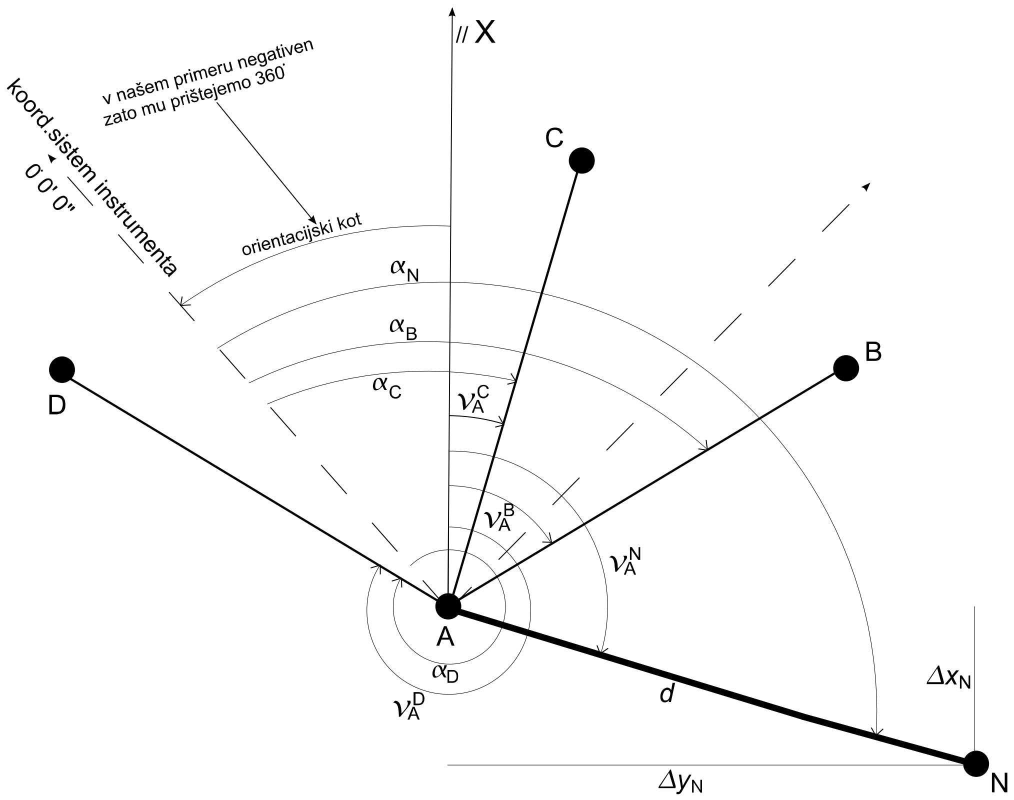
V geodeziji nastopajo štiri osnovne določitve koordinat: polarna metoda, ločni presek, zunanji in notranji urez. Tu je še metoda GNSS, ki pa je v osnovi tudi merjenje dolžin od znanih točk.

1.1 Določitev koordinat točk s postopkom tahimetrije

Tahimetrija je način polarne določitve koordinat s katero določujemo koordinate detajla s predhodno določenih točk geodetske mreže. Koordinate točk se določi na osnovi merjenja smeri in dolžin. Če so smeri orientirane na točki z znanimi koordinatami, so rezultat koordinate točk v izbranem koordinatnem sistemu, v nasprotnem primeru izračunane koordinate nimajo praktične vrednosti. Tahimetrija se ukvarja predvsem z določitvijo koordinat detajlnih točk.

Dano: točke A(y_A, x_A), B(y_B, x_B), C(y_C, x_C), D(y_D, x_D)
Merjeno: α_B, α_C, α_D, α_N, d
Neznano: N(y_N, x_N)

V našem primeru imamo 4 točke z znanimi koordinatami, eno nam služi kot stojišče instrumenta (točka A), s katerega merimo dolžine in kote do novih točk, druge 3 točke so orientacijske točke (točke B, C in D). Če hočemo izračunati koordinate točke N v katerem od koordinatnih sistemov (ponavadi v državnem koordinatnem sistemu), je potrebno opazovane smeri še orientirati.



Slika 1: Tahimetrija

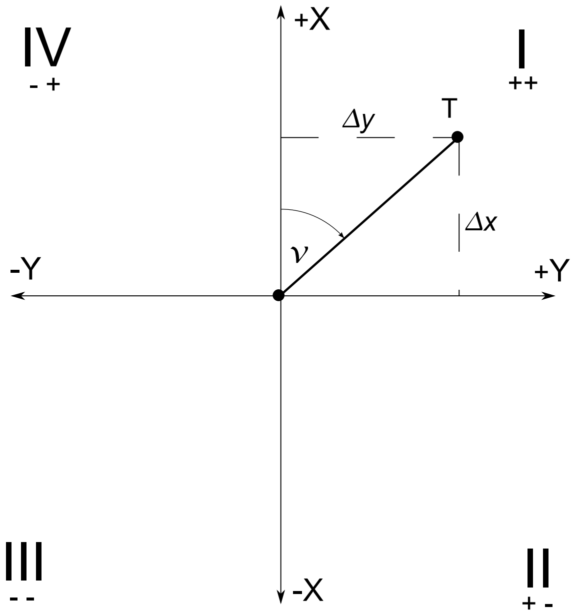
Najprej izračunamo smerne kote $n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}}$, $n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{C}}$ in $n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}$, vse izračunamo iz koordinat:

$$\tan n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}} = \frac{y_{\mathrm{B}} - y_{\mathrm{A}}}{x_{\mathrm{B}} - x_{\mathrm{A}}} \qquad \tan n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{C}} = \frac{y_{\mathrm{C}} - y_{\mathrm{A}}}{x_{\mathrm{C}} - x_{\mathrm{A}}} \qquad \tan n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}} = \frac{y_{\mathrm{D}} - y_{\mathrm{A}}}{x_{\mathrm{D}} - x_{\mathrm{A}}} \tag{1}$$

Velikost smernega kota je odvisna od predznaka koordinatnih razlik. Ločimo štiri različne primere. Kot ν se lahko nahaja v I. kvadrantu (0º < ν < 90º), II. kvadrantu (90º < ν < 180º), III. kvadrantu (180º < ν < 270º) ali IV. kvadrantu (270º < ν < 360º).

Preglednica 1: Velikost smernega kota glede na predznak koordinatnih razlik

kvadrant / koordinatna razlika	I.	II.	III.	IV.
Δy	+	+	-	-
Δx	+	-	-	+
ν	ν	+180º	+180º	+360º



Slika 2: Velikost smernega kota glede na predznak koordinatnih razlik

Nato izračunamo orientacijske kote φ_B, φ_C, φ_D:

$$j_B = n_A^B - a_B \qquad j_C = n_A^C - a_C \qquad j_D = n_A^D - a_D \tag{2}$$

Če $\varphi_i < 0$, potem prištejemo 360º.

Vsaka opazovana smer dobi utež. To je v praksi zelo uporabno tudi zato, ker lahko orientaciji ali smeri, ki je ne želimo upoštevati, dodelimo utež nič, ni nam jo treba brisati iz izračuna.

Nato izračunamo srednji orientacijski kot:

$$j = \frac{\sum\left(\left(n_i - a_i\right) \times ute\check{z}_i\right)}{\sum ute\check{z}_i} \tag{3}$$

Paziti je potrebno na t.i. robni primer, ko posamezni orientacijski koti nastopajo v I. in IV. kvadrantu. V takem primeru so nekateri orientacijski koti malo večji kot 0˚, nekateri pa malo manjši kot 360˚. Pri računanju srednjega orientacijskega kota bi prišlo do nesmiselnih rezultatov. Enostaven primer: (359+359+1)/3 = 290˚40'. V takih primerih je pred izračunom srednjega orientacijskega kota potrebno orientacijskim kotom prišteti 90˚. Po izračunu pa to vrednost od srednjega orientacijskega kota odštejemo. S tem odpravimo možnost robnega primera, saj so zdaj koti v I. in II. kvadrantu.

Orientacijski koti do posameznih točk odstopajo od srednjega orientacijskega kota za $\Delta\varphi$.

Ko imamo izračunan srednji orientacijski kot φ, lahko izračunamo koordinate nove točke N. Smerne kote n_A^B, n_A^C in n_A^D smo že prej izračunali iz koordinat po enačbi (1).

Najprej izračunajmo smerni kot n_A^N:

$$n_A^N = \varphi + \alpha_N \text{ (če } n_A^N > 360^\circ\text{, odštejemo } 360^\circ\text{)} \tag{4}$$

Nato je izračun koordinat preprost, uporabimo zveze med pravokotnimi in polarnimi koordinatami iz znanih zvez v pravokotnem trikotniku:

$$\Delta y = d \cdot \sin n_A^N \qquad \Delta x = d \cdot \cos n_A^N \tag{5}$$

$$y_N = y_A + \Delta y \qquad x_N = x_A + \Delta x \tag{6}$$

1.2 Določitev koordinat točk z izmero poligona

Zelo pogost način določitve koordinat je poligon. Do pojava GPS so bili poligoni osnova skoraj vsakega geodetskega dela na terenu, kjer smo potrebovali koordinate točk v državnem koordinatnem sistemu. Le redkokdaj se je zgodilo, da je bil detajl, ki ga je bilo potrebno izmeriti, v bližini točk obstoječe trigonometrične ali navezovalne mreže. Do območja detajla je bilo potrebno s pomočjo poligona »pripeljati« državni koordinatni sistem. Danes se s poligonom srečujemo povsod tam, kjer so za izmero GNSS neugodni ali celo nemogoči pogoji (ozke doline, gozdovi, ozke ulice starih mestnih središč,…). Točke, ki sestavljajo poligon, tvorijo poligonsko mrežo. Njihove koordinate izračunamo na podlagi merjenih poligonskih kotov in poligonskih stranic. Poligonski kot je kot med dvema poligonskima stranicama, poligonska stranica je dolžina med dvema poligonskima točkama. Najbolj pogosta sta dva poligona: priklepni in zaključeni.

1.2.1 Priklepni poligon

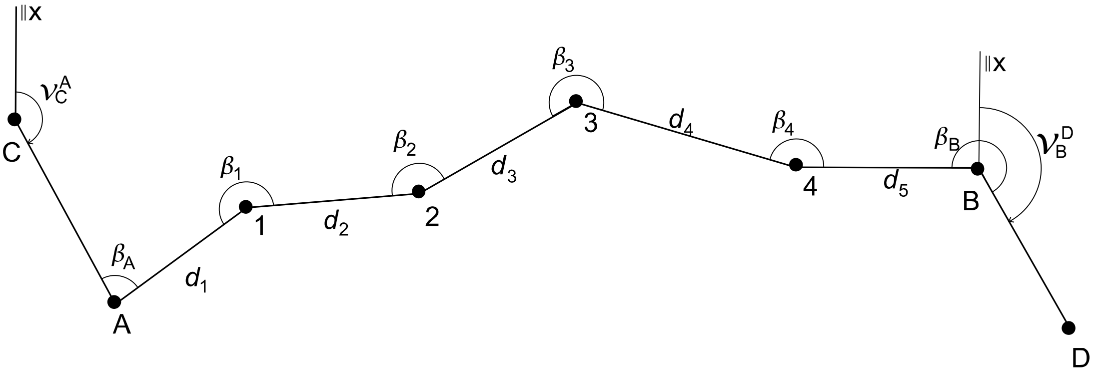
Priklepni poligon poteka med dvema danima točkama, z obeh danih točk pa imamo še priklep na dodatno dano točko. Priklepni poligon je uporaben npr. pri izmeri dolžinskih objektov (cest, železnic,…), kjer poligonske točke potekajo vzdolž dolžinskega objekta, neposredno ob detajlu. Drugi praktičen primer uporabe pa je npr. izmera objekta sredi gozda, kjer imamo na začetku in koncu gozda že točke z znanimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu (izmera GNSS ali že predhodno obstoječe trigonometrične, navezovalne ali poligonske točke). Na spodnji sliki je primer priklepnega poligona.

V danem primeru moramo poznati koordinate točk A, B, C in D. Izmeriti moramo priklepna kota β_A in β_B, lomne kote β_1, β_2, β_3, β_4 in poligonske stranice d_1, d_2, d_3 , d_4 in d_5.

Dano: točke A(y_A, x_A), B(y_B, x_B), C(y_C, x_C), D(y_D, x_D)

Merjeno: β_1, β_2, β_3, β_4, β_5, β_6, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5

Neznano: 1(y_1, x_1), 2(y_2, x_2), 3(y_3, x_3), 4(y_4, x_4)



Slika 3: Priklepni poligon

Za izračun koordinat novih poligonskih točk moramo izračunati koordinatne razlike Δy in Δx med posameznimi poligonskimi točkami. Najprej je potrebno iz danih koordinat izračunati začetni smerni kot $n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{C}}$ in končni smerni kot $n_{\mathrm{B}}^{\mathrm{D}}$:

$$\tan n_{\mathrm{C}}^{\mathrm{A}} = \frac{y_{\mathrm{A}} - y_{\mathrm{C}}}{x_{\mathrm{A}} - x_{\mathrm{C}}} \qquad \tan n_{\mathrm{B}}^{\mathrm{D}} = \frac{y_{\mathrm{D}} - y_{\mathrm{B}}}{x_{\mathrm{D}} - x_{\mathrm{B}}} \tag{7}$$

Nato je potrebno izračunati smerne kote posameznih poligonskih stranic. Te dobimo s pomočjo merjenih poligonskih kotov. Smerni kot *n*-te stranice dobimo, če smernemu kotu prejšnje stranice prištejemo lomni kot na točkio ter vsoti prištejemo ali odštejemo 180˚. Splošno velja:

$$n_i^{i+1} = n_{i-1}^{i} + b_i \pm 180^{\mathrm{o}} \tag{8}$$

180˚ prištejemo kadar je vsota smernega in lomnega kota manjša od 180˚, odštejemo pa kadar je vsota večja 180˚. Za naš poligon iz primera izračunamo kote:

$$\begin{aligned} n_{\mathrm{A}}^{1} &= n_{\mathrm{C}}^{\mathrm{A}} + b_{\mathrm{A}} \pm 180^{\mathrm{o}} \\ n_{1}^{2} &= n_{\mathrm{A}}^{1} + b_{1} \pm 180^{\mathrm{o}} \\ n_{2}^{3} &= n_{1}^{2} + b_{2} \pm 180^{\mathrm{o}} \end{aligned} \tag{9}$$

$$\nu_3^4 = \nu_2^3 + \beta_3 \pm 180^o$$

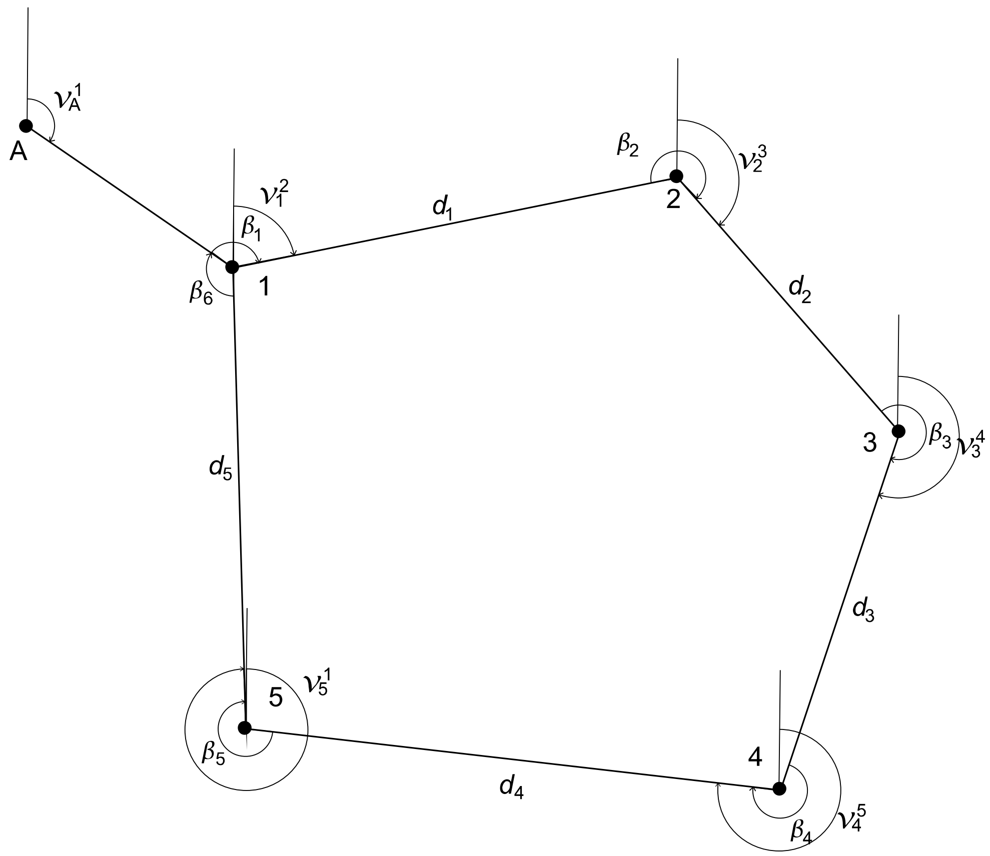
$$\nu_4^B = \nu_3^4 + \beta_4 \pm 180^o$$

$$\nu_B^D = \nu_4^B + \beta_B \pm 180^o$$

Smerni kot ν_B^D smo že prej izračunali iz koordinat točk B in D. Obe vrednosti bi morali biti enaki. Zaradi pogreškov, ki se jim v praksi ne moremo izogniti, smerna kota ne bosta enaka.
S popravljenimi koordinatnimi razlikami izračunamo koordinate poligonskih točk:

1.2.2 Zaključeni poligon

Zaključeni poligon poteka od ene dane točke in se zaključi na isti dani točki.



Slika 4: Zaključeni poligon

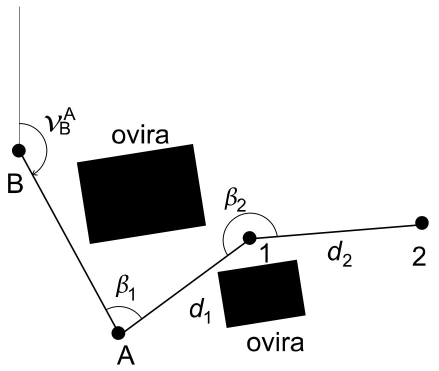
Uporabnost zaključenega poligona se pokaže npr. kadar imamo območje izmere nedostopno za izmero GNSS, na robu območja pa lahko določimo par točk.

Naš poligon se začne v točki 1 in se zaključi na isti točki.
Dano: točki A(y_A, x_A), 1(y_1, x_1)
Merjeno: priklepni koti β_1, β_2, β_3, β_4, β_5, β_6, dolžine d_1, d_2, d_3, d_4, d_5
Neznano: 2(y_2, x_2), 3(y_3, x_3), 4(y_4, x_4), 5(y_5, x_5)

Postopek izračuna je enak kot pri priklepnem poligonu. Začetni smerni kot je tu n_A^1, končni smerni kot pa n_1^A.

1.2.3 Slepi poligon

Slepi poligon je poseben primer poligona, pri katerem imamo vsaj dve dani točki, eno za stojišče instrumenta, drugo za orientacijo. Na koncu se poligon ne zaključi na znani točki, zato nimamo možnosti kontrole izračuna koordinat točk slepega poligona.



Slika 5: Slepi poligon

Uporaba slepega poligona je dopustna le v razmerah, ko z drugimi metodami ne moremo priti do detajla, ki ga želimo izmeriti. Slepi poligon naj ne bi vseboval več kot dve novi točki. V praksi se pa za potrebe manj natančnih meritev s pomočjo prisilnega centriranja in horizontiranja z instrumentom da doseči zadovoljive rezultate tudi z več kot dvema točkama slepega poligona.

Izračun točk v slepem poligonu je razložen v poglavju 1.1.

