

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Visokošolski program Gradbeništvo,
Smer operativno gradbeništvo

Kandidat:

Igor Pavlovič

**Analiza možnih ukrepov za povečanje
zmogljivosti in skrajšanja potovalnega časa
avtobusov mestnega prometa**

Diplomska naloga št.: 222

Mentor:
doc. dr. Marijan Žura

Ljubljana, 14. 4. 2006

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 656.132:711.7(043.2)
Avtor: Igor Pavlovič
Mentor: doc.dr. Marijan Žura
Naslov: Analiza učinkov možnih ukrepov za povečanje zmogljivosti in skrajšanja potovalnega časa avtobusov mestnega prometa
Obseg in oprema: 132 strani, 29 preglednic, 12 slik, 14 diagramov, 14 enačb
Ključne besede: kriteriji, zmogljivost, peron, avtobusno postajališče, avtobusna proga, ukrepi, avtobusni vozni pasovi, avtobusna proga v mešanem prometu

Izveček:

diplomsko delo obravnava problematiko načrtovanja avtobusnega potniškega prometa. Obdelani so kriteriji za načrtovanje, metode za določanje zmogljivosti, ukrepi za povečanje zmogljivosti, avtobusni vozni pasovi in avtobusne proge v mešanem prometu.

Teoretični del naloge je izdelan na osnovi študije za vrednotenje avtobusnega potniškega prometa »TCRP Synthesis 10, Bus Route Evaluation Standards, A Synthesis of Transit Practice« ter priročnika za določanje zmogljivosti avtobusnega potniškega prometa »Transit Capacity and Quality of Service Manual – 2nd Edition« ki ju je izdelala ameriška raziskovalna agencija *Transportation Research Board*.

V praktičnem delu naloge je narejena analiza učinkov možnih ukrepov za povečanje zmogljivosti in skrajšanja potovalnega časa avtobusov mestnega prometa na odseku Celovške ceste med križiščem s Kosmačevo in križiščem z Litostrojsko cesto. Kot možna ukrepa sta predvidena uvedba avtobusnega voznega pasu in sprememba načina plačevanja voznine s postavitvijo avtomatov za vozovnice na avtobusnih postajališčih.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDK: 656.132:711.7(043.2)
Author: Igor Pavlovič
Supervisor: assist.prof.Ph.D. Marijan Žura
Title: The analysis of possible measures for increasing capacity and reducing travelling times of the public bus transport system
Notes: 132 pages, 29 tables, 12 exhibits, 14 diagrams, 14 equations
Key words: criteria, capacity, loading area, bus stop, bus facility, measures, street bus lane, bus facility in mixed traffic
Abstract:

This graduation thesis deals with the problems of the public bus transport system planning. It treats the criteria for planning, methods for capacity determination, measures for increasing capacity, street bus lanes and bus facilities in mixed traffic.

The teoretical part is based on the evaluation bus transport system study, »*TCRP Synthesis 10, Bus Route Evaluation Standards, A Synthesis of Transit Practice*«, and the manual for capacity determination of the public bus transport system, »*Transit Capacity and Quality of Service Manual – 2nd Edition*«, both made by the *Transportation Research Board*.

The practical part includes analysis of the possible measures for increasing capacity and reducing bus travelling times on the bus route of Celovška cesta, section Kosmačeva ulica – Litostrojska cesta. Introduction of the street bus lane and the changing of the fare paying are ensured as possible measures.

ZAHVALA

Mentorju doc. dr. Marijanu Žuri se zahvaljujem za pomoč, napotke in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se mag. Milošu Bajtu iz Mestne Občine Ljubljana za pomoč pri zbiranju podatkov o prometu v Ljubljani.

Zahvala gospodu Šmajdek Joštu iz LPP-ja za pomoč pri pridobivanju podatkov o avtobusnem potniškem prometu.

Posebna zahvala moji ljubi Evi za potrpežljivost in pomoč pri prebujanju po brezpotjih angleškega jezika in slovenskega pravopisa.

KAZALO VSEBINE:

1.0	UVOD	1
2.0	KRITERIJI ZA NAČRTOVANJE AVTOBUSNEGA POTNIŠKEGA PROMETA	3
2.1	Kriteriji za načrtovanje avtobusne proge	3
2.1.1	Osnovni kriteriji	3
2.1.1.1	Gostota naseljenosti	4
2.1.1.2	Gostota zaposlenosti	4
2.1.1.3	Pokritost z avtobusnimi progami	4
2.1.1.4	Omejitev števila deviacij in odcepov	4
2.1.1.5	Enakomerna geografska pokritost	5
2.1.2	Sekundarni kriteriji	5
2.1.2.1	Zasnova sistema	5
2.1.2.2	Potek in redukcija podvajanja prog	5
2.1.2.3	Priključljivost na mrežo	6
2.1.2.4	Pravičnost ponudbe	6
2.1.2.5	Smer proge	6
2.1.2.6	Dostopnost za stanovalce	7
2.1.2.7	Dostopnost za ostale uporabnike	8
2.1.2.8	Omejitev števila prestopanj	8
2.1.2.9	Lociranje avtobusnih postajališč	8
2.1.2.10	Razdalja med avtobusnimi postajališči	8
2.2	Kriteriji za načrtovanje voznega reda	9
2.2.1	Različni nivoji delovanja proge	9
2.2.2	Različen značaj delovanja proge	10
2.2.3	Največje število stojišč	10
2.2.4	Najdaljši interval	10
2.2.5	Razmerje med potniškimi konicami in običajnim številom potnikov	11
2.2.6	Najkrajši interval	11
2.2.7	Razmerje med stojišči in sedišči	11
2.2.8	Potovalni čas za stojišča	11
2.2.9	Časovna uskladitev srečanj avtobusov, čakalni čas za prestopanja	12

2.2.10	Urna zasnova voznega reda	12
2.3	Kriteriji za določitev ekonomičnosti in produktivnosti	13
2.3.1	Število potnikov na uro	13
2.3.2	Stroški na potnika	14
2.3.3	Število potnikov na kilometer	14
2.3.4	Število potnikov na potovanje	15
2.3.5	Prevoženi kilometri na potnika	15
2.3.6	Dohodek proge na potnika	15
2.3.7	Subvencija na potnika	16
2.3.8	Minimalno razmerje za povračilo variabilnih stroškov proge	16
2.3.9	Minimalni nivo stroškov proge vključno s semi-variabilnimi in/ali fiksnimi stroški	16
2.3.10	Primerjava z ostalimi progami v sistemu	17
2.4	Kriteriji za določitev kakovosti prevozov	17
2.4.1	Točnost avtobusov	17
2.4.2	Enakomernost časovnih intervalov	18
2.5	Kriteriji za določitev udobja in varnosti potnikov	19
2.5.1	Pritožbe potnikov	19
2.5.2	Odpovedane vožnje in nenapovedane dodatne vožnje	19
2.5.3	Nesreče	20
2.5.4	Pogoji potovanja	20
3.0	ZMOGLJIVOST AVTOBUSNEGA POTNIŠKEGA PROMETA	21
3.1	Splošno	21
3.2	Proces določanja zmogljivosti	21
3.2.1	Peroni	22
3.2.2	Avtobusna postajališča	23
3.2.3	Avtobusne proge	23
3.2.4	Potniška zmogljivost	24
3.3	Zmogljivost perona	24
3.3.1	Zadrževalni čas	24
3.3.3.1	Določanje zadrževalnega časa	26
3.3.3.2	Vpliv vstopanja invalidov v invalidskih vozičkih na zadrževalni čas	30
3.3.3.3	Vpliv časa za nalaganje koles na zadrževalni čas	30

3.3.2	Odhodni čas	30
3.3.2.1	Določanje odhodnega časa	31
3.3.3	Spremenljivost zadrževalnega časa	31
3.3.3.1	Semaforski ciklusi	36
3.3.3.2	Postopek izračuna prometne zmogljivosti perona	37
3.4	Zmogljivost avtobusnega postajališča	38
3.4.1	Zasnova in lokacija	38
3.4.2	Učinkovitost avtobusnega postajališča	40
3.4.3	Izračun prometne zmogljivosti avtobusnega postajališča	45
3.5	Zmogljivost avtobusne proge	46
3.6	Potniška zmogljivost	47
3.6.1	Porazdelitev vstopov/izstopov	47
3.6.2	Poslovna politika	49
4.0	UKREPI ZA POVEČANJE ZMOGLJIVOSTI	52
4.1	Splošno	52
4.1.1	Izvajanje ukrepov za zagotavljanje prednosti	52
4.1.2	Koncept potniških zamud	53
4.2	Vozni pasovi za avtobusni promet	54
4.2.1	Avtocestni avtobusni vozni pasovi	54
4.2.2	Avtobusni obvozni vozni pasovi	55
4.3	Prednostna prometna signalizacija	55
4.3.1	Splošno	55
4.3.2	Posebnosti prednostne semaforke signalizacije	57
4.4	Prednostni ukrepi na specifičnih lokacijah	58
4.4.1	Prehitevanje kolone vozil	58
4.4.2	Vstopni otoki	60
4.4.3	Vstopni polotoki	61
4.4.4	Omejitev parkiranja	62
4.4.5	Izjeme pri prepovedi zavijanja v levo	63
4.5	Ukrepi za izboljšanje delovanja proge	63
4.5.1	Lociranje avtobusnih postajališč	63
4.5.2	Konsolidacija avtobusnih postajališč	64

4.5.3	Izpuščanje avtobusnih postajališč	65
4.5.4	Združevanje avtobusov v kolone	65
4.5.5	Tehnični predpisi	65
4.5.6	Povzetek	67
5.0	AVTOBUSNI VOZNI PASOVI	69
5.1	Splošno	69
5.2	Tipi avtobusnih voznih pasov	69
5.3	Zmogljivost avtobusnih voznih pasov	70
5.3.1	Zamude zaradi desnih zavijalcev	70
5.3.2	Izračun prometne zmogljivosti proge na avtobusnem voznem pasu	73
5.4	Hitrosti avtobusov	74
5.4.1	Hitrosti avtobusov na avtobusnih voznih pasovih	74
5.4.2	Potovalni čas	75
5.4.3	Interferenca med avtobusi	77
6.0	AVTOBUSNE PROGE V MEŠANEM PROMETU	79
6.1	Splošno	79
6.2	Načini delovanja avtobusnih prog v mešanem prometu	79
6.3	Zmogljivost proge v mešanem prometu	80
6.4	Hitrosti avtobusov v mešanem prometu	82
7.0	PRILOGE	83
7.1	Obrazci	83
7.2	Diagrami	84
8.0	PRAKTIČNI PRIMERI	89
8.1	Splošno	89
8.2	Obstoječe stanje	90
8.3	PRIMER 1 – obstoječa prometna zmogljivost avtobusnih postajališč na trasi proge po Celovški cesti na odseku od Kosmačeve do Litostrojske ceste	95
8.3.1	Znani podatki	95
8.3.2	Predpostavke	95
8.3.3	Izračun zmogljivosti postajališča	96
8.3.4	Rezultat	98
8.3.5	Zaključek	98
8.4	PRIMER 2 – vpliv uvedbe avtobusnega voznega pasu na zmogljivost postajališč	100

8.4.1	Znani podatki	100
8.4.2	Predpostavke	100
8.4.3	Izračun zmogljivosti postajališča	101
8.4.4	Rezultat	102
8.4.5	Zaključek	102
8.5	PRIMER 3 – vpliv spremembe načina plačevanja voznine na zmogljivost postajališč	103
8.5.1	Znani podatki	103
8.5.2	Predpostavke	103
8.5.3	Izračun zmogljivosti postajališča	103
8.5.4	Rezultat	105
8.5.5	Zaključek	105
8.6	Primerjava zmogljivosti avtobusnih postajališč	106
8.6.1	Primerjava zadrževalnih časov	106
8.6.2	Primerjava odhodnih časov	107
8.6.3	Primerjava prometne zmogljivosti postajališč	109
8.6.4	Zaključek	110
8.7	PRIMER 4 – izračun potovalne hitrosti avtobusov na avtobusnem voznem pasu	111
8.7.1	Znani podatki	111
8.7.2	Predpostavke	111
8.7.3	Izračun povprečne hitrosti – obstoječe stanje	112
8.7.4	Rezultat	112
8.7.5	Zaključek	112
9.0	ZAKLJUČEK	113
10.0	VIRI	115

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 3.1 - oskrbovalni čas potnika na avtobusu z enim enosmernim vstopom	28
Preglednica 3.2 - oskrbovalni čas potnika na avtobusih z več vstopi	29
Preglednica 3.3 - potrebni čas za ponovno vključitev v promet	31
Preglednica 3.4 - vrednosti spremenljivke Z v odvisnosti od neuspešnosti prihodov	34
Preglednica 3.5 - ocenjena zmogljivost perona	38
Preglednica 3.6 - prednosti in pomanjkljivosti posameznih tipov avtobusnih postajališč na vozišču glede na njihovo lokacijo	41
Preglednica 3.7 - faktorji učinkovitosti	44
Preglednica 3.8 - ocenjena zmogljivost linearno zasnovanega avtobusnega postajališča na vozišču	46
Preglednica 3.9 - tipi avtobusov, dimenzije in potniška zmogljivost	50
Preglednica 4.1 - postopki za zagotavljanje prednosti s semaforji	56
Preglednica 4.2 - prednosti in pomanjkljivosti ukrepov na vozišču in prometni signalizaciji	57
Preglednica 4.3 - prednosti in pomanjkljivosti ukrepov za izboljšanje operativnih postopkov	58
Preglednica 5.1 - zmogljivost c_r v odvisnosti od števila desno zavijajočih vozil	71
Preglednica 5.2 - vrednosti faktorja lokacije avtobusnega postajališča f_l	72
Preglednica 5.3 - osnovni obratovalni čas avtobusa	76
Preglednica 5.4 - izgubljeni obratovalni čas avtobusa	76
Preglednica 5.5 - korekcijski faktorji interference f_b	77
Preglednica 8.1 – postajališča na odseku proge v študijskem območju	91
Preglednica 8.2 – število potnikov, frekventnost avtobusov in število delujočih prog	92
Preglednica 8.3 – zadrževalni t_d in odhodni čas t_c	93
Preglednica 8.4 – število ostalih vozil na voznem pasu, po katerem vozijo tudi avtobusi, in število desnih zavijalcev	94
Preglednica 8.5 – izračun korekcijskega faktorja mešanega prometa f_m	97
Preglednica 8.6 – izračun prometne zmogljivosti avtobusnih postajališč	98

Preglednica 8.7 – izračun prometne zmogljivosti avtobusnih postajališč po uvedbi posebnega avtobusnega voznega pasu	102
Preglednica 8.8 – število vstopov/izstopov potnikov na postajališču Avtomontaža smer center v jutranji urni potniški konici	104
Preglednica 8.9 – izračun prometne zmogljivosti avtobusnih postajališč po uvedbi spremenjenega načina plačevanja voznine	105
Preglednica 8.10 – primerjava zadrževalnih časov	106
Preglednica 8.11 – primerjava odhodnih časov	108
Preglednica 8.12 – primerjava prometne zmogljivosti postajališč	109

KAZALO SLIK

Slika 3.1: zveza med peroni, avtobusnimi postajališči in avtobusno progo	22
Slika 3.2: normalna porazdelitev spremenljivke Z	33
Slika 3.3: verjetnost neuspešnosti prihoda avtobusa	34
Slika 3.4: lokacije avtobusnih postajališč na vozišču	39
Slika 3.5: načini oblikovanja avtobusnih postajališč	42
Slika 3.6: osnovni faktorji, ki vplivajo na zmogljivost avtobusne proge	47
Slika 3.7: faktorji, ki določajo potniško zmogljivost	48
Slika 4.1: koncept zasnove prednostne prometne signalizacije. Skrajšanje trajanja rdeče in podaljšanje trajanja zelene faze	58
Slika 4.2: primer prehitevanja kolone	59
Slika 4.3: koncept zasnove vstopnih otokov	60
Slika 4.4: vstopni polotoki	62
Slika 8.1: študijsko območje	90

KAZALO ENAČB

Enačba 3.1: faktor urne konice PHF	27
Enačba 3.2: število potnikov v 15 minutni konici P_{15}	28
Enačba 3.3: zadrževalni čas t_d	29
Enačba 3.4: slučajna spremenljivka neuspešnosti prihodov Z	33
Enačba 3.5: določitev operativne meje t_{om}	34
Enačba 3.6: prometna zmogljivost perona B_l	37
Enačba 3.7: prometna zmogljivost postajališča B_s	45
Enačba 3.8: potniška zmogljivost proge P	50
Enačba 3.9: potniška zmogljivost postajališča P_s	51
Enačba 5.1: vpliv desnih zavijalcev na zmogljivost proge na avtobusnem voznem pasu	72
Enačba 5.2: prometna zmogljivost postajališča na progi na avtobusnem voznem pasu B_s	73
Enačba 5.3: hitrost avtobusov na avtobusnih voznih pasovih S_t	75
Enačba 5.4: korekcijski faktor mešanega prometa f_m	80
Enačba 5.5: prometna zmogljivost postajališča na progi v mešane mprometu B_s	81

KAZALO DIAGRAMOV

Diagram št. 3.1: zveza med neuspešnostjo prihodov, operativno mejo in zmogljivostjo perona oz. postajališča	36
Diagram št. 3.2: zmogljivost avtobusnega postajališča v odvisnosti od števila peronov, faktorja g/C in zadrževalnega časa	44
Diagram št. 5.1: vpliv zadrževalnega časa, desnih zavijalcev in pešcev na prometno zmogljivost proge	73
Diagram št. 5.2: vpliv naraščanja števila avtobusov na avtobusnem voznem pasu na njihove hitrosti	78
Diagram št. 5.3: zmogljivost proge v odvisnosti od števila ostalih vozil in lokacije postajališč	81
Diagram št. 7.1: postajališče v niši, 400 voz/h, primestno naselje – neuspešnost prihodov 2.5%, c_v 60%	84
Diagram št. 7.2: postajališče v niši, 400 voz/h, mestno središče – neuspešnost prihodov 10%, c_v 60%	84
Diagram št. 7.3: postajališče v niši, 400 voz/h, največja zmogljivost – neuspešnost prihodov 25%, c_v 60%	85
Diagram št. 7.4: postajališče v niši, 800 voz/h, primestno naselje – neuspešnost prihodov 2.5%, c_v 60%	85
Diagram št. 7.5: postajališče v niši, 800 voz/h, mestno središče – neuspešnost prihodov 10%, c_v 60%	86
Diagram št. 7.6: postajališče v niši, 800 voz/h, največja zmogljivost – neuspešnost prihodov 25%, c_v 60%	86
Diagram št. 7.7: postajališče na vozišču, primestno naselje – neuspešnost prihodov 2.5%, c_v 60%	87
Diagram št. 7.8: postajališče na vozišču, mestno središče – neuspešnost prihodov 10%, c_v 60%	87
Diagram št. 7.9: postajališče na vozišču, največja zmogljivost – neuspešnost prihodov 25%, c_v 60%	88

SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV

PHF	... faktor urne konice
P_h	... število potnikov v urni konici
P_{15}	... število potnikov v 15 minutni konici
t_d	... zadrževalni čas (s)
P_a	... število izstopajočih potnikov skozi najbolj obremenjena vrata (p)
t_a	... izstopni oskrbovalni čas (s/p)
P_b	... število vstopajočih potnikov skozi najbolj obremenjena vrata (p)
t_a	... vstopni oskrbovalni čas (s/p)
t_{oc}	... potrebni čas za odpiranje in zapiranje vrat (s)
Z	... slučajna spremenljivka neuspešnosti prihodov
s	... standardna deviacija zadrževalnega časa
t_{om}	... operativna meja (s)
t_i	... zadrževalni čas, ki ne bo prekoračen pogosteje kot zelena neuspešnost prihodov
c_v	... koeficient spremenljivosti zadrževalnega časa
B_l	... prometna zmogljivost perona (bus/h)
g/C	... faktor zelenih intervalov
t_c	... odhodni čas (s)
B_s	... prometna zmogljivost avtobusnega postajališča (bus/h)
N_{el}	... faktor učinkovitosti
P	... potniška zmogljivost (p/h)
P_{max}	... največje dovoljeno število potnikov na avtobus (p/bus)
f	... načrtovana frekventnost proge (bus/h)
B	... prometna zmogljivost avtobusne proge (bus/h)
P_s	... potniška zmogljivost posameznega postajališča (p/h)
f_r	... korekcijski faktor desnih zavijanj
f_l	... faktor lokacije avtobusnega postajališča
v_r	... število desnih zavijalcev (voz/h)
c_r	... zmogljivost zaradi vpliva desnih zavijalcev (voz/h)
S_t	... potovalna hitrost (km/h)

t_r	... obratovalni čas avtobusov (min/km)
t_l	... izgubljeni obratovalni čas avtobusov (min/km)
f_b	... korekcijski faktor interference
f_m	... korekcijski faktor mešanega prometa
v	... število ostalih vozil na voznem pasu v obravnavanem križišču
c	... zmogljivost voznega pasu v obravnavanem križišču
$t_{c,m}$... povprečni potovalni čas v smeri center v medkoničnem času (h)
$t_{v,m}$... povprečni potovalni čas v smeri Vižmarje v medkoničnem času (h)
$t_{c,n}$... povprečni potovalni čas v smeri center v nočnem času (h)
$t_{v,n}$... povprečni potovalni čas v smeri Vižmarje v nočnem času (h)
$v_{c,a}$... povprečna hitrost avtobusov v smeri center, avtobusni vozni pas (km/h)
$v_{v,a}$... povprečna hitrost avtobusov v smeri Vižmarje, avtobusni vozni pas (km/h)
L	... dolžina obravnavanega odseka proge (km)
$v_{c,o}$... povprečna hitrost avtobusov v smeri center, obstoječe stanje (km/h)
$v_{v,o}$... povprečna hitrost avtobusov v smeri Vižmarje, obstoječe stanje (km/h)
Δv	... razlika v potovalnih hitrostih (km/h)
Δt	... razlika v potovalnih časih (h)

1.0 UVOD

Z vse večjim številom osebnih vozil na cestah postajajo prometne razmere v večini mest vse bolj nevzdržne. Za mnogo voznikov, ki jim tako v Sloveniji kot po mnogih drugih deželah avtomobil predstavlja statusni simbol ali pa vsaj občutek osebne svobode, se mit o tovrstni svobodi vsakodnevno razblinja v prometnih zastojih in dolgih iskanjih prostih parkirnih mest. Zaradi potrebe po zmanjšanju prometnih obremenitev zaradi osebnih vozil, pa tudi zaradi vse večje ozaveščenosti prebivalstva, se večajo potrebe po vzpostavitvi kakovostnega potniškega prometa.

