

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Урбано инжењерство

Предмет: Саобраћај и саобраћајнице

Број индекса: 914/2013

Никола М. Милосављевић

**ОПТИМИЗАЦИЈЕ У СИСТЕМУ ЈАВНОГ ГРАДСКОГ
ПУТНИЧКОГ ПРЕВОЗА**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. _____

2. _____

3. **др Божидар Крстић, ред.проф., ментор**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру ово завршног рада кандидат треба да обради проблематику система јавног градског путничког превоза. Посебну пажњу треба посветити: поступцима оптимизације као и могућим начинима оптимизације система јавног градског путничког превоза.

Препоручена литература:

[1] – Филиповић С.; “Оптимизације у систему јавног градског путничког превоза”; Саобраћајни факултет Београд, Београд, 1995. године.

.

Резиме:

Квалитет услуге система линијског јавног градског превоза путника зависи од статичких и динамичких елемената линије, степена равномерности интервала слеђења возила и осталих елемената.

Анализом процеса кретања возила дуж линије идентификовани су параметри који утичу на оптимизацију ситета ЈТПП. Да би оптимизација позитивно утицала на крајњи квалитет услуге који систем треба да пружи путнику, поступак оптимизације мора да испуни три циља: повећање равномерности интервала слеђења возила, практичну применљивост поступка, и очување постојећег квалитета услуге.

Кључне речи: *Јавни градски превоз, оптимизација...*

Summary:

Quality of service of public transportation of passengers depends on the static and dynamic elements of the route, equality degree of the intervals in which the vehicles follow and other elements. By analysing the process of vehicle movement along the route, the parameters which influence the PT system optimisation have been identified. For optimisation to positively influence the end quality of service the system should offer to the passenger, the optimisation process has to fulfil three goals: increase of equality of the following of the vehicles, practical application of the process, and preservation of the existing quality of service.

Key words: *City public transportation, optimisation..*

Садржај

1. Увод	8
2. Основне карактеристике система јавног градског путничког превоза (ЈГПП-а)	9
3. Основни елементи структуре и функционисања линије ЈГПП	12
3.1. Елементи структуре линије	13
3.1.1. Средња дужина линије L (km)	13
3.1.2. Међустанично растојање l_{sm} , s (m) ili (km)	13
3.1.3. Број стајалишта на линији n (станица)	14
3.1.4. Траса	14
3.1.5. Даљинар	19
3.2. Елементи функционисања линије	19
3.2.1. Број возила (на раду) на линији: N_r (возила)	19
3.2.2. Капацитет транспортне јединице: m_g (места/воз)	20
3.2.3. Капацитет транспортног средства: C_{ts} (места/т.с)	20
3.2.4. Време обрта возила на линији: T (min)	21
3.2.5. Брзина обрта: V_o (km/h)	21
3.2.6. Експлоатациона брзина (V_e)	22
3.2.7. Интервал i (min)	22
3.2.8. Фреквенција (интезитет протока возила): f (воз/h)	23
3.2.9. Капацитет линије (превозна способност линије): C (места/h)	23
4. Карактеристике превозних захтева и токова путника на линији ЈГПП	23
4.1. Уласци, изласци и протоци путника на линији у току једног обрта возила	24
4.1.1. Уласци путника: $u_{sm, v, s}$	24
4.1.2. Изласци путника: $i_{sm, v, s}$	24
4.1.3. Проток путника (интезитет протока путника): $Z_{sm, v, s}$	24
4.1.4. Број превезених путника	24
4.2. Часовне величине улазака, излазака и протока путника на линији	25
4.2.1. Часовне величине улазака, излазака и протока путника на станици (S) и смеру линије (sm)	25
4.2.2. Часовне вредности улазака, излазака и броја превезених путника у смеру линије: sm	25
4.2.3. Часовне вредности улазака, излазака и броја превезених путника на линији	25

4.3. Јединични уласци, изласци и протоци путника	27
4.3.1. Јединични уласци путника: $U_{sm, v, s}^0$ [пут/мин]	27
4.3.2. Јединични изласци путника: $I_{sm, v, s}^0$	27
4.3.3. Јединични проток путника: $Z_{sm, v, s}^0$ [пут/мин]	27
4.4. Карактеристике токова путника	27
4.4.1. Средња вредност протока путника: Z (пут/х)	28
4.4.2. Неравномерност протока у простору (дуж линије): n_p	28
4.4.3. Неравномерност протока у вршном часу: V_n	28
4.4.4. Средња дужина вожње: I (km)	29
4.4.5. Измена путника	29
4.5. Меродавни превозни захтеви на линији	29
5. Превозни захтеви више линија које имају заједнички део трасе	31
5.1. Одређивање меродавних протока више линија које имају заједнички део трасе	31
5.2. Одређивање меродавних протока директне и локалне линије	32
6. Одређивање оптималног типа и броја возила на раду на линији	33
6.1. Избор оптималног типа возила према капацитету	33
6.2. Одређивање потребног броја возила на раду	34
6.3. Остале карактеристике возила и критеријум за избор	35
7. Оптимизација реда вожње	37
8. Тарифни систем	39
9. Истраживање карактеристика система јавног градског превоза путника	40
9.1. Подручје истраживања	41
9.2. Пројектовани елементи линија	42
9.2.1. Статички елементи линија	42
9.2.2. Динамички елементи линија	46
9.3. Истраживање транспортних захтева и реализованих динамичких елемената	47
9.3.1. Методологија истраживања	48
9.3.2. Карактеристике транспортних захтева	49
9.3.3. Карактеристике реализованих динамичких елемената	55
9.4. Истраживање интензитета улазака путника у возило	58
9.5. Практична примена модела на линије 3 и 5	60
9.5.1. Подела дијаметралне линије (фаза 1)	61

9.5.2. Симулација ширења поремећаја интервала слеђења (фаза 2)	64
9.5.3. Евалуација равномерности интервала слеђења	66
9.5.4. Евалуација времена боравка путника у систему.....	70
10. Закључак.....	77
11. Литература.....	83

1. Увод

Функционисање савремених урбаних средина се не може замислити без система јавног градског превоза путника (ЈГПП). ЈГПП у већим урбаним срединама представља вид транспорта без конкуренције.

Улога система јавног градског превоза путника у функционисању урбаних средина у великој мери зависи од квалитета услуге коју нуди систем. Како би се постигао жељени квалитет услуге, пројектовањем мреже линија и реда вожње неопходно је да транспортна понуда пружи адекватан одговор на транспортне захтеве који се постављају пред систем ЈГПП-а.^[2]

Производни процес састоји се из два дела:

- оперативни ниво (стварне операције),
- плански ниво (састоји се од пројектовања мреже линија, реда вожње, тарифног система, система наплате и др.).

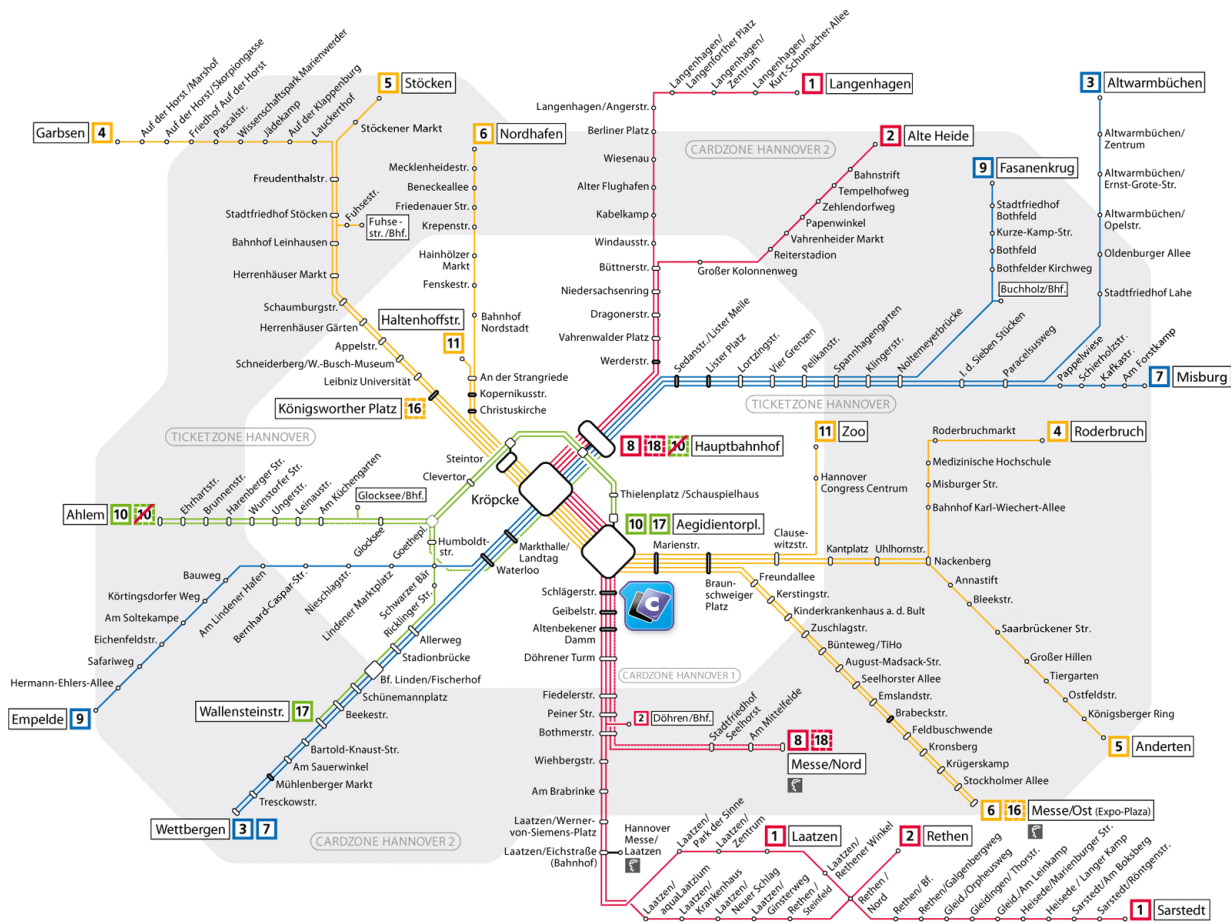
У пракси, често се јављају одступања у реализацији пројектованог реда вожње. У зависности од величине одступања долази до непоузданости услуге. У системима јавног градског превоза путника одступања реализованог интервала слеђења возила од пројектованог представљају главни параметар непоузданости услуге и овај рад бави се одступањима у интервалу слеђења возила на линији ЈГПП-а, као и могућностима за разматрање и побољшање равномерности интервала слеђења возила у фази пројектовања система. Интервал слеђења представља један од најзначајнијих динамичких елемената линије, како са гледишта организације превоза, тако и са гледишта квалитета превоза значајног за путнике.^[3]

У идеалним условима систем јавног градског превоза путника функционише са равномерним интервалом слеђења возила.^[2]

Јавни градски превоз ће се у свој будућности сустрети са великим изазовима, јер се очекује да ће градски превоз имати главну улогу у мобилности. Разлог за то је веома једноставан, велики градови широм света већ имају пуне капацитете приватних аутомобила, а то за собом вуче огромно загађење који постаје проблем за све. Морају се наћи нова решења која ће осигурати нови ниво мобилности који људи очекују. То се најбоље може постићи ако се у урбану средину интегрира јавни превоз, како би људи имали слободу да се крећу где пожелу.^[2]

Јавни превоз путника у градовима све више је захваћен увођењем конкуренције и растућим утицајем приватног сектора и уговора за услужне операције. Растући опсег субвенција и услуга у јавном превозу мора да прати и информацијска технологија. Корисници услуга, путници, морају имати праву информацију како би могли планирати путовање, било пре, било у току путовања.

Морају лако наћи свој пут кроз мрежу, ред вожње, станице, чворишта. Искуства из Хановера (Слика 1.) показују како се информацијама мора руковати пажљиво и методично, и у блиској сарадњи са корисницима.



Слика 1. Приказ мрежа линија у Хановеру.^[7]

2. Основне карактеристике система јавног градског путничког превоза (ЈГПП-а)

Прилагођавање разних система новим захтевима у превозу путника у градовима, уз развој технике и технологије превоза, ишло је са циљем подизања квантитета и квалитета превоза. Квантитет се изржавао повећањем броја линија, интензитета рада и дневним сатима рада. Док се квалитет превоза базирао на повећању брзине, безбедности, поузданости, удобности, заштити околине, економичности и ефикасности.

Једна од најчешће коришћених и прихваћених подела транспортних система је на:

- конвенционалне (постојеће),

- неконвенционалне (експерименталне) системе.

Конвенционалним системима се назива она врста јавног градског и приградског превоза (аутобус, трамвај, метро...) која је већ неко време у експлоатацији. Јавни градски путнички превоз се састоји од транспортних система са устаљеним трасама и редовима вожње, које је дозвољено свакоме ко плати карту за превоз. Најзначајнији представници су: аутобус, трамвај, ЛРТ и метро, поред ових постоје и многи други видови који се могу класификовати по више основа (*Табела 1.*), (*Табела 2.*).

Карактеристике система	Димензије	Постојећи саобраћајни системи					
		Шински видови - системи					
		Трамвај	Лако шински систем	Подземн и трамвај	Брзи трамвај пре метрова	Метро	Регионална железница
Категорија трасе	A/B/C	0/0/C	A/B/0	A/0/C	A/B/C	A/0/0	A/0/0
Пут	/	тр. пруга	тр. пруге	тр. пруге	пруга	пруга	пруга
Вођење возила	/	челични точак	челични точкови	челични точкови	челични точкови	челични точкови	челични точкови
Погон возила	/	електро мотор	електро мотор	електро мотор	електро мотор	електро мотор	електро мотор
Димензије возила (дужина и ширина)	m	31.0/2.5	композ. 80/2.7	31.0/2.5	дуж. згл. 20-32/25	дужина није 300m већ 30-40 m	30.0/3.0
Највећа брзина	km/h	60	60	60	60-120	80	120
Експлоатацио на брзина	km/h	18-40	20	22	18-40	32	50
Капацитет возила	места	110-240	80-360	290	250-800	350-400	8000
Капацитет линије на сат	места на сат	9000	25000	12000	000-2000	48000	75000
Возила у возу	бр. Возила	2	2	2	2--4	5	5
Заузимање површине по km линије	m ²	160	180	200	200	200	4000
Инвестиције за један km система	EURO	375000	400000	9 mil.	15 mil.	15 mil. 20 mil.	25 mil. 4 mil.
Инвестиције за једно	EURO	2E+06	750000-1750000	200000-900000	300000-1000000	200000-1000000	0.5 mil.

Табела 1. Карактеристике постојећих саобраћајних система. ^[1]

Карактеристике система	Димензије	Постојећи саобраћајни системи				
		Друмски				
		Аутобус	Минибу с	Тролејбус	Такси	Путнички аутомобил
Категорија трасе	A/B/C	A/B/C	0/0/C	0/0/C	A/0/C	A/0/C
Пут	/	улица	друм	друм	друм	улица
Вођење возила	/	гумени точкови	гумени точкови	гумени точкови	гумени точкови	гумени точкови
Погон возила	/	мотор SUS	мотор SUS	мотор SUS	мотор SUS	мотор SUS
Димензије возила (дужина и ширина)	m	до 18.0 m	7/2.5	до 18.0 m	6/2.5	4.0/2.0
Највећа брзина	km/h	80	40-70	80	100	110-250
Експлоатацио на брзина	km/h	15-20	20-30	15-20	20-40	20-40
Капацитет возила	места	80-160	25-30	80-160	4--8	5
Капацитет линије на сат	места на сат	6600-10000	2000-5000	6000-11000	200-250	500-1600
Возила у возу	бр. Возила	1	1	1	1	1
Заузимање површине по km линије	m ²	3000	2800	6300	2600	2500
Инвестиције за један km система	DM	150000	140000	200000	400000	400000
Инвестиције за једно	DM	170000-570000	50000-250000	200000-60000	5000-50000	5000-50000

Табела 2. Карактеристике постојећих саобраћајних система. ^[1]

A, B, C – категорија издвојености трасе (A – контролисане трасе без укрштања, B – подужне траке, издвојене, али се укрштају у ниво за возила пешака, C – улице са пешачким саобраћајем).

Главна класификација видова и система врши се према врсти коловозних елемената по којима се крећу возила на:

- *Видове друмског јавног градског превоза* (аутобус, тролебус),
- *Видови шинског превоза* (трамвај, ЛРТ, метро и приградска железница).

Аутобуси представљају возила на гуменим точковима који могу да имају различите техничке и експлоатационе карактеристике. Доста аутобуса има две осовине и укупно шест точкова али постоје и модели аутобуса који имају три осовине и до 10 точкова. Најчешће се користе возила са дизел мотором за вучу. Нове генерације аутобуса су знатно побољшане, што је изражено кроз већу економичност и виши ниво комфора. Улазак и излазак из аутобуса су доста олакшани старијим лицима, непокретним лицима и родитељима са децом.^[1]

Поред тога побољшан је дизајн спољашности, потпуно раван под целом унутрашњом дужином, велике су површине под стаклом, добар систем вентилације, висок комфор за возаче и друго. Нови аутобуси имају бољи безбедносни аспект у погледу чврст рам и диск кочнице и на предњој и на задњој осовини (*Слика 2.*).

Електричну вучу преко контактних водова имају тролбуси, који припадају полуеластичном систему. То су једина друмска возила на гуменим точковима без сопственог погонског извора за редовну употребу. Доста се мање користе него аутобуси, имају инзваредне карактеристике електричне вуче као што су брзо и меко убрзавање и успорење, рад без буке и издувних гасова и такође имају високу издржљивост и трајност (*Слика 3.*).



Слика 2. Слика аутобуса.^[8]



Слика 3. Слика тролбуса.^[11]

Све остале врсте јавног путничког превоза које се још налазе у фази експериментисања као и њихова технолошко-експлоатациона својства ван конвенционалне скупине, припадају групи неконвенционалних транспортних система.

Карактеристике трошкова система јавног градског путничког превоза се веома разликују. У аутобуским системима у мешовитом саобраћају највећи су експлоатациони трошкови. Али, код подземних метроа на пример трошкови који преовлађују су инвестициони. На експлоатационе трошкове у великој мери утичу трошкови радне снаге, енергије и материјала. Што се тиче инвестиционих трошкова они су тесно повезани са веком трајања возила и инфраструктуре. Век трајања аутобуса може се кретати од 8 до 15 година.

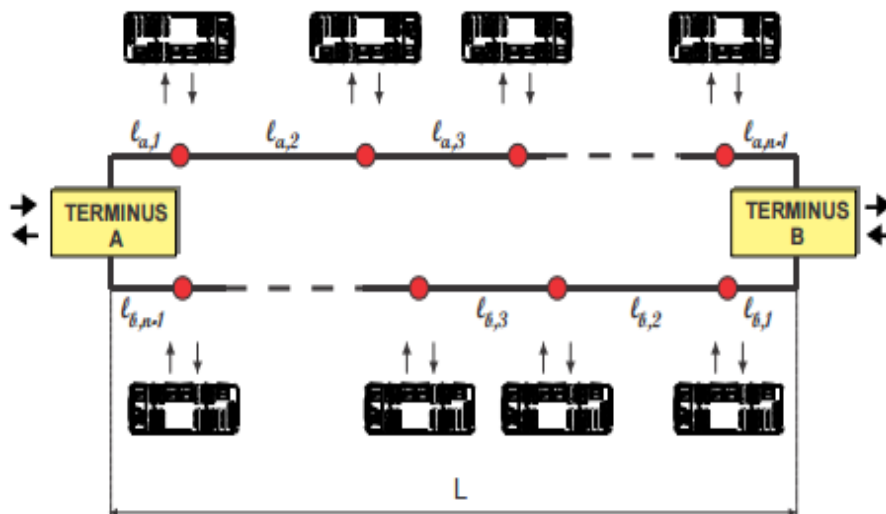
Цене возила се доста разликују и зависе од нивоа комфора, да ли су домаће или иностране производње, да ли је у питању серијска производња или поруџбина.

3. Основни елементи структуре и функционисања линије ЈГПП

Линија као систем по себи карактеришу се са аспекта управљања, две групе елемената:

- Елементи структуре (статички елементи) и
- Елементи функционисања (динамички елементи).

Линија ЈГПП може се приказати шематски као на *Слици 4*.



Слика 4. Шематски приказ линије ЈГПП-а. ^[5]

3.1. Елементи структуре линије

Под елементима структуре линије подразумевају се елементи линије који се не мењају у одређеном-дужем временском периоду, они се обично називају статички елементи линије. ^[1]

3.1.1. Средња дужина линије L (km)

Средња дужина линије представља растојање између почетне и завршне станице (терминуса) линије. Добија се рачунски као изведена величина на основу растојања између терминуса у једном смеру (L_1) и другом смеру (L_2) линије, односно као средња вредност збира свих међустаничних растојања у оба смера линије, односно:

$$L = \frac{1}{2} * \sum_{sm} * L_{sm} = L_1 + L_2$$

односно:

$$L = \frac{1}{2} \sum_{sm} * \sum L_{sm, s}$$

Где су:

L_{sm} - дужина линије у смеру (sm).

$L_{sm, s}$ - међустанично растојање у смеру (sm) линије између станице (s) и ($s+1$).

$sm = 1, 2$ – смер линије.

Најчешће дужине линија које се могу срести износе:

- на градским линијама $JP L = 4 - 12$ km;
- на приградским линијама $JP L = 15 - 45$ km.

3.1.2. Међустанично растојање $l_{sm, s}$ (m) ili (km)

Проток путника је променљив од станице до станице, а постоји у сваком смеру по једно међустанично растојање на коме се јавља највећи број путника. Значи, ако број места која у току једног часа пружају превозне јединице задовољи оне станице линије на којима се јавља највећи проток, то су онда задовољене и остале станице на којима се јављају мање вредности протока. Због тога се може узети да ове највеће вредности протока, у сваком смеру, репрезентују превозне захтеве линије у одређеном периоду времена, па се називају меродавним.

Међустанично растојање на којима се оно јавља назива се "карактеристична деоница", а станица на које оно отпочиње "карактеристична станица". Овде се подразумева да сва возила циркулишу дуж целе линије, што је у пракси најчешће случај. Постоји, међутим, могућност да један део возила циркулише само на једном делу трасе, што се исто тако у пракси користи, али се примењује само у случају ако постоји осетна разлика у интензитету протока између једног и другог дела линије да би могао да се задовољи и фактор учесталости локалних возила.^[1]

Међустанично растојање је растојање између стајалишта (s) и $(s+1)$, $s = 1, 2, 3, \dots, n_{sm}$ број међустаничних растојања (деоница) линије износи:

$$n_{sm}^d = n_{sm} - 1$$

у једном смеру линије односно:

$$n^d = \sum (n_{sm} - 1) = n_1 + n_2 - 2 = n - 2$$

Где су:

n_{sm} - број станица у једном смеру линије.

n - укупан број станица на линији.

$$L_{sm} = \sum L_{sm, s}$$

Растојања која се најчешће срећу између станица износе:

- на градским линијама JP $l_{sm, s} = 300 - 1000$ m;
- на приградским линијама $l_{(sm, s)} = 1200 - 5000$ m.

3.1.3. Број стајалишта на линији n (станица)

$$n = \sum_{sm} n_{sm} - 2 = n_1 + n_2 - 2$$

Најчешћи број стајалишта на линији, по смеру износи:

- на градским линијама JP $n_{sm} = 8 - 20$;
- на приградским линијама JP $n_{sm} = 4 - 30$.

3.1.4. Траса

Траса линије система јавног транспорта путника представља унапред дефинисани пут кретања возила између две тачке.

- Категорија (тип) трасе „Ц”

Тип трасе Ц су саобраћајнице са мешовитим саобраћајем на којима возила система јавног масовног транспорта путника деле судбину саобраћајног тока са осталим динамичким саобраћајем (Слика 5.), (Слика 6.). На овом типу трасе возила система јавног масовног транспорта путника могу да имају приоритете (жуте траке, посебни светлосни сигнали).



Слика 5. Саобраћајница са мешовитим саобраћајем. ^[5]



Слика 6. Саобраћајница са мешовитим саобраћајем. ^[5]

- Категорија (тип) трасе “Ц-1”

Траса је изведена на површинама којим се саобраћају возила система јавног транспорта путника заједно са осталим видовима саобраћаја (путничким аутомобилима, бициклима и пешацима). Укрштања са пешачким токовима регулисана су обележеним пешачким прелазима (Слика 7.).



Слика 7. Траса “Ц-1”. ^[5]

- Категорија (тип) трасе “Ц-2”

Возила система јавног масовног транспорта путника крећу се у посебној издвојеној траци (жута трака), која није физички подужно одвојена од осталог динамичког саобраћаја (Слика 8.). У одређеним случајевима приступ овој траси може бити омогућен возилима са приоритетом (хитна служба, такси, полиција, ватрогасци) или посебним возилима у стриктно дефинисаним временским периодима у току дана (доставна возила и сл.).



Слика 8. Траса “Ц-2”.^[9]

- Категорија (тип) трасе “Ц-3”

Код овог типа трасе возила система јавног масовног транспорта путника и пешаци деле исте саобраћајне траке. Осталим моторним возилима, а често и бициклима је забрањено кретање тим тракама, осим на укрштајима – раскрсницама (Слика 9.).



Слика 9. Траса “Ц-3”.^[10]

- Категорија (тип) трасе “Б”

Тип трасе Б су саобраћајнице за возила система јавног масовног транспорта путника које су подужно физички издвојене од осталог саобраћаја (ивичњацима, оградама, денivelацијом, и сл.), али са укрштањима у нивоу са осталим динамичким саобраћајем (*Слика 10.*).



Слика 10. Траса “Б”.^[10]

- Категорија (тип) трасе “Б-1”

Траса је изведена у посебним површинама резервисаним за возила система јавног масовног транспорта путника, физички подужно одвојена заштитном оградом од осталог динамичког саобраћаја. Моторна возила, бицикли и пешаци се укрштају са возилима јавног транспорта на посебно контролисаним местима (*Слика 11.*).



Слика 11. Траса “Б-1”.^[5]

- Категорија (тип) трасе “Б-2”

Траса је изведена у посебним површинама резервисаним за возила система јавног масовног транспорта путника физички подужно одовјена ивичњацима или другом комуналном опремом од осталог динамичког саобраћаја (**Слика 12.**). Моторна возила, бицикли и пешаци се укрштају са возилима јавног транспорта на посебно контролисаним местима.



Слика 12. Траса “Б-2”.^[5]

- Категорија (тип) трасе “Б-3”

Траса је изведена у посебним површинама резервисаним за возила система јавног масовног транспорта путника физички подужно одовјена зеленим појасом или сличним начином од осталог динамичког саобраћаја (**Слика 13.**). Моторна возила, бицикли и пешаци се укрштају са возилима јавног транспорта на посебно контролисаним местима.



Слика 13. Траса “Б-3”.^[5]

- Категорија (тип) трасе “А”

Тип трасе А, или тзв. издвојена траса за возила система јавног масовног транспорта путника је потпуно контролисана траса без укрштаја у нивоу или било каквог дозвољеног коришћења од осталих видова саобраћаја. Ова траса може бити површинска, подземна и надземна (Слика 14.), (Слика 15.).



