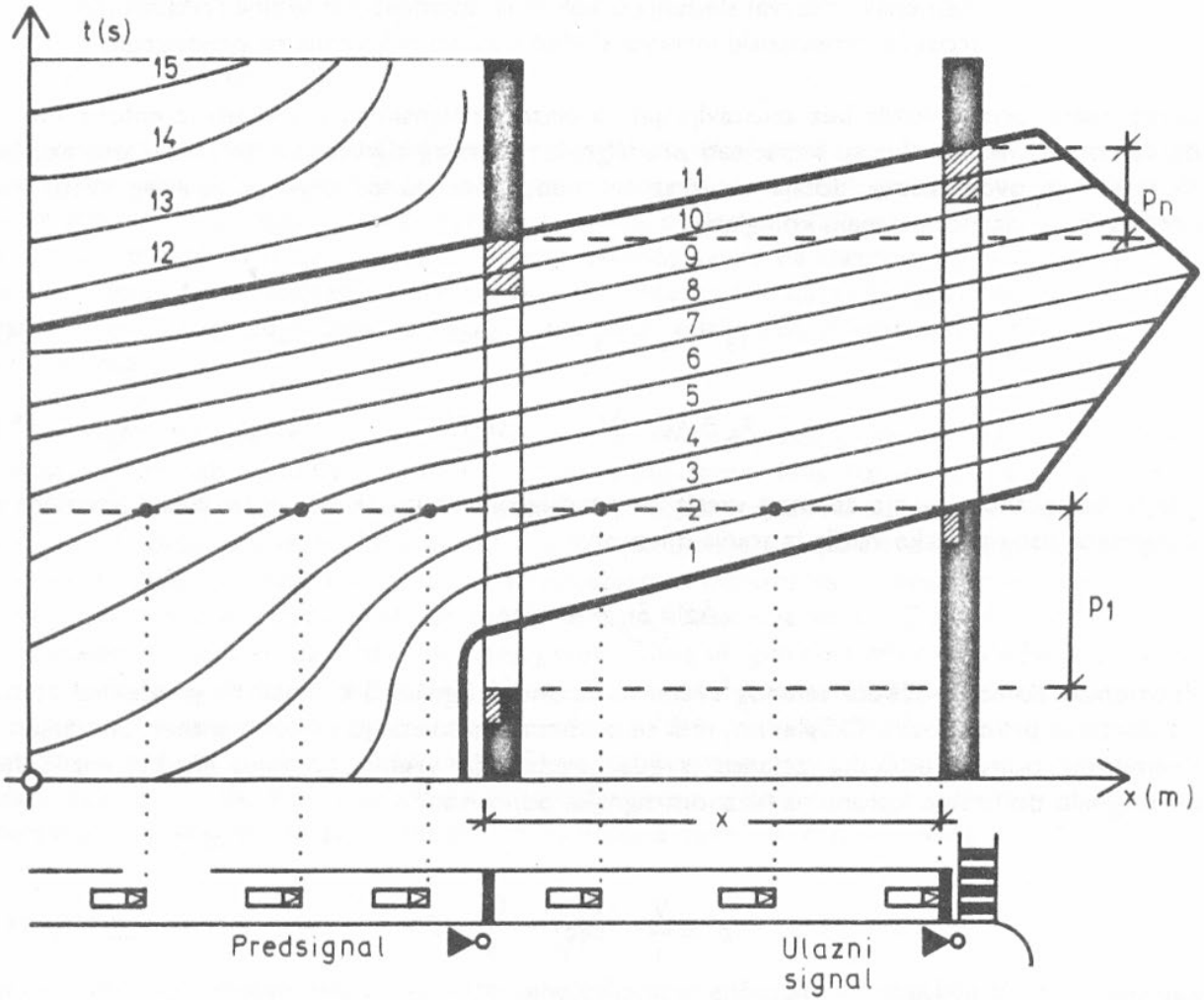
KOORDINIRANA SIGNALIZACIJA

ELEMENTARNI SISTEMI KOORDINACIJE SIGNALA

Predsignali

Postavljanjem predsignala na određenoj udaljenosti ispred ulaznog signala na raskrsnici eliminiše se gubitak vremena zbog polaska iz stanja mirovanja događa se na predsignalu. Kroz ulazni signal vozila prolaze u kompaktnoj grupi bez zaustavljanja, odnosno u tzv. letećem startu.

Da bi se to postiglo potrebno je
1. da se usaglasi trajanje zelenog svetla na ulaznom signalu u zavisnosti od kapaciteta,
2. da se podese vremenski pomaci početka i kraja zelenog svetla na ulaznom signalu u zavisnosti od brzine vozila i
3. da se utvrdi udaljenost predsignala u zavisnosti od ubrzanja vozila.



PREDSIGNAL - Prostor vreme dijagram predsignala sa prikazom uticaja predsignala na kapacitet raskrsnice

Vozila prolaze kroz zeleno svetlo u koloni sa prosečnim vremenskim intervalom sleđenja čija se zavisnost od brzine kolone najčešće izražava relacijom:

$$i = 2 - \frac{30}{V} + \frac{1080}{V^2} \quad (sec)$$

gde je
i (sec) - prosečan vremenski interval sleđenja,
V (km/h) - prosečna brzina vozila u koloni.

Polazeći od ustanovljene prirode intervala sleđenja na predsignalima i ulaznim signalima dobijaju se sledeći izrazi za kapacitet:

$$K_u = \frac{3600n\left(\frac{z_u}{i} + 1\right)}{C} \quad \text{(voz/čas)} \qquad K_p = \frac{3600n\left(\frac{z_p - 5i_5}{i} + 5\right)}{C} \quad \text{(voz/čas)}$$

gde su:
Kp i Ku - kapacitet predsignala i ulaznog signala.
zp i zu - trajanje efektivnog zelenog svetla (zeleno i žuto) na predsignalu i na ulaznom signalu u toku jednog ciklusa, izraženo u sekundama.
C - trajanje ciklusa u sekundama.
n - broj saobraćajnih traka na prilazu.
i - vremenski interval sleđenja u koloni u zavisnosti od brzine (relacija (1)).
i5 - prosečan vremenski interval sleđenja za prvih 5 vozila na predsignalu.