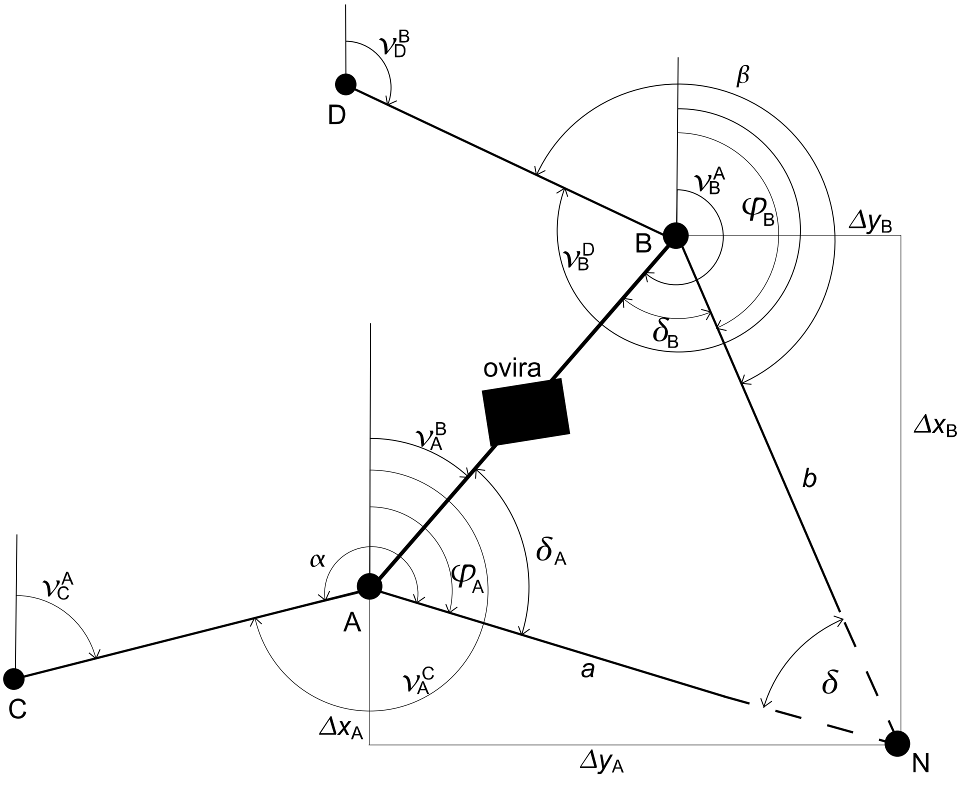
1.3 Postopek določitve koordinat točk z zunanjim urezom

Zunanji urez je postopek določitve koordinat neznane točke na osnovi opazovanih zunanjih smeri z dveh danih točk. Zunanja smer je smer z dane točke na novo točko.

Pri zunanjem urezu opazujemo smeri z dveh danih točk (točki A in B) do nove točke (točka N), podane so koordinate teh dveh točk, iščemo pa koordinate neznane točke. Za čim bolj kakovostno določitev koordinat nove točke mora biti kot ANB = δ čim bližje 90˚. Nova točka je določena s presekom premic. Rešitev je enolična, vendar je lahko izrojena – koordinat ni mogoče izračunati. Do tega lahko pride v primeru, ko sta smeri iz danih točk na novo točko vzporedni (nova točka leži na premici, ki teče skozi dani točki).

Merjene količine: α, β
Dane količine: A(y_A, x_A), B(y_B, x_B), C(y_C, x_C), D(y_D, x_D)
Neznana količina: N(y_N, x_N)

Naš primer je splošen primer, pri katerem točki A in B med seboj nista vidni, zato se je potrebno navezati na še dve dani točki, C in D. Če sta točki A in B med seboj vidni, je zadosti, če se s točke A navežemo na točko B, s točke B pa na točko A.



Slika 6: Zunanji urez

Najprej izračunamo orientirani smeri j_A in j_B (Kuhar, 2008):

$j_{\mathrm{A}} = n_{\mathrm{C}}^{\mathrm{A}} + a$ ±180º (glej poglavje 1.2.1), v našem primeru -180º

$j_{\mathrm{B}} = n_{\mathrm{D}}^{\mathrm{B}} + b$ ±180º, v našem primeru -180º

Smerni kot $n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}}$ oziroma $n_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}}$ izračunamo iz koordinat danih točk A in B:

$$\tan n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}} = \frac{y_{\mathrm{B}} - y_{\mathrm{A}}}{x_{\mathrm{B}} - x_{\mathrm{A}}} \tag{10}$$

Iz slike je razvidno, da orientirani smeri j_{A} in j_{B} lahko izračunamo tudi drugače:

$$\begin{aligned} j_{\mathrm{A}} &= n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}} + d_{\mathrm{A}} \\ j_{\mathrm{B}} &= n_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} + d_{\mathrm{B}} \end{aligned} \tag{11}$$

Zdaj lahko izračunamo kot δ v točki N:

$$d_{\mathrm{A}} = j_{\mathrm{A}} - n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}} \tag{12}$$

$$d_{\mathrm{B}} = n_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} - j_{\mathrm{B}} = (n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}} \pm 180^{\circ}) - j_{\mathrm{B}} \tag{13}$$

$$d = j_{\mathrm{B}} - j_{\mathrm{A}} \tag{14}$$

Računska kontrola je: $\delta_A + \delta_B + \delta = 180^\circ$.

Da bi izračunali koordinate točke N, najprej izračunamo koordinatne razlike med točkami A oz. B in N. Pri tem obstajata dva načina izračuna koordinatnih razlik od točk A in B do točke N.

1.3.1 Prvi način izračuna

Iz sinusovega izreka izračunamo stranice trikotnika *a* in *b* *(Kuhar, 2008)*.

$$\frac{d}{\sin d} = \frac{b}{\sin d_{\mathrm{A}}} \qquad \frac{d}{\sin d} = \frac{a}{\sin d_{\mathrm{B}}}$$

$$b = \frac{d}{\sin d} \sin d_{\mathrm{A}} \qquad a = \frac{d}{\sin d} \sin d_{\mathrm{B}} \tag{15}$$

S pomočjo stranic lahko izračunamo koordinatne razlike od točke A do T oziroma od točke B do točke T:

$$\Delta y_{\mathrm{A}} = a \sin j_{\mathrm{A}} \qquad \Delta y_{\mathrm{B}} = b \sin j_{\mathrm{B}}$$

$$\Delta x_{\mathrm{A}} = a \cos j_{\mathrm{A}} \qquad \Delta x_{\mathrm{B}} = b \cos j_{\mathrm{B}} \tag{16}$$

Koordinate točke T so:

$$y_{\mathrm{N}}' = y_{\mathrm{A}} + \Delta y_{\mathrm{A}} \qquad x_{\mathrm{N}}' = x_{\mathrm{A}} + \Delta x_{\mathrm{A}}$$
$$y_{\mathrm{N}}'' = y_{\mathrm{B}} + \Delta y_{\mathrm{B}} \qquad x_{\mathrm{N}}'' = x_{\mathrm{B}} + \Delta x_{\mathrm{B}} \tag{17}$$

Zadnja kontrola je primerjava koordinat točke T, ki morata biti enaki, če ju računamo s točke A ali s točke B:

$$y_{\mathrm{N}}' = y_{\mathrm{N}}'' \qquad x_{\mathrm{N}}' = x_{\mathrm{N}}'' \tag{18}$$

1.3.2 Drugi način izračuna

Začnemo iz že znanih enačb $\tan j_{\mathrm{A}} = \dfrac{\Delta y_{\mathrm{A}}}{\Delta x_{\mathrm{A}}}$ in $\tan j_{\mathrm{B}} = \dfrac{\Delta y_{\mathrm{B}}}{\Delta x_{\mathrm{B}}}$ ter izrazimo:

$$y_{\mathrm{N}} - y_{\mathrm{A}} = \Delta y_{\mathrm{A}} = (x_{\mathrm{N}} - x_{\mathrm{A}}) \tan j_{\mathrm{A}} \tag{19}$$

$$y_{\mathrm{N}} - y_{\mathrm{B}} = \Delta y_{\mathrm{B}} = (x_{\mathrm{N}} - x_{\mathrm{B}}) \tan j_{\mathrm{B}} . \tag{20}$$

Od tod izpeljemo x_{N}:

$$\Rightarrow x_{\mathrm{N}} = \frac{y_{\mathrm{B}} - y_{\mathrm{A}} + x_{\mathrm{A}} \tan j_{\mathrm{A}} - x_{\mathrm{B}} \tan j_{\mathrm{B}}}{\tan j_{\mathrm{A}} - \tan j_{\mathrm{B}}} \tag{21}$$

$$x_{\mathrm{N}} - x_{\mathrm{A}} = \Delta x_{\mathrm{A}} = \frac{(y_{\mathrm{B}} - y_{\mathrm{A}}) - (x_{\mathrm{B}} - x_{\mathrm{A}}) \tan j_{\mathrm{A}}}{\tan j_{\mathrm{A}} \tan j_{\mathrm{B}}}, \ \Delta y_{\mathrm{A}} = \Delta x_{\mathrm{A}} \tan j_{\mathrm{A}}$$
$$x_{\mathrm{N}} - x_{\mathrm{B}} = \Delta x_{\mathrm{B}} = \frac{(y_{\mathrm{B}} - y_{\mathrm{A}}) - (x_{\mathrm{B}} - x_{\mathrm{A}}) \tan j_{\mathrm{B}}}{\tan j_{\mathrm{A}} \tan j_{\mathrm{B}}}, \ \Delta y_{\mathrm{B}} = \Delta x_{\mathrm{B}} \tan j_{\mathrm{B}} \tag{22}$$

Iz enačb (19) in (20) izračunamo še Δy_{A} in Δy_{B}.

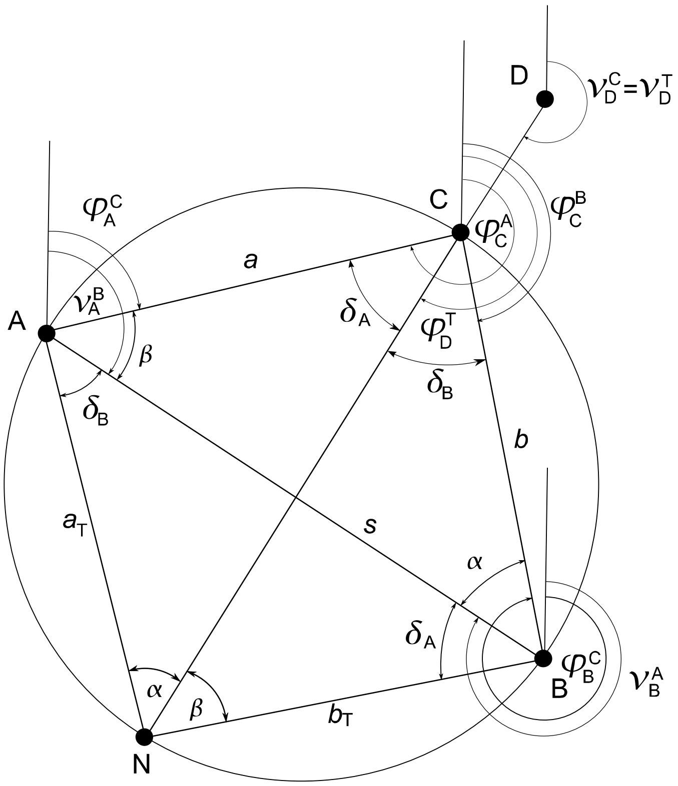
$$y_N' = y_A + \Delta y_A \qquad x_N' = x_A + \Delta x_A$$
$$y_N'' = y_B + \Delta y_B \qquad x_N'' = x_B + \Delta x_B \tag{23}$$

Zadnja kontrola je enaka kot pri prvem načinu:

$$y_N' = y_N'' \qquad x_N' = x_N'' \tag{24}$$

1.4 Postopek določitve koordinat z notranjim urezom

Notranji urez pomeni določitev koordinat nove točke s pomočjo opazovanih notranjih smeri z nove točke do treh danih točk. Obstaja zelo veliko število različnih rešitev problema notranjega ureza (skoraj 100), tu bomo podali rešitev po Collinsu (*Kuhar, 2008*).



Slika 7: Notranji urez, rešitev po Collinsu

Dane količine: A(x_A,y_A), B(y_B, x_B), D(y_D, x_D)

Merjene količine: α, β

Neznane količine: N(y_N, x_N)

Skozi točke N, A in B potegnemo krožnico. Premica ND seka ta krog v točki C (Collinsova pomožna točka). Izračun koordinat točke N ni možna v primeru kadar točka C in D sovpadata, to pomeni, da se vse tri dane točke nahajajo na isti krožnici.

$$\tan n_A^B = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{\Delta y_A^B}{\Delta x_A^B} \tag{25}$$

$$s_{AB} = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2} \tag{26}$$

V trikotniku ΔABC sta v ogliščih A in B merjena kota α in β. Iz smernega kota n_A^B in kotov α in β izračunamo orientirane smeri s točk A in B na točko C:

$$j_A^C = n_A^B - b \qquad j_B^C = n_B^A + a = n_A^B + a + p \tag{27}$$

Kontrola:

$$d = 180^\circ - (a + b) = j_A^C - j_B^C,\ d = d_A + d_B \tag{28}$$

Izračun koordinat Collinsove pomožne točke C (y_C, x_C) opravimo na osnovi danih koordinat točk A in B ter orientiranih smeri j_A^C in j_B^C.

$$m = 2r = \frac{s}{\sin d}\text{, pri čemer je } d = d_A + d_B \tag{29}$$

$$a = \overline{AC} = m \sin a \qquad b = \overline{BC} = m \sin b \tag{30}$$

$$\Delta y_{\mathrm{A}}^{\mathrm{C}} = a \sin j_{\mathrm{A}}^{\mathrm{C}} \qquad \Delta x_{\mathrm{A}}^{\mathrm{C}} = a \cos j_{\mathrm{A}}^{\mathrm{C}}$$
$$\Delta y_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}} = b \sin j_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}} \qquad \Delta x_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}} = b \cos j_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}} \tag{31}$$

$$y_{\mathrm{C}} = y_{\mathrm{A}} + \Delta y_{\mathrm{A}}^{\mathrm{C}} = y_{\mathrm{B}} + \Delta y_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}}$$
$$x_{\mathrm{C}} = x_{\mathrm{A}} + \Delta x_{\mathrm{A}}^{\mathrm{C}} = x_{\mathrm{B}} + \Delta x_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}} \tag{32}$$

Zdaj imamo določen položaj točke C. Zanima nas položaj točke N. Najprej izračunamo smerni kot s točke D na novo točko C:

$$\tan n_{\mathrm{D}}^{\mathrm{C}} = \frac{y_{\mathrm{C}} - y_{\mathrm{D}}}{x_{\mathrm{C}} - x_{\mathrm{D}}} = \frac{\Delta y_{\mathrm{D}}^{\mathrm{C}}}{\Delta x_{\mathrm{D}}^{\mathrm{C}}} \tag{33}$$

Z njegovo pomočjo lahko izračunamo orientirane smeri na novo točko T:

$$d_{\mathrm{A}} = n_{\mathrm{D}}^{\mathrm{C}} - j_{\mathrm{C}}^{\mathrm{B}} \qquad d_{\mathrm{B}} = j_{\mathrm{C}}^{\mathrm{A}} - n_{\mathrm{D}}^{\mathrm{C}} \tag{34}$$

$$j_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}} = n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}} + d_{\mathrm{A}}$$
$$j_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} = n_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} - d_{\mathrm{B}} \tag{35}$$

$$a_{\mathrm{N}} = \overline{\mathrm{AN}} = m \sin d_{\mathrm{B}}$$
$$b_{\mathrm{N}} = \overline{\mathrm{BN}} = m \sin d_{\mathrm{A}} \tag{36}$$

$$\Delta y_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}} = a_{\mathrm{N}} \sin j_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}} \qquad \Delta x_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}} = a_{\mathrm{N}} \cos j_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}}$$
$$\Delta y_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} = b_{\mathrm{N}} \sin j_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} \qquad \Delta x_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} = b_{\mathrm{N}} \cos j_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} \tag{37}$$

$$y_{\mathrm{N}}' = y_{\mathrm{A}} + \Delta y_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}} \qquad x_{\mathrm{N}}' = x_{\mathrm{A}} + \Delta x_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}}$$
$$y_{\mathrm{N}}'' = y_{\mathrm{B}} + \Delta y_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} \qquad x_{\mathrm{N}}'' = x_{\mathrm{B}} + \Delta x_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} \tag{38}$$

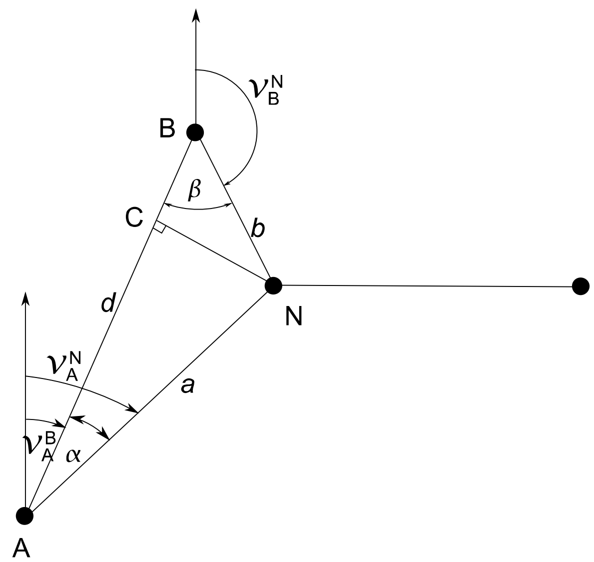
Zadnja kontrola je enaka kot pri zunanjem urezu:

$$y_N' = y_N'' \qquad x_N' = x_N'' \tag{39}$$

1.5 Postopek določitve koordinat točk z ločnim presekom

Ločni presek (presek dolžin) uporabljamo za izračun koordinat točk kadar imamo namesto merjenih smeri na voljo merjene dolžine od dveh danih točk do nove točke.

Dane količine: A(y_A, x_A), B(y_B, x_B)
Merjene količine: a, b
Neznane količine: N(y_N, x_N)



Slika 8: Ločni presek

Za čim bolj kakovostno določitev nove točke N mora biti kot ANB čim bližje 90˚. Podobno kot pri zunanjem urezu lahko tudi ločni presek izračunamo na dva načina.

1.5.1 Prvi način (trigonometrični)

Iz kosinusovega izreka izračunamo kote v trikotniku ΔABN *(Kuhar, 2008):*

$$a^2 = d^2 + b^2 - 2db\cos b$$
$$b^2 = d^2 + a^2 - 2da\cos a$$
$$\cos a = \frac{d^2 + a^2 - b^2}{2da} \tag{40}$$
$$\cos b = \frac{d^2 + b^2 - a^2}{2db}$$

Kontrola:

$$d = a\cos a + b\cos b \tag{41}$$

Zatem izračunamo smerne kote stranic trikotnika *a* in *b*:

$$n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}} = n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}} + a$$
$$n_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} = n_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} - b \tag{42}$$

Smerni kot $n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}}$ izračunamo iz koordinat danih točk A in B:

$$\tan n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}} = \frac{y_{\mathrm{B}} - y_{\mathrm{A}}}{x_{\mathrm{B}} - x_{\mathrm{A}}} \tag{43}$$

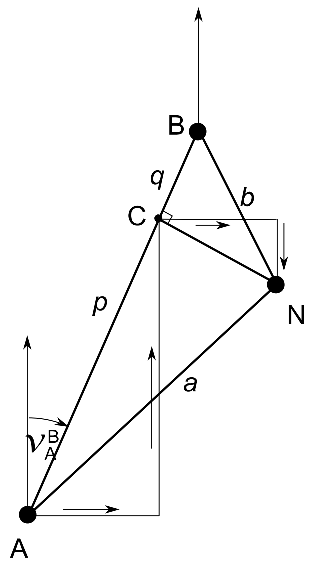
S pomočjo smernih kotov izračunamo koordinatne razlike od A in B do točke N:

$$\Delta y_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}} = a\sin n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}} \qquad \Delta x_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}} = a\cos n_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}}$$
$$\Delta y_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} = b\sin n_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} \qquad \Delta x_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} = b\cos n_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} \tag{44}$$

$$y_{\mathrm{N}}' = y_{\mathrm{A}} + \Delta y_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}} \qquad x_{\mathrm{N}}' = x_{\mathrm{A}} + \Delta x_{\mathrm{A}}^{\mathrm{N}}$$
$$y_{\mathrm{N}}'' = y_{\mathrm{B}} + \Delta y_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} \qquad x_{\mathrm{N}}'' = x_{\mathrm{B}} + \Delta x_{\mathrm{B}}^{\mathrm{N}} \tag{45}$$

1.5.2 Drugi način (geodetski):

Način računanja je enak izračunu koordinat linijskih točk. Tukaj računamo delne koordinatne razlike od točk A in B do točke C (vznožje višine *h*) ter naprej od točke C do nove točke N (*Kuhar, 2008*).