Trenutno je razkorak med stanjem obstoječega avtobusnega potniškega sistema ter željami aktualnih in potencialnih uporabnikov precejšen. Ena od posledic tega je nenehno zmanjševanje deleža uporabe javnega prevoza v celotni strukturi potovanj. Sprememba tega trenda v korist uporabe avtobusnega potniškega prometa ne sme biti predvsem na račun restriktivnih ukrepov za omejevanje uporabe osebnih vozil, ki so poleg cen pogonskih goriv vse pre pogosto edini vzvod prometne politike, temveč je potrebno težiti k izboljšanju obstoječe ponudbe ter po možnosti k njeni razširitvi.

Z bolj kakovostno ponudbo bi bilo gotovo mogoče ustaviti trend odliva potnikov in pridobiti tudi nove uporabnike. V diplomski nalogi so obdelani različni ukrepi, s katerimi je mogoče povečati učinkovitost avtobusnega potniškega sistema in s tem povečati kakovost.

V teoretskem delu naloge, ki je izdelana na osnovi študije za vrednotenje avtobusnega potniškega prometa »*Bus Route Evaluation Standards, A Synthesis of Transit Practice*«, ki jo je leta 1995 izdelala ameriška raziskovalna agencija *Transportation Research Board* v sklopu študije *Transit Cooperative Research Program* ter priročnika za določanje zmogljivosti avtobusnega potniškega prometa »*Transit Capacity and Quality of Service Manual – 2nd Edition*«, so prikazani kriteriji za načrtovanje avtobusnih prog in vrsta ukrepov za izboljšanje zmogljivost avtobusnih prog.

V praktičnem delu naloge je narejena analiza učinkov možnih ukrepov za povečanje zmogljivosti in skrajšanja potovalnega časa avtobusov mestnega prometa na odseku Celovške ceste med križiščem s Kosmačevo in križiščem z Litostrojsko cesto. Za povečanje zmogljivosti obravnavane avtobusne proge je predvidena uvedba avtobusnega voznega pasu in sprememba načina plačevanja voznine.

2.0 KRITERIJI ZA NAČRTOVANJE AVTOBUSNEGA POTNIŠKEGA PROMETA

2.1 Kriteriji za načrtovanje avtobusne proge

Pri zasnovi nove avtobusne proge ali rekonstrukciji obstoječe je potrebno upoštevati kriterije, s katerimi določimo in utemeljimo njen potek in ki so razdeljeni v osnovne in sekundarne.

Osnovni kriteriji so:

- gostota naseljenosti
- gostota zaposlenosti
- pokritost z avtobusnimi progami
- omejitev števila deviacij in odcepov
- enakomerna geografska pokritost

Sekundarni kriteriji so:

- zasnova sistema
- potek in redukcija podvajanja prog
- priključljivost na mrežo
- pravičnost ponudbe
- smer proge
- dostopnost za stanovalce
- dostopnost za ostale uporabnike
- omejitev števila prestopanj
- lociranje avtobusnih postajališč
- razdalja med avtobusnimi postajališči

2.1.1 Osnovni kriteriji

Osnovni kriteriji bolj kot samo načrtovanje odsevajo poslovno politiko ponudnika avtobusnih potniških storitev.

2.1.1.1 Gostota naseljenosti

Gostota naseljenosti nam pove, kolikšno je število prebivalcev na kvadratni kilometer na obravnavanem območju. S pomočjo teh podatkov je mogoče najboljše oceniti potencialne avtobusne proge. Pri tovrstnih analizah je mogoče uporabiti tudi druge dostopne demografske baze podatkov kot so npr. lastništvo osebnih avtomobilov.

2.1.1.2 Gostota zaposlenosti

Gostota zaposlenosti nam pove, kolikšno je število zaposlenih na kvadratni kilometer na obravnavanem območju.

2.1.1.3 Pokritost z avtobusnimi progami

S pomočjo tega kriterija se določijo razdalje med sosednjimi avtobusnimi progami, ki potekajo na določenem območju. Potnikom se poskuša zagotoviti čim boljše dostopnost, pri čemer je potrebno upoštevati tudi razpoložljive resurse ponudnika avtobusnih prevoznih storitev. Z določitvijo idealnih razdalj ponudnik prevozov poskuša zagotoviti, da se proge na posameznih področjih ne prekrivajo in da je ponudba na njih ustrezno porazdeljena.

2.1.1.4 Omejitev števila deviacij in odcepov

S tem kriterijem se zajamejo vožnje potem, ko avtobus zapusti glavno smer proge. Vpliv deviacij in odcepov je upoštevan v smeri glavne avtobusne proge in ne na ulicah, po katerih potekajo deviacije oziroma odcepi. Z upoštevanjem tega kriterija se zagotavlja točnost modela ne glede na to, kakšna je smer ulic, po katerih poteka glavna avtobusna proga.

2.1.1.5 Enakomerna geografska pokritost

Posamezna avtobusna proga lahko poteka skozi območja, ki imajo uveljavljene različne načine plačevanja voznine, subvencioniranja potniškega prometa itd.

Ker avtobusne proge delujejo z različno stopnjo intenzivnosti je potrebno kriterij enakomerne geografske pokritosti uporabljati brez upoštevanja različnega nivoja uslug. S progo, ki zagotavlja geografsko pokritost, se namreč mogoče sploh ne opravlja pomembne dejavnosti temveč se zgolj zagotavlja prisotnost.

2.1.2 Sekundarni kriteriji

2.1.2.1 Zasnova sistema

Ta kriterij ima funkcijo povezave med novimi in obstoječimi progami v sistemu. Obravnava na primer problematiko povezano s prestopanjem potnikov na presečiščih novih in obstoječih prog, skupno uporabo postajališč itd.

2.1.2.2 Potek in redukcija podvajanja prog

Ta kriterij je potrebno upoštevati v primerih, ko se dve ali več različnih prog, ki delujejo na istem področju, močno približajo druga drugi. Zagotoviti je potrebno nadzor nad podvajanjem avtobusnih prog, tako da je ponudba enakomerno porazdeljena.

Podatkovno bazo za ocenjevanje po tem kriterijev je možno pridobiti s pomočjo analiz načrta prog ali celotnega sistema ter z različnimi primerjavami prevoženih kilometrov. Pri analiziranju podvajanja, zlasti na situacijah in načrtih, se je potrebno zavedati, da dve vzporedni progi lahko delujeta na dveh popolnoma različnih področjih in da ena ne more opravljati vloge obeh. Ena ima lahko omejeno zmogljivost, deluje na glavnih prometnicah z relativno velikimi potovalnimi hitrostmi in podobno, medtem ko druga lahko opravlja svojo

funkcijo na bolj lokalnem nivoju. Kombinacija dveh prog ne pomeni nujno zmanjšanja potrebnih resursov, saj zmanjšanje potovalnih hitrosti in števila postajališč lahko povzroči nezadovoljstvo potnikov, ki se jim zdi, da potovanje poteka počasneje ter da so postajališča preveč oddaljena.

2.1.2.3 Priključljivost na mrežo

Priključljivost na mrežo je kriterij, ki pomeni fizično povezavo med novo progo in obstoječim sistemom kot celoto - premisliti je potrebno, kako na primer v obstoječ mrežno zasnovani sistem vključiti novo krožno zasnovano progo. Primer izboljšanja celotnega sistema je lahko združitev dveh slabo delujočih prog v eno močnejšo progo z izboljšano učinkovitostjo.

2.1.2.4 Pravičnost ponudbe

Pravičnost ponudbe lahko pomeni veliko različnih stvari. Pravično porazdelitev ponudbe javnega transportnega sistema je mogoče razumeti kot človekovo pravico in javno dobro, lahko pa je to enostavno porazdelitev ponudbe ali uporaba populacijskega kriterija.

2.1.2.5 Smer proge

Na deviacijah avtobusnih prog je glede na direktno smer potrebno z računskimi postopki določiti naslednje parametre:

- podaljšan potovalni čas za potovanja v eno smer
- podaljšanje potovalnega časa glede na potovalni čas osebnega vozila
- omejitev števila prepotovanih kilometrov, ki določajo največje število deviacij na posamezni progi
- omejitev podaljševanja povprečnega potovalnega časa potnika
- omejitev absolutnega skupnega števila deviacij

- deviacija mora biti bolj učinkovita kot celotna proga in ne sme zmanjševati njene skupne učinkovitosti

Kot deviacijo lahko obravnavamo vsako spremembo smeri glavne proge glede na najbolj direktno možno smer, lahko pa je to tudi vsaka vožnja avtobusa, potem ko zapusti glavno progo – pojem deviacija v tem primeru ni povezan z ulicami, po katerih poteka, temveč s smerjo glavne proge. Za razliko od odcepa, ki se od glavne trase vedno bolj oddaljuje, se odseki deviacij ponovno priključujejo na glavno traso. Najpogosteje se jo vseeno povezuje s cestnim omrežjem in ne z glavno smerjo.

Za avtobuse, ki zapustijo glavne prometnice zato, da lahko oskrbijo odmaknjena stanovanjska območja ali območja z gospodarsko dejavnostjo, veljajo naslednje omejitve in pogoji:

- največje podaljšanje potovalnega časa v eni smeri lahko zaradi deviacije znaša 5 - 8 minut
- potovalna razdalja se glede na potovalno razdaljo osebnih vozil lahko poveča za največ 20 – 40%
- prepotovana razdalja se lahko na posamezni progi poveča za največ 1.60 km
- povprečen potovalni čas se lahko za posameznega potnika poveča za največ 10 – 25%
- potovalni čas avtobusa lahko znaša največ dvakrat toliko, kot znaša potovalni čas osebnega avtomobila

2.1.2.6 Dostopnost za stanovalce

Matematične definicije tega kriterija ni, saj je dostopnost predvsem subjektivna ocena stanovalcev samih. S progo se je potrebno čimbolj približati stanovanjskim območjem, ne da bi zaradi tega nastajale nepotrebne zamude in bi se potovalo »po ovinkih«. Pri načrtovanju proge je potrebno upoštevati različne dejavnike kot so gostota naseljenosti, dostopnost, cilji potovanj, cenovna ugodnost in prevoznost – geometrijski elementi cest morajo omogočati promet avtobusov.

2.1.2.7 Dostopnost za ostale uporabnike

Podobno kot za stanovalce tudi za ostale uporabnike dostopnost ni matematično definirana, saj je to predvsem subjektivna ocena vsakega posameznega uporabnika. Storitve je potrebno čimbolj približati vsakemu potencialnemu potniku, ne da bi zaradi tega prihajalo do nepotrebnih zamud in podaljševanja potovanj. Pri načrtovanju proge v območjih z gospodarsko ali kakšno drugo dejavnostjo je potrebno upoštevati različne dejavnike kot so gostota zaposlenosti, cenovna ugodnost in prevoznost, povezana predvsem z geometrijo prometnic.

2.1.2.8 Omejitev števila prestopanj

O tovrstni omejitvah je potrebno razmišljati, kadar je zasnova proge takšna, da je pomemben delež uporabnikov prisiljen prestopati. Določeno območje ima lahko zagotovljen dostop do mestnega potniškega prometa s pomočjo stranske proge in mora zato veliko potnikov prestopati, lahko pa je potek glavne proge takšen, da zajame čimveč območij in je potreba po prestopanju močno zmanjšana.

2.1.2.9 Lociranje avtobusnih postajališč

Avtobusna postajališča je možno izvesti na vozišču ali v niši, locirana pa so lahko pred ali za križiščem ter med dvema sosednjima križiščema.

2.1.2.10 Razdalja med avtobusnimi postajališči

Pri določanju razdalje med postajališči je potrebno upoštevati tako potrebe potnikov, ki si želijo na poti do postajališča prehoditi čim krajše razdalje, kot tudi zahteve glede potovalne hitrosti. Vendar udobje potnikov pri določanju razdalj ni tako močan argument, kot se zdi na prvi pogled, razen, če je osnovni pogoj dvosmerna proga s postajališčem pri vsaki ulici. V

realnih okoliščinah bo glavnina potnikov namreč pešačila od izhodišča do najbližjega postajališča.

2.2 Kriteriji za načrtovanje voznega reda

Pri načrtovanju voznega reda je potrebno izhajati iz čakalnega časa med posameznimi vožnjami, zasedenostjo avtobusa ali pa obojega hkrati ter upoštevati naslednje dejavnike:

- različni nivoji delovanja
- različen značaj delovanja
- največje število stojišč
- najdaljši interval
- razmerje med potniškimi konicami in običajnim številom potnikov
- najkrajši interval
- razmerje med stojišči in sedišči
- potovalni čas za stojišča
- časovna uskladitev srečanj avtobusov, čakalni čas za prestopanja
- urna zasnova voznega reda
- obratovalni čas

2.2.1 Različni nivoji delovanja proge

Ta kriterij kaže na dejstvo, da za različne nivoje delovanja proge kot so lokalne ali medkrajevne, veljajo različne zahteve. Avtobus, ki na primer vozi po cesti z omejenim dostopom za potnike, ne bo predviden za prevoz stoječih potnikov, medtem ko bo imel lokalni avtobus predviden tako sedeže kot stojišča.

2.2.2 Različen značaj delovanja proge

Za avtobusne proge, ki delujejo v različnih pogojih, je priporočljivo uporabljati različne kriterije. Takšni primeri so medkrajevne, mestne, glavne, stranske, krožne proge ter shuttle - avtobus, ki vozi na kratkih razdaljah v obeh smereh.

V velikih mestih v tujini avtobusni prevoz potnikov opravlja več avtobusnih prevozniških podjetij hkrati ali pa na primer eno podjetje opravlja storitev v centru mesta, druga pa v posameznih primestnih četrtih. Istočasno je lahko prevoz potnikov zagotovljen še z mestno in podzemno železnico ter s tramvaji. Potniki primerjajo posamezne ponudnike in se odločajo za kakovostnejšo storitev. Tudi posamezni ponudniki prevozov se v boju za potnike primerjajo s konkurenco.

2.2.3 Največje število stojišč

To je največje število stojišč na posamezno potovanje. Avtobusni prevoznik načrtuje dodatno ponudbo zato, da povprečno število stojišč na posameznem avtobusu ostane manjše od dopustnega.

Na število stojišč močno vpliva notranja zasnova avtobusa. Na progah - običajno medkrajevnih - na katerih stojišča niso predvidena, praviloma vozijo avtobusi s širšimi sedeži in ožjimi prehodi.

2.2.4 Najdaljši interval

To je najdaljši časovni presledek, ki ga prevoznik dopušča med načrtovanima vožnjama dveh avtobusov. Na primer, vožnja avtobusa je lahko predvidena vsakih 30 minut ali pa vsaki 2 uri.

2.2.5 Razmerje med potniškimi konicami in običajnim številom potnikov

Za delovanje ob potniških konicah ter v času običajnih potniških obremenitev je priporočljivo upoštevati različna merila.

2.2.6 Najkrajši interval

To je najkrajši časovni presledek, zahtevan med načrtovanima vožnjama dveh avtobusov. Vožnje avtobusov torej ne bodo bolj pogoste kot na vsakih »X« minut.

2.2.7 Razmerje med stojišči in sedišči

Število stojišč je mogoče določiti v absolutnem številu ali pa procentualno glede na število sedežev.

Potniški sistem je lahko zasnovan tudi tako, da ima vsak potnik zagotovljen sedež. Takšna poslovna politika običajno pride v poštev na hitrih direktnih progah in za posebne prevoze.

2.2.8 Potovalni čas za stojišča

Potovalni čas za stojišča je definiran kot maksimalni čas, med katerim bo stala glavnina potnikov na stojiščih. Nekateri potniški sistemi stojišča načrtujejo, vendar tako, da je omejijo potovalni čas potnikov na stojiščih.

Potovalni čas za stojišča se določi z meritvami na terenu. Na stranskih in hitrih progah je to enostavna naloga – čas merimo od trenutka vstopa prvega potnika na stojišče do izstopa zadnjega. Veliko težje ga je določiti na mestnih progah, kjer so stojišča zasedena le na posameznih odsekih od postajališča do postajališča. Prihaja do izmenjave potnikov, zato ob

predpostavki, da po sprostitvi sedeža le-tega zasedene eden od stoječih potnikov, nobeden od potnikov ne bo stojišča zasedal preveč dolgo.

2.2.9 Časovna uskladitev srečanj avtobusov, čakalni čas za prestopanja

Zaradi večje kakovosti avtobusnih prevoznih storitev je potrebno srečanja dveh ali več avtobusov na različnih progah časovno uskladiti, s čimer se skrajšajo čakalni časi za potnike, ki morajo prestopati.

2.2.10 Urna zasnova voznega reda

Urno zasnovani vozni red je zasnovan tako, da je s seštevanjem intervalov mogoče dobiti število 60. Na primer, načrtujejo se 12 ali 15 minutni intervali, 13 ali 17 minutni pa ne. Takšen vozni red si uporabniki veliko lažje zapomnijo, saj avtobusi enakomerno prihajajo vsak dan in vsako uro. Z vidika stroškov pa je takšen vozni red, seveda v odvisnosti od posebnih pogojev na vsaki prog, lahko drag. Težko ga je načrtovati v mrežnih sistemih z veliko presečišči in številnimi progami.

2.2.11 Obratovalni čas

Obratovalni čas so tisti dnevi in ure, ko potniški transportni sistem obratuje – od ure pričetka do ure konca ali 24 urno obratovanje ter vikendi in/ali sobote in/ali nedelje.

2.3 Kriteriji za določitev ekonomičnosti in produktivnosti

Pri ocenjevanju ekonomičnosti in produktivnosti avtobusne proge, za kar je potrebno poznati pet ključnih spremenljivk in sicer *delovne ure avtobusov, prevožene kilometre avtobusov, število potnikov, dohodke in operativne stroške proge*, je potrebno upoštevati naslednje kriterije:

- število potnikov na uro
- stroški na potnika
- število potnikov na kilometer
- število potnikov na potovanje
- prevoženi kilometri na potnika
- dohodek proge na potnika
- subvencija na potnika
- minimalno razmerje za povračilo variabilnih stroškov proge
- minimalni stroški proge vključno s semi-variabilnimi in/ali fiksnimi stroški
- primerjava z ostalimi progami v sistemu

Navedeni kriteriji so primerni za ocenjevanje posameznih prog ali skupine prog in manj za transportni sistem kot celoto.

Določitev mnogih značilnosti transportnega sistema je povezana z meritvami časa in razdalj in sicer v času, ko posamezni avtobus opravlja dohodkovno ali nedohodkovno dejavnost oziroma vozi in je načrtovan za prevoz potnikov ali pa, da ne vozi. Med nedohodkovnim delovanjem avtobusa se na primer meri razdalja/čas vožnje od garaže do proge, razdalja/čas vožnje od ene proge do druge ali čas, porabljen med mirovanjem na postaji.

2.3.1 Število potnikov na uro

Število potnikov na uro je število potnikov, ki jih en avtobus prepelje v eni uri. Če avtobus prevaža potnike pet ur, za določitev števila potnikov/uro skupno število potnikov delimo s

pet. Pet obratovalnih ur avtobusa je lahko pet ur obratovanja posameznega avtobusa ali pa ena ura obratovanja petih avtobusov.

Štetje potnikov je mogoče izvesti po dveh različnih metodah:

- *nerazčlenjena potovanja*: šteje se vsakega potnika, ki vstopi na avtobus
- *razčlenjena potovanja*: ne upošteva se prestopanj potnikov. Štejejo se le potniki, ki celotno potovanje opravijo na isti progi

Delovne ure avtobusa na progi lahko določimo na dva načina:

- *efektivne delovne ure*: upoštevamo le čas, ki ga avtobus dejansko porabi za vožnjo na progi in ne upoštevamo časa, ko ne more prevažati potnikov
- *skupne delovne ure*: upoštevamo vse delovne ure, tudi vožnje od garaže do proge, vožnje med dvema progama in mirovanja na postajah

2.3.2 Stroški na potnika

Stroški na potnika so stroški obratovanja avtobusne proge, deljeni s številom potnikov. Za določanje produktivnosti proge je to eden ključnih parametrov. Upoštevati je mogoče le variabilne stroške, lahko pa so to skupni stroški, torej vsota fiksnih in variabilnih.

2.3.3 Število potnikov na kilometer

Število potnikov na kilometer je število potnikov, prepeljanih na kilometer proge in sicer z enim avtobusom. Pet avtobusnih kilometrov lahko opravi en avtobus na petih kilometrih proge ali pa pet avtobusov na enem kilometru proge – v obeh primerih je potrebno za določitev števila potnikov na kilometer njihovo skupno število deliti s pet.

2.3.4 Število potnikov na potovanje

Število potnikov na potovanje je skupno število potnikov, prepeljanih z eno vožnjo in v eni smeri. Ker v enačbi ni imenovalca – kilometrov, ur, stroškov – je ta parameter bolj ali manj pomemben le za izvajalca avtobusne prevozniške storitve in je uporaben predvsem na hitrih direktnih progah, običajno medkrajevnih.

2.3.5 Prevoženi kilometri na potnika

Število prevoženih kilometrov na posameznega potnika dobimo tako, da število prevoženih kilometrov na enem potovanju v eni smeri delimo s skupnim številom prepeljanih potnikov. Ta parameter je dober pokazatelj produktivnosti predvsem na progah, ki delujejo na relativno velikih razdaljah, imajo relativno malo postankov in veliko število potnikov, kar je značilnost direktnih hitrih prog. Primeren je za interno uporabo znotraj posameznega transportnega sistema, ni pa ga priporočljivo uporabljati za primerjavo dveh prog, ki delujeta v različnih pogojih in sistemih.

2.3.6 Dohodek proge na potnika

Z delitvijo vseh prihodkov na posamezni progi s skupnim številom prepeljanih potnikov dobimo dohodek proge na potnika. Čeprav je produktivnost proge mogoče enostavno določiti s štetjem potnikov ter delitev njihovega števila z neko enoto, na primer številom ur ali kilometrov, na ta način ne dobimo vedno dobre predstave o aktivnostih na progi, predvsem v kvalitativnem smislu, saj so se plačevale različne voznine. Na nekaterih progah je lahko število potnikov izrazito neenakomerno, takšen primer so proge z velikim številom šolarjev in študentov, ki imajo popuste pri plačevanju voznine.

2.3.7 Subvencija na potnika

Subvencije so javna finančna sredstva, s katerimi se pokriva razlika med stroški in dohodki na potnika, seveda kadar so stroški višji od dohodkov. V večini primerov je ta parameter obraten od stroškov na potnika in zato odvečen.

2.3.8 Minimalno razmerje za povračilo variabilnih stroškov proge

Minimalno razmerje za povračilo variabilnih stroškov proge je delež direktnih operativnih stroškov proge, ki ga uporabniki pokrijejo s plačevanjem voznine. Vsako avtobusno prevozniško podjetje mora načrtovati, kolikšen delež bo mogoče pokriti na posamezni progi.

Direktni operativni stroški so izdatki za plače in druge prejemke, tekoče vzdrževanje, gorivo, pnevmatike itd. Stroški administracije kot sta računovodstvo in marketing so običajno izvzeti iz direktnih operativnih stroškov in se zajamejo v fiksnih oziroma skupnih stroških.