Leteći start (prolaz vozila bez zaustavljanja) na ulaznom signalu za sva vozila iz kolone može da se ostvari jedino ako su kapaciteti predsignala i ulaznog signala jednaki, odnosno ako je Kp= Ku. Iz ovog uslova dobija se izraz za međusobni odnos trajanja zelenog svetla na predsignalu i ulaznom signalu koji glasi:

$$z_p = z_u + 5i_5 - 4i \quad (sec) \qquad z_p = z_u + \Delta z \qquad (sec)$$

gde je povećano trajanje zelenog svetla na predsignalu kojim se eliminišu gubici vremena i kapaciteta zbog polaska vozila iz stanja mirovanja:

$$\Delta z = 5i_5 - 4i \quad (sec)$$

Vremenski pomak početka zelenog svetla na ulaznom signalu u odnosu na predsignal zavisi od ubrzanja prvog vozila. Očigledno, radi se o ubrzanom kretanju sa konstantnim ubrzanjem. Vremenski pomak početka zelenog svetla predstavlja vreme ubrzanja prvog vozila na predsignalu do brzine kolone na ulaznom signalu, odnosno:c

$$p_1 = \frac{V}{a} \quad (sec)$$

gde su: V (m/sec) - prosečna brzina kolone.
a (m/sec2) - ubrzanje prvog vozila.

Udaljenost predsignala od ulaznog signala takodje neposredno zavisi od ubrzanja prvog vozila i predstavlja put koji prvo vozilo prelazi u toku ubrzavanja do brzine kolone, odnosno:

$$x = \frac{V^2}{2a} \quad (m)$$

Za tok sastavljen od putničkih automobila najpogodnije je računati sa maksimalnim ubrzanjem od a = 2 m/s2,
brzinom kolone od 13 m/s (oko 40 km/h),
udaljenost predsignala u tom slučaju iznosi x = 36 m,
a vremenski pomak početka zelenog svetla p1 = 6 s.

Vremenski pomak kraja zelenog svetla na ulaznom signalu u odnosu na predsignal treba da obezbedi prolaz poslednjeg (začelnog) vozila bez zaustavljanja. On je odredjen brzinom kolone i udaljenjem predsignala, odnosno:

$$p_n = \frac{X}{V} \quad (sec)$$

Povećano trajanje zelenog svetla na predsignalu i vremenski pomaci početka i kraja zelenog svetla na ulaznom signalu povezani su međusobno relacijom

$$p_1 = \Delta z + p_n \quad (sec)$$

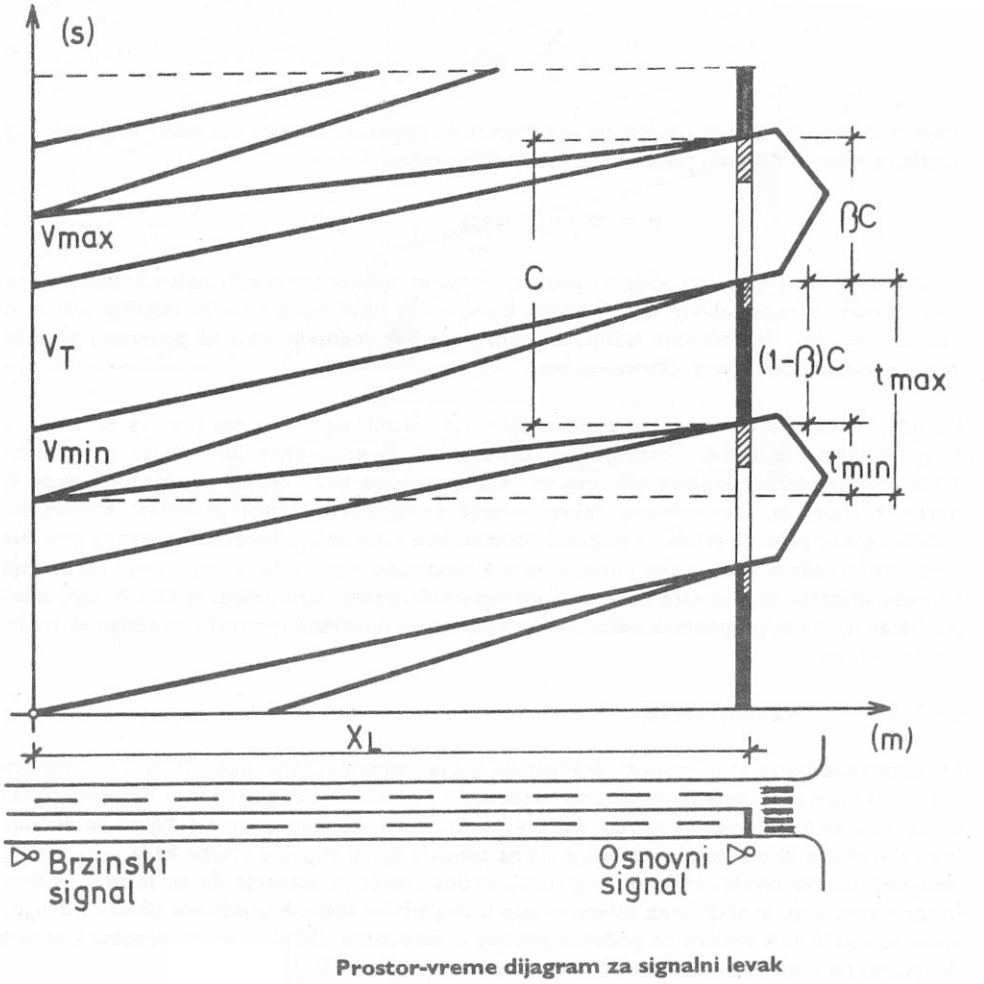
Signalni levak – brzinski signal

Brzinski signali postavljaju se na deonicama ispred ulaznog, odnosno tzv. osnovnog signala i njima se diriguje brzina kretanja vozila koja obezbeđuje da na osnovni signal stignu u vreme kada je na njemu upaljeno zeleno svetlo. Brzinski signali postavljaju se na određenoj udaljenosti ispred osnovnog signala koja se izračunava preko sledećeg izraza:

$$X_L = \left[V_m V_M / (V_M - V_m) \right] (1- \beta) C$$

Tabela usvojenih vrednosti brzina Vm i VM u signalnom levku.