Слика 14. Издвојена траса за аутобусе. [5]



Слика 15. Надземна трака. [5]

3.1.5. Даљинар

Даљинар је документ прописан и дефинисан Законом који обједињује већину статичких елемената линије јавног транспорта путника. Законом о превозу у друмском саобраћају (Сл. Гласник РС“ бр.46/95, 66/2001, 61/2005,91/2005, 62/2006 и 31/2011) даљинар се дефинише као акт којим се утврђује удаљеност у километрима са минималним временима вожње аутобуса између аутобуских станица, односно аутобуских стајалишта на одређеној релацији“, и основа за израду и регистрацију редова вожње у међумесном транспорту путника у Републици Србији.

3.2. Елементи функционисања линије

Елементи функционисања линије називају се још и динамички елементи линије. Представљају све оне елементе линије чијом се променом у складу са спољним критеријумима (дефинисаним квалитетом и превозним затевима) постиже оптимално функционисање линије.

3.2.1. Број возила (на раду) на линији: N_r (возила)

Број возила на раду (N_r) - представља укупан број возила на раду на посматраној линији јавног градског транспорта путника свих техничко-експлоатационих карактеристика у карактеристичним периодима времена, односно:

$$N_r = \sum_{k=1}^n N_{r_k} = \frac{Z_{mer} \cdot T_o}{m \cdot k_{ik}}$$

Где је:

N_{rk} - број возила на раду на линији одређене техничко-експлоатационе групе (к);

$Z_{\text{мер}}$ - меродавни проток путника у карактеристичном периоду времена (путника/h);

T_o - време обрта у карактеристичном периоду времена (минута);

m - капацитет транспортне јединице (модула) - (места/возилу);

k_{ik} - коефицијент искоришћења места (захтевани ниво комфора на линији).

3.2.2. Капацитет транспортне јединице: m_g (места/воз)

Како у пракси на линији најчешће раде возила истог капацитета то се може узети да је $m_g = m_1 = m$.

У градском саобраћају код нас најчешће су у експлоатацији возила капацитета:

- Аутобуси и тролбуси
 $m_1 = 85 - 115$ места/воз – ‘‘соло’’ возила;
 $m_2 = 160$ места/воз – зглобна возила.
- Трамваји
 $m_3 = 100 - 120$ места/воз;
 $m_4 = 190 - 220$ места/воз;
 $m_5 = 250 - 260$ места/воз – зглобни или возови.

У приградском саобраћају најчешће се у експлоатацији аутобуси капацитета:

$$\begin{aligned} m_1 &= 45 - 60 \text{ места/воз;} \\ m_2 &= 80 - 115 \text{ места/воз;} \\ m_3 &= 160 \text{ места/воз – зглоба возила.} \end{aligned}$$

3.2.3. Капацитет транспортног средства: C_{ts} (места/т.с)

$$C_{ts} = N_o * m$$

Где су:

N_o – број транспортних јединица у транспортном саставу;

m – капацитет транспортне јединице.

3.2.4. Време обрта возила на линији: T (min)

Време обрта је временски период између два узастопна поласка истог возила са одређеног стајалишта на линији (обично са терминуса линије).

$$T = \sum_{sm} T_{sm} = T_1 + T_2 \text{ [min]}$$

Где су:

T_{sm} – временски период који протекне од поласка возила са почетног терминуса до поласка са завршног терминуса у једном смеру линије.

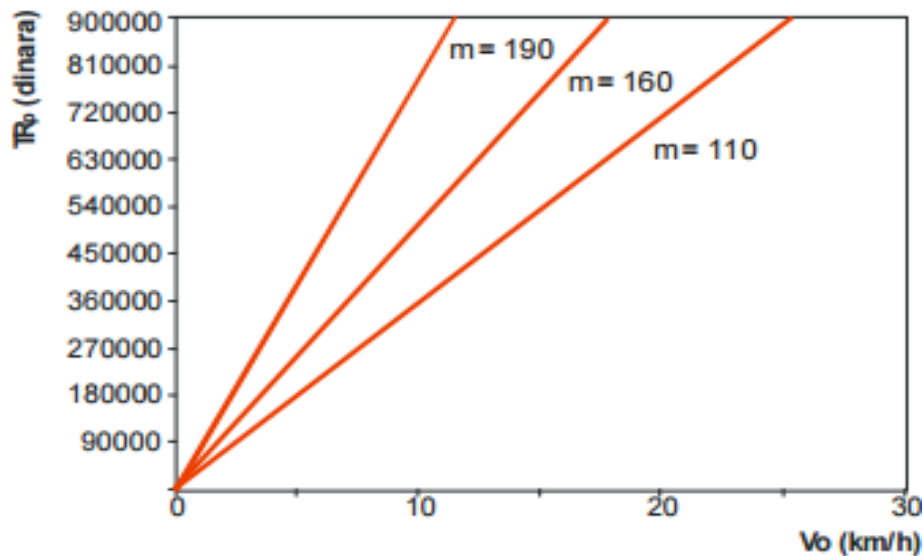
Најчешће величине времена обрта на градским линијама ЈП код нас износе $T = 20 - 120$ минута. ^[1]

3.2.5. Брзина обрта: V_0 (km/h)

Брзина обрта представља средњу брзину кретања возила на линији у току обрта и може се израчунати на основу обрасца:

$$V_0 = \frac{2 * L}{T} \frac{\sum_{sm} L_{sm}}{\sum_{sm} T_{sm}} = \frac{L_1 + L_2}{T_1 + T_2} \quad \text{или} \quad V_0 = \sum_{sm} \sum_s \frac{l_{sm,s}}{T_{sm}}$$

Са *слике 16.* се види, да су за веће вредности брзине обрта и укупни трошкови функционисања транспортне мреже већи за различите капацитете возила, односно што је већи капацитет возила и већа брзина обрта, већи су и укупни трошкови функционисања транспортне мреже. ^[1]



Слика 16. Однос брзине и укупних трошкова функционисања транспортне мреже. ^[1]

3.2.6. Експлоатациона брзина (V_e)

Експлоатациона брзина представља средњу брзину возила остварену у току радног времена возила и представља однос између укупног броја пређених километара у систему јавног градског транспорта путника (K) и укупног времена које је возило провело на раду (H_r). ^[1](Слика 17.)

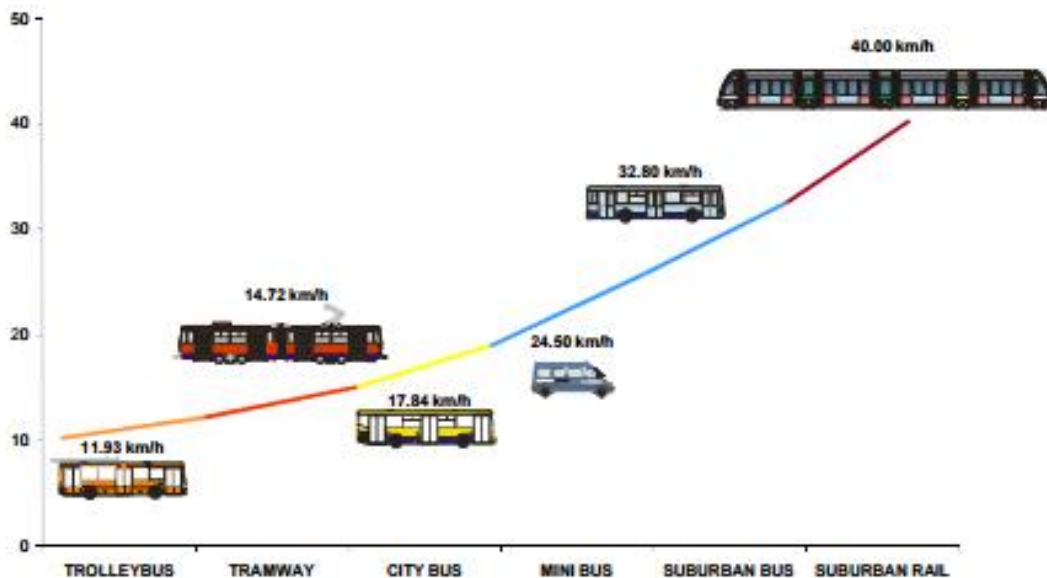
$$V_e = \frac{K}{H_r} = \frac{K_p + K_{pr} + K_n}{H_r}$$

Где је:

K_p = укупан број пређених километара са путницима;

K_{pr} = укупан број пређених километара без путника;

K_n = нулти број нултих пређених километара.



Слика 17. Експлоатациона брзина у систему јавног масовног транспорта путника у Београду. ^[1]

3.2.7. Интервал i (min)

Представља време између поласка два узастопна возила кроз карактеристичну пресек-тачку линије.

$$i = \frac{T}{N} [\text{min}]$$

Најчешће величине интервала на линијама ЈП код нас су између 3 и 8 минута, док се на приградским линијама обично прате поласци возила, а не интервали. ^[1]

3.2.8. Фреквенција (интезитет протока возила): f (воз/х)

Фреквенција представља рачунски број возила који у јединици времена прође кроз карактеристичну пресек-тачку. ^[1]

$$f = \frac{N}{T} = \frac{60}{i} \left[\frac{\text{воз}}{h} \right]$$

3.2.9. Капацитет линије (превозна способност линије): C (места/х)

Представља број транспортних јединица (места) који у јединици времена прође кроз карактеристичану пресек-тачку линије. ^[1]

$$C = f * C_{ts} = f * N_o * m \quad \text{или} \quad C = \frac{60}{i} C_{ts}$$

$$C = \frac{N}{T} C_{ts} \left[\frac{\text{мест}}{h} \right]$$

Ако кроз посматрану тачку пролази више линија онда је:

$$C_Z = \sum f_k C_{tsk}$$

4. Карактеристике превозних захтева и токова путника на линији ЈГПП

Превозни захтеви и токови путника третирају се са аспекта управљања линијом ЈГПП. Циљ задатка је дефинисање меродавних превозних захтева у карактеристичним периодима времена – периодима стационарности у току дана као основ за оптимизацију ресурса (возила) и израду редова вожње. Дакле, превозни захтеви у току дана могу се дефинисати преко карактеристика превозних захтева низа периода када се може узети да процес настанка превозних захтева има стационаран карактер. Превозни захтеви на линији, у периоду стационарности $t < T_S$, дефинисани су скупом реализација протока путника:

$$Z (Z_1, Z_2, Z_3, \dots Z_n)$$

Где су:

$Z_{1,2,\dots,k}$ – број захтева за превозом у јединици времена, на станици-деоници (k) линије.

Проток путника се у пракси добија обично бројањем (аутоматски или ручно) путника на линији ЈГПП. ^[1]

4.1. Уласци, изласци и протоци путника на линији у току једног обрта возила

4.1.1. Уласци путника: $u_{sm,v,s}$

Уласци путника представљају број путника коју уђу на станици (s) у возило (v), у смеру линије (sm). ^[1]

Где је:

$V = 1, 2, \dots, m$ – број возила који је прошао кроз пресек-тачку линије у периоду посматрања;

$S = 1, 2$ – смер линије.

4.1.2. Изласци путника: $i_{sm,v,s}$

Изласци путника представљају број путника који изађе на станици (s), из возила (v), у смеру линије (sm). ^[1]

4.1.3. Проток путника (интезитет протока путника): $Z_{sm,v,s}$

Представља број путника који се превезе на деоници дефинисаној станицама (s, s + 1) у возилу (v), у смеру линије (sm) а израчунава се као:

$$Z_{sm,v,s} = k = \sum_l^k u_{sm,v,s} - \sum_l^k i_{sm,v,s}$$

4.1.4. Број превезених путника

Представља број путника који се превезе, у току једног обрта возила:

- У возилу (v), у току једног обрта:

$$P_v = \sum_{sm} \sum_s u_{sm,v,s} = \sum_{sm} \sum_s i_{sm,v,s}$$

- У смеру линије (sm):

$$P_{sm} = \sum_v \sum_s u_{sm,v,s} = \sum_v \sum_s i_{sm,v,s}$$

- На линији:

$$P = \sum_{sm} \sum_v \sum_s u_{sm,v,s} = \sum_{sm} \sum_v \sum_s i_{sm,v,s}$$

Где сви индекси задржавају напред наведене границе односно $sm = 1, 2, v = 1, 2, 3 \dots m$
 $i s = 1, 2, 3 \dots n_{sm}$.

4.2. Часовне величине улазака, излазака и протока путника на линији

4.2.1. Часовне величине улазака, излазака и протока путника на станици (S) и смеру линије (sm)

- Уласци путника:

$$U_{sm,s} = \sum_v u_{sm,v,s} \left[\frac{\text{пут}}{h} \right]$$

- Изласци путника:

$$I_{sm,s} = \sum_v i_{sm,v,s} \left[\frac{\text{пут}}{h} \right]$$

- Протоци путника:

$$\begin{aligned} Z_{sm,v,s=k} &= \sum_v \sum_{s=1}^k u_{sm,v,s} - \sum_v \sum_{s=1}^k i_{sm,v,s} = \sum_{s=1}^k U_{sm,s} - \sum_v I_{sm,s} \\ &= Z_{sm,k-1} + (U_{sm,k-1} - I_{sm,k-1}) \left[\frac{\text{пут}}{h} \right] \end{aligned}$$

4.2.2. Часовне вредности улазака, излазака и броја превезених путника у смеру линије: sm

$$U_{sm} = \sum_v \sum_s u_{sm,v,s} = \sum_s U_{sm,s} \left[\frac{\text{пут}}{h} \right]$$

$$I_{sm} = \sum_v \sum_s i_{sm,v,s} = \sum_s I_{sm,s} \left[\frac{\text{пут}}{h} \right]$$

$$P_{sm} = \sum_v \sum_s u_{sm,v,s} = \sum_v \sum_s i_{sm,v,s} = U_{sm} = I_{sm} \left[\frac{\text{пут}}{h} \right]$$

4.2.3. Часовне вредности улазака, излазака и броја превезених путника на линији

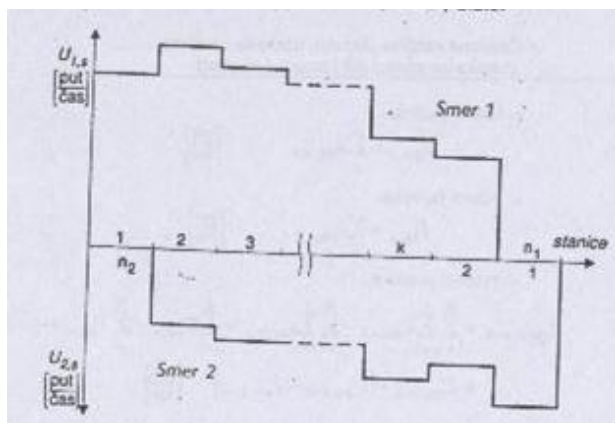
$$U = \sum_{sm} \sum_v \sum_s u_{sm,v,s} = \sum_{sm} U_{sm} \left[\frac{\text{пут}}{h} \right]$$

$$I = \sum_{sm} \sum_v \sum_s i_{sm,v,s} = \sum_{sm} I_{sm} \left[\frac{\text{пут}}{h} \right]$$

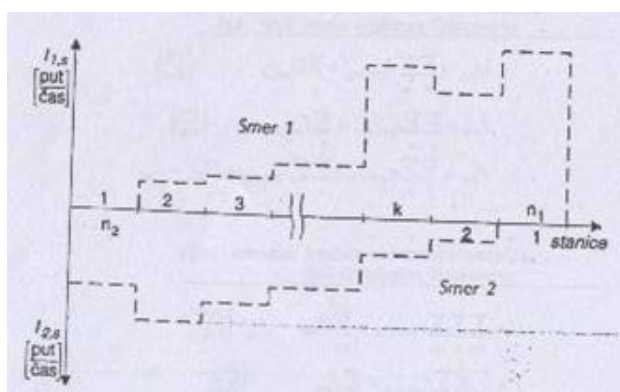
$$P = \sum_{sm} \sum_v \sum_s u_{sm,v,s} = \sum_{sm} \sum_v \sum_s i_{sm,v,s} = \sum_{sm} U_{sm} \sum_{sm} I_{sm} = \left[\frac{\text{пут}}{h} \right]$$

$$P = \sum_{sm} P_{sm} = U = I \left[\frac{\text{пут}}{h} \right]$$

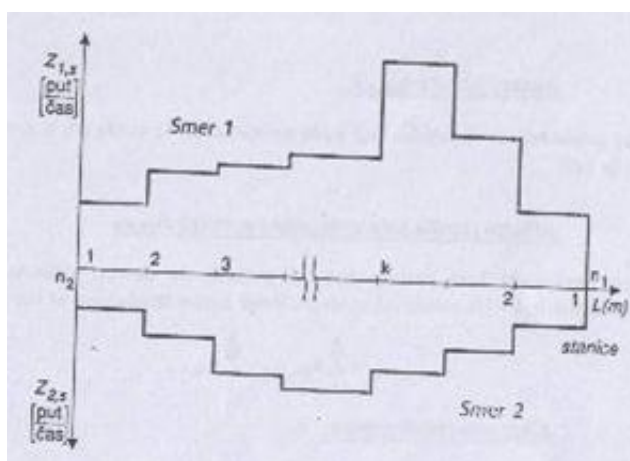
Дијаграми часовних вредности улазака, излазака и протока путника на реалној линији ЈГПП дати су на *сликама 18, 19 и 20*.



Слика 18. Дијаграм улазака и излазака путника.^[1]



Слика 19. Дијаграм улазака и излазака путника.^[1]



Слика 20. Дијаграм протока путника.^[1]

4.3. Јединични уласци, изласци и протоци путника

Величине улазака, излазака и протока путника по станицама, возилима и смеровима последица су саме карактеристике случајног процеса настанка захтева за превозом, али са друге стране на њихово формирање, утиче и случајан процес кретања возила на линији.

Величине јединичних вредности превозних захтева на линији добијају се дељењем величина улазака, излазака и протока путника по станици, возилу, и смеру са припадајућим интервалима који су претходили њиховом настанку.

Јединичне величине улазака, излазака и протока су изведене рачунске величине. ^[1]

4.3.1. Јединични уласци путника: $U_{sm,v,s}^0$ [пут/мин]

$$U_{sm,v,s}^0 = \frac{u_{sm,v,s}}{i_{sm,v,s}}$$

Где је:

$i_{sm,v,s}$ - интервал слеђења возила на линији у смеру линије (sm) између (v – 1) и v.-тог возила, на станици (s).

4.3.2. Јединични изласци путника: $I_{sm,v,s}^0$

$$I_{sm,v,s}^0 = \frac{i_{sm,v,s}}{i_{sm,v,s}}$$

4.3.3. Јединични проток путника: $Z_{sm,v,s}^0$ [пут/мин]

$$Z_{sm,v,s}^0 = \frac{z_{sm,v,s}}{i_{sm,v,s}}$$

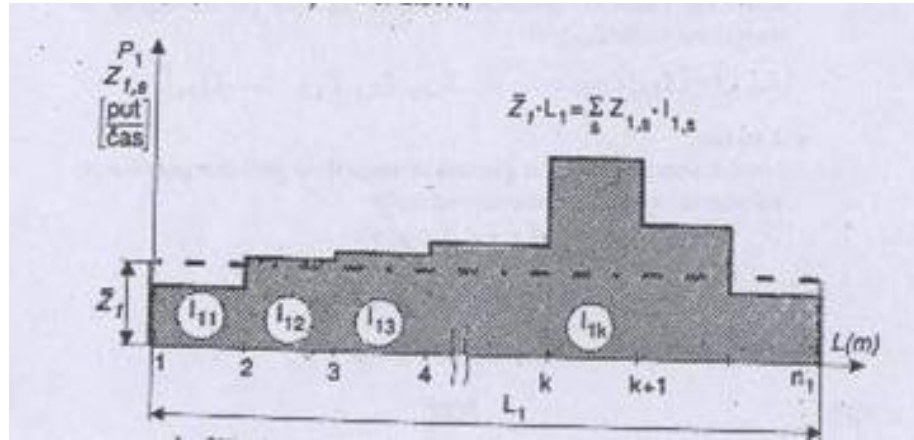
4.4. Карактеристике токова путника

Основне карактеристике токова путника на линији су:

- Средња (часовна) вредност протока путника на линији;
- Неравномерност протока путника у простору;
- Неравномерност протока путника у вршном часу;
- Средња дужина вожње путника на линији ;
- Измена путника.

Све наведене величине су биласног карактера и служе за шире анализе карактеристика превозних захтева. ^[1]

Израчунавање величина врши се из наведених модела, где се узимају у обзир величине добијене преко сведених вредности протока путника. Добијање средњих вредности протока путника и коефицијента неравномерности дуж линије, приказано је на *слици 21*.



Слика 21. Добијање средњих вредности протока путника и коефицијента неравномерности дуж линије. ^[1]

4.4.1. Средња вредност протока путника: Z (пут/х)

- Средња вредност протока путника у смеру линије (sm):

$$Z_{sm} = \frac{\sum_s Z_{sm,s} * l_{sm,s}}{L_{sm}}$$

- Средња вредност протока путника на линији:

$$Z_{sm} = \frac{\sum_{sm} \sum_s Z_{sm} * l_{sm,s}}{\sum_{sm} L_{sm}}$$

4.4.2. Неравномерност протока у простору (дуж линије): n_p

- Неравномерност протока у смеру линије (sm):

$$n_{sm,p} = \frac{\max(Z_{sm,s})}{Z_{sm}}$$

- Неравномерност протока на линији:

$$n_p = \frac{\sum_{sm} \max(Z_{sm,s})}{\sum_{sm} Z_{sm}}$$

4.4.3. Неравномерност протока у вршном часу: V_n

- За $i < 5$ минута:

$$V_n = \frac{4 * \max(Z^{15})}{\max(Z_{sm,s})}$$

- За $i > 5$ минута:

$$V_n = \frac{f * \max(Z_{sm,v,s})}{\max(Z_{sm,s})}$$

Где је:

$\max(Z^{15})$ - представља максимални проток на најоптерећенијој станици линије;

$\max(Z_{sm,v,s})$ или $\max(Z_{sm,s})$ – максимални проток путника у возилу односно часовни проток путника на најоптерећенијој – карактеристичној станици линије. ^[1]

4.4.4. Средња дужина вожње: I (km)

Средња дужина вожње представља (рачунску) вредност дужине вожње путника на линији и може се добити из модела:

- Средња дужина вожње у смеру линије (sm):

$$l_{sm} = \frac{\sum_s Z_{sm,s} * l_{sm,s}}{P_{sm}}$$

- Средња дужина вожње на линији:

$$l_{sm} = \frac{\sum_{sm} \sum_s Z_{sm} * l_{sm,s}}{\sum_{sm} P_{sm}} = \frac{\sum_{sm} \sum_s Z_{sm,s} * l_{sm,s}}{P}$$

4.4.5. Измена путника

Представља средњи број измена путника у смеру или на целој линији. Практично овај број показује колико пута се у току једног полуобрта или обрта "запоседне" једно место. Изражава се коефицијентом измене и може се добити из модела:

- Измена путника у смеру линије (sm):

$$n_{sm} = \frac{P_{sm}}{\max(Z_{sm,s})} = \frac{L_{sm}}{l_{sm} * n_{sm,p}}$$

- Измена путника на линији:

$$n = \frac{\sum_{sm} P_{sm}}{\sum_{sm} (Z_{sm,s})}$$

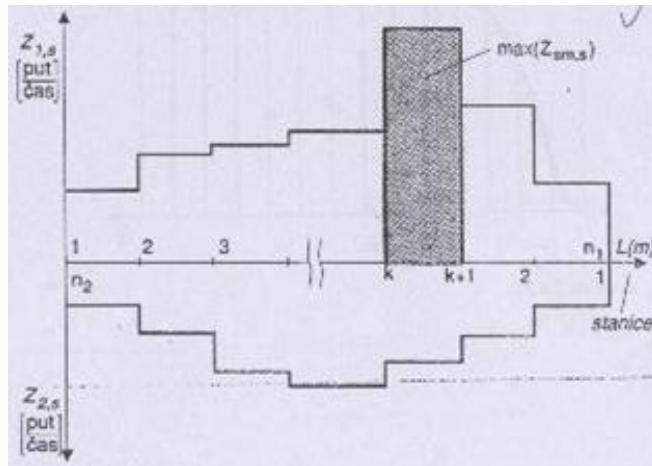
4.5. Мерадавни превозни захтеви на линији

Мерадавни превозни захтеви на линији, у једном карактеристичном периоду времена (периоду стационарности), дефинисани су мерадавним вредностима протока путника. Мерадавне вредности протока, је могуће дефинисати на два начина: ^[1]

- Начин број 1:

Ако су улазне величине дефинисане вредностима $u_{sm, v, s}$ и $i_{sm, v, s}$ и $Z_{sm, v, s}$ односно матрицом, часовних вредности протока путника $Z_{sm, s}$ онда је меродавна вредност протока путника дефинисана релацијом (Слика 22.):

$$Z_{mer} = \max(Z_{sm,s}) * V_n$$



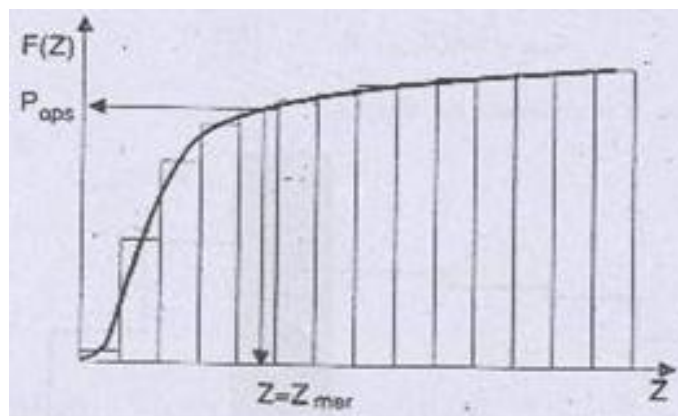
Слика 22. Меродавна вредност протока. [1]

- Начин број 2:

Ако су улазне величине дефинисане меродавном функцијом густине односно расподеле протока путника по станицама возилима и смеровима, и дефинисаном вероватноћом опслуге P_{ops} (Слика 23.):

$$Z = f(Z_{sm,s}) = f(Z) \quad \text{односно} \quad P_{ops} = F(Z_{mer})$$

$$Z_{mer} = F^{-1}(P_{ops}) \text{ [пут/}h\text{]}$$



Слика 23. Меродавна вредност протока. [1]

5. Превозни захтеви више линија које имају заједнички део трасе

Изражене неравномерности превозних захтева на линији у дужим периодима времена решавају се променом броја возила на раду.

Изражена неравномерност захтева дуж линије указује да траса линија није добро постављена у мрежи линија, и треба је преиспитати. Проблем се решава тако што се испита могућност да се на истој траси превоз организује:

- Са две линије које се делимично преклапају;
- Увођењем локалне линије.

