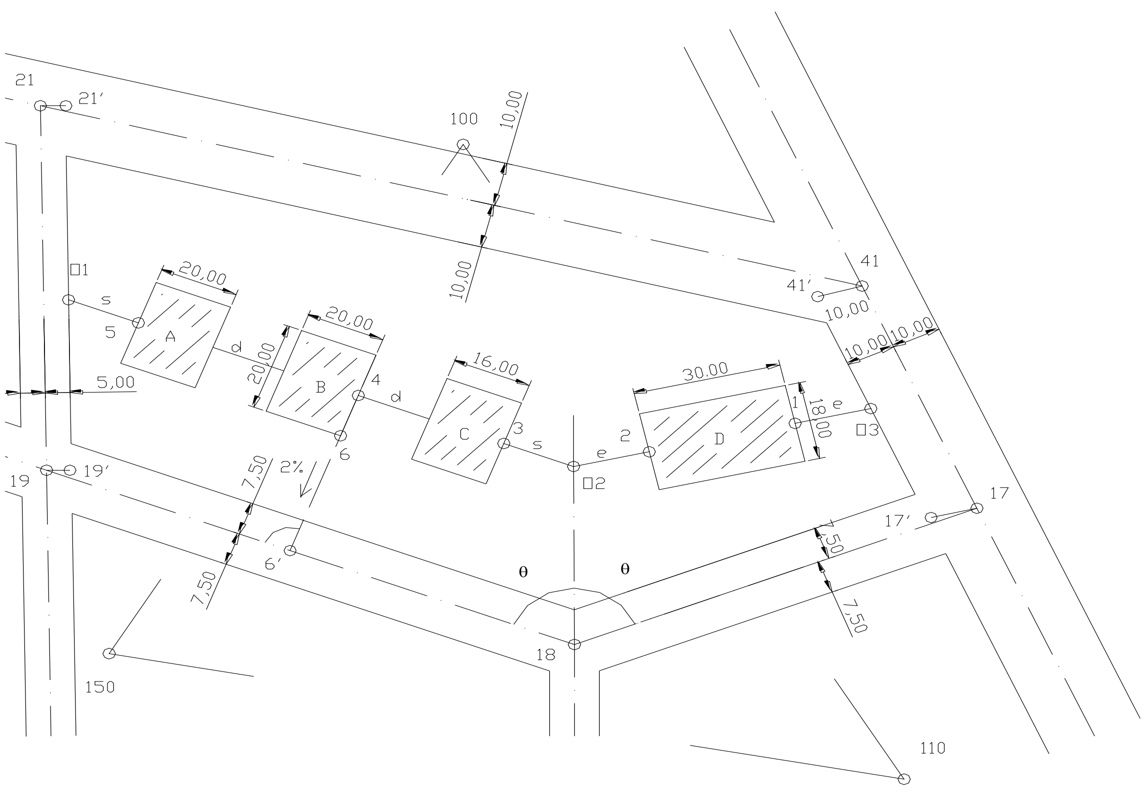
VIII Predavanje

Analitička razrada geometrije projektovanog objekta. Obilježavanje pravca između tačaka koje se ne dogledaju. Geometrija saobraćajnice. Prelazne krivine. Računanje koordinata tačaka prelaznica i kružnih krivina u poligonskom vlaku.

8.1 Analitička razrada geometrije projektovanog objekta

Prilikom analitičke razrade geometrije projektovanog objekta karakteristične tačke kojima treba sračunati koordinate ili ih obilježiti na terenu se najčešće nalaze u odnosima tako da ih je moguće dobiti poznavajući formule koje predstavljaju pravilne geometrijske elemente. U narednim primjerima biće dati neki njihovi odnosi koji se najčešće javljaju na samom terenu na objektima i načini računanja koordinata.

Na Slici 1 dat je karakterističan primjer jedne situacije.

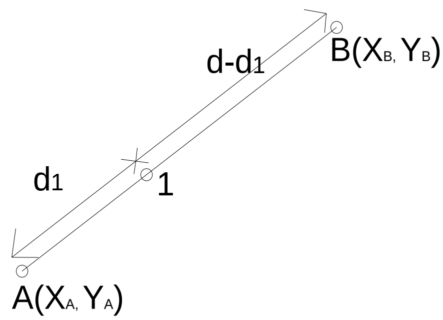


Slika 1. Primjer jedne situacije

Sa slike se vidi da su geometrijski elementi objekata prikazani tako da imaju karakteristične odnose (paralelni, upravni, na pravcu, itd.) u odnosu na tačke sa zadatim koordinatama. U predhodnim predavanjima je objašnjeno kako se polarnom metodom pomoću mjerenog ugla i dužine računaju koordinate tačke.

Na Slici 2 je data postavka ukoliko se tražena tačka nalazi na pravcu između zadatih tačaka.

Date su veličine X_A, Y_A, X_B, Y_B iz kojih se može sračunati direkcioni ugao ν_A^B i dužina d između A i B. Mjerena je dužina d_1.



Slika 2. Tražena tačka na pravoj liniji

U ovom slučaju je koordinate nepoznate tačke moguće sračunati po formulama:

$$Y_1 = Y_A + d_1 * \sin \nu_A^B$$

$$X_1 = X_A + d_1 * \cos \nu_A^B$$

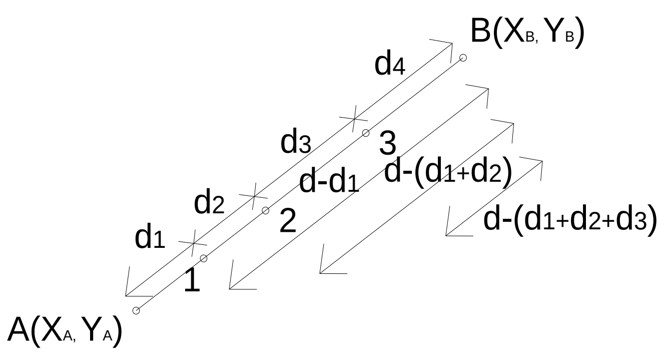
a kontrolu je moguće napraviti računajući koordinate iste tačke ali iz drugog pravca:

$$Y_1 = Y_B + (d - d_1) * \sin \nu_B^A$$

$$X_1 = X_B + (d - d_1) * \cos \nu_B^A$$

Na Slici 3 je prikazana situacija kada postoji više tačaka na pravoj liniji kojima treba sračunati koordinate.

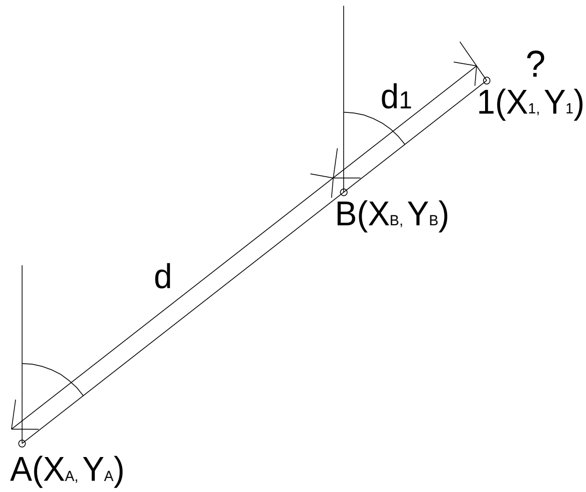
Date su veličine X_A, Y_A, X_B, Y_B iz kojih se može sračunati direkcioni ugao ν_A^B i dužina d između A i B. Mjerene su dužine $d_1, d_2, d_3\ i\ d_4$.