	V_{MAX}		V_{min}		$V_M \quad V_m$
	m/s	km/čas	m/s	km/čas	(V_M-V_m)
U gradu	15	54.0	10	36.0	30
Van grada	20	72.0	12	46.2	30



Prostor-vreme dijagram za signalni levak

Na ovoj udaljenosti, koju nazivamo dužina signalnog levka, postavlja se prvi brzinski signal. Signal je podešen za prikazivanje različitih brzina (najčešće tri) u rasponu između brzine prvog najsporijeg i poslednjeg najbržeg vozila.

Dužina signalnog levka pretstavlja funkciju trajanja i podele ciklusa i utvrđene maksimalne i minimalne brzine. Prema sl. 13 trajanje crvenog svetla na osnovnom signalu jednako je razlici u vremenu putovanja minimalnom i maksimalnom brzinom na udaljenosti između prvog brzinskog i osnovnog signala, pa dobijamo

$$\frac{X_L}{V_m} - \frac{X_L}{V_M} = (1-\beta)C \quad (sec)$$

gde su:

XL	- dužina signalnog levka (m)
C	- trajanje ciklusa (sec)
β	- koeficijenat podele ciklusa: $\beta = z/C$
Vm	- minimalna brzina (m/sec)
VM	- maksimalna brzina (m/sec)

LINIJSKA KOORDINACIJA RASKRSNICA

U idealnim uslovima, odnosno kad su rastojanja između raskrsnica jednaka i kada sve raskrsnice u okviru istog trajanja ciklusa imaju istovetnu faznu podelu, linijska koordinacija može da se uspostavi primenom **simultanog ili alternativnog sistema koordinacije.**

Praktično razmatranje problema koji se javljaju pri koordiniranju uzastopnih raskrsnica pokazuje da postoje dva osnovna sistema linijske kooordinacije koji se međusobno razlikuju po načinu utvrđivanja zajedničkog trajanja ciklusa i metodskom postupku izrade prostor-vreme dijagrama, odnosno načinu sprovođenja koordinacije, i to su:

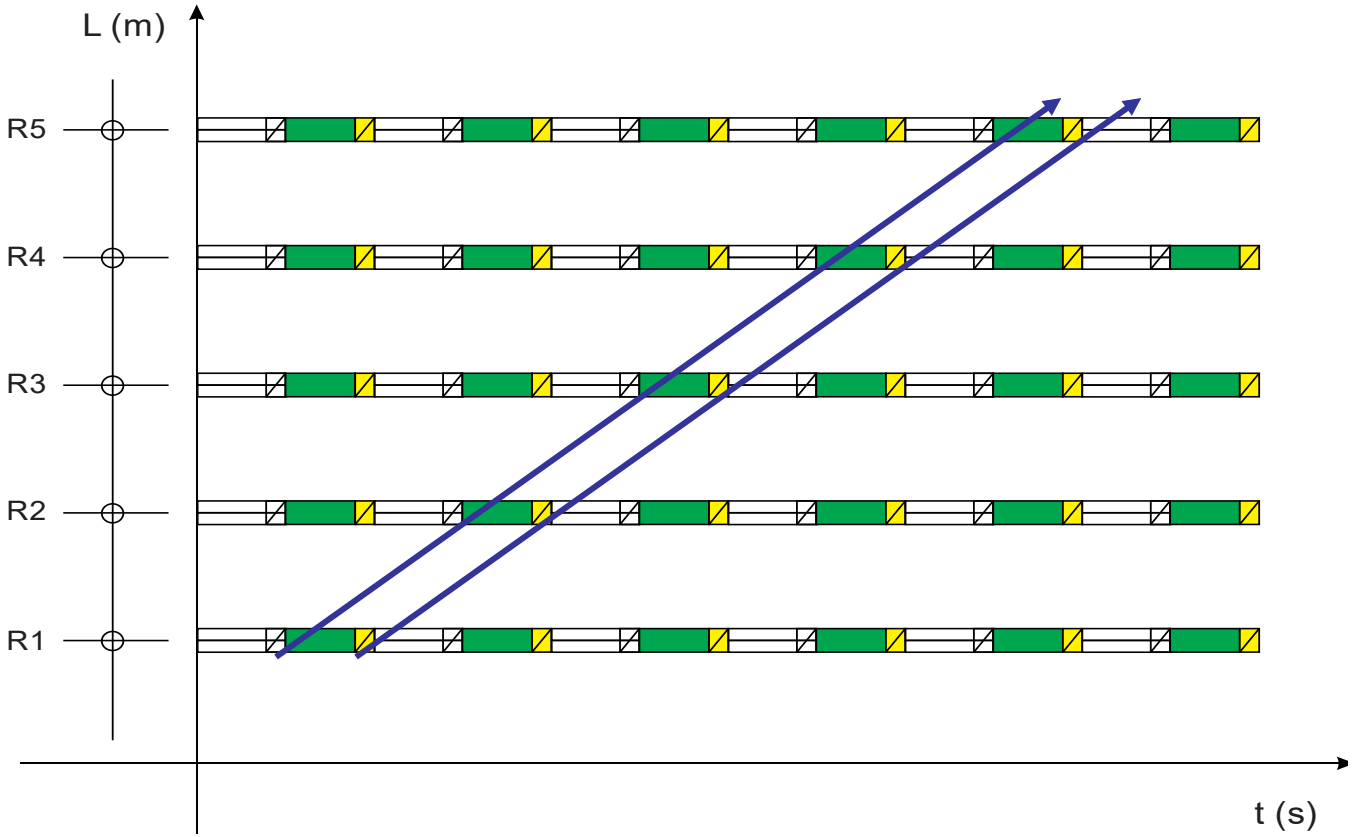
Progresivni sistem - svođenjem na alternativni sistem i