2.3.9 Minimalni nivo stroškov proge vključno s semi-variabilnimi in/ali fiksnimi stroški

Minimalni nivo stroškov proge je delež določljivih stroškov, ki ga potniki pokrijejo s plačevanjem voznine. Poleg variabilnih so upoštevani tudi semi-variabilni in fiksni stroški.

Analiza posamezne proge je lahko del širše zastavljene študije, v kateri se obdelava več prog ali celoten transportni sistem, na primer v ekonomskem programu. Tako je mogoče prihraniti znatna sredstva zaradi množice majhnih prihrankov. Primer je lahko vzdrževanje avtobusov. Nekontinuirano delovanje posamezne proge ne bo zmanjšalo potrebe sistema po avtomehanikih, toda pet takšnih ukrepov že lahko pomeni določene prihranke. Prihranki, ki se postopno večajo, so semi-variabilni stroški.

2.3.10 Primerjava z ostalimi progami v sistemu

Za posamezno progno se izvede relativna primerjava z ostalimi progami znotraj transportnega sistema. Primerjajo se letna poslovna poročila in se ugotovi, katere proge ne delujejo optimalno. Analize takšnih prog morajo rezultirati v sprejetju ustreznih ukrepov, ki izboljšajo njihovo delovanje.

2.4 Kriteriji za določitev kakovosti prevozov

Za potnike sta pomembna predvsem dva kriterija:

- točnost avtobusov
- enakomernost intervalov

Pri zbiranju statističnih podatkov se zaradi pravil vzorčenja pogosto pridobi zadostna količina podatkov, iz katerih si je mogoče ustvariti dobro sliko o delovanju celotnega transportnega sistema, ni pa takšna baza podatkov zadostna, da bi bilo na njeni osnovi možno opraviti analize posameznih prog.

2.4.1 Točnost avtobusov

Točnost avtobusov je povezana z odstopanji od voznega reda.

Obstaja tudi problem konsistentnosti *vmesnih dni*, ki se ne sklada povsem z običajnim nadzorom točnosti. Če na določeni progi zamude redno znašajo 5 minut je zaželeno, da je avtobus en dan točen, drugi dan zamuja 5 minut itd. Medtem ko je tovrstne informacije težko zbirati, saj bi bilo potrebno izvajati ponavljajoča dnevna opazovanja dogajanja na progi, bi bilo z vidika potnikov to zelo koristno početje. Vsakodnevni nadzor avtobusnega prometa je najlažje izvajati s pomočjo avtomatizirane opreme.

2.4.2 Enakomernost časovnih intervalov

Enakomernost časovnih intervalov je kriterij za določanje zanesljivosti sistema in sicer predvsem z vidika potnikov.

S stališča prevoznika je načrtovani interval enak operativnemu ne glede na to ali so prihodi/odhodi avtobusov točni. Opazovanja temeljijo na času prihodov, pri čemer se ne upošteva ali je avtobus prispel ob načrtovanem času ali ne. Na primer, avtobusi bi na postajališče morali pripeljati ob 5:03, 5:08, 5:13 in 5:18. Nobeden avtobus ne pripelje ob 5:03, pripeljejo pa avtobusi ob 5:09, 5:14, in 5:18:30. Avtobus, ki bi moral prispeti ob 5:03 je prispel ob 5:09, namesto ob 5:08 je prispel ob 5:14 ter namesto ob 5:13 ob 5:18:30. Gledano skozi oči potnikov je bil načrtovani razmak med prihodi vzdrževan v dveh od treh primerov, čeprav so vsi štirje prihodi zamujali oziroma enega celo ni bilo. Potniki bi bili v takšnem primeru s storitvijo relativno zadovoljni. Ob upoštevanju ostalih zahtev, ne le enakomernosti intervalov, pa je zgoraj opisano delovanje proge neustrezno.

Takšne situacije pridejo še bolj do izraza kadar so avtobusi približno tako točni, da njihove zamude znašajo toliko kot znaša načrtovani časovni interval med posameznimi prihodi in je le-ta daljši, kot znaša dopustno odstopanje od voznega reda po merilih prevoznika. Na primer, pri načrtovanem 5 minutnem intervalu vsak posamezni avtobus zamuja za 5 minut. Prevoznik ima kot dopustno zamudo določene 4 minute. Po merilih prevoznika je torej vsak avtobus zamujal in je delovanje proge 0%, medtem ko je z vidika potnika delovanje proge 100 %. Možen je tudi drugačen primer: pri 2 minutni frekvenci lahko trije avtobusi prispejo istočasno po 4 minutah. Kar se tiče točnosti je ta v takšnem primeru 100%, potniki pa bi bili s storitvijo vseeno zelo nezadovoljni. Poenostavljeno bi bilo mogoče reči, da je proga delovala 300% slabo. Prvi avtobus je zamujal 2 minuti, naslednji interval je bil predviden čez 4 minute, torej je netočnost znašala 200%. Drugi avtobus je bil točen. Tretji avtobus je bil 2 minuti prezgoden, torej je netočnost znašala 100%. Skupna netočnost ali nedelovanje proge je $200\%+100\%=300\%$.

2.5 Kriteriji za določitev udobja in varnosti potnikov

Kriteriji za določitev udobja in varnosti potnikov so naslednji:

- pritožbe potnikov
- odpovedane vožnje
- nenačrtovane dodatne vožnje
- nesreče
- pogoji potovanja

2.5.1 Pritožbe potnikov

Za evidentirane pritožbe potnikov na posamezni progi se določi neka enota, na primer *število pritožb/1000 potnikov*, pri čemer je seveda potrebno upoštevati njene specifičnosti. Na manj frekventni progi mora biti enota manjša kot na frekventnejši progi.

2.5.2 Odpovedane vožnje in nenačrtovane dodatne vožnje

Odpovedane vožnje in nenačrtovane dodatne vožnje so tiste, ki so iz različnih razlogov odpadle oziroma so bile dodane na običajni vozni red. Vsakodnevno delovanje sistema je zelo dinamičen proces in čeprav je vozni red natančno načrtovan pogosto pride do tega, da je vožnja bodisi odpovedana, na primer zaradi okvare avtobusa itd., bodisi je potrebno predvideti dodatno vožnjo, na primer zaradi posebnih dogodkov kot so različne prireditve, šolski informativni dnevi itd.

2.5.3 Nesreče

Kot nesreče so obravnavani dogodki, v katerih se poškodujejo ljudje ali nastane materialna škoda. Ocena števila nesreč na kilometer proge ali na število potnikov lahko razkrije marsikatero anomalijo.

2.5.4 Pogoji potovanja

Pogoji potovanja so vsi dejavniki, kot so na primer čistoča avtobusa, stanje in opremljenost vozila, funkcionalnost opreme na postajališčih in postajah, neoznačenost cilja potovanja itd., ki vplivajo na potnikovo udobje in varnost. Potrebne podatke je mogoče zbrati na več načinov:

- s kontrolami na terenu, ki ga opravi administrativno/vodstveno osebje
- s sestavljenimi kontrolami, ki jih opravijo kontrolorji prometa s pomočjo instrumentarija
- raziskave trga, opravljene na splošnem vzorcu ali ciljni skupini

3.0 ZMOGLJIVOST AVTOBUSNEGA POTNIŠKEGA PROMETA

3.1 Splošno

Zmogljivost posamezne avtobusne proge je v glavnem omejena s tremi dejavniki:

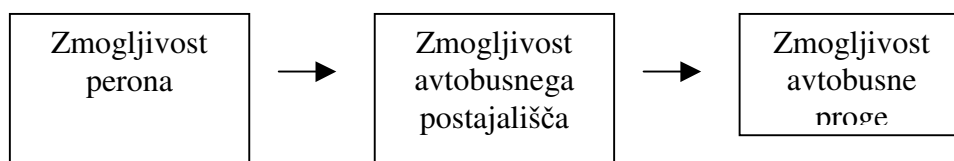
- sposobnostjo vstopanja in izstopanja potnikov na postajališčih
- številom operativnih vozil
- distribucijo vstopov in izstopov vzdolž proge

V nadaljevanju bodo obdelane in prikazane metode za določanje zmogljivosti za različne primere in tipe organiziranosti avtobusnega potniškega prometa.

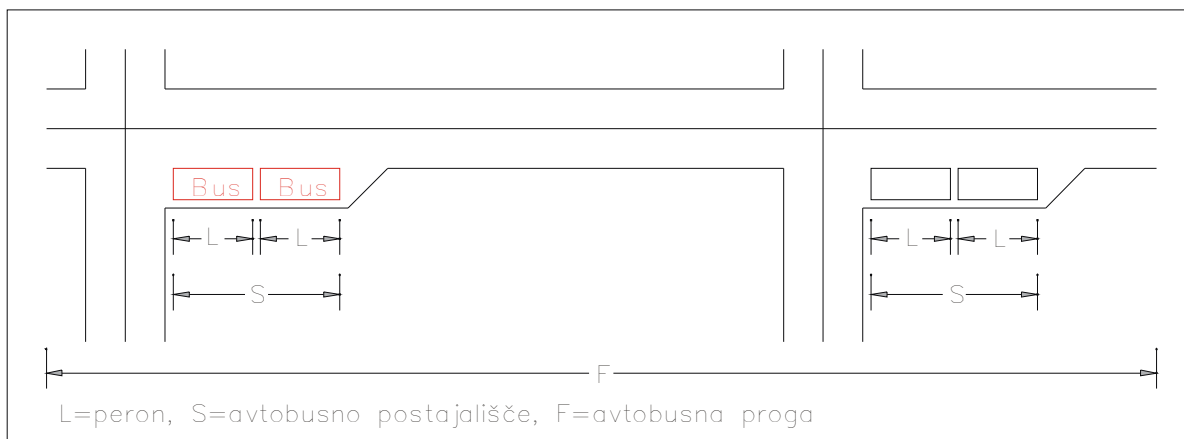
3.2 Proces določanja zmogljivosti

Zmogljivost avtobusnega potniškega prometa se določa na treh ključnih lokacijah:

1. *Peron (loading area L)* je običajno od vozišča z robniki ločena in dvignjena površina, ob kateri avtobus lahko ustavi in je namenjena vstopanju/izstopanju potnikov.
2. *Avtobusno postajališče (bus stop S)* je sestavljeno iz enega ali več peronov, odvisno od števila avtobusov, ki na njemu lahko ustavljajo.
3. *Avtobusna proga (bus facility F)* je trasa, po kateri vozijo avtobusi in vključuje večje število avtobusnih postajališč vzdolž proge.



Zmogljivost avtobusnega postajališča je odvisna od zmogljivosti posameznih peronov, ki ga sestavljajo. Zmogljivost avtobusne proge je omejena z zmogljivostmi kritičnih postajališč vzdolž proge - postajališč z največjim številom potnikov in najdaljšim zadrževalnim časom.



Slika 3.1: zveza med peroni, avtobusnimi postajališči in avtobusno progo

3.2.1 Peroni

Zmogljivost posameznega perona je odvisna od naslednjih dejavnikov:

- *zadrževalni čas (dwell time)* – povprečna vrednost postankov od trenutka zaustavitve vključno s časom, potrebnim za odpiranje in zapiranje vrat
- *odhodni čas (clearance time)* – minimalni potreben čas za pospeševanje in odhod avtobusa vključno s čakanjem pri vključevanju v promet
- *spremenljivost zadrževalnega časa (dwell time variability)* – pogostost zadrževanja avtobusov na posameznem peronu
- *neuspešnost prihodov (failure rate)* – verjetnost, da bo avtobus prispel ravno v času, ko se na postajališču oz. ob peronu že nahaja drug avtobus

Iz vsote zadrževalnega in odhodnega časa lahko določimo povprečno trajanje postankov avtobusov oziroma postajnih časov. Kombinacija spremenljivosti zadrževalnega časa in neuspešnosti prihodov določa dodatno časovno omejitev za zagotavljanje možnosti, da bo

večina avtobusov takoj ob prihodu na postajališče imela dostop do peronov. Z upoštevanjem obeh kombinacij zagotovimo minimalni časovni presledek med prihodi, ki je potreben za preprečevanje interference med posameznimi avtobusi. Število avtobusov na peron določimo tako, da časovno enoto 1 uro oz. 3600 sec delimo z minimalnim časovnim presledkom.

3.2.2 Avtobusna postajališča

Na zmogljivost avtobusnega postajališča vplivajo naslednji dejavniki:

- *število peronov* - dva perona sta sposobna oskrbeti večje število avtobusov kot eden, kar pa ne pomeni nujno dvakrat več
- *zasnova perona* – določa kolikšno dodatno kapaciteto bo zagotavljal posamezni peron
- *prometna signalizacija* – lahko zmanjšuje možnost avtobusa, da vstopi na postajališče ali ga zapusti. V primeru, ko avtobus že zapuša postajališče, pa mu rdeča luč na semaforju preprečuje odhod, se bo na postajališču zadrževal dlje kot bi bilo potrebno in posledično se bo zmanjšala zmogljivost samega postajališča

3.2.3 Avtobusne proge

Zmogljivost avtobusne proge določajo:

- *zmogljivost kritičnega avtobusnega postajališča* – zmogljivost posamezne proge je odvisna od avtobusnega postajališča z najmanjšo zmogljivostjo. To je običajno postajališče z najdaljšim odhodnim časom zaradi težkih pogojev vključevanja v promet. Vzrok temu je lahko velika gostota prometa na cesti ali prometna signalizacija, ki zagotavlja le kratke časovne intervale, v katerih je ob zeleni luči na semaforju možna vključitev v promet.
- *operativni postopki* – avtobusna proga, ki je zasnovana tako, da posamezni avtobus ne ustavlja na vseh postajališčih vzdolž trase temveč posamezna izpušča in le-ta

pokriva drugo vozilo ima lahko bistveno večjo zmogljivost od proge, na kateri se posamezni avtobus zaustavlja na slehernem postajališču.

Zmogljivost avtocest in hitrih cest, na katerih avtobusi ne ustavljajo ni problematična, omejena je le z zmogljivostjo proge na odsekih s potekom pred priključitvijo oziroma po izvozu z avtoceste ali hitre ceste.

3.2.4 Potniška zmogljivost

Največje število potnikov, ki so na posamezni progi lahko prepeljani v določenem časovnem intervalu je odvisno od:

- *zmogljivosti avtobusne proge* – število avtobusov, ki lahko vozijo po posamezni progi v določenem časovnem intervalu
- *največje zasedenosti posameznega avtobusa* – največje število potnikov na vsakem posameznem avtobusu na obravnavani progi
- *vstopanje potnikov in potniško povpraševanje* – vse razpoložljive zmogljivosti ne bodo izkoriščene, saj bodo prihodi potnikov neenakomerni, zato mora biti sistem zasnovan tako, da se ne izpusti nobenega potnika. *Faktor urnih konic* se uporablja za zmanjšanje *teoretične zmogljivosti* - število avtobusov na uro pomnoženih s številom potnikov na avtobus, s čimer dobimo *potniško zmogljivost*, ki jo lahko z razpoložljivimi sredstvi dosežemo sleherni dan.

3.3 Zmogljivost perona

3.3.1 Zadrževalni čas

Zmogljivost posameznega perona je osnova za določanje zmogljivosti avtobusnih postajališč in prog. Določa se na osnovi povprečnega zadrževalnega časa.

Na zadrževalni čas vpliva *vstopanje potnikov* npr. med dopoldansko ali popoldansko konica, ko relativno prazni avtobusi prispejo na zelo polna postajališča, nadalje *izstopanje potnikov* (dopoldanska ali popoldanska konica na isti lokaciji) ali *izmenjava potnikov* kot vsota vstopov in izstopov. V vseh primerih je zadrževalni čas v sorazmerju s številom vstopov/izstopov in časom, potrebnim za oskrbo vsakega potnika.

Na zadrževalni čas vpliva pet glavnih parametrov – dva od njih sta odvisna od potreb potnikov, trije pa so odvisni od časa oskrbe potnika:

- *vstopanje potnikov*. Število potnikov, ki vstopajo skozi najbolj obremenjen vstop je ključni parameter, od katerega je odvisno, kako dolgo bo trajalo, preden bodo vstopili vsi. Prav tako na čas potreben za to, da se zgodijo vsi vstopi oz. izstopi vpliva razmerje med vstopajočimi in izstopajočimi potniki.
- *razdalje med postajališči*. Manjše število postajališč pomeni večje število vstopajočih potnikov na posameznem postajališču. Potrebno je zagotoviti uravnoteženost med premajhnim številom postankov, ki vsak posamezno pomeni relativno dolg zadrževalni čas in relativno dolgim pešačenjem potnikov do postajališča ter prepogostimi postanki, ki zmanjšujejo potovalno hitrost zaradi časa izgubljenega pri pospeševanju, zaviranju in možnimi čakanji na semaforjih.
- *plačevanje voznine*. Na čas, potreben za oskrbo posameznega potnika najbolj vpliva povprečni čas, potreben za plačevanje voznine. Nekateri načini plačevanja omogočajo potnikom vstopanje na avtobus skozi več vrat, tako da je mogoče vse potnike oskrbeti veliko hitreje.
- *tip avtobusa*. Vstopne/izstopne stopnice podaljšujejo potrebni čas za oskrbo posameznega potnika. Na nizkopodnih avtobusih je ta čas krajši kot na visokopodnih.
- *pomikanje potnikov na avtobusu*. V primeru, ko so na avtobusu prisotni stoječi potniki za izpraznitev prostora pri blagajni vstopajoči potniki potrebujejo več časa, saj se morajo ostali pomikati proti zadnjemu delu avtobusa.

Na zadrževalni čas lahko vpliva tudi čas, potreben za vstop in varno namestitve invalidov v invalidskih vozičkih ter čas, potreben za nalaganje koles v za to pripravljen prostor za

prtljago, seveda v primerih, ko ta možnost sploh obstaja. Tovrstne aktivnosti lahko obravnavamo kot slučajne dogodke, razen v primerih, ko se dogajajo pričakovano in jih imenujemo spremenljivost zadrževalnega časa. Npr. vstop invalida v invalidskem vozičku bo rezultiral v daljšem zadrževalnem času od povprečnega, seveda v primeru, ko se sploh zgodi, kar pa ni tako pogost dogodek.

Ustrezna kombinacija vseh naštetih parametrov lahko bistveno vpliva na skrajšanje zadrževalnega časa. To je mogoče doseči s kombinacijo brezplačnih vozovnic, z zmanjšanjem števila sedežev, če so potovalne razdalje kratke, z nizkopodnimi avtobusi – ni stopnic ter s tremi dvojnimi vrati, ki so dovolj široka, da omogočajo vstop/izstop dveh potnikov hkrati.

3.3.1.1 Določanje zadrževalnega časa

Za določanje zadrževalnega časa lahko uporabljamo tri metode:

1. *Meritve na terenu* – najprimernejši postopek za ocenjevanje obstoječih avtobusnih prog
2. *Privzete vrednosti* – metoda primerna za bodoče načrtovanje v primerih, ko ni možno pridobiti zanesljivih podatkov o predvidenem številu vstopajočih in izstopajočih potnikov
3. *Računska metoda* – metoda primerna za primere, ko je za določitev zadrževalnega časa možno pridobiti podatke o številu vstopajočih in izstopajočih potnikov

Metoda 1: meritve na terenu

Najnatanejša metoda za določitev zadrževalnega časa je neposredna meritev na terenu. Povprečni zadrževalni čas in standardna deviacija sta določljiva iz serije opazovanj oziroma opravljenih meritev na terenu. Obrazci za zbiranje podatkov so podani v poglavju 7 – priloge.

Metoda 2: privzete vrednosti

V primerih, ko na posameznem postajališču ni mogoče pridobiti podatkov na terenu ali podatkov o številu potnikov lahko za določitev zadrževalnega časa uporabimo naslednje reprezentativne vrednosti: 60 sekund v centrih mest, na glavnih postajah, v glavnih vozliščih ali na začetnih oz. končnih postajah; 30 sekund na glavnih postajališčih; 15 sekund na tipičnih postajališčih.

Metoda 3: računska metoda

Da je mogoče uporabiti to metodo je potrebno predhodno opraviti štetje ali oceniti število potnikov in jih razdeliti med vstopajoče in izstopajoče.

Korak 1: potrebno je pridobiti podatke o številu potnikov na uro. Ti podatki so potrebni le za najbolj obremenjena postajališča. Če se na posamezni progi uporablja operativna metoda prevoza z izpuščanjem posameznih postajališč je potrebno podatke pridobiti za vsako postajališče.

Korak 2: pretvorba števila potnikov na uro v konično število potnikov. Za izračun faktorja urne konice PHF (peak hour factor) uporabimo enačbo 3.1. Za tranzitne proge je njegova tipična vrednost v območju med 0.60 in 0.95. V pomanjkanju drugih informacij lahko kot privzeto vrednost uporabimo $PHF=0.75$ za primere, ko vozni red ni prilagojen pokrivanju konic, torej za primere, ko operiramo s številom potnikov na uro. Če želimo vozni red prilagoditi pokrivanju konic lahko kot privzeto vrednost uporabimo $PHF=0.85$. Približevanje faktorja PHF vrednosti 1.0 kaže na preobremenjenost sistema in nakazuje potrebo po povečanju kapacitet. V primerih, ko obravnavamo interval daljši od 15 minut indeks v enačbi 1.1 ustrezno prilagodimo, npr. za 20 minutno konico zapišemo $3P_{20}$. V enačbi 3.2 prilagodimo število potnikov na uro tako, da ustreza konici, ki jo obravnavamo.

$$PHF = \frac{P_h}{4P_{15}} \quad \dots \text{enačba 3.1}$$

$$P_{15} = \frac{P_h}{4(PHF)} \quad \dots \text{enačba 3.2}$$

PHF ... faktor urne konice

P_h ... število potnikov v urni konici

P_{15} ... število potnikov v 15 minutni konici

Korak 3: določitev potrebnega oskrbovalnega časa potnika s/p (passenger service time).
Preglednico 3.1 lahko uporabljamo za določitev tega časa za tipični primer, v katerem imajo potniki na voljo le enosmerna vrata in ko vsi vstopajo skozi ena vrata. V primerih, ko lahko potniki vstopajo skozi več vrat, zadrževalni čas določimo s pomočjo preglednice 3.2. Upoštevati je potrebno, da dva vstopa ne prepolvita povprečnega časa vstopanja čeprav pomenita določeno izboljšanje.

Preglednica 3.1 – oskrbovalni čas potnika na avtobusu z enim enosmernim vstopom

Primer	Oskrbovalni čas potnika (s/p)	
	Vrednosti pridobljene z meritvami	Predlagana vrednost
<i>Vstopi</i>		
Predplačilo*	2.25-2.75	2.5
Vozovnica ali žeton	3.4-3.6	3.5
Točno plačilo	3.6-4.3	4.0
Vozovnica za avtomat	4.2	4.2
Plačilne kartice	3.0-3.7	3.5
<i>Izstopi</i>		
Sprednja vrata	2.6-3.7	3.3
Zadnja vrata	1.4-2.7	2.1

* vključuje brezplačno vožnjo, brezplačne vozovnice, plačilo na izhodu.