Основни проблем код овакве организације превоза путника је одређивање меродавне вредности протока путника код више линија ЈП чије трасе се делимично или потпуно преклапају, и промена услова превоза – параметара квалитета (интервала).^[1]

5.1. Одређивање меродавних протока више линија које имају заједнички део трасе

Код линија чије се трасе делимично преклапају меродавни протоци одређују се на основу меродавних протока на слободним – непреклопљеним деловима – гранама траса како је дато на **слици 24.**, односно следећим изразима:

$$Z_{mer} = \frac{Z_{ks}}{\sum Z_i} * Z_z \quad \text{ако је} \quad \sum_i Z_{is} > Z_z$$

$$Z_{kmer} = Z_{ks} \quad \text{ако је} \quad \sum_i Z_{is} \leq Z_z$$

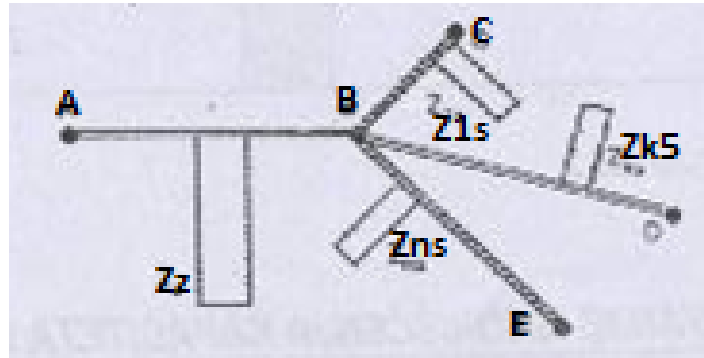
Где је:

Z_k – меродавни проток на к-тој линији;

Z_{ks} – меродавни проток слободне гране к-те линије која има заједнички део трасе са (i) других линија ЈП;

Z_{is} – меродавни протоци на слободним гранама осталих i-линија;

Z_z – меродавни проток на заједничком делу трасе.

Слика 24. Трасе. ^[1]

5.2. Одређивање меродавних протока директне и локалне линије

Ако се у рад уводи линија чија се траса у потпуности преклапа (локална линија) са основном – директном линијом, меродавни захтеви се одређују према *слици 25.* и изразима:

$$Z_d = Z_{ds} \quad Z_l = Z_z - Z_d$$

Где је:

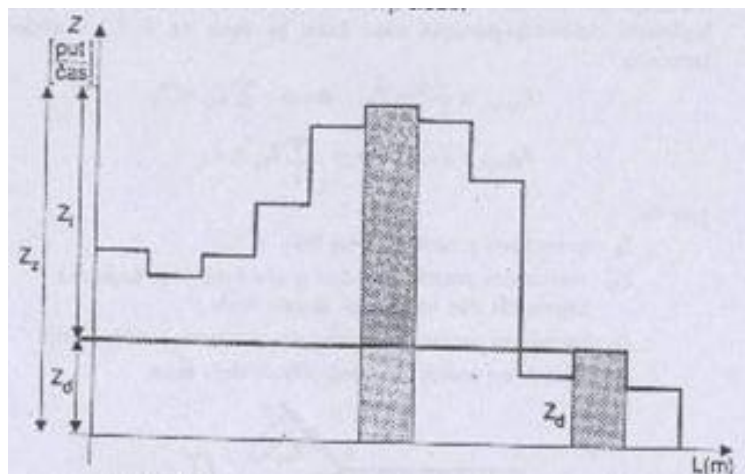
Z_d – меродавни проток на директној линији;

Z_{ds} – меродавни проток на слободном краку директне линије;

Z_z – меродавни проток на заједничком делу трасе;

Z_l – меродавни проток локалне линије.

Код изражене неравномерности превозних захтева на линији, по смеровима, проблем се решава одговарајућим променама у реду вожње. ^[1]

Слика 25. Меродавни протоци директне и локалне линије. ^[1]

6. Одређивање оптималног типа и броја возила на раду на линији

Избор оптималног типа возила на линији ЈП је вема сложен процес и обично се одвија у две фазе:

- Фаза 1: Избор оптималног типа возила са аспекта услова експлоатације и потребних експлоатационо-техничких – ЕТ својства;
- Фаза 2: Коначан избор оптималног типа возила приликом сваке конкретне набавке возила узимајући у обзир :
 - изабрани оптимални тип возила;
 - унутрашња и спољашња ограничења;
 - ефективност сваке конкретне марке возила која поседује захтевана ЕТ својства.

Могуће је спровести само први део методологије. Основне услове експлоатације у којима се одвија ЈГПП карактеришу:

- Интезивни превозни захтеви, што има за последицу потребу за великим бројем и учесталошћу возила;
- Изражена неравномерност захтева у простору и времену;
- Велика измена;
- Вожња кроз улице различитих ширина, радијуса кривина, коловозних застора и нагиба;
- Велики број станица са малим међустаничним растојањем;
- Конфор у погледу грејања и проветравања и
- Захтеви у погледу безбедности путника.

Захтеви у погледу учесталости возила задовољавају се одговарајућим бројем возила на раду и максималним прихватљивим временом чекања путника на станицама.^[1]

6.1. Избор оптималног типа возила према капацитету

Избор оптималног типа возила на нивоу линије врши се углавном са аспекта избора капацитета док се остали елементи оптимизирају на вишим нивоима управљања.

Избор оптималног капацитета возила врши се за дефинисане меродавне превозне захтеве на линији, узимајући у обзир задате (жељене) параметре квалитета функционисања линије, са једне стране, и критеријуме оптимизације са друге стране.

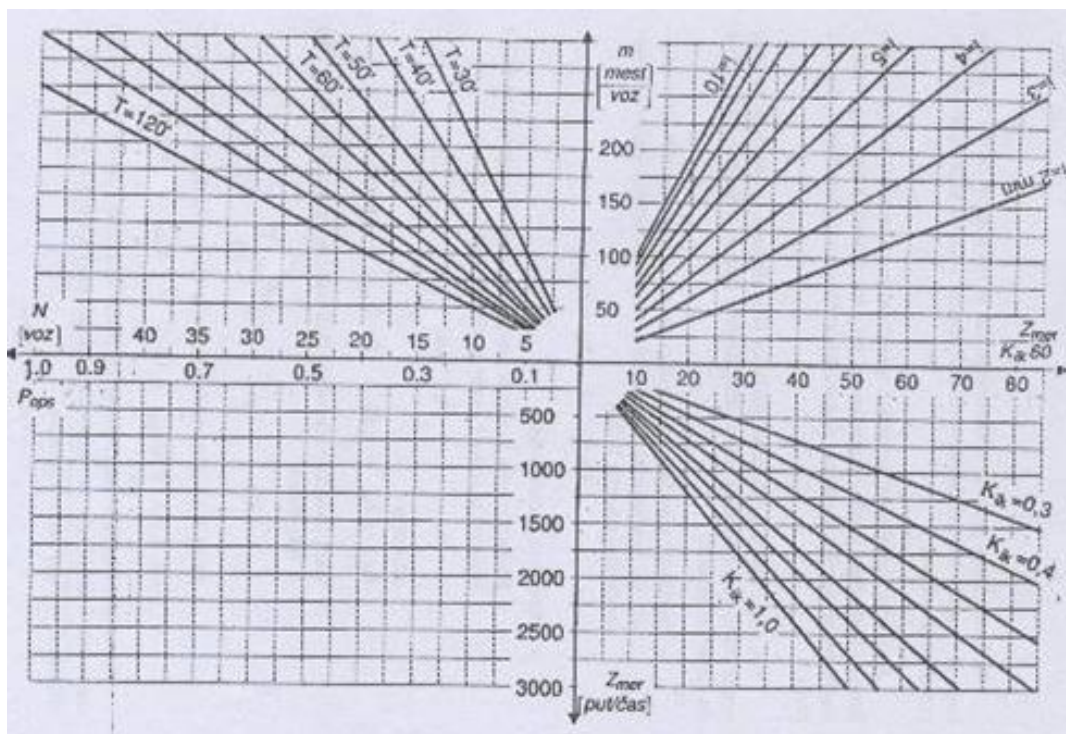
Параметри квалитета функционисања линије у зависности од начина дефинисања меродавних протока су:

- Величина интервала слеђења возила;
- Конфор путника изражен преко коефицијената искоришћења места на карактеристичној деоници линије;
- Вероватноће опслуге.

Критеријуми оптимизације на новоу линије могу бити:

- Максимизација квалитета услуге;
- Минимизација квалитета услуге.

Процес оптимизације је могуће одредити помоћу номограма (Слика 26.), преко кога је могуће лако визуелно оценити дијапазон решења која задовољавају постављене услове, такође је могуће приступити и аналитичком начину одређивања оптимизације.



Слика 26. Номограм за избор оптималног капацитета возила.^[1]

Примена хомограма омогућује не само избор оптималног капацитета возила за задате улазне величине, него и једноставно сагледавање, како промене улазних величина утичу на излазну величину – капацитета возила.^[1]

6.2. Одређивање потребног броја возила на раду

Потребан број возила на раду произилази из потребе да минимални капацитет линије буде једнак меродавној вредности протока путника, односно за:

$$C = Z_{mer} \text{ i } C = \frac{N}{T} * m \rightarrow \frac{N}{T} * m = Z_{mer}$$

Ако су превозни захтеви дефинисани преко максималне вредности протока путника и задате величине комфора на карактеристичној деоници линије онда се потребан број возила на раду може изразити преко следећег израза:

$$N = \frac{Z_{mer} * T}{m * K_{ik}} [\text{воз}]$$

Где је:

N – број возила на раду;

Z_{mer} – меродавни проток на линији у карактеристичном периоду времена;

T – време обрта возила на линији;

m – капацитет транспортне јединице;

K_{ik} – коефицијент искоришћења места на карактеристичној деоници линије (захтевани ниво комфора на линији).^[1]

6.3. Остале карактеристике возила и критеријум за избор

У вези са оптерећењем и режимом кретања возила градском саобраћају морају да имају одређене динамичке карактеристике:

- Максималну брзину - V_{max} ;
- Максимално убрзање – a ;
- Динамички фактор – D ;
- Специфичну снагу - P_{max} .

За просечне услове експлоатације, вредности тих карактеристика су приказани у **табели 3**.

	$V_{max} \text{ (m/s}^2\text{)}$	$a \text{ (m/s}^2\text{)}$	D	$P_{max} \text{ (kw/t)}$
Градски аутобус	75 – 85	0.8 – 1.0	0.04 – 0.06	10 - 13
Приградски аутобус	90 - 110	1.2 – 1.8	0.04 – 0.05	10 - 13

Табела 3. Просечни услови експлоатације.^[1]

Вредност убрзања дата је за најнижи степен преноса у мењачу.

Велика измена путника у градском превозу, захтева да је унутрашњост возила прилагођена тако да омогућава брзу и лаку циркулацију путника кроз возило и брз безбедан улазак и излазак путника, што се постиже већим бројем широких врата (ширине максимално 1200 mm), подовима (висине 750 – 800 mm) и степеницама, великим размаком између седишта и већим простором за стајање.

Како у возилима велики број путника стоји потребно је да се возило опреми са великим бројем вертикалних и хоризонталних држача. Удобност путника се постиже углавном одговарајућом мекоћом хода и обзиром на наше климатске услове одговарајућом климатизацијом и грејањем у зимским периодима.

Поузданост возила у градском и приградском саобраћају је такође веома значајна. Престанак рада возила услед отказа изазива поремећаје у реду вожње, а тиме и поремећај у тачности и равномерности која у крајњој линији доводи до снижења нивоа квалитета ЈГПП.

Превозна средства, која данас стоје на располагању на тржишту, углавном задовољавају већи део постављених захтева нарочито у погледу динамичких карактеристика, прилагођености каросерије, маневарских способности тако да се избор оптималног типа возила своди на одређивање возила оптималног капацитета, а затим се избор врши по критеријуму максималне ефективности (минималних улагања по јединици извршеног транспортног рада).

У анализи ефективности возила истог типа различитих произвођача треба узети у обзир следеће елементе:

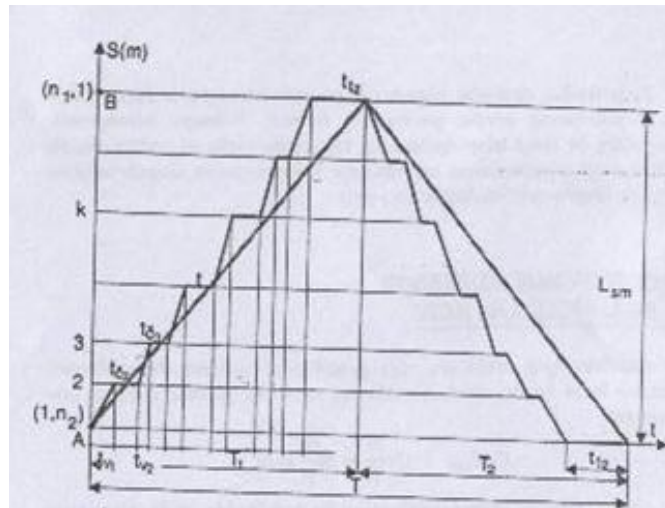
- Набавну цену возила;
- Трошкове експлоатације (на које итичу трошкови одржавања, потрошње горива и мазива).

Приликом избора оптималног типа возила за градски превоз и приградски саобраћај треба узети у обзир следећа ограничења:

- Постојећи и планирани возни парк;
- Постојећу ситуацију на тржишту возила у погледу могућности увоза возила и резервних делова;
- Цене возила;
- Евентуално планирано увођење нових видова превоза (трамваји, тролебуси).^[1]

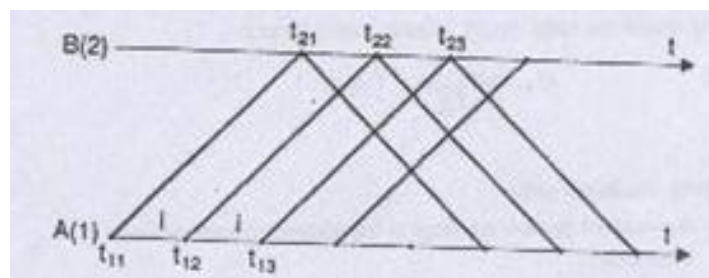
7. Оптимизација реда вожње

Редом вожње се дефинише број возила и њихово кретање на линији у току функционисања. Основу за израду реда вожње чини поједностављени дијаграм пут – време, на којем је то кретање возила у току једног обрта дефинисано временима полазака са одређених тачака (терминуса или евентуално других контролних тачака на линији) што се може видети на **слици 27**.



Слика 27. Дијаграм пут – време. ^[1]

Ред вожње представља аналогно томе, скуп времена полазака свих возила са дефинисаних тачака на линији (терминуса или других), у току функционисања линије што се шематски може приказати на **слици 28**.



Слика 28. Скуп кретања возила са дефинисаних тачака на линији. ^[1]

Оптимизација броја возила на линији врши се на основу дефинисања меродавних захтева, времена обрта и параметара квалитета за сваки карактеристични период времена у коме се услови у погледу превозних захтева и услови у окружењу мењају. Планирање и израда редова вожње представља једну од основних метода управљања линијом ЈГПП, односно основним процесом на линији, а то је кретање возила.

Метода се састоји у оптимизацији основних улазних величина, а то су:

- Број возила на линији у дефинисаним периодима времена;
- Времена (брзине) обрта;
- Интервала слеђења возила.

Оптимизација улазних величина врши се са једне стране у зависности од карактеристика превозних захтева, а са друге стране од услова пута, саобраћаја и времена.

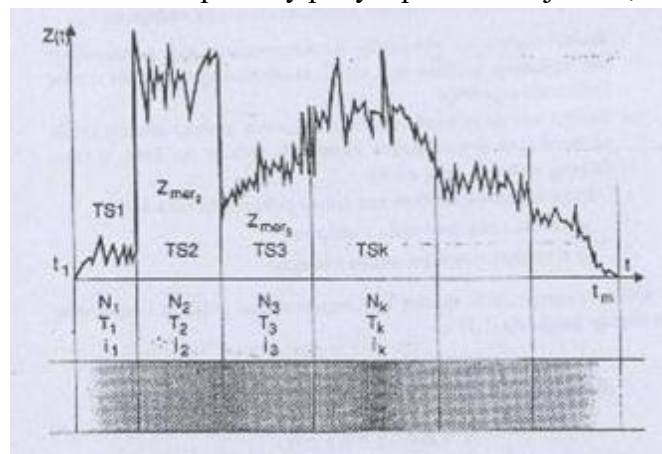
У зависности од промене карактеристика превозних захтева ред вожње ће се мењати:

- У сваком карактеристичном периоду времена у току дана,
- За сваки карактеристичан дан у седмици;
- У свакој карактеристичној сезони.

У зависности од услова у окружењу, ред вожње треба мењати сваки пут када се ти услови промене. Ради се о веома обимном послу који се понавља, што је веома погодно за примену савремених средстава информационе технологије у изради редова вожње на основу дефинисаних модела, уз само промену улазних величина.

Улазни подаци за израду реда вожње у току дана обухватају следеће (**Слика 29.**):

- Границе карактеристичних периода у току дана t_k ($k = 1, 2, \dots, p$), t_1 – почетак рада линије, t_m – време завршетка рада линије. Ове границе одређују се аналитичким путем применом тестова о хомогености узорака реализованих протока на линији, тестовима Смирнов – Колмогорова односно тестом одсуства тренда. Доста добра процена може се вршити и визуелном методом, када се сагледава промена у интензитету протока путника у јаче оптерећеном смеру. Прва метода захтева примену рачунара и за овај ниво;



Слика 29. Дијаграм података за израду реда вожње.^[1]

- Мероводне вредности протока путника за сваки карактеристични период у току дана: Z_{merk} ;
- Смер односно терминус од којег се рачуна да почиње поједини период ($sm=1, 2$);
- Време полуобрта по смеровима линије за сваки карактеристични период у току дана Z_{mer} ;
- Захтевани параметри квалитета функционисања линије за сваки карактеристичан период времена у току дана.

Оптимизације времена полуобрта и обрта возила на линији је посебно значајан посао, захтева претходна истраживања и од њега у највећој мери зависи реализација параметара квалитета функционисања линије везаних за време.

Изразне величине које се добијају оптимизацијом реда вожње:

- Редови вожње за отправнике на терминусима, који представљају најкасније поласке свих возила са одређеног терминуса у току функционисања линије;
- Редови вожње за возила односно најкаснији поласци сваког возила са терминуса на линији, у току читавог рада возила;
- Изведене величине као што су показатељи рада линије (часови рада, транспортни рад по возлу и укупно).^[1]

8. Тарифни систем

Оптимизација тарифног система представља један од најзначајнијих задатака управљања системом ЈГПП. У транспорту, цена услуге одређује се према учинку и у зависности је од дужине превоза.

У ЈГПП, није могуће формирати цене за сваку појединачну вожњу одређене дужине, јер би то изузетно закомпликовало систем наплате. Због тога је у ЈГПП неопходно, цене за појединачну вожњу заменити групним ценама по учинку, тако да једна цена важи за све вожње чија је дужина у оквиру одређене класе дужина.

Са аспекта путника, тарифни систем представља списак цена по врстама карата, а за превозника прављење тог списка је веома сложен посао почевши од:

- Постављања критеријума за оптимизацију;
- Избора оптималног типа тарифног система (јединствени, сезонски, релацијски, комбиновани), система карата;
- Избора оптималног система карата (са аспекта прихода и наплате);
- Одређивање нивоа основне цене итд.

Планирани приход од услуге превоза од којих систем ЈГПП, подручју примене тарифног система треба да реализује:

$$PR' = r * TF - S - D \text{ [дин]}$$

TF – нормирани трошкови система (за планирани ниво функционисања, односно обим и квалитет рада система);

r – коефицијент реализације планираног обима и квалитета рада система (узима вредности од $0 < r < 1$);

S – средства за субвенционисање разлике у цени између карата са попустом и одговарајућих карта за запослене;

D – Донације друштвено политичких заједница.

Планирани приход предузећа, зависи у најопштијем случају од:

- Типа тарифног система;
- Броја путника одређене категорије – к (запослени, студенти, ђаци, пензионери) који се возе на дистанци превоза P_{kz} ;
- Процена попушта (социјалног или комерцијалног), који је одобрен за категорију путника и класу дужине превоза K_z ;
- Висине основне цене – тарифног модула C_o .^[1]

9. Истраживање карактеристика система јавног градског превоза путника

Истраживање карактеристика система ЈГПП-а подстакнуто је потребом за тестирањем практичне примене поступка оптимизације на подацима реалних линија ЈГПП-а. За подручје истраживања изабран је град Нови Сад и постојећи систем ЈГПП-а, који се заснива на аутобуском подсистему.

Прикупљање неопходних података подразумевало је следећа истраживања:

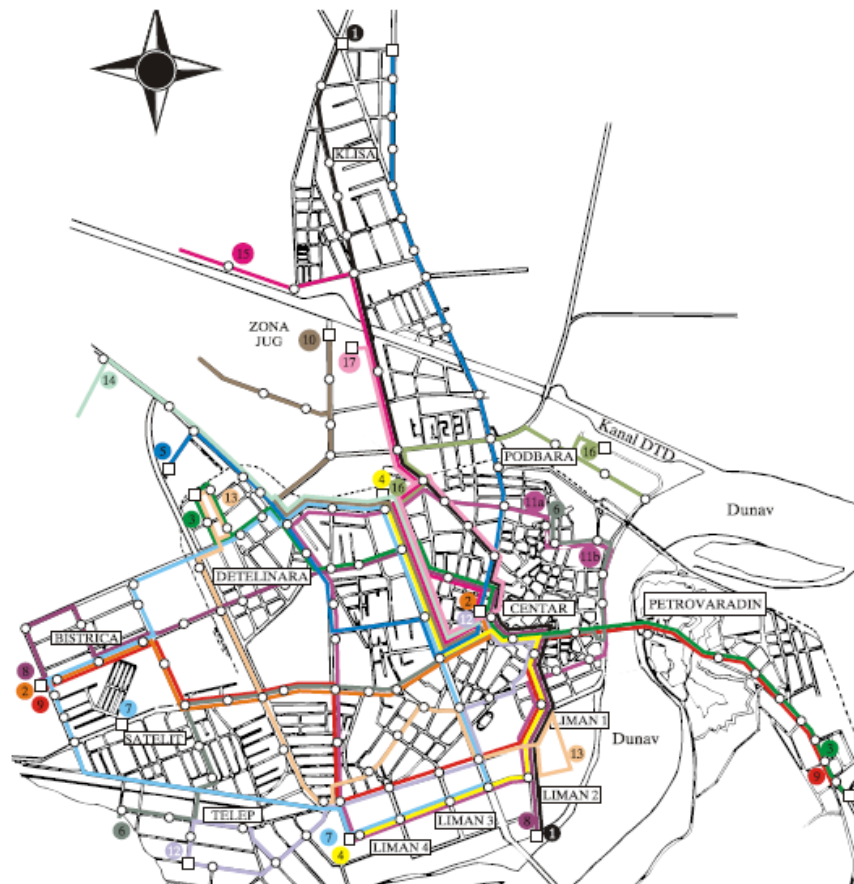
- Утврђивање пројектованих статичких и динамичких елемената система – подаци су преузети од институције задужене за управљање и организовање система ЈГПП-а - Јавног градског саобраћајног предузећа – Нови Сад;
- Утврђивање карактеристика кретања путника дуж линије и карактеристика реализованих динамичких елемената линија – коришћени су подаци из студије „Системско-генерално бројање и анкета путника у јавном градском и приградском превозу путника на подручју Новог Сада“;

- Утврђивање интензитета улазака путника у возило.

9.1. Подручје истраживања

Нови Сад се налази на $45^{\circ}20'0''$ северне географске ширине и $19^{\circ}51'0''$ источне географске дужине, у средишњем делу аутономне покрајине Војводине, на северу Србије, на граници Бачке и Срема. Град лежи на обалама реке Дунав, између 1.252-ог и 1.262-ог километра речног тока. На левој обали Дунава се налази равничарски део града, док је на десној обали, на одронцима Фрушке горе, смештен брдовити део града. Надморска висина са бачке стране је од 72 до 80 m, док са сремске стране износи до 250 метара. Чине га три јединице локалне самоуправе: општине Нови Сад, Сремска Каменица и Петроварадин, које све заједно обухватају површину од 129,4 km².

У Новом Саду јавни градски превоз путника се реализује аутобуским подсистемом, који је организован као линијски. Мрежу чини 17 градских линија (Слика 30.).^[4]



Слика 30. Приказ мреже градских линија у Новом Саду.^[4]

Укупна дужина градских линија износи око 260 километара (оба смера). Најкраћа линија је Линија број 16 Железничка станица - Пристаниште и износи 3,7 km, а најдужа је кружна линија број 7 и она износи 12,1 km. На мрежи градских линија у Новом Саду, пресечна међустанична растојања се крећу од 372 m на линија број 8, до 575 m на линији број 15, а просечно међустанично растојање за целу мрежу износи 458 m (*Табела 4.*).

		Тип трасе	Дужина (м)		Број стајалишта		Интервал (мин)	
			Смер А	Смер Б	Смер А	Смер Б	Вршни период	Ванвршни период
1	Клиса–Центар–Лиман I	Дијаметрална	8650	7800	18	18	7,6	12
2	Центар–Ново насеље	Радијална	4900	5000	13	12	8,8	11
3	Петроварадин–Центар–Детелинара	Дијаметрална	9050	8700	19	20	8,3	10
4	Лиман IV–Центар–Жел.станица	Дијаметрална	5500	5650	12	12	9	10,8
5	Темерински пут–Центар–Авијатичар. н.	Дијаметрална	9950	10100	23	24	7,6	10,3
6	Подбара–Адице	Радијална	9450	9350	22	20	11,7	14
7	Н.насеље–Ж.станица–Лиман –Н.нас.	Кружна	12680	12180	26	27	8,3	11,5
8	Ново насеље–Центар–Лиман I	Дијаметрална	8550	8550	23	20	8	10,8
9	Петроварадин–Лиман–Ново насеље	Дијаметрална	10900	10900	24	25	9,3	11,4
10	Центар–Индустријска зона југ	Радијална	6050	6100	12	13	-	-
11	Ж.станица–Лиман–Болница–Ж.станица	Кружна	11400	11400	23	24	11	11
12	Центар–Телеп	Радијална	8050	7850	21	20	10,3	13,6
13	Универзитет–Грбавица–Детелинара	Тангенцијална	6800	6800	15	16	15	20
14	Центар–Сајлово	Радијална	6900	7700	16	15	20	20
15	Центар–Индустријска зона север	Радијална	7400	8050	14	14	-	-
16	Железничка станица–Пристанишна зона	Периферна	4150	3700	8	7	-	-
17	Биг центар–Центар– Ж.станица–Биг ц.	Кружна	7100	-	14	-	35	-

Табела 4. Статички и динамички елементи линија у систему ЈГПП-а у Новом Саду.^[4]

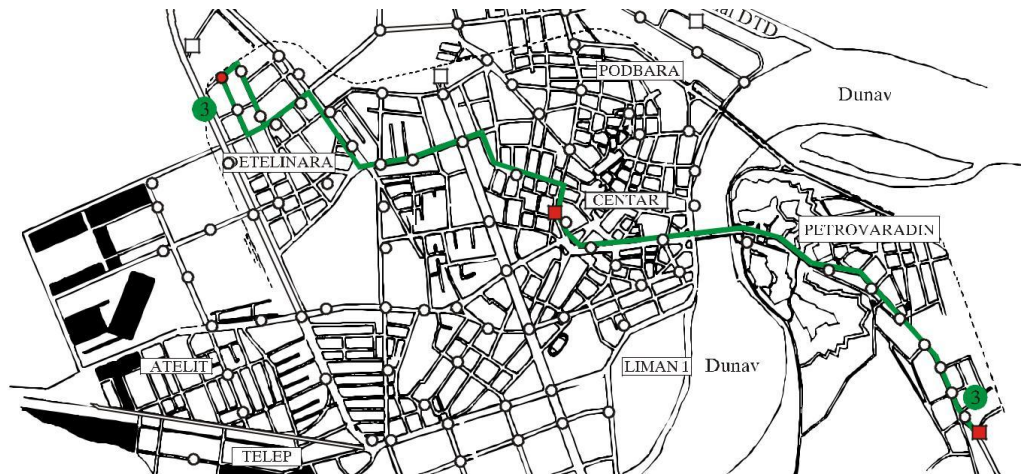
9.2. Пројектовани елементи линија

Пројектовани статички и динамички елементи линије број 3 и линије број 5 утврђени су на основу даљинара, туражних таблица и реда вожње за градски саобраћај. Подаци су преузети од институције задужене за управљање и организацију система ЈГПП-а у Новом Саду, односно од Јавног градског саобраћајног предузећа – Нови Сад.^[4]

9.2.1. Статички елементи линија

Линија број 3 Петроварадин–Центар–Детелинара према начину пружања трасе сврстава се у дијаметралне линије. Линија број 3 повезује насеља Детелинара и Петроварадин, при чему траса пролази кроз уже градско језгро. Пројектована дужина

линије у смеру А износи 9,05 km, а у смеру Б 8,7 km, тако да укупна дужина једног обрта износи 17,75 km (Слика 31.).