Slika 9: Ločni presek – geodetski način izračuna

Dane količine: A(y_A, x_A), B(y_B, x_B)

Merjene količine: *a*, *b*

Neznane količine: N(y_N, x_N)

h je višina v trikotniku ΔABN

p in *q* sta projekciji stranic *a* in *b* na stranico *d*

Zveza med projekcijami ter višino in stranicami:

$$h^2 = b^2 - q^2$$
$$h^2 = a^2 - p^2$$
$$a^2 - b^2 = p^2 - q^2$$
$$a^2 - b^2 = (p+q)(p-q) \qquad (p+q) = d \tag{46}$$

$$\frac{a^2 - b^2}{2d} = \frac{p-q}{2}$$

$$\frac{d}{2} = \frac{p+q}{2}$$

Projekciji p in q lahko izračunamo:

$$p = \frac{p+q}{2} + \frac{p-q}{2}$$
$$q = \frac{p+q}{2} - \frac{p-q}{2} \quad (47)$$

Če je točka na desni strani daljice AB:

$$y_N' = y_A + p\sin n_A^B + h\cos n_A^B \qquad y_N'' = y_B - q\sin n_A^B + h\cos n_A^B$$
$$x_N' = x_A + p\cos n_A^B - h\sin n_A^B \qquad x_N'' = x_B - q\sin n_A^B - h\sin n_A^B \quad (48)$$

Če je točka na levi strani daljice AB:

$$y_N' = y_A + p\sin n_A^B - h\cos n_A^B \qquad y_N'' = y_B - q\sin n_A^B - h\cos n_A^B$$
$$x_N' = x_A + p\cos n_A^B + h\sin n_A^B \qquad x_N'' = x_B - q\sin n_A^B + h\sin n_A^B \quad (49)$$

Zadnja kontrola je primerjava koordinat točke N, ki mora biti enaka, če jo računamo s točke A ali s točke B:

$$y_N' = y_N'' \qquad x_N' = x_N'' \quad (50)$$

2 REDUKCIJE MERJENIH DOLŽIN

V prvem poglavju smo že imeli opravka z dolžinami. Takrat smo podatek o dolžini vzeli kot tak, ki je že preračunan z vsemi redukcijami in popravki. Elektronski razdaljemeri, s katerimi na terenu merimo dolžine med točkami, nam pa v splošnem dajo poševno dolžino, obremenjeno še z atmosferskimi vplivi. To poševno dolžino moramo spremeniti v tako obliko, da bo uporabna za računanja koordinat točk. Redukcija se izračuna s pomočjo merjene zenitne razdalje ali z znanimi višinskimi razlikami med merskimi točkami (višinske razlike so največkrat pridobljene z metodo trigonometričnega višinomerstva ali geometričnega nivelmana). Popravke delimo na:

- meteorološke
- geometrične
- projekcijske

Med geometričnimi in projekcijskimi ni jasno določene meje. Z meteorološkimi popravki dolžino reduciramo zaradi vpliva atmosfere, ker pri prehodu merskega žarka skozi plasti ozračja z različno gostoto pride do spremembe hitrosti potovanja in ukrivljanja merskega žarka in posledično tudi dolžine. Z geometričnimi popravki upoštevamo refrakcijsko krivuljo, da lahko potem izračunamo poševno dolžino. S projekcijskimi popravki pa projiciramo poševno dolžino na nivoju točk (dolžino kamen - kamen) na sferni lok na nivoju referenčnega horizonta, na referenčno ploskev in nato v izbrano projekcijsko ravnino.

2.1 Meteorološki popravki izmerjene dolžine

Dolžin, ki jih merimo na terenu, ne merimo v vakuumu, temveč v zemeljski atmosferi. Elektronski razdaljemeri, s katerimi merimo dolžine, izpišejo dolžine za izbrane referenčne pogoje v atmosferi. Dolžina, ki nam jo da razdaljemer, se nanaša na referenčni lomni količnik n_0, ki ga pridobimo iz dokumentacije razdaljemera. V času meritev pa je prisoten dejanski lomni količnik n_D. Dejanski lomni količnik se ves čas spreminja, zato je potrebno pri naših meritvah dolžin hkrati spremljati še atmosferske pogoje (temperaturo *T*, zračni tlak *p*, delni tlak vodne pare *e* oziroma relativno vlažnost *r*, ki je razmerje delnega tlaka in nasičenega tlaka vodne pare), da lahko potem izračunamo popravke, s katerimi popravimo našo merjeno dolžino.

Svetloba z referenčno valovno dolžino razdaljemera naj bi se širila kot monokromatsko valovanje. V praksi pa nikoli ne dosežemo popolnega svetlobnega valovanja s samo eno valovno dolžino, ampak ozko območje valovanj različnih valovnih dolžin in s tem tudi različne hitrosti elektromagnetnega valovanja. Ta valovanja se prekrivajo in tvorijo grupe z grupno hitrostjo c_G. Grupna hitrost se nanaša na efektivno valovno dolžino l_{Neff}. Grupni lomni količnik je določen z:

$$n_G = \frac{c_0}{c_G} \tag{51}$$

Po Cauchyju je grupni lomni količnik opisan z interpolacijsko enačbo *(Kogoj, 2002)*:

$$n_G = 1 + \left(A + 3\frac{B}{l_{Neff}^2} + 5\frac{C}{l_{Neff}^4} \right) 10^{-6}, \tag{52}$$

kjer so *A*, *B* in *C* empirično določene konstante.

avtor	območje	*A*	*B*	*C*
Edlen (1953)	$0.43\ \mu m < \lambda_{Neff} < 0.65\ \mu m$	287.569	1.6201	0.0139
Barrell-Sears(1939)	$0.18\ \mu m < \lambda_{Neff} < 0.65\ \mu m$	287.604	1.6288	0.0136
Edlen (1966)	$0.18\ \mu m < \lambda_{Neff} < 2.10\ \mu m$	287.583	1.6134	0.0144
IAG (1999)	$0.65\ \mu m < \lambda_{Neff} < 0.85\ \mu m$	287.6155	1.62887	0.01360

Preglednica 2: vrednosti konstant za izračun N_G pri različnih avtorjih (Kogoj, 2002, IAG, 1999)

l_{Neff} = valovna dolžina nosilnega valovanja – različna za različne tipe instrumentov. Za današnje razdaljemere so primerne konstante po IAG (1999).

Konstante za vrednosti l_{Neff} v [μm] veljajo za normalno atmosfero *(Kogoj, 2002)*:

$t = 0^{\circ}\ \mathrm{C} = 273\,\mathrm{K}$,

p = 1013.25 hPa = 1013.25 mbar = 760 torr = 760 mm Hg,

0.0375 % vrednost CO_2 in suh zrak (*e* = 0 hPa).

Enačba IAG (1999) se v območju 0.3 μm < l_{Neff} < 1.0 μm razlikuje za manj kot 0.25 ppm, kar je v večini primerov zanemarljivo *(IAG 1999, Kogoj, 2002).*

Dokumentacija nekaterih instrumentov ne navaja referenčnega lomnega količnika, ampak modulacijsko frekvenco in modulacijsko valovno dolžino. V tem primeru se referenčni lomni količnik preračuna:

$n_0 = \dfrac{c_0}{l_M\, f_M}$; referenčni lomni količnik

f_M = modulacijska frekvenca,

c_0 = hitrost svetlobe v vakuumu (299792458 ms^{-1}),

l_M = modulacijska valovna dolžina

Dolžine pa ne merimo v normalni atmosferi, ampak v dejanski atmosferi. Redukcijo normalne atmosfere v dejanske atmosferske pogoje interpoliramo po enačbi Barrell-Sears, ki jo je preuredil Kohlrausch *(Kogoj, 2002*).

n_D = dejanski lomni količnik

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + a \cdot t}\frac{p}{760} - \frac{5.5 \cdot 10^{-8}}{1 + a \cdot t} e \quad \text{za } p \text{ in } e \text{ v [torr]} \qquad (53)$$

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + a \cdot t} \frac{p}{1013.25} - \frac{4.1 \cdot 10^{-8}}{1 + a \cdot t} e \text{ za } p \text{ in } e \text{ v [hPa]} \tag{54}$$

p = zračni tlak

t = temperatura v [° C]

e = delni tlak vodne pare

α = razteznostni koeficient zraka = 1/273,16 = 0.00366 v [° C^{-1}]

Vpliv delnega tlaka vodne pare je v večini primerov zanemarljiv, saj za e = 15 hPa doseže 0.6 ppm *(Kogoj, 2002).*

Če imamo izmerjeno suho in mokro temperaturo, lahko delni tlak vodne pare izračunamo po enačbi:

$$e = E_m - (t - t_m) \frac{K}{755} p, \tag{55}$$

kjer je

t = temperatura suhega termometra v [° C]

t_m = temperatura mokrega termometra v [° C]

p zračni tlak v [torr]

E_m = nasičeni tlak vodne pare, izračunan s temperaturo mokrega termometra, v [torr]

K = empirično določena konstanta

Za E_m velja enačba:

$$E_m = 10^{\left(\frac{a t_m}{b + t_m} + g\right)} \tag{56}$$

Preglednica 3: Vrednosti konstant za izračun E_m in e v [torr] (*Kogoj*, 2002)

Mokri termometer	K	α	β	γ
pod vodo (t_m > 0° C)	0.50	7.5	237.5	0.66077
pod ledom (t_m < 0° C)	0.43	9.5	265.5	0.66077

Če imamo izmerjeno suho temperaturo in relativno vlažnost, lahko delni tlak vodne pare izračunamo po enačbi:

$$e = E_m \frac{r}{100}. \tag{57}$$

E_m je v tem primeru nasičen tlak vodne pare, izračunan s temperaturo suhega termometra, v [hPa] *(Alduchov, Eskridge, 1996)*:

$$E_m = 6.1094^{\frac{17.625 \cdot t}{t+243.04}}. \tag{58}$$

2.1.1 Prvi popravek hitrosti

D_a = dolžina, ki jo prikaže instrument

D = dejanska dolžina

k_n = prvi popravek hitrosti

$$D = \frac{n_0}{n_D} D_a \tag{59}$$

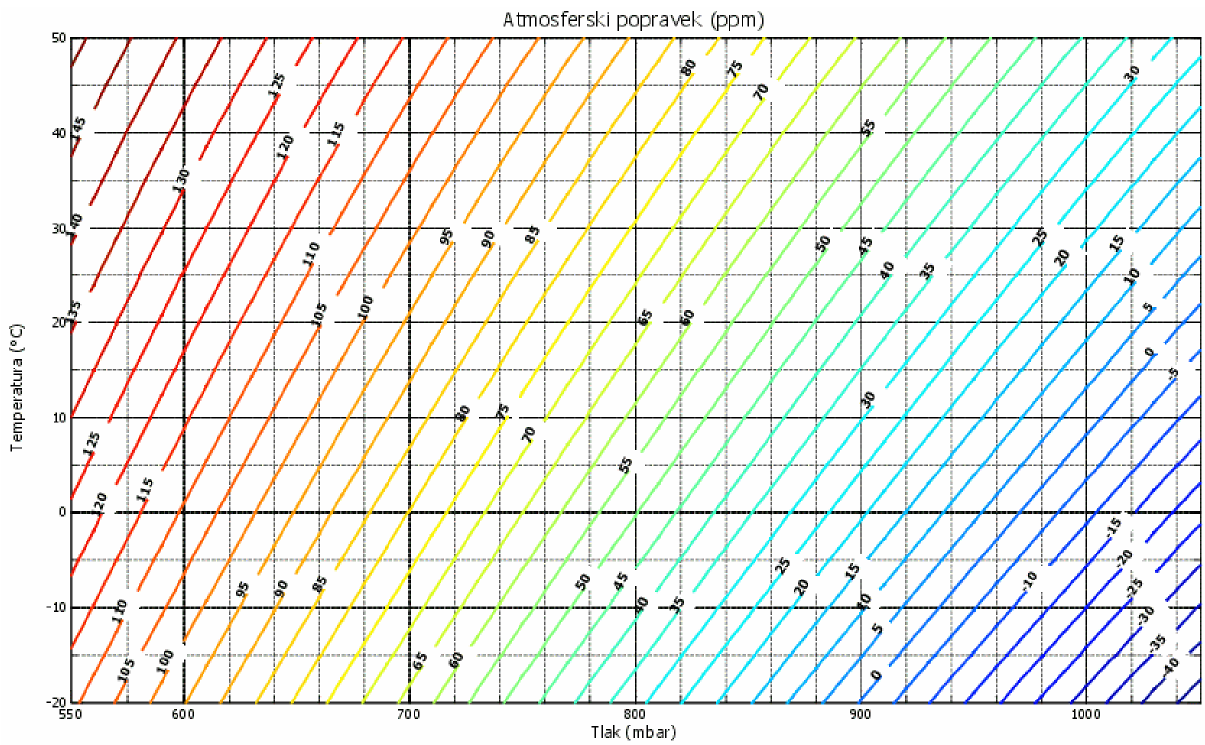
$$D = D_a + k_n \tag{60}$$

$$k_n = D - D_a = D_a \frac{n_0 - n_D}{n_D} \tag{61}$$

V primeru, da je velikost izmerjene dolžine 1 km, pomeni prvi popravek hitrosti relativno spremembo dolžine na kilometer, imenovano tudi meteorološki ppm popravek oziroma relativno vrednost prvega poprava hitrosti. Enota je [ppm].

$$k_{nr} = n_0 - n_D \tag{62}$$

Zelo pogosto lahko, predvsem pri razdaljemerih običajne natančnosti, relativno vrednost prvega popravka hitrosti odčitamo in nomogramov prvega popravka hitrosti. Ti so sestavni del proizvajalčevih navodil za uporabo instrumenta. Na spodnji sliki je nomogram prvega popravka hitrosti za instrument Leica TPS1200+ (n = 1,0002863, λ = 658 nm, pri pogojih p = 1013,25 mbar, t = 12° C, h = 60%) *(Geoservis d.o.o., 2008)*



Slika 10: Nomogram prvega popravka hitrosti

Iz nomogramov neposredno odčitamo relativno vrednost prvega popravka hitrosti na osnovi izmerjene vrednosti temperature zraka in zračnega tlaka. Popravljena vrednost dolžine bo:

$$D = D_a(1 + k_{nr}) = D_a k_m \tag{63}$$

k_m imenujemo multiplikacijska konstanta prvega popravka hitrosti.

$$k_m = 1 + k_{nr} = \frac{n_0}{n_D} \tag{64}$$

2.1.2 Drugi popravek hitrosti

Drugi popravek hitrosti se nanaša na spremembo lomnega količnika s spremembo višine vizure nad fizično površino Zemlje. Z naraščanjem višine se manjša gostota zraka in s tem tudi lomni količnik. Svetlobni žarek, s katerim merimo dolžino, poteka torej skozi plasti z različno gostoto zraka.

Drugi popravek hitrosti:

$$k_{\Delta n} = -D_a \Delta n = -(k - k^2)\frac{D_a^3}{12R^2} \qquad (65)$$

Kjer je:

k = refrakcijski koeficient (za naše kraje 0.13, lahko se pa v dejanskih pogojih tudi precej razlikuje od te vrednosti)

Δn = popravek za srednji lomni količnik

R = polmer (krogle) Zemlje

Vrednost 1 ppm doseže drugi popravek hitrosti šele pri dolžinah, daljših od 65 km (velja za elektrooptične razdaljemere), zato ga v večini primerov v praksi ni potrebno upoštevati *(Kogoj, 2002).*

Po upoštevanju prvega in drugega popravka hitrosti bo dolžina:

$$D = D_a + k_n + k_{\Delta n} = D_a(1 + n_0 - n_D - (k - k^2)\frac{D_a^2}{12R^2}) \qquad (66)$$

Podatki o valovni dolžini nosilnega valovanja in referenčnem lomnem količniku so ponavadi dostopni v proizvajalčevih navodilih za instrument.

Preglednica 4: l_{Neff} *in* n_0 *za nekatere instrumente proizvajalca Leica*

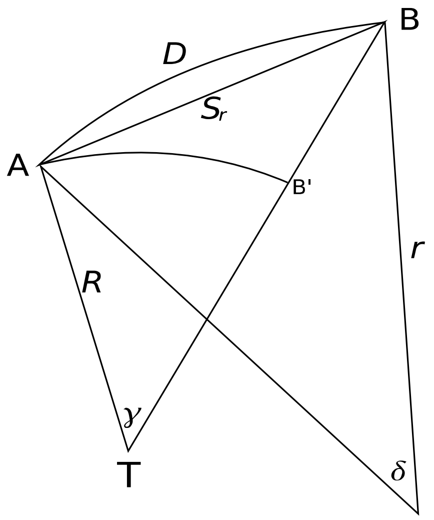
instrument	l_{Neff}	n_0
Leica Builder, Leica FlexLine, Leica Viva TPS (TPS1200+), Leica TS30/TM30, Leica TPS400 (2007-08), TPS800 (2007-08), TPS1200 (2007-08)	0.658 µm	1.00028634
Leica TPS100, TPS300, TPS400, TPS700, TPS800, TPS1100, TPS1200 (reflectorless)	0.670 µm	1.00028592
Leica TPS100, TPS300, TPS400 (do 2007), TPS700, TPS800 (do 2007), TPS1100, TPS1200 (do 2007) (infrared)	0.780 µm	1.00028304
Leica TPS1000	0.850 µm	1.00028180

2.2 Geometrični popravki

Geometrični popravki pomenijo razliko med prostorsko krivuljo *D*, definirano z refrakcijsko krivuljo in premo poševno dolžino na nivoju točk, to je dolžino kamen – kamen. Popravki pomenijo upoštevanje ukrivljenosti refrakcijske krivulje ter horizontalnih in vertikalnih ekscentricitet razdaljemera in reflektorja *(Kogoj, 2002).*

2.2.1 Popravek zaradi ukrivljenosti merskega žarka

Merski žarek se pri prehodu skozi plasti zraka z različno gostoto lomi. Dolžina, ki jo merimo, zaradi refrakcije predstavlja dolžino prostorske krivulje. Zato je potrebno merjeno dolžino *D* je reducirati na prostorsko tetivo S_r.



Slika 11: Razlika med refrakcijsko krivuljo in pripadajočo tetivo

$k_r = S_r - D = -k^2 \dfrac{D^3}{24R^2}$; popravek zaradi ukrivljenosti merskega žarka (67)

$S_r = D + k_r$ (68)

Velikostni red popravka k_r je odvisen od velikosti koeficienta refrakcije, ki je najpogosteje privzeta vrednost in je 0.13 za naše kraje in elektrooptične razdaljemere, ter narašča s tretjo potenco dolžine. Pri dolžinah do 100 km je velikost popravka manjša od 1 ppm *(Kogoj, 2002).*

2.2.2 Izračun poševne dolžine med točkama na nivoju terena

Ko smo dolžino popravili za meteorološke popravke, se jo nadalje reducira na dva načina:

- merjena je zenitna razdalja med točkama
- podana je višinska razlika med točkam

2.2.2.1 Podana je višinska razlika med točkama

V tem primeru imamo na voljo naslednje količine:

S_r = izmerjena in na poševno tetivo na nivoju optične poti reducirana dolžina [m]

i = višina instrumenta [m]

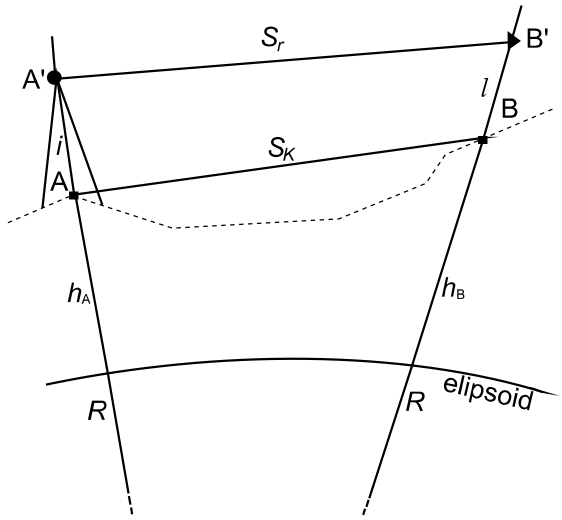
l = višina reflektorja [m]

h_{A} = elipsoidna višina točke stojišča instrumenta [m]

h_{B} = elipsoidna višina točke stojišča reflektorja [m]

Iščemo:

S_K = poševna dolžina na nivoju točk na terenu (dolžina kamen-kamen) [m]



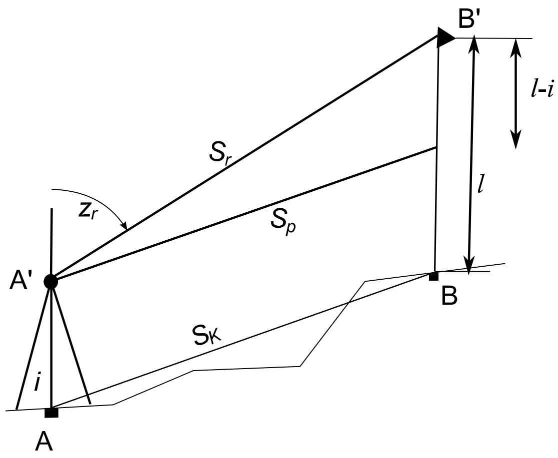
Slika 12: Kamen – kamen redukcija

$$\Delta S = \frac{(i-l)(h_{\mathrm{B}} - h_{\mathrm{A}})}{S_r} - \frac{(i-l)^2}{2S_r} - \frac{(i+r)}{2R} S_r \tag{69}$$

$$S_K = S_r + \Delta S \tag{70}$$

2.2.2.2 Merjena je zenitna razdalja med točkama

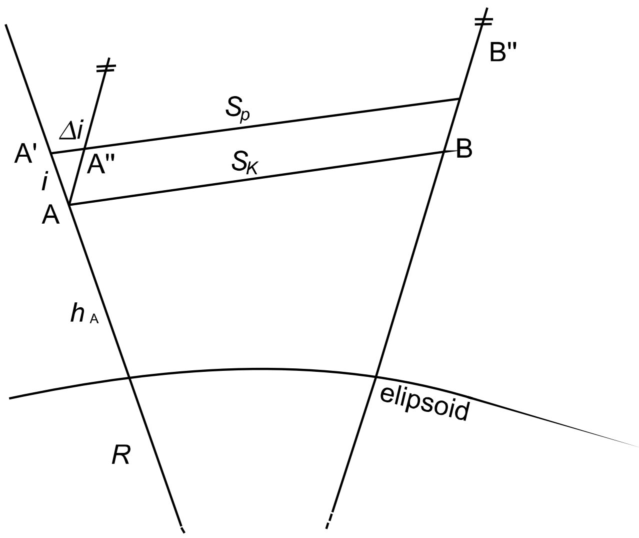
Predpostavimo, da sta vertikali v točkah A in B med seboj vzporedni (to je dovoljeno ob manjših razlikah višin instrumenta in reflektorja ter ne preveč strmih vizurah).



