

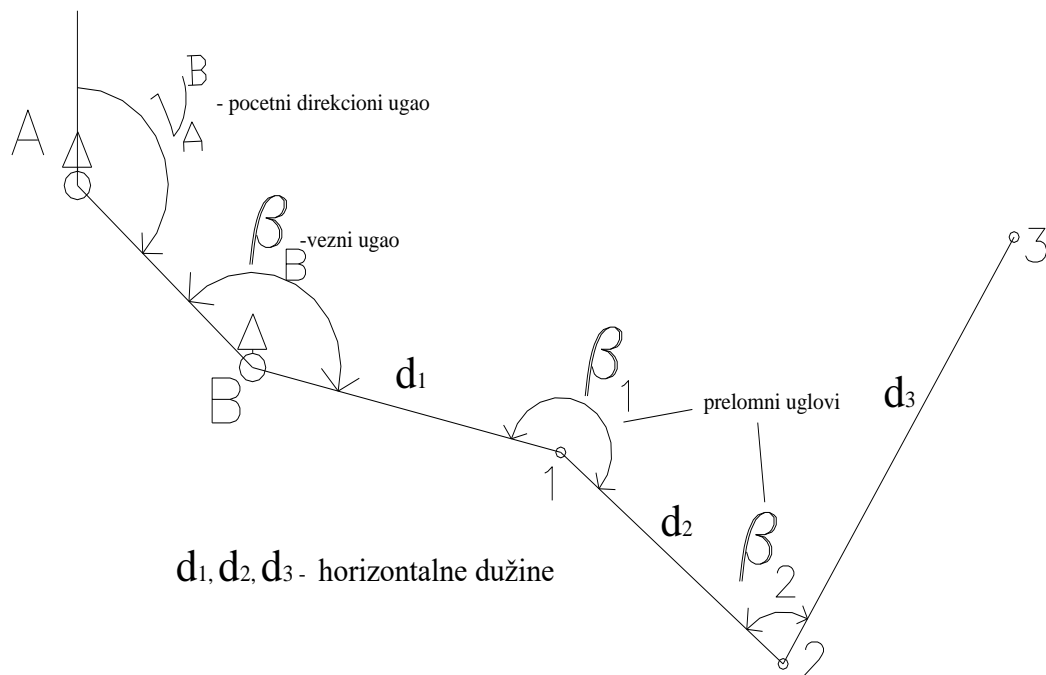
IV Predavanje

Operativni poligon, suština, način razvijanja i određivanja koordinata, primjena kod projektovanja i izgradnje saobraćajnica.

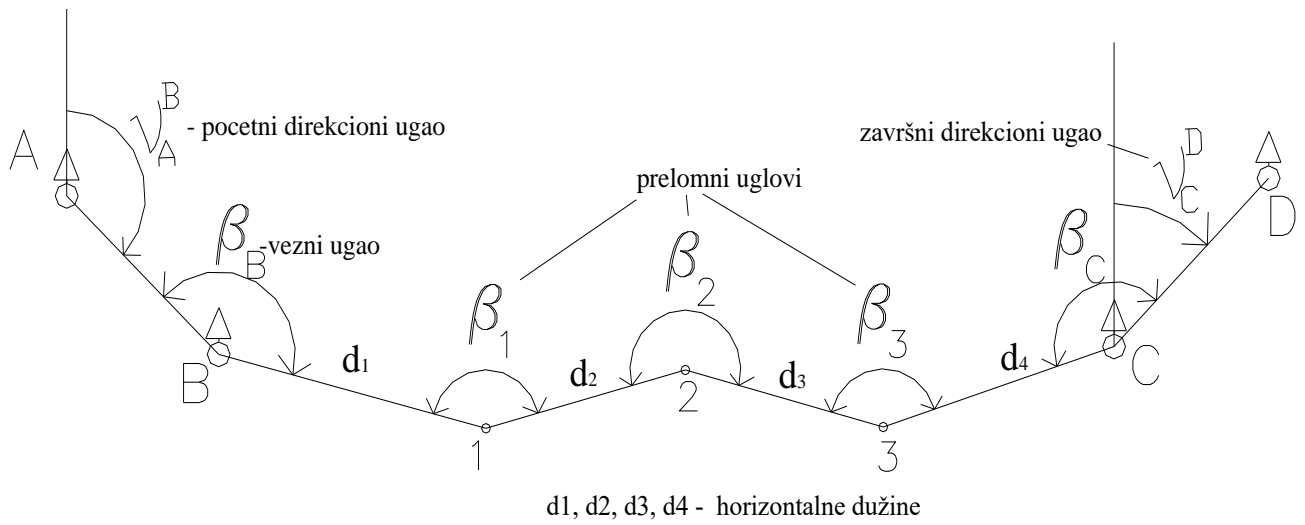
Operativni poligon kod projektovanja i izgradnje saobraćajnica je mreža datih tačaka koja predstavlja osnovu za izradu geodetske podloge a zatim i projekta saobraćajnice. On služi i prilikom izgradnje svih pratećih projekata i izrade elaborata, (elaborat eksproprijacije itd.) i drugih projekata koji se izvode u fazi eksploatacije objekta (projekat izvedenog stanja, projekti oskultacije itd.).