V primerih, ko so na stojiščih prisotni potniki je potrebno dodati 0.5 s/p vstopnega časa.

Če obravnavamo nizkopodni avtobus brez vstopnih/izstopnih stopnic odštejemo 0.5 s/p vstopnega časa.

Preglednica 3.2 - oskrbovalni čas potnika na avtobusih z več vstopi

Razpoložljivo število vstopno/izstopnih koridorjev	Oskrbovalni čas potnika (s/p)		
	Vstopi*	Izstopi spredaj	Izstopi zadaj
1	2.5	3.3	2.1
2	1.5	1.8	1.2
3	1.1	1.5	0.9
4	0.9	1.1	0.7
6	0.6	0.7	0.5

* dovoljeno je, da se voznina ne plačuje na avtobusu.

Kadar so na stojiščih prisotni potniki se vstopni čas podaljša za 20%. Pri nizkopodnih avtobusih brez vstopno/izstopnih stopnic se vstopni čas skrajša za 20%, na sprednjih vratih za 15% ter na zadnjih za 25%.

Korak 4: prilagoditev oskrbovalnega časa za otežen dvosmerni tok skozi enojni koridor enega vstopa. Kadar 25 do 50% potnikov vstopa skozi enojni koridor enega vstopa in sicer na nasprotni strani od glavnine preostalih potnikov se oskrbovalni čas tako za vstopanje kot izstopanje podaljša za 20%, kar pojasnjuje kopičenje potnikov ter nastanek zastojev na vratih.

Korak 5: izračun zadrževalnega časa. To je čas, potreben za oskrbo potnikov na najbolj obremenjenem vstopu skupaj s časom, potrebnim za odpiranje in zapiranje vrat, za kar je v normalnih okoliščinah potrebno od 2 do 5 sekund.

$$t_d = P_a t_a + P_b t_b + t_{oc} \quad \dots \text{enačba 3.3}$$

t_d ...povprečni zadrževalni čas, (s)

P_a ...število izstopajočih potnikov skozi najbolj obremenjena vrata (p)

t_a ...izstopni oskrbovalni čas (s/p)

P_b ...število vstopajočih potnikov skozi najbolj obremenjena vrata (p)

t_b ...vstopni oskrbovalni čas (s/p)]

t_{oc} ...potrebni čas za odpiranje in zapiranje vrat (s)

3.3.1.2 Vpliv vstopanja invalidov v invalidskih vozičkih na zadrževalni čas

Nekateri novejši tipi avtobusov so že opremljeni z dvigali ali z rampami za invalide. Med uporabo dvigala so vrata blokirana in jih ostali potniki ne morejo uporabljati. Tipičen cikel za uporabo dvigala traja od 60 do 200 sekund, uporaba rampe za invalide na nizkih avtobusih pa ta čas skrajša na 30 do 60 sekund, vključno s časom potrebnim za varno namestitev invalidskega vozička na avtobusu. Daljši cikel vstopanja invalidov je povezan z neizkušenostjo nekaterih uporabnikov. V primerih, ko je vstopanje invalidov pričakovano npr. v bližini zdravstvenih ustanov je potrebno čas, potreben za njihov vstop vštet v povprečni zadrževalni čas. Kadar so vstopi invalidov v invalidskih vozičkih redki in naključni njihov vpliv zajamemo s spremenljivostjo zadrževalnega časa, kar je obdelano v nadaljevanju.

3.3.1.3 Vpliv časa za nalaganje koles na zadrževalni čas

Na avtobusih, ki imajo prostor za prtljago, namenjen kolesom proces nalaganja kolesa vzame od 20 do 30 sekund.

3.3.2 Odhodni čas

Odhodni čas nastopi, ko avtobus zapre vrata in se pripravi za odhod s postajališča, toda peron še vedno ni pripravljen za prihod naslednjega avtobusa. Del tega časa je fiksni in vključuje čas, ko avtobus prične premik in se premakne za svojo dolžino ter izprazni postajališče. V primerih, ko se postajališče nahaja na vozišču je to edina komponenta odhodnega časa.

Kadar obravnavamo postajališča v niši obstaja še ena komponenta odhodnega časa: čas, potreben za ponovno vključitev avtobusa v promet, pri čemur nastane določena zamuda. Zakon sicer določa, da imajo avtobusi prednost pri vključevanju v promet, vendar vsi vozniki tega dosledno ne upoštevajo.

Prednost postajališč na vozišču je v tem, da se izognemo nastanku zamude zaradi ponovnega vključevanja v promet medtem ko je prednost postajališč v nišah v tem, da se na ta način izognemo povzročanju zastojev v ostalem prometu in zmanjšamo potencialno možnost trčenj ostalih vozil in avtobusov.

3.3.2.1 Določanje odhodnega časa

V številnih študijah, ki so se ukvarjale z določanjem odhodnega časa je bilo ugotovljeno, da je dolžina le-tega med 9 in 20 sekundami. Čas, ki ga avtobus potrebuje da prične premik, se premakne za svojo dolžino ter da izprazni postajališče znaša približno 10 sekund. Za postajališča v niši lahko čas, potreben za ponovno vključevanje v promet določimo z merjenjem ali iz preglednice 3.3.

Preglednica 3.3: potrebni čas za ponovno vključitev v promet

Gostota prometa [št.vozil/h]	Povprečna zamuda zaradi vključevanja v promet [s]
100	1
200	2
300	3
400	4
500	5
600	6
700	8
800	10
900	12
1000	15

3.3.3 Spremenljivost zadrževalnega časa

Avtobusi se na postajališčih ne zadržujejo enako dolgo, saj je povpraševanje potnikov po nekaterih avtobusih in progah večje. Vpliv spremenljivosti zadrževalnega časa na zmogljivost sistema je zajet z *koeficientom spremenljivosti zadrževalnega časa* c_v , ki je standardna deviacija zadrževalnega časa, deljena z povprečnim zadrževalnim časom. Če ima koeficient c_v

vrednost 0 so vsi zadrževalni časi enaki, če pa ima vrednost 1.0 ima standardna deviacija zadrževalnega časa enako vrednost kot njegova povprečna vrednost, kar npr. pomeni da bo približno eden od treh avtobusov imel zadrževalni čas dvakrat daljši od povprečnega.

Na osnovi merjenj zadrževalnega časa avtobusov je bilo ugotovljeno, da koeficient c_v običajno zavzema vrednosti med 0.4 in 0.8 s priporočeno vrednostjo 0.6 za primere, ko na voljo nimamo podatkov, pridobljenih z meritvami na terenu. Na spremenljivost zadrževalnega časa in zadrževalni čas vplivajo isti faktorji.

Če zapišemo rezultate serije opazovanj oz. meritev zadrževalnega časa ugotovimo, da se le-ta kot slučajna spremenljivka porazdeljuje po normalni (Gaussovi) porazdelitvi. Krajši interval z višjim vrhom bi pokazal manjšo, daljši interval z nižjim vrhom pa večjo spremenljivost. Zmogljivost perona je največja takrat, ko je na razpolago naslednjemu avtobusu takoj po odhodu prejšnjega. V praksi temu pogoju ni mogoče zadostiti iz več razlogov:

- potovalna hitrost avtobusov je zmanjšana zaradi časa, porabljenega za čakanje na izpraznitev perona
- vozni red ni zanesljiv zaradi različnih zamud
- avtobuse ovira ostali promet

Zaradi tega je v analizo zmogljivosti avtobusnega potniškega prometa vključen pojem *neuspešnost prihodov*, ki kaže kako pogosto pride avtobus na postajališče, ki je že zasedeno. Na osnovi neuspešnosti prihodov, spremenljivosti zadrževalnega časa in njegove povprečne vrednosti lahko določimo *operativno mejo*, ob upoštevanju katere skupaj z zadrževalnim in odhodnim časom lahko dosežemo, da se neuspešni prihodi ne dogajajo prepogosto. Operativna meja je tako maksimalni čas, za katerega posamezni avtobus lahko preseže povprečni zadrževalni čas ne da bi se povečala verjetnost, da postajališča ne bo možno uporabiti, saj se bo zaradi velikega števila avtobusov le-to približalo mejam svoje zmogljivosti. Manjša neuspešnost prihodov pomeni višjo operativno mejo in večjo zanesljivost voznega reda ter manjšo zmogljivost perona. Velja tudi obratno: večja neuspešnost prihodov pomeni nižjo operativno mejo in manjšo zanesljivost voznega reda ter večjo zmogljivost perona.

Iz statistike sledi, da površina desno od podane točke Z pri normalni porazdelitvi – šrafirana površina na diagramu – predstavlja verjetnost, da bo katerikoli podani zadrževalni čas avtobusa daljši (večji) od te količine. Zadrževalni čas t_i , ki pripada vrednosti Z je zajet v enačbi 3.4:

$$Z = \frac{t_{om}}{s} = \frac{t_i - t_d}{s} \dots \text{ enačba 3.4}$$

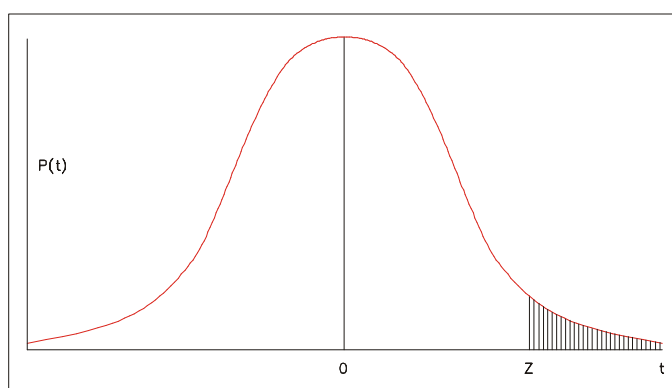
Z slučajna spremenljivka neuspešnosti prihodov

s standardna deviacija zadrževalnega časa

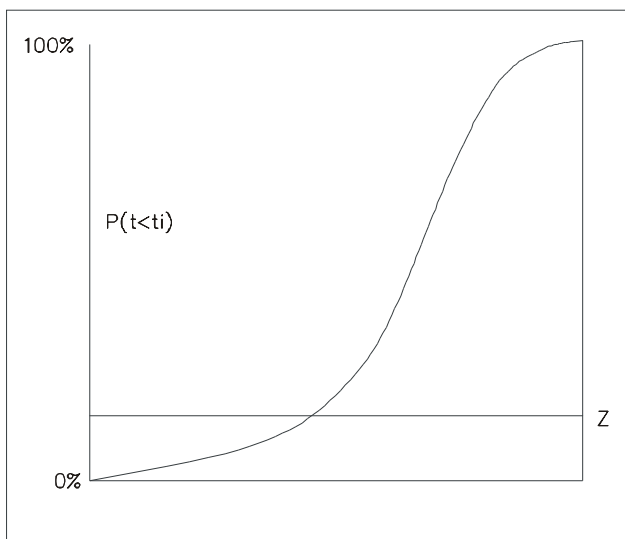
t_{om} operativna meja (s)

t_d povprečni zadrževalni čas (s)

t_i zadrževalni čas, ki ne bo prekoračen pogosteje kot želena neuspešnost prihodov (s)



Slika 3.2 – normalna porazdelitev spremenljivke Z



Slika 3.3 – verjetnost neuspešnosti prihoda avtobusa

S preureditvijo enačbe 3.4 dobimo izraz za določitev operativne meje, zahtevane za doseganje načrtovane neuspešnosti prihodov v primerih, ko se peron oz. postajališče približa mejam svoje zmogljivosti:

$$t_{om} = sZ = c_v t_d Z \dots \text{enačba 3.5}$$

c_v ... koeficient spremenljivosti zadrževalnega časa

Preglednica 3.4: vrednosti spremenljivke Z v odvisnosti od neuspešnosti prihodov

Neuspešnost prihodov	Z
1.0%	2.330
2.5%	1.960
5.0%	1.645
7.5%	1.440
10.0%	1.280
15.0%	1.040
20.0%	0.840
25.0%	0.675
30.0%	0.525
50.0%	0.000

V mestnih središčih priporočljiva vrednost neuspešnosti prihodov znaša od 7.5 do 15%, kar kaže na razmerje med potovalno hitrostjo avtobusov in zahtevano večjo zmogljivostjo sistema v teh območjih. Zgornja 15% meja razkriva premajhno zmogljivost avtobusnega postajališča – nastajajoče vrste čakajočih – kar se dogaja približno deset minut na uro, prav tako pa tudi točko, v kateri se prične potovalna hitrost avtobusov naglo zmanjševati.

Zunaj mestnih središč priporočena vrednost neuspešnosti prihodov, kadar je le mogoče, znaša 2.5%, še zlasti kadar obravnavamo postajališča v niši. Ob vsakem neuspešnem prihodu avtobusa na postajališče bo namreč na voznem pasu nastala kolona vozil in prišlo bo do zastojev. Sicer pa je neuspešnost prihodov v mejah do 7.5% sprejemljiva.

Efektivna zmogljivost je dosežena pri neuspešnosti prihodov do 25%. Računsko bi bila največja zmogljivost dosežena pri 50% neuspešnosti prihodov, za kar pa bi potrebovali natančen nadzor voznih pasov avtobusnega potniškega prometa - edino spremenljivko bi tako predstavljalo število vstopajočih potnikov. V praksi je to seveda skorajda neizvedljivo. Bolj verjetno je, da bodo motnje v avtobusnem prometu tako velike, da vsem avtobusom ne bo uspelo obiti vseh postajališč v zahtevanem času. Dejansko bi se avtobusne hitrosti pri 50% neuspešnosti prihodov izrazito zmanjšale, kar bi vodilo v poslabšano kakovost avtobusnih prevoznih storitev.

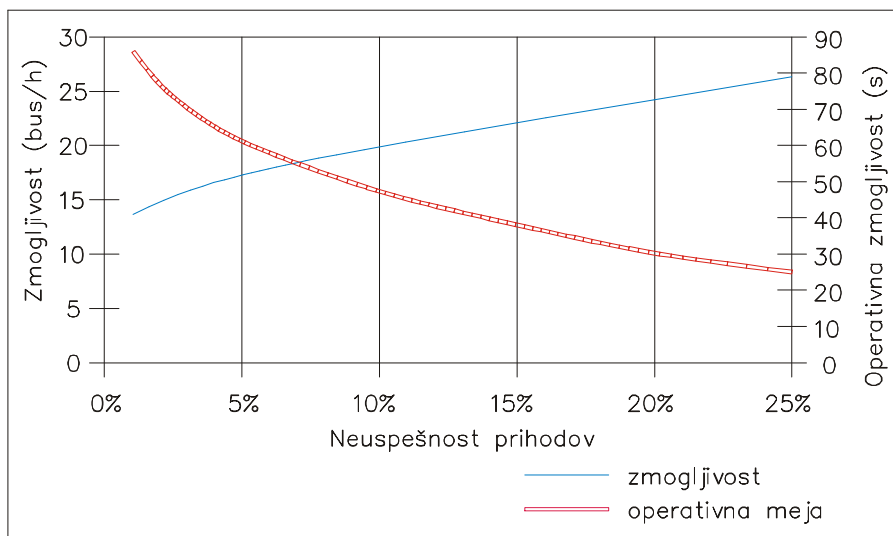


Diagram 3.1: zveza med neuspešnostjo prihodov, operativno mejo in zmogljivostjo perona oz. postajališča

3.3.3.1 Semaforški cikli

Oddaljenost semaforja od postajališča vpliva na število avtobusov, ki pripeljejo in odpeljejo z njega. Na postajališče za križiščem ali med dvema križiščema lahko avtobus pripelje le v času trajanja zelenega intervala. Krajši časovni interval pomeni zmanjšano zmogljivost. Na postajališču, lociranem pred križiščem se lahko zgodi, da se potniki sicer vkrcajo vendar se avtobus zaradi rdeče luči ne more vključiti v promet. Posledično se avtobus na postajališču zadržuje dlje in njegova zmogljivost se zmanjša. Zaradi značilnosti delovanja avtobusnega potniškega prometa krajši cikli ponujajo avtobusom več možnosti, da ujamejo zeleno fazo. Na nesemaforiziranih območjih, daleč od vpliva glavnih prometnih tokov lahko avtobusi takoj pripeljejo oz. zapustijo postajališče, saj imajo zakonsko zagotovljeno prednost pri vključevanju v promet in tako zmogljivost postajališč ni zmanjšana.

Vpliv semaforjev na zmogljivost peronov in postajališč je zajet s *faktorjem zelenih intervalov* g/C , ki pomeni povprečno trajanje zelenega intervala, v katerem avtobus opravi premik in je deljen s trajanjem celotnega ciklusa oz. s časom potrebnim za to, da avtobus opravi vse operacije. V primeru, ko promet poteka vzporedno s posameznim postajališčem, dopustno

trajanje zelenega intervala znaša povprečno 54 sekund, celoten cikel 120 sekund, faktor zelenih intervalov g/C na temu postajališču g/C pa izračunamo tako, da 54 delimo s 120 in dobimo rezultat 0.45. Na nesemaforiziranih območjih, daleč od vpliva glavnih prometnih tokov je faktor g/C enak 1.00, saj prihodi niso ovirani s signalizacijo.

Kot je razvidno iz enačbe spodaj faktor g/C na izračun zmogljivosti postajališča vpliva na dva načina. Najprej privzamemo vrednost števca v ulomku, ki znaša 3.600 (g/C). Nato določimo trajanje zadrževalnega časa t_d v imenovalcu, ki obsega tisti del zadrževanja, ki se zgodi v času trajanja zelenega intervala. Zadrževalni čas v času trajanja rdečega intervala ne vpliva na zmogljivost postajališča, saj v tem času avtobusi na postajališče ne morejo niti prihajati niti ga zapustiti, vpliva pa nanjo mrežni efekt celotnega sistema kot vsota zelenih intervalov.

3.3.3.2 Postopek izračuna prometne zmogljivosti perona

Prometna zmogljivost perona je število avtobusov na uro in jo izračunamo s pomočjo enačbe 3.6:

$$B_l = \frac{3.600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + t_{om}} = \frac{3.600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Zc_v t_d} \quad \dots \text{ enačba 3.6}$$

B_l	...	prometna zmogljivost perona (bus/h)
3.600	...	število sekund v 1 uri
g/C	...	faktor zelenih intervalov
t_c	...	odhodni čas (s)
t_d	...	povprečni zadrževalni čas (s)
t_{om}	...	operativna meja (s)
Z	...	slučajna spremenljivka neuspešnosti prihodov
c_v	...	koeficient spremenljivosti zadrževalnega časa

V preglednici 3.5 je podano največje ocenjeno število avtobusov, ki lahko uporabijo posamezni peron, pri čemer je upoštevana 25% neuspešnost prihodov, 60% koeficient spremenljivosti zadrževalnega časa, $g/C=1.0$ (v okolici ni semaforjev!) in prikazana kombinacija zadrževalnega in odhodnega časa.

Preglednica 3.5: ocenjena zmogljivost perona

Zadrževalni čas (s)	Odhodni čas	
	10 s	15 s
15	116	100
30	69	63
45	49	46
60	38	36
75	31	30
90	26	25
105	23	22
120	20	20

3.4 Zmogljivost avtobusnega postajališča

3.4.1 Zasnova in lokacija

Avtobusno postajališče je površina, na kateri ustavljajo avtobusi ter vstopajo/izstopajo potniki, vključuje pa lahko večje število peronov. Prometna zmogljivost avtobusnega postajališča je odvisna od prometne zmogljivosti posameznega perona, njihovega števila in zasnove le-teh, nanjo pa vplivajo tudi bližnji semaforji.

Z zadostnim številom peronov mora biti postajališče zmožno oskrbeti vse avtobuse, katerih prihod je predviden z voznim redom. V praksi je velikost postajališča velikokrat pogojena z različnimi ovirami kot so dostopi, cestni priključki, parkirišča itd. Postajališča z več kot tremi peroni lahko zmedejo potnike, saj le-ti ne vedo, kje morajo čakati avtobus kar posledično pripelje do podaljšanja zadrževalnega časa, kajti potniki morajo pešačiti do pravega perona ter se postaviti na konec vrste čakajočih na vstop.

Postajališča v niši zagotavljajo večjo zmogljivost kot postajališča na vozišču kadar imajo štiri ali več peronov, postajališča na vozišču pa v primerih, ko imajo eden ali dva perona. Oba tipa postajališč imata enako zmogljivost, ko imata po tri perone. Na postajališčih v nišah med vključevanjem avtobusov v promet nastajajo zamude, kar vpliva na zmanjšanje potovalne hitrosti in podaljšanje potovalnega časa.

Postajališča na vozišču so običajno locirana ob hodniku za pešce na tri načine:

- pred križiščem – postajališče se nahaja neposredno pred križiščem
- za križiščem – postajališče se nahaja neposredno za križiščem
- med križišči – postajališče se nahaja na vmesnem območju med dvema križiščema, najbolje v enaki oddaljenosti od obeh.

V določenih okoliščinah, na primer kadar si avtobusi v centrih mest delijo postajališče z ostalimi vozili ali kadar obstaja srednji vozní pas za avtobusni promet, je postajališče namesto ob pločniku boljše locirati in oblikovati kot vstopno/izstopni otok sredi ulice. Ta rešitev je obdelana v poglavju 4.4.2.



Slika 3.4 – lokacije avtobusnih postajališč na vozišču

3.4.2 Učinkovitost avtobusnega postajališča

Pri zasnovi avtobusnih postaj se poleg zmogljivosti upošteva še druge kriterije kot so npr. prenočitvene in gostinske zmogljivosti, razločevanje velikega števila avtobusnih prog, kar omogoča potnikom, da lažje najdejo želeni avtobus itd.

Lokacija avtobusnega postajališča pomembno vpliva na prometno zmogljivost, še zlasti kadar ostala vozila lahko zavijajo na desno priključno cesto, razen v primeru, ko obstaja posebni avtobusni pas in enosmerne ulice. Najmanjši vpliv ima lokacija postajališča za križiščem, še zlasti kadar se avtobusi izognejo koloni desnih zavijalcev v območju križišč, sledijo jim postajališča med križišči in postajališča pred križišči.

Vsekakor prometna zmogljivost ni edini kriterij, ki ga je potrebno upoštevati pri izbiri lokacije postajališča. Upoštevati je potrebno možnost nastanka konfliktnih situacij z drugimi vozili, možnost prestopanja, razdalje, ki jih morajo prehoditi potniki, območja s katerih prihajajo oz. je pričakovati prihod potnikov, semaforske cikle, dostope k objektom itd.