Sistem optimalne koordinacije koji se zasniva na izboru optimalnog ciklusa i izradi optimalnog signalnog plana (prostor-vreme dijagrama) sukcesivno po deonicama u zavisnosti od brzine toka i optimalne fazne podele.

Izbor sistema koji treba primeniti na određenoj saobraćajnici opredeljen je veličinom i karakterom raspodele saobraćajnih tokova na raskrsnicama duž saobraćajnice.

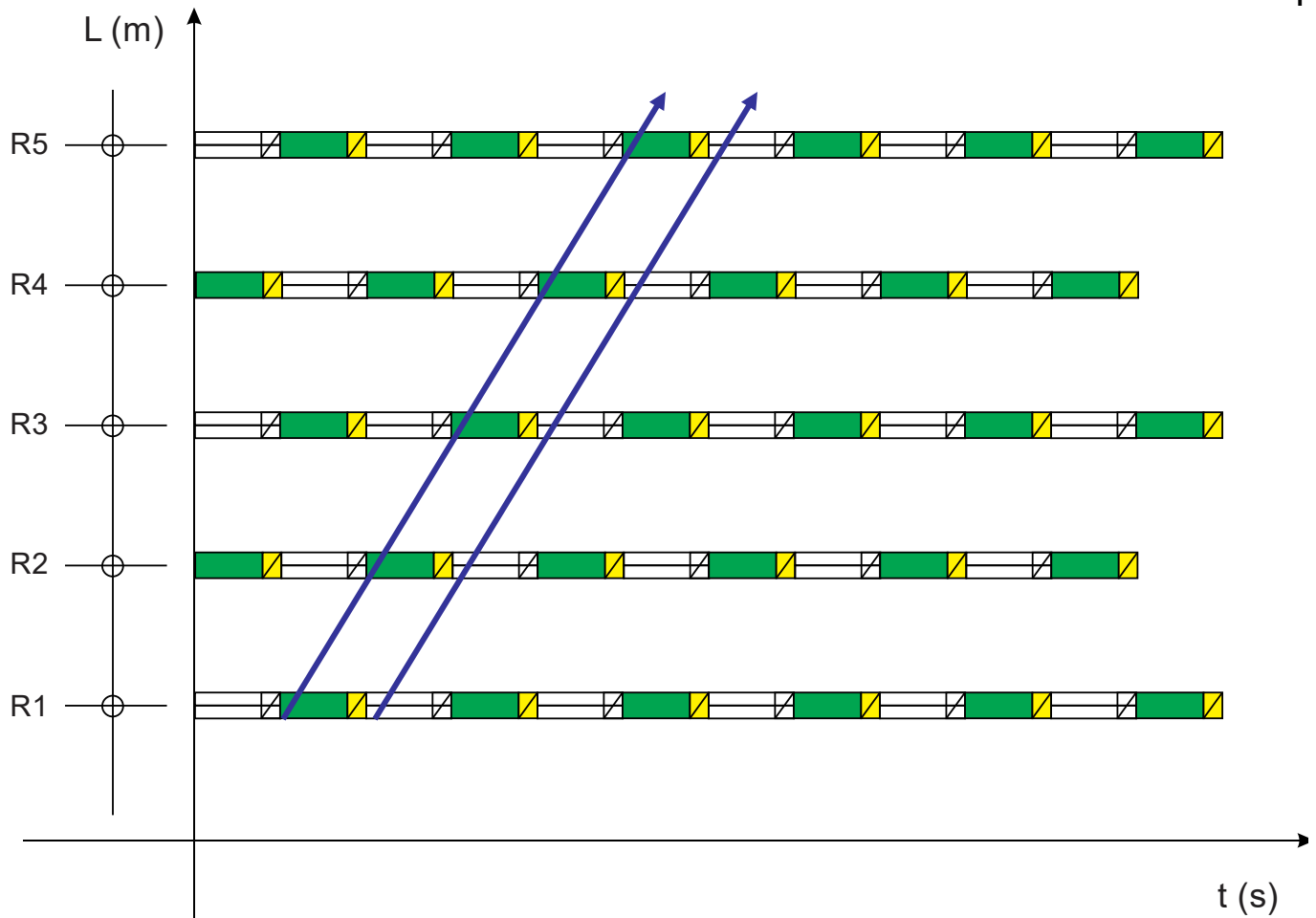
Simultani sistem. Simultani sistem nastaje kada na svim raskrsnicama, na pravcu duž kojeg se sprovodi koordinacija, svi signali pokazuju istovremeno isti signalni pojam. Ovakav vid koordinacije prikazan je na prostor-vreme dijagramu na sledećoj slici. Iz njega se vidi da u sistemu vlada međusobna uslovljenost trajanja ciklusa i vremena putovanja, odnosno brzine koja je izražena relacijom:

$$C = t_p = 3.6\frac{L}{V_T} \quad (\text{sec})$$



Alternativni sistem. U alternativnom sistemu koordinacije odgovarajući signali na uzastopnim raskrsnicama pokazuju suprotne signalne pojmove istog trajanja. Trajanje ciklusa i fazna podela su isti na svim raskrsnicama, a pomak početka zelenog svetla na signalima uzastopnih raskrsnica jednak je polovini ciklusa. Uslovljenost ciklusa i brzine data je relacijom:

$$C = 2t_p = 7.2\frac{L}{V_T} \quad (sec)$$



Idealizovani raspored raskrsnica i uslovi odvijanja saobraćaja otežavaju praktičnu primenu simultanog i alternativnog sistema. U praksi se retko susrećemo sa jednakim ili približno jednakim rastojanjem raskrsnica. Pored toga za uobičajeno i najčešća rastojanja od 150 do 300 m i prihvatljive brzine u rasponu od 30 do 60 km/h, dobijaju se relativno kratki ciklusi koji po pravilu ne zadovoljavaju saobraćajne zahteve na većini raskrsnica. Zato je primena idealnih sistema koordinacije veoma retka.