Слика 31. Приказ трасе линије број 3 Петроварадин – Центар – Детелинара. ^[4]

У смеру А линија има 19 стајалишта са просечним међустаничним растојањем од 476 m, при чему најкраће међустанично растојање износи 300 m а најдуже 800 m. У смеру Б линија има 20 стајалишта са просечним међустаничним растојањем од 375 m, при чему најкраће међустанично растојање износи 300 m, а најдуже 700 m (Табела 5.) и (Табела 6.).

р.б	Шифра стајалишта	Назив стајалишта	Међ. раст.	Дужина трасе
1	06100К	Петроварадин – Окретница	0	0
2	0611Б	Петроварадин – Жел. станица	500	500
3	0612Б	Прерадовићева – Бождар Ације	600	1100
4	0613Б	Прерадовићева – М.Орешковића	350	1450
5	0615Б	Прерадовићева – Бензин. пумпа	450	1900
6	0616Б	Прерадовићева – Шеноина	300	2200
7	0617Б	Прерадовићева – Ловачки дом	400	2600
8	0618Б	Београдска – Владимира Назора	600	3200
9	06 9Б	Бул.Мих. Пупина – Дунавски парк	800	4000
10	0620Б	Бул.Михајла Пупина – рк"базар"	700	4700
11	0102АТ1	Успенска – СНП	300	5000
12	0201А	Војводе Бојовић – Социално	700	5700
13	0202А	Краља Петра I – Тунел јефтиноће	650	6350
14	0203А	Краља Петра I – Гробље	400	6750
15	0204А	Руменачка – Апотека	500	7250
16	0205А	Руменачка – Бул.Јаше Томића	400	7650
17	0223А	К.Станковића I – Чика Стевина	300	7950
18	0225А	Миленка Грчића – рк"детелинара"	600	8550
19	0226БКТ	Јанка Чмелика I	500	9050

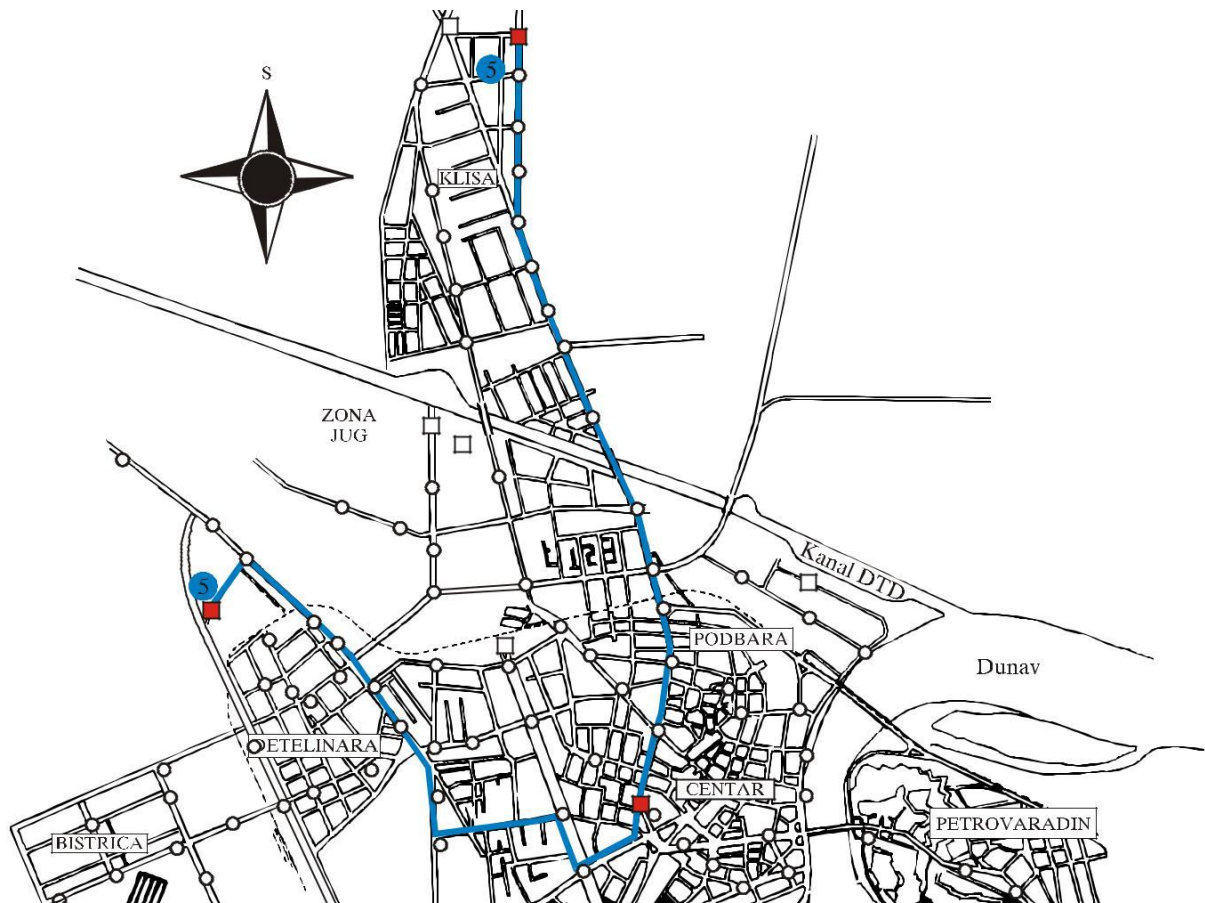
Табела 5. Статички елементи линије број 3 – смер А. ^[4]

р.б	Шифра	Назив стајалишта	Међ.	Дужина
	стајалишта		раст.	трасе
1	0226ВКТ	Јанка чмелика I	0	0
2	0227В	Јанка чмелика II – Школа	300	300
3	0228В	Корнелија Станковића III – Пилот	300	600
4	0217В	Руменачка – Кор. Станковића	500	1100
5	0218В	Руменачка – АВС Самопослуга	500	1600
6	0219В	Краља Петра I – Сајам	300	1900
7	0220В	Краља Петра I – Машинска школа	300	2200
8	0221В	Краља Петра I – Бул. Ослобођења	400	2600
9	0222В	Војводе Бојовић – Социално	500	3100
10	0127ВТ1	Успенска – Шафарикова	700	3800
11	060 А	Бул.Михајла Пупина – Потходник	300	4100
12	0602А	Бул.Михајла Пупина – Раднички дом	700	4800
13	0603А	Београдска – Владимира Назора	700	5500
14	0604А	Прерадовићева – Ловачки дом	600	6100
15	0605А	Прерадовићева – Основна школа	400	6500
16	0606А	Прерадовићева – Рељковићева	500	7000
17	0607А	Прерадовићева – Марина Држица	500	7500
18	0608А	Прерадовићева – Фрање Малина	500	8000
19	0609А	Петроварадин – Железничка станица	300	8300
20	0610ОК	Петроварадин – Окретница	400	8700

Табела 6. Статички елементи линије број 3 – смер Б. ^[4]

Када се линија посматра у смеру А прво стајалиште у Петроварадину је изведено као окретница, док је последње стајалиште у насељу Детелинара изведено као стандарно стајалиште. Део трасе линије 3 у насељу Детелинара је кружног типа и омогућава промену смера возила. Траса линије 3 у ужем градско језгру користи стајалиште Успенска – Шафарикова које је изведено као терминус. У постојећем начину организације мреже линија у Новом Саду стајалиште Успенска – Шафарикова користи се као почетно стајалиште/терминус за већину градских радијалних линија. На линији 3 у смеру А, стајалиште Успенска – Шафарикова је по реду једанаесто од двадесет стајалишта, а у смеру Б је десето од двадесет стајалишта.

Линија број 5 Темерински пут–Центар–Авијатичарско насеље према начину пружања трасе се сврстава у дијаметралне линије. Линија број 5 повезује насеља Клиса и Авијатичарско насеље, при чему траса пролази кроз уже градско језгро. Пројектова дужина линије у смеру А износи 9,95 km, а у смеру Б 10,1 km, тако да укупна дужина једног обрта износи 20,05 km (*Слика 32.*). ^[4]



Слика 32. Приказ трасе линије број 5 Темерински пут – Центар – Авијатичарско. [4]

У смеру А линија има 23 стајалишта са просечним међустаничним растојањем од 433 m, при чему најкраће међустанично растојање износи 250 m, а најдуже 850 m. У смеру Б линија има 24 стајалишта са просечним међустаничним растојањем од 421 m, при чему најкраће међустанично растојање износи 200 m, а најдуже 900 m (*Табела 7.*) и (*Табела 8.*).

р.б	Шифра стајалишта	Назив стајалишта	Међ. раст.	Дужина трасе
1	0143ОК	Темерински пут – ОК "Родић"	0	0
2	0144Б	Темерински пут – Савска	400	400
3	0145Б	Темерински пут – Велебитска	300	700
4	014 Б	Темерински пут – А.Варађанина	300	1000
5	0147Б	Темерински пут – Стовариште бор	300	1300
6	0148Б	Темерински пут – О.Кершованија	300	1600
7	0149Б	Темеринска – Најлон пијаца	700	2300
8	0150Б	Темеринска – Видовданско н.	300	2600
9	0151Б	Темеринска – Ша кашка	850	3450
10	0152Б	Темеринска – Партизанска	400	3850
11	0153Б	Темеринска – Косте Шокице	250	4100
12	0154Б	Темеринска – Пијаца	550	4650
13	0126БТ1	Успенска – Шафарикова	750	5400
14	0536Б	Бул.Ослобођења – Футошка пијаца	650	6050
15	0707Б/2	Новосадског с. – Бул.Ослобођења	400	6450
16	0707Б/1	Новосадског с. – Основна школа	300	6750
17	0722Б	Хајдук Вељкова – Новосадског с.	500	7250

18	0204A	Руменачка – Апотека	700	7950
19	0205A	Руменачка – Бул.Јаше Томића	400	8350
20	0206A	Руменачка – Радничко игралиште	400	8750
21	0207A	Руменачки пут – Бензинска п.	300	9050
22	0208A	Авијатичарска – Јастреб	450	9500
23	0209OK	Авијатичарска – Касарна	450	9950

Табела 7. Статички елементи линије број 5 – смер А. ^[4]

р.б	Шифра стајалишта	Назив стајалишта	Међ.	Дужина
			раст.	тресе
1	0209OK	Авијатичарска – Касарна	0	0
2	0215Б	Руменачки пут – Јастреб	600	600
3	0216Б	Руменачка – Бензинска пумпа	450	1050
4	0217Б	Руменачка – К.Станковића	500	1550
5	0218Б	Руменачка - АБЦ самопослуга	400	1950
6	0707А	Хајдук Вељкова - Сајам	500	2450
7	0707А/1	Новосадског сајма Базени	400	2850
8	0707А/2	Новосадског сајма - Основна шк.	400	3250
9	0510А	Бул.Ослобођења Новосадског с.	400	3650
10	0337Б	Јеврејска – Футошка пијаца	400	4050
11	0103АТ1	Успенска – СНП	550	4600
12	0131А	Темеринска – Трг Марије Трандафил	600	5200
1	0132А	Темеринска – Гундулићева	350	5550
14	0133А	Темеринска – Патр. Чарнојевић	300	5850
15	0134А	Темеринска – Аутовојводина	450	6300
16	0135А	Темеринска – Шајкашка	200	6500
17	0136А	Темеринска – Видовданско насеље	900	7400
18	0137А	Темеринска – Нај он пијаца	400	7800
19	0138А	Темерински пут – О. Кершованија	600	8400
20	0139А	Темерински пут – Стовариште Бор	250	8650
21	0140А	Темерински пут – А. Варађанина	300	8950
22	0141А	Темерински пут – Велебитска	350	9300
23	0142А	Темерински пут – Савска	400	9700
24	0143OK	Темерински пут – ОК " Родић "	400	10100

Табела 8. Статички елементи линије број 5 – смер Б. ^[4]

Прво и последње стајалиште на линији број 5 је изведено као окретница. Траса линије 5 у ужем градском језгру користи стајалиште Успенска – Шафарикова које је изведено као терминус. На линији број 5 у смеру А, стајалиште Успенска – Шафарикова је по реду тринаесто од двадесет три стајалишта, а у смеру Б је једанаесто од двадесет четири стајалишта. ^[4]

9.2.2. Динамички елементи линија

У систему ЈГПП-а у Новом Саду динамички елементи линије у реду вожње су одређени за три карактеристична периода: вршни, ванвршни и ноћни. Према реду вожње за радни дан јесењег реда вожње први полазак на линији број 3 је у 4:30 часа. Време рада линије је око 20 часова, односно последњи полазак на линији број 3 је у 24:00 часа. Просечан интервал слеђења у вршном периоду износи 8,3 минута, у ванвршном периоду је 10 минута, а у ноћном 17,5 минута. Пројектовано време обрта

возила у вршном периоду је 74 минута, док је у ванвршном и ноћном периоду пројектован период обрта од 70 минута. У складу са укупном дужином линије добија се просечна брзина обрта од 14,4 km/h у вршном периоду и 15,2 km/h у ванвршном и ноћном периоду. Према пројектованом реду вожње потребан број возила по карактеристичним периодима износи: 10 возила за вршни период, 6 возила за ванвршни и 5 возила за ноћни период.

Према реду вожње за радни дан јесењег реда вожње први полазак на линији број 5 је у 4:30 часа. Време рада линије је око 20 часова, односно последњи полазак на линији број 5 је у 24:00 часа. Просечан интервал слеђења у вршном периоду износи 7,6 минута, у ванвршном периоду је 10,3 минута, а у ноћном 14,6 минута. Пројектовано време обрта возила у вршном периоду је 76 минута, док је у ванвршном и ноћном периоду пројектован период обрта од 72 минута. У складу са укупном дужином линије добија се просечна брзина обрта од 15,8 km/h у вршном периоду и 16,7 km/h у ванвршном и ноћном периоду. Према пројектованом реду вожње потребан број возила по карактеристичним периодима износи: 10 возила за вршни период, 7 возила за ванвршни и 5 возила за ноћни период. ^[4]

9.3. Истраживање транспортних захтева и реализованих динамичких елемената

За потребе практичне примене поступка оптимизације између осталог су коришћени и резултати истраживања у систему ЈПП-а у Новом Саду, која су спроведена 2010. године у циљу стварања поуздане информационе основе за потребе тактичког и стратешког управљања системом ЈПП-а.

Истраживање на свим градским линијама је реализовано на дан 19.10.2010. године. Истраживање је обухватило системско бројање и анкету путника на свим градским и приградским линијама. За потребе практичне примене модела из наведеног истраживања биће коришћени подаци о карактеристикама кретања путника дуж линије (уласци путника, изласци путника, проток путника) и подаци о реализованим динамичким елементима линија (време обрта, интервал слеђења, фреквенција возила). ^[4]

9.3.1. Методологија истраживања

У оквиру истраживања које је обухватило бројање и анкету корисника система јавног превоза путника на подручју Новог Сада, истраживане су карактеристике корисника и путовања, транспортни захтеви, понуда, и квалитет система јавног масовног превоза путника на свим градским, приградским и међумесним линијама на којима превоз обавља градско саобраћајно предузеће Нови Сад (ГСП). Бројању путника је претходила адекватна припрема којом су у потпуности сагледани начин организације система јавног превоза, број возних јединица који се ангажује за реализацију реда вожње, места и времена поласка сваког возила према туражним таблицама, паузе у раду возила, итд. Припремна фаза бројања обухватила је саму припрему бројачког материјала (фасцикле, беџеви, бројачки обрасци итд), распоред и обуку бројача, распоред и обуку контролора, распоред и обуку контролора ГСП–а који су на окретницама и терминусима преузимали бројачке обрасце са сваку линију после сваког обрта.

Приликом бројања били су ангажовани бројачи који су били распоређени у возила према унапред дефинисаном распореду. Бројачи су вршили евидентирање улазака и излазака путника у унапред припремљене бројачке обрасце. Евидентирање улазака и излазака путника вршено је тако што је на свака врата био распоређен по један бројач који је на сваком стајалишту бележио измену путника као и пролазна времена возила кроз свако стајалиште. **Слика 33.** приказује изглед бројачког обрасца у који су бројачи уносили дефинисане податке.

GRAD NOVI SAD		BROJANJE PUTNIKA U JAVNOM PREVOZU NOVOG SADA		FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA, NOVI SAD	
REGISTARSKI BROJ:		GARAŽNI BROJ:		DATUM BROJANJA:	
NAZIV LINIJE: CENTAR – NOVO NASELJE		2			
SMER A: CENTAR – NOVO NASELJE		VRATA NA KOJIMA BROJE:	1	2	3
R. B.	Šifra stajališta	NAZIV STAJALIŠTA	VRATA NA KOJIMA BROJE:	BROJ PUTNIKA	
				UŠAO	IZAŠAO
1	0128BT1	USPENSKA - ŠAFARIKOVA			
2	0301A	FUTOŠKA – FUTOŠKA PLJACA			
3	0302A	FUTOŠKA - KASARNA			
4	0303A	FUTOŠKA – JODNA BANJA			
5	0304A	FUTOŠKA – BOLNICA			
6	0305A	FUTOŠKA – HIGIJENSKI ZAVOD			
7	0307A	FUTOŠKA – JUGOALAT			
8	0307/1A	BUL. S. JOVANOVIĆA – FUTOŠKA			
9	0307/2A	BUL. S. JOVANOVIĆA – DOM ZDRAVL.			
10	0321B	BUL. J. DUČIĆA – RK"MLADOST"			
11	0322B	BUL. J. DUČIĆA – BATE BRKIĆA			
12	0323B	BUL. J. DUČIĆA – IGRALIŠTE			
13	0312BKT	NOVO NASELJE – OKRETNICA			
SMER B: NOVO NASELJE – CENTAR		VRATA NA KOJIMA BROJE:	1	2	3
R. B.	Šifra stajališta	NAZIV STAJALIŠTA	VRATA NA KOJIMA BROJE:	BROJ PUTNIKA	
				UŠAO	IZAŠAO
1	0312BKT	NOVO NASELJE – OKRETNICA			
2	0314A	BUL. J. DUČIĆA – IGRALIŠTE			
3	0315A	BUL. J. DUČIĆA – BATE BRKIĆA			
4	0316B	BUL. J. DUČIĆA – RK"MLADOST"			
5	0317B	BUL. S. JOVANOVIĆA – DOM ZDRAVL.			
6	0332B	FUTOŠKA – VRŠAČKA			
7	0333B	FUTOŠKA – HIGIJENSKI ZAVOD			
8	0334B	FUTOŠKA – CARA DUŠANA			
9	0335B	FUTOŠKA – JODNA BANJA			
10	0336B	FUTOŠKA – ELEKTRO TEHNIČ. ŠKOLA			
11	0337B	JEVREJSKA – FUTOŠKA PLJACA			

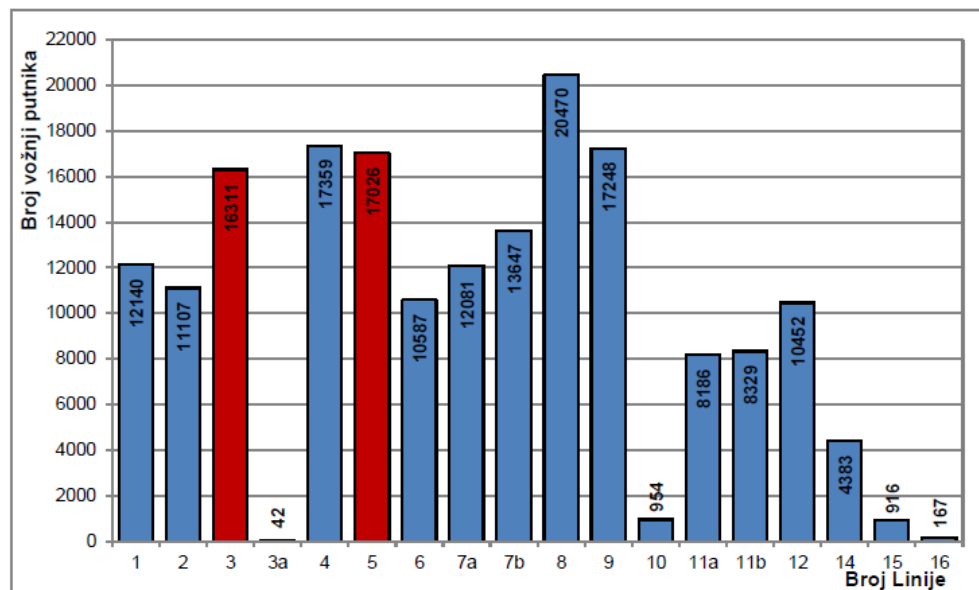
Слика 33. Изглед бројачког обрасца. ^[4]

Бројањем је обухваћен 2331 полазак, односно 34 поласка нису избројана, а реализована су. Сви поласци који су реализовани, а нису обухваћени бројањем, симулирани су. Симулација је изведена тако што је симулиран број путника који је ушао и изашао из возила, на основу средње вредности претходног и наредног поласка у односу на полазак који није бројан. На овај начин је добијена потпуно

објективна слика броја реализованих вожњи путника, протока, измене и сличних параметара. На линији број 3 је реализовано 215 полазака и сви су снимљени, док на линији број 5 је реализовано 225 полазака, од тога 220 је снимљено, а 5 полазака је симулирано. ^[4]

9.3.2. Карактеристике транспортних захтева

Бројањем путника у систему јавног превоза на подручју Новог Сада у једном радном дану утврђене су карактеристике путничких токова. Бројањем је утврђено да је на градским линијама реализовано укупно 181405 вожњи путника. На линији број 3 Петроварадин–Центар–Детелинара је реализовано 16311 вожњи путника, што чини 8,99 % укупног броја вожњи на градском подручју. На линији број 5 Темерински пут–Центар–Авијатичарско насеље реализовано је 17026 вожњи путника, што чини 9,39 % (Слика 34.).



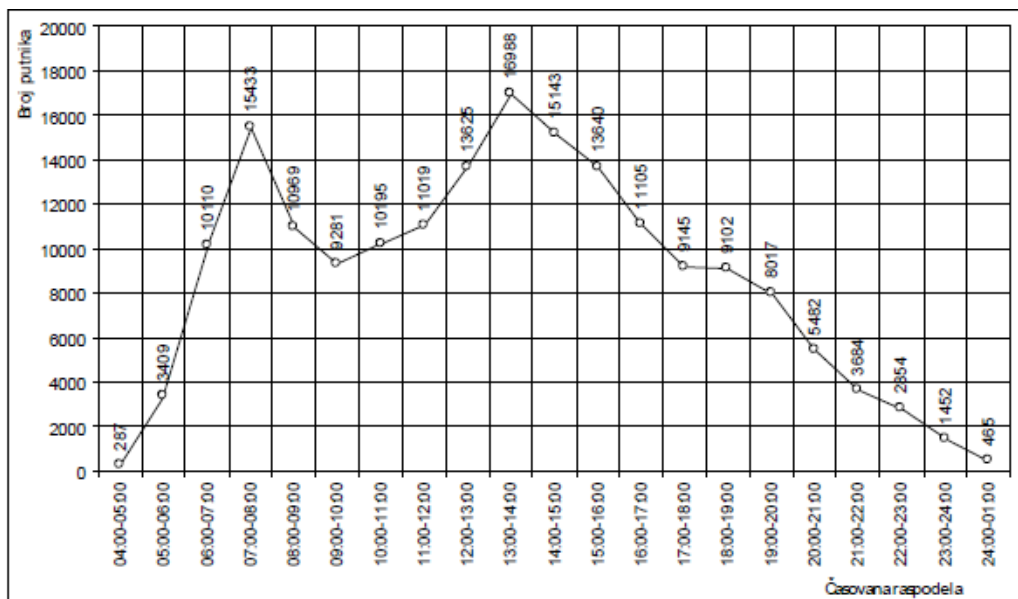
Слика 34. Вожњи путника на градским линијама током целог дана. ^[4]

Часовна расподела транспортних захтева обухвата приказ укупног броја вожњи путника на градским линијама на нивоу дана и протоке путника на нивоу дана. На основу анализе добијених резултата, закључује се да се преподневни вршни сат јавио у периоду између 07:00 и 08:00 часова када је на градским линијама захтев за превозом износио 15433 путовања, док се послеподневни вршни сат јавио у периоду између 13:00 и 14:00 часова када је захтев за превозом био 16988 путовања. Преподневни вршни сат је чинио 8,51 % свих дневних захтева за превозом, а послеподневни вршни сат је чинио 9,36 % свих дневних захтева за превозом (Табела

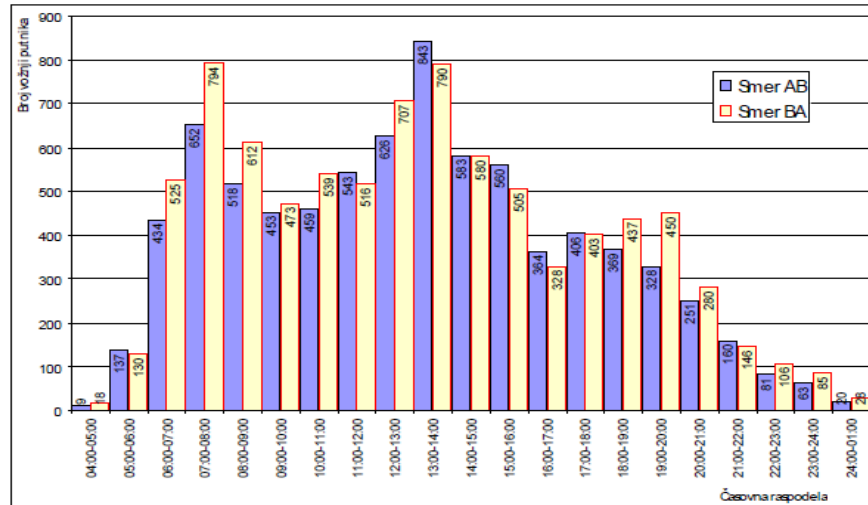
9.). Примена поступка оптимизације на линијама је извршено за вршни период од 13:00 до 14:00 часова и за ванвршни период од 9:00 до 10:00 (Слика 35).^[4]

S ati	Vremenska klasa	Broj vožnji putnika	Procenat
1	04:00-05:00	287	0.16
2	05:00-06:00	3409	1.88
3	06:00-07:00	10110	5.57
4	07:00-08:00	15433	8.51
5	08:00-09:00	10969	6.05
6	09:00-10:00	9281	5.12
7	10:00-11:00	10195	5.62
8	11:00-12:00	11019	6.07
9	12:00-13:00	13625	7.51
10	13:00-14:00	16988	9.36
11	14:00-15:00	15143	8.35
12	15:00-16:00	13640	7.52
13	16:00-17:00	11105	6.12
14	17:00-18:00	9145	5.04
15	18:00-19:00	9102	5.02
16	19:00-20:00	8017	4.42
17	20:00-21:00	5482	3.02
18	21:00-22:00	3684	2.03
19	22:00-23:00	2854	1.57
20	23:00-24:00	1452	0.80
21	24:00-01:00	465	0.26
UKUPNO		181405	100