Slika 3. Više tačaka na pravoj liniji

Koordinate tačaka 1, 2 i 3 se računaju po istim formulama kao tačka 1 iz predhodnog primjera samo uzimajući odgovarajuće dužine na kojima se nalaze tražene tačke. Za kontrolu se koriste razlike između ukupne dužine AB i mjerenih dužina.

Na Slici 4 je prikazan slučaj kada se tražena tačka nalazi na produžetku prave linije:



Slika 4. Tražena tačka na produžetku prave linije

U ovom slučaju je koordinate nepoznate tačke moguće sračunati po formulama:

$$Y_1 = Y_A + (d + d_1) * \sin \nu_A^B$$

$$X_1 = X_A + (d + d_1) * \cos \nu_A^B$$

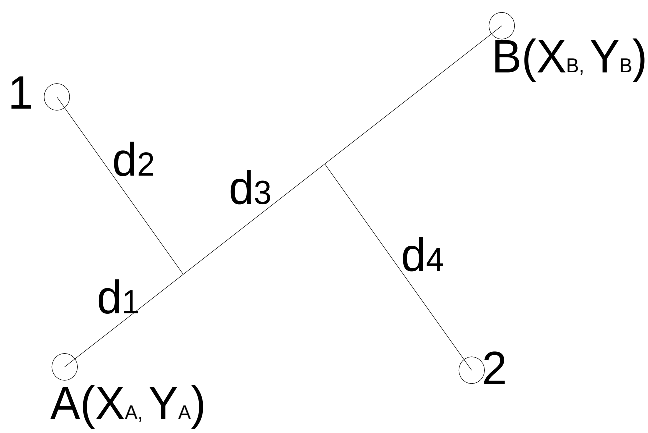
Kontrola:

$$Y_1 = Y_B + d_1 * \sin \nu_A^B$$

$$X_1 = X_B + d_1 * \cos \nu_A^B$$

Na Slici 5 data je situacija kada su nepoznate koordinate tačaka koje se nalaze na mjerenim upravnim linijama od pravca definisanog sa dvije tačke sa koordinatama.

Date su veličine X_A, Y_A, X_B, Y_B iz kojih se može sračunati direkcioni ugao ν_A^B i dužina d između A i B. Mjerene su dužine $d_1, d_2, d_3 \, i \, d_4$.



Slika 5. Tražene tačke na upravnim linijama na datu liniju

Koordinate tačke 1 se računaju po formulama:

$$Y_1 = Y_A + d_1 * \sin \nu_A^B + d_2 * \sin(\nu_A^B + 270°)$$

$$X_1 = X_A + d_1 * \cos \nu_A^B + d_2 * \cos(\nu_A^B + 270°)$$

Koordinate tačke 2 se računaju po formulama:

$$Y_2 = Y_A + (d_1 + d_3) * \sin \nu_A^B + d_4 * \sin(\nu_A^B + 90°)$$

$$X_2 = X_A + (d_1 + d_3) * \cos \nu_A^B + d_4 * \cos(\nu_A^B + 90°)$$

Kontrola za tačku 1:

$$Y_1 = Y_B + (d - d_1) * \sin \nu_B^A + d_2 * \sin(\nu_B^A + 90°)$$

$$X_1 = X_B + (d - d_1) * \cos \nu_B^A + d_2 * \cos(\nu_B^A + 90°)$$

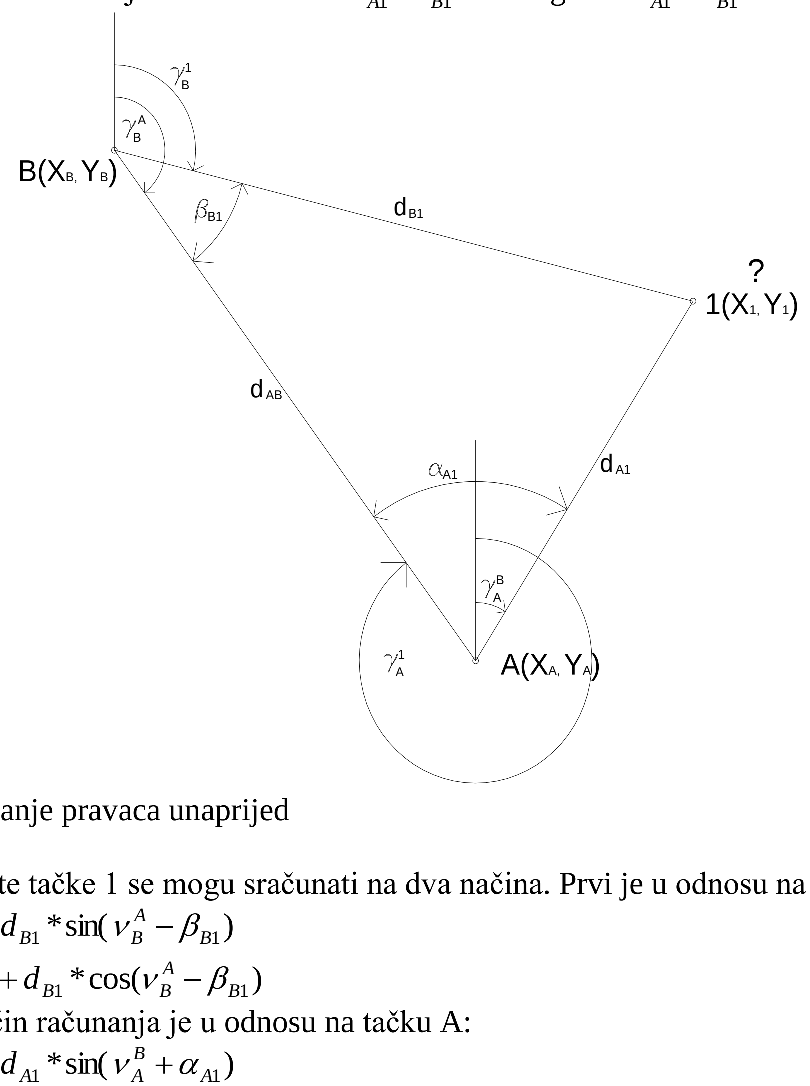
Kontrola za tačku 2:

$$Y_2 = Y_B + (d - (d_1 + d_3)) * \sin \nu_B^A + d_4 * \sin(\nu_B^A + 270°)$$

$$X_2 = X_A + (d - (d_1 + d_3)) * \cos \nu_B^A + d_4 * \cos(\nu_B^A + 270°)$$

Računanje koordinata tačaka metodom presijecanja pravaca unaprijed vrši se na sledeći način.

Date su veličine X_A, Y_A, X_B, Y_B iz kojih se može sračunati direkcioni ugao ν_A^B i dužina d između A i B. Mjerene su dužine $d_{A1}\ i\ d_{B1}$ kao i uglovi $\alpha_{A1}\ i\ \alpha_{B1}$.



Slika 6. Presijecanje pravaca unaprijed

Koordinate tačke 1 se mogu sračunati na dva načina. Prvi je u odnosu na tačku B:

$$Y_1' = Y_B + d_{B1} * \sin(\nu_B^A - \beta_{B1})$$

$$X_1' = X_B + d_{B1} * \cos(\nu_B^A - \beta_{B1})$$

Drugi način računanja je u odnosu na tačku A:

$$Y_1'' = Y_A + d_{A1} * \sin(\nu_A^B + \alpha_{A1})$$

$$Y_2'' = X_A + d_{A1} * \cos(\nu_A^B + \alpha_{A1})$$

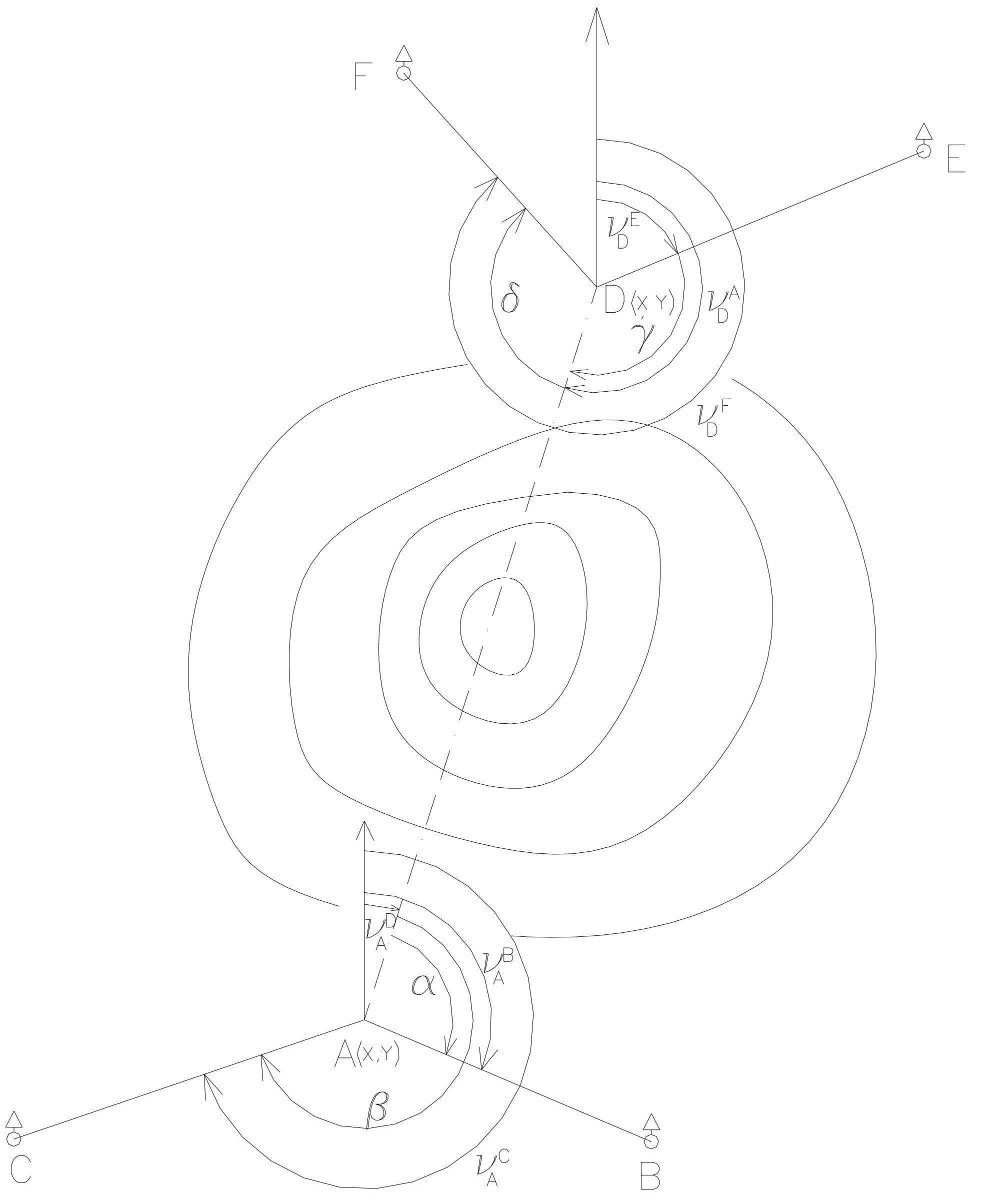
Na kraju se definitivne koordinate tačke 1 dobijaju kao aritmetička sredina ova dva rezultata:

$$X_1 = \frac{X_1' + X_1''}{2}$$

$$Y_1 = \frac{Y_1' + Y_1''}{2}$$

8.2 Obilježavanje pravca između tačaka koje se ne dogledaju

Često se događa na terenima koji su obrasli bujnom vegetacijom ili kad se ostvaruje pravac proboja tunela, da se krajnje tačke toga pravca ne dogledaju (Slika 7).



Slika 7. Obilježavanje pravca između tačaka koje se ne dogledaju

Na Slici 7 je prikazan slučaj obilježavanja pravca između tačaka A i D koje se ne dogledaju, jer se između nalazi brdo obraslo gustom vegetacijom.

U ovom slučaju, prvo se određuju koordinate tačaka A i D koje se nalaze na početku i na kraju pravca.

Koordinate tačaka A i D moraju biti određene u istom koordinatnom sistemu. To prije svega može biti državni koordinatni sistem, što se preporučuje u svim slučajevima kada u blizini tih tačaka postoje trigonometrijske tačke državne mreže. Sa druge strane, te tačke mogu biti određene i u lokalnom koordinatnom sistemu, kada u blizini nema dovoljno trigonometriskih tačaka državne mreže.

Obilježavanje pravca se izvodi pomoću uglova koje zahvata pravac koji se obilježava sa tačkama koje se nalaze u blizini.

Sa tačke A se prvo računaju direkcioni uglovi prema tački D koja se nalazi na drugom kraju pravca ν_A^D i prema druge dvije tačke ν_A^B i ν_A^C, pa se iz razlike direkcionih uglova računa ugao:

$$\alpha = \nu_A^B - \nu_A^D$$

i kontrolni ugao:

$$\beta = \nu_A^C - \nu_A^D$$

Kako je kod uglova α i β početni pravac usmjeren prema tački D koji treba obilježiti, potrebno je uglove α i β dopuniti do 360° i tako početni pravac uzeti na datu tačku:

$$\alpha' = 360° - \alpha$$

i kontrolni ugao:

$$\beta' = 360° - \beta$$

Na sličan način računaju se uglovi za orijentaciju pravca sa tačke D, γ i δ odnosno δ'. Tako će orijentacioni ugao γ biti:

$$\gamma = \nu_D^A - \nu_D^E$$

i kontrolni ugao:

$$\delta = \nu_D^F - \nu_D^A$$

odnosno njegovu dopunu do 360°

$$\delta' = 360° - \delta$$

Obilježavanje pravca na ovaj način izvodi se kad je u pitanju prosijecanje šumskih kompleksa i kraćih tunela u pravcu do 300m.

Kod dužih tunela u pravcu i tunela u krivini, na ulazu i izlazu tunela radi se tunelska triangulacija, koja se prije pojave GPS uređaja postavljala preko čitavog brda odnosno planine kod većih tunela. Nakon pojave GPS uređaja, dovoljno je postaviti po nekolike tačke na ulazu i izlazu tunela i povezati ih u istu mrežu pozicioniranjem GPS uređaja.

Pravac osovine u oba portala tunela, određuje se zatim kao u primjeru označenom na slici. Tačke na osovini saobraćajnice računaju se kao tačke na pravcu ili ako se osovina nalazi u krivini, onda se prvo računaju koordinate krivine u lokalnom koordinatnom sistemu a zatim se transformišu u državni koordinatni sistem i na osnovu njih lociraju na terenu.

Posebno je važno poznavati način izračunavanja koordinata tačaka na osovini kružne krivine sa prelaznicom.

8.3 Geometrija saobraćajnice

Projekat trase saobraćajnice mora da sadrži elemente koji su potrebni za njeno obilježavanje, a to su direkcioni uglovi koji definišu pravolinijske pravce osovine saobraćajnice, njeni nagibi u visinskom smislu, koordinate tjemena i centara krivina, radijusi zakrivljenosti (horizontalni i vertikalni), elementi kružnih i prelaznih krivina i koordinate glavnih tačaka. Na osnovu ovih podataka računaju se elementi za obilježavanje u skladu sa odabranom metodom za obilježavanje.

Do pojave džepnih kalkulatora i kompjutera, računanje koordinata tačaka na kružnoj krivini sa prelaznicom, bilo je vrlo komplikovano. Prelaznice veće dužine su mogle da se obilježavaju samo sa izabranih tačaka koje su bile na velikom rastojanju, pa je lociranje tačaka prelaznice zahtijevalo velika prosijecanja radi dogledanja tačaka i mnoge druge komplikacije. Upotrebom kompjutera sve postaje jednostavnije.

Koordinate tačaka kružne i prelazne krivine oblika klotoide računaju se iz poznatih formula, ali prije toga treba se podsjetiti na osnovne karakteristike kružne krivine i klotoide.

Projektovana osovina buduće saobraćajnice je definisana u vidu niza pravaca (tangenti) sa početnom stacionažom 0+000 metara koja se nastavlja sve do završne tačke trase. Prilikom svake promjene pravaca, potrebno je odrediti skretni ugao α između prethodnog i narednog pravca koji definišu osovinu buduće saobraćajnice. Kako bi se obezbijedio kontinuitet u kretanju vozila prilikom promjene pravca neophodno je umetnuti luk koji predstavlja dio kružnice. Tačka u kojoj osovina saobraćajnice prelazi iz prave linije u kružni luk naziva se početkom krivine (PK). Rastojanje od tjemena krivine T (tačke u kojoj se sijeku tangencijalni pravci) do PK nazivamo tangentom Tg. Tačka u kojoj osovina iz kružnog luka prelazi ponovo u pravolinijski pravac naziva se krajem krivine (KK). Linija koja spaja centar kružne krivine sa tjemenom krivine siječe kružni luk u tački koju nazivamo sredinom krivine (SK). Rastojanje od tjemena T do sredine krivine naziva se bisektrisa (b), dok pravolinijska rastojanja od PK do SK, tj. od SK do KK predstavljaju tetivu.

Simetrična kružna krivina i njeni glavni elementi prikazani su na Slici 8. Poluprečnik kružne krivine obilježava se sa R i njegovu veličinu zadaje projektant u zavisnosti od položaja krivine u saglasnosti sa osovinom saobraćajnice. Poznate su i koordinate tjemena T_0, T_1 i T_2 i one su u državnom koordinatnom sistemu.

Ostali glavni elementi, skretni ugao α, dužina kružnog luka Dkl, dužine tangenti i bisektrisa, izračunavaju se iz zadatih elemenata na sljedeći način:

Centralni odnosno skretni ugao α izaračunava se iz razlike direkcionih uglova:

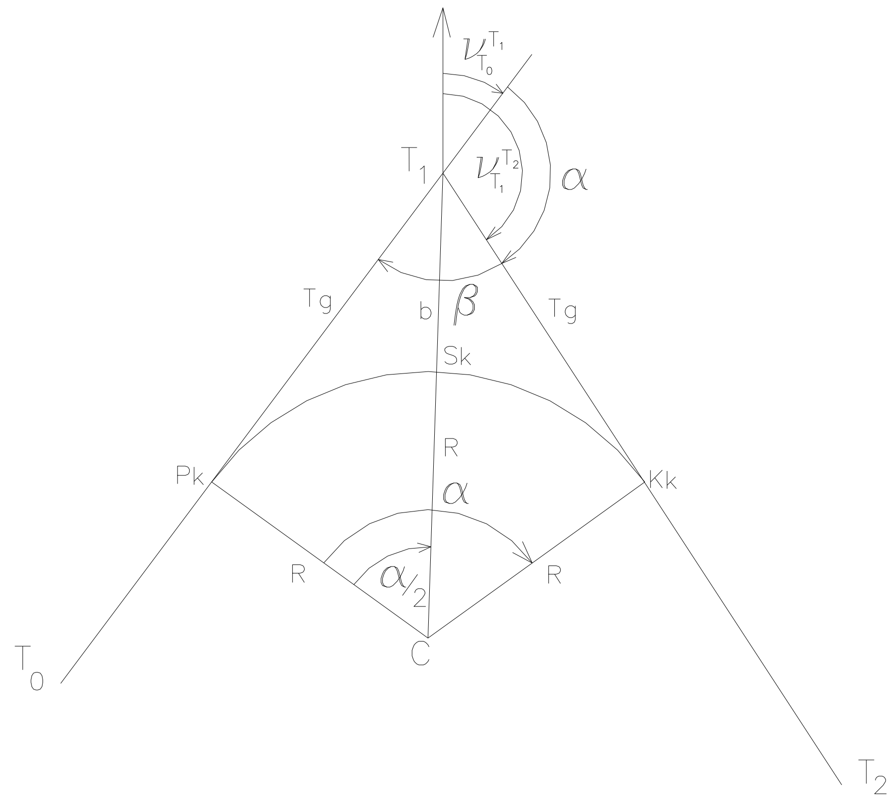
$$\alpha = \nu_{T_1}^{T_2} - \nu_{T_0}^{T_1}$$

Imajući u vidu da je ugao između poluprečnika i tangente 90°, dužina tangente se računa iz pravouglog trougla P_k T_1 C:

$$Tg = R * \tan\frac{\alpha}{2}$$

Bisektrisa b izračunava se iz istog pravouglog trougla iz relacije:

$$\cos\frac{\alpha}{2} = \frac{R}{R+b} \text{ odakle je } b = (R/\cos\frac{\alpha}{2}) - R$$



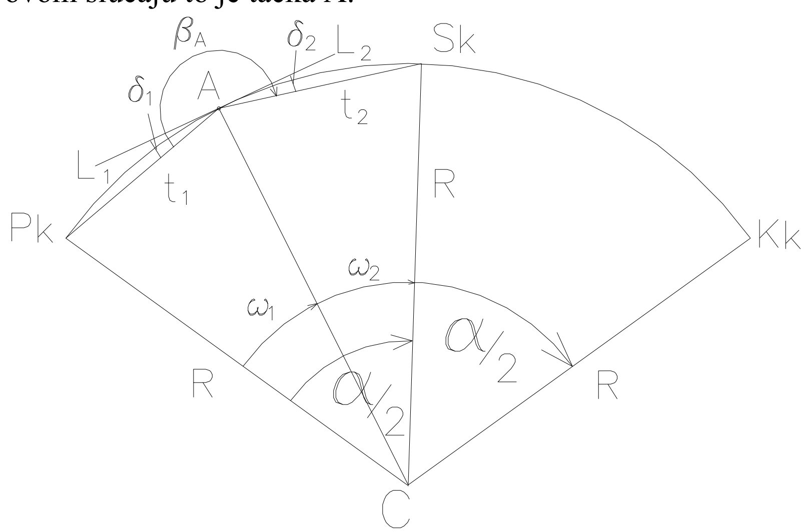
Slika 8. Simetrična kružna krivina - glavni elementi

I na kraju, dužina kružnog luka izračunava se iz proporcije:

$$\left(\frac{D_{KL}}{2R\pi}\right)=\left(\frac{\alpha^\circ}{360^\circ}\right) \text{odakle je } D_{KL}=\left(\frac{\alpha^\circ}{360^\circ}\right)*2R\pi$$

Ovu proporciju treba koristiti za sva izračunavanja dužine luka kad je poznat centralni ugao.

Na Slici 9 je prikazan način računanja prelomnog ugla β na bilo kojoj tački kružnog luka. U ovom slučaju to je tačka A.



Slika 9. Računanje prelomnog ugla na tački luka kružne krivine

Zadate vrijednosti su dužine lukova L_1 i L_2, poluprečnik krivine R i skretni ugao α.

Izračunavaju se centralni uglovi ω_1 i ω_2 koji pripadaju lukovima L_1 i L_2, uglovi δ_1 i δ_2 ,prelomni ugao β_A i dužine tetiva t_1 i t_2.

Centralni uglovi ω_1 i ω_2 izračunavaju se primjenom proporcije na sljedeći način:

$$(\omega_1 / 360°) = (L_1 / 2R\pi) ,$$

odakle slijedi:

$$\omega_1 = (L_1 / 2R\pi) * 360°$$

Na sličan način je:

$$\omega_2 = (L_2 / 2R\pi) * 360°$$

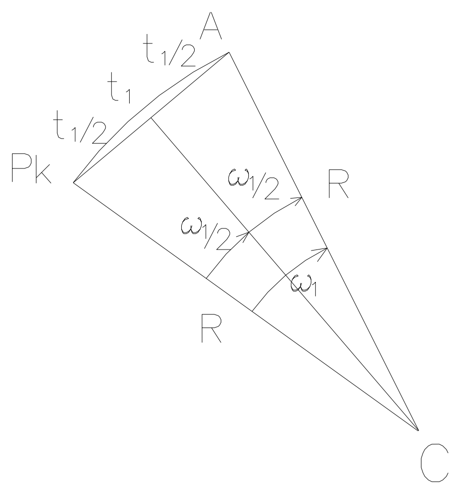
Uglovi δ_1 i δ_2 dobijaju se iz poznatog uslova da su uglovi između tangente i tetive jednaki polovini centralnog ugla, odnosno:

$$\delta_1 = \omega_1 / 2 \text{ i } \delta_2 = \omega_2 / 2$$

Na kraju je prelomni ugao β_A:

$$\beta_A = 180° + (\delta_1 + \delta_2)$$

Da bi se izračunale koordinate tačaka u poligonskom vlaku, pored prelomnih uglova potrebno je znati i rastojanja između tačaka, odnosno na kružnom luku dužine pripadajućih tetiva t_1 i t_2.



Slika 10. Računanje dužine tetive luka kružne krivine

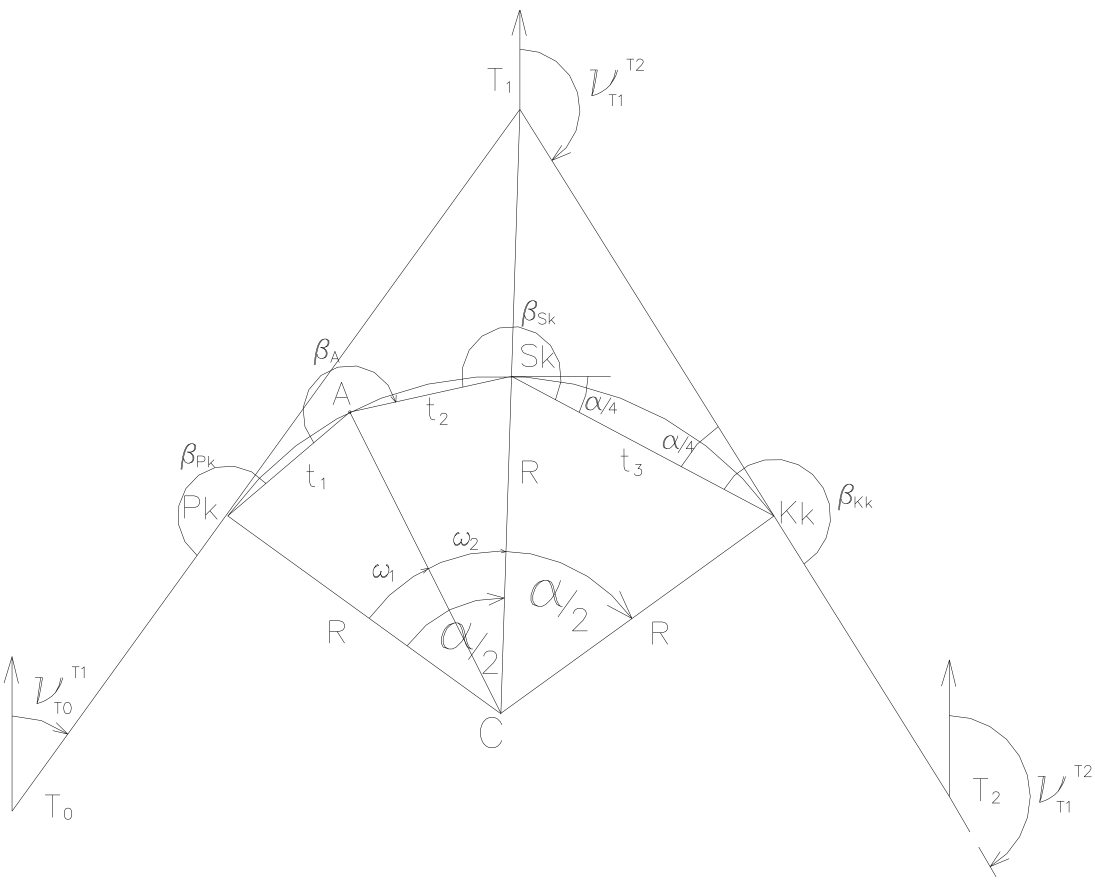
Kako se na Slici 10 vidi, dužine tetiva izračunavaju se iz jednakokrakog trougla i zahvaćenog ugla. Zbog poznate činjenice da u jednakokrakom trouglu visina dijeli zahvaćeni ugao ω_1 i osnovicu t_1 na polovinu i da na osnovici čini prav ugao, biće:

$$\sin\left(\frac{\omega}{2}\right) = \frac{t_1 / 2}{R}$$

odakle slijedi:

$$t_1 = 2R * \sin\left(\frac{\omega}{2}\right)$$

Kad se izračunaju prelomni uglovi i dužine tetiva moguće je u poligonskom vlaku izračunati koordinate svake tačke na luku za koju je zadata dužina luka odnosno pripadajuće tetive.



Slika 11. Računanje koordinata tačaka kružne krivine u poligonskom vlaku

Na Slici 11 se vidi da poligonski plak polazi od tjemena T_0 i da je početni direkcioni ugao $\nu_{T_0}^{T_1}$ koji se izračunava iz zadatih koordinata tjemena. Zatim ide P_k kao prva tačka vlaka, pa ostale tačke na luku, A i S_k i na kraju zadnja tačka vlaka K_k Ovdje treba napomenuti da je završni direkcioni ugao $\nu_{T_1}^{T_2}$. Sve drugo je isto kao i kod ostalih poligonskih vlakova.

8.4 Prelazne krivine

Prelazne krivine su obavezne, posebno kod projektovanja željeznica kao i drumskih saobraćajnica poput autoputeva na kojima se postižu velike brzine kako bi se ublažio iznenadni uticaj krivine na prelazu sa tangentnog pravca na luk krivine. Usled brzog kretanja vozila na ovom mjestu dolazi do trenutnog prirasta centrifugalne sile koja teži da kretanje nastavi u pravcu od centra krivine. Ovaj poprečni potisak, tzv „bočni udar" je posledica skokovite promjene radijalnog ubrzanja (v^2 / R) i utiče nepovoljno na putnike a pri većim brzinama može doći i do slijetanja vozila sa puta ili iskakanja voza iz šina. U cilju izbjegavanja udara i trzaja do kojih može doći, kao i povećanja bezbjednosti vožnje između pravca i luka krivine, umeće se pelazna krivina (prelaznica). Prelaznica je zapravo kriva koja poluprečnik zakrivljenosti postepeno smanjuje od vrijednosti ρ=∞ do vrijednosti ρ=R, tj. vrijednosti poluprečnika kružne krivine. Ona praktično predstavlja krivu liniju (trajektoriju) koju opisuje vozilo koje se kreće konstantnom brzinom pri konstantnom okretanju volana. Isprva je ona korišćena samo kod željeznica (već sredinom XIX vijeka) da bi porastom brzina i gustine saobraćaja tridesetih godina XX vijeka počela da se primjenjuje i kod projektovanja puteva.

U praksi se koristi više vrsta prelaznica. Ukoliko važi zakonitost da je $l_i * R_i = const$, onda se radi o klotoidi. Dakle, kod nje je proizvod dužine luka i poluprečnika krive (prelaznice) u svakoj tački konstantan. Iz ove formule se vidi da je konstanta proizvod dvije linearne mjere, pa je logično da se ona prikaže kvadratnim faktorom odnosno takozvanom „Prirodnom jednačinom klotoide”:

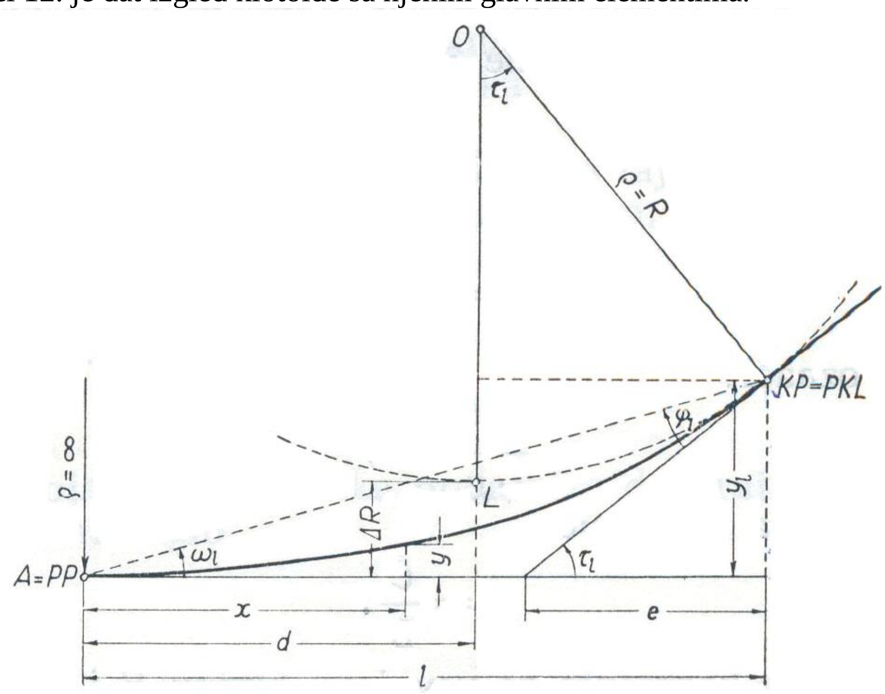
$R * L = A^2$

gdje je A parametar klotoide a R poluprečnik kružnog luka.

Na ovoj zakonitosti se bazira matematičko rješenje prelazne krivine i iz nje takođe slijedi da je njena zakrivljenost obrnuto proporcionalna dužini luka u bilo kojoj njenoj tački. Klotoida u potpunosti zadovoljava sve zahtjeve bezbjednosti i konformne vožnje. Pri konstantnoj brzini vožnje ostvaruje se ravnomjerna brzina okretanja upravljača usled linearne promjene zakrivljenosti.

Prelaznica čiji je poluprečnik zakrivljenosti proporcionalan projekciji njenog luka na tangentu u početnoj tački zove se kubna parabola. Kriva čiji je proizvod poluprečnika R i tetive poluprečnika t, konstantna veličina $R * t = const.$ naziva se lemniskata. Dok se kubna parabola najviše koristi kod željeznica, klotoida se najviše koristi u drumskom saobraćaju. Lemniskata se primjenjuje kod projektovanja serpentina i kod većih poluprečnika zakrivljenosti i kraćih dužina prelaznice ona se poklapa sa klotoidom.

Na Slici 12. je dat izgled klotoide sa njenim glavnim elementima.



Slika 12. Glavni elementi klotoide

Glavni elementi klotoide su:

- dužina luka klotoide – L,

- apcisna dužina klotoide - l,
- ordinata tačke prelazne krivine - y_l,
- poluprečnik kružnog luka - R,
- konstanta C ili A^2 koja definiše odnos dužine luka L i ugla τ_L (ili poluprečnika R),
- centralni ugao - τ_L koji zaklapa normala i poluprečnik krivine (ili ugao tangente u KPK sa tangentom u PPK),
- ugao ω_L koji zaklapa glavna tangenta i pravac PK KPK,
- ugao φ_L koji zaklapa zajednička tangenta u KPK i pravac na PK,
- udaljenost PPK od teorijskog početka – d,
- krugov pomak - ΔR.

Klotoida je u suštini spirala i analitički je definisana formulama:

$$X = \int_0^L \cos \frac{L^2}{2C} dL, \ Y = \int_0^L \sin \frac{L^2}{2C} dL$$

Polazeći od ovih formula i njihovim razvijanjem u red (najčešće do tri člana a u nekim slučajevima i do pet) mogu se dobiti neki od elemenata klotoide:

$$l = L * \left[1 - \frac{1}{10}\left(\frac{L}{2R}\right)^2 + \frac{1}{216}\left(\frac{L}{2R}\right)^4 - ... \right]$$

$$y_L = \frac{L^2}{6R}\left[1 - \frac{1}{14}\left(\frac{L}{2R}\right)^2 + \frac{1}{440}\left(\frac{L}{2R}\right)^4 - ... \right]$$

$$\tau_L = \frac{L}{2R} = \frac{L^2}{2C} \ \left(*\frac{180}{\pi}\right.$$ da bi se iz radijanskih prešlo na stepene vrijednosti ugla)

$$\omega_L = arctg\left(\frac{y_L}{l}\right)$$

$$\varphi_l = \tau_l - \omega_l$$

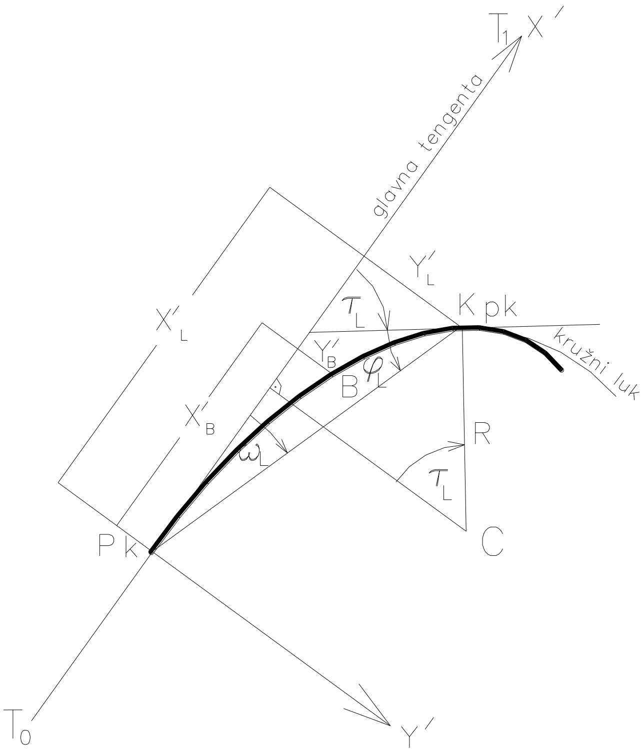
$$d = l - R * \sin \tau_L$$

Za obilježavanje prelaznice, važno je odrediti koordinate svake tačke prelaznice u istom koordinatnom sistemu u kom su određene i koordinate tjemena i tačaka kružne krivine.

Postupak je sličan kao i kod određivanja koordinata kraja prelaznice, samo što se u ovom slučaju zadaje dužina luka prelaznice od početne tačke do tačke na prelaznici a konstanta prelaznice ostaje ista. Tako će na primjer za tačku B (Slika 13) koja se od PK nalazi na dužini luka prelaznice L_B lokalne koordinate biti:

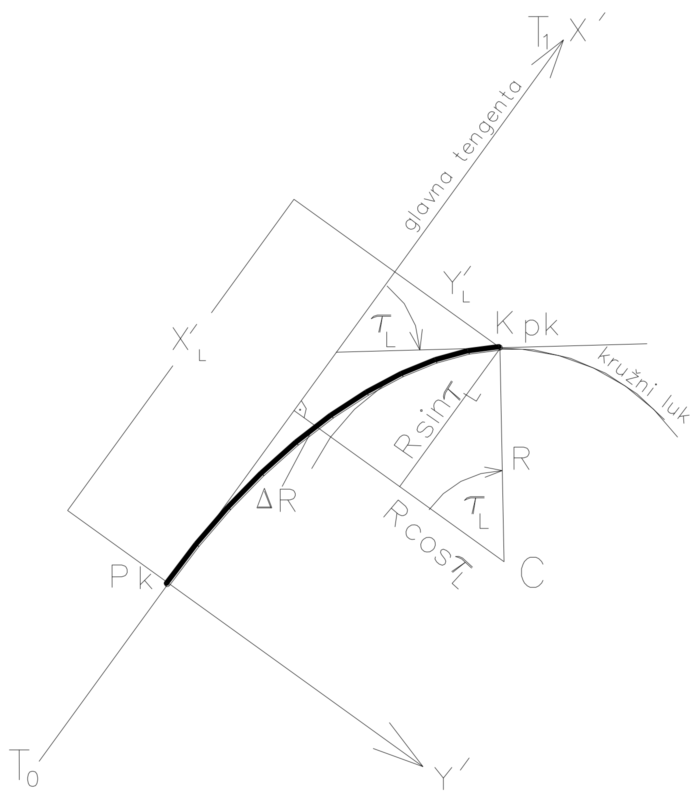
$$X_B = L_B * \left[1 - \frac{1}{10}\left(\frac{L_B}{2R}\right)^2 + \frac{1}{216}\left(\frac{L_B}{2R}\right)^4 - ... \right]$$

$$Y_B = \frac{{L_B}^2}{6R}\left[1 - \frac{1}{14}\left(\frac{L_B}{2R}\right)^2 + \frac{1}{440}\left(\frac{L_B}{2R}\right)^4 - ... \right]$$



Slika 13. Koordinate bilo koje tačke klotoide

Prealaznica pomjera kružni luk za vrijednost ΔR koji se izračunava na sljedeći način (Slika 14):



Slika 14. Računanje pomaka kružnog luka ΔR

Sa Slike 14 se vidi da je:

$$\Delta R = Y_L + R * \cos \tau_L - R$$

odakle je

$$\Delta R = Y_L + R * (\cos \tau_L - 1)$$

Vrijednost bisektrise kod kružne krivine sa prelaznicom računa se po formuli:

$$b = (R + \Delta R) / \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - R$$

Da bi dobili elemente za izračunavanje koordinata tačaka prelaznice u poligonskom vlaku u kome se računaju i koordinate kružne krivine, potrebno je izračunati prelomne uglove i rastojanja između tačaka prelaznice. To se sve može izračunati iz lokalnih koordinata i iz razlike direkcionih uglova koji su sračunati iz tih koordinata.

Prelomni ugao β_{Pk} (Slika 15) dobija se kad se na 180° doda ugao ω_B koji se određuje iz:

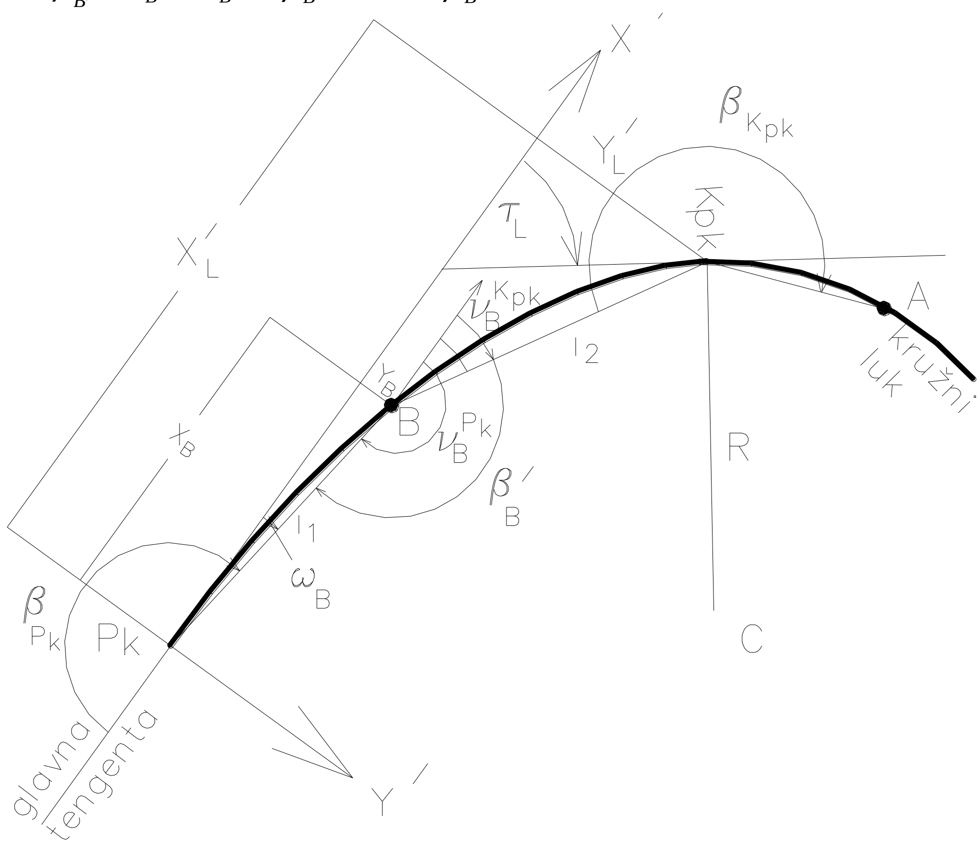
$$\omega_B = arctg(Y_B / X_B)$$

a zatim:

$$\beta_{Pk} = 180° + \omega_B$$

Prelomni ugao kod tačke na prelaznici β_B izračunava se kao dopuna ugla $\beta_{B'}$ do 360°. Ugao $\beta_{B'}$ računa se iz razlike direkcionih uglova izračunatih iz lokalnih koordinata

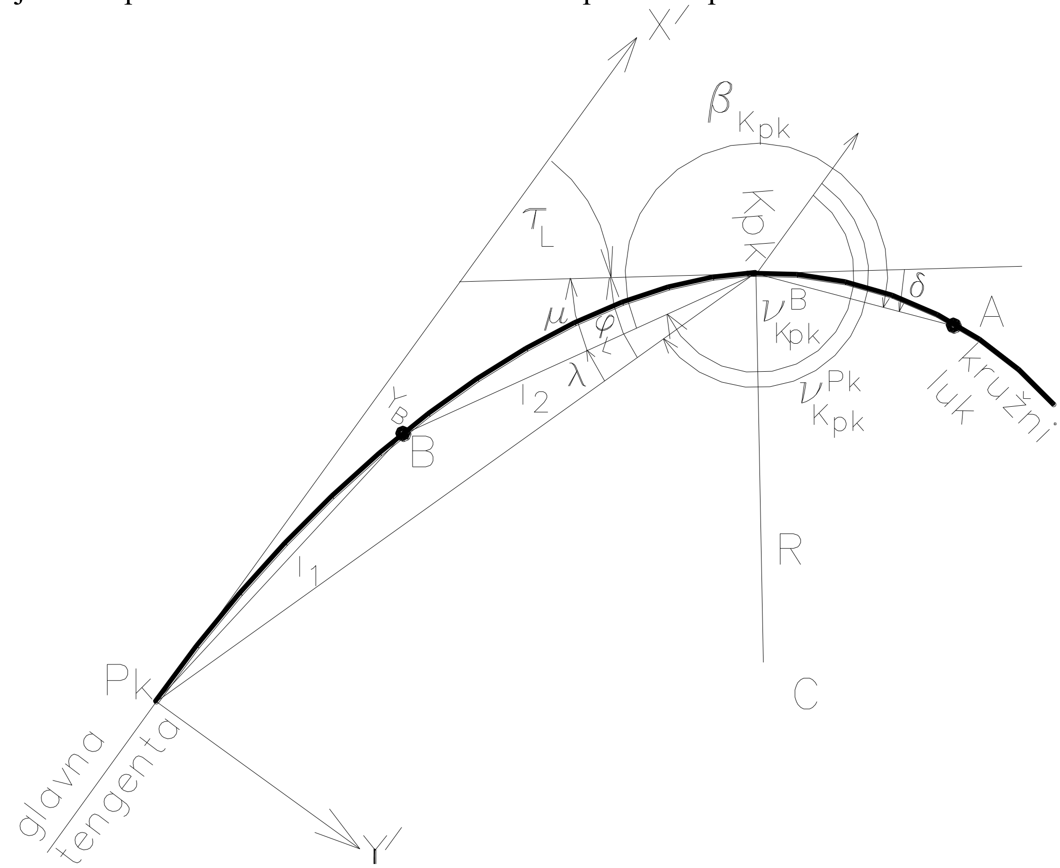
$$\beta_{B'} = \nu_B^{Pk} - \nu_B^{KPk}, \; \beta_B = 360° - \beta_{B'}$$



Slika 15. Računanje prelomnih uglova i dužina tačaka na prelaznici

Rastojanja l_1 i l_2 računaju se na poznat način iz razlike koordinata.

Računanje prelomnog ugla kod kraja prelazne krivine je malo komplikovanije jer povezuje tačku prelaznice i tačku na kružnom luku pa će biti prikazano na Slici 16.



Slika 16. Računanje prelomnog ugla na kraju prelaznice

Prelomni ugao β_{Kpk} dobija se kad se na 180° dodaju uglovi μ i δ odnosno:

$$\beta_{Kpk} = 180° + \mu + \delta$$

Ugao μ izračunava se iz razlike uglova φ_L i λ:

$$\mu = \varphi_L - \lambda$$

Ugao λ se izračunava iz razlike direkcionih uglova izračunatih iz lokalnih koordinata:

$$\lambda = \nu_{Kpk}^{B} - \nu_{Kpk}^{Pk}$$

Ugao δ izračunava se na poznat način, kao polovina centralnog ugla koji odgovara luku od tačke Kpk do tačke na krugu A.

Na ovaj način su izračunati svi potrebni elementi za povezivanje prelazne i kružne krivine u poligonski vlak u kome se računaju koordinate svih tačaka u istom koordinatnom sistemu u kome su date koordinate tjemena.