U zavisnosti od toga za koje će se potrebe koristiti operativni poligon može imati različite forme i karakteristike. Najčešća forma operativnog poligona je poligonski vlak i koristi se kod obilježavanja osovine saobraćajnice i praćenja njene izgradnje. Kad se radi o objektima na putu, odnosno mostovima i tunelima, onda je operativni poligon manja trigonometrijska mreža, koja se zove mikrotriangulacija ili kraće mikromreža. Ako se radi o izgradnji mosta, onda je to mostovska mikro-mreža a ako se radi o tunelu onda je to tunnelska mikro-mreža.

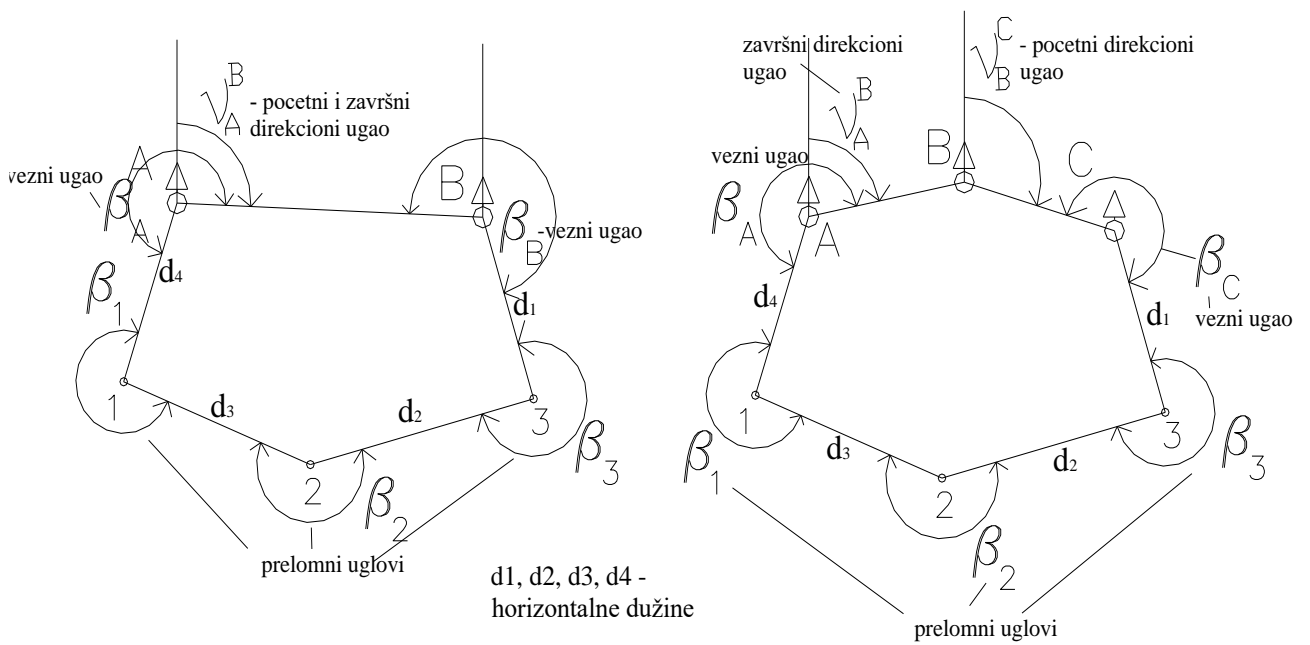
Postoje različiti oblici poligonskih vlakova. Poligonski vlak može da bude: slijepi (Slika 1), opruženi (Slika 2), umetnuti (Slika 3) i zatvoreni (Slika 4). Kod saobraćajnica se najčešće primjenjuje otvoreni (ispruženi) poligonski vlak.