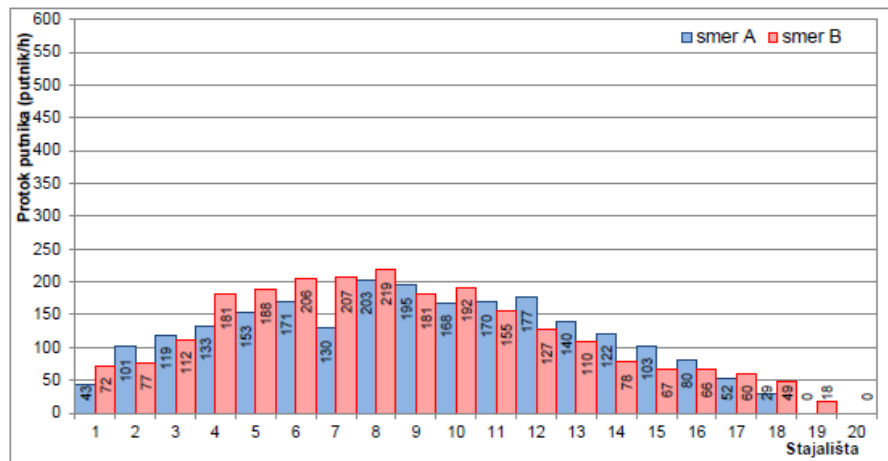
Табела 9. Часовна расподела броја возњи путника на градским линијама.^[4]



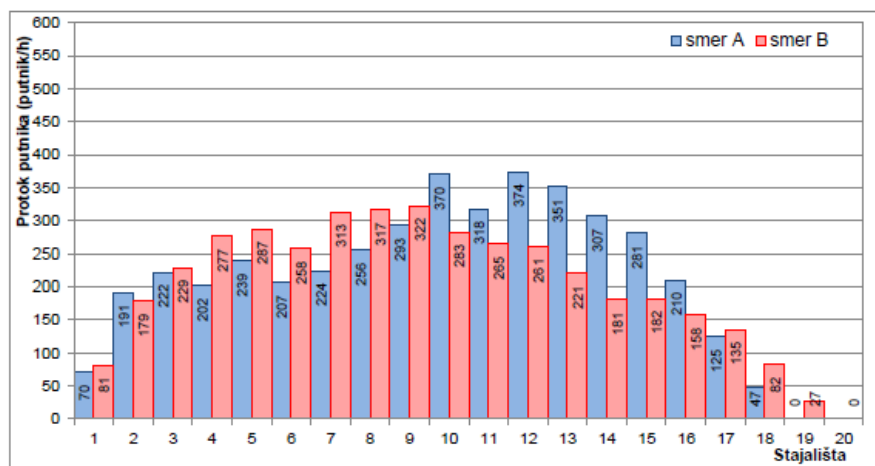
Слика 35. Часовна расподела броја возњи путника по часовима у току дана – градске линије.^[4]



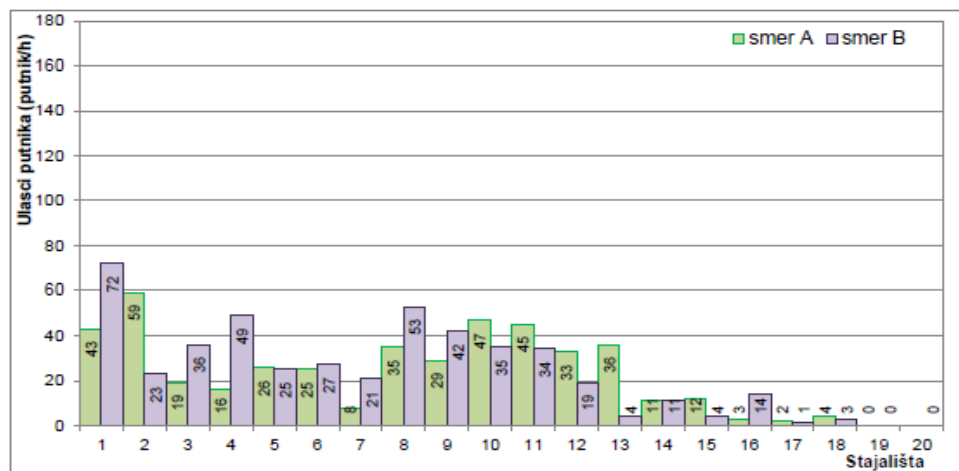
Слика 36. Часовна расподела броја вожњи путника у току дана по смеровима на линији број 3. [4]



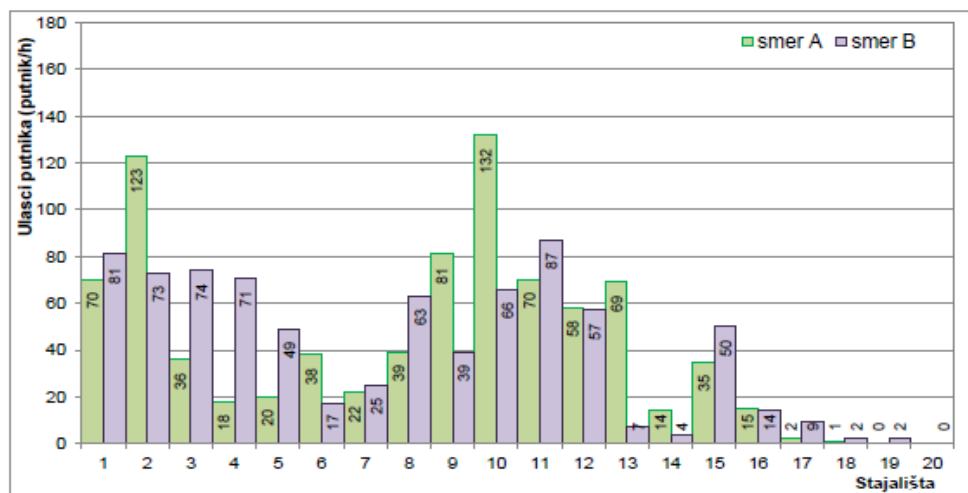
Слика 37. Проток путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 3. [4]



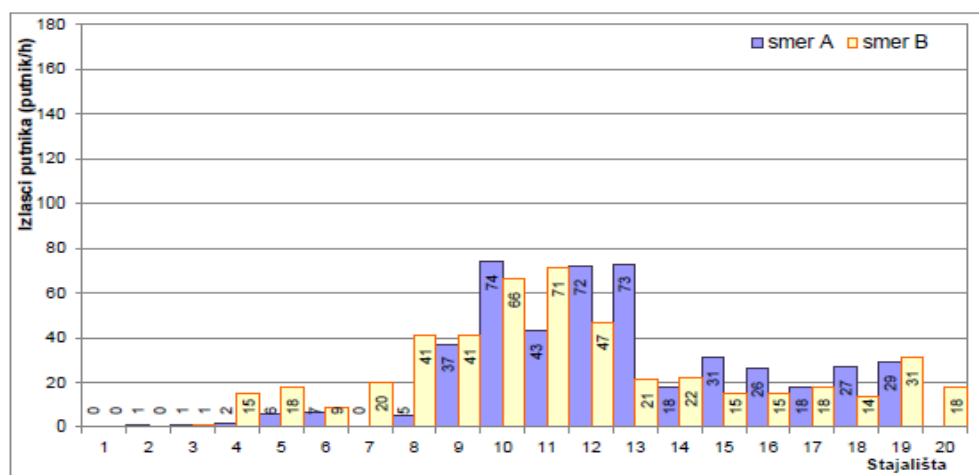
Слика 38. Проток путника за поподневни вршине сат 13:00–14:00, на линији број 3. [4]



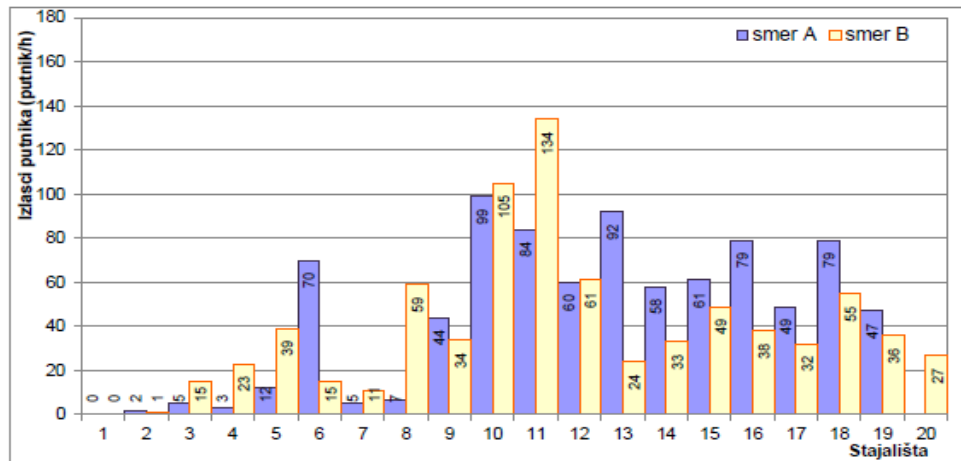
Слика 39. Уласци путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 3. ^[4]



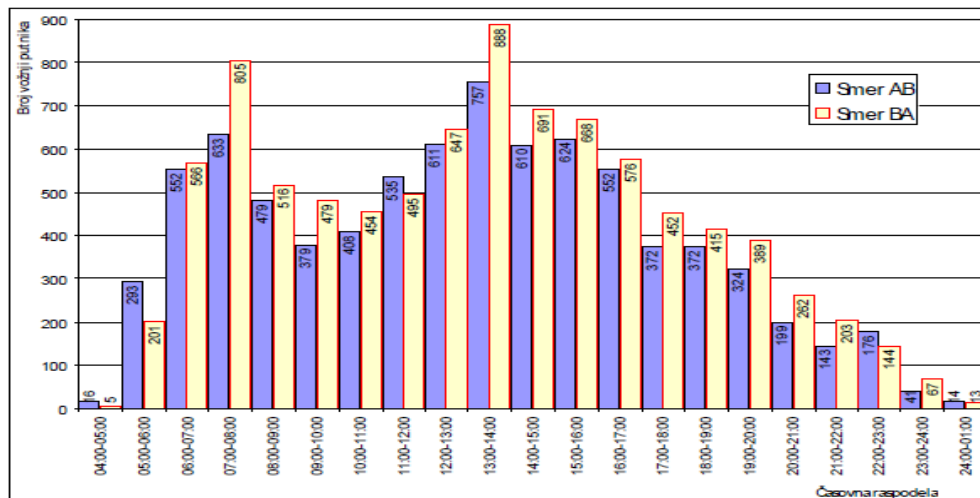
Слика 40. Уласци путника за поподневни врени сат 13:00–14:00, на линији број 3. ^[4]



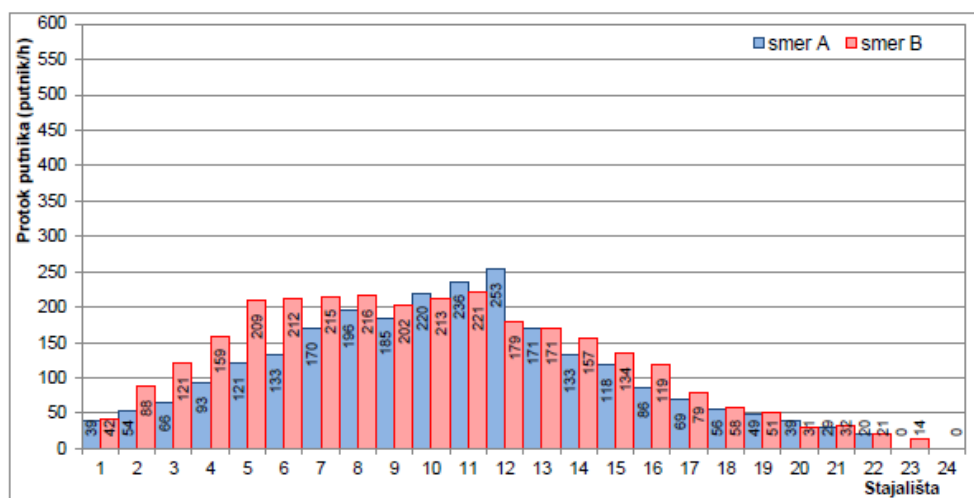
Слика 41. Изласци путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 3. ^[4]



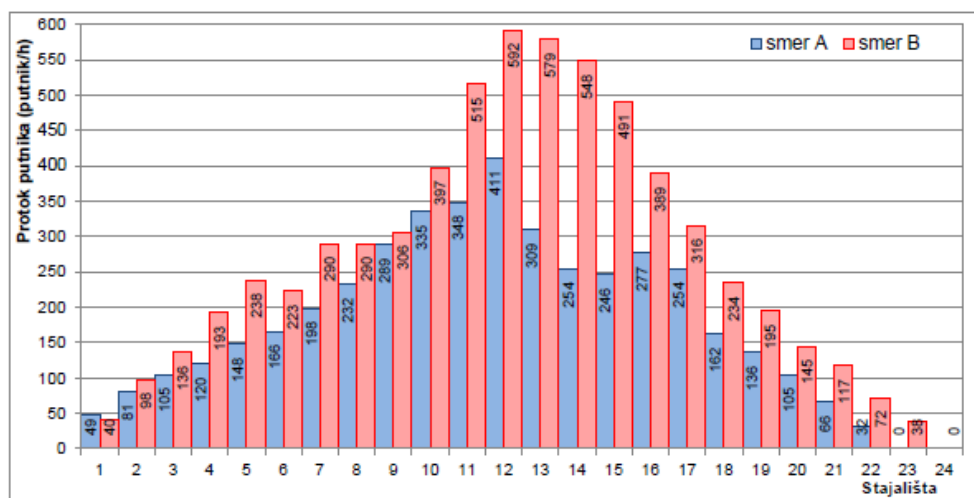
Слика 42. Изласци путника за поподневни вршине сат 13:00–14:00, на линији број 3. ^[4]



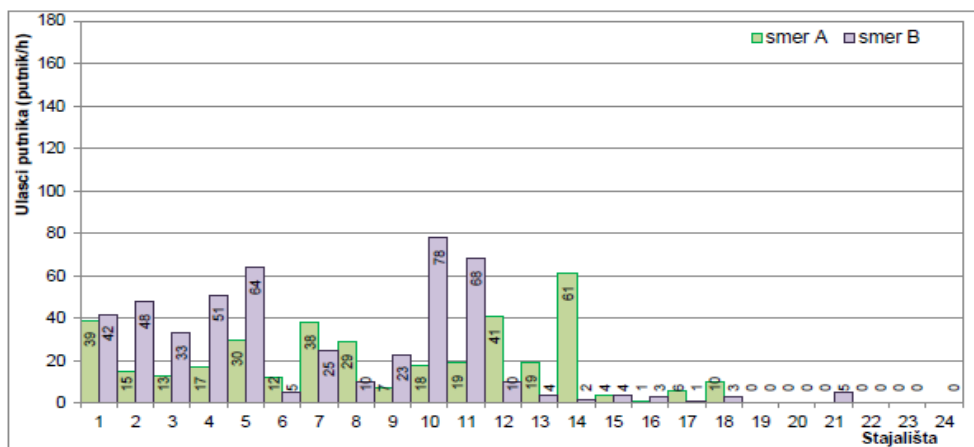
Слика 43. Часовна расподела броја возњи путника у току дана по смеровима на линији 5. ^[4]



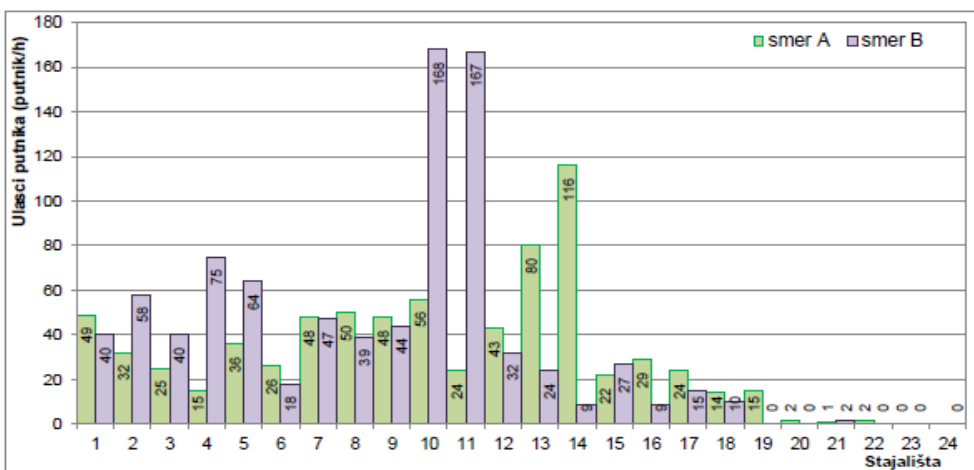
Слика 44. Проток путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 5. ^[4]



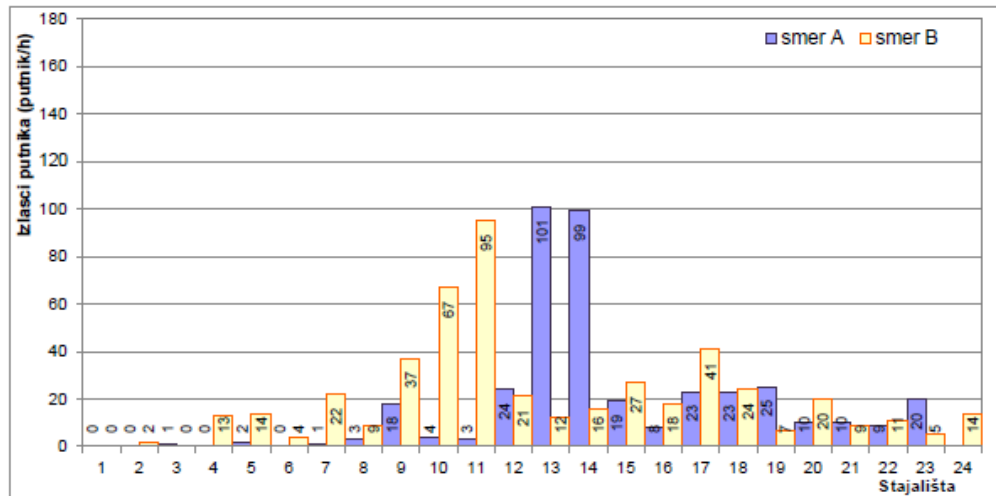
Слика 45. Проток путника за поподневни вршин сат 13:00–14:00, на линији број 5. ^[4]



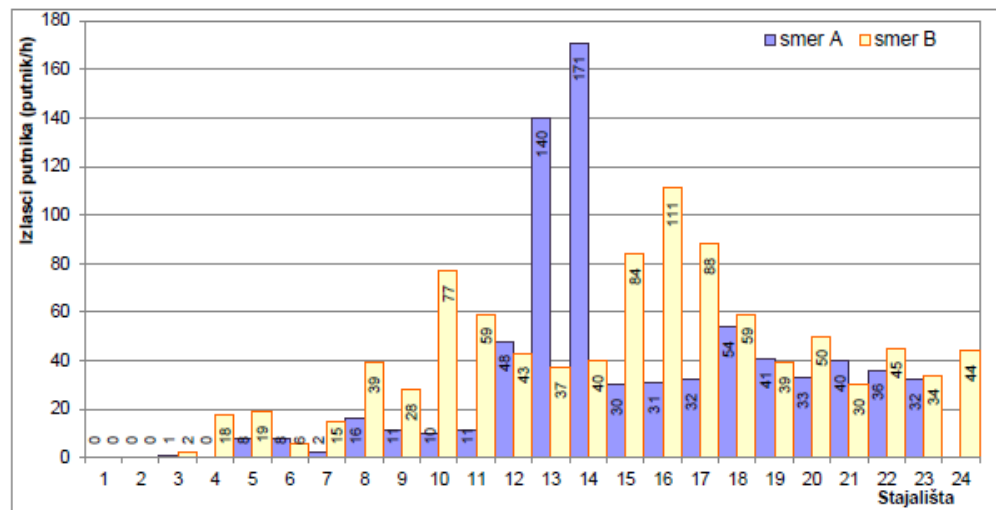
Слика 46. Уласци путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 5. ^[4]



Слика 47. Уласци путника за поподневни вршин сат 13:00–14:00, на линији број 5. ^[4]



Слика 48. Изласци путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 5. ^[4]



Слика 49. Изласци путника за поподневни вршни сат 13:00–14:00, на линији број 5. ^[4]

9.3.3. Карактеристике реализованих динамичких елемената

Услед деловања различитих фактора током реализације реда вожње долази до одступања појединих динамичких елемената у односу на пројектоване вредности. У оквиру овог подпоглавља, за линије број 3 и број 5, извршена је анализа одступања реализованих динамичких елемената линија у односу на пројектоване вредности. За потребе анализе одређени су периоди времена у току дана за које важе приближно исти услови функционисања система (*Табела 10.*). Детаљни резултати анализе су представљени само за периоде у којима је примењен поступак оптимизације. Анализа спроведеног истраживања показала је да у појединим периодима дана постоје значајна одступања реализованих вредности од пројектованих, и то код: времена обрта, интервала слеђења и фреквенције возила. ^[4]

Период дана	до 6:00	6:00-9:00	9:00-12:00	12:00-16:00	16:00-20:00	20:00-24:00
Линија број 3						
Пројектован интервал (мин)	17,5	8,3	10,0	8,3	10,0	17,5
Линија број 5						
Пројектован интервал (мин)	14,6	7,6	10,3	7,6	10,3	14,6

Табела 10. Просечни пројектовани интервали слеђења по периодима у току дана. ^[4]

Квантификовање тачности се врши у свим подсистемима ЈГПП-а који имају дефинисан ред вожње и од изузетног је значаја за линије где је интервал слеђења возила већи од петнаест минута. На линијама са малим интервалом слеђења, где се накупљање путника врши независно од реда вожње, лоша равномерност интервала слеђења може да доведе до груписања возила и низа негативних последица на квалитет услуге. Будући да лоша тачност не значи и лошу равномерност, на линијама са малим интервалима слеђења значајније је квантификовање равномерности.

Један од начина да се квантификује равномерност интервала слеђења возила на једној линији јавног градског превоза путника је коришћење процента правилности девијације интервала слеђења (PRDM - Percentage regularity deviation mean) (Niels van Oort 2014).

$$PRDM_k = \frac{\sum_{j=1}^n \left| \frac{i_p - i_j}{i_p} \right|}{n}$$

PRDM_k – проценат правилности девијације интервала слеђења за стајалиште;

i_j – вредност интервала слеђења возила j на стајалишту k ;

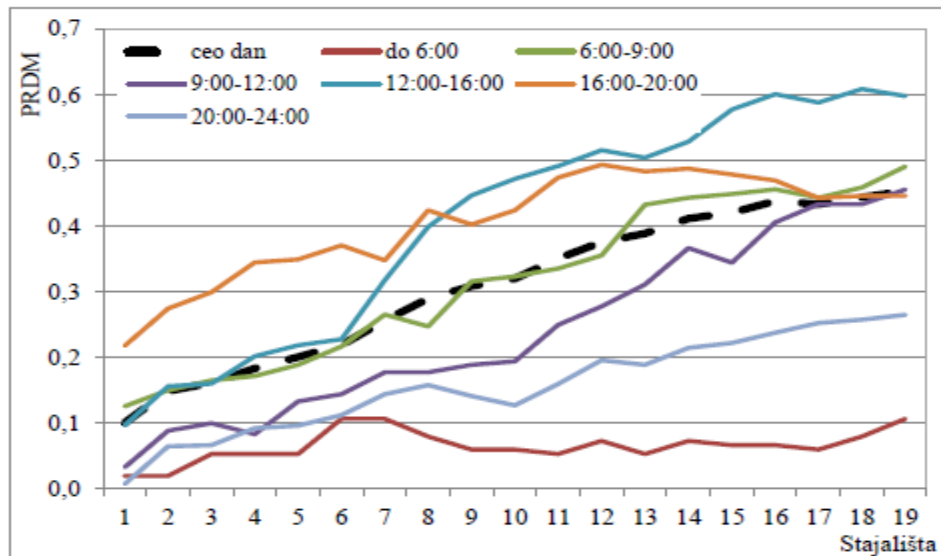
i_p – пројектована вредност интервала слеђења;

n – број возила заустављених на стајалишту k у анализираном период.

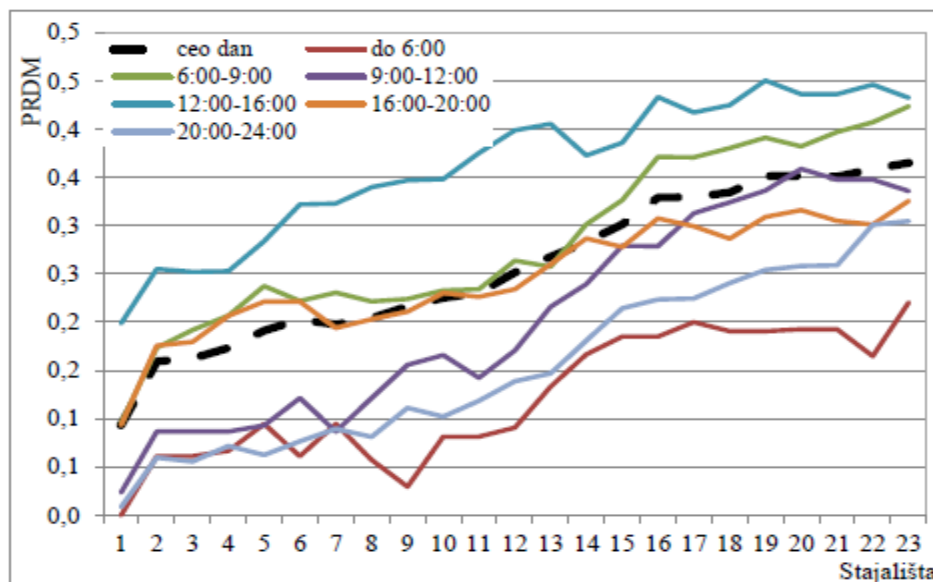
Вредност ПРДМ је одређена тако да вредност 0 представља перфектну равномерност, док вредност 1 (или 100 %) представља сустизање (упарени долазак на стајалиште) два узастопна возила на линији.

Квантификовање равномерности интервала на линијама број 3 и број 5 извршено је параметром ПРДМ. На основу вредности параметра ПРДМ (*Слика 50.*), (*Слика 51.*) закључује се да се степен равномерности интервала слеђења на предметним линијама разликује по периодима у току дана и по стајалиштима дуж линије.

Најбоља равномерност интервала слеђења возила, односно најмање вредности ПРДМ, добијене су у периоду до 6:00 часова и у периоду после 20:00 часова. Најлошија равномерност интервала слеђења возила остварује се у периоду 12:00-16:00 часова и периоду 16:00-20:00 часова. ^[4]



Слика 50. Приказ параметра ПРДМ по стајалиштима дуж линије 3. ^[4]



Слика 51. Приказ параметра ПРДМ по стајалиштима дуж линије – линија број 5. ^[4]

Удаљавањем возила од полазног терминаса равномерност интервала слеђења возила значајно опада. Посматрано за цео дан, просечна вредност ПРДМ на првим стајалиштима у полуобрту се креће у интервалу од 0,1 до 0,2, а на последњим стајалиштима исте линије вредност ПРДМ је и до три пута већа.