Slika 13: Izračun dolžine na nivoju točk ob merjeni zenitni razdalji

$$S_p = S_r - (l - i)\cos z_r + \frac{[(l-i)\sin z_r]^2}{2S_r} \qquad (71)$$

Velikost drugega člena je ob razliki (l - i) = 0.17 m in vrednosti zenitne razdalje z_r = 90˚ za dolžine S_r > 15 m manjša od 1 mm *(Kogoj, 2002).*



Slika 14: Upoštevanje višine instrumenta

Dolžino S_p na nivoju višine razdaljemera, ki je vzporedna poševni dolžini na nivoju točk, je potrebno teoretično reducirati na nivo točk. Redukcija je posledica konvergence vertikal skozi krajni točki dolžine (*Kogoj, 2002*).

$$S_K = S_p - \Delta i = S_p - \frac{iS_p}{R + h_A + i} \tag{72}$$

Velikost popravka Δi je običajno majhna, odvisen je od višine instrumenta i ter dolžine S_p. Največkrat ga ni potrebno upoštevati *(Kogoj, 2002).*

2.3 Projekcijski popravki

Ker večino izračunov koordinat točk opravimo v državnem koordinatnem sistemu, je za izračun popravkov potrebno poznati elipsoidne višine. Pri nas to pomeni elipsoidne višine nad elipsoidom Bessel 1841 za Gauß-Krügerjev koordinatni sistem ali GRS80 za ETRS89/TM koordinatni sistem. Ponavadi pa so na voljo samo ortometrične oziroma nadmorske višine, določene z metodo trigonometričnega višinomerstva ali geometričnega nivelmana. Ortometrične višine je potrebno z upoštevanjem geoidnih ondulacij preračunati v elipsoidne višine.

Projekcijske popravke razdelimo na dve skupini:

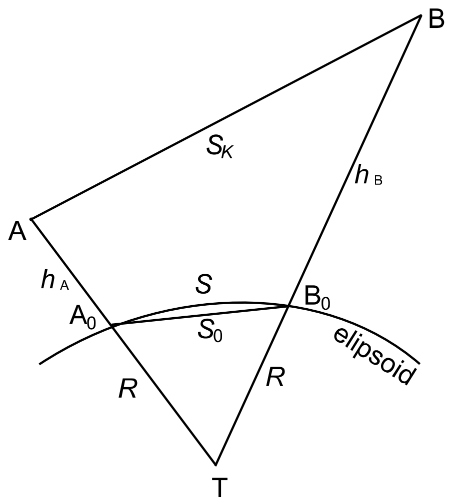
- razlike med dolžinami tetiv v odvisnosti od naklona in višine – ta skupina redukcij največkrat zadošča, kadar obravnavamo dolžine v lokalnih geodetskih mrežah
- razlike med dolžino na referenčni ploskvi in v projekcijski ravnini – preračun je potreben predvsem kadar obravnavamo dolžine v državnih geodetskih mrežah

2.3.1 Horizontiranje in redukcija na površino elipsoida

Za izračun iz prostorske tetive S_K na tetivo S_0 na nivoju horizonta morajo biti znane elipsoidne višine krajnih točk h_A *in* h_B ali višina ene krajne točke h_A in merjena zenitna razdalja z_A.

2.3.1.1 Redukcija z znanimi elipsoidnimi višinami

Dane imamo elipsoidni višini točk A (h_A) in B (h_B). Merjeno imamo dolžino S_K. V takih primerih imamo trikotnika ΔABT in ΔA$_0$B$_0$T s skupnim središčnim kotom v točki T. S pomočjo kosinusovega stavka pridemo do izračuna tetive S_0 na nivoju horizonta.



Slika 15: Redukcija na površino elipsoida

$$S_0 = \sqrt{\frac{S_K^2 - (h_A - h_B)^2}{\left(1+\frac{h_A}{R}\right)\left(1+\frac{h_B}{R}\right)}} \tag{73}$$

Dolžine reduciramo z vrednostjo polmera Zemlje *R*, ki jo izračunamo iz enačbe *(Kogoj, 2002)*:

$R = \sqrt{MN}$ = srednji polmer ukrivljenosti referenčnega elipsoida v izbrani točki (74)

$M = \frac{c}{V^3}$ = krivinski polmer meridiana izbrane točke (75)

$$N = \frac{c}{V} \quad \text{= krivinski polmer 1. vertikala izbrane točke} \tag{76}$$

$$e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}} \quad \text{= druga ekscentričnost} \tag{77}$$

$$V^2 = 1 + e'^2 \cos^2 j \ , \tag{78}$$

kjer je j elipsoidna širina izbrane točke

a = velika polos elipsoida

b = mala polos elipsoida

Preglednica 5: Velika in mala polos elipsoidov

Elipsoid	*a*	*b*
Bessel 1841	6377397.155 m	6356078.963 m
GRS80	6378137 m	6356752.31414 m

Če v enačbo (74) vstavimo vse količine, dobimo:

$$R = \frac{\left(\frac{a^2}{b}\right)}{\left(1 + \frac{a^2 - b^2}{b^2}\cos^2 j\right)} \tag{79}$$

Srednji polmer ukrivljenosti za φ = 46˚ (Ljubljana):

$R_{\text{Bessel 1841}}$ = 6378106.725 m ≈ 6378 km
R_{GRS80} = 6378848.680 m ≈ 6379 km

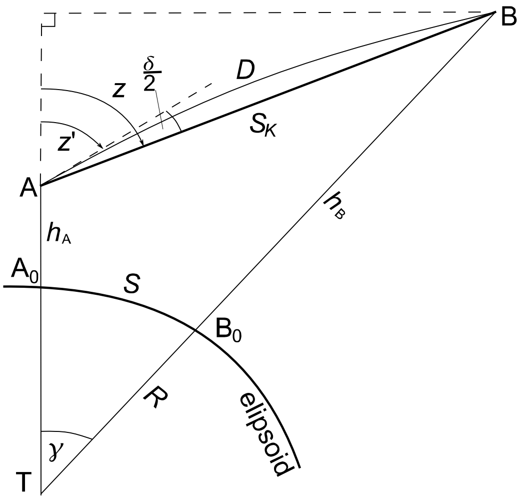
Za dolge dolžine (*D* > 20 km) se pri računanju na elipsoidu upošteva tudi orientacija dolžine, določena z azimutom *A*. Srednji polmer ukrivljenosti *R* elipsoida v azimutu *A* izračunamo *(Kogoj, 2002)*:

$$\frac{1}{R} = \frac{\cos^2 A}{M} + \frac{\sin^2 A}{N} \quad (80)$$

2.3.1.2 Redukcija z merjeno zenitno razdaljo

Zenitno razdaljo merimo z namenom določitve višinske razlike med točkama ali pa samo zato, da bomo lahko poševno dolžino reducirali na horizont. Poznati moramo elipsoidno višino ene krajne točke.

V točki A z znano elipsoidno višino h_A je izmerjena zenitna razdalja z'. Predpostavljamo, da se vrednost z' nanaša na poševno dolžino na nivoju točk S_K (vertikalne ekscentricitete pri vrednosti zenitne razdalje so že upoštevane). Merjenje zenitnih razdalj je pri dolgih dolžinah (D > 10 km) komaj še smiselno. Refrakcija namreč pri daljših dolžinah bistveno kvari natančnost trigonometričnega višinomerstva. Pri obravnavi redukcije dolžine z zenitno razdaljo zato zadostuje omejitev na sferno rešitev *(Kogoj, 2002).*



Slika 16: Redukcija poševne dolžine z merjeno zenitno razdaljo

Popravek zenitne razdalje zaradi refrakcije:

$$z = z' + \frac{D}{2R} k \tag{81}$$

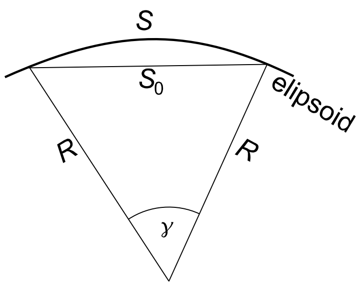
$$S = R \arctan \frac{S_K \sin z}{(R + h_A) + S_K \cos z} \tag{82}$$

Če določamo tudi višino h_B:

$$h_B = \sqrt{(R + h_B)^2} - R \text{ (približna enačba)} \tag{83}$$

$$h_B = h_A + \frac{h_A^2 + S_K^2}{2R} + S_K \left(1 + \frac{h_A}{R}\right) \cos z - \frac{h_B^2}{2R} \text{ (zadnji člen iz približne enačbe za } h_B\text{)} \tag{84}$$

2.3.2 Izračun dolžine loka na referenčnem elipsoidu



Slika 17: Prehod s tetive na pripadajoči krožni lok

Prehod s tetive S_0 na lok S na površini referenčne krogle izvedemo na dva načina:

- s strogim odnosom

$$S = 2R \arcsin\left(\frac{S_0}{2R}\right) \tag{85}$$

- v obliki redukcije ukrivljenosti Zemlje k_R

$$k_R = \frac{S_0^3}{24R^2} \tag{86}$$

Dolžina *S* na referenčni krogli je:

$$S = S_0 + k_R. \tag{87}$$

2.3.3 Redukcija v ravnino kartografske projekcije

Koordinate točk državnih geodetskih položajnih mrež so določene na ravnini izbrane kartografske projekcije. Če želimo merjeno dolžino uporabiti za računanje v ravnini kartografske projekcije, jo je potrebno reducirati v to projekcijsko ravnino.

2.3.3.1 Redukcija v Gauß-Krügerjevo projekcijsko ravnino

V Sloveniji uporabljamo kot državno kartografsko projekcijo Gauß-Krügerjevo konformno projekcijo. To je projekcija na prečne valje, ki tangirajo referenčni elipsoid na vsake 3˚ oziroma v Sloveniji na 15. meridianu. Širina meridianske cone je zato 3˚.

Dolžinsko deformacijo dolžine med točkama *A* in *B* izračunamo:

$$k_{GK} \approx \frac{\bar{y}^2}{2R^2} S,$$

kjer je:

$\bar{y} = \dfrac{\bar{y}_A + \bar{y}_B}{2}$ = srednja oddaljenost od dotikalnega meridiana,

$\bar{y}_A$ = oddaljenost točke *A* od dotikalnega meridiana,

$\bar{y}_B$ = oddaljenost točke *B* od dotikalnega meridiana,

S = dolžina loka med točkama *A* in *B* na referenčni ploskvi,

R = srednji polmer ukrivljenosti elipsoida Bessel 1841.

Dolžina, reducirana v Gauß-Krügerjevo projekcijsko ravnino je:

$$S_{GKM} = S\left(1 + \frac{\bar{y}^2}{2R^2} - 0.0001\right) \tag{88}$$

2.3.3.2 Redukcija v TM projekcijsko ravnino

Novi koordinatni sistem temelji na prečni Mercatorjevi projekciji in referenčnem elipsoidu GRS80. Tako kot pri Gauß-Krügerjevi projekciji, se prečni valj v Sloveniji dotika referenčnega elipsoida na 15. meridianu. Širina meridianske cone je 3°. V TM projekciji so koordinate označene z *e* in *n*.

Dolžinsko deformacijo dolžine med točkama *A* in *B* izračunamo:

$k_{TM} \approx \frac{\bar{e}^2}{2R^2} S$,

kjer je:

$\bar{e} = \frac{\bar{e}_A + \bar{e}_B}{2}$ = srednja oddaljenost od dotikalnega meridiana,

$\bar{e}_A$ = oddaljenost točke *A* od dotikalnega meridiana,

$\bar{e}_B$ = oddaljenost točke *B* od dotikalnega meridiana,

S = dolžina loka med točkama *A* in *B* na referenčni ploskvi,

R = srednji polmer ukrivljenosti elipsoida GRS80.

Dolžina, reducirana v TM projekcijsko ravnino je:

$$S_{TM} = S\left(1 + \frac{\bar{e}^2}{2R^2} - 0.0001\right) \tag{89}$$

Redukcije v GK in TM se razlikujejo samo po različnem izhodišču in s tem različno srednjo oddaljenostjo od dotikalnega meridiana ter polmerom *R*, ki ga računamo po enačbi (79).

3 IZRAVNAVA

Končni rezultat pri izravnavi opazovanj v položajni geodetski mreži so izravnane vrednosti opazovanj ter ocenjene vrednosti neznank, to je ocenjene vrednosti koordinat točk. Kadar je število merjenj večje kot pa jih je nujno potrebnih za enolično določitev vseh neznank v geodetski mreži, moramo opazovanja izravnati po metodi najmanjših kvadratov. Za uspešno uporabo te metode morajo biti rezultati meritev obremenjeni samo s slučajnimi vplivi oziroma v opazovanjih morajo biti prisotni samo slučajni pogreški. Izravnavo lahko opravimo v obliki posredne ali pogojne izravnave. Rezultat obeh postopkov izravnave je enak, zato je izbira izravnave povezana predvsem s primernostjo posamezne tehnike v rešitvi konkretnega problema.

3.1 Posredna izravnava

Danes se veliko uporablja posredna izravnava. Poleg izravnanih opazovanj in neznank, to je koordinat točk, dobimo kot rezultat še vsa merila natančnosti neznank ocenjenih v postopku izravnave. Poleg standardnih deviacij koordinat točk lahko skonstruiramo elipso pogreškov, ki prikaže položajno natančnost novo določene točke ali katerokoli drugo primerno merilo natančnosti ocenjenih neznank v geodetski mreži.

Izravnava poteka v dveh medsebojno neodvisnih fazah. Prva faza je določitev približnih vrednosti iskanih količin, ki jih izračunamo na osnovi minimalnega števila opazovanj s pomočjo enega ali več načinov računanja koordinat točk (glej poglavje 1). Druga faza je izračun popravkov opazovanj ter popravkov približnih vrednosti neznank, ki jih dobimo kot stranski rezultat izravnave. Pogoj, da lahko izravnavo izračunamo, je večje število merjenih količin od števila iskanih količin.

Pri posredni izravnavi se neznane količine x, y,...,t računajo preko niza merjenih količin l_1, l_2, …, l_n, katerim pripada matrika uteži **P**, pod pogojem, da je:

$$\mathbf{v}^T\mathbf{P}\mathbf{v} \rightarrow \min . \tag{90}$$

Pri tem smo uteži p_i zbrali v matriki uteži **P** in popravke v_i v vektorju popravkov **v**. Pri tem je število merjenih količin n vedno večje od števila iskanih količin u. Razlika $r = n - u$ je število nadštevilnih opazovanj.

Merjene in neznane količine so med seboj povezane z matematičnimi funkcijami, katerih oblika je odvisna od vrste merjene količine, geometrije problema in geodetskega datuma. Tako lahko za vsako merjeno količino, oziroma njeno ocenjeno vrednost l_i', pišemo:

$$l_i' = l_i + v_i = \mathrm{F}_i(x, y, ..., t), \qquad i = 1, 2, \ldots, n \tag{91}$$

Če so funkcije Fi, ki povezujejo opazovanj in neznanke nelinearne, jih lineariziramo tako, da jih razvijemo v Taylorjevo vrsto v bližini približnih vrednosti neznanih količin x_0, y_0, …, t_0 in v vrsti obdržimo samo člene prve stopnje:

$$l_i + v_i = \mathrm{F}_i(x_0, y_0, ..., t_0) + \left.\frac{\partial \mathrm{F}_1}{\partial x}\right|_0 \cdot \Delta x + \left.\frac{\partial \mathrm{F}_1}{\partial y}\right|_0 \cdot \Delta y + ... + \left.\frac{\partial \mathrm{F}_1}{\partial t}\right|_0 \cdot \Delta t, \tag{92}$$

kjer so Δx, Δy, …, Δt popravki približnih vrednosti neznank,

ali pisano v eksplicitni obliki:

$$v_i = a_i \Delta x + b_i \Delta y + ... + u_i \Delta t + (F_0 - l_i). \tag{93}$$

Pri tem so:

a_i, b_i, …, u_i: parcialni odvodi funkcije F_i po neznankah x, y, …, t v okolici približnih vrednosti,

F_0: vrednost funkcije F_i, določena v približnih vrednostih neznank x_0, y_0, …, t_0.

Enačbe (93) imenujemo enačbe popravkov, parcialne odvode po neznankah a_i, b_i, …, u_i koeficiente enačb popravkov in vrednosti (F_0-l_i) prosti členi enačb popravkov. Koeficienti so odvisni izključno od geometrije problema, vrste opazovanj in geodetskega datuma, prosti členi pa od vrednosti opazovanj in približnih vrednosti neznank.

Linearni sistem enačb popravkov (93) ima več rešitev. Enolično rešitev dobimo z zahtevo, da je:

$$\mathbf{v}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{v} \rightarrow \min .$$

Z izpolnitvijo tega pogoja dobimo sistem *u* linearnih enačb z *u* neznankami, katerega rešitev so ocenjene vrednosti popravkov približnih vrednosti neznan. Ta sistem *u* linearnih enačb z *u* neznankami imenujemo tudi normalne enačbe.

Ocenjene vrednosti neznank so potem:

$$\begin{aligned} \hat{x} &= x_0 + \Delta x \\ \hat{y} &= y_0 + \Delta y \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \hat{t} &= t_0 + \Delta t \end{aligned} \qquad (94)$$

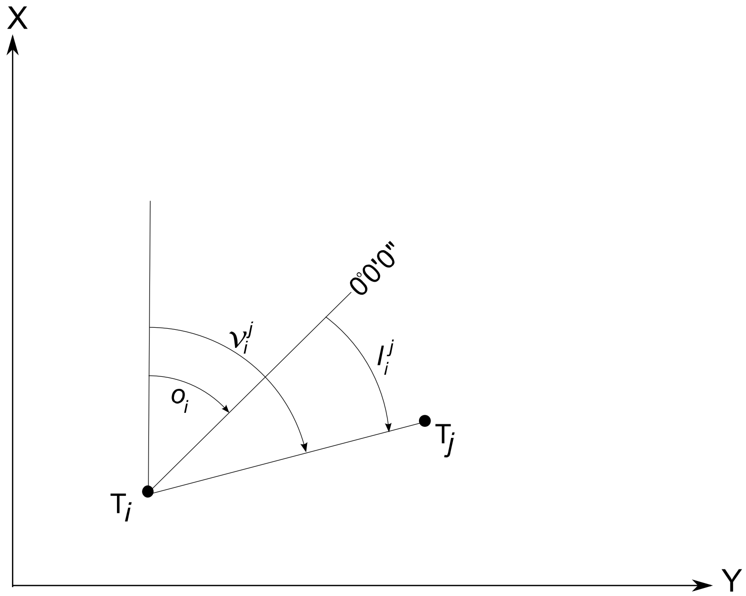
3.2 Sestava enačb popravkov za različne tipe opazovanj

Najprej moramo določiti funkcijsko odvisnost opazovanih smeri, dolžin in iskanih koordinat.