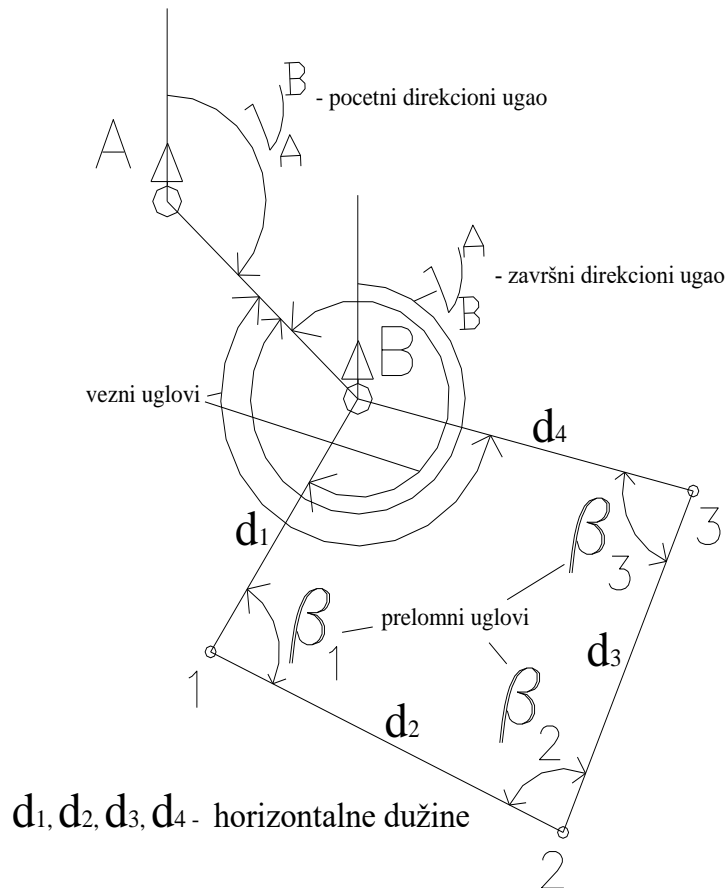
Slika 1. Slijepi poligonski vlak



Slika 2. Opruženi poligonski vlak



Slika 3. Umetnuti poligonski vlak



Slika 4. Zatvoreni poligonski vlak

Poligonski vlak predstavlja niz tačaka na međusobnom rastojanju od 150m do 250m u zavisnosti od konfiguracije terena. Krajnje tačke ovakvog poligonskog vlaka, povezane su sa po dvije date tačke koje su najčešće trigonometrijske tačke na početku i na kraju vlaka (kod opruženog poligonskog vlaka). One su određene u državnom koordinatnom sistemu i podatke o njima (koordinate i opis položaja) treba preuzeti iz arhive Uprave za nekretnine Crne Gore, iz zvaničnih evidencija. Ovo je naročito bitno da se ne bi dogodile greške u identifikaciji tačaka. U poslednje vrijeme, krajnje tačke poligonskog vlaka se sve češće određuju pomoću neke od preciznih GPS metoda.

Povezivanje tačaka međusobno i sa trigonometrijskim tačkama izvodi se pomoću mjerenih uglova i dužina. Uglovi se najčešće mjere u 2 girusa sa instrumentom koji ima najmanji podatak 1-2" a dužine elektromagnetnim daljinomjerom sa najmanjim podatkom 1-2 mm.

Dužina operativnog poligona će zavisiti od rastojanja između najbližih trigonometrijskih tačaka, koje su obično na udaljenosti od 3km do 4km. U zavisnosti od terenskih uslova i dužine objekta, na jednoj dionici saobraćajnice može biti više operativnih poligona.

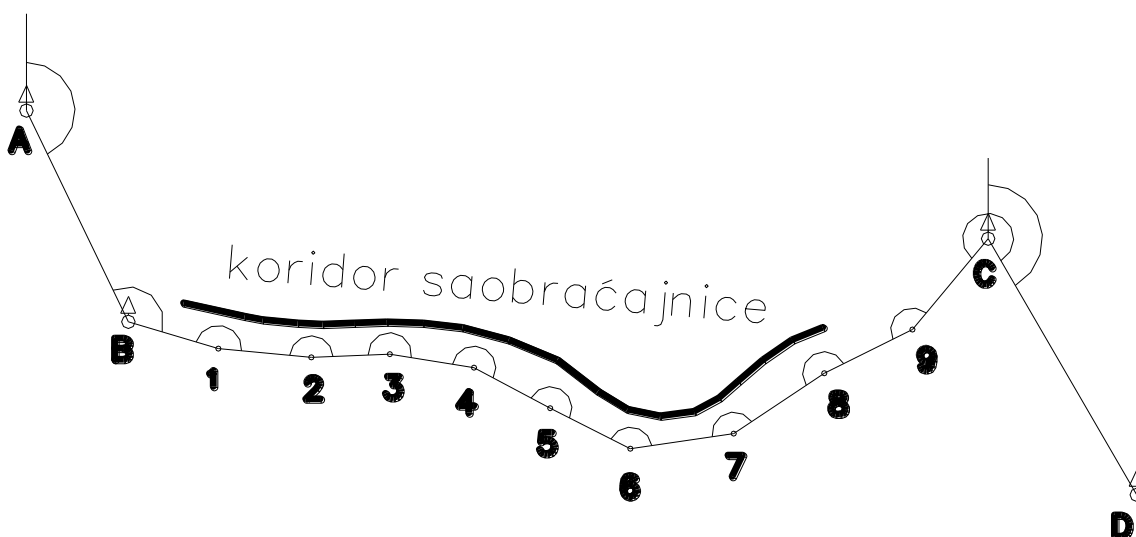
Rastojanje između tačaka operativnog poligona, zavisi od oblika trase saobraćajnice i od konfiguracije terena.

Potrebno je prije svega izvršiti rekognosciranje terena, odnosno odabrati najpovoljnija mjesta za stabilizaciju tačaka budućeg operativnog poligona.