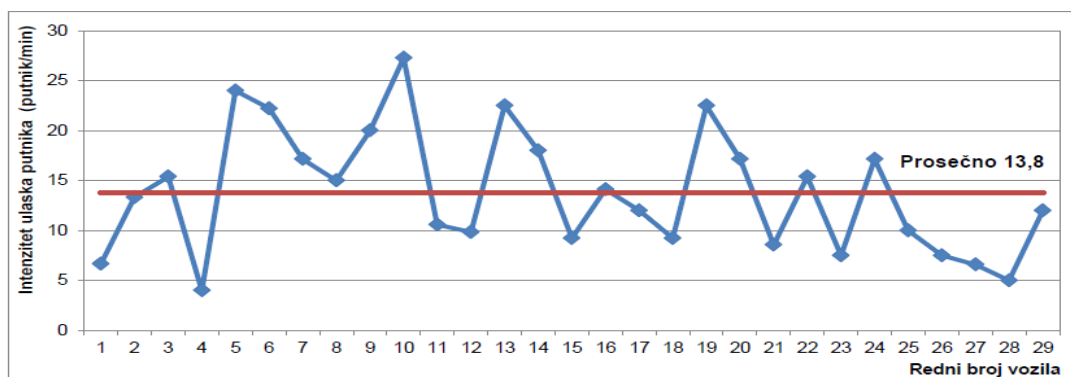
Због непостојања конкретних оперативних мера и стратегија за управљање равномерношћу интервала слеђења возила на анализираним линијама, настали поремећаји на једном поласку се преносе на наредне поласке који следе по реду вожње. Поремећаји који су настали у првој четвртини линије, а ПРДМ им је већи од 0,5 су значајно утицали на равномерност слеђења возила на више од 4 наредна поласка, док поремећаји који су настајали у другој половини линије без обзира на интензитет поремећаја нису значајније утицали на равномерност слеђења возила на наредним поласцима. ^[4]

9.4. Истраживање интензитета улазака путника у возило

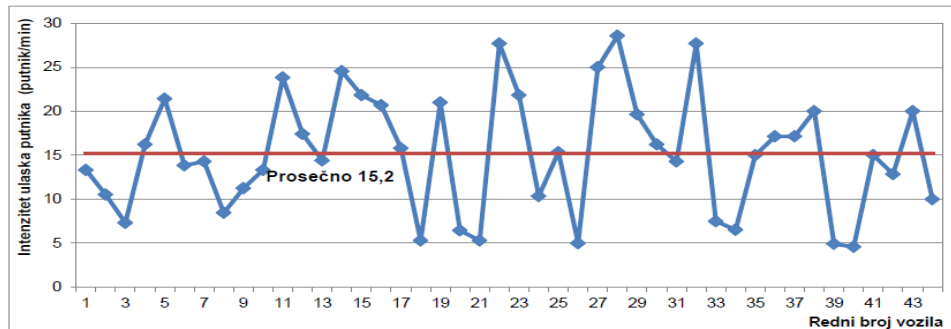
За потребе практичне примене модела спроведено је истраживање у систему ЈПП-а у Новом Саду, са циљем утврђивања интензитета улазака путника у возило. Истраживање је обухватило мерење времена задржавања возила на стајалишту, као и бројање путника који су ушли у возило. Истраживање је вршено мануелно помоћу истраживача - бројача. За мерење времена коришћен је мобилни телефон и андроид апликација *StopWatch&Timer*, док је бројање путника који су ушли у возило вршено мануелно. Резултати истраживања су уписивани у унапред припремљене обрасце (Слика 52.), (Слика 53.). Режим измене путника у систему ЈПП-а, у време истраживања, подразумевао је улазак путника на предња врата возила, док су остала врата намењена за излазак путника из возила.

Истраживање је реализовано у две фазе. У првој фази, истраживање је обухватило мерење времена улазака путника на унапред одређеним стајалиштима и обухватило је све линије које користе наведена стајалишта. Утврђивање интензитета улазака путника у другој фази било је саставни део контролног бројања на линији број 2 (Центар–Ново насеље).

У оквиру прве фазе истраживање је реализовано на стајалишту Булевар Ослобођења—Лутрија Војводине и на стајалишту Булевар Михајла Пупина—РК—Базар. Мерење је вршено у среду 11.03.2015. године у периоду од 9:00 до 11:00 часова на стајалишту Бул.Ослобођења-Лутрија Војводине и 12:00 до 14:00 часова на стајалишту Булевар Михајла Пупина—РК “Базар”. ^[4]



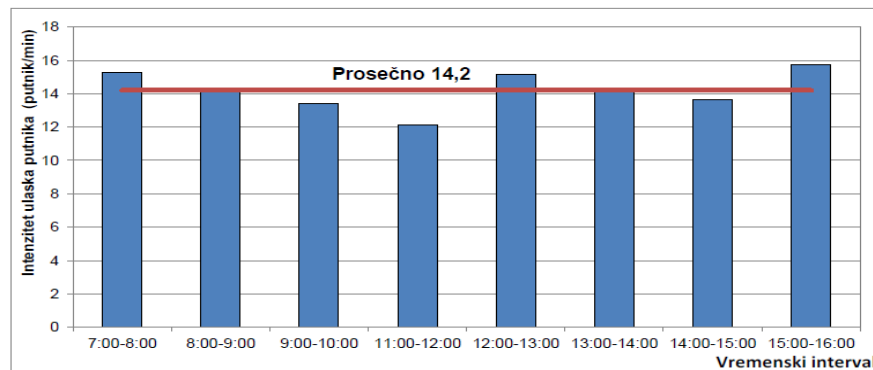
Слика 52. Интензитет улазака путника у возило – Бул.Ослобођења - Лутрија Војводине. ^[4]



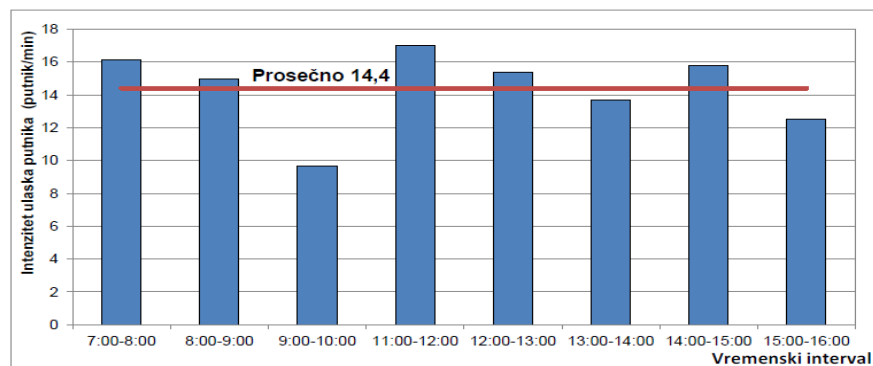
Слика 53. Интензитет улазака путника у возило – Булевар Михајла Пупина – РК “Базар”.^[4]

Истраживање је обухватило 73 заустављања возила на стајалишту, при чему је регистровано 958 улазака путника. На стајалишту Бул. Ослобођења–Лутрија Војводине утврђен је просечан интензитет улазака путника од 13,8 путника/мин, а на стајалишту Булевар Михајла Пупина–РК “Базар” 15,2 путника/мин (Слика 54.), (Слика 55.).

Истраживање интензитета улазака путника у возило (друга фаза) реализовано је у оквиру контролног бројања путника на линији број 2. Контролно бројање у возилима ЈПП-а је реализовано у периодима од 7:00 до 9:00 часова и од 11:00 до 16:00 часова. Бројање путника је извршено на свим стајалиштима дуж линије. Поред бројања улазака и излазака путника, помоћу андроид апликација *StopWatch&Timer* у унапред припремљених образаца мануелно је мерено задржавања возила на стајалиштима дуж линије.



Слика 54. Средња вредност интензитета улазака путника у возило – смер А.^[4]



Слика 55. Средња вредност интензитета улазака путника у возило – смер Б.^[4]

У оквиру истраживања интензитета улазака путника у возило, на линији број 2 (посматрано оба смера заједно), забележено је 942 заустављања возила на стајалиштима, при чему је регистровано 5821 улазака путника. Резултати истраживања показују да је просечан интензитет улазака путника на линији 2 у смеру А 14,2 путника/мин, а у смеру Б 14,4 путника/мин.

За потребе практичне примене модела, а у складу са резултатима истраживања за просечан интензитет улазака путника у возила ЈГПП-а у Новом Саду, усвојена је вредност од 14,3 путника/минути (**Слика 56.**)^[4]

ГРАД НОВИ САД		БРОЈАЊЕ ПУТНИКА У ЈАВНОМ ПРЕВОЗУ НОВОГ САДА		 ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА, НОВИ САД
		РЕГИСТАРСКИ БРОЈ:		
		ГАРАЖНИ БРОЈ:		
		ДАТУМ БРОЈАЊА:		
		НАЗИВ ЛИНИЈЕ:	Центар – Ново насеље	2

СМЕР А: ЦЕНТАР – НОВО НАСЕЉЕ			ВРЕМЕ ПОЛАСКА		_____ : _____
Р. Б.	Шифра стајалишта	НАЗИВ СТАЈАЛИШТА	ВРЕМЕ доласка на стајалиште	Отварање врата (min:sek,stot)	Затварање врата (min:sek,stot)
1	0128BT1	УСПЕНСКА - ШАФАРИКОВА		00 : 00,00	_____ : _____
2	0301A	ФУТОШКА - БУЛ. ОСЛОБОЂЕЊА		_____ : _____	_____ : _____
3	0302A	ФУТОШКА - БРАНИСЛАВА НУШИЋА		_____ : _____	_____ : _____
4	0303A	ФУТОШКА - ЈОДНА БАЊА		_____ : _____	_____ : _____
5	0304A	ФУТОШКА - БОЛНИЦА		_____ : _____	_____ : _____
6	0305A	ФУТОШКА - БУЛЕВАР ЕВРОПЕ		_____ : _____	_____ : _____
7	0307A	ФУТОШКА - ЈУГОЛАТ		_____ : _____	_____ : _____
8	03071A	БУЛ. С. ЈОВАНОВИЋА - ФУТОШКИ ПУТ		_____ : _____	_____ : _____
9	03072A	БУЛ. С. ЈОВАНОВИЋА - Б. БОРОТЕ		_____ : _____	_____ : _____
10	0321B	БУЛ. Ј. ДУЧИЋА - БУЛ. С. ЈОВАНОВИЋА		_____ : _____	_____ : _____
11	0322B	БУЛ. Ј. ДУЧИЋА - БРАЋЕ ДРОЊАК		_____ : _____	_____ : _____

Слика 56. Образац за мерење времена задржавања возила на стајалишту.^[4]

9.5. Практична примена модела на линије 3 и 5

Практична примена развијеног поступка оптимизације статичких елемената линије у циљу повећања отпорности система на поремећај извршена је на примеру реалних линија јавног градског превоза путника у Новом Саду.

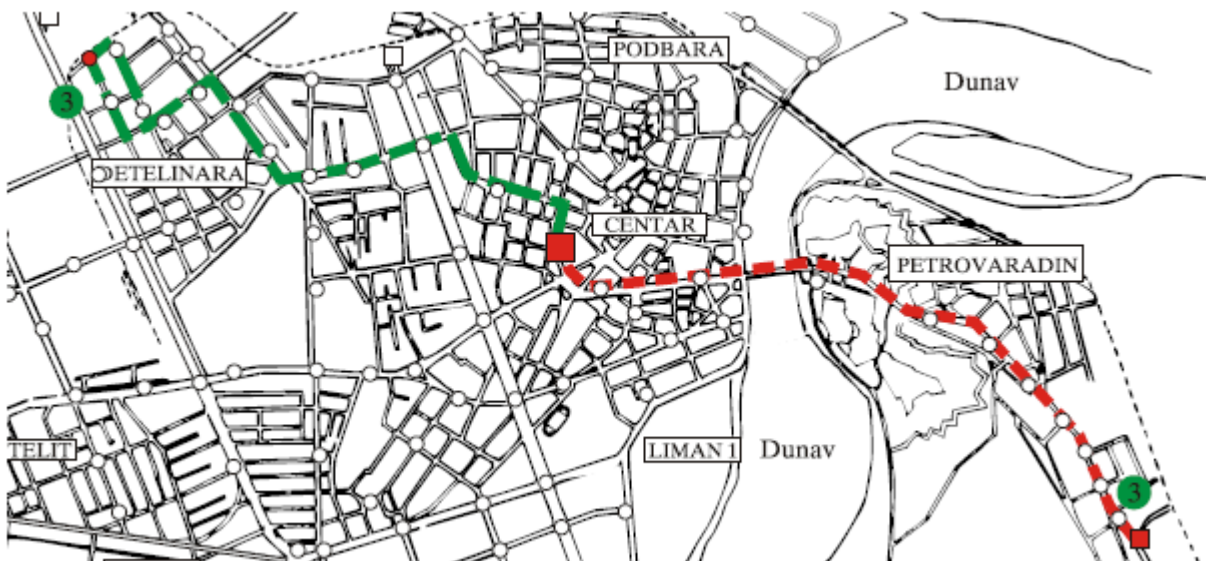
Поступак оптимизације комбинује реалне елементе линије и карактеристике кретања путника на линији са моделом ширења поремећаја интервала слеђења возила дуж линије. У складу са подручјем примене поступка оптимизације, практична примена је извршена на само једном делу мреже линија у Новом Саду, односно на дијаметралним линијама број 3 и број 5.

Будући да је модел ширења поремећаја ограничен на интервале мање од 15 минута практична примена је извршена за два карактеристична периода. Први период представља режим рада линије у максималном оптерећењу, при чему су коришћени подаци за вршни сат, 13:00-14:00 часова. Други период представља режим рада линије са најмањим оптерећењем уз поштовање ограничења модела, за овај период је изабран ванвршни сат 9:00-10:00 часова. У овом поглављу је испитана практична примена и употребљивост развијеног модела и поступка оптимизације.^[4]

9.5.1. Подела дијаметралне линије (фаза 1)

На основу статичких елемената линије број 3, а према дефинисаној процедури у првој фази поступка оптимизације, за тачку поделе дијаметралне линије одређено је стајалиште Успенска–Шафарикова. Наведено стајалиште се налази у ужем градском језгру и изведено је као терминус. Поделом дијаметралне линије у дефинисаној тачки формирају се две радијалне линије са заједничким терминусом (*Слика 57.*):

- Линија Петроварадин–Центар;
- Линија Центар–Детелинара.



Слика 57. Приказ траса новоформираних линија насталих поделом линије број 3.^[4]

Новоформирана линија Петроварадин–Центар према начину пружања трасе сврстава се у радијалне линије и повезује насеље Петроварадин са центром града. Пројектована дужина линије у смеру А износи дужине 5,0 km, а у смеру Б износи 4,9 km. У оба смера линија има по 11 стајалишта.

Новоформирана линија Центар–Детелинара према начину пружања трасе сврстава се у радијалне линије и повезује насеље Детелинара са центром града. Пројектована дужина линије у смеру А износи дужине 4,05 km, а у смеру Б износи 3,8 km. У смеру А линија има 9 стајалишта, а у смеру Б 10 стајалишта (*Табела 11.*)^[4]

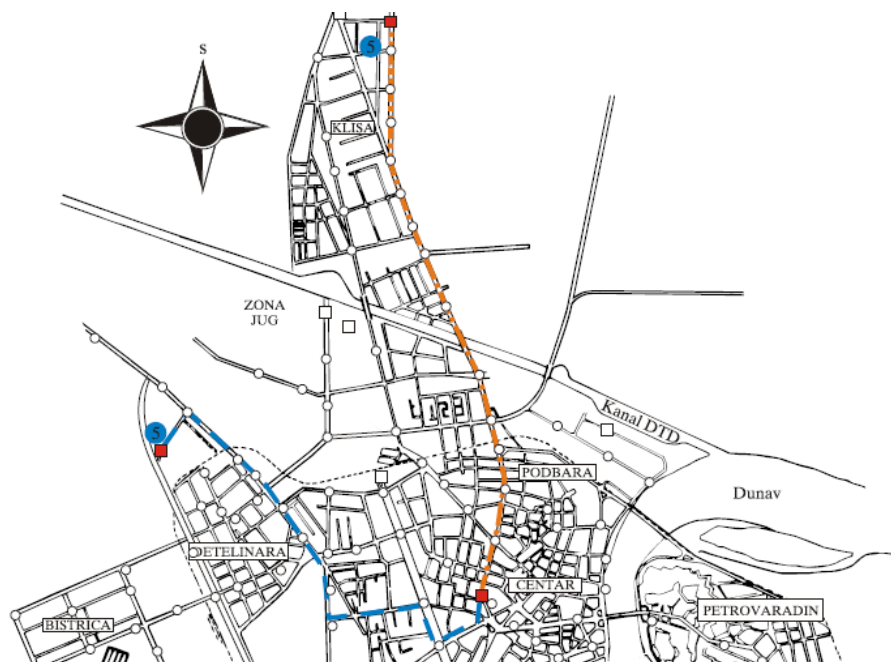
r.b	Šifra stajališta	Naziv stajališta	Med. rast.	Dužina trase	r.b	Šifra stajališta	Naziv stajališta	Med. rast.	Dužina trase
Smer A					Smer A				
1	0610OK	Petrovaradin – Okretnica	0	0	1	0226BKT	Janka Čmelika I	0	0
2	0611B	Petrovaradin – Žel. stanica	500	500	2	0227B	Janka Čmelika II – Škola	300	300
3	0612B	Preradovičeva – Božidar Adžije	600	1100	3	0228B	Kornelija Stankovića III – Pilot	300	600
4	0613B	Preradovičeva – M.Oreškovića	350	1450	4	0217B	Rumenačka – Kor. Stankovića	500	1100
5	0615B	Preradovičeva – Benzin. pumpa	450	1900	5	0218B	Rumenačka – ABC Samoposluga	500	1600
6	0616B	Preradovičeva – Šenoina	300	2200	6	0219B	Kralja Petra I – Sajam	300	1900
7	0617B	Preradovičeva – Lovački dom	400	2600	7	0220B	Kralja Petra I – Mašinska škola	300	2200
8	0618B	Beogradska – Vladimira Nazora	600	3200	8	0221B	Kralja Petra I – Bul. Oslobođenja	400	2600
9	0619B	Bul.Mih. Pupina – Dunavski park	800	4000	9	0222B	Vojvode Bojović – Socijalno	500	3100
10	0620B	Bul.Mihajla Pupina – rk"bazar"	700	4700	10	0127BT1	Uspenska – Šafarikova	700	3800
11	0102AT1	Uspenska – SNP	300	5000	Smer B				
Smer B					1	0102AT1	Uspenska – SNP	0	0
1	0127BT1	Uspenska – Šafarikova	0	0	2	0201A	Vojvode Bojović – Socialno	700	700
2	0601A	Bul.Mihajla Pupina – Pothodnik	300	300	3	0202A	Kralja Petra I – Tunel jeftinoće	650	1350
3	0602A	Bul.Mihajla Pupina – Radnički dom	700	1000	4	0203A	Kralja Petra I – Groblje	400	1750
4	0603A	Beogradska – Vladimira Nazora	700	1700	5	0204A	Rumenačka – Apoteka	500	2250
5	0604A	Preradovičeva – Lovački dom	600	2300	6	0205A	Rumenačka – Bul.Jaše Tomića	400	2650
6	0605A	Preradovičeva – Osnovna škola	400	2700	7	0223A	K.Stankovića I – Čika Stevina	300	2950
7	0606A	Preradovičeva – Reljkovičeva	500	3200	8	0225A	Milenka Grčića – rk"detelinara"	600	3550
8	0607A	Preradovičeva – Marina Držića	500	3700	9	0226BKT	Janka Čmelika I	500	4050
9	0608A	Preradovičeva – Franje Malina	500	4200					
10	0609A	Petrovaradin – Železnička stanica	300	4500					
11	0610OK	Petrovaradin – Okretnica	400	4900					

Табела 11. Статички елементи новоформираних линија насталих поделом линије 3.^[4]

На основу статичких елемената линије број 5, а према дефинисаној процедури у првој фази поступка оптимизације, за тачку поделе дијаметралне линије одређено је стајалиште Успенска–Шафарикова. Наведено стајалиште се налази у ужем градском језгру и изведено је као терминус. Поделом дијаметралне линије у дефинисаној тачки формирају се две радијалне линије са заједничким терминусом (*Слика 58.*):

- Линија Темерински пут–Центар;
- Линија Центар–Авијатичарско насеље.

Новоформирана линија Темерински пут–Центар према начину пружања трасе сврстава се у радијалне линије и повезује насеље Клиса са центром града. Пројектована дужина линије у смеру А износи дужине 5,4 km, а у смеру Б износи 5,5 km. У смеру А линија има 13 стајалишта, а у смеру Б 14 стајалишта.



Слика 58. Приказ траса новоформираних линија насталих поделом линије број 5.^[4]

Новоформирана линија Центар–Авијатичарско насеље према начину пружања трасе сврстава се у радијалне линије и повезује Авијатичарско насеље са центром града. Пројектована дужина линије у смеру А износи дужине 4,6 km, а у смеру Б износи 4,55 km. У оба смера линија има по 11 стајалишта (Табела 12).^[4]

Temerinski put – Centar					Centar – Avijatičarsko naselje				
r.b	Šifra stajališta	Naziv stajališta	Međ. rast.	Dužina trase	r.b	Šifra stajališta	Naziv stajališta	Međ. rast.	Dužina trase
Smer A					Smer A				
1	0143OK	Temerinski put – OK "Rodić"	0	0	1	0209OK	Avijatičarska – Kasarna	0	0
2	0144B	Temerinski put – Savska	400	400	2	0215B	Rumenački put – Jastrebo	600	600
3	0145B	Temerinski put – Velebitska	300	700	3	0216B	Rumenačka – Benzinska pumpa	450	1050
4	0146B	Temerinski put – A.Varađanina	300	1000	4	0217B	Rumenačka – K.Stankovića	500	1550
5	0147B	Temerinski put – Stovarište bor	300	1300	5	0218B	Rumenačka – ABC samoposluga	400	1950
6	0148B	Temerinski put – O.Keršovanija	300	1600	6	0707A	Hajduk Veljkova – Sajam	500	2450
7	0149B	Temerinska – Najlon pijaca	700	2300	7	0707A/1	Novosadskog sajma - Bazeni	400	2850
8	0150B	Temerinska – Vidovdansko n.	300	2600	8	0707A/2	Novosadskog sajma - Osnovna šk.	400	3250
9	0151B	Temerinska – Šajkaška	850	3450	9	0510A	Bul.Oslobođenja Novosadskog s.	400	3650
10	0152B	Temerinska – Partizanska	400	3850	10	0337B	Jevrejska – Futoška pijaca	400	4050
11	0153B	Temerinska – Koste Šokice	250	4100	11	0103AT1	Uspenska – SNP	550	4600
12	0154B	Temerinska – Pijaca	550	4650	Smer B				
13	0126BT1	Uspenska – Šafarikova	750	5400	1	0126BT1	Uspenska – Šafarikova	0	0
Smer B					2	0536B	Bul.Oslobođenja – Futoška pijaca	650	650
1	0103AT1	Uspenska – SNP	0	0	3	0707B/2	Novosadskog s. – Bul.Oslobođenja	400	1050
2	0131A	Temerinska – Trg Marije Trandafil	600	600	4	0707B/1	Novosadskog s. – Osnovna škola	300	1350
3	0132A	Temerinska – Gundulićeva	350	950	5	0722B	Hajduk Veljkova – Novosadskog s.	500	1850
4	0133A	Temerinska – Patr. Čamojević	300	1250	6	0204A	Rumenačka – Apoteka	700	2550
5	0134A	Temerinska – Autovojdina	450	1700	7	0205A	Rumenačka – Bul.Jaše Tomića	400	2950
6	0135A	Temerinska – Šajkaška	200	1900	8	0206A	Rumenačka – Radničko igralište	400	3350
7	0136A	Temerinska – Vidovdansko naselje	900	2800	9	0207A	Rumenački put – Benzinska p.	300	3650
8	0137A	Temerinska – Najlon pijaca	400	3200	10	0208A	Avijatičarska – Jastrebo	450	4100
9	0138A	Temerinski put – O. Keršovanija	600	3800	11	0209OK	Avijatičarska – Kasarna	450	4550
10	0139A	Temerinski put – Stovarište Bor	250	4050					
11	0140A	Temerinski put – A. Varađanina	300	4350					
12	0141A	Temerinski put – Velebitska	350	4700					
13	0142A	Temerinski put – Savska	400	5100					
14	0143OK	Temerinski put – OK "Rodić"	400	5500					

Табела 12. Статички елементи новоформираних линија насталих поделом линије број 5.^[4]

9.5.2. Симулација ширења поремећаја интервала слеђења (фаза 2)

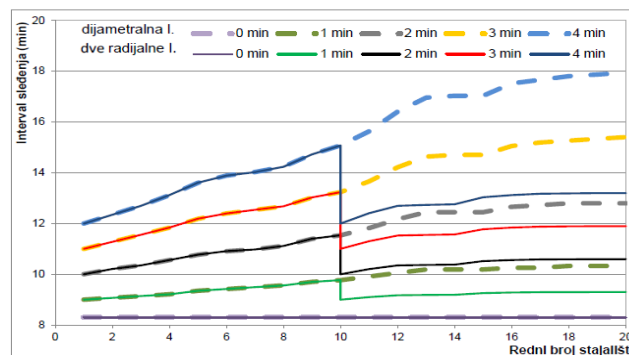
У складу са дефинисаним моделом ширења поремећаја интервала слеђења возила дуж линије у поступку оптимизације извршена је симулација ширења поремећаја за обе варијанте организације превоза путника. Симулација је вршена на основу реалних вредности прикупљених података и за различите величине примарног поремећаја интервала слеђења. Као што је дефинисано поступком оптимизације, прву варијанту представља постојећи начин организације превоза (дијаметрална линија), а другу варијанту представља оптимизовани начин организације превоза (две радијалне линије), (*Табела 13.*)^[4]

	Линија број 3		Линија број 5	
Временски период	9:00 – 10:00	13:00 – 14:00	9:00 – 10:00	13:00 – 14:00
Пројектовани интервал слеђења (мин)	10	8.3	10.3	7.6
Просечан интензитет улазака путника (пут/мин)	14.3			
Примарни поремећај интервала слеђења (мин)	0 - 4			

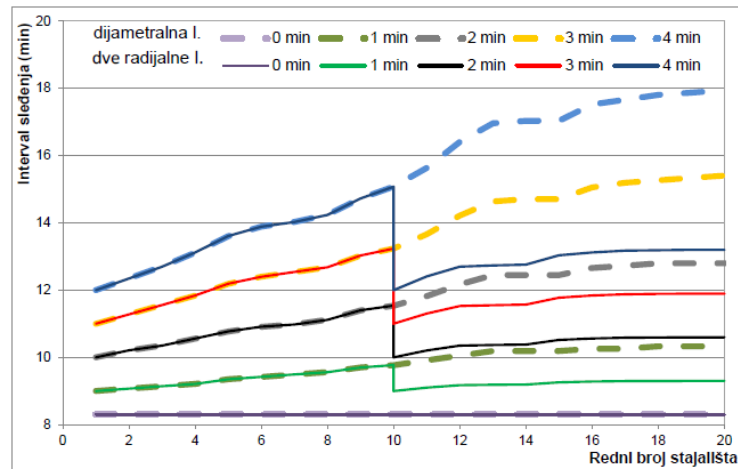
Табела 13. Улазни подаци за симулацију ширења поремећаја интервала слеђења.^[4]

За обе варијанте организације превоза у поступку симулације коришћене су исте вредности примарног поремећаја интервала слеђења. Вредности поремећаја су вариране у распону од 0 до 4 минута. Исти примарни поремећај интервала слеђења је коришћен за дијаметралну линију и за прву радијалну линију. На другој радијалној линији примарни поремећај је вариран у дефинисаном распону.