Lociranje postajališč pred križišči je ustrezen rešitev v primerih, ko se na isti lokaciji predvidijo parkirišča, avtobusi pa se ponovno vključijo v promet skozi presečiščno območje, na katerem avtomobili ne parkirajo. Avtobusna postajališča pred križišči so prikladna tudi v primerih, ko avtobusi zavijajo desno medtem ko je za zavijanje v levo postajališče bolje locirati za križiščem. V križiščih enosmernih cest je potrebno upoštevati tako prometni režim kot možnost prestopanja. Če na primer promet po enosmerni ulici poteka od leve proti desni je zaradi desnih zavijalcev smiselno predvideti postajališče za križiščem, zaradi zagotavljanja udobnega prestopanja v križišču pa je ustrežnejša izbira postajališče pred križiščem.

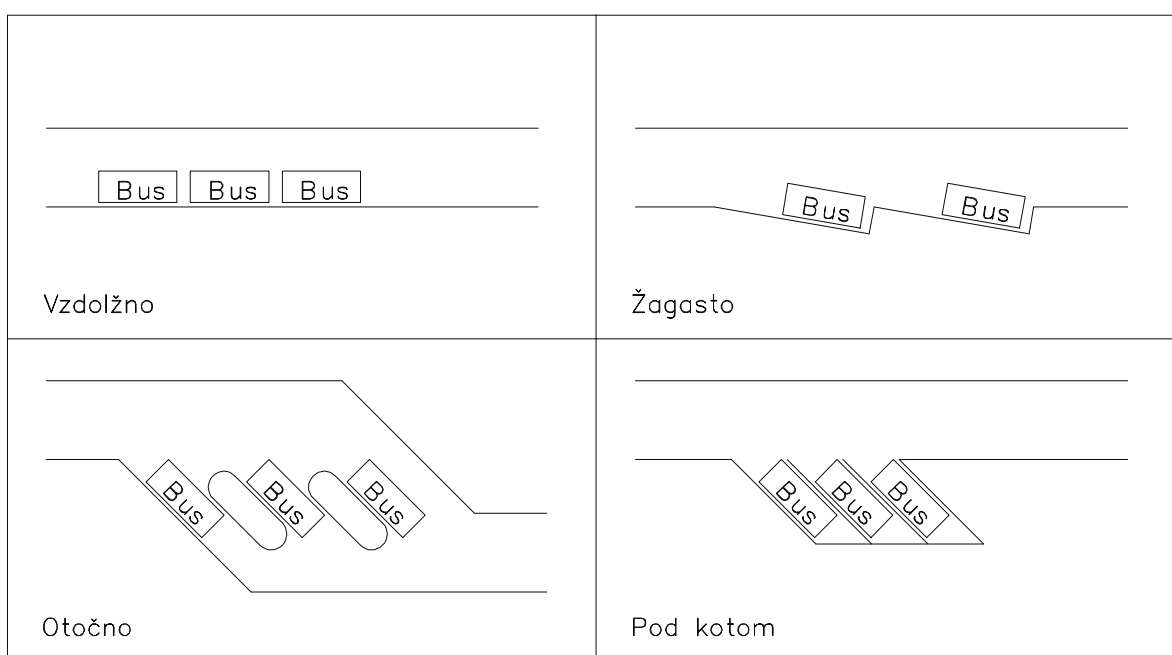
Postajališča med križišči se navadno predvidi na območjih, na katerih je pričakovati veliko število potnikov ali pa kadar v sosednjih križiščih ni na voljo dovolj prostora. Pri tovrstnih rešitvah je potrebno poiskati tudi ustrezen rešitev za prečkanje ceste, ki ga morajo opraviti potniki med prihajanjem ali odhajanjem s postajališča.

Preglednica 3.6 - prednosti in pomanjkljivosti posameznih tipov avtobusnih postajališč na vozišču glede na njihovo lokacijo

Lokacija	Prednosti	Pomanjkljivosti
Za križiščem	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmanjšana je verjetnost konflikta med desnimi zavijalci in avtobusi ▪ zagotovljena je povečana zmogljivost za desne zavijalce zaradi sprostitve voznega pasu ▪ pešce se spodbuja k prečkanju vozišča za avtobusom ▪ izboljšana preglednost ▪ avtobusi potrebujejo krajše zavorne razdalje, saj za zaviranje služi tudi samo križišče ▪ avtobusi lahko izrabijo vrzeli v prometnem toku, ki nastanejo v semaforiziranem križišču ▪ semaforska signalizacija je zaradi prednosti avtobusov, ki lahko križišče prevozijo pred zaustavljanjem močno poenostavljena 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zaradi zaustavljanja avtobusa na voznem pasu lahko nastane prometni zastoj v križišču ▪ vozilom, ki prečkajo križišče se lahko zmanjšuje vidno polje ▪ pešci, ki prečkajo križišče oz. vozišče imajo lahko težave s preglednostjo ▪ avtobus se lahko ponovno zaustavi na postajališču po predhodnem ustavljanju zaradi rdeče luči, kar povzroči težave tako operacijam avtobusa kot ostalemu prometu ▪ lahko prihaja do prometnih nesreč, ker se vozniki zaletijo v zadnji del avtobusa saj po zaustavljanju zaradi rdeče luči ne pričakujejo ponovnega zaustavljanja
Pred križiščem	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pri veliki gostoti prometa za križiščem je interferenca zmanjšana na minimum ▪ potnikom je omogočen dostop do avtobusov, ki so najbliže prehodom ▪ križišče avtobusom omogoči, da zapustijo postajališče ▪ izločena je možnost, da bi prišlo do dvakratnega zaustavljanja ▪ potnikom je omogočeno vstopanje in izstopanje medtem, ko avtobus stoji zaradi rdeče luči ▪ vozniku omogoča opazovanje bližajočega se prometa, vključno z avtobusi s potencialnimi potniki 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ poveča se verjetnost konfliktov z desnimi zavijalci ▪ preostala vozila in pešci imajo manjši nadzor nad prometnim dogajanjem, saj avtobus zakriva vidno polje ▪ vozila, ki se nahajajo oz. stojijo v ulici desno od avtobusa imajo težave s preglednostjo ▪ pešci, ki prečkajo vozišče oz. križišče imajo težave s preglednostjo ▪ prioritete semaforskih operacij za avtobuse se zakomplicirajo, kar zmanjšuje učinkovitost ali pa zahteva dodatno signaliziranje, če je postajališče locirano v parkirnem pasu ali pasu za desno zavijanje
Med križišči	<ul style="list-style-type: none"> ▪ težave s preglednostjo se minimalizirajo tako za vozila kot pešce na čakalnih površinah ne prihaja do gneče 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ potrebno je razširiti območja, v katerih je prepovedano parkiranje ▪ pešce spodbuja k prečkanju vozišča na mestih, kjer niso označeni prehodi ▪ povečajo se razdalje, ki jih morajo prepešaćiti potniki, ki cesto prečkajo v križiščih

Logično je, da več peronov na posameznem avtobusnem postajališču zagotavlja večjo zmogljivost, saj lahko potniki vstopajo ali izstopajo z več avtobusov hkrati, toda k povečanju zmogljivosti veliko prispevajo tudi same oblike postajališč.

Postajališča v nišah lahko po obliki razvrstimo v štiri glavne kategorije, prikazane na sliki 3.5: vzdolžna, žagasta, otočna in pod kotom. Zadnja tri so nelinearna in njihova oblika omogoča avtobusom, da pripeljejo in odpeljejo neodvisno drug od drugega.



Slika 3.5 - načini oblikovanja avtobusnih postajališč

Nelinearna zasnova je veliko učinkovitejša: podvojitev števila peronov pomeni tudi podvojitev zmogljivosti postajališča. Povečana učinkovitost izhaja iz zmožnosti avtobusov, da se gibljejo neodvisno drug od drugega. Običajno je sleherni od njih namenjen k določenemu peronu in tako ne prihaja do zamud, ki bi jih povzročali potniki medtem, ko bi pešачili vzdolž postajališča k avtobusu, na katerega nameravajo vstopiti. Nelinearno zasnovana postajališča se redkokdaj nahajajo na vozišču, izjema so glavne avtobusne postaje, nasploh pa se redko uporabljajo za mestni potniški promet.

Večina postajališč na vozišču je zasnovanih linearno. Prvi avtobus se ustavi na prvem peronu, drugi na drugem in tako naprej. Vsak naslednji peron je manj zmogljiv od tistega pred njim zaradi treh razlogov:

1. zadnji peroni so uporabljani redkeje kot prvi
2. ne vedoč, na katerem peronu bo ustavil njihov avtobus morajo potniki zato, da najdejo svoj avtobus na enem izmed zadnjih peronov, pešačiti po postajališču vzdolž celotne kolone. Ta pešačenja seveda vzamejo veliko več časa, kot bi ga bilo porabljeno v primeru, če se bi avtobus ustavil na peronu, kjer ga že čakajo potniki. Posledično je pri istem številu potnikov zadrževalni čas avtobusov na zadnjih peronih bistveno daljši od zadrževalnega časa na prvih peronih.
3. upoštevati je potrebno, da mogoče posamezni avtobus v odvisnosti od tega, kako blizu za pred njim stoječim avtobusom se zaustavi ter v odvisnosti od zmožnosti, da ga obide ne bo mogel zapustiti postajališča tako dolgo, dokler tega ne stori tudi avtobus pred njim.

Povečana zmogljivosti postajališča, pridobljena z vsakim dodatnim peronom je odvisna od tega, ali se postajališče nahaja na vozišču ali v niši ter od vozni lastnosti avtobusa. Opazovanja na terenu pokažejo, da so linearno zasnovani peroni učinkoviteje izrabljeni, kadar avtobusi prihajajo in odhajajo organizirani kot kolone, ki jih običajno tvorijo 2-3 avtobusi z enakimi zadrževalnimi časi tako da vozijo skupaj. Kolone lahko formiramo s pomočjo prometne signalizacije ali pa jih tvorimo premišljeno s pomočjo voznega reda, v katerem predvidimo skupni start kolone avtobusov na posamezni progi. To zahteva, da se na mestih, kjer naj bi vstopila večina potnikov, predvidijo zadostne etapne površine za čakajoče.

V preglednici 3.7 so podani faktorji učinkovitosti za postajališča v nišah, za postajališča na vozišču, ki jih uporabljajo skupine avtobusov ter za postajališča na vozišču, ki jih uporabljajo naključno prispeli avtobusi. Vrednosti veljajo le za linearno zasnovana postajališča, saj so ostali tipi 100% učinkoviti.

Preglednica 3.7: faktorji učinkovitosti

Št. peronov	Postajališče na vozišču				Postajališče v niši	
	Naključni prihodi		Skupinski prihodi		Vsi prihodi	
	Učinkovitost	Kumulativna učinkovitost	Učinkovitost	Kumulativna učinkovitost	Učinkovitost	Kumulativna učinkovitost
1	100	1.00	100	1.00	100	1.00
2	75	1.75	85	1.85	85	1.85
3	70	2.45	80	2.65	80	2.65
4	20	2.65	25	2.90	65	3.25
5	10	2.75	10	3.00	50	3.75

Iz diagrama 3.2 je razviden učinek zmanjšanja skupne zmogljivosti postajališča na vozišču kljub dodatnim peronom. Kaže nam zmogljivost postajališča pri izbranem zadrževalnem času in faktorju g/C ob upoštevanju 10 sekundnega odhodnega časa in naključnosti prihodov. Povečevanje števila peronov ima pri linearni zasnovi veliko manjši učinek na zmogljivost kot zmanjšanje zadrževalnega časa.

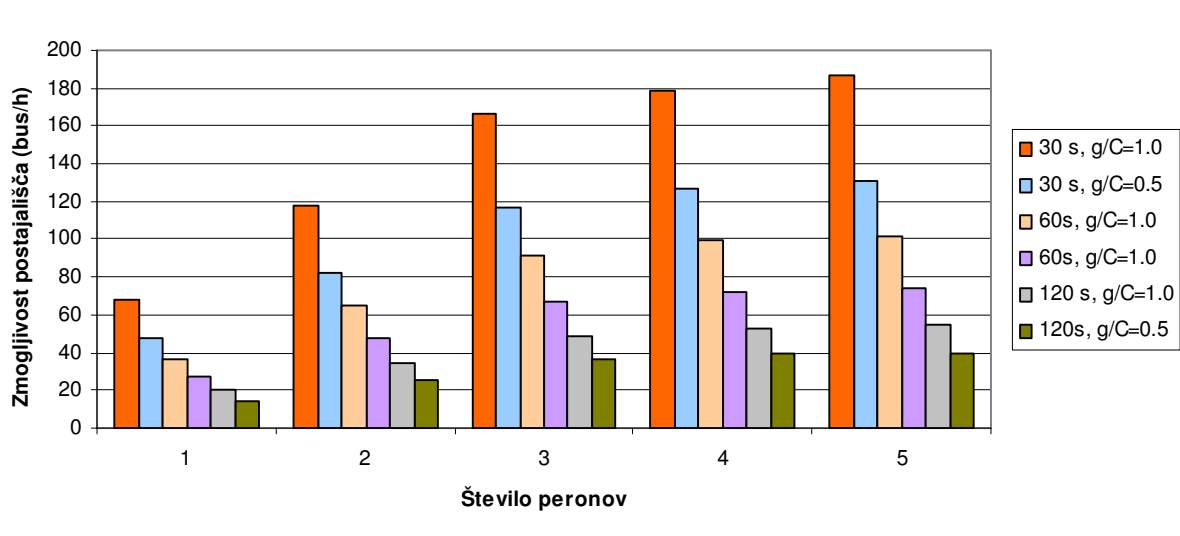


Diagram 3.2: zmogljivost avtobusnega postajališča v odvisnosti od števila peronov, faktorja g/C in zadrževalnega časa

3.4.3 Izračun prometne zmogljivosti avtobusnega postajališča

Zmogljivost avtobusnega postajališča B_s izračunamo s pomočjo enačbe 3.7, s katero za posamezno postajališče določimo število avtobusov na uro:

$$B_s = N_{el} B_l = \frac{3.600(g / C)}{t_c + t_d(g / C) + Z c_v t_d} * N_{el} \quad \dots \text{ enačba 3.7}$$

B_s ... prometna zmogljivost avtobusnega postajališča (bus/h)

B_l ... zmogljivost posameznega perona (bus/h)

N_{el} ... faktor učinkovitosti iz preglednice 3.7

3600 ... število sekund/uro

g/C ... faktor zelenih intervalov

t_c ... odhodni čas (s)

t_d ... zadrževalni čas (s)

Z ... slučajna spremenljivka neuspešnosti prihodov

c_v ... koeficient spremenljivosti zadrževalnega časa

V preglednici 3.8 je podana ocenjena največja zmogljivost linearno zasnovanega postajališča na vozišču za različno število peronov ter različne vrednosti zadrževalnega časa in faktorja g/C . Zmogljivosti za ostale situacije so podane v diagramih v poglavju 7 – priloge.

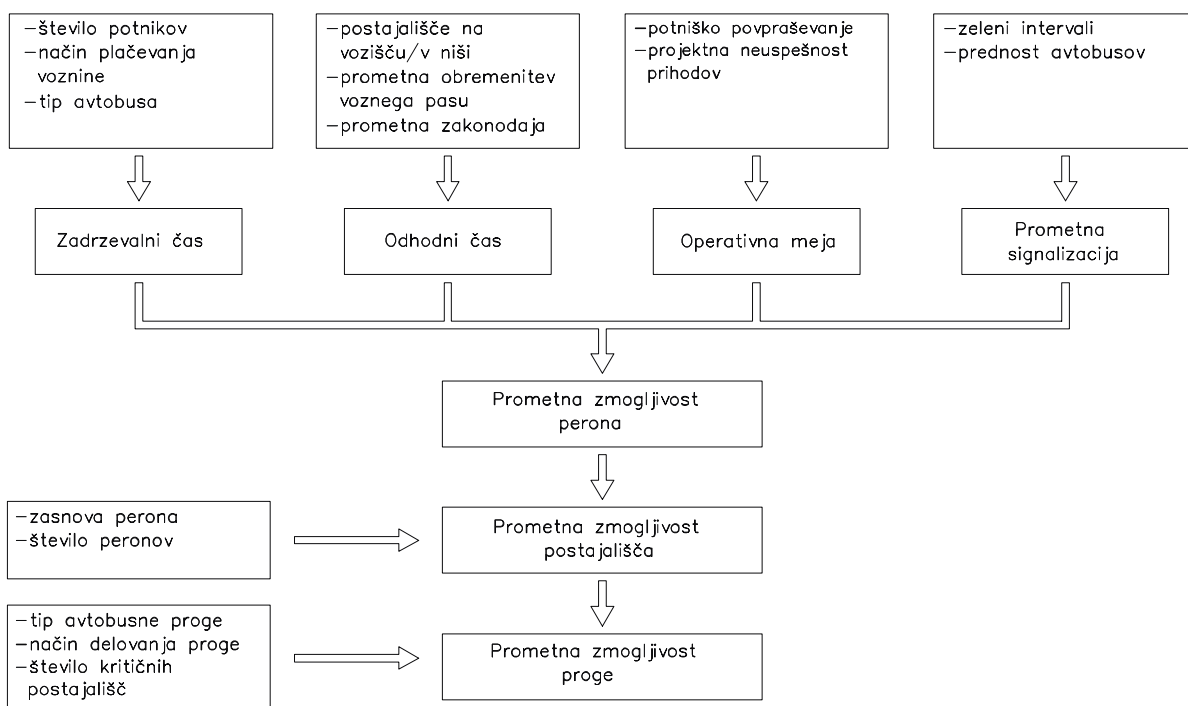
Preglednica 3.8: ocenjena zmogljivost linearno zasnovanega avtobusnega postajališča na vozišču

Zadrževalni čas (s)	Število peronov									
	1		2		3		4		5	
	g/C 0.50	g/C 1.00	g/C 0.50	g/C 1.00	g/C 0.50	g/C 1.00	g/C 0.50	g/C 1.00	g/C 0.50	g/C 1.00
30	48	69	84	120	118	169	128	182	133	189
60	27	38	48	66	68	93	74	101	76	104
90	19	26	34	46	48	64	52	69	54	72
120	15	20	26	35	37	49	40	53	41	55

Opomba: upoštevan je 10 sekundni odhodni čas, 15% neuspešnost prihodov, 60% koeficient spremenljivosti zadrževalnega časa in naključni prihod avtobusov.

3.5 Zmogljivost avtobusne proge

Zmogljivost avtobusne proge je v glavnem odvisna od proge same – manjši je vpliv ostalega prometa na avtobuse, večja je zmogljivost. Kadar se avtobusi na določenem odseku ne ustavljajo je zmogljivost proge odvisna od zmogljivosti pred oziroma za takšnim odsekom ter od zmogljivosti končnih postaj. Za druge tipe prog je zmogljivost v glavnem določena z zmogljivostjo kritičnih postajališč, ki so običajno postajališča z najdaljšim zadrževalnim časom, postajališča za križiščem z levim zavijanjem avtobusov in relativno kratkim zelenim intervalom ali križišča pred križiščem z močnim prometnim tokom desnih zavijalcev.



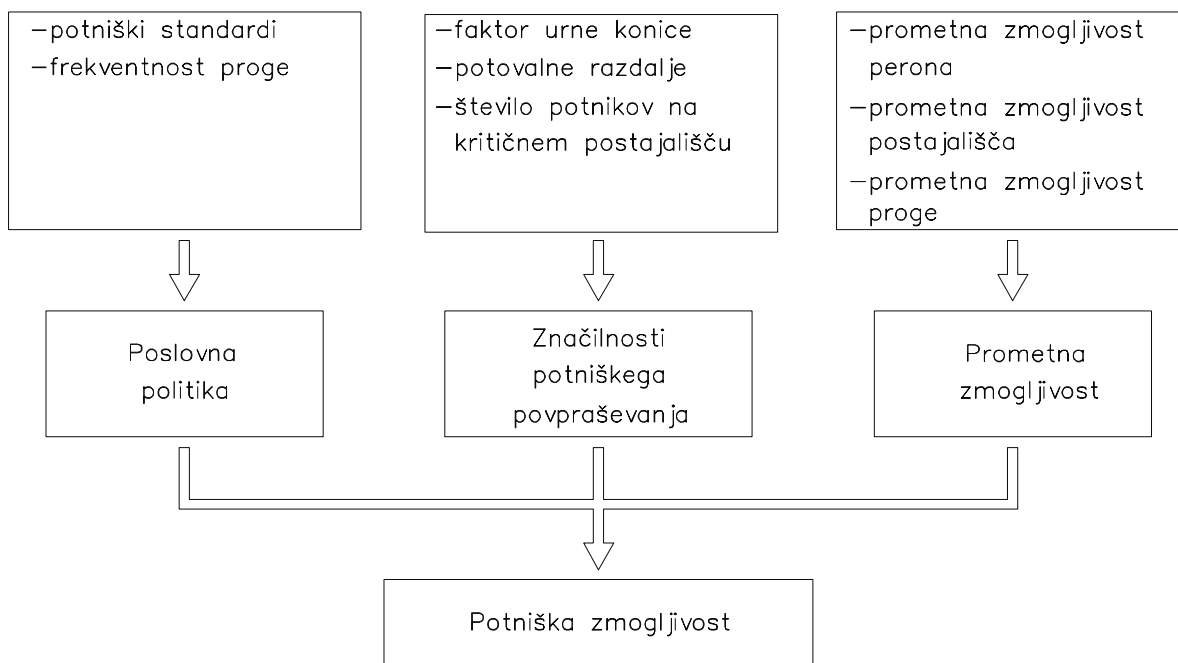
Slika 3.6 – osnovni faktorji, ki vplivajo na zmogljivost avtobusne proge

3.6 Potniška zmogljivost

Ko je prometna zmogljivost avtobusne proge enkrat znana ni težko določiti njene potniške zmogljivosti. Iz slike 3.7 je razvidno, da je poleg s prometno zmogljivostjo povezanih faktorjev iz slike 3.6 pri določanju potniške zmogljivosti potrebno upoštevati še nekatere dodatne faktorje.

3.6.1 Porazdelitev vstopov/izstopov

Na število potnikov, ki jih bo mogoče prepeljati, vpliva njihova porazdelitev vzdolž proge in porazdelitev v posameznih časovnih obdobjih v času obratovanja proge. Prostorski vidik potniškega povpraševanja nas zanima le na najbolj obremenjenem odseku in ne na celotni progi.



Slika 3.7 – faktorji, ki določajo potniško zmogljivost

Potniško povpraševanje se v odvisnosti od časa spreminja. Faktor urne konice podan v enačbi 3.1 odseva potniško povpraševanje v tipičnem 15 minutnem intervalu v urni konici. Potniški sistem mora biti zasnovan tako, da zagotavlja zadostno zmogljivost za zadovoljitev potniških potreb na osnovi te konice. Pravzaprav bo tako dolgo, dokler konična obremenitev ne bo trajalo celo uro in bo z njo obremenjen sleherni avtobus dejanska potniška zmogljivost manjša od računske.