Savremeni sistemi linijske koordinacije susreću se sa rešavanjem problema čija se složenost sastoji u neravnomernosti međusobnih rastojanja raskrsnica i neravnomernosti veličine i raspodele saobraćajnih tokova na raskrsnicama. U takvim uslovima mogućnost linijskog koordiniranja uzastopnih signaliziranih raskrsnica duž jedne saobraćajnice u osnovi zavisi od međusobnih odnosa geometrijskih i saobraćajnih parametara.

Odlučujući geometrijski parametri koji utiču na linijsku koordinaciju su:
1. širina poprečnog profila saobraćajnice,
2. međusobno rastojanje raskrsnica,
3. trajanje ciklusa,
4. fazna podela ciklusa i
5. brzina saobraćajnog toka.

Pošto su širina poprečnog profila saobraćajnice i međusobna rastojanja raskrsnica nepromenljive veličine, sledi da je mogućnost koordiniranja uzastopnih signaliziranih raskrsnica praktično zavisna od mogućnosti variranja saobraćajnih parametara. Međutim, i saobraćajni parametri mogu da se podešavaju samo u određenim granicama.

Najveći ograničavajući faktor predstavlja neophodnost da se za sve raskrsnice duž saobraćajnice usvoji **isto trajanje ciklusa - najveći problem** .

Prilikom projektovanja sistema koordiniranja uzastopnih raskrsnica uobičajeno je da se elementi signalnog plana određuju prema zahtevima na merodavnim raskrsnicama. Na osnovu analize saobraćaja odaberu se jedna ili više merodavnih raskrsnica i usvoji trajanje ciklusa koje njima odgovara kao merodavni ciklus za sve raskrsnice u sistemu, odnosno duž saobraćajnice, zatim se pristupi izradi prostor-vreme dijagrama svođenjem na alternativni sistem koordinacije, a vodeći računa da se usaglase fazne podele ciklusa na merodavnim raskrsnicama.

Izloženi postupak daje zadovoljavajuće rezultate i može uspešno da se primenjuje u uslovima kada su saobraćajna opterećenja na merodavnim raskrsnicama znatno veća u odnosu na ostale raskrsnice i to naročito za tokove koji presecaju ili se ulivaju u saobraćajnicu duž koje se sprovodi linijska koordinacija

Izbor sistema linijske koordinacije raskrsnica

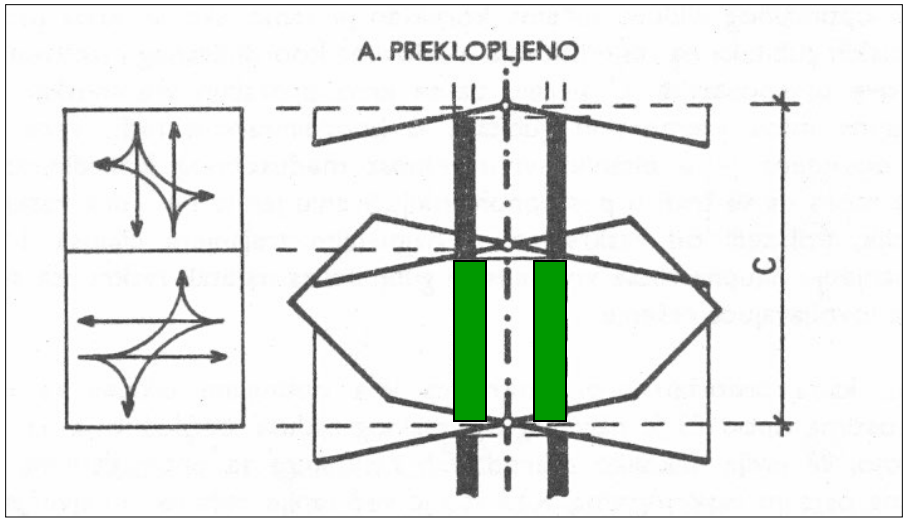
Progresivni sistem koordinacije

U progresivnom sistemu koordinacija raskrsnica se projektuje polazeći od usvojenog trajanja ciklusa, fazne podele i položaja merodavnih raskrsnica. Trajanje ciklusa je utvrđeno unapred, a međusobna rastojanja merodavnih raskrsnica nepromenljiva. Sa druge strane, faznu podelu na merodavnim raskrsnicama na osnovu koje je utvrđeno trajanje optimalnog ciklusa treba obezbediti kroz izradu prostor-vreme dijagrama, a to u znatnoj meri zavisi od međusobnog položaja merodavnih raskrsnica i brzine zelenih talasa.