3.2.1 Enačbe popravkov za smeri

Če z o_i označimo približni orientacijski kot in z Δo njegov popravek, potem lahko pišemo izraz smernega kota n_i^j na točki T_i proti točki T_j:

$$n_i^j = l_i^j + v_{ij} + o_i + \Delta o_i \qquad (95)$$



Slika 18: Zveza med opazovanimi količinami in neznankami za opazovane smeri

Smerni kot lahko izrazimo tudi kot funkcijo koordinat točk T_i in T_j:

$$n_i^j = \arctan\left(\frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}\right) \tag{96}$$

Če izraz (96) vstavimo v izraz (95) in ga preuredimo, dobimo funkcijsko zvezo med opazovanimi smermi in neznankami:

$$F_i : l_{ij} + v_{ij} = \arctan\frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} - o_i - \Delta o_i \,.$$

Funkcijsko zvezo lineariziramo. Po ureditvi dobimo:

$$v_{ij} = -\Delta o_i + a_{ij}\Delta x_i + b_{ij}\Delta y_{\mathrm{i}} + \mathrm{c}_{ij}\Delta x_j + d_{ij}\Delta y_j + f_{ij} \tag{97}$$

Pri tem velja:

$$a_{ij} = \frac{r'' \sin n_i^{0j}}{d^0_{ij}}, \tag{98}$$

$$b_{ij} = -\frac{r'' \cos n_i^{0j}}{d^0_{ij}}, \tag{99}$$

$$c_{ij} = -a_{ij}, \tag{100}$$

$$d_{ij} = -b_{ij}, \tag{101}$$

$$f_{ij} = n_i^{0j} - (l_{ij} + o_i). \tag{102}$$

n_i^{0j} je smerni kot na točki T_i proti točki T_j, izračunana iz približnih vrednosti koordinat točk
d^0_{ij} je dolžina med točkama T_i in T_j, izračunana iz približnih vrednosti koordinat točk
ρ" je faktor pretvorbe radianov v sekunde.

Enačba (97) predstavlja enačbo popravka za smer iz nove točke proti novi točki. Če je ena od točk T_i ali T_j dana točka, potem so ustrezni odvodi po koordinatah teh točk enaki nič in enačba (97) dobi ustrezno krajšo obliko.

Za primer, da je točka T_j dana in T_i nova točka (notranja smer), se enačba popravka (97) glasi:

$$v_{ij} = -\Delta o_i + a_{ij}\Delta x_i + b_{ij}\Delta y_i + f_{ij} \tag{103}$$

V primeru, da je dana točka T_i in nova točka T_j (zunanja smer), dobimo:

$$v_{ij} = -\Delta o + c_{ij}\Delta x_j + d_{ij}\Delta y_j + f_{ij} \tag{104}$$

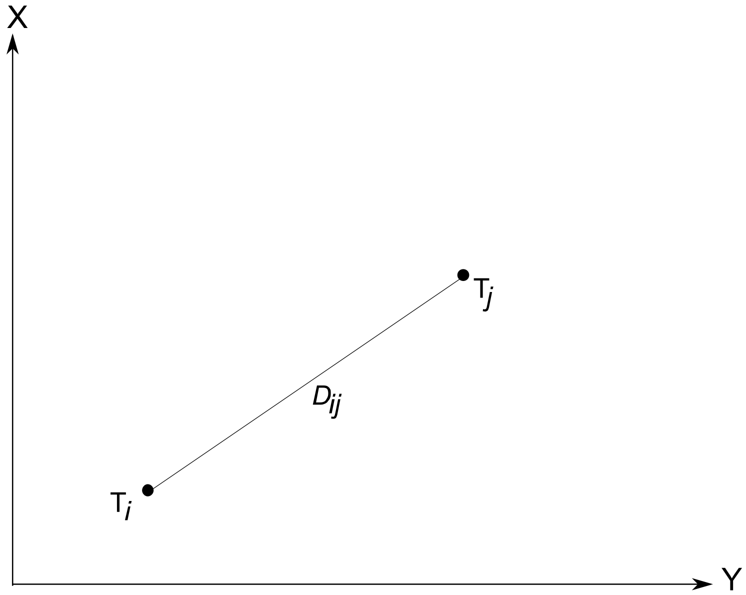
Smeri iz dane točke proti dani točki (orientacijske smeri) pa dobijo enačbo:

$$v_{ij} = -\Delta o + f_{ij} \tag{105}$$

3.2.2 Enačbe popravkov za dolžine

Ocenjena vrednost dolžine d_{ij} med točkama T_i in T_j je enaka merjeni dolžini D_{ij}, kateri dodamo popravek v_{ij}:

$$d_{ij} = D_{ij} + v_{ij}. \tag{106}$$



Slika 19: Merjena dolžina D_{ij}

Dolžino lahko izračunamo tudi kot funkcijo koordinat točk T_i in T_j:

$$d_{ij} = \sqrt{(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2} \tag{107}$$

$$\mathrm{F_i} : D_{ij} + v_{ij} = \sqrt{(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2} \tag{108}$$

Izraz (107) lineariziramo in ga vstavimo v izraz (106). Po ureditvi dobimo:

$$v_{ij} = a_{ij}\Delta x_i + b_{ij}\Delta y_i + c_{ij}\Delta x_j + d_{ij}\Delta y_j + f_{ij} \tag{109}$$

Pri tem velja:

$$a_{ij} = \frac{\partial \mathrm{F_i}}{\partial x_i} = -\cos n\,{}^{0}{}_{i}^{j}\,, \tag{110}$$

$$b_{ij} = \frac{\partial \mathrm{F_i}}{\partial y_i} = -\sin n\,{}^{0}{}_{i}^{j}\,, \tag{111}$$

$$c_{ij} = \frac{\partial \mathrm{F_i}}{\partial x_j} = \cos n\,{}^{0}{}_{i}^{j}\,, \tag{112}$$

$$d_{ij} = \frac{\partial \mathrm{F_i}}{\partial y_j} = \cos n\,{}^{0}{}_{i}^{j} \tag{113}$$

$$f_{ij} = d^{0}{}_{ij} - D_{ij} \tag{114}$$

$d^{0}{}_{ij}$ je približna dolžina med točkama T_i in T_j ,izračunana iz približnih koordinat.

Enačba (109) predstavlja enačbo popravka za dolžino iz dane točke proti dani točki. Če je točka T_j dana točka in T_i nova točka, se enačba popravka glasi:

$$v_{ij} = a_{ij}\Delta x_i + b_{ij}\Delta y_i + f_{ij}. \tag{115}$$

Če pa je T_i dana in T_j nova točka pa:

$$v_{ij} = c_{ij}\Delta x_j + d_{ij}\Delta y_\mathrm{j} + f_{ij}. \tag{116}$$

Dolžina iz dane točke proti dani točki dobi enačbo popravka:

$$v_{ij} = f_{ij}. \tag{117}$$

3.2.2.1 Deformacija merila mreže

Pri izravnavi opazovanj v geodetski mreži izberemo za dane količine predhodno določene točke, ki pa so tudi določene z neko natančnostjo, kar lahko povzroči v mreži določene napetosti. Pri smereh se napetost v mreži prenese na orientacijsko neznanko, ki jo vpeljemo tudi na danih točkah. Pri dolžinah pa vpeljemo faktor deformacije merila mreže. Ta faktor lahko ugotovimo iz raziskav posameznih delov mreže ali pa ga uvedemo kot neznanko v izravnavo.

Dolžino med točkama izrazimo kot:

$$d_{ij} = D_{ij} + v_{ij} + s_{ij} , \tag{118}$$

kjer je s_{ij} popravek izmerjene dolžine zaradi deformacije merila mreže.

Če ta popravek dolžine izrazimo relativno glede na dolžino, dobimo faktor deformacije merila mreže d_s:

$$d_s = \frac{s_{ij}}{d_{ij}} . \tag{119}$$

Popravek dolžine je potem:

$$v_{ij} = d_{ij} - D_{ij} - d_{ij}d_s . \tag{120}$$

Po linearizaciji izraza funkcijske zveze za dolžino (107) in predpostavki, da je $d_{ij} \approx D_{ij}$, dobimo enačbo popravka za dolžino med dvema novima točkama:

$$v_{ij} = a_{ij}\Delta x_i + b_{ij}\Delta y_i + c_{ij}\Delta x_j + d_{ij}\Delta y_j - D_{ij}d_s + f_{ij}. \tag{121}$$

Če je točka T_i nova točka in T_j dana točka, se enačba popravka glasi:

$$v_{ij} = a_{ij}\Delta x_i + b_{ij}\Delta y_i - D_{ij}d_s + f_{ij}. \tag{122}$$

V primeru, da je T_i dana točka in T_j nova točka, se enačba popravka glasi:

$$v_{ij} = c_{ij}\Delta x_j + d_{ij}\Delta y_j - D_{ij}d_s + f_{ij}. \tag{123}$$

Dolžina med dvema danima točkama dobi enačbo:

$$v_{ij} = - D_{ij}d_s + f_{ij}. \tag{124}$$

3.3 Uteži opazovanj

Preden začnemo z izravnavo, moramo predhodno obdelati izmerjene rezultate. Poleg vrednosti izmerjene količine nas zanima tudi natančnost, s katero je ta količina izmerjena. Natančnost izmerjene količine izražamo s srednjim pogreškom *m* oziroma standardno deviacijo σ tega opazovanja. Z njuno pomočjo po enačbi:

$$p = \frac{K}{m^2} \tag{125}$$

izračunamo utež posamezne meritve. K je poljubna konstanta.

Pri kombiniranih mrežah pa moramo poiskati še pravilen odnos med natančnostjo smeri in dolžin. V ta namen si izberemo utežno enoto za smeri in dolžine. To pomeni, da si izberemo fiktivni opazovanji (smer in dolžino), ki naj imata v izravnavi enako utež. Utež poljubne smeri potem izračunamo po enačbi:

$$P_S = \frac{K}{M_{0S}^2} \cdot p_S \, ; \tag{126}$$

utež poljubne dolžine pa po enačbi:

$$P_D = \frac{K}{M_{0D}^2} \cdot p_D \tag{127}$$

K je poljubna konstanta,
M_{0S} je srednji pogrešek utežne enote smeri,
M_{0D} je srednji pogrešek utežne enote dolžin,
P_S je utež smeri v izravnavi,
p_s je utež izmerjene smeri,
P_D je utež dolžine v izravnavi in
p_D je utež izmerjene dolžine.

Uteži določimo na osnovi predhodne ocene ali pa na osnovi teoretičnih in praktičnih predpostavk. Pri predhodni oceni se opiramo na opravljene meritve in poznavanje uporabljenega instrumentarija.

3.4 Sestava normalnih enačb

Enačbe popravkov (93) lahko zapišemo v matrični obliki:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \Delta\mathbf{x} + \mathbf{f} \tag{128}$$

Pri tem je:

A - matrika koeficientov enačb popravkov,
$\Delta\mathbf{x}$ je vektor popravkov približnih vrednosti neznank,
f je vektor prostih členov enačb popravkov in
v je vektor popravkov opazovanj.

Pogoj minimuma $\mathbf{v}^T\mathbf{P}\mathbf{v} \rightarrow \min$. vključuje tudi matriko uteži **P**, ki je za primer nekoreliranih opazovanj diagonalna matrika, za primer koreliranih opazovanj pa simetrična kvadratna matrika:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & p_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & p_n \end{bmatrix} \text{ ali } \mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_1 & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_2 & \cdots & p_{21} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_n \end{bmatrix} \tag{129}$$

Normalne enačbe v matrični obliki so oblike:

$$\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{A}\Delta\mathbf{x} + \mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{f} = 0 , \tag{130}$$

ali krajše:

$$\mathbf{N}\Delta\mathbf{x} + \mathbf{n} = 0 , \tag{131}$$

kjer je **N** matrika koeficientov normalnih enačb in **n** vektor prostih členov normalnih enačb.

Vektor popravkov približnih vrednosti neznanko dobimo z rešitvijo sistema normalnih enačb:

$$\Delta\mathbf{x} = -\mathbf{N}^{-1}\mathbf{n}. \tag{132}$$

3.5 Homogenizacija enačb popravkov

Kadar v izravnavo vključimo opazovanja različne natančnosti, vsakemu opazovanju dodelimo odgovarjajočo utež. Včasih pa želimo prevesti ta sistem enačb popravkov v ekvivalentnega tako, da pridobijo vsa opazovanja enako utež. Pri tem uporabljamo t.i. tretje. Schreiberjevo pravilo, ki pravi, da lahko enačbo popravka, ki pripada opazovanju z utežjo p_i:

$$v = ax + by + \ldots + ut + f, \tag{133}$$

nadomestimo z ekvivalentno enačbo popravka, ki pripada istemu opazovanju, ki pa ima sedaj utež enako p/q^2:

$$v' = qv, \tag{134}$$

Če izberemo za obravnavano opazovanje utež p vrednost q^2, je utež ekvivalentnega opazovanja enaka 1. Enačba popravka je na koncu enaka prvotni, vendar pomnoženi z vrednostjo $\sqrt{p}$.

3.6 Ocena natančnosti

Globalno merilo kakovosti opazovanj in matematičnega modela podaja referenčna standardna deviacija a-posteriori $\hat{s}_0$ in se izračuna po enačbi:

$$\hat{s}_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{(n-u)}}. \tag{135}$$

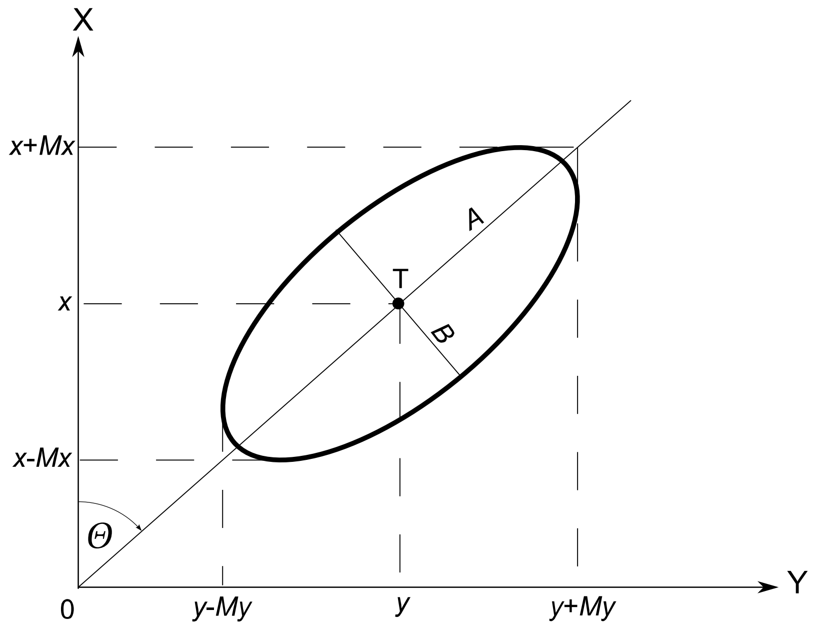
Srednji pogrešek (standardna deviacija) neznanih količin pa je poleg natančnosti izmerjenih količin odvisen od geometrije problema, vrste opazovanj in geodetskega datuma. Vse te informacije vsebuje matrika kofaktorjev ocenjenih neznank, ki jo uporabimo za določitev natančnosti ocenjenih vrednosti neznank:

$$\begin{aligned} \mathrm{M}_x &= \hat{s}_x = \mathrm{M}_0\sqrt{q_{xx}}\ , \\ \mathrm{M}_y &= \hat{s}_y = \mathrm{M}_0\sqrt{q_{yy}}\ , \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ \mathrm{M}_t &= \hat{s}_t = \mathrm{M}_0\sqrt{q_{tt}}\ . \end{aligned} \tag{136}$$

Pri tem so q_{xx}, q_{yy}, …, q_{tt} kofaktorji ocenjenih neznank, M_0 pa srednji pogrešek utežne enote.

Ali bomo v zgornji enačbi uporabili referenčno varianco a-posteriori $\hat{s}_0^2$ ali referenčno varianco a-priori s_0^2, pa je odvisno od izida globalnega testa modela, ki je test razmerja med referenčne variance a-posteriori $\hat{s}_0^2$ in referenčne variance a-priori s_0^2. Z globalnim testom modela lahko ugotavljamo prisotnost grobo pogrešenih opazovanj v mreži, vendar ker v primeru zanesljivo znane a-priori referenčne variance. V primeru, da globalni test kaže na neskladje med opazovanji in modelom, moramo pregledati, odkriti in izločiti grobo pogrešena opazovanja z Baardovo metodo (angl. Data Snooping) *(Savšek Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G., 2003).*

Za prikaz natančnosti določitve koordinat točk pa poleg srednjih pogreškov posameznih koordinat točke zanima tudi položajni pogrešek M_p in elipsa pogreškov vsake točke:



Slika 20: Elipsa pogreškov

$$M_p = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \tag{137}$$

$$A = M_0 \sqrt{\frac{q_{ii} + q_{kk} + h}{2}} \tag{138}$$

$$B = M_0 \sqrt{\frac{q_{ii} + q_{kk} - \left((q_{ii} + q_{kk})^2 + 4q_{ik}^2\right)}{2}} \, , \tag{139}$$

$$tg\,2\Theta = \frac{2q_{ik}}{q_{ii} - q_{kk}} \; . \tag{140}$$

Pri tem velja:

i = 1, 3, 5, …, *u*-1

k = 2, 4, 6, …, *u*

A = velika polos elipse pogreškov

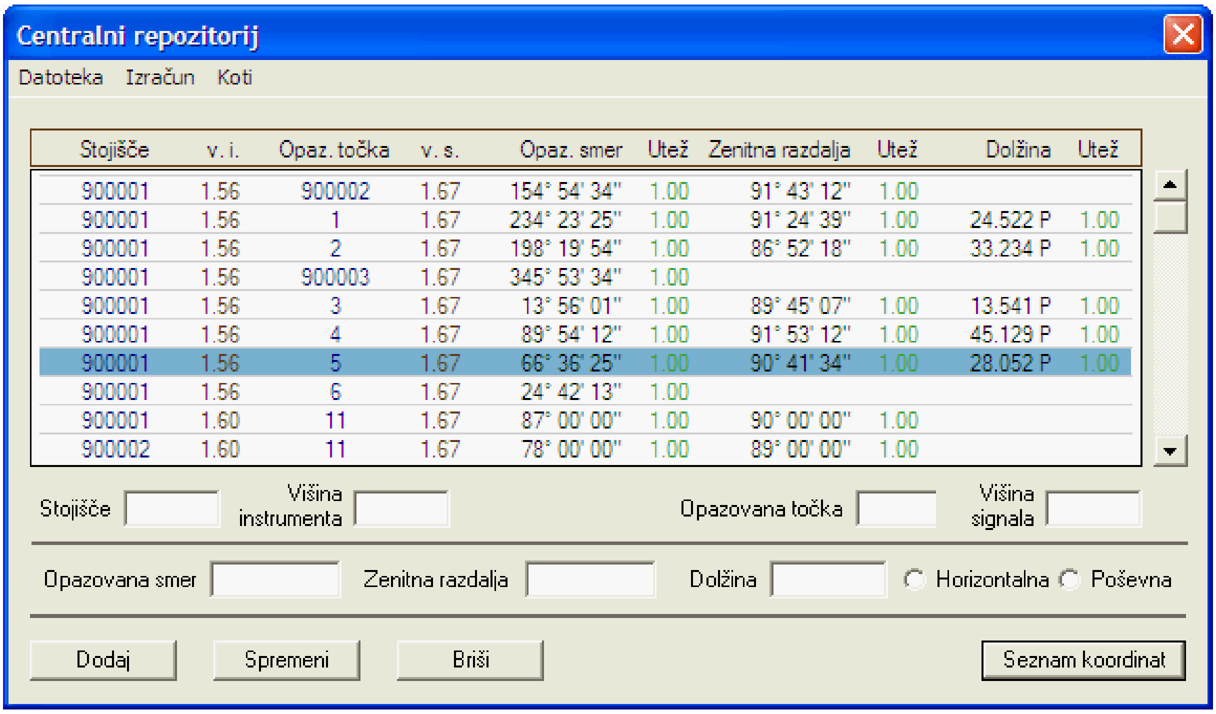
B = mala polos elipse pogreškov

Θ = smerni kot (azimut) velike osi elipse pogreškov.

4 UPORABNIŠKI VMESNIK

Uporabniškim vmesnikom se včasih posveča premalo pozornosti. Prvi stik uporabnika s programom bi moral biti tak, da bi uporabnik osnovne korake razumel že brez dodatnih razlag, branja priložene pomoči in izobraževalnih tečajev. Preglednost in logična zgradba vmesnika doprinese k večji učinkovitosti.

Osrednje pogovorno okno v programu za kombinirani izračun koordinat naj vsebuje seznam, v katerem bodo evidentirane vse meritve, na podlagi katerih bo program izračunaval koordinate novih točk. Ta osrednji seznam meritev bomo v nadaljevanju imenovali *centralni repozitorij* (Slika 21).