Povprečna potovalna razdalja vpliva na število potnikov, ki ga lahko prepelje posamezni avtobus. Če so potovalne razdalje velike – potniki vstopajo na začetnih postajališčih in izstopajo na končnih – bo avtobus na takšni progi prepeljal manj potnikov kot na progi, na kateri potniki vstopajo in izstopajo na več lokacijah. Skupno število prepeljanih potnikov na obeh progah pa bo pri polni zasedenosti vseeno lahko zelo podobno.

Porazdelitev vstopov in izstopov potnikov med avtobusna postajališča vpliva na zadrževalni čas na vsakem od njih. Če bo vstopanje potnikov koncentrirano na enem postajališču, bo prometna in potniška zmogljivost avtobusne proge manjša, ker bo nanjo vplival zadrževalni

čas tega postajališča. Tako prometna kot potniška zmogljivost sta namreč večji, kadar so potniki porazdeljeni med več postajališč.

3.6.2 Poslovna politika

Ponudnik avtobusnih prevoznih storitev ima neposreden vpliv na dva faktorja in sicer na *največje načrtovano število potnikov na avtobusih*, ki ga določa kombinacija obratovalne politike in odločitve o uporabi posameznih tipov avtobusov ter *frekventnost proge*. Največje načrtovano število vstopov je pravzaprav enako zmogljivosti avtobusa, v kar je vključeno tudi razumno število stoječih potnikov in tako predstavlja zgornjo mejo pri načrtovanju. Običajno znaša 125-150% avtobusnih sedežnih zmogljivosti – na primer 54 do 64 potnikov na tipičnem 12-metrskem avtobusu.

Kadar je avtobus zaseden 150% glede na svoje sedežne zmogljivosti nastane gneča, ki pri stoječih in drugih potnikih povzroča občutek neugodja. Zaradi potnikov je tolikšna obremenitev avtobusa nesprejemljiva. Tolikšna zasedenost preprečuje izmenjavo potnikov na vmesnih postajališčih in zato povzroča zamude ter zmanjšuje zmogljivost vozila. Čeprav predstavlja teoretično sprejemljivo zmogljivost, je ne moremo upoštevati pri vsakem avtobusu v kateremkoli časovnem obdobju, saj prekoračuje uporabno zmogljivost. Tolikšne zasedenosti ne smemo upoštevati zlasti pri določanju zmogljivosti medkrajevnih prog.

Avtobusni prevozniki, katerih poslovna politika zahteva, da imajo vsi potniki zagotovljena sedišča, bodo imeli manjšo potencialno potniško zmogljivost kot tisti ponudniki prevoznih storitev, katerih poslovna politika dopušča nekaj stojišč ali pa imajo na razpolago daljša vozila. Tudi frekventnost proge vpliva na to, koliko potnikov bo lahko prepeljanih, četudi bi postajališča oziroma proge lahko servisirale večje število avtobusov, kot je bilo dejansko načrtovano.

Pri določanju potniške zmogljivosti je potrebno primerjati maksimalno število potnikov, ki jih je mogoče prepeljati po predpisanem voznem z maksimalnim številom potnikov, ki bi lahko bili prepeljani, če bi vsi avtobusi na posamezni progi lahko sprejeli vse čakajoče potnike.

Iz enačbe 3.8 je razvidna razlika v postopku računanja za oba primera.

$$P = \min \begin{cases} P_{\max} f(PHF) \\ P_{\max} B(PHF) \end{cases} \dots \text{enačba 3.8}$$

P ... potniška zmogljivost (p/h)

P_{\max} ... največje dovoljeno število potnikov na avtobus (p/bus)

f ... načrtovana frekventnost proge (bus/h)

B ... zmogljivost avtobusne proge

PHF ... faktor urne konice

Kadar se načrtuje uporaba avtobusov različnih dimenzij mora biti povprečna največja potniška obremenitev avtobusa določena na osnovi enačbe 3.8, temelječi na številu avtobusov posameznega tipa in potniške obremenitve vsakega od njih.

Preglednica 3.9: tipi avtobusov, dimenzije in potniška zmogljivost

Tip avtobusa	Dolžina [m]	Širina [m]	Tipična potniška zmogljivost		
			Sedeži	Stojišča	Skupaj
Minibus	5.50-9.15	2.00-2.60	8-30	0-10	8-40
Medkrajevni/ nizkopodni	10.70	2.45-2.60	35-40	20-30	50-60
	12.20	2.60	40-45	20-35	65-75
Medkrajevni/ visokopodni	10.70	2.45-2.60	30-35	20-35	55-70
	12.20	2.60	35-40	25-40	55-70
Zglobni avtobus/ visokopodni	18.30	2.60	65	35-55	100-120

Nizkopodni avtobusi dolžine 10.70 oziroma 12.20 m običajno zagotavljajo 5-6 manj sedežev kot ekvivalentni visokopodni avtobusi, saj del prostora namenjenega sedežem odzamejo blatniki.

Potniško zmogljivost posameznega postajališča izračunamo s pomočjo enačbe 3.9:

$$P_s = B_s P_{15} \dots \text{enačba 3.9}$$

P_s ... potniška zmogljivost posameznega postajališča (p/h)

B_s ... prometna zmogljivost posameznega postajališča (bus/h), enačba 3.7

P_{15} ...faktor urne konice, enačba 3.2

4.0 UKREPI ZA POVEČANJE ZMOGLJIVOSTI

4.1 Splošno

To poglavje obravnava operativne probleme, povezane z načrtovanjem in izvajanjem ukrepov za zagotavljanje prednosti s ciljem povečanja učinkovitosti avtobusnega potniškega prometa. Da bi le-ta postal konkurenčnejši osebnim avtomobilom in bi zagotavljal bolj kvalitetno ponudbo so po svetu za urbana okolja razvili pisano paleto ukrepov.

4.1.1 Izvajanje ukrepov za zagotavljanje prednosti

V urbanih okoljih pomemben delež zamud avtobusov povzročijo prometni zastoji, ki se kažejo v daljših potovalnih časih za potnike od ponudnikov avtobusnih storitev pa terjajo, da za zagotavljanje kvalitete prevozov predvidijo in dodajo več avtobusov, kar jim seveda povzroča višje stroške.

Ukrepi za zagotavljanje prednosti ponujajo možnost za zmanjšanje zamud, ki jih imajo avtobusi v mešanem prometu. Z njihovim izvajanjem se poskuša izboljšati točnost voznega reda ter zmanjšati potovalni čas in zamude. Ti ukrepi lahko pritegnejo nove potnike, povečajo zmogljivost in/ali izboljšajo kvaliteto ponudbe.

Njihovo uspešnost običajno povezujemo z:

- intenzivno razvitimi centri mest z omejeno zmogljivostjo cest ter visokimi stroški celodnevne parkiranja
- dolgotrajnim zaupanjem v javni potniški promet
- omejeno zmogljivostjo hitrih cest v območjih okoli centrov mest
- z večjimi vodotoki, ki omejujejo dostopnost v centre mest ter do avtobusnih prometnih tokov
- hitrim celodnevnim obratovanjem avtobusov na večjih razdaljah
- prednostjo avtobusov glede dostopnosti ali pri prečkanjih vodnih ovir

- posebno razporeditvijo avtobusov v centrih
- aktivnim upravljanjem prometa z vzdrževanjem, postopki in uveljavljanjem programov

Ukrepe za zagotavljanje prednosti lahko definiramo kot serijo različnih tehnik, ki naj bi povečali hitrosti tranzitnih vozil in pripomogli k splošnem izboljšanju učinkovitosti sistema. Obsegajo fizične izboljšave, spremembe postopkov ter spremembe regulative. Z njimi je mogoče zmanjšati spremenljivost potovalnega časa in povečati zanesljivost voznega reda. Kadar predvidevamo njihovo uporabo moramo upoštevati skupno spremembo v zamudah, ki vključuje tako potnike na avtobusih kot v osebnih vozilih.

Kadar je prometna politika usmerjena v izboljšanje vloge javnega potniškega prometa in zadovoljevanju potreb določene skupnosti po prevozu potnikov morajo biti tovrstni ukrepi izvajani z usklajenim delovanjem ponudnikov avtobusnih potniških storitev in načrtovalcev prometa. Biti morajo ekonomsko upravičeni, upoštevati pa morajo tako dolgoročno spremembo strukture vozil v prometu kot možnost pridobivanja novih potnikov. Oba faktorja je težko določiti. Vsekakor bodo v večini primerov tako za udeležence v prometu kot za načrtovalce prometa ukrepi sprejemljivejši, če ne bodo povzročali dodatnih motenj v prometu.

4.1.2 Koncept potniških zamud

Izvajanje ukrepov za zagotavljanje prednosti mnogokrat zahteva odločanje med različnimi kategorijami udeležencev v prometu. Zagotovitev prednostne ponovne vključitve avtobusa v promet pomeni prihranek časa za potnike na njemu, istočasno pa pomeni dodatno zamudo za potnike v avtomobilih, na motorjih, kolesih in pa tudi za nekatere pešce.

4.2 Vozni pasovi za avtobusni promet

Avtobusne proge z ločenimi voznimi pasovi, namenjenimi izključno avtobusnemu potniškemu prometu imajo številne prednosti, ki lahko izboljšajo kvaliteto ponudbe. Potovalni čas avtobusov, točnost in produktivnost vozil so večja, kadar avtobusi lahko vozijo hitreje, se ne ujamejo v prometnih zamaških itd. Celoten prometni sistem je bolj učinkovit in zanesljiv, s čimer se povečuje možnost pridobivanja novih potnikov.

Vozne pasove za avtobusni promet je možno zasnovati na več načinov:

- s preoblikovanjem obstoječega voznega pasu v vozni pas za avtobuse
- pridobitev dodatnega voznega pasu z zoževanjem obstoječih
- razširitev ceste z dodajanjem novega voznega pasu
- z ukinitvijo parkirišč vzdolž prometnice

Smiselno jih je predvideti, kadar po posamezni cesti vozi veliko število avtobusov in na njej nastajajo prometni zastoji. Najpogostejša oblika je rezerviran vozni pas na mestni prometnici, običajno v isti smeri kot glavni prometni tok, izključno za avtobusni promet pa je možno rezervirati tudi celo cesto.

4.2.1 Avtocestni avtobusni vozni pasovi

To so vozni pasovi na avtocestah ali hitrih cestah, ki so rezervirani za avtobusni promet. Potekajo lahko neposredno ob ostalih voznih pasovih, od ostalega prometa pa so lahko ločeni z ločilno črto, s stožci in podobno signalizacijo ali pa so popolnoma ločeni in zaščiteni z fizično pregrado.

4.2.2 Avtobusni obvozni vozni pasovi

Avtobusni obvozni pasovi so posebna oblika avtobusnih voznih pasov, ki avtobusom omogočajo, da se s pomočjo kratkih obvozov izognejo kolonam vozil in jih prehitijo. Predvideti je potrebno tudi primeren način za ponovno vključevanje v promet brez zastojev.

4.3 Prednostna prometna signalizacija

4.3.1 Splošno

V nekaterih evropskih državah in v ZDA poznajo koncept prednostne prometne signalizacije, s katero se avtobusom zagotavlja prednost s takojšnjim zelenim signalom. Obstajajo trije pristopi za nastavitev semaforjev in sicer za aktivno, pasivno in realno prednost.

Pri aktivni strategiji krmilni program avtobusu prižge zeleno luč takoj, ko je zaznano njegovo približevanje križišču. V odvisnosti od opreme za kontrolo signalov, ki je na razpolago, je aktivna prednost lahko *pogojna* ali *brezpogojna*. Z brezpogojno strategijo se vsakemu prihajajočemu avtobusu zagotovi prednost. Pri pogojni strategiji se iz naprav na avtobusu o njegovi lokaciji (AVL) upoštevajo podatki o zamudah, iz naprav za avtomatično štetje potnikov (APC) se upoštevajo podatki o številu potnikov, iz naprav za kontrolo prednostne signalizacije pa se pridobijo podatki o tem, kdaj je bila v križišču nazadnje zagotovljena prednost avtobusa. Na osnovi vseh teh informacij se prednost avtobusa vzpostavi ali pa tudi ne.

Pri pasivni strategiji krmilni program semaforja prednastavimo tako, da v križiščih, v katerih pogosto vozijo avtobusi s pogostostjo zelenega signala zagotavljamo nemoten potek tako avtobusnega kot ostalega prometa.

Za zagotavljanje realne prednosti je potrebno upoštevati tako prihode avtobusov kot ostalih vozil za posamezno križišče ali za celotno omrežje. Potrebna je specialna oprema, ki je

zmožna optimizacije semaforških faz na kraju samem v odvisnosti od prometnih pogojev in položaja avtobusov.

Predizpraznitev križišča, za kar je potrebno zagotoviti prevoznost za osebna in druga vozila, se obravnava ločeno od ostale prednostne prometne signalizacije, ker se nanaša na spremembo običajnih signalnih faz in sekvenc. V tem kontekstu je prednost najpogosteje povezana z različnimi intervencijskimi vozili kot so reševalna, gasilska in policijska vozila ter vlaki v primeru nivojskih križišč. Ker je tudi pešcem omogočena predizpraznitev lahko nastane situacija, ko se le-ti znajdejo sredi vozišča v trenutku, ko se že prižge semafor za prepoved prečkanja. Če istočasno nastopi še faza za predizpraznitev za avtobuse lahko pride do ogrožanja varnosti pešcev, med drugim tudi zato, ker avtobusi ne uporabljajo svetlobnih in zvočnih signalov tako kot različna intervencijska vozila

Preglednica 4.1: postopki za zagotavljanje prednosti s semaforji

POSTOPEK	OPIS
Pasivna prednost	
Prilagoditev dolžine ciklusa	Skrajšanje ciklusov v posameznem križišču v korist avtobusov
Razdelitev faz	Vključitev specialnih faz za avtobuse
Časovne nastavitve za širše območje	Prednostna vožnja avtobusov
Semaforji za preusmerjanje	Avtobusi uporabljajo posebne rezervirane vozne pasove, posebne semaforške faze ali pa so preusmerjeni na trase brez semaforjev za preusmerjanje
Prilagoditev dolžine faze	Podaljšanje trajanja zelene faze za bližajoče se avtobuse
Aktivna prednost *	
Podaljšanje trajanja zelene luči	Podaljšanje dolžine faze za prihajajoči avtobus
Zgodnejši start	Skrajšanje ostalih faz na račun zelene, s čimer se omogoči avtobusu zgodnejši start
Posebne faze	Podaljšanje avtobusne faze
Skrite faze	Izpuščanje neprednostnih faz
Dejanska prednost *	
Optimizacija zamud	Spremembe dolžine trajanja faz za zmanjšanje celotne potniške zamude
Mrežni nadzor	Pri spremembah dolžin trajanja faz se upošteva celotni sistem
Prednost *	
Prednost	Nastavljene faze se končajo in krmilni program se ponovno prilagodi za avtobusne faze

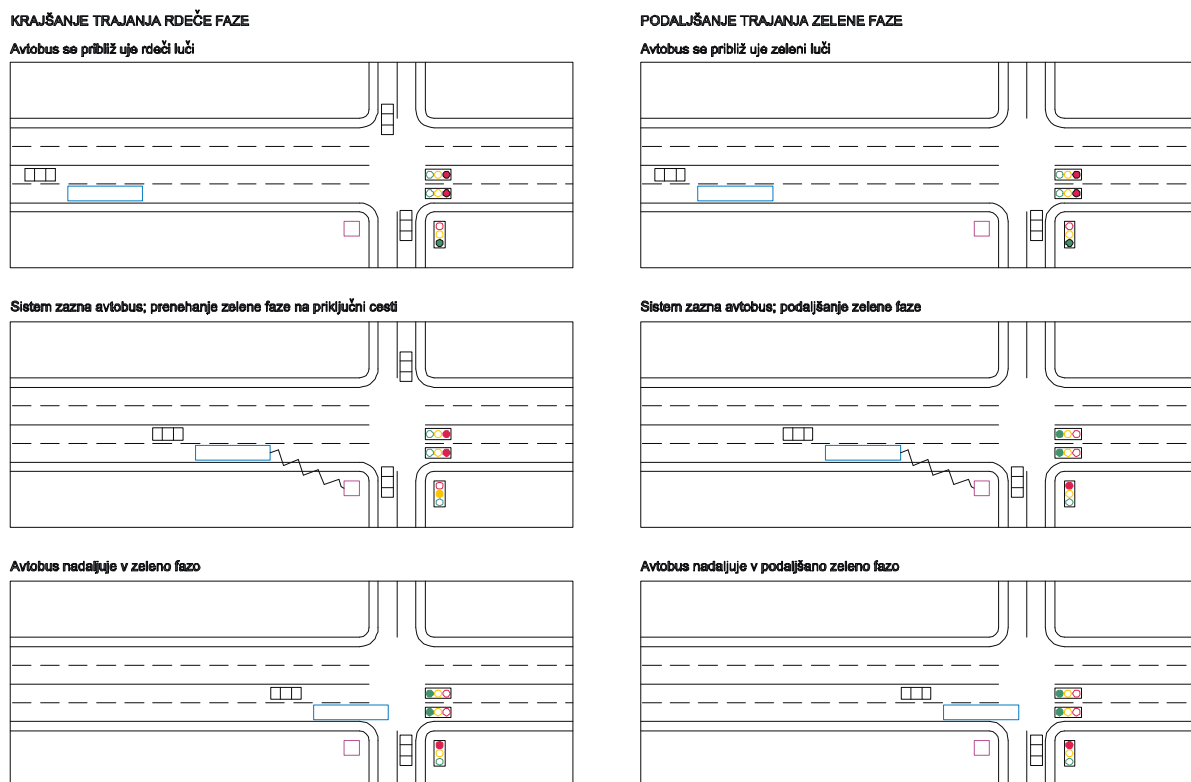
* upošteva se lahko pogojna ali nepogojna prednost

4.3.2 Posebnosti prednostne semaforne signalizacije

Prednostno semaforne signalizacije lahko zagovarjamo zaradi številnih razlogov. Njeno uvajanje in uporaba je smiselna samo v križiščih, v katerih dobro poznamo prometno situacijo – na voljo moramo imeti dovolj podatkov tako o prometu kot potnikih.

Sistemi prednostne signalizacije so lahko različno kompleksni. Enostavni sistemi, pri katerih intervencije izvaja avtobusni operater, imajo zmanjšano potrebo po tehnologiji na avtobusih. Bolj zaželeni so avtomatizirani sistemi, ki ne zahtevajo avtobusnega operaterja, saj le-ta včasih pozabi aktivirati sistem prednostne signalizacije v križiščih, seveda kadar so le-ta z njim opremljena. Nadalje je avtomatiziran sistem v kombinaciji z ostalo ustrezno opremo sposoben aktivirati prednostno signalizacijo le, kadar so izpolnjeni določeni pogoji na avtobusu – zamuda avtobusa, avtobus je na progi, vrata so zaprta itd.

Iz slike 4.1 sta razvidna učinka skrajšanja trajanja rdeče in podaljšanje trajanja zelene faze v kombinaciji s sredstvi aktivne prednostne signalizacije. Signalna oprema, ki se nahaja ob prometnici, lahko zazna avtobus, lahko pa oprema, montirana na avtobusu, odda signal z zahtevo po zagotovitvi prednosti.



Slika 4.1 – koncept zasnove prednostne prometne signalizacije. Skrajšanje trajanja rdeče in podaljšanje trajanja zelene faze

4.4 Prednostni ukrepi na specifičnih lokacijah

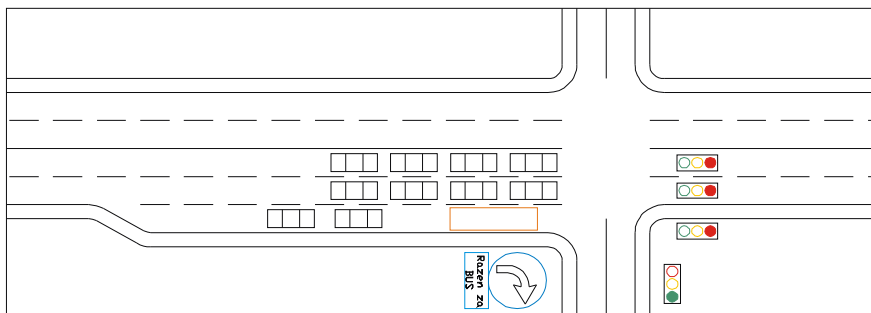
4.4.1 Prehitevanje kolone vozil

Obvozni vozni pasovi in ukrepi za izogibanje prometnim zastojem omogočajo avtobusom, da se izognejo dolgim kolonom vozil v semaforiziranih križiščih in s tem zmanjšajo zamude. Dolga postajališča v niši ter pasovi za desne zavijalce avtobusom omogočajo, da se skozi križišče premaknejo pred kolono ostalih vozil.

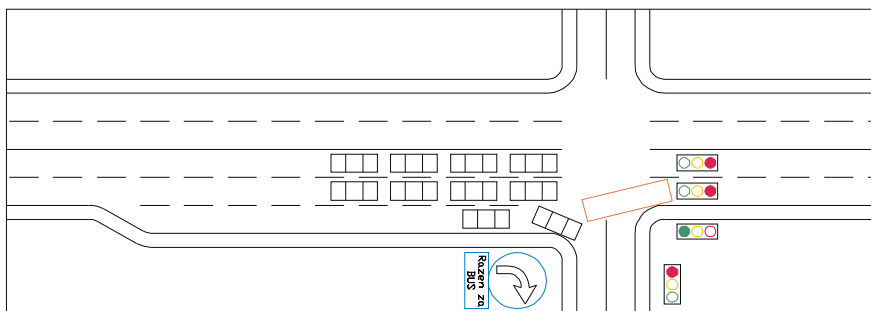
S posebnim semaforjem za desni vozni pas je mogoče zagotoviti podaljšanje zelenega intervala za avtobus tako, da se le-ta prižge pred semaforji za promet na sosednjih voznih pasovih. V tem času lahko avtobus zapusti desni vozni pas in zapelje na sosednji vozni levi pas pred ostalim prometom, ki miruje zaradi rdečega signala. Druga možnost je, da avtobus

zapelje na desni voz v času trajanja rdeče semaforne faze ter v času zelene faze nadaljuje na postajališče v niši za križiščem, kar zmanjša zamude, do katerih bi prišlo, če bi moral v križišču čakati v koloni vozil na katerem od ostalih voznih pasov. Na sliki 4.2 je prikazan način prehitevanja kolone.