Iako bi se lako moglo zaključiti kako je ovo jedan od najjednostavnijih postupka u toku uspostavljanja geodetskih mreža, on nosi veliku odgovornost kod onog koji ga izvršava. Naime, pravilan odabir mesta za nove tačke osigurava kvalitet i ekonomičnost geodetskih radova pri izradi topografske podloge za projektovanje, pa i svih budućih geodetskih radova vezanih za izgradnju i održavanje dotičnog građevinskog objekta.

Ograničavanje dužine poligona na 3-4km proizilazi iz zahtjeva tačnosti, jer poligon tolike dužine može imati do 15 tačaka i u njemu se može postići tačnost koordinata do 1cm, što je od velike važnosti kod prenošenja položaja osovine saobraćajnice sa plana na teren.

Na Slici 5 je prikazan oblik operativnog poligona (opruženi mpoligonski vlak), u odnosu na položaj saobraćajnice i prikazani vezni i prelomni uglovi na tačkama na kojima se moraju mjeriti.



Slika 5. Operativni poligon kod saobraćajnice

Osnovni uslovi koje treba obezbijediti kod operativnog poligona su:

- Obezbijediti što tačnije mjerenje uglova i dužina između tačaka;
- Obezbijediti zaštićenje od uništenja tačaka;
- Operativni poligon treba imati određeni oblik (prelomni uglovi bliski 180°);
- Dužine stranica operativnog poligona bi trebale biti približno jednake;
- Mogućnosti detaljnog snimanja sa tačaka.

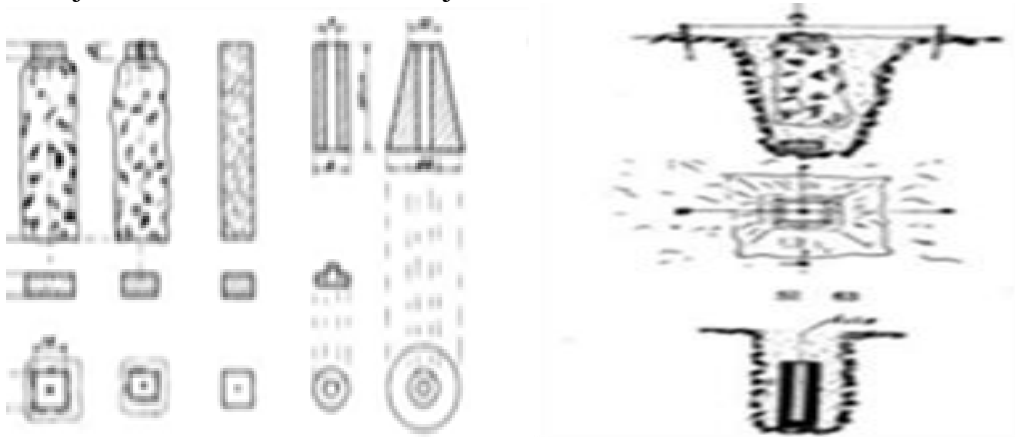
Na Slici 5, tačke A, B, C i D su date trigonometrijske tačke. Ugao kod tačke A je direkcioni ugao - ν_A^B , koji se izračunava iz zadatih koordinata po poznatim formulama. Isto tako se računa i završni direkcioni ugao kod tačke C - ν_C^D , samo što se u toj tački mjeri i vezni ugao β_C . Vezni ugao se još mjeri i u tački B (β_B) a na ostalim tačkama vlaka mjere se prelomni uglovi ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_9$), po istoj metodi i sa istom tačnošću kao i vezni uglovi. Vezni uglovi su dobili taj naziv, zbog toga što povezuju trigonometrijsku stranu sa stranama u vlaku a prelomni su uglovi dobili taj naziv da bi se znalo da se radi o

uglovima vlaka ali da se odnose na tačke vlaka a ne na trigonometrijske tačke. Vrlo je važno napomenuti da se svi prelomni i vezni uglovi uzimaju sa lijeve strane, gledano u smjeru računanja vlaka. Prelomni i vezni uglovi se računaju iz opažanih pravaca, tjeme ugla - stanica, oduzima se vrijednost lijevog pravca od vrijednosti desnog pravca. Ako se dobija negativni rezultat, rezultat se uvećava za 360° .

Dužine poligonskih strana se mjere na terenu. Pri računanju se moraju koristiti horizontalne dužine. Dužine se mjere između tačke B koja se zove prva tačka vlaka i sljedeće tačke operativnog poligona i između posljednje tačke poligona i tačke C koja se zove krajnja tačka poligona kao i sve dužine između susjednih tačaka unutar poligona. Ako dužine ne mogu biti direktno izmjerene, određuju se indirektno, iz pomoćnih trouglova pomoću sinusne i kosinusne teoreme.

Početna i završna tačka poligona su tačke A i D. Ovdje treba obratiti pažnju na ove termine, oni nijesu slučajno istaknuti, jer je važno za komunikaciju da se zna na koju se tačku odnosi pojam početna tačka poligona, koja je tačka prva tačka poligona, koja je posljednja tačka poligona i koja je završna tačka.