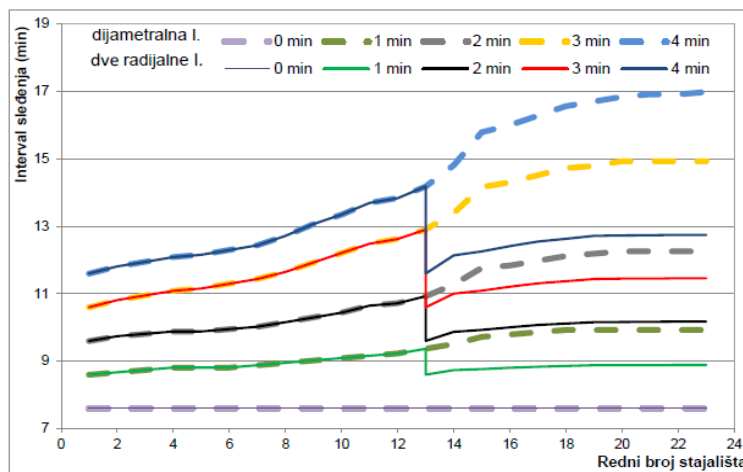
Код оптимизоване варијанте у тачки поделе се прекида процес кумулирања поремећаја интервала слеђења возила, тако да након тачке поделе кумулирање поремећаја почиње од идеалног стања равномерности (*Слика 59.*), (*Слика 60.*), (*Слика 61.*) и (*Слика 62.*)^[4]



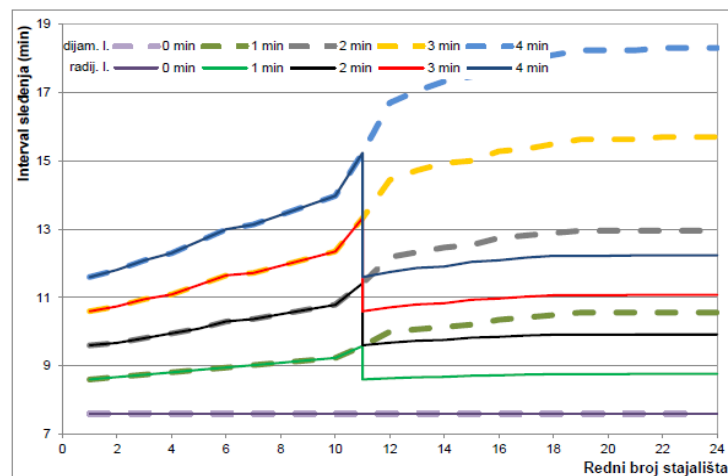
Слика 59. Симулирани интервал слеђења за различите величине примарног поремећаја – линији број 3, смера А, период 13:00–14:00.^[4]



Слика 60. Симулирани интервал слеђења за различите величине примарног поремећаја – линији број 3, смера Б, период 13:00–14:00. [4]



Слика 61. Симулирани интервал слеђења за различите величине примарног поремећаја – линији број 5, смера А, период 13:00–14:00. [4]



Слика 62. Симулирани интервал слеђења за различите величине примарног поремећаја – линији број 5, смера Б, период 13:00–14:00. [4]

9.5.3. Евалуација равномерности интервала слеђења

У овом поглављу представљена је евалуација степена равномерности интервала слеђења возила на линији за извршену оптимизацију. Евалуација је извршена за различите комбинације вредности примарног поремећаја интервала слеђења возила. Исте величине примарног поремећаја интервала слеђења су коришћене за дијаметралну и прву радијалну линију, док су вредности примарног поремећаја интервала на другој радијалној линији вариране у дефинисаним границама.

Параметром ПРДМ је исказан проценат правилности девијације интервала слеђења. Вредности ПРДМ блиске нули показују идеално стање равномерности, а вредности блиске јединици представљају груписање возила. На графицима су дате просечне вредности параметра ПРДМ за сва стајалишта дуж линије.

Евалуација равномерности интервала слеђења у овом раду је извршена упоређивањем равномерности интервала две варијанте (постојећи и оптимизован начин организације), па су на графицима означена три подручја:

- подручје *оптималне* равномерности;
- подручје *добре* равномерности;
- подручје *лоше* равномерности.

Границе подручја су одређене на основу идеалних случајева степена равномерности интервала слеђења за постојеће услове функционисања линије (к-ке кретања путника, интензитет уласка путника, и др.).

Подручје *оптималне* равномерности је на графику представљено зеленом бојом. Горња граница подручја *оптималне* равномерности одговара ситуацији када се на другој радијалној линији превоз реализује без примарног поремећаја. Код оптимизованог начина организације, примарни поремећај има утицај само на прву радијалну линију, јер је ширење поремећаја прекинуто поделом линије. На другој радијалној линији утицај примарног поремећаја не постоји. Друга радијална линија тада функционише без поремећаја, односно тада оптимизован начин организације достиже оптималан степен равномерности и то је горња граница подручја *оптималне* равномерности.

Подручје *добре* равномерности је на графику представљено жутом бојом. Доња границе подручја *добре* равномерности је дефинисана стањем оптималне равномерности линије. Горња граница подручја *добре* равномерности је дефинисана

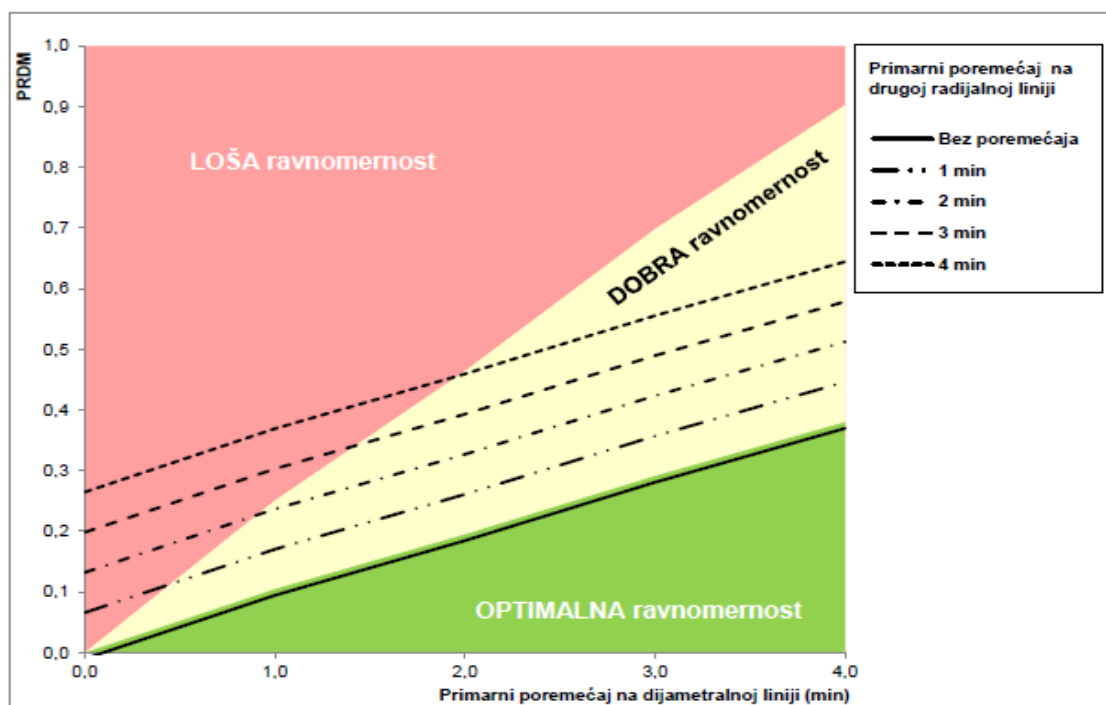
степеном равномерности која се остварује на дијаметралној линији у постојећем начину функционисања. ^[4]

Подручје *лоше* равномерности је на графику означено црвеном бојом и представља стање равномерности које је лошије у односу на постојећи начин функционисања линије (дијаметрална линија).

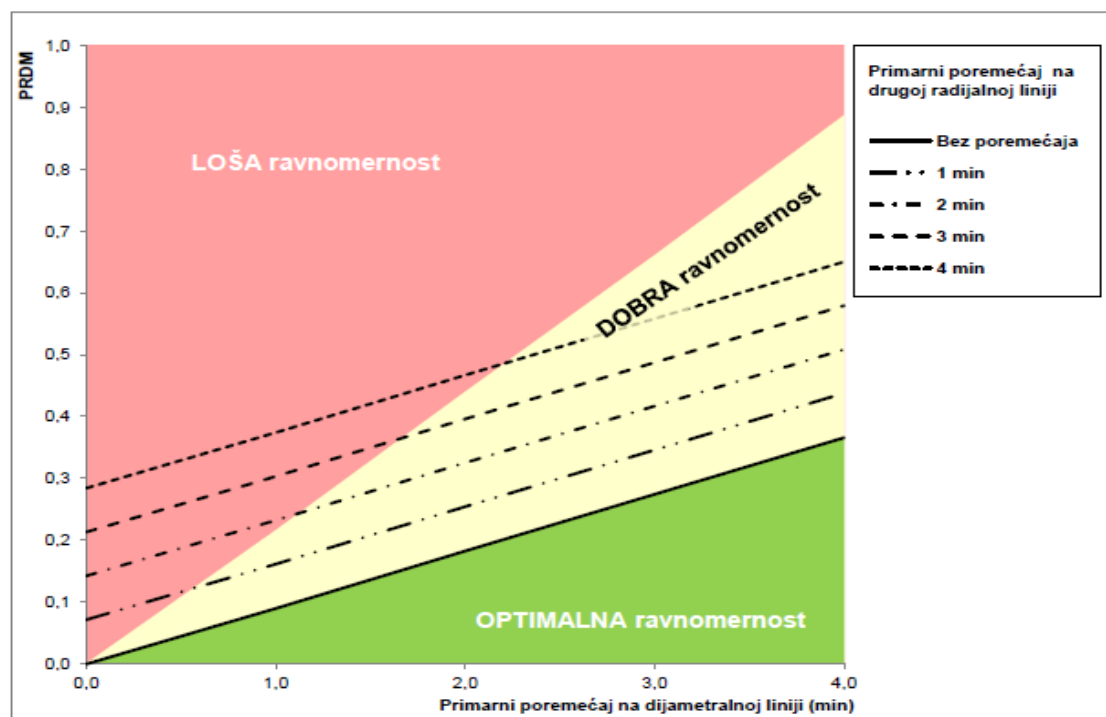
На графицима х-оса представља примарни поремећај интервала слеђења у постојећем начину организације (на дијаметралној/првој радијалној линији), а у-оса остварене вредности ПРДМ-а за настали примарни поремећај. Пуна линија на графицима означава стање оптимизоване варијанте, када је друга радијална линија без поремећаја, а испрекидане линије представљају стање оптимизоване варијанте када се на другој радијалној линији догоди примарни поремећај (1, 2, 3 или 4 минута).

На графицима су представљени резултати евалуације. Побољшање степена равномерности интервала је постигнуто на обе линије у сваком периоду. У зависности од смера линије и примењеног периода зависе ефекти оптимизације. Највећа побољшања равномерности се постижу у вршним периодима када су интервали слеђења најмањи, а број улазака путника по стајалиштима највећи. Од расподеле броја улазака путника дуж линије такође зависе ефекти оптимизације. ^[4]

Ефекти оптимизације зависе и од величине примарног поремећаја на другој радијалној линији. Уопштено посматрано, са графика се може видети да се ДОБРА равномерност постиже увек када примарни поремећај на другој радијалној линији није дупло већи у односу на примарни поремећај у постојећем начину организације, (*Слика 63.*), (*Слика 64.*), (*Слика 65.*) и (*Слика 66.*). ^[4]

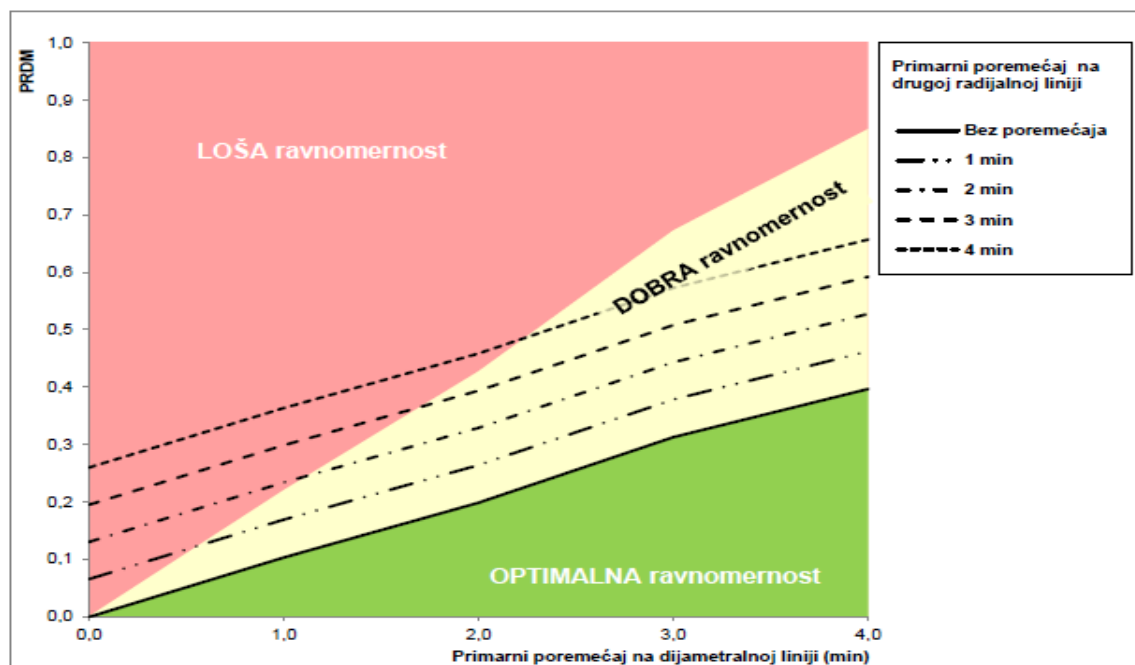


Слика 63. Степен равномерности интервала слеђења након оптимизације - Л 3, смер А, 13-14h. ^[4]

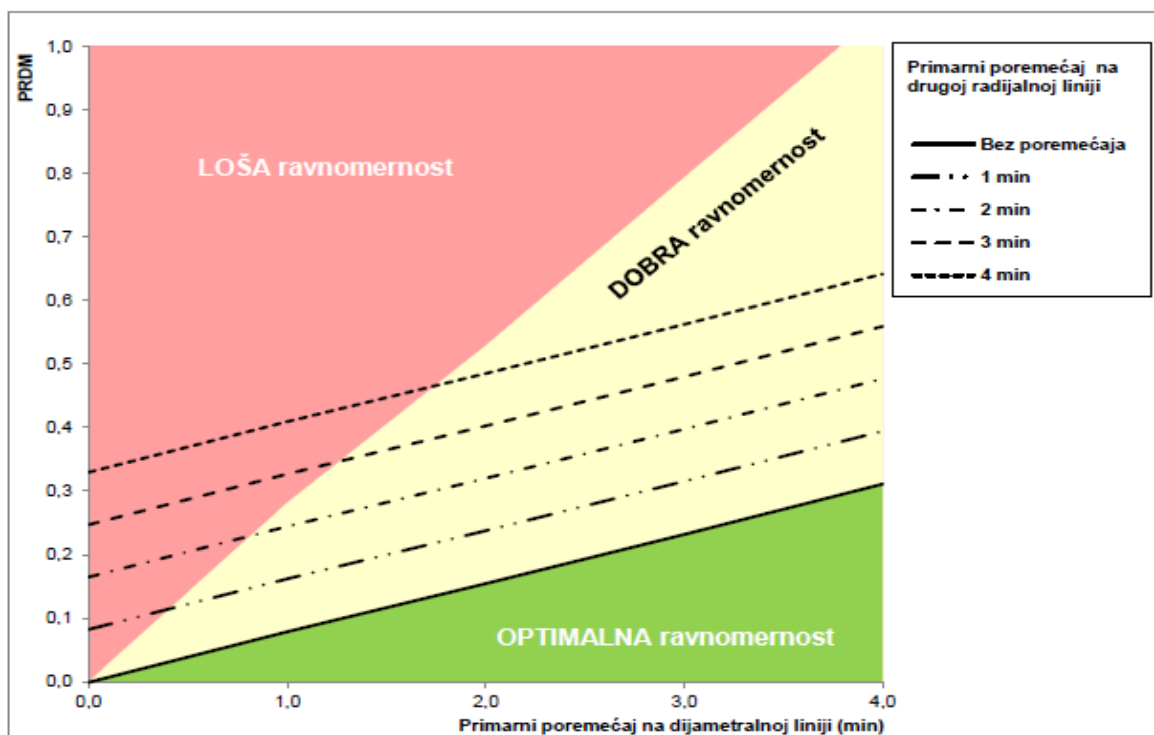


Слика 64. Степен равномерности интервала слеђења након оптимизације - Л 3, смер Б, 13-14h.

[4]



Слика 65. Степен равномерности интервала слеђења након оптимизације - Л 5, смер А, 13-14h. ^[4]



Слика 66. Степен равномерности интервала слеђења након оптимизације - Л 5, смер Б, 13-14h. ^[4]

9.5.4. Евалуација времена боравка путника у систему

У овом поглављу представљена је евалуација времена боравка путника у систему на линији за извршену оптимизацију. Евалуација је извршена за различите комбинације вредности примарног поремећаја интервала слеђења на дијаметралној линији (првој радијалној) и вредности примарног поремећаја интервала на другој радијалној линији. Евалуација времена боравка путника у систему је извршена на основу:

- средњег времена чекања путника на стајалишту;
- средњег времена преседања путника;
- средњег времена боравка путника у систему.

9.5.4.1. Средње време чекања путника на стајалишту

Средње време чекања путника на стајалишту представља просечан временски период који путник проведе чекајући возило на стајалишту. Средње време чекања путника на стајалишту за потребе евалуације утврђено је као просечна вредност за све путнике на истраживаној линији.

Евалуација средњег времена чекања путника на стајалишту у овом раду је извршена упоређивањем средњег времена чекања путника у две варијанте (постојећи и оптимизован начин организације), па су на графицима означена три подручја: подручје *оптималног* времена чекања, подручје *скраћеног* времена чекања, подручје *продуженог* времена чекања. Границе подручја су одређене на основу идеалних случајева средњег времена чекања путника на стајалишту за постојеће услове функционисања линије.

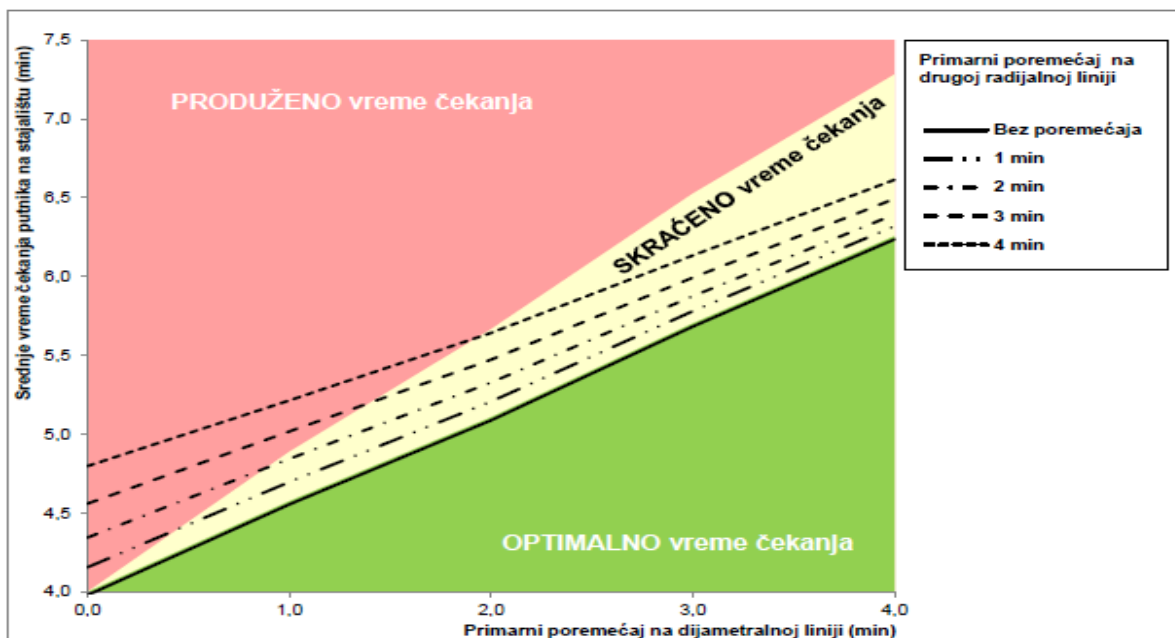
Подручје *оптималног* времена чекања је на графицима представљено зеленом бојом. Горња граница подручја *оптималног* времена чекања се достиже када друга радијална линија функционише без поремећаја. Подручје *скраћеног* времена чекања је на графику представљено жутом бојом.

Доња граница подручја *скраћеног* времена чекања је дефинисана вредностима оптималног средњег временом чекања на линији, а горња граница је дефинисана средњим временом чекања путника на стајалишту које се остварује у постојећем начину функционисања.

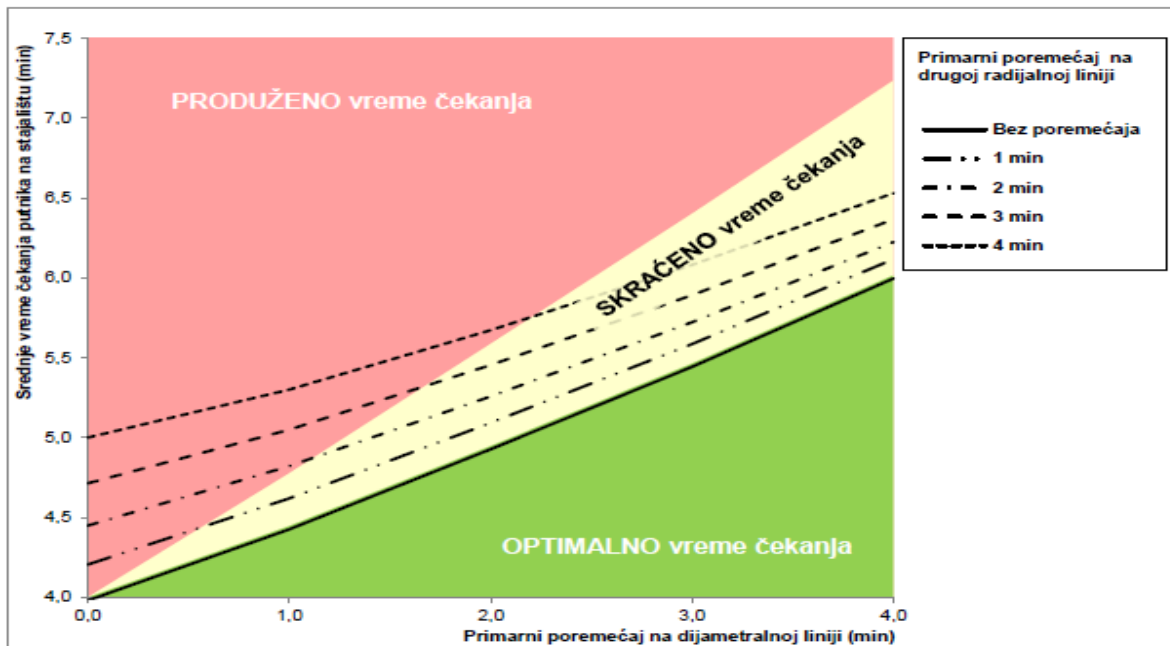
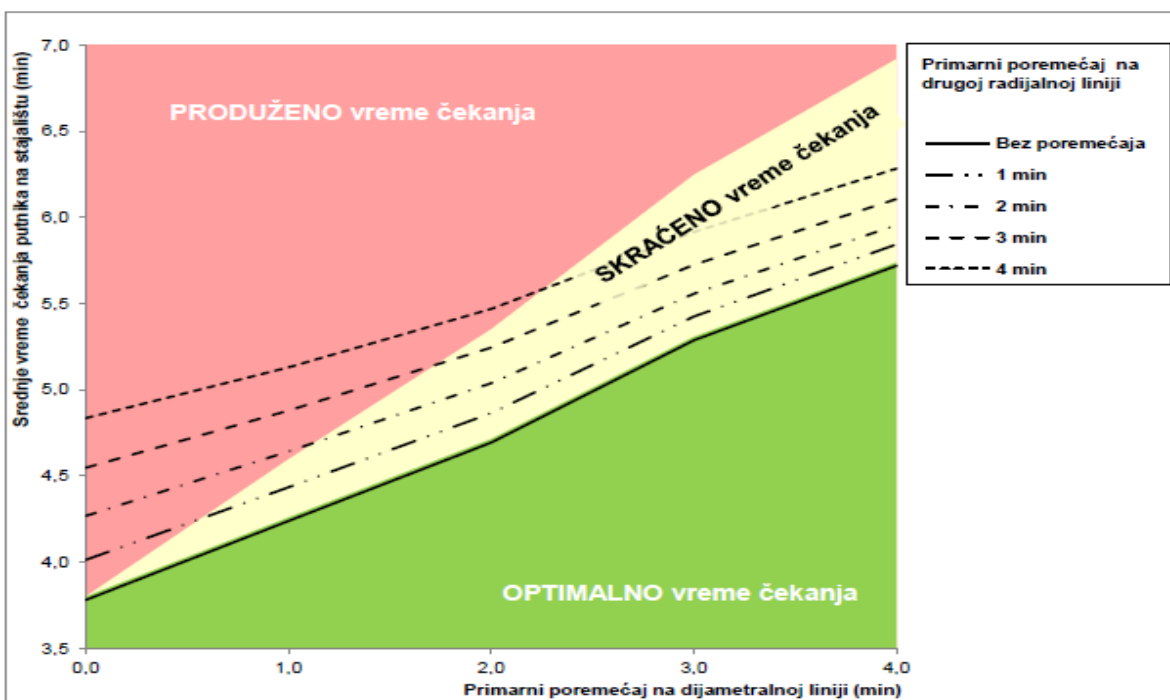
Подручје *продуженог* времена чекања је на графику означено црвеном бојом и представља средње време чекања путника на стајалишту које је лошије у односу на постојећи начин функционисања линије. На графицима х-оса, представља примарни поремећај интервала слеђења у постојећем начину организације (на дијаметралној / првој радијалној линији), а у-оса остварене вредности средњег времена чекања на стајалишту за настали примарни поремећај.