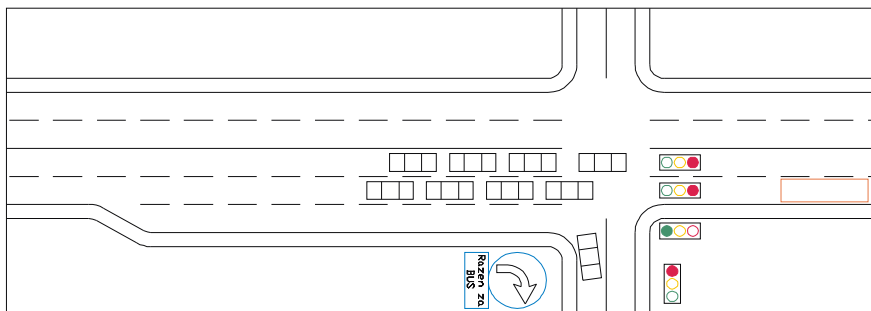
Vstopanje potnikov med rdečim signalom



Avtobusu se prižge zelena luč prej kot ostalim vozilom



Ostala vozila nadaljujejo nekaj sekund kasneje



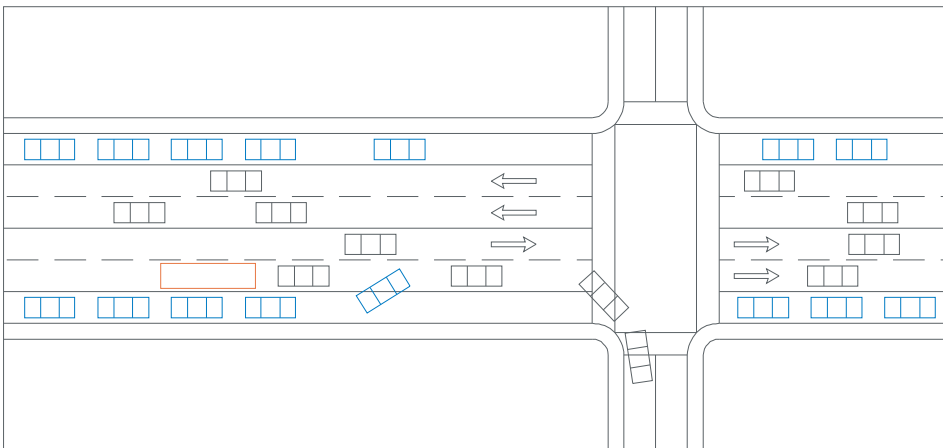
Slika 4.2 – primer prehitevanja kolone

4.4.2 Vstopni otoki

Na območjih, kjer parkiranje, dostavna vozila, veliko število vozil na voznih pasovih za desne zavijalce in drugi faktorji upočasnjujejo promet na desnem voznem pasu ceste z več voznimi pasovi, se lahko avtobusi gibljejo hitreje po voznem pasu na levi strani. Vstopni otoki dopuščajo lociranje avtobusnih postajališč med voznimi pasovi, tako da avtobusi lahko vozijo po hitrejšem voznem pasu ne da bi bili prisiljeni zapeljati na desni pas pred vsakim postajališčem. Pri načrtovanju in izvedbi vstopnih otokov je potrebno posebno pozornost posvetiti varnosti pešcev. Koncept zasnove vstopnih otokov je prikazan na sliki 4.3.

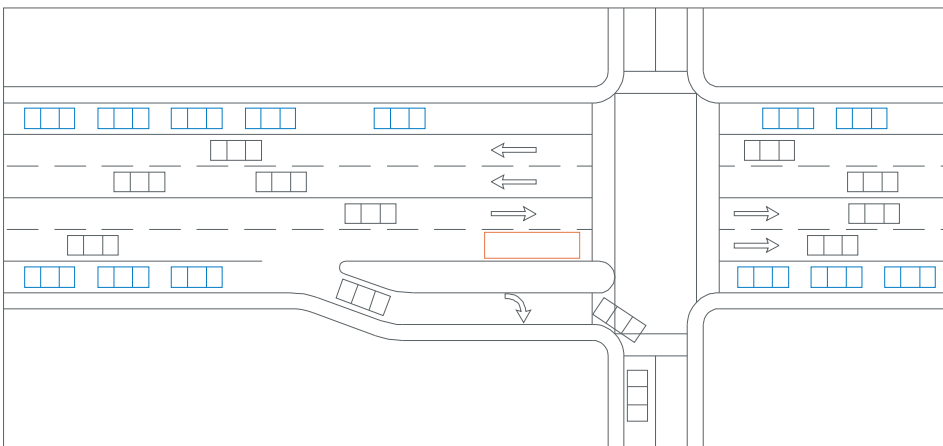
PRED POSEGOM

Prometni zastoj zaradi parkiranja in desnih zavijalcev



PO POSEGU

Avtobusi vozijo hitreje, potniki vstopajo in izstopajo na vstopnih otokih



Slika 4.3 - koncept zasnove vstopnih otokov

4.4.3 Vstopni polotoki

Vstopni polotoki na tranzitnih postajališčih so podobni vstopnim otokom, saj avtobusom omogočajo pobiranje potnikov brez ustavljanja ob pločniku. Njihova izvedba je smiselna, kadar se ob robu vozišča nahajajo parkirišča, cesta pa je močno prometno obremenjena. V takšnih primerih ni zaželeno, da mora avtobus zapeljati k pločniku, saj med čakanjem na ponovno vključitev v promet nastanejo zamude. V primeru, ko se avtobusno postajališče nahaja v križišču, vstopni polotoki skrajšujejo razdalje, ki jih morajo prehoditi pešci pri prečkanju ceste, kar pomembno prispeva k povečanju prometne varnosti.

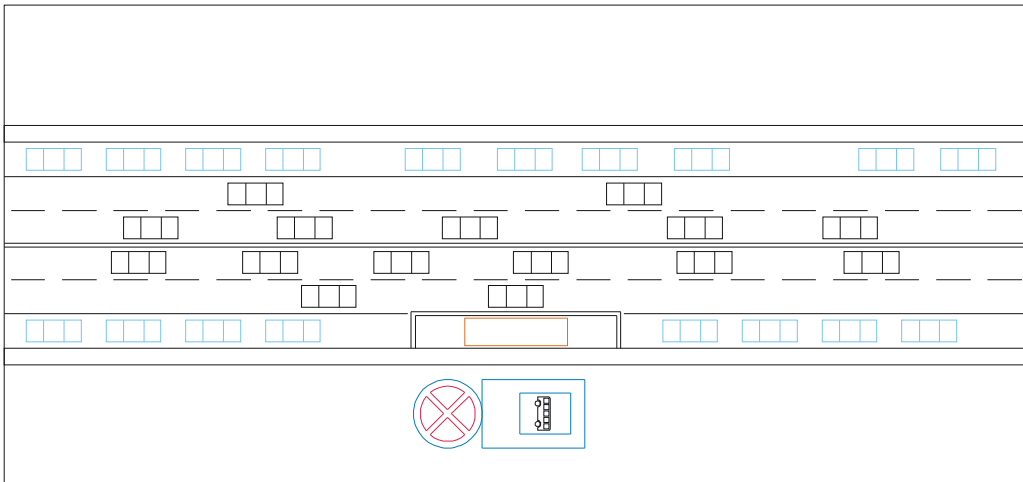
Ostale prednosti vstopnih polotokov so:

- površine, na katerih se nahajajo čakajoči potniki, se nahajajo izven koridorja, po katerem teče glavni prometni tok pešcev
- čakalna površina je prijazna za invalide v vozičkih
- zagotovljen je prostor za izvedbo čakalnice

Vstopne polotoke se običajno izvede tako, da se pločnik razširi v parkirni pas, s čimer se avtobusom omogoči, da med vstopanjem/izstopanjem potnikov ustavljajo na voznem pasu. Pridobijo se dodatna parkirna mesta na račun prostora, ki ga bi sicer potreboval avtobus, da bi zapeljal na postajališče ter odpeljal z njega. Kolesarsko stezo je potrebno peljati okoli vstopnega polotoka, kar je lahko vzrok za nastanek konfliktnih situacij pešec - kolesar ali avtomobil - kolesar. Pogosto je potrebno spremeniti način odvodnjavanja ceste, da ne pride do zastajanja meteorne vode na območju postajališča. Slika 4.4 prikazuje zasnovo vstopnih polotokov.

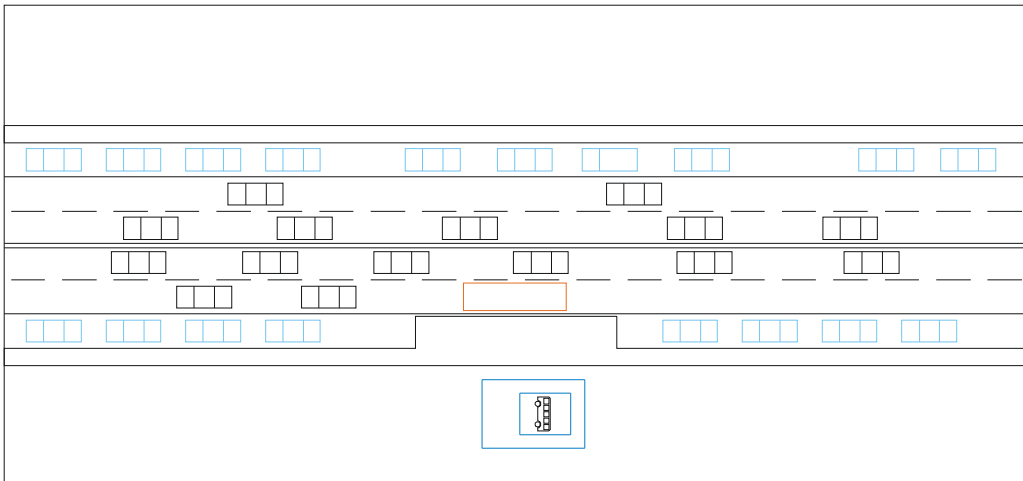
PRED POSEGOM

Avtobus ustavi ob pločniku. Med ponovnim vključenjem v promet nastane zamuda



PO POSEGU

Vstopni polotok v parkirnem pasu. Avtobus ustavlja na voznem pasu. Pridobljena so dodatna parkirna mesta



Slika 4.4 – vstopni polotoki

4.4.4 Omejitev parkiranja

Parkiranje je običajno potrebno omejiti na območju postajališč, ki so locirana v parkirnem pasu in na katerih avtobus ustavlja ob pločniku. Z omejitvijo parkiranja se mu omogoči, da lahko zapusti vozni pas, zapelje na postajališče ter da se po vstopu/izstopu potnikov lahko ponovno vključi v promet. Na območjih, na katerih prihaja do motnje prometnega toka na voznem pasu zaradi visokega obrata vozil na vzdolžnih parkiriščih, lahko z omejitvijo

parkiranja ustvarimo pas za desne zavijalce, ki hkrati avtobusom služi kot vozni pas za izogibanje kolonam vozil na ostalih voznih pasovih. S časovno omejenim parkiranjem lahko pridobimo vozni pas, rezerviran za avtobusni promet v času, ko na njemu niso parkirana vozila. Kadarkoli se uvedejo omejitve parkiranja, je nujno potrebno upoštevati njihov vpliv tako na ostali promet kot tudi na vsa sosednja območja, ki bodo občutila vpliv zmanjšanja števila parkirišč.

4.4.5 Izjeme pri prepovedi zavijanja v levo

Najbolj direktne smeri avtobusne proge pogosto ni možno zagotoviti, ker v križiščih ni dovoljeno zavijanje v levo. Omejitve zavijanja v levo so običajno potrebne, kadar v križiščih ni na voljo dovolj prostora za izvedbo razvrstilnih pasov za leve zavijalce ali kadar zmogljivost križišča ni zadostna, da bi bilo ob prenehanju zelenega signala za leve zavijalce možno normalno nadaljnje odvijanje prometa. Kadar so tovrstne omejitve bolj v funkciji preprečevanja prometnih zastojev in ne toliko posledica zahtev po povečanju prometne varnosti, lahko za avtobuse velja izjema in se jim dovoli zavijanje v levo, ker le-to ne bo imelo pretiranega učinka na odvijanje prometa, še zlasti, če je proga manj frekventna.

4.5 Ukrepi za izboljšanje delovanja proge

Izboljšave na prometnicah in prometni signalizaciji nista edina načina, s katerima lahko dosežemo boljše odvijanje avtobusnega prometa. Ponudniki avtobusnih prevoznih storitev imajo na voljo veliko ukrepov, s katerimi je možno zagotoviti večjo zmogljivost in potovalne hitrosti ter izboljšati kvaliteto ponudbe.

4.5.1 Lociranje avtobusnih postajališč

Semaforji na glavnih prometnicah so običajno dimenzionirani za promet osebnih vozil. Krmilni programi več sosednjih križišč so koordinirani tako, da dobimo t.i. *zeleni val* – ko se

skupina vozil približuje posameznemu križišču, pripelje vedno v zeleno fazo. Če so avtobusna postajališča konsistentno razporejena eni strani križišča, vsa so npr. locirana pred križiščem, bodo avtobusi pogosto pripeljali v križišče med zeleno fazo. Medtem, ko potniki vstopajo in izstopajo se bo na semaforju prižgala rdeča luč in avtobus bo moral čakati na novo zeleno fazo.

Kadar se semaforji nahajajo relativno blizu drug drugega lahko avtobusi izkoristijo prednosti obstoječega zaporedja semaforjev, če so postajališča razporejena izmenično enkrat pred in drugič za križiščem. Na primer, avtobus zapusti postajališče pred križiščem skupaj s skupino drugih vozil v trenutku, ko se prižge zelena luč. Nadaljuje skozi naslednje križišče in semafor s skupino vozil in prispe na postajališče, locirano za križiščem. Medtem, ko potniki vstopajo in izstopajo, se v križišču za njim prižge rdeča luč in avtobus se lažje ponovno vključi v promet. Nadaljuje do naslednjega postajališča pred križiščem, vožnja in zadrževanje se dogaja med rdečim intervalom, nadaljuje pa spet ob nastopu zelene faze.

Pri lociranju postajališč je potrebno upoštevati tudi druge dejavnike, prikazane v preglednici 3.6, kot so na primer dostop potnikov in možnost prestopanja.

4.5.2 Konsolidacija avtobusnih postajališč

Zmanjševanje števila avtobusnih postankov pomembno prispeva k povečanju potovalne hitrosti avtobusov. Paziti je potrebno, da zaradi ukinitve posameznih postajališč na ostalih relativno dobro izkoriščenih postajališčih ne pride do podaljšanja zadrževalnih zaradi prihoda dodatnega števila potnikov.

Združevanje avtobusnih postajališč pomeni izbiro med servisiranjem potnikov, ki uporabljajo posamezno postajališče in tistimi potniki, ki se že nahajajo na avtobusu in za katere sleherno zaustavljanje pomeni dodatno zamudo. Z ukinitvijo posameznih postajališč se lahko precej povečajo razdalje, ki jih morajo potniki prehoditi do preostalih postajališč, zaradi česar se lahko prebivalci in zaposleni v okolici ukinjenega postajališča odločijo, da se bodo prenehali

voziti z avtobusom. Težavo lahko predstavlja tudi pomanjkanje hodnikov za pešce vzdolž ceste, po kateri poteka avtobusna proga.

Alternativa ukinjanju avtobusnih postajališč na močno obremenjenih avtobusnih progah je lahko pokrivanje konic, zagotavljanje celodnevnih prevozov z izpuščanjem manj pomembnih postajališč v delih dneva, ko je pričakovati zanemarljivo število potnikov ali pa prevozi, s katerimi pokrivamo le nekaj najpomembnejših postajališč v kombinaciji z lokalnim prevozom, s katerim pokrijemo vsa postajališča.

4.5.3 Izpuščanje avtobusnih postajališč

Če vsi avtobusi ustavljajo na vsakem postajališču, je njihova razpoložljiva zmogljivost izkoriščena veliko hitreje, kot če so ustavljanja porazdeljena med nekaj izmeničnih skupin postajališč. Avtobuse na isti progi se razdeli v nekaj skupin, od katerih ima vsaka svojo oznako. Ti avtobusi ustavljajo le na postajališčih, ki so bila predvidena za njihovo skupino in ostala postajališča izpuščajo.

4.5.4 Združevanje avtobusov v kolone

Kadar več avtobusov združimo v skupino se le-ti gibajo podobno kot kolona vozil. Kolono avtobusov je potrebno preudarno zasnovati, kar lahko storimo z načrtovanjem voznega reda in nadzorom gibanja avtobusov ter s pomočjo prometne signalizacije – skupino avtobusov se zbere na določenem postajališču ter se jih nato v nizu odpravi naprej.

4.5.5 Tehnični predpisi

Pripravljanje objektivnih predpisov za določanje minimalnega in maksimalnega potrebnega prostora potrebnega za avtobusno postajališče, kriterijev za načrtovanje proge in podobno lahko ponudnikom avtobusnih prevoznih storitev pomaga pri izboljševanju kvalitete ponudbe.

Na primer, standardi, ki določajo razdaljo med avtobusnimi postajališči lahko pomagajo izboljšati bodočo ponudbo tako, da opravičijo povečanje razdalje med njimi. V ta sklop lahko štejemo tudi Zakon o varnosti v cestnem prometu ZVCP, ki daje avtobusom prednost pri vključevanju v promet.

4.5.6 Povzetek

Preglednica 4.2 - prednosti in pomanjkljivosti ukrepov na vozišču in prometni signalizaciji

Vrsta ukrepa	Prednosti	Pomanjkljivosti
Vozni pasovi za avtobuse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ povečanje hitrost avtobusov zaradi zmanjšanja števila vzrokov za zamude ▪ poveča se zanesljivost ▪ poveča se preglednost 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ upoštevati je potrebno učinke na promet in parkiranje zaradi ukinjanja voznih pasov in parkirišč ▪ zahtevani so nadaljnji ukrepi
Prednostna prometna signalizacija	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmanjšajo se zamude zaradi semaforjev ▪ poveča se zanesljivost 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nastanek motenj v koordiniranih semaforških operacijah ▪ nastanejo težave s prepustnostjo križišč, ki so blizu svoje polne zmogljivosti ▪ prilagajanje predpisov za avtobuse na stranskih cestah lahko zamude znašajo več od prihranka časa na prednostnih cestah
Obvozni avtobusni vozni pasovi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmanjšajo se zamude zaradi kolon vozil na priključkih avtocest in drugih lokacijah 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ obvozni avtobusni vozni pasovi morajo biti dostopni in daljši od zadnjega konca kolone vozil
Prehitevanje kolone vozil	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmanjšajo se zamude zaradi kolon vozil v semaforiziranih križiščih ▪ avtobusi lahko preskočijo stoječi promet 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ desni vozni pas mora biti dostopen in daljši od zadnjega konca kolone ▪ potrebna je posebna semaforska signalizacija ▪ skrajša se dolžina zelene faze za ostali promet ▪ vozniki avtobusov morajo biti opozorjeni na kratko trajanje prednostne zelene faze
Vstopni polotoki	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ni zamud pri ponovnem vključevanju v promet ▪ povečana udobnost vožnje, saj avtobusi ne zavijajo pri prihodu in odhodu s postajališča ▪ poveča se število parkirišč na račun prostora, ki bi bil sicer potreben avtobusu za prihod in odhod s postajališča ▪ na voljo je več prostora za izvedbo udobnega postajališča (čakalnica, klopi) ▪ skrajšanje razdalj za pešce 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ potrebna sta vsaj dva vozna pasova v smeri vožnje avtobusa, da med vstopanjem/izstopanjem potnikov ne pride do blokade prometa ▪ potrebne so posebne rešitve za kolesarski promet
Vstopni otoki	<ul style="list-style-type: none"> ▪ poveča se hitrost avtobusov, ki lahko uporabljajo hitrejši levi vozni pas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ potrebna sta vsaj dva vozna pasova v smeri vožnje avtobusa ter razlika v hitrosti med njima ▪ bolj kot drugi ukrepi se upošteva prednost vožnje ▪ posebna obravnava dostopnosti za pešce, udobja in varnosti
Omejitev parkiranja	<ul style="list-style-type: none"> ▪ poveča se hitrost avtobusov, ker ni prisotno manevriranje avtomobilov zaradi parkiranja ▪ poveča se zmogljivost ceste, zmanjšajo se prometni zastoji 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pomembno vpliva na nadaljnjo rabo prostora ▪ zahtevani so nadaljnji ukrepi
Izjeme pri prepovedi zavijanja v levo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ skrajša se potovalni čas, saj niso potrebni obvozi zaradi omejitev pri zavijanju 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ potencialno zmanjšanje zmogljivosti križišča ▪ posebna obravnava varnosti

Preglednica 4.3 - prednosti in pomanjkljivosti ukrepov za izboljšanje operativnih postopkov

Vrsta ukrepa	Prednosti	Pomanjkljivosti
Lociranje postajališča	<ul style="list-style-type: none"> ▪ uporaba prednosti obstoječe signalizacije 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ povečajo se lahko razdalje za pešce, ki jih morajo prehoditi, da pridejo na postajališče na nasprotni strani ceste
Konsolidacija avtobusnih postajališč	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmanjša se število postajališč, kar prispeva k večji povprečni hitrosti avtobusov 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ za nekatere potnike se povečajo razdalje, ki jih morajo prehoditi do postajališča ▪ pomanjkanje prometne infrastrukture za pešce za zagotovitev dostopnosti najbližjega postajališča
Izpuščanje avtobusnih postajališč	<ul style="list-style-type: none"> ▪ poveča se hitrost avtobusov in zmogljivost proge 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ potniki, ki se ne vozijo pogosto ne bodo jasno vedeli, kje morajo vstopiti/izstopiti ▪ potrebna je dostopnost voznega pasu
Združevanje avtobusov v kolone	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmanjšajo se vozne aktivnosti 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ težko izvedljivo
Predpisi za načrtovanje	<ul style="list-style-type: none"> ▪ spremembe za izboljšanje so lažje sprejete ▪ konsistentno načrtovanje in zasnova sistema 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ preveč rigidna uporaba predpisov je prav tako slaba, kot neobstoj kakršnih koli predpisov

5.0 AVTOBUSNI VOZNI PASOVI

5.1 Splošno

V tem poglavju so prikazane metodologije za analiziranje delovanja avtobusnega potniškega prometa na avtobusnih voznih pasovih. Njihova značilnost je, da so namenjeni izključno prometu avtobusov, od ostalega vozišča pa so ločeni bodisi s horizontalno prometno signalizacijo, t.j. rumena robna črta bodisi s fizično bariero. Do motenj avtobusnega prometa prihaja le v območju križišča in zaradi prometne signalizacije, na primer stop znakov.