Tačke operativnog poligona najčešće se materijalizuju kao betonski stubići dimenzija $5 \times 5 \text{ cm}$ u glavi i dužine 40 cm , koji na sredini gornje površi ima ucrtan krstić ili ugrađenu armaturu najčešće $\varnothing = 6 \text{ mm}$. Na terenu ove tačke se stabilizuju, odnosno ukopavaju u zemlju tako da cca 35 cm ide u zemlju a 5 cm se nalazi iznad zemlje iz razloga da je tačka vidljiva i da se u slučaju nailaska vozila ne uništi ili pomjeri. Tačke operativnog poligona prate trasu, ali su dovoljno odmaknute da ne budu uništene tokom izvođenja građevinskih radova. Pri ovome treba imati u vidu i da će ove tačke služiti za obilježavanje pojedinih elemenata saobraćajnice u različitim fazama njene izgradnje a kasnije eventualno i za osmatranje pomjeranja njenih karakterističnih djelova prilikom eksploatacije. Neki od načina stabilizacije tačaka dati su na Slici 6.



Slika 6 Stabilizacija tačaka operativnog poligona

Koordinate tačaka poligona najlakše se računaju po sljedećoj šemi, koju geodeti zovu 19-i obrazac – trigonometrijski obrazac broj 19 (Slika 7).

Ukoliko je ukupno ugaono odstupanje manje od dozvoljenog ugaonog odstupanja onda mjerena uglove treba popraviti.

Pojedinačna popravka će se dobiti po formuli $v_{\beta} = \frac{f_{\beta}}{n}$, gdje je, u opruženom poligonskom vlaku n broj ukupno mjerenih veznih i prelomnih uglova. Pri ovome se uzima u obzir da su svi uglovi mjereni pod istim uslovima, sa istim instrumentom i sa jednakom tačnošću tako da se primjenjuje princip jednakih uticaja grešaka na sva mjerenja (greška se ravnomjerno raspoređuje na sve mjerene uglove).

Pri zaokruživanju pojedinačnih popravki uglova treba voditi računa da bude $\sum v_{\beta} = f_{\beta}$.

Na primjer, ako je $f_{\beta} = 17''$, a $n=5$, tada je $v_{\beta} = 17'' / 5 = 3''.4$ onda se moraju neke popravke zaokružiti na $3''$ a neke na $4''$ tako da zbir bude $17''$ ($3''+3''+ 4'' +4''+3'' = 17''$)

Tada se definitivni vezni i prelomni uglovi dobijaju dodavanjem ovako sračunatih popravki na mjerene uglove:

$$\beta'_B = \beta_B + v_{\beta}$$

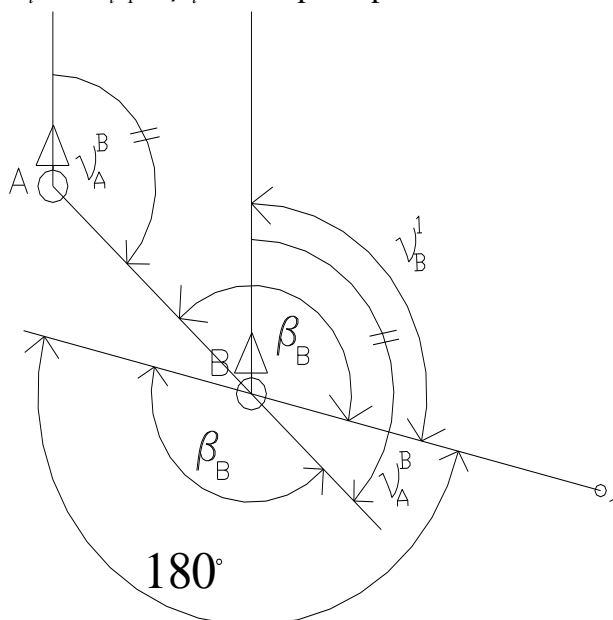
$$\beta'_1 = \beta_1 + v_{\beta}$$

$$\beta'_2 = \beta_2 + v_{\beta}$$

....

$$\beta'_C = \beta_C + v_{\beta}$$

Nakon računanja popravljenih veznih i prelomnih uglova, računaju se direkcioni uglovi po opštoj formuli: $v_i^{i+1} = v_{i-1}^i + \beta_i \pm 180^\circ$ principu kao na Slici 8.



Slika 8. Računanje direkcionih uglova u poligonskom vlaku

Sa slike se vidi da će se naredni direkcioni ugao razlikovati za 180° zavisi od iznosa sume predhodna dva ugla. Ukoliko je ona veća od 180° onda se oduzme od zbira

predhodnog direkcionog ugla i mjenenog veznog ili prelomnog ugla. Dakle, nakon uglovnog izravnjanja direkciono uglovi imaju vrijednost:

$$v_B^1 = v_A^B + \beta_B^i \pm 180^\circ$$

$$v_1^2 = v_B^1 + \beta_1^i \pm 180^\circ$$

$$v_2^3 = v_1^2 + \beta_2^i \pm 180^\circ$$

...

$$v_n^C = v_{n-1}^n + \beta_n^i \pm 180^\circ$$

Da li će se dodati ili oduzeti 180° zavisi od iznosa sume predhodna dva ugla. Ukoliko je ona veća od 180° onda se oduzima a ukoliko je manja onda se dodaje. Sada se završni direkciono ugao mora tačno poklopiti sa već poznatim uglom (sračunat iz koordinata).