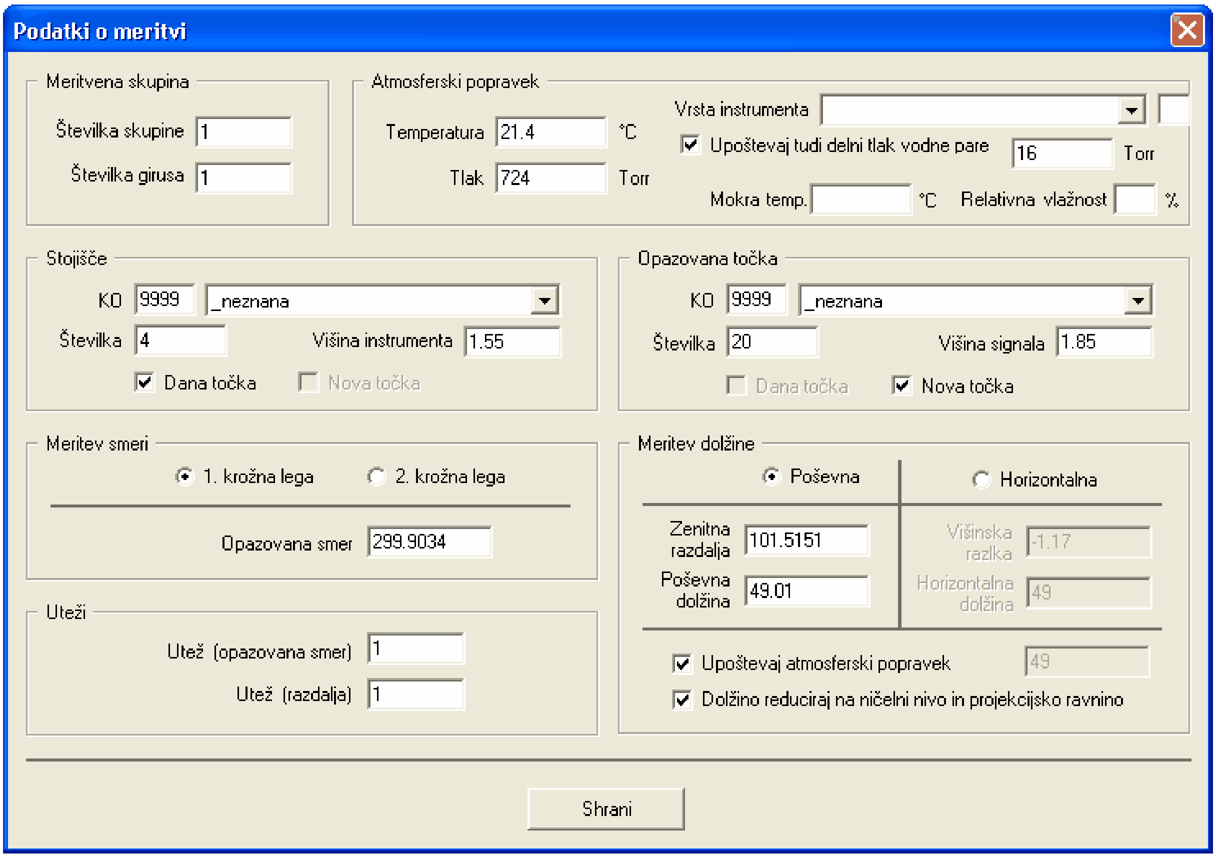


Slika 21: Centralni repozitorij - osnovno okno uporabniškega vmesnika

Centralni repozitorij naj bo možno polniti na dva načina: z ročnim vnosom podatkov ali z neposrednim uvozom podatkov meritev iz izmenjevalne datoteke, ki jo posreduje geodetski instrument. Vsaka vrstica podatkov v repozitoriju naj predstavlja eno meritev (opazovanje) s stojišča do opazovane točke in mora vsebovati (lahko vsebuje) naslednje atribute:

- Številka stojišča *(obvezen podatek)*
- Višina instrumenta *(odvisno od vrste meritve)*
- Številka opazovane točke *(obvezen podatek)*
- Višina signala *(odvisno od vrste meritve)*
- Opazovana smer med stojiščem in opazovano točko *(odvisno od vrste meritve)*
- Zenitna razdalja (vertikalni kot) do opazovane točke *(odvisno od vrste meritve)*
- Dolžina med stojiščem in opazovano točko *(odvisno od vrste meritve)*
- Vrsta dolžine (horizontalna ali poševna) *(obvezen podatek, če je dolžina podana)*
- Vrsta instrumenta ter temperatura, zračni tlak in delni tlak vodne pare (ali pa mokra temperatura oziroma relativna vlažnost zraka) v času opazovanja *(obvezen podatek, če želimo da program merjeno dolžino korigira z atmosferskim popravkom, je vsaj temperatura in zračni tlak)*
- Utež za opazovano smer *(obvezen podatek, če je podana opazovana smer – privzeta vrednost uteži naj bo 1)*
- Utež za zenitno razdaljo *(obvezen podatek, če je podana zenitna razdalja– privzeta vrednost uteži naj bo 1)*
- Utež za dolžino *(obvezen podatek, če je podana dolžina – privzeta vrednost uteži naj bo 1)*
- Številka meritvene skupine *(obvezen podatek, če imamo več skupin meritev iz istega stojišča, sicer naj bo privzeta vrednost za meritveno skupino 1)*
- Številka girusa *(obvezen podatek v primeru girusnih meritev, sicer vrednost 1)*

V pogovornem oknu s centralnim repozitorijem naj bodo prikazani samo najpomembnejši atributi meritev, v kar se da kompaktni obliki, da bo vsebina čim bolj pregledna in čitljiva. Vse ostale atribute (ki ne bodo prikazani v repozitoriju) si naj bo moč ogledati (in spreminjati) s klikom na posamezno vrstico repozitorija, tako da se bodo odprli v posebnem pogovornem oknu Podatki o meritvi (Slika 22).



Slika 22: Pogovorno okno za urejanje podatkov posamezne meritve

Omogočeno mora biti hkratno spreminjanje atributov za več meritev naenkrat. Zato naj bo možno v centralnem repozitoriju izbrati več vrstic naenkrat in nato v pogovornem oknu s podatki o meritvi določiti skupne enake atribute za vse izbrane meritve hkrati.

4.1 Razlikovanje med danimi in novimi točkami

Pri vsaki meritvi gre za opazovanje s stojišča do opazovane točke. Tako pri stojišču, kakor tudi pri opazovani točki, gre lahko za znano (dano) ali neznano (novo) točko. Uporabnik naj ima možnost pri vsaki meritvi stojišče in opazovano točko eksplicitno označiti kot *dano* ali *novo*.

Program se naj o tem, ali je neka točka dana ali nova, zato odloči na podlagi naslednjega kriterija:

- Če je točka eksplicitno označena kot »dana točka«, jo naj program obravnava kot obstoječo točko *(in javi napako, če točke v resnici ni ne v bazi, ne v seznamu približnih koordinat).*
- Če je točka eksplicitno označena kot »nova točka«, jo naj program obravnava kot novo točko, tudi če točka že obstaja v bazi ali v seznamu približnih koordinat.
- Če točka ni eksplicitno označena kot dana ali nova, jo naj program obravnava kot dano, če točka že obstaja v bazi ali seznamu približnih koordinat, sicer jo naj obravnava kot novo točko.

Če bo uporabnik izračun koordinat novih točk zahteval samo enkrat, eksplicitno ločevanje točk na *dane* in *nove* ne bo potrebno. Eksplicitno označevanje (predvsem novih točk) bo smiselno le v primeru, če bo izračun ponovljen večkrat (ob morebitni spremembi določenih parametrov). V tem primeru bi program vse že izračunane (nove) točke smatral kot obstoječe točke in bi zato bilo potrebno pred vsako ponovitvijo izračuna točke brisati iz baze (ali seznama približnih koordinat). Z možnostjo eksplicitne označitve točk pa se bo moč temu dejanju izogniti, zato bodo morebitne ponovitve izračunov hitrejše in enostavnejše.

4.2 Atmosferski popravek dolžine

V teoriji se lahko atmosferske razmere spreminjajo pri vsaki posamezni meritvi, tudi če gre za meritve z istega stojišča v sklopu ene skupine meritev. Zato naj bo možno atmosferske parametre, temperaturo, zračni tlak in delni tlak vodne pare oziroma relativno vlažnost, podati ločeno za vsako meritev posebej. Teoretično bi lahko v isti repozitorij naložili podatke, ki so bili izmerjeni z različnimi merilnimi instrumenti, zato naj bo tudi vrsto instrumenta (in s tem karakteristike instrumenta) moč pripisati vsaki meritvi posebej.

Kljub temu bo v praksi največkrat nastopila situacija, ko bodo vse meritve opravljene z istim instrumentom in v enakih vremenskih pogojih. Zato naj bo pred vnosom podatkov v centralni repozitorij možno nastaviti privzete vrednosti za temperaturo, zračni tlak, delni tlak vodne pare oziroma relativno vlažnost ter izbrati privzet tip instrumenta. Tako bodo vsi vneseni podatki samodejno pridobili te privzete vrednosti, ne da bi jih moral uporabnik naknadno nastavljati.

Ker se lahko zgodi, da so bili atmosferski popravki že upoštevani pri sami meritvi, oziroma je dolžina, ki jo vnašamo v centralni repozitorij, že reducirana z atmosferskim popravkom, mora imeti uporabnik možnost, da za vsako meritev posebej označi, ali naj program dolžino reducira z atmosferskim popravkom, ali ne. Zato bi bilo smiselno, da se lahko v naprej, kot privzeto, določiti tudi, ali se naj - generalno - atmosferski popravki računajo, ali ne.

Za izračun atmosferskega popravka naj program uporabi enačbe, podane v poglavju 2.1. izmed podatkov, ki je potreben za izračun atmosferskega popravka, je tudi referenčni lomni količnik n_0, ki je odvisen od tipa instrumenta. Če dokumentacija instrumenta ne navaja referenčnega lomnega količnika, je le-tega potrebno izračunati na podlagi modulacijske valovne dolžine in modulacijske frekvence instrumenta. Zato naj program vsebuje tudi seznam najpogosteje uporabljanih instrumentov z ustreznimi karakteristikami. Uporabnik pa naj ima možnost ta seznam dopolniti ali popraviti s podatki za svoj instrument, če ga v seznamu še ni.

4.3 Geometrični in projekcijski popravek dolžine

Podobno kot pri atmosferskih popravkih, se lahko tudi pri geometričnih in projekcijskih popravkih dolžine zgodi, da sta bili redukcija površino elipsoida in redukcija na projekcijsko ravnino nastavljeni in upoštevani že na samem instrumentu, oziroma so dolžine, ki jih uporabnik vnaša ročno, že reducirane. Zato mora imeti uporabnik možnost, da za vsako meritev posebej označi, ali naj program dolžino še reducira na površino elipsoida in projekcijsko ravnino.

Prav tako naj ima uporabnik možnost v naprej, kot privzeto, določiti, ali se naj za vse nadaljnje vnose geometrični popravki računajo, ali ne. Hkrati naj uporabnik izbere tudi koordinatni sistem s projekcijsko ravnino (Gauß-Krüger ali ETRS), na katero se bo računala redukcija. Za izračun geometričnih popravkov naj program uporabi enačbe, podane v poglavju 2.2.

4.4 Uvoz podatkov iz izmenjevalne datoteke

Razen ročnega vnosa podatkov v centralni repozitorij, naj program omogoča polnjenje repozitorija tudi neposredno iz izmenjevalne datoteke, ki jo posreduje merilni instrument. V prvi fazi je v programu potrebno realizirati avtomatski prevzem meritev iz datotek v formatu GSI, ki jih zapisujejo instrumenti znamke Leica.

Če so v izmenjevalni datoteki zapisani tudi atmosferski podatki, jih naj program ob prevzemu podatkov zajame in pripiše k vsaki meritvi, ki jo bo dodal v repozitorij. Program mora pravilno interpretirati 8-mestni in 16-mestni zapis datoteke GSI. Primer datoteke GSI je v prilogi B.

4.5 Izračun srednjih vrednosti (krčenje centralnega repozitorija)

Meritev s stojišča do opazovane točke je lahko opravljena v dveh krožnih legah. Razen tega je lahko ista skupina meritev izvedena v več girusih. V obeh primerih mora program iz množice meritev, ki so bile izvedene nad enim in istim parom »stojišče-opazovana_točka«, izračunati srednjo vrednost opazovane smeri (po potrebi pa tudi zenitne razdalje in dolžine) ter pri izračunu približnih koordinat opazovane točke uporabiti srednje vrednosti omenjenih meritev.

4.5.1 Krčenje repozitorija

Uporabnik naj ima možnost zahtevati redukcijo (krčenje) centralnega repozitorija. Krčenje naj poteka po naslednjem postopku:

- Uporabnik izbere vse vrstice v repozitoriju, ki jih želi skrčiti.

- Program med izbranimi vrsticami poišče večkratne meritve opazovane točke z istega stojišča in jih v repozitoriju nadomesti z eno samo meritvijo, ki vsebuje srednje vrednosti vseh izmerjenih karakteristik.

4.5.2 Izračun srednje vrednosti med prvo in drugo krožno lego

Vse meritve med istim parom »stojišče-opazovana_točka«, ki so v isti skupini meritev in v istem girusu, naj program razume kot eno množico meritev, iz katere je potrebno izračunati srednje vrednosti merjenih podatkov. Omogočeno naj bo poljubno število meritev med istim parom »stojišče-opazovana_točka«.

Prvo meritev iz množice meritev nad istim parom »stojišče-opazovana_točka« naj program razume kot meritev v prvi krožni legi. Druga (in vse morebitne nadaljnje) meritve nad istim parom »stojišče-opazovana_točka« naj program interpretira po naslednjem pravilu:

- Če se opazovana smer dane meritve le minimalno razlikuje od opazovane smeri prve meritve, je tudi dana meritev v prvi krožni legi.
- Če se opazovana smer dane meritve od opazovane smeri prve meritve razlikuje za približno 180˚, je dana meritev v drugi krožni legi.
- Če je merjena zenitna razdalja, lahko program na podlagi njene velikosti ugotovi, v kateri krožni legi je bila smer opazovana. Če je zenitna razdalja med 0˚ in 180˚, je smer opazovana v prvi krožni legi, če pa je zenitna razdalja med 180˚ in 360˚, je smer opazovana v drugi krožni legi.

V izmenjalnih datotekah so girusne meritve ponavadi kodirane (glej poglavje 4.4). S tem odpadejo označevanja meritev s številkami girusov in številkami krožnih leg (tudi če se meri samo v enem girusu, se številke krožnih leg zapišejo), določiti je potrebno samo skupino meritev.

Program naj izračuna uteženo srednjo vrednost opazovane smeri iz vseh meritev v množici. Če sta tudi zenitna razdalja in dolžina merjena večkrat, naj program hkrati izračuna še njuno srednjo vrednost (upoštevajoč uteži). Če je uporabnik zahteval krčenje repozitorija, naj program vse meritve iz množice nadomesti z eno samo meritvijo, ki bo imela namesto merjenih podatkov zapisane srednje vrednosti.

Uporabnik naj ima možnost izpisa odstopanj posameznih smeri od srednje vrednosti.

4.5.3 Izračun srednje vrednosti med girusi

Če je bila meritev med istim parom »stojišče-opazovana_točka« izvedena v več girusih, naj program izračuna uteženo srednjo vrednost opazovane smeri med vsemi girusi. Če sta bila tudi zenitna razdalja in dolžina merjena večkrat, naj program hkrati izračuna tudi srednjo vrednost zenitne razdalje in/ali dolžine (upoštevajoč uteži). Če je bila znotraj enega girusa opravljena večkratna meritev med istim parom »stojišče-opazovana_točka« (v eni ali dveh krožnih legah), naj program najprej izračuna srednjo vrednost med krožnimi legami v vsakem posameznem girusu in nato te srednje vrednosti uporabi za izračun srednje vrednosti med girusi. Izračun srednje vrednosti med prvo in drugo krožno lego mora zato biti izveden pred izračunom srednje vrednosti med girusi.

Če je uporabnik zahteval krčenje repozitorija, naj program vse girusne meritve med istim parom »stojišče-opazovana_točka« nadomesti z eno samo meritvijo, ki bo imela namesto merjenih podatkov zapisane srednje vrednosti.

Uporabnik naj ima možnost izpisa odstopanj posameznih smeri od srednje vrednosti.

4.5.4 Izračun srednjih vrednosti ob uvozu podatkov iz izmenjevalne datoteke

Pri polnjenju repozitorija neposredno iz izmenjevalne datoteke naj ima uporabnik možnost zahtevati takojšen izračun srednjih vrednosti in krčenje podatkov, če so v izmenjevalni datoteki meritve v dveh krožnih legah in/ali več girusih.

V tem primeru naj program podatke najprej v celoti prepiše iz izmenjevalne datoteke v centralni repozitorij, jih nato označi in na koncu samodejno sproži postopek izračuna srednjih vrednosti in krčenja podatkov, kot je bilo opisano v prejšnjih poglavjih.

V izmenjalnih datotekah so girusne meritve ponavadi kodirane (glej poglavje 4.4). S tem odpadejo označevanja meritev s številkami girusov in številkami krožnih leg, določiti je potrebno samo skupino meritev.

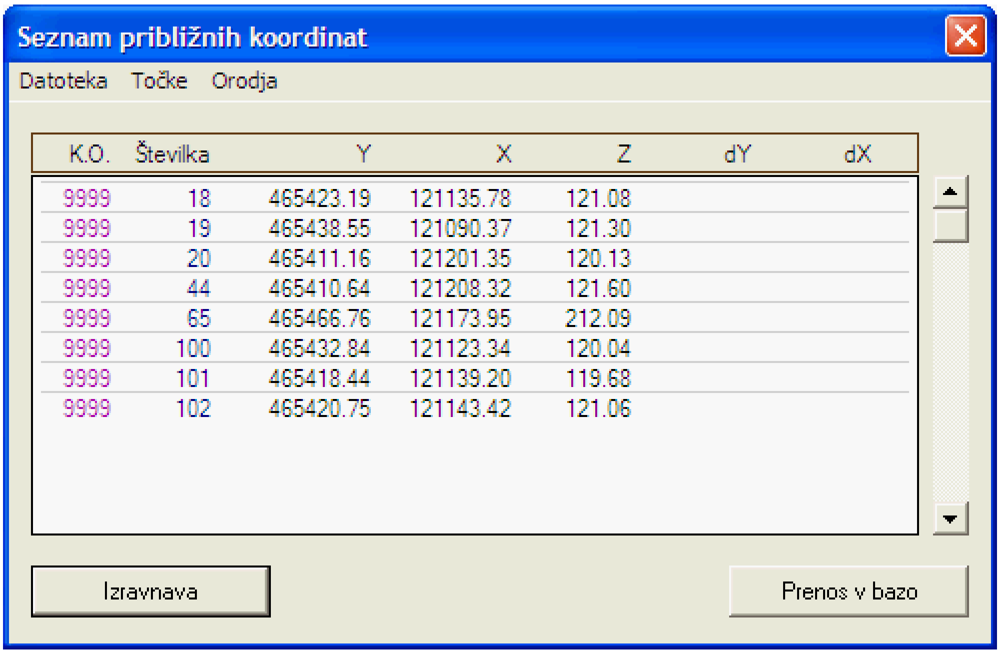
Če girusne meritve niso kodirane, bo moral program samodejno identificirati posamezne giruse. Program naj med girusi loči na naslednji način:

- Vse zaporedne meritve z istega stojišča naj predstavljajo isto skupino meritev in program jim naj dodeli enako številko skupine.
- Prvi meritvi v skupini naj program dodeli tekočo številko girusa 1.
- Vse naslednje meritve iz iste skupine meritev naj dobijo tekočo številko girusa.
- Ko znotraj iste skupine meritev program naleti na par »stojišče-opazovana_točka«, ki je bil v tekočem girusu že obravnavan, vendar tokrat opazovana smer ni ne podobna prvotni opazovani smeri, niti se od prvotne opazovane smeri ne razlikuje za približno 180˚, naj program poveča tekočo številko girusa.
- Vse naslednje meritve iz iste skupine dobijo novo (povečano) številko girusa, dokler ponovno ne nastopi pravkar opisana situacija, ko se številka girusa ponovno poveča.
- Ko se spremeni stojišče, se poveča tekoča skupina meritev, številka girusa pa se ponovno postavi na 1.
- V vsakem girusu je potrebno imeti identične opazovane točke. Za točke, ki ne nastopajo v obeh girusih, se sklepa, da so iz druge skupine meritev.

4.6 Izračun približnih koordinat

Osrednja naloga programa je, da na podlagi meritev, ki se nahajajo v centralnem repozitoriju, izračuna (približne) koordinate novih točk. Izračunane približne koordinate naj program zapisuje v poseben *seznam približnih koordinat*. Ta seznam naj bo uporabniku v vsakem trenutku na voljo za ogled in naj vsebuje naslednje podatke (Slika 23):

- Številka točke
- Y, X in Z koordinata točke
- Popravek v Y in X smeri (znano šele po izravnavi)



Slika 23: Seznam približnih koordinat

Za izračun približnih koordinat naj program uporabi eno izmed naslednjih metod:

- Tahimetrija s poševnimi dolžinami
- Poligon (priklepni in zaključeni)
- Zunanji urez
- Notranji urez
- Ločni presek

Program naj omogoča izračunati približne koordinate novih točk na dva načina:

- Uporabnik interaktivno označi ustrezne vrstice v centralnem repozitoriju in nato eksplicitno izbere primerno metodo za izračun približnih koordinat samo za izbrane vrstice.
- Program sam izbere ustrezno metodo (ali kombinacijo metod), tako da zagotovi izračun približnih koordinat vseh neznanih točk v repozitoriju.