5.2 Tipi avtobusnih voznih pasov

Ločimo tri tipe avtobusnih voznih pasov, ki se medsebojno razlikujejo glede na to, ali obstaja možnost uporabe sosednjih vzporednih voznih pasov oziroma medsebojnega prehitevanja avtobusov:

- *tip 1* - avtobusi nimajo možnosti uporabe vzporednega voznega pasu, obstaja nasprotni tok vozil, pasovi sami pa so fizično ločeni od ostalega vozišča
- *tip 2* - avtobusi lahko delno uporabljajo vzporedni vozni pas, kar je odvisno od prometne obremenitve zaradi ostalega prometa. Desno zavijanje ostalih vozil je/ni dovoljeno.
- *tip 3* – avtobusi lahko uporabljajo vzporedni vozni pas, desno zavijanje z avtobusnega voznega pasu je prepovedano za vsa vozila razen za buse, pasovi pa so lahko fizično ločeni od ostalega vozišča

5.3 Zmogljivost avtobusnih voznih pasov

Na zmogljivost avtobusne proge potekajoče po avtobusnih voznih pasovih vplivajo naslednji dejavniki:

- zmogljivost kritičnega postajališča na progi
- tip avtobusnega voznega pasu
- način vožnje, posamezno ali v koloni
- kvocient števila ostalih vozil in zmogljivosti na vzporednih voznih pasovih
- lokacija avtobusnega postajališča in število desnih zavijalcev na avtobusnem pasu

Kadar na avtobusni progi, ki poteka po avtobusnem voznem pasu, niso predvideni posebni ukrepi, na primer izpuščanje posameznih postajališč ali prepoved desnega zavijanja za ostala vozila, je zmogljivost takšne proge pogojena z zmogljivostjo kritičnih postajališč.

5.3.1 Zamude zaradi desnih zavijalcev

V križiščih prihaja do križanj in prepletanj različnih prometnih tokov, tako da desni zavijalci z avtobusi pravzaprav tekmujejo za prostor. Običajno vozila v desno zavijajo z avtobusnega voznega pasu, v nekaterih primerih pa tudi z vzporednih voznih pasov. V primerih postajališč pred križiščem z dovoljenim zavijanjem v desno lahko zaradi le-tega za avtobusi nastanejo zastoji. V obratnem primeru lahko desni zavijalci blokirajo avtobus ali onemogočijo predizpraznitev križišča, ki je bilo avtobusu omogočena s predizpraznitvenim semaforiskim signalom. Motnji zaradi desnega zavijanja je potrebno prišteti še prometni tok pešcev, ki prečkajo cesto in blokirajo desno zavijanje. Na dolžino zamud, nastalih zaradi desnega zavijanja, pomembno vpliva lokacija postajališča, ki je lahko pred križiščem, za križiščem ali med dvema sosednjima križiščema.

Konfliktnost med avtobusi in desnimi zavijalci pride najbolj do izraza, kadar je postajališče locirano pred križiščem in kadar avtobusi ne morejo prosto uporabljati avtobusnega voznega pasu. Veliko število ostalih v desno zavijajočih vozil lahko preprečuje možnost dostopa na

postajališča, medtem ko avtobusi, na katere vstopajo/izstopajo potniki v času zelene faze lahko onemogočajo desno zavijanje ostalim vozilom. Tovrstne motnje je mogoče zmanjšati s povečanjem razdalje med stop črto in postajališčem. Na postajališčih, lociranih za križiščem ali med križiščema, je vpliv desnega zavijanja na hitrost avtobusov občutno zmanjšan, kadar je možna tudi uporaba sosednjih vzporednih voznih pasov. Lociranje postajališč na območjih, kjer niso prisotni desni zavijalci, pripomore k zmanjšanju zamud. Kadar obstajajo dvojni avtobusni vozni pasovi, včasih tudi z nasprotno smerjo vožnje, je za ostali promet desno zavijanje običajno prepovedano.

Tako kot preko avtobusnih voznih pasov desno zavijajoča vozila povzročajo zamude avtobusov, tudi pešci, ki prečkajo cesto in se gibljejo vzporedno avtobusnemu pasu, povzročajo zamude desno zavijajočih vozil. Te zamude nastopijo takoj na začetku zelenega intervala za avtobuse, ko ob prehodu koncentrirani pešci sestopijo s pločnika na prehod za pešce.

Z vožnjo in uporabo prostora na avtobusnem voznem pasu med zavijanjem desni zavijalci zmanjšujejo zmogljivost avtobusne proge, saj porabijo precejšen delež časa zelene faze, ki je na voljo avtobusom. Kadar je število avtobusov na progi manjše od polovice njene zmogljivosti, je vpliv majhnega števila desnih zavijalcev na zmogljivost proge in hitrost avtobusov majhen, razen če je prisoten močan prometni tok pešcev. V preglednici 5.1 je prikazana zmogljivost c_r v odvisnosti od števila desno zavijajočih vozil, ki za zavijanje izkoriščajo avtobusni vozni pas.

Preglednica 5.1 : zmogljivost c_r v odvisnosti od števila desno zavijajočih vozil

Konfliktno število pešcev [ped/h]	g/C faktor za avtobusne proge					
	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
0	510	580	650	730	800	870
100	440	510	580	650	730	800
200	360	440	510	580	650	730
400	220	290	360	440	510	580
600	70	150	220	290	360	440
800	0	0	70	150	220	290
1000	0	0	0	0	70	150

Vpliv desnih zavijalcev na zmogljivost avtobusne proge s potekom po avtobusnem voznem pasu lahko določimo tako, da pomnožimo zmogljivost proge brez desnih zavijanj s korekcijskim faktorjem desnih zavijanj f_r , ki ga določimo s pomočjo enačbe 5.1:

$$f_r = 1 - f_l \left(\frac{v_r}{c_r} \right) \quad \dots \text{ enačba 5.1}$$

f_r ... korekcijski faktor desnih zavijanj

f_l ... faktor lokacije avtobusnega postajališča, preglednica 5.2

v_r ... število desnih zavijalcev (voz/h)

c_r ... zmogljivost zaradi vpliva desnih zavijalcev (voz/h)

Preglednica 5.2 - vrednosti faktorja lokacije avtobusnega postajališča f_l

Lokacija avtobusnega postajališča	Tip avtobusne proge		
	Tip 1	Tip 2	Tip 3
Pred križiščem	1.0	0.9	0.0
Med dvema križiščema	0.9	0.7	0.0
Za križiščem	0.8	0.5	0.0

Za avtobusne pasove z nasprotnim prometom ali avtobusne pasove med dvema voznima pasovoma, ne glede na lokacijo avtobusnih postajališč ali tipe pasov in v primerih, ko so zavijanja desno prepovedana, faktor f_l znaša 0.

5.3.2 Izračun prometne zmogljivosti proge na avtobusnem vozem pasu

Prometno zmogljivost postajališča na avtobusni progi, ki poteka po avtobusnem vozem pasu izračunamo s pomočjo enačbe 5.2:

$$B_s = B_l N_{el} f_r \quad \dots \text{ enačba 5.2}$$

B_s ... prometna zmogljivost postajališča (bus/h)

B_l ... prometna zmogljivost perona (bus/h), enačba 3.6

N_{el} ... število efektivnih peronov na kritičnem postajališču

f_r ... korekcijski faktor desnih zavijanj

Pri določanju kritičnega postajališča je potrebno opraviti meritve na več postajališčih, da je mogoče ugotoviti, od katerega postajališča bo odvisna zmogljivost proge. Na enem postajališču so na primer mogoči dolgi zadrževalni časi, na drugem lahko na zmogljivost vplivajo desni zavijalci itd.

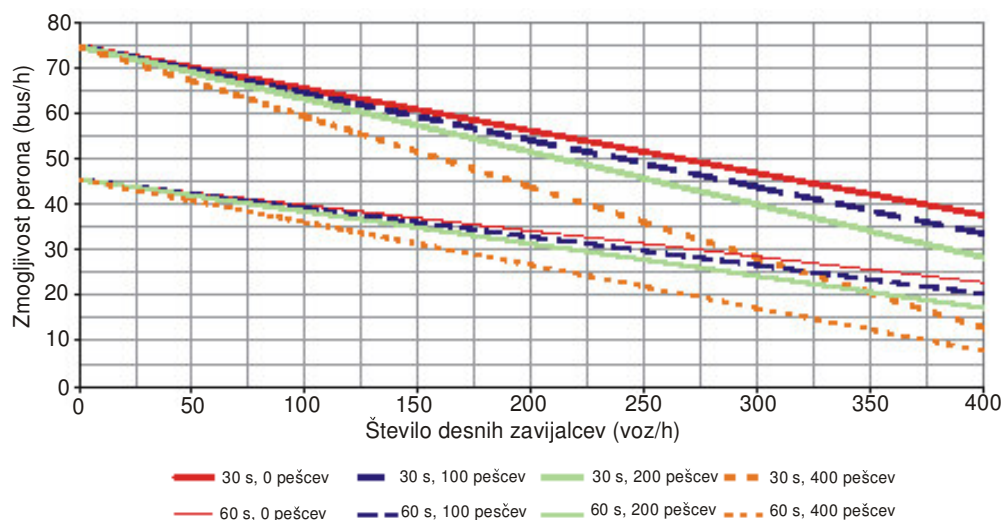


Diagram 5.1: vpliv zadrževalnega časa, desnih zavijalcev in pešcev na prometno zmogljivost proge

Opomba: upoštevan je $g/C=0.5$, postajališče pred križiščem, avtobusni vozni pas Tip 2, dva linerna perona na postajališču, spremenljivost zadrževalnega časa 60%, neuspešnost prihodov 25%, odhodni čas 15 s, slučajni prihodi avtobusov, dovoljena je semaforska faza za desno zavijanje, avtobusni pas uporabljajo pri desnem zavijanju uporabljajo tudi druga vozila, minimalno število avtobusov v primerjavi s številom desnih zavijalcev.

Iz diagrama je razvidno, da je pri majhnem številu desnih zavijalcev in pešcev zmogljivost proge odvisna od zadrževalnega časa. Logično je, da ima majhno konfliktno število pešcev, manj kot 200 na uro, majhen vpliv na zmogljivost, medtem ko veliko število pešcev nanjo že vpliva, zlasti v kombinaciji z večjim številom desnih zavijalcev. Število pešcev na zmogljivost nima vpliva, kadar ni desnih zavijalcev – premice v diagramu za posamezne zadrževalne čase se stekajo v eno točko. Razvidno je tudi, da se premice za podano število pešcev približujejo točki, v kateri je zmogljivost zaradi desnih zavijalcev presežena, zmogljivost avtobusne proge pa enaka 0. Med tema dvema ekstremoma prometna zmogljivost proge pada z naraščanjem števila desnih zavijalcev vse do točke, kjer število avtobusov preseže zmogljivost proge.

5.4 Hitrosti avtobusov

Najboljši način za določitev potovalne hitrosti avtobusov je neposredno merjenje na terenu. Kadar to ni mogoče, na primer pri načrtovanju novih prog, je hitrost mogoče oceniti. To je najbolje narediti tako, da se bodočo progo prevozi, opravi se povprečno število simulacij postankov, priporočljivo pa je opraviti tudi dve do tri vožnje v času prometnih konic ter v običajnih razmerah. Vozni red predpostavimo na osnovi podobnih prog.

5.4.1 Hitrosti avtobusov na avtobusnih voznih pasovih

Hitrosti avtobusov na avtobusnih voznih pasovih so odvisne od razdalj med postajališči, zadrževalnih časov, zamud zaradi prometne signalizacije in desnih zavijalcev ter motenj zaradi drugih avtobusov. Ti vplivi so zajeti v enačbi 5.3, ki jo lahko uporabljamo za oceno potovalnih hitrosti na progah, ki potekajo po avtobusnih pasovih. Obratovalni čas avtobusov se določi s pomočjo preglednic 5.3 in 5.4, v katerima so zajeti vplivi razdalj med postajališči, zadrževalnega časa ter zamud zaradi prometa in prometne signalizacije.

$$S_t = \left(\frac{60}{t_r + t_l} \right) f_b \quad \dots \text{ enačba 5.3}$$

S_t ... potovalna hitrost (km/h)

t_r ... obratovalni čas avtobusov (min/km)

t_l ... izgubljeni obratovalni čas avtobusov (min/km)

f_b ... korekcijski faktor interference, preglednica 5.5

5.4.2 Potovalni čas

S pomočjo preglednic 5.3. in 5.4 je mogoče oceniti obratovalni čas avtobusov kot funkcijo razdalj med postajališči, povprečnega zadrževalnega časa na postajališče – ne samo na kritičnem postajališču in vplivov okolja, v katerem deluje proga. Vrednosti so določene na osnovi opazovanj in meritev na terenu. Najprej s pomočjo preglednice 5.3 določimo osnovni obratovalni čas avtobusa, ki izraža hitrost, pri kateri bo avtobus potoval brez kakršnih koli zamud zaradi prometne signalizacije ali ostalega prometa. Nato iz preglednice 5.4 določimo izgubljeni obratovalni čas, ki zajema vplive prometne signalizacije in ostalih vozil, ki skupaj z avtobusom uporabljajo avtobusni vozní pas. Če so na voljo podatki o dejansko izgubljenih obratovalnih časih, jih lahko uporabimo namesto vrednosti iz preglednice.

Povprečne hitrosti lahko izračunamo za vse razdalje in kombinacije različnih tipov postajališč. Pri ocenjevanju koridorja na hitrost vplivajo dolžina odseka v študijskem območju, število postajališč in zadrževalni časi na vseh postajališčih. Zmogljivost se določi na kritičnem postajališču, na katerem kombinacija zadrževalnega časa in spremenljivosti zadrževalnega časa rezultirata v najmanjšo zmogljivost. Pri izračunu hitrosti je potrebno upoštevati postajališče z največjo zmogljivostjo, na katerem je neuspešnost prihodov največ 25%. Odsek proge, ki ga izberemo za analizo, mora imeti homogene lastnosti v smislu geometrije prometnic, avtobusnih voznih pasov, frekventnosti ustavljanj in zadrževalnih časov. Pri ocenjevanju hitrosti avtobusa na izbranem odseku moramo upoštevati povprečni zadrževalni čas in največji kvocient v/c . Odsek mora biti dolg vsaj 400 m, če je mogoče pa 800 m.

Preglednica 5.3: osnovni obratovalni čas avtobusa

Zadrževalni čas [s]	Število postajališč na 1 km							
	1	2	3	4	5	6	7	8
10	1.39	1.82	2.29	2.83	3.46	4.18	5.04	5.91
20	1.55	2.15	2.79	3.49	4.29	5.19	6.20	7.24
30	1.72	2.49	3.29	4.16	5.12	6.18	7.37	8.58
40	1.89	2.82	3.78	4.82	5.96	7.18	8.54	9.91
50	2.06	3.15	4.28	5.49	6.80	8.18	9.70	11.24
60	2.22	3.48	4.77	6.15	7.63	9.18	10.87	12.58

Opomba: vmesne vrednosti se določijo z interpoliranjem.

Preglednica 5.4: izgubljeni obratovalni čas avtobusa

Pogoji	Avtobusni pas	Avtobusni pas, zavijanje desno ni dovoljeno	Avtobusni pas, zamude zaradi desnega zavijanja	Avtobusni pas, Zamude zaradi ostalega prometa	Mešani prometni tok
V NASELJU					
Tipični		0.7	1.2	1.5-1.8	1.8
Semaforji prilagojeni avtobusom		0.4	0.8		
Semaforji pogostejši od postajališč		0.9-1.2	1.5-1.8	1.8-2.1	2.1-2.4
IZVEN NASELJA					
Tipični	0.4				0.6
Razni	0.3-0.6				0.4-0.9

Opomba: zamude zaradi ostalega prometa so upoštevane za urne konice.

5.4.3 Interferenca med avtobusi

Hitrosti avtobusov a avtobusnih voznih pasovih se pričnejo zmanjševati takoj, ko prične ta pas postajati zasičen z avtobusi. Verjetnost, da bodo avtobusi ovirali drug drugega, narašča z večanjem števila avtobusov na avtobusnem pasu, česar ni mogoče preprečiti niti s povečanjem števila peronov na postajališčih niti z omogočanjem prehitevanja.

Preglednica 5.5 - korekcijski faktorji interference f_b za določitev števila avtobusov ob upoštevanju avtobusnih voznih pasov Tipa 1 in 2, semaforскими ciklusi dolžine 80 sekund, kvocientom $g/C = 0.5$, zadrževalnim časom 20 – 50 sekund in spremenljivostjo zadrževalnega časa 33%.

Kvocient v/c avtobusnega pasu	Interferenčni faktor
<0.5	1.00
0.5	0.97
0.6	0.94
0.7	0.89
0.8	0.81
0.9	0.69
1.0	0.52
1.1	0.35

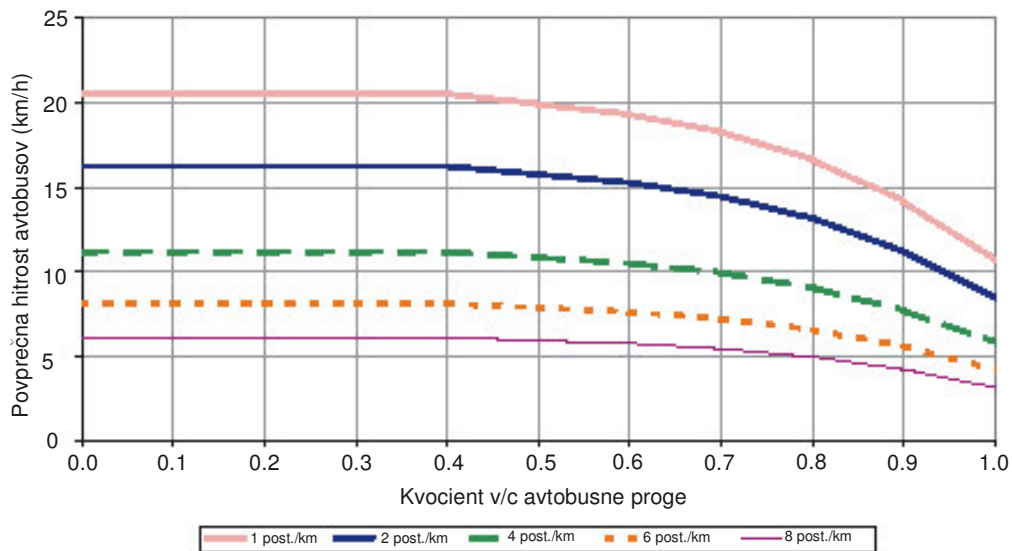


Diagram 5.2: vpliv naraščanja števila avtobusov na avtobusnem voznem pasu na njihove hitrosti

Opomba: upoštevani so 30 sekundni zadrževalni časi, avtobusni pasovi v naselju z dovoljenim desnim zavijanjem in tipičen semaforski cikel

6.0 AVTOBUSNE PROGE V MEŠANEM PROMETU

6.1 Splošno

Avtobusne proge najpogosteje obratujejo na voznih pasovih z mešanim prometom in sicer tako proge mestnega kot primestnega in medkrajevnega potniškega prometa. Po njih lahko vozijo avtobusi različnih dimenzij, standardni in zglobni, same proge pa so lahko stalne ali pa so začasnega/občasnega značaja.

Ker se avtobusi na voznem pasu z mešanim prometom obnašajo podobno kot ostala vozila, je njihov vpliv na skupno prometno zmogljivost voznega pasu potrebno obravnavati tako kot vpliv ostalih vozil. Prometno avtobusno zmogljivost določimo na enak način, kot za avtobusne vozne pasove s to razliko, da je potrebno upoštevati tudi interferenco med avtobusi in ostalimi vozili, ki so največje v primeru postajališč v nišah, ko so avtobusi kljub Zakonu o varnosti v cestnem prometu, ki jim daje prednost pred ostalimi vozili, pogosto prisiljeni čakati na ponovno vključitev v promet.

6.2 Načini delovanja avtobusnih prog v mešanem prometu

Za razliko od prog na avtobusnih voznih pasovih ločimo v mešanem prometu dva tipa avtobusnih prog:

- Tip 1: en vozni pas v smeri avtobusne proge, po katerem se gibljejo tudi ostala vozila, ki lahko parkirajo in zavijajo, zaradi česar nastajajo zamude
- Tip 2: dva vozna pasova v smeri avtobusne proge, po katerima vozijo tudi ostala vozila, avtobusi pa imajo možnost, da zapustijo robni vozni pas zato, da se izognejo stoječim vozilom

6.3 Zmogljivost proge v mešanem prometu

Število vozil, ki si v mešanem prometu z avtobusi delijo vozni pas, na avtobusno zmogljivost vpliva na dva načina:

- zaradi interference z ostalimi vozili lahko posebno v križiščih nastanejo situacije, ko je avtobusom onemogočen dostop do postajališč ali pa da obtičijo v kolonah
- na postajališčih v nišah lahko nastanejo dodatne zamude med ponovnim vključevanjem avtobusov v promet, ki jih vštujemo v odhodni čas, le-tega pa se upošteva pri določanju zmogljivosti postajališča

Vpliv interference z ostalimi vozili je zajet z naslednjim korekcijskim faktorjem mešanega prometa f_m , ki ga izračunamo s pomočjo enačbe 5.4:

$$f_m = 1 - f_l \left(\frac{v}{c} \right) \quad \dots \text{ enačba 5.4}$$

f_m ... korekcijski faktor mešanega prometa

f_l ... faktor lokacije avtobusnega postajališča, preglednica 5.2

v ... število ostalih vozil na voznem pasu v obravnavanem križišču

c ... zmogljivost voznega pasu v obravnavanem križišču

Korekcijski faktor mešanega prometa f_m je pravzaprav enak korekcijskemu faktorju desnih zavijanj f_r na avtobusnih voznih pasovih, podanem v enačbi 5.1. Razlika je le v tem, da je lahko v primeru mešanega prometa število ostalih vozil večje, njihovi prometni tokovi pa lahko potekajo naravnost, zavijajo desno ali celo levo, zaradi česar je avtobusna prometna zmogljivost proge v mešanem prometu manjša kot na progah, ki potekajo po avtobusnih pasovih.

S pomočjo enačbe 5.5 lahko izračunamo avtobusno prometno zmogljivost proge v mešanem prometu. Na osnovi znane prometne zmogljivosti lahko določimo potniško zmogljivost s pomočjo enačbe 3.9 in diagramov iz poglavja 7 – priloge.

$$B_s = B_l N_{el} f_m \quad \dots \text{ enačba 5.5}$$

B_s ... avtobusna prometna zmogljivost proge v mešanem prometu [bus/h]

B_l ... prometna zmogljivost perona na kritičnem postajališču [bus/h]

N_{el} ... faktor učinkovitosti

f_m ... korekcijski faktor mešanega prometa na kritičnem postajališču

Iz diagrama 5.3 je razvidno, kako se z naraščanjem števila ostalih vozil zmanjšuje zmogljivost proge ter kako se spreminjajo zmogljivosti prog v odvisnosti od lokacije avtobusnih postajališč. Na avtobusnih progah v mešanem prometu je lahko zmogljivost postajališč v niši večja od zmogljivosti postajališč na vozišču, kar pa je odvisno predvsem od gostote prometa na voznem pasu ter od števila peronov na posameznem postajališču.