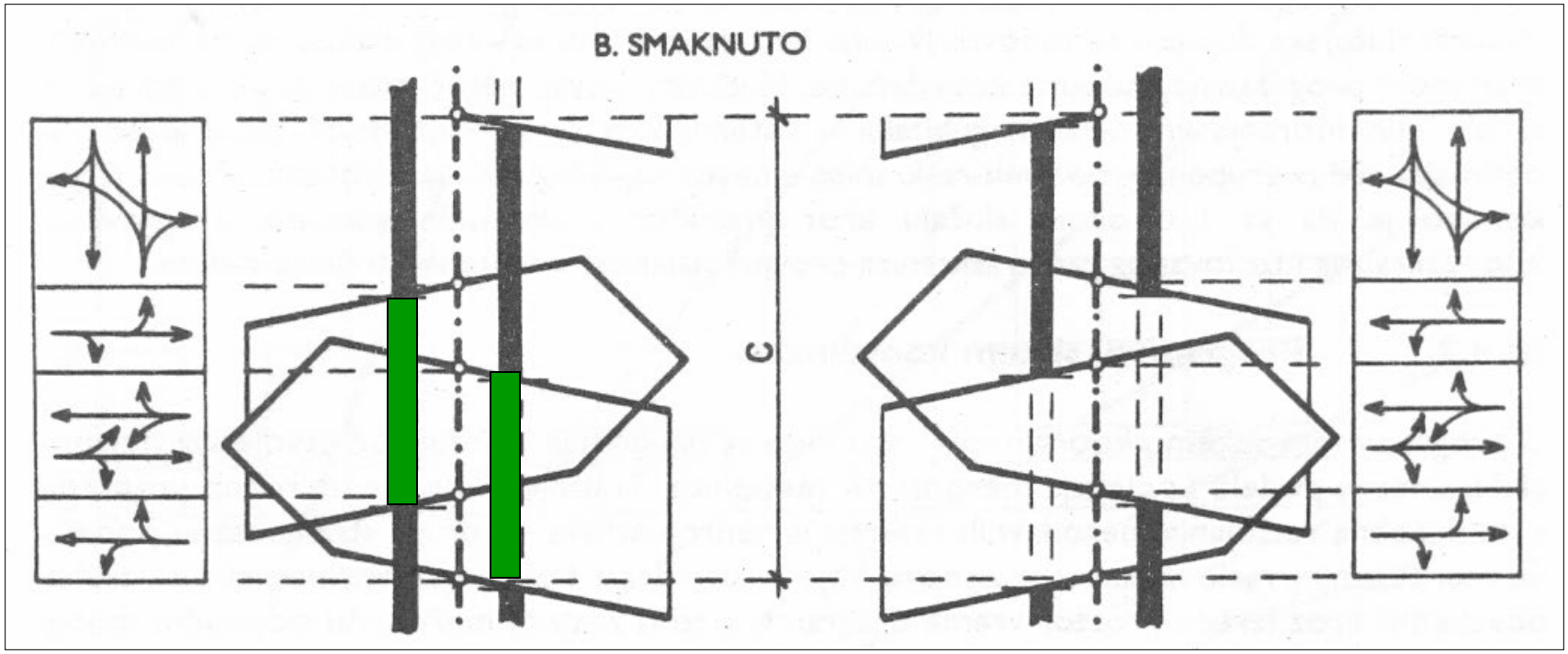
Koordinacija u oba smera.

U Na dvosmernim saobraćajnicama sa koordinacijom u oba smera, zavisno od položaja raskrsnice i brzine zelenih talasa, mogu da se jave tri karakteristične vrste sečenja (susretanja) zelenih talasa suprotnih smerova:

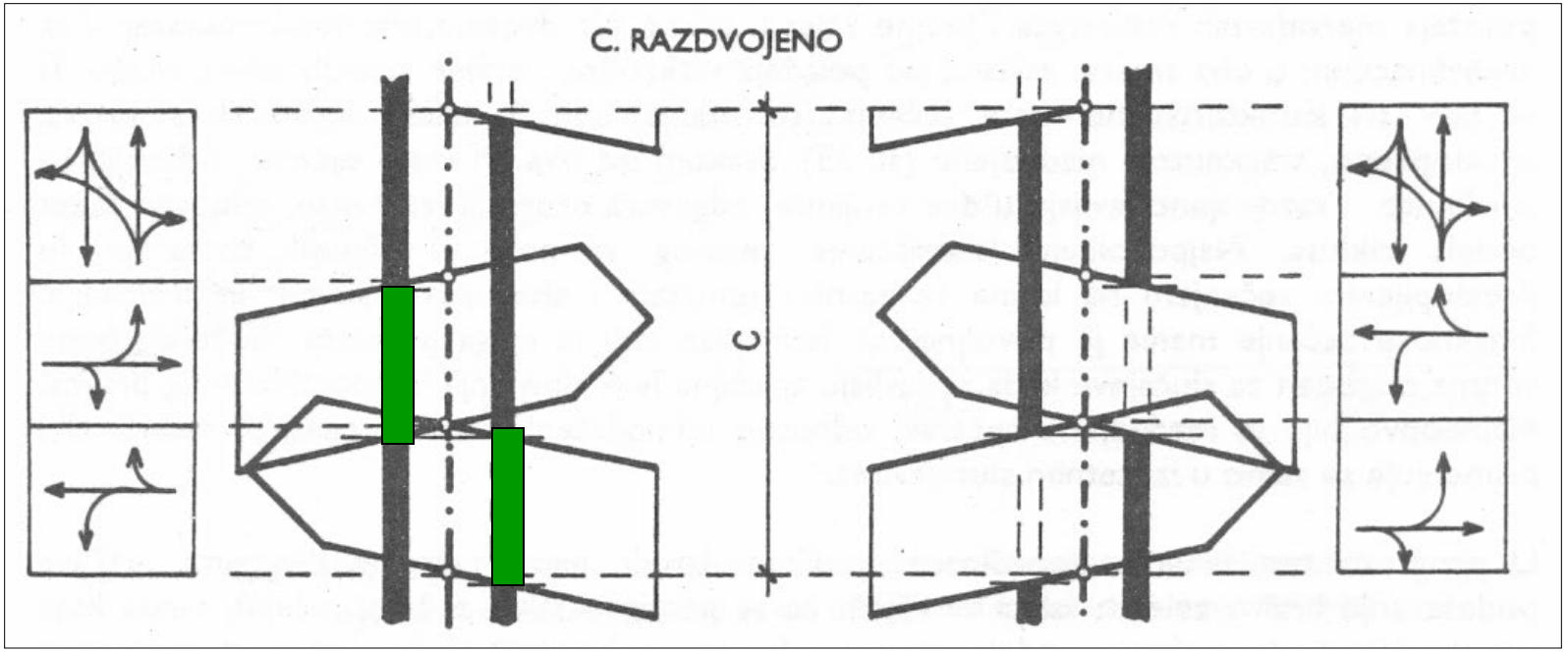
1. preklopljeno,
2. smaknuto i
3. razdvojeno.