Vse nove točke, ki jih bo program uspel izračunati, se naj zapišejo (skupaj s svojimi koordinatami) v seznam približnih koordinat. Če v seznamu približnih koordinat že obstaja točka z enako številko in ima drugačne koordinate od pravkar izračunanih, mora program uporabniku ponuditi naslednje tri možnosti:

- ALI: točka obdrži obstoječe (že prej izračunane) koordinate
- ALI: točka prevzame nove (pravkar izračunane) koordinate
- ALI: točka dobi srednjo vrednost med obstoječimi in pravkar izračunanimi koordinatami

Uporabnik se lahko odloči, da bo postopal enako pri vseh morebitnih nadaljnjih konfliktih tega tipa. V takem primeru naj program vprašanja ne ponavlja, ampak pri vseh morebitnih nadaljnjih konfliktih samodejno reagira na izbran način.

Če repozitorij še ni skrčen (če so med meritvami večkratna opazovanja iste točke, opazovanja v dveh krožnih legah ali opazovanja v več girusih), mora program meritve predhodno (interno/začasno) skrčiti, kot je bilo opisano v poglavjih 4.5.2 in 4.5.3 ter pri izračunu uporabiti ustrezne srednje vrednosti.

4.6.1 Tahimetrija s poševnimi dolžinami

Izračun tahimetrije s poševnimi dolžinami bo program opravil nad vsemi izbranimi vrsticami v centralnem repozitoriju. Če je uporabnik eksplicitno zahteval izračun tahimetrije, mora predhodno izbrati tudi ustrezne vrstice v repozitoriju. V primeru samodejnega preračuna celotnega repozitorija pa program sam izbere vse tiste vrstice v repozitoriju, ki bodo uporabljene za izračun tahimetrije za eno stojišče.

Pred izračunom tahimetrije mora program opraviti naslednje kontrole:

- Ali je izbrana vsaj ena vrstica v repozitoriju? NE → postopek je prekinjen
- Ali gre pri vseh izbranih vrsticah za isto stojišče? NE → postopek je prekinjen
- Ali je stojišče znano (točka že obstaja v bazi ali v seznamu približnih koordinat)? NE → postopek je prekinjen

Pri vsaki prekinitvi postopka naj uporabnik dobi povratno informacijo o tem, zakaj je prišlo do prekinitve. Če je v neki izbrani vrstici v repozitoriju tudi opazovana točka znana (obstaja v bazi ali v seznamu približnih koordinat in hkrati nima oznake »nova točka«), program skuša opazovanje do te točke uporabiti za izračun srednjega orientacijskega kota. Pri tem mora opraviti naslednje kontrole:

- Ali je podana opazovana smer do te točke? NE → Opozorilo: »*meritev se ignorira*«
- Ali je utež za opazovano smer ≤ 0? DA → Opozorilo: »*meritev se ignorira*«

Če program ni našel niti ene uporabne vrstice, iz katere bi lahko izračunal srednji orientacijski kot, mora vprašati uporabnika, ali so vse opazovane smeri do novih točk v resnici že azimuti. Če temu ni tako, je potrebno postopek prekiniti. Če je prišlo pri izračunu srednjega orientacijskega kota do prevelikega razsipa kotov, mora program to javiti in prekiniti postopek.

Vse tiste izbrane vrstice v repozitoriju, pri katerih opazovane točke še ni v bazi ali v seznamu približnih koordinat, oziroma ima opazovana točka oznako »nova točka«, program razume kot opazovanja novih točk, ki jim je potrebno koordinate določiti s pomočjo tahimetrije s poševnimi dolžinami. Pri tem mora program opraviti naslednje kontrole:

- Ali je podana opazovana smer? NE → Opozorilo: »*meritev se ignorira*«
- Ali je podan zenitna razdalja? NE → Opozorilo: »*meritev se ignorira*«

- Ali je podana dolžina? NE → Opozorilo: *»meritev se ignorira«*
- Ali je dolžina merjena poševno? NE → Opozorilo: *»meritev se ignorira«*

Za izračun srednjega orientacijskega kota in koordinat novih točk naj program uporabi enačbe, podane v poglavju 1.1.

4.6.2 Poligon

Izračun poligona bo program opravil nad vsemi izbranimi vrsticami v centralnem repozitoriju. Če je uporabnik eksplicitno zahteval izračun poligona, mora predhodno izbrati tudi ustrezne vrstice v repozitoriju. V primeru samodejnega preračuna celotnega repozitorija pa program sam izbere vse tiste vrstice v repozitoriju, ki bodo uporabljene za izračun enega poligona.
V prvem koraku mora program ugotoviti, za kakšno vrsto poligona gre (priklepni, zaključeni, slepi):

- Če sta med izbranimi vrsticami natanko dve različni znani stojišči (točka že obstaja v bazi ali v seznamu približnih koordinat), je potrebo preveriti, ali podatki zadoščajo kriteriju za priklepni poligon. Program mora preveriti, ali je možno iz enega izmed danih stojišč preko zaporedja novih točk priti do drugega danega stojišča. Pri tem je potrebno »porabiti« vse nove točke. Če ostane kakšna nova točka »neuporabljena« ali ne obstaja povezava med danima stojiščema, mora program javiti napako in prekiniti postopek.
- Če je med izbranimi vrsticami samo eno znano stojišče, je potrebo preveriti, ali se je možno preko zaporedja novih točk ponovno vrniti v to stojišče. Pri tem je potrebno porabiti vse nove točke. Če ostane kakšna nova točka »neuporabljena«, mora program javiti napako in prekiniti postopek. Če obstaja povratna povezava v stojišče, bo poligon računan kot zaključeni, sicer pa kot slepi.
- Če med izbranimi vrsticami v repozitoriju ni niti enega znanega stojišča, ali pa je različnih znanih stojišč več kot dve, mora program javiti napako in prekiniti postopek.

Če je v neki izbrani vrstici v repozitoriju tudi opazovana točka znana (obstaja v bazi ali v seznamu približnih koordinat in hkrati nima oznake »nova točka«), program skuša opazovanje do te točke uporabiti za izračun srednjega orientacijskega kota za dano stojišče. Pri tem mora opraviti naslednje kontrole:

- Ali je podana opazovana smer do te točke? NE → Opozorilo: »*meritev se ignorira*«
- Ali je utež za opazovano smer ≤ 0? DA → Opozorilo: »*meritev se ignorira*«

Če program ni našel niti ene uporabne vrstice, iz katere bi lahko izračunal srednji orientacijski kot, mora vprašati uporabnika, ali so vse opazovane smeri do novih točk v resnici že azimuti. Če temu ni tako, je potrebno postopek prekiniti. Če je prišlo pri izračunu srednjega orientacijskega kota do prevelikega razsipa kotov, mora program to javiti in prekiniti postopek.

Za izračun srednjega orientacijskega kota in slepega poligona naj program uporabi enačbe, podane v poglavju 1.1, za izračun priklepnega poligona enačbe, podane v poglavju 1.2.1, za izračun zaključenega poligona pa enačbe, podane v poglavju 1.2.2.

Med izračunom poligona mora program opraviti še naslednje kontrole:

- Ali so za vsako stojišče podani vsi potrebni podatki za izračun poligona (opazovane smeri in dolžine)? NE → postopek je prekinjen
- Ali je kotno odstopanje f_β manjše ali enako od dopustnega kotnega odstopanja? NE → postopek je prekinjen. Velikost dopustnega kotnega odstopanja naj ima uporabnik možnost poljubno spreminjati glede na natančnost dela s katero ima opravka.
- Ali je linearno odstopanje f_d manjše ali enako od dopustnega linearnega odstopanja? NE → postopek je prekinjen. Velikost dopustnega kotnega odstopanja naj ima uporabnik možnost poljubno spreminjati.

Pri vsaki prekinitvi postopka naj uporabnik dobi povratno informacijo o tem, zakaj je prišlo do prekinitve.

4.6.3 Zunanji urez

Izračun zunanjega ureza bo program opravil nad vsemi izbranimi vrsticami v centralnem repozitoriju. Če je uporabnik eksplicitno zahteval izračun zunanjega ureza, mora predhodno izbrati tudi ustrezne vrstice v repozitoriju. V primeru samodejnega preračuna celotnega repozitorija pa program sam izbere vse tiste vrstice v repozitoriju, ki bodo uporabljene za izračun zunanjega ureza za eno novo točko.

Pred izračunom zunanjega ureza mora program opraviti naslednje kontrole:

- Ali sta izbrani vsaj dve vrstici v repozitoriju? NE → postopek je prekinjen
- Ali med izbranimi vrsticami nastopata natanko dve različni stojišči? NE → postopek je prekinjen
- Ali sta obe stojišči znani (točka že obstaja v bazi ali v seznamu približnih koordinat)? NE → postopek je prekinjen
- Ali med izbranimi vrsticami nastopa natanko ena nova opazovana točka? NE → postopek je prekinjen
- Ali je bila nova točka opazovana z obeh stojišč? NE → postopek je prekinjen

Pri vsaki prekinitvi postopka naj uporabnik dobi povratno informacijo o tem, zakaj je prišlo do prekinitve. Če je v neki izbrani vrstici v repozitoriju tudi opazovana točka znana (obstaja v bazi ali v seznamu približnih koordinat in hkrati nima oznake »nova točka«), program skuša opazovanje do te točke uporabiti za izračun srednjega orientacijskega kota. Pri tem mora opraviti naslednje kontrole:

- Ali je podana opazovana smer do te točke? NE → Opozorilo: »*meritev se ignorira*«
- Ali je utež za opazovano smer ≤ 0? DA → Opozorilo: »*meritev se ignorira*«

Če program ni mogel izračunati srednjega orientacijskega kota za eno ali obe stojišči, mora vprašati uporabnika, ali so vse opazovane smeri do novih točk iz tega stojišča v resnici že azimuti. Če temu ni tako, je potrebno postopek prekiniti. Če je prišlo pri izračunu srednjega orientacijskega kota do prevelikega razsipa kotov, mora program to javiti in prekiniti postopek.

Tisti dve izbrani vrstici v repozitoriju, pri katerih opazovane točke še ni v bazi ali v seznamu približnih koordinat, oziroma ima opazovana točka oznako »nova točka«, program razume kot opazovanje nove točke, ki ji bo potrebno koordinate določiti z zunanjim urezom. Pri tem mora program opraviti naslednje kontrole:

- Ali je iz obeh stojišč podana opazovana smer do nove točke? NE → postopek je prekinjen
- Ali sta opazovani smeri vzporedni? DA → postopek je prekinjen

Pri vsaki prekinitvi postopka naj uporabnik dobi povratno informacijo o tem, zakaj je prišlo do prekinitve. Za izračun srednjega orientacijskega kota naj program uporabi enačbe, podane v poglavju 1.1, za izračun koordinat novih točk s pomočjo zunanjega ureza pa enačbe, podane v poglavju 1.3.

4.6.4 Notranji urez

Izračun notranjega ureza bo program opravil nad tremi izbranimi vrsticami v centralnem repozitoriju. Če je uporabnik eksplicitno zahteval izračun notranjega ureza, mora predhodno izbrati tudi ustrezne vrstice v repozitoriju. V primeru samodejnega preračuna celotnega repozitorija pa program sam izbere tiste tri vrstice v repozitoriju, ki bodo uporabljene za izračun notranjega ureza.

Pred izračunom notranjega ureza mora program opraviti naslednje kontrole:

- Ali so izbrane natanko tri vrstice v repozitoriju? NE → postopek je prekinjen
- Ali gre pri vseh izbranih vrsticah za isto stojišče? NE → postopek je prekinjen
- Ali je stojišče nova točka (točka še ne obstaja v bazi ali v seznamu približnih koordinat, oziroma ima status »nova točka«)? NE → postopek je prekinjen

- Ali so vse tri opazovane točke različne? NE → postopek je prekinjen
- Ali so vse tri opazovane točke dane (že obstajajo v bazi ali seznamu približnih koordinat)? NE → postopek je prekinjen
- Ali je podana opazovana smer med stojiščem in opazovano točko? NE → postopek je prekinjen
- Ali je utež za opazovano smer ≤ 0? NE → postopek je prekinjen

Pri vsaki prekinitvi postopka naj uporabnik dobi povratno informacijo o tem, zakaj je prišlo do prekinitve. Za izračun koordinat nove točke s pomočjo notranjega ureza naj program uporabi enačbe, podane v poglavju 1.4. Če se med izračunom izkaže, da vse tri opazovane točke ležijo na isti krožnici, mora program to javiti in izračun prekiniti.

4.6.5 Ločni presek

Izračun ločnega preseka bo program opravil nad dvema izbranima vrsticama v centralnem repozitoriju. Če je uporabnik eksplicitno zahteval izračun ločnega preseka, mora predhodno izbrati tudi ustrezni vrstici v repozitoriju. V primeru samodejnega preračuna celotnega repozitorija pa program sam izbere tisti dve vrstici v repozitoriju, ki bosta uporabljeni za izračun ločnega preseka.

Pred izračunom ločnega preseka mora program opraviti naslednje kontrole:

- Ali sta izbrani natanko dve vrstici v repozitoriju? NE → postopek je prekinjen
- Ali sta stojišči enaki? DA → postopek je prekinjen
- Ali sta obe stojišči znani (točka že obstaja v bazi ali v seznamu približnih koordinat)? NE → postopek je prekinjen
- Ali pri obeh meritvah nastopa ista opazovana točka? NE → postopek je prekinjen
- Ali je opazovana točka neznana (točka še ne obstaja v bazi ali v seznamu približnih koordinat, oziroma ima status »nova točka«)? NE → postopek je prekinjen
- Ali je v obeh primerih podana horizontalna dolžina med stojiščem in opazovano točko? NE → postopek je prekinjen

- Ali je vsota dolžin manjša od dolžine med stojiščema? DA → postopek je prekinjen

Pri vsaki prekinitvi postopka naj uporabnik dobi povratno informacijo o tem, zakaj je prišlo do prekinitve. Za izračun koordinat nove točke s pomočjo ločnega preseka naj program uporabi enačbe, podane v poglavju 0. V sklopu izračuna naj program od uporabnika dodatno zahteva informacijo, ali leži nova točka desno ali levo od smeri T_1-T_2 (T_1 = prvo stojišče, T_2 = drugo stojišče).

4.6.6 Samodejni preračun celotnega repozitorija

Če je uporabnik zahteval samodejni preračun vseh podatkov v centralnem repozitoriju, mora program sam izbrati ustrezno metodo (ali več metod), tako da zagotovi izračun približnih koordinat vseh neznanih točk v repozitoriju, če je to le možno.
Program naj postopa tako, da v repozitoriju označi ustrezne vrstice in nato sproži enega izmed petih izračunov, opisanih v poglavjih 4.6.1 – 4.6.5. Postopek ponavlja tako dolgo, dokler niso izračunane vse nove točke ali pa ni dovolj podatkov, da bi z izračunom lahko nadaljevali.

Algoritem za preračun vseh novih točk naj v grobem poteka v naslednjih korakih:

1. Označi vse vrstice v centralnem repozitoriju kot neobdelane.
2. Če so vse vrstice v centralnem repozitoriju označene kot obdelane, zaključi s postopkom.
3. Med neobdelanimi vrsticami skušaj najti zaporedje meritev, ki tvorijo poligon. Če takšno zaporedje obstaja, izberi vse pripadajoče vrstice in izvedi izračun poligona, kot je opisano v poglavju 4.6.2. Nato vse te vrstice označi kot obdelane in se vrni na točko 2. Če ni podatkov, primernih za izračun poligona, pojdi na točko 4.
4. Med neobdelanimi vrsticami poišči meritve iz istega stojišča, ki se lahko uporabijo za izračun tahimetrije. Če takšni podatki obstajajo, izberi vse pripadajoče vrstice in izvedi izračun tahimetrije, kot je opisano v poglavju 4.6.1. Nato vse te vrstice označi kot obdelane in se vrni na točko 2. Če ni podatkov, primernih za izračun tahimetrije, pojdi na točko 5.

5. Med neobdelanimi vrsticami poišči vse meritve opazovane smeri do iste nove točke iz dveh različnih znanih stojišč (in orientaciji za ti dve stojišči), ki se lahko uporabijo za izračun zunanjega ureza. Če takšni podatki obstajajo, izberi vse pripadajoče vrstice in izvedi izračun zunanjega ureza, kot je opisano v poglavju 4.6.3. Nato vse te vrstice označi kot obdelane in se vrni na točko 2. Če ni podatkov, primernih za izračun zunanjega ureza, pojdi na točko 6.
6. Med neobdelanimi vrsticami poišči vse meritve dolžine do iste nove točke iz dveh različnih znanih stojišč, ki se lahko uporabijo za izračun ločnega preseka. Če takšni podatki obstajajo, izberi vse pripadajoče vrstice in izvedi izračun ločnega preseka, kot je opisano v poglavju 4.6.5. Nato vse te vrstice označi kot obdelane in se vrni na točko 2. Če ni podatkov, primernih za izračun ločnega preseka, pojdi na točko 7.
7. Med neobdelanimi vrsticami poišči vse meritve opazovane smeri iz iste nove točke do treh različnih znanih opazovanih točk, ki se lahko uporabijo za izračun notranjega ureza. Če takšni podatki obstajajo, izberi vse pripadajoče vrstice in izvedi izračun notranjega ureza, kot je opisano v poglavju 4.6.4. Nato vse te vrstice označi kot obdelane in se vrni na točko 2. Če ni podatkov, primernih za izračun notranjega ureza, pojdi na točko 8.
8. Izračun ni bilo možno nadaljevati po nobeni izmed petih metod. Program naj javi, da ni dovolj ustreznih meritev za izračun vseh neznanih koordinat in prekine postopek.

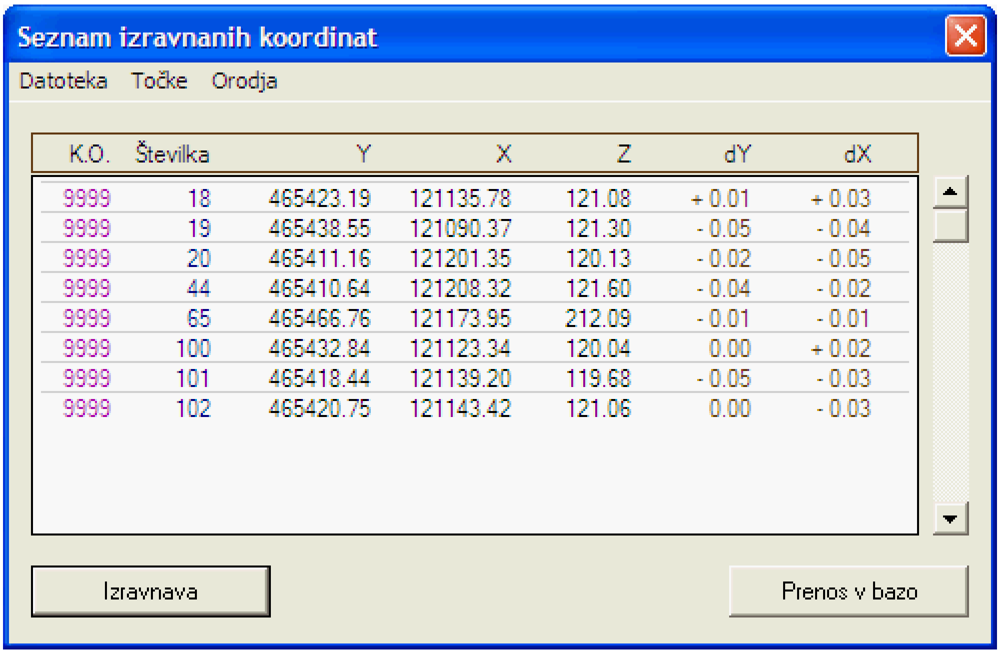
Kot vidimo, je potrebno v vsaki iteraciji zmeraj znova preveriti, ali je možna katerakoli izmed petih metod izračuna koordinat novih točk. Čeprav, na primer, v neki iteraciji ni dovolj podatkov, da bi lahko uporabili izračun tahimetrije (nobeno stojišče ni znano), lahko do nekega trenutka še neznano stojišče postopoma dobi koordinate s pomočjo katere izmed ostalih računskih metod in se tako pridruži točkam v seznamu približnih koordinat, kar v naslednji iteraciji omogoči izračun tahimetrije iz tega stojišča.