Odgovarajuće koordinatne razlike se dobijaju kada se izmjerene dužine pomnože sa kosinusom odnosno sinusom sračunatog direkcionog ugla:

$$\Delta y_i = d_i * \sin v_{i-1}^i \quad \Delta x_i = d_i * \cos v_{i-1}^i$$

Kontrola računanja koordinatnih razlika dolazi iz uslova da su razlike po kordinatama između početne i završne tačke operativnog poligona po obje ose, jednake sumi koordinatnih razlika:

$$Y_C - Y_B = \sum \Delta Y \quad X_C - X_B = \sum \Delta X$$

Zbog grešaka u mjerenju dužina ove jednačine neće važiti pa su odgovarajuća linerana odstupanja po osama:

$$f_y = Y_C - Y_B - \sum \Delta Y \quad f_x = X_C - X_B - \sum \Delta X$$

Ukupno linearno odstupanje se dobija po formuli:

$$f_D = \sqrt{f_y^2 + f_x^2}$$

Sada će odgovarajuće popravke za koordinatne razlike biti $v_{\Delta Y} = \frac{f_y}{\sum d_i} * d_i$ i

$v_{\Delta X} = \frac{f_x}{\sum d_i} d_i$ gdje je $\sum d_i$ ukupna dužina operativnog poligona. Dakle, popravke za

koordinatne razlike se dobijaju srazmjerno odgovarajućoj dužini.

U poslednje vrijeme mjerenje dužina se vrši elektromagnetnim daljinomjerom jednako tačno i za manje i za veće dužine, jer tačnost izmjerene dužine uglavnom zavisi od tačnosti centrisanja instrumenta i signala. Pa kao što ni tačnost uglova ne zavisi od veličine ugla, već od tačnosti centrisanja instrumenta i signala, isti rezon se može primijeniti i kod računanja popravki koordinatnih razlika, tako da se ovdje pojedinačne popravke računaju kao:

$$v_{\Delta Y} = \frac{f_y}{n} \quad i \quad v_{\Delta X} = \frac{f_x}{n} \quad \text{gdje je } n \text{ broj mjerenih dužina u vlaku.}$$

Ukupno linearno odstupanje operativnog poligona mora biti manje od dozvoljenog linearnog odstupanja $\Delta = 0.03m + \sum d * 0.00012m + \sum d * 0.001m$. Ova dozvoljena odstupanja su ranije, dok su se dužine mjerile pantljkama, zavisla od kategorije terena.

Svako odstupanje koje je veće od izračunatog proizvod je grubih grešaka mjerenja i nije ga moguće odstraniti iz rezultata mjerenja, pa je potrebno mjerenja ponoviti sa većom pažnjom i preciznošću.

Sada se definitivne koordinatne razlike dobijaju dodavanjem ovako dobijenih popravki na odgovarajuće sračunate koordinatne razlike. Popravke se zaokružuju (kao i koordinatne razlike) na dvije decimale.

Pri zaokruživanju popravki koordinatnih razlika treba voditi računa da je:

$$\sum v_{\Delta y_i} = f_y \quad i \quad \sum v_{\Delta x_i} = f_x$$

Na kraju, definitivne koordinate tačaka operativnog poligona se dobijaju preko:

$$Y_1 = Y_B + \Delta Y_1 + v_{\Delta y_1} \quad X_1 = X_B + \Delta X_1 + v_{\Delta x_1}$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_2 + v_{\Delta y_2} \quad X_2 = X_1 + \Delta X_2 + v_{\Delta x_2}$$

$$Y_3 = Y_2 + \Delta Y_3 + v_{\Delta y_3} \quad X_3 = X_2 + \Delta X_3 + v_{\Delta x_3}$$

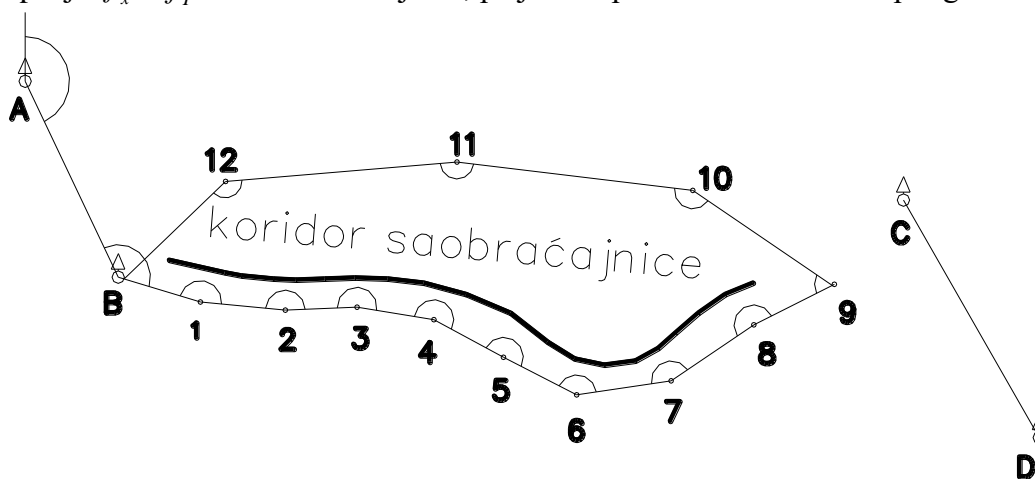
...

$$Y_C = Y_{n-1} + \Delta Y_n + v_{\Delta y_n} \quad X_C = X_{n-1} + \Delta X_n + v_{\Delta x_n}$$

Y_C i X_C su date veličine i po gornjoj formuli moraju tačno da se poklope.