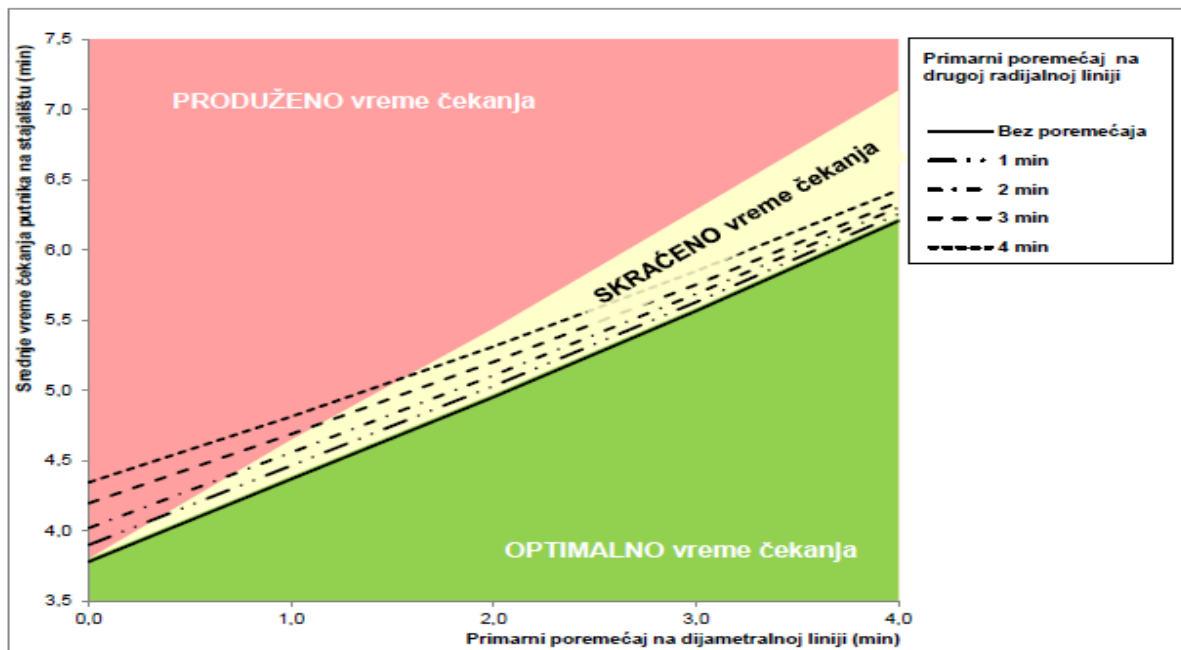
Пуна линија на графицима означава стање оптимизоване варијанте, када је друга радијална линија без поремећаја, а испрекидане линије представљају стање оптимизоване варијанте када се на другој радијалној линији догоди примарни поремећај (1, 2, 3 или 4 минута).

На графицима који следе су представљени резултати евалуације. Након оптимизације, краће време чекања је постигнуто на обе линије за све комбинације, при чему се ефекти оптимизације повећавају са растом примарног поремећаја на дијаметралној линији. Будући да је подручје *скраћеног* времена чекања најуже у ванвршним периодима (највећи интервал, најмањи број путника) онда су и ефекти оптимизације у датим периодима најмањи, (*Слика 67.*), (*Слика 68.*), (*Слика 69.*), и (*Слика 70.*).^[4]



Слика 67. Средње време чекања путника на стајалишту - Л 3, смер А, 13-14h.^[4]

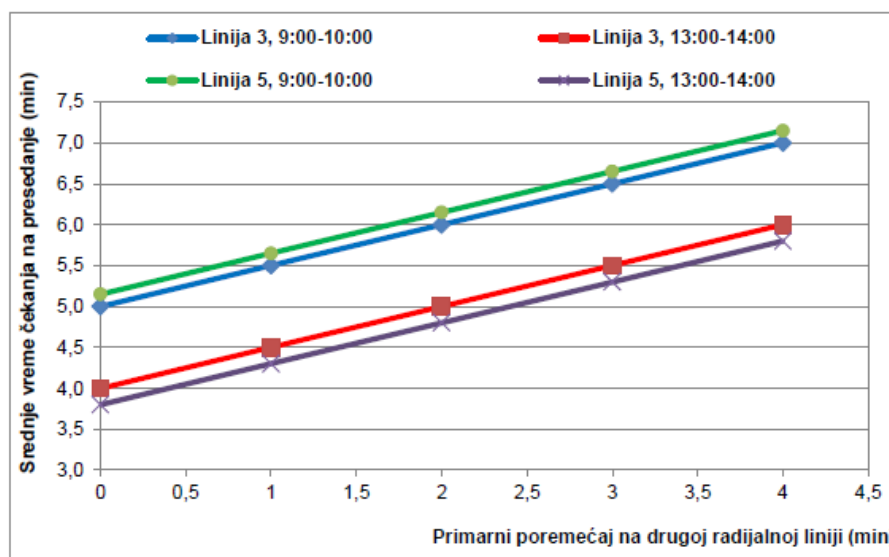
Слика 68. Средње време чекања путника на стајалишту - Л 3, смер Б, 13-14h. ^[4]Слика 69. Средње време чекања путника на стајалишту - Л 5, смер А, 13-14h. ^[4]



Слика 70. Средње време чекања путника на стајалишту - Л 5, смер Б, 13-14h. ^[4]

9.5.4.2. Средње време преседања

Након оптимизације путници који прелазе тачку поделе линије морају да преседају. Будући да не постоји координација полазака, средње време преседања путника зависи искључиво од интервала слеђења друге радијалне линије као и поремећаја интервала у поласку друге радијалне линије. На *слици 71*. је приказана зависност средњег времена преседања путника у односу на примарни поремећај за истраживане линије. ^[4]



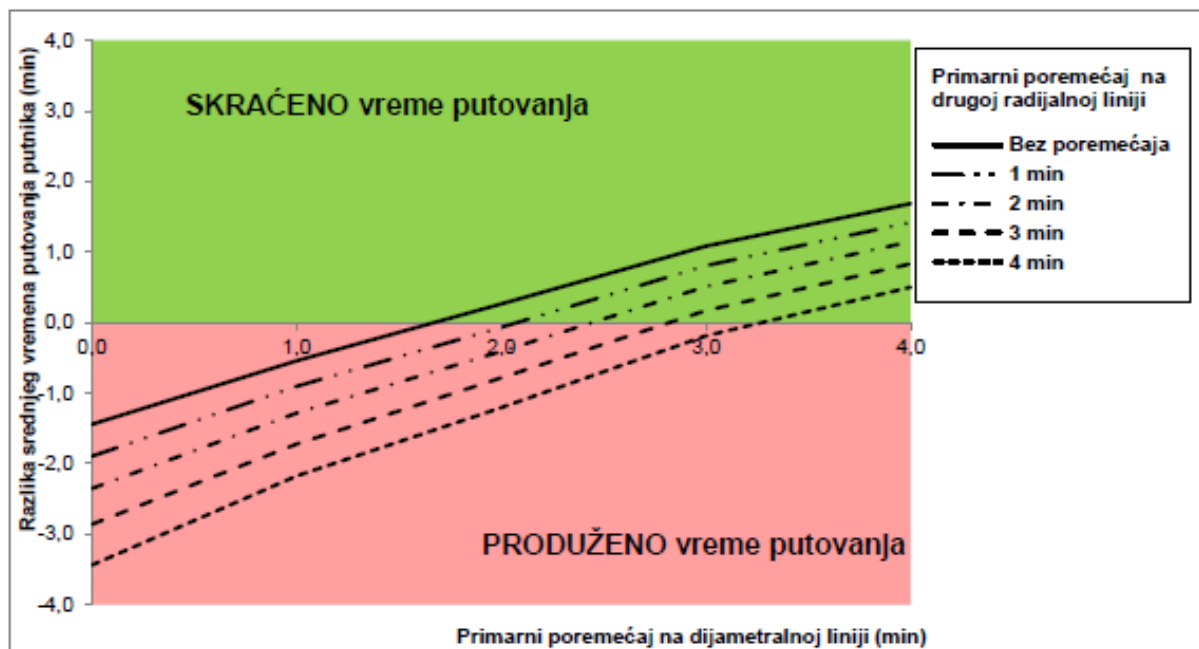
Слика 71. Средње време преседања путника након оптимизације. ^[4]

9.5.4.3. Време боравка путника у систему

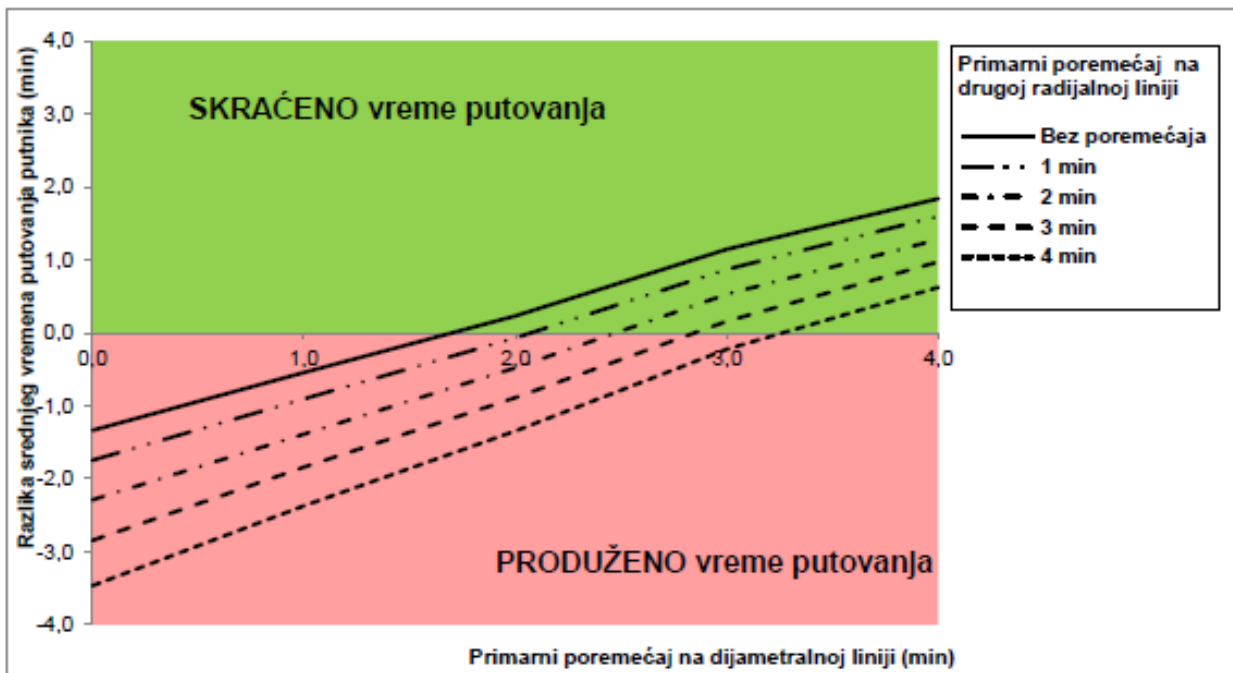
Време боравка путника у систему обухвата временски период од доласка путника на стајалиште до тренутка изласка путника из возила. Разлика средњег времена боравка путника у систему дефинисано је као разлика средњег времена боравка путника у систему за постојећи начин организације превоза и за оптимизован начин организације превоза. Када је разлика средњег времена боравка путника у систему већа од нуле тада се у оптимизованом начину организације путници задржавају краће у односу на постојеће стање.

Будући да се поступком оптимизације траса линије и гравитационо подручје линије није променило, разлика средњег времена боравка путника у систему на предметној линији представља и промену у средњем времену путовања путника. У складу са тим на наредним графицима су представљени ефекти оптимизације на средње време путовања путника.

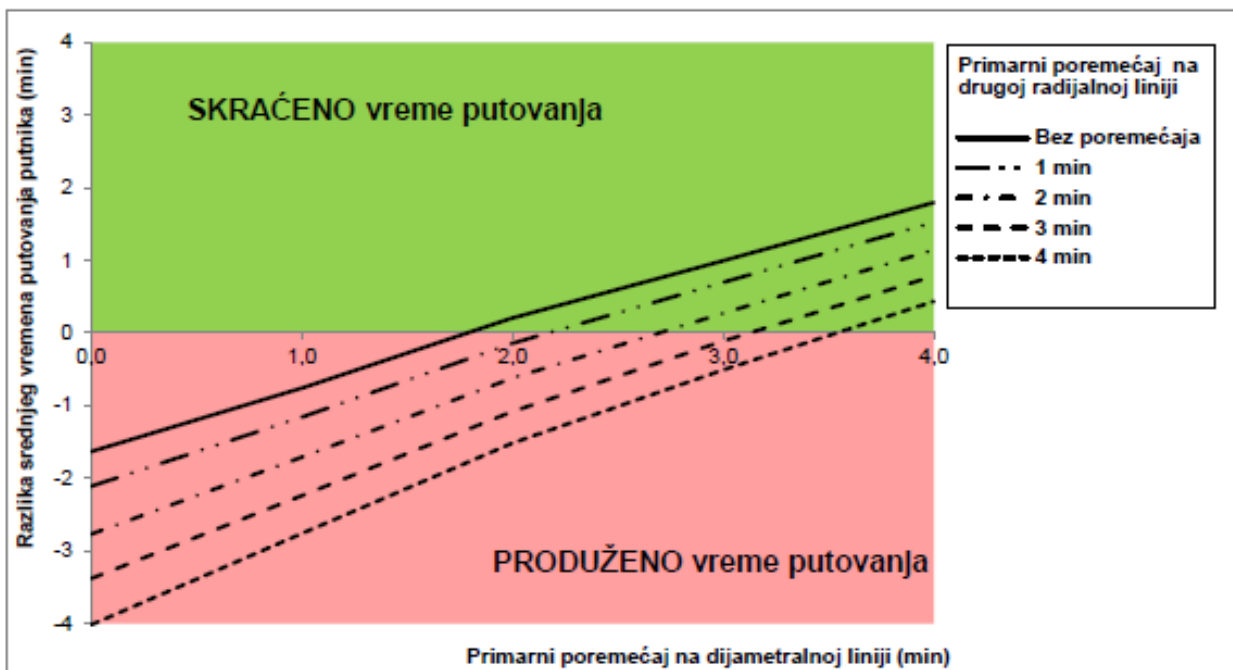
На графицима х-оса представља примарни поремећај интервала слеђења у постојећем начину организације (на дијаметралној / првој радијалној линији), а у-оса остварену разлику у времену путовања путника за настали примарни поремећај. Пуна линија на графицима означава стање оптимизоване варијанте, када је друга радијална линија без поремећаја, а испрекидане линије представљају стање оптимизоване варијанте када се на другој радијалној линији догоди примарни поремећај (1, 2, 3 или 4 минута), (Слика 72.), (Слика 73.), (Слика 74.) и (Слика 75.).^[4]



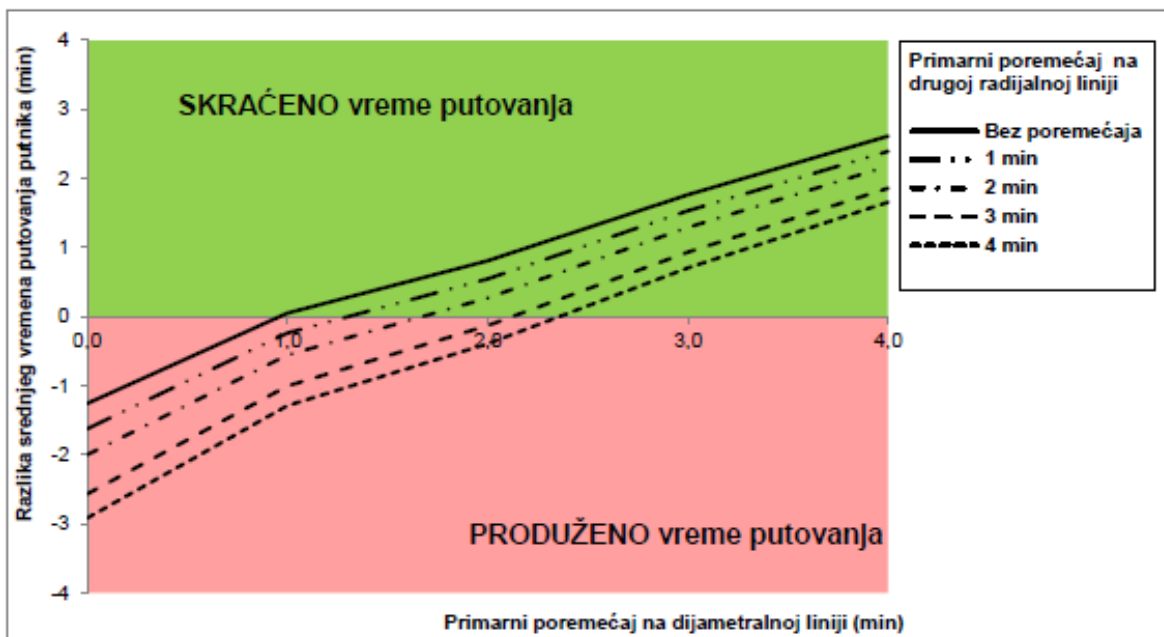
Слика 72. Разлика средњег времена боравка путника у систему на линији број 3, смер А, 13-14h.^[4]



Слика 73. Разлика средњег времена боравка путника у систему на линији број 3, смер Б, 13-14h. ^[4]



Слика 74. Разлика средњег времена боравка путника у систему на линији број 5, смер А, 13-14h. ^[4]



Слика 75. Разлика средњег времена боравка путника у систему на линији број 5, смер Б, 13-14h. ^[4]

10. Закључак

Висок степен задовољства путника и конкурентност система ЈГПП-а постиже се искључиво високим квалитетом услуге ЈГПП-а. Висок квалитет услуге у јавном превозу подразумева између осталог да корисници доживљавају кратко време чекања на стајалишту, кратко време вожње и минимум стандарда комфора. Основна карактеристика градских линија са завидним квалитетом услуге је висока фреквенција возила, која обезбеђује корисницима краће време чекања на стајалиштима и веће превозне брзине. Међутим, оперативно функционисање система у условима високе фреквенције је отежано. Током оперативног функционисања система услед деловања различитих фактора јављају се учестале варијације у времену кретања возила дуж линије. Настале варијације нарушавају равномерност интервала слеђења, при чему у екстремним ситуацијама долази до груписања возила. Лоша равномерност интервала слеђења негативно утиче на квалитет услуге, али и на оперативно функционисање система.

Развојем технологија за позиционирање, система за бежични пренос података и рачунарских технологија, АВЛ систем је постао неизоставан информациони систем сваког савременог ЈГПП-а. Добијене информације у реалном времену су омогућиле развој и усавршавање многих мера и стратегија за повећање равномерности интервала на оперативном нивоу. У општој експанзији усавршавања појединачних мера и стратегија на оперативном нивоу (задржавање возила на стајалиштима, прескакање стајалишта, убацивање додатног возила и др.) мало пажње се посвећује комбиновању различитих мера и стратегија. Правце даљих истраживања би требало усмерити ка начинима комбиновања различитих мера и стратегија (на планском и оперативном нивоу) са циљем добијања оптималних хибридних решења, као применљивих поступака у реалним условима за повећање равномерности интервала слеђења возила и укупног квалитета услуге.

Списак слика

- Слика 1. Приказ мрежа линија у ХанOVERу;
- Слика 2. Слика аутобуса;
- Слика 3. Слика тролбуса;
- Слика 4. Шематски приказ линије ЈГПП-а;
- Слика 5. Саобраћајница са мешовитим саобраћајем;
- Слика 6. Саобраћајница са мешовитим саобраћајем;
- Слика 7. Траса “Ц-1”;
- Слика 8. Траса “Ц-2”;
- Слика 9. Траса “Ц-3”;
- Слика 10. Траса “Б”;
- Слика 11. Траса “Б-1”;
- Слика 12. Траса “Б-2”;
- Слика 13. Траса “Б-3”;
- Слика 14. Издвојена траса за аутобусе;
- Слика 15. Надземна трака;
- Слика 16. Однос брзине и укупних трошкова функционисања транспортне мреже;
- Слика 17. Експлоатациона брзина у систему јавног масовног транспорта путника у Београду;
- Слика 18. Дијаграм улазака и излазака путника;
- Слика 19. Дијаграм улазака и излазака путника;
- Слика 20. Дијаграм протока путника;
- Слика 21. Добијање средњих вредности протока путника и коефицијента неравномерности дуж линије;
- Слика 22. Мередавна вредност протока;

- Слика 23. Мередавна вредност протока;
- Слика 24. Трасе;
- Слика 25. Мередавни протоци директне и локалне линије;
- Слика 26. Номограм за избор оптималног капацитета возила;
- Слика 27. Дијаграм пут – време;
- Слика 28. Скуп кретања возила са дефинисаних тачака на линији;
- Слика 29. Дијаграм података за израду реда вожње;
- Слика 30. Приказ мреже градских линија у Новом Саду;
- Слика 31. Приказ трасе линије број 3 Петроворадин – Центар – Детелинара;
- Слика 32. Приказ трасе линије број 5 Темерински пут – Центар – Авијатичарско;
- Слика 33. Изглед бројачког обрасца;
- Слика 34. вожњи путника на градским линијама током целог дана;
- Слика 35. Часовна расподела броја вожњи путника по часовима у току дана – градске линије;
- Слика 36. Часовна расподела броја вожњи путника у току дана по смеровима на линији број 3;
- Слика 37. Проток путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 3;
- Слика 38. Проток путника за поподневни вршни сат 13:00–14:00, на линији број 3;
- Слика 39. Уласци путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 3;
- Слика 40. Уласци путника за поподневни вршни сат 13:00–14:00, на линији број 3;
- Слика 41. Изласци путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 3;
- Слика 42. Изласци путника за поподневни вршни сат 13:00–14:00, на линији број 3;
- Слика 43. Часовна расподела броја вожњи путника у току дана по смеровима на линији 5;
- Слика 44. Проток путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 5;
- Слика 45. Проток путника за поподневни вршни сат 13:00–14:00, на линији број 5;

- Слика 46. Уласци путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 5;
- Слика 47. Уласци путника за поподневни вршни сат 13:00–14:00, на линији број 5;
- Слика 48. Изласци путника за период 9:00–10:00 часова на линији број 5;
- Слика 49. Изласци путника за поподневни вршни сат 13:00–14:00, на линији број 5;
- Слика 50. Приказ параметра ПРДМ по стајалиштима дуж линије 3;
- Слика 51. Приказ параметра ПРДМ по стајалиштима дуж линије – линија број 5;
- Слика 52. Интензитет улазака путника у возило – Бул.Ослобођења - Лутрија Војводине;
- Слика 53. Интензитет улазака путника у возило – Булевар Михајла Пупина – РК “Базар”;
- Слика 54. Средња вредност интензитета улазака путника у возило – смер А;
- Слика 55. Средња вредност интензитета улазака путника у возило – смер Б;
- Слика 56. Образац за мерење времена задржавања возила на стајалишту;
- Слика 57. Приказ траса новоформираних линија насталих поделом линије број 3;
- Слика 58. Приказ траса новоформираних линија насталих поделом линије број 5;
- Слика 59. Симулирани интервал слеђења за различите величине примарног поремећаја – линији број 3, смера А, период 13:00–14:00;
- Слика 60. Симулирани интервал слеђења за различите величине примарног поремећаја – линији број 3, смера Б, период 13:00–14:00;
- Слика 61. Симулирани интервал слеђења за различите величине примарног поремећаја – линији број 5, смера А, период 13:00–14:00;
- Слика 62. Симулирани интервал слеђења за различите величине примарног поремећаја – линији број 5, смера Б, период 13:00–14:00;
- Слика 63. Степен равномерности интервала слеђења након оптимизације - Л 3, смер А, 13-14h;
- Слика 64. Степен равномерности интервала слеђења након оптимизације - Л 3, смер Б, 13-14h;

Слика 65. Степен равномерности интервала слеђења након оптимизације - Л 5, смер А, 13-14h;

Слика 66. Степен равномерности интервала слеђења након оптимизације - Л 5, смер Б, 13-14h;

Слика 67. Средње време чекања путника на стајалишту - Л 3, смер А, 13-14h;

Слика 68. Средње време чекања путника на стајалишту - Л 3, смер Б, 13-14h;

Слика 69. Средње време чекања путника на стајалишту - Л 5, смер А, 13-14h;

Слика 70. Средње време чекања путника на стајалишту - Л 5, смер Б, 13-14h;

Слика 71. Средње време преседања путника након оптимизације;

Слика 72. Разлика средњег времена боравка путника у систему на линији број 3, смер А, 13-14h;

Слика 73. Разлика средњег времена боравка путника у систему на линији број 3, смер Б, 13-14h;

Слика 74. Разлика средњег времена боравка путника у систему на линији број 5, смер А, 13-14h;

Слика 75. Разлика средњег времена боравка путника у систему на линији број 5, смер Б, 13-14h;

Списак табела

Табела 1. Карактеристике постојећих саобраћајних система;

Табела 2. Карактеристике постојећих саобраћајних система;

Табела 3. Просечни услови експлоатације;

Табела 4. Статички и динамички елементи линија у систему ЈПП-а у Новом Саду;

Табела 5. Статички елементи линије број 3 – смер А;

Табела 6. Статички елементи линије број 3 – смер Б;

Табела 7. Статички елементи линије број 5 – смер А;

Табела 8. Статички елементи линије број 5 – смер Б;

Табела 9. Часовна расподела броја возњи путника на градским линијама;

Табела 10. Просечни пројектовани интервали слеђења по периодима у току дана;

Табела 11. Статички елементи новоформираних линија насталих поделом линије 3;

Табела 12. Статички елементи нофоформираних линија насталих поделом линије број 5;

Табела 13. Улазни подаци за симулацију ширења поремећаја интервала слеђења;

11. Литература

- [1] – Филиповић С.; “Оптимизације у систему јавног градског путничког превоза”; Саобраћајни факултет Београд, Београд, 1995. године.
- [2] – Ибрахим Јусуфранић; “Јавни градски превоз путника, организација – експлоатација управљање”; Факултет за саобраћај и комуникације, Сарајево, 2003. године.
- [3] – Abkowitz, Mark, Amir Eiger, i Israel Engelstein; “ Optimal control of headway variation on transit routes”; 1986. године.
- [4] – Павле М. Питка; Докторска дисертација: “Оптимизација линијских система јавног превоза путника”; Факултет техничких наука Нови Сад, Нови Сад 2016. године.
- [5] – Славен М. Тица; Предавање: “Линије система јавном масовног транспорта путника”; Саобраћајни факултет Београд, Београд 2017. године.
- [6] – Book.tcp; Интернет адреса: <http://book.tsp.edu.rs/mod/page/view.php?id=644>, приступљено 05.06.2018.
- [7] – PopeHome; Интернет адреса: <https://www.pinterest.com/pin/468022586252373391/>, приступљено 05.06.2018.
- [8] – Autobusi.net; Интернет адреса :<http://www.autobusi.net/bg-izmene-rezima-linija-jgp-a-tokom-izvodenja-radova-u-ulici-13-oktobra-rakovica/>, приступљено 10.06.2018.
- [9] – Autobusi.net; Интернет адреса: <http://www.autobusi.net/>, приступљено 10.06.2018.
- [10] – BlogSpot; Интернет адреса: <http://vozljubitelji.blogspot.rs/2016/>, приступљено 10.06.2018.
- [11] – Wikimedia commons; Интернет адреса: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trolejbus_Beograd_Studentski_trg.jpg, приступљено 10.06.2018.