Sa preklopljenim sečenjem, zelenog talasa, na kome se zasniva simultani i alternativni sistem koordinacije ostvaruje se najpovoljnije iskorišćenje zelenog vremena u ciklusu. Nedostatak u slučaju izraženih levih skretanja.

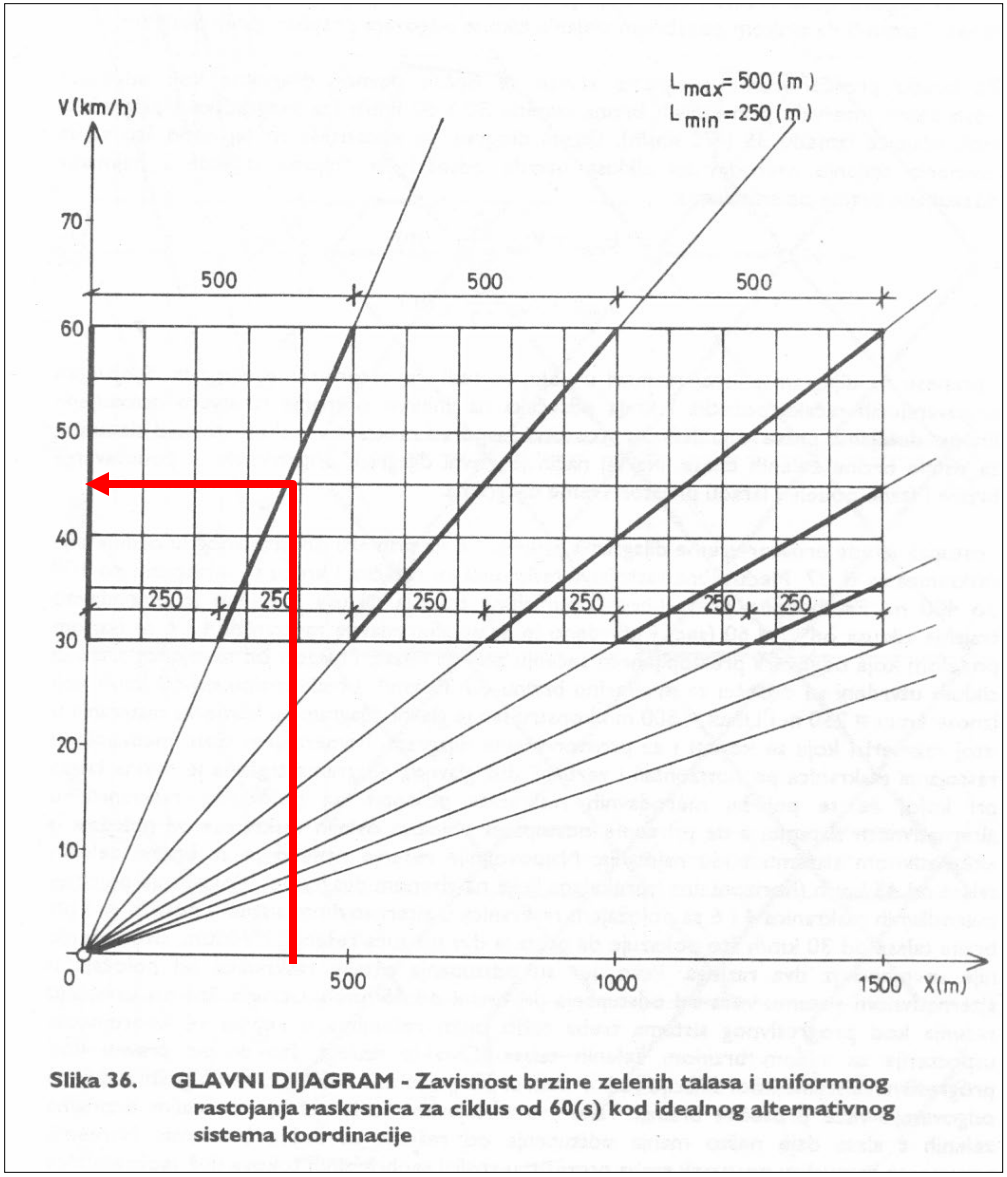


Smaknuto sečenje manje je povoljno za iskorišćenje zelenog talasa, ali fazni plan koji iz njega proističe može da bude veoma pogodan za slučajeve kada se javljaju značajna leva skretanja iz koordiniranog pravca.