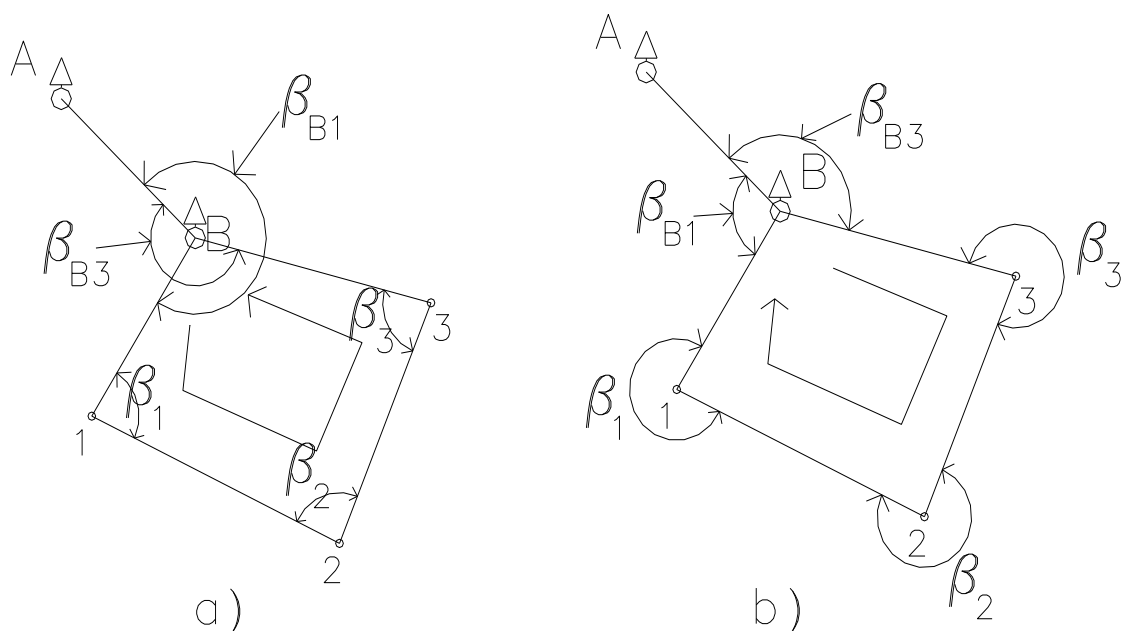
Treba imati u vidu da tačke trigonometrijske mreže imaju svoje položajne greške i međusobna neslaganja tako da nekada i ako se mjeri sa kvalitetnim instrumentima i u više girusa, ne mogu se dobiti odstupanja koja su manja od dozvoljenih. U tom slučaju, treba vlak zatvoriti sa posljednje tačke vlaka C na prvu tačku vlaka B, pri čemu bi se zadržale koordinate tačke B i direkcioni ugao v_A^B .

Na ovaj način se eliminišu greške datih veličina, odnosno datih koordinata trigonometrijskih tačaka i u slučaju većih odstupanja od dozvoljenih. Na taj način se dobija zatvoreni poligonski vlak u kome su isključene greške datih koordinata. U zatvorenom poligonskom vlaku, greške sračunatih koordinata su isključivo proizvod slučajnih grešaka mjerenja i one su po veličini uvijek manjeg inteziteta i mogu se na jednostavan način otkloniti iz rezultata mjerenja. Na Slici 9 prikazan je slučaj kada su odstupanja f_x i f_y veća od dozvoljenih, pa je vlak pretvoren u zatvoreni poligonski vlak.



Slika 9. Zatvoreni poligonski vlak

U zatvorenom poligonskom vlaku kao na Slici 10, kada je ista početna i završna tačka, koordinate nepoznatih tačaka se računaju po istom principu kao i kod ispruženog poligonskog vlaka.