4.7 Izravnava opazovanj

Po uspešnem izračunu dobijo vse nove točke približne koordinate. Vse nove točke in njihove približne koordinate naj si bo možno ogledati v seznamu približnih koordinat (Slika 24).

Uporabnik mora imeti možnost, da zahteva izravnavo, če je le na voljo dovolj nadštevilnih meritev. Program mora v tem primeru izvršiti izravnavo opazovanj s pomočjo podatkov iz centralnega repozitorija. Pri tem naj uporabi enačbe, podane v poglavju 3.

Po uspešni izravnavi bodo točke v seznamu približnih koordinat pridobile tudi ustrezne popravke, ki naj bodo v seznamu razvidni:



K.O.	Številka	Y	X	Z	dY	dX
9999	18	465423.19	121135.78	121.08	+ 0.01	+ 0.03
9999	19	465438.55	121090.37	121.30	- 0.05	- 0.04
9999	20	465411.16	121201.35	120.13	- 0.02	- 0.05
9999	44	465410.64	121208.32	121.60	- 0.04	- 0.02
9999	65	465466.76	121173.95	212.09	- 0.01	- 0.01
9999	100	465432.84	121123.34	120.04	0.00	+ 0.02
9999	101	465418.44	121139.20	119.68	- 0.05	- 0.03
9999	102	465420.75	121143.42	121.06	0.00	- 0.03

Slika 24: Seznam izravnanih koordinat s popravkom približnih vrednosti

S klikom na posamezno vrstico naj se uporabniku pokažejo še dodatne informacije o natančnosti ocenjenih koordinat (A, B, Θ).

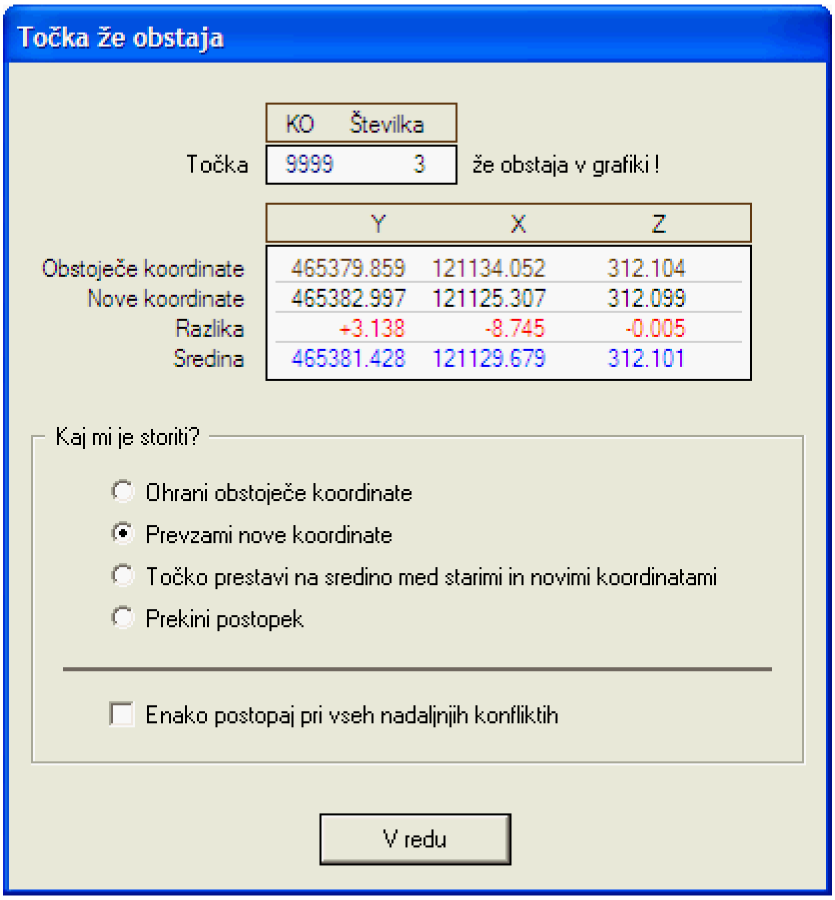
4.8 Prenos novih točk v bazo

Ko so izračunane koordinate vseh novih točk in morebiti tudi opravljena izravnava, mora imeti uporabnik možnost, da jih prenese v bazo.

Če v bazi že obstaja točka z enako številko in ima drugačne koordinate od na novo izračunanih koordinat, mora program uporabniku ponuditi naslednje tri možnosti:

- ALI: točka obdrži obstoječe koordinate
- ALI: točka prevzame nove koordinate
- ALI: točka dobi srednjo vrednost med obstoječimi in novimi koordinatami

Program naj v primeru tovrstnega konflikta prikaže pogovorno okno, v katerem si bo lahko uporabnik ogledal stare in nove koordinate konfliktne točke in se ustrezno odločil, kako nadaljevati:



Slika 25: Pogovorno okno v primeru konflikta – točka že obstaja

To je zadnji korak v izračunavanju koordinat novih točk. Uporabnik mora imeti možnost ponovnega posega v prej opravljene izračune, tako s spremembo parametrov terenskih meritev, spremembo podatkov terenskih meritev ali z drugim načinom preračuna. V vsakem takem primeru se na koncu pojavi pogovorno okno s slike 25.

5 ZAKLJUČEK

Ko sem si zamislil naslov diplomskega dela, sem imel v mislih samo stroga navodila za nekoga, ki bi se lotil izdelave računalniškega programa za izračun koordinat točk v geodetski mreži. Pri svojem delu sem ves čas sodeloval s programerjem, ki je s pomočjo mojih navodil programiral posamezne sklope modula za izračun koordinat točk. Ves čas je potekalo usklajevanje. Kadar kakšen postopek ni bil pravilno razumljen, je bila potrebna dodatna razlaga, ki sem jo potem vključil tudi v svoja navodila. Včasih pa se je pokazalo, da sem kakšno razlago raztegnil bolj kot je nujno potrebno za razumevanje. V teh primerih sem tako razlago primerno skrčil. Velikokrat sem imel težave s svojim preveč praktičnim razmišljanjem, ki je polno poenostavitev in s tem neprimerno za enostaven prenos v računalniško okolje strogih pravil in algoritmov, kaj šele za razlago nekomu, ki mu geodezija ni primarno interesno področje. Za nekoga takega ni dovolj samo skupek enačb, ampak je zraven potrebna vsaj še minimalna razlaga. S pomočjo takega sodelovanja s programerjem sem od strogih navodil za izdelavo računalniškega programa za izračun koordinat točk v geodetski mreži prišel na bolj splošno dokumentacijo geodetskih pravil, postopkov in izračunov za potrebe izdelave takega programa.

Rezultat je daleč od tega, da bi bil idealen. Praktično delo je bilo zaradi sprotnega usklajevanja omejeno na sodelovanje z enim programerjem, s tem je dokumentacija bolj ozko specializirana na razmišljanje in način reševanja problemov enega para ljudi. Nekdo drug bi se s to dokumentacijo verjetno težje spoprijel, ker bi se izgubljal v preveč skopih ali pa preveč obširnih razlagah. Sem pa s tem svojim sodelovanjem vseeno dokazal, da je dokumentacija praktično dobro zastavljena, saj je pripeljala do konkretnih rezultatov, kmalu bo z njeno pomočjo nastal kvaliteten programerski izdelek, ki bo v veliko pomoč pri vsakdanjemu delu marsikateremu slovenskemu geodetu.

Izboljšave so možne na vseh področjih: ob splošnih načinih izračunov koordinat točk bi bilo v veliko pomoč in za lažje razumevanje, če bi bilo predstavljenih tudi nekaj povsem praktičnih primerov. Tudi kakšen s posebnostmi (npr. primeri, ko koordinate ni možno izračunati). Vsi način izračunov, redukcij in izravnav bi lahko bile opremljene z diagrami poteka, s pomočjo katerih bi si programer lahko dosti lažje ustvaril predstavo o problemu, ki ga rešuje. Razlage ob redukcijah bi bile lahko opremljene z mejnim vrednostmi za katere so redukcije še smiselne in v katerih primerih jih lahko zanemarimo. S tem bi programer imel možnost v programu nastaviti te vrednosti in v programu bi potem končnega uporabnika opozarjal na take primere. Predvsem pa bi bilo potrebno ves čas poudarjati kaj je zelo pomembno in kaj je manj pomembno. Ko se programer loti dela, mora vedeti kaj mora program obvezno že v osnovi vsebovati in kaj je lahko samo dodatna funkcija, izboljšava natančnosti, itd. Če tega pregleda nad pomembnimi in manj pomembnimi funkcijami nima, se lahko že na začetku izgublja v nebistvenih sklopih, ki potem sam program naredijo nepregleden in nevšečen za uporabo, ali pa je sploh povsem neuporaben, ker poudarja napačne stvari.

Zaradi zgornjih razlogov bo moja dokumentacija še dolgo časa po zaključku diplomske naloge »projekt v delu«. Najraje bi videl, da se nikoli popolnoma ne zaključi, saj ne verjamem, da je mogoče napisati nekaj, kar ni možno še izboljšati.

6 VIRI

Alduchov, O.A., Eskridge, R.E. 1996. Improved Magnus Form Approximation of Saturation Vapor Pressure. Journal of applied meteorology. 35: 601 – 609.

Berk, S. 2010. Robustna določitev približnih koordinat v horizontalni geodetski mreži. Geodetski vestnik. 54, 1: 9-30.

Cerar, S. 1987. Izdelava računalniškega programa za interaktivno izravnavanje geodetskih položajnih mrež na računalniku HP 9845 B. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 71 str.

Geodetska družba d.o.o. 2010. Geodetski program GeoPro ter uporabniška navodila.
URL: http://www.gdl.si/GeoPro/index.html (1.8.2010).

Geoservis d.o.o. 2008. Kombiniranje terestričnih in GNSS opazovanj, kratka navodila: 14 str.
URL: http://www.geoservis.si/uporabno/navodila/TPS+GNSS_3.pdf (16.8.2010).

IAG Some resolutions adopted by the International Association of Geodesy (IAG) during its 22nd General Assembly. 1999. Birmingham.
URL: http://www.gfy.ku.dk/~iag/resolutions/res99.html (3.8.2010).

Kogoj, D. 2002. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemeri. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 159 str.

Kuhar, M. 2008. Geodezija (študijsko gradivo). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
URL: http://www.fgg.uni-lj.si/~/mkuhar/Pouk/Geod/gradivo/ (10.7.2010).

Kuhar, M. 2010. Detajlna izmera (študijsko gradivo). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

URL: http://www.fgg.uni-lj.si/~/mkuhar/pouk/DetIzmera/gradivo/ (10.7.2010).

Leica Geosystems AG, 2004. Leica TPS1200 User Manual - Version 4.0.
URL: http://www.geoservis.si/dnload/doc/System1200/TPS1200_User_en.pdf (17.7.2010).

Leica Geosystems AG, 2008. Leica TPS1200+ User Manual - Version 6.0.
URL: http://www.surveyequipment.com/PDFs/TPS1200_User_Manual.pdf (17.7.2010).

LEICA Instrument EDM Specifications.
URL:
http://www.land.vic.gov.au/CA256F310024B628/0/B7F449C8F7F6F393CA2575A8000ADDF6/$File/Leica+Instrument+parameters.pdf (22.8.2010)

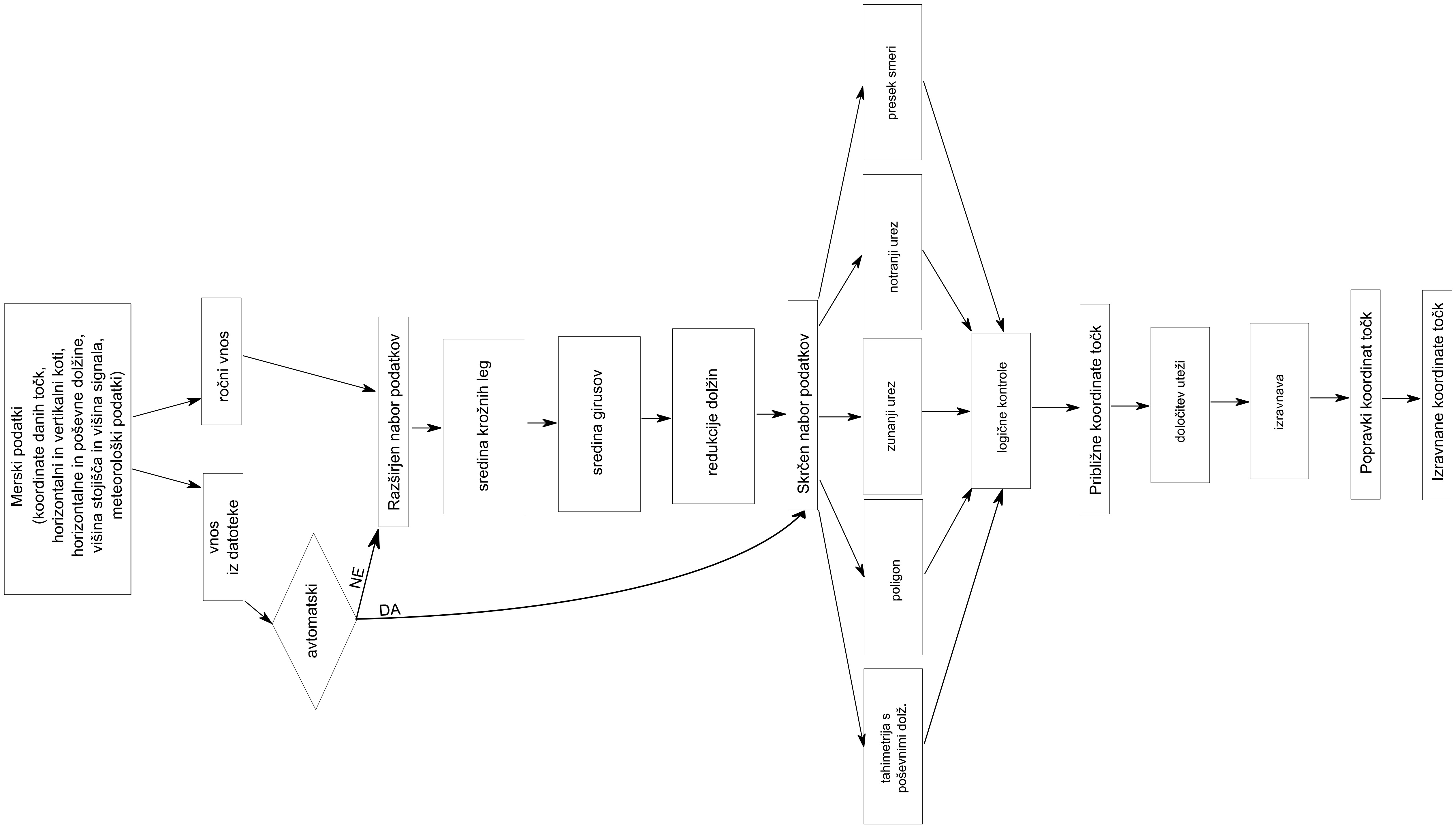
Mihailović, K., Vračarić, K. 1984. Geodezija I. Beograd, Naučna knjiga: str. 478 – 481.

Savšek Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G. 2003. Ugotavljanje premikov točk v geodetski mreži. Geodetski vestnik. 47, 1: 7-17.

Stopar, B. 2004-2007. Izravnalni račun I, II, II (zapiski s predavanj). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

KAZALO PRILOG

Priloga A: Diagram poteka izračuna koordinat točk



Priloga B: Primer 16 bitnega zapisa GSI datoteke z razlago

```
koda 10 - podatki o delovišču            datum           ime delovišča               operater                opomba
*410001+0000000000000010 42....+0000000003072008 43....+00000000TREBNJE1 44....+000000000000000F 45....+000000000000000/
1. stojišče
koda 20 - stojišče            številka stojišča      višina instrumenta           temperatura C        zračni tlak mmHg
*410001+0000000000000020 42....+0000000000900001 43....+0000000000001710 44....+0000000000000015 45....+0000000000000760
koda 39 - orientacija
*410002+0000000000000039 42....+000000000000000/ 43....+000000000000000/ 44....+000000000000000/ 45....+000000000000000/
          številka točke          opazovana smer        zenitna distanca         poševna dolžina                                   višina prizme                opomba
*110003+0000000000410023 21.324+0000000000000114 22.324+0000000008759114 31..00+0000000000247912 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001630 71....+00000ORIENTACIJA
*110004+0000000000441159 21.324+0000000012217241 22.324+0000000008559509 31..00+0000000000000000 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001630 71....+00000ORIENTACIJA
*110005+0000000000441000 21.324+0000000028442383 22.324+0000000008724303 31..00+0000000000000000 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001630 71....+00000ORIENTACIJA
koda 40 - detajlne točke
*410006+0000000000000040 42....+000000000000000/ 43....+000000000000000/ 44....+000000000000000/ 45....+000000000000000/
          številka točke          opazovana smer        zenitna distanca         poševna dolžina                                   višina prizme              Easting mm             Northing mm  ortometrična višina mm
opomba
*110007+0000000000900002 21.324+0000000012442563 22.324+0000000008948456 31..00+0000000000284181 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001595 81...0+0000000470888902 82...0+0000000119190529 83...0+0000000000409325
71....+00000MERITEV-TPS

2.stojišče
*410008+0000000000000020 42....+0000000000900002 43....+0000000000001595 44....+0000000000000016 45....+0000000000000762
*410009+0000000000000039 42....+000000000000000/ 43....+000000000000000/ 44....+000000000000000/ 45....+000000000000000/
*110010+0000000000900001 21.324+0000000000000101 22.324+0000000009012257 31..00+0000000000284180 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001710 71....+00000ORIENTACIJA
*110011+0000000000441000 21.324+0000000034400526 22.324+0000000008757269 31..00+0000000000000000 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001710 71....+00000ORIENTACIJA
*110012+0000000000441159 21.324+0000000017619493 22.324+0000000008403219 31..00+0000000000000000 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001710 71....+00000ORIENTACIJA
*410013+0000000000000040 42....+000000000000000/ 43....+000000000000000/ 44....+000000000000000/ 45....+000000000000000/
*110014+0000000000900003 21.324+0000000016537331 22.324+0000000008922567 31..00+0000000000505192 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001665 81...0+0000000470780718 82...0+0000000118863021 83...0+0000000000413783
71....+00000MERITEV-TPS
*110015+0000000000900004 21.324+0000000029351144 22.324+0000000008957479 31..00+0000000000130272 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001675 81...0+0000000470536166 82...0+0000000119405053 83...0+0000000000408395
71....+00000MERITEV-TPS
*110016+0000000000000001 21.324+0000000000817015 22.324+0000000009022361 31..00+0000000000002530 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001550 81...0+0000000470655675 82...0+0000000119354874 83...0+0000000000408418
71....+00000MERITEV-TPS
*110017+0000000000000002 21.324+0000000004512004 22.324+0000000010937133 31..00+0000000000003333 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001550 81...0+0000000470657538 82...0+0000000119354582 83...0+0000000000407316
71....+00000MERITEV-TPS
*110018+0000000000000003 21.324+0000000007703201 22.324+0000000009832507 31..00+0000000000007479 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001550 81...0+0000000470662518 82...0+0000000119354027 83...0+0000000000407323
71....+00000MERITEV-TPS
*110019+0000000000000004 21.324+0000000008654079 22.324+0000000009455120 31..00+0000000000012297 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001550 81...0+0000000470667543 82...0+0000000119353032 83...0+0000000000407380
71....+00000MERITEV-TPS
*110020+0000000000000005 21.324+0000000005627078 22.324+0000000009440509 31..00+0000000000012915 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001550 81...0+0000000470666037 82...0+0000000119359483 83...0+0000000000407381
71....+00000MERITEV-TPS
*110021+0000000000000006 21.324+0000000003435300 22.324+0000000009624272 31..00+0000000000010034 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001550 81...0+0000000470660971 82...0+0000000119360579 83...0+0000000000407315
71....+00000MERITEV-TPS
*110022+0000000000000007 21.324+0000000000249322 22.324+0000000009717482 31..00+0000000000009613 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001550 81...0+0000000470655780 82...0+0000000119361894 83...0+0000000000407214
71....+00000MERITEV-TPS
*110023+0000000000000008 21.324+0000000031929259 22.324+0000000009507303 31..00+0000000000014159 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000001550 81...0+0000000470646149 82...0+0000000119363092 83...0+0000000000407170
71....+00000MERITEV-TPS
*110024+0000000000000009 21.324+0000000030131148 22.324+0000000009621404 31..00+0000000000027054 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000000050 81...0+0000000470632390 82...0+0000000119366427 83...0+0000000000406938
71....+00000MERITEV-TPS
*110025+0000000000000010 21.324+0000000030528546 22.324+0000000009455519 31..00+0000000000028350 51..1.+000000000019+000 87..10+0000000000000500 81...0+0000000470632310 82...0+0000000119368765 83...0+0000000000407048
71....+00000MERITEV-TPS
```