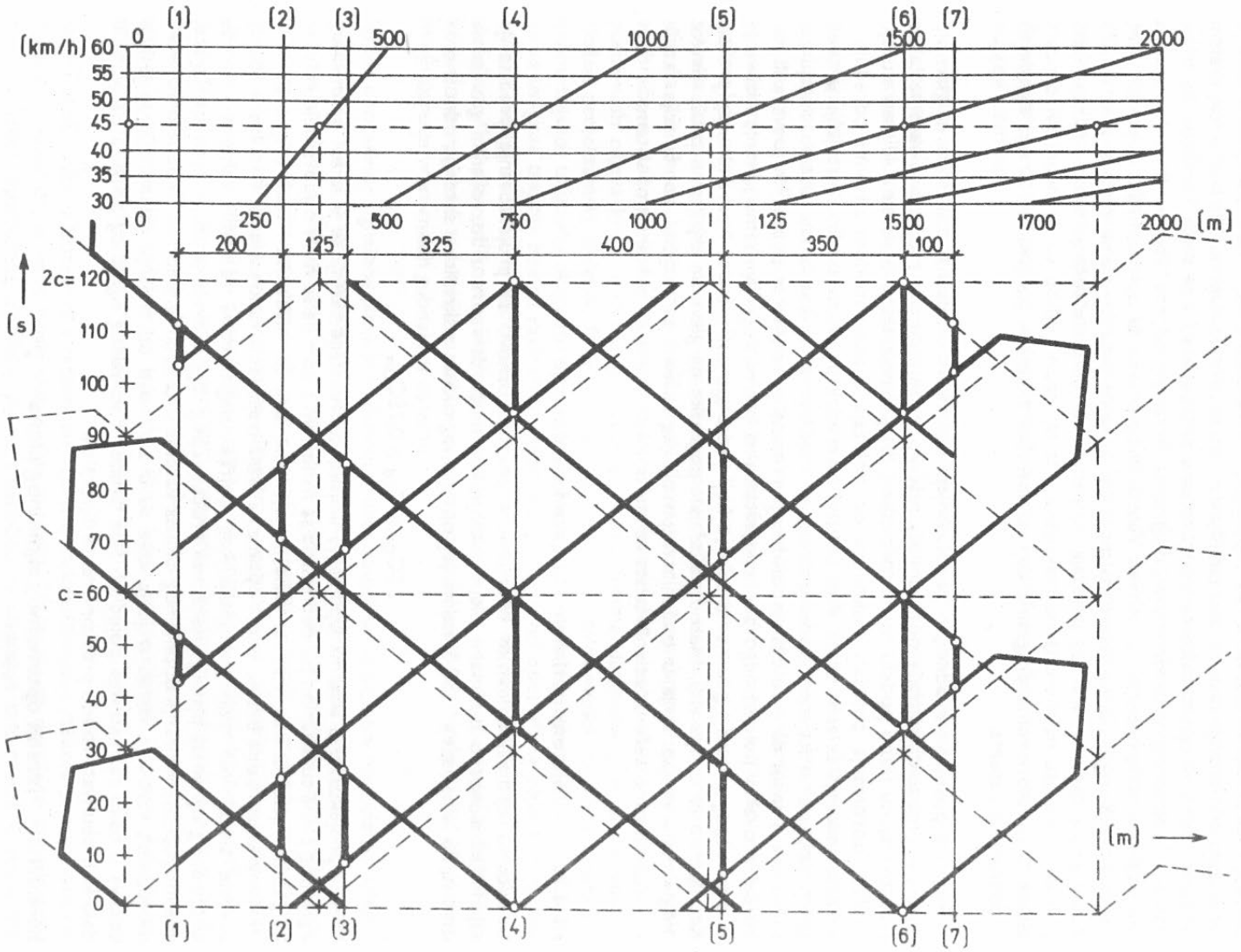


Najneopvoljnije je razdvojeno sečenje, odnosno mimoilaženje zelenih talasa u raskrsnici i primenjuje se samo u izuzetnim slučajevima.

Određivanje brzine zelenog talasa kod progresivnog sistema koordinacije



Slika 36. **GLAVNI DIJAGRAM - Zavisnost brzine zelenih talasa i uniformnog rastojanja raskrsnica za ciklus od 60(s) kod idealnog alternativnog sistema koordinacije**



Slika 37. PV dijagram progresivnog koordiniranja izveden posredstvom glavnog dijagrama

Slika 37. PV dijagram progresivnog koordiniranja izveden posredstvom glavnog dijagrama

Sistem optimalne linijske koordinacije

U sistemu optimalne linijske koordinacije polaznu osnovu za projektovanje predstavlja zajednički, odnosno optimalni ciklus sistema koji može da varira u dozvoljenim granicama između 75 % najvećeg i 150 % najmanjeg optimalnog ciklusa raskrsnica u sistemu, odnosno

$$1.5C_{Om} \geq C_{OS} \geq 0.75C_{0M}$$

Proces projektovanja sistema optimalne linijske koordinacije sastoji se u izradi optimalnog signalnog plana sukcesivno po deonicama sa osnovnim ciljem da se nađe najpovoljnije rešenje za geometrijske uslove predstavljene rastojanjima između raskrsnica i saobraćajne zahteve izražene kroz realne brzine toka i optimalna fazna trajanja na raskrsnicama.

Kao što je to, po pravilu, slučaj kod svih postupaka koji sadrže usaglašavanje različitih zahteva i izrada optimalnog signalnog plana je iterativan proces – sistem pokušaja i pogreške ili upotreba odgovarajućeg softvera.

Utvrđivanje brzine zelenih talasa po deonicama između raskrsnica

Brzina toka prema opšte poznatim zakonima teorije saobraćajnog toka zavisi od elemenata puta i veličine toka. Međutim, pošto elementi puta (nagibi, krivine i širine) opredeljuju maksimalnu veličinu toka, odnosno kapacitet, brzina saobraćajnog toka može da se izrazi kao funkcija odnosa toka i kapaciteta, tj. relacijom brzina-iskorišćenje kapaciteta čiji opšti obrazac glasi:

$$V = f\left(\frac{q}{K}\right)$$

gde su: V - brzina toka, q - veličina toka i K - kapacitet saobraćajnice.

Odnos toka i kapaciteta	Brzina zelenog talasa (km/h)	
q/K	minimalna	maksimalna
0.25	60	60
0.35	55	60
0.40	53	60
0.55	46	60
0.60	44	59
0.70	40	56
0.80	35	52
0.90	30	47
0.95	30	44
0.97	30	42
1.00	30	36