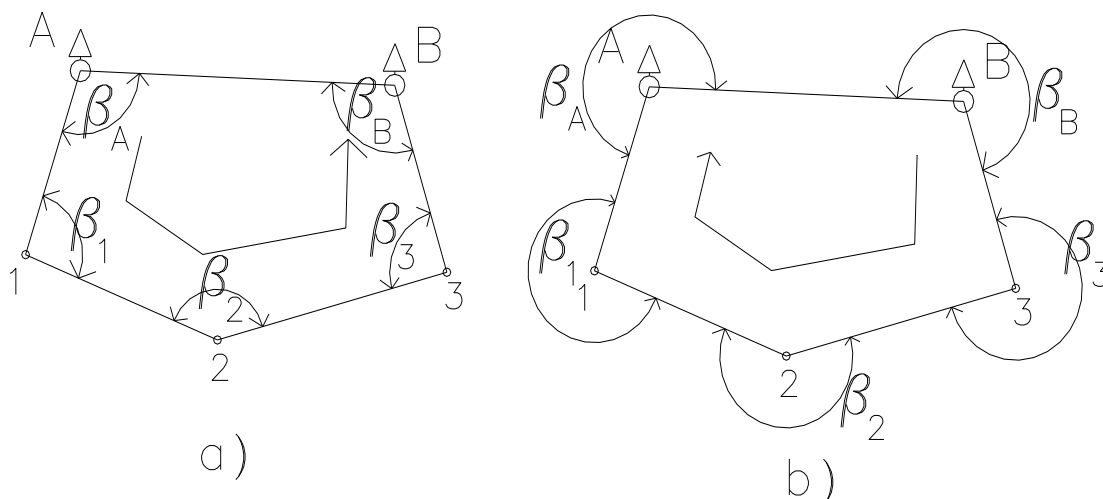


Slika 10. Računanje prelomnih i veznih uglova u zatvorenom poligonskom vlaku

I ovdje treba posebno voditi računa o računanju veznih i prelomnih uglova. U slučaju a) sa Slike 10, početni direkcioni ugao je v_A^B , zatim prvi vezni ugao β_{B1} , pa prelomni uglovi redom kao na slici - β_1, β_2 i β_3 , zadnji vezni ugao - β_{B3} i završni direkcioni ugao v_B^A . Sa obzirom da se direkcioni uglovi v_A^B i v_B^A razlikuju tačno za 180° tako će ovdje ukupno uglovno odstupanje biti $f_\beta = \sum \beta_i - n * 180^\circ$. Ovdje treba imati u vidu da kod oba slučaja n nije ukupan broj veznih i prelomnih uglova već je on cio broj koji zavisi od oblika kao i pravca pružanja operativnog poligona.

U slučaju b) sa Slike 10, početni direkcioni ugao je v_A^B , zatim prvi vezni ugao β_{B3} , pa prelomni uglovi redom kao na slici - $\beta_3, \beta_2, i \beta_1$, zadnji vezni ugao - β_{B1} i završni direkcioni ugao v_B^A . I ovdje je slučaj kao u primjeru a) sa slike da se početni i završni ugao razlikuju tačno za 180° pa se f_β računa na isti način.

Umetnuti poligonski vlak počinje na početnoj a završava na završnoj tački operativnog poligona kao na Slici 11. Princip računanja koordinatnih razlika i koordinata tačak je isti kao i kod opruženog poligonskog vlaka.



Slika 11. Računanje prelomnih i veznih uglova u umetnutom poligonskom vlaku

I u zatvorenom poligonskom vlaku treba posebno voditi računa o računanju veznih i prelomnih uglova. Kao i u opruženom vlaku i ovdje se svi prelomni i vezni uglovi uzimaju sa lijeve strane, gledano u smjeru računanja vlaka.

U slučaju a) sa Slike 11, početni direkcionni i završni direkcionni ugao je v_B^A , prvi vezni ugao je kod tjemena A - β_A a zatim su prelomni uglovi prikazani na slici β_1, β_2 i β_3 i na kraju završni vezni ugao kod tjemena B - β_B . Dakle, ovdje se ukupno uglovno odstupanje dobija kao: $f_\beta = \sum \beta_i - n * 180^\circ$ gdje je n cio broj koji zavisi od oblika kao i pravca pružanja operativnog poligona.

U slučaju b) sa Slike 11 početni i završni direkcionni ugao je v_A^B , prvi vezni ugao je kod tjemena B - β_B , zatim su prelomni prikazani na slici $\beta_3, \beta_2, i \beta_1$ i na kraju završni vezni kod tjemena A - β_A . I ovdje se ukupno uglovno odstupanje dobija kao $f_\beta = \sum \beta_i - n * 180^\circ$ gdje n ima vrijednost kao u slučaju a).

Dozvoljena odstupanja u zatvorenom i umetnutom poligonskom vlaku su ista kao i u opruženom i posebno treba voditi računa o pravcu pružanja kao i o unosu koordinata tačaka i polaznih direkcionnih uglova u trigonometrijski obrazac broj 19.

U slijepom poligonskom vlaku ne postoji mogućnost kontrole izmjenjenih veličina - uglova i dužina jer ne postoji višak mjerenja kao kod ispruženog, umetnutog i zatvorenog poligonskog vlaka. Koordinatne razlike i koordinate tačaka se dobijaju po istom principu kao kod opruženog poligonskog vlaka samo što nema uglovnih i koordinatnih popravki. Ovdje se ne može vršiti nikakvo izravnjanje pa se ova vrsta poligona izbjegava ili ograničava na dvije ili tri slijepe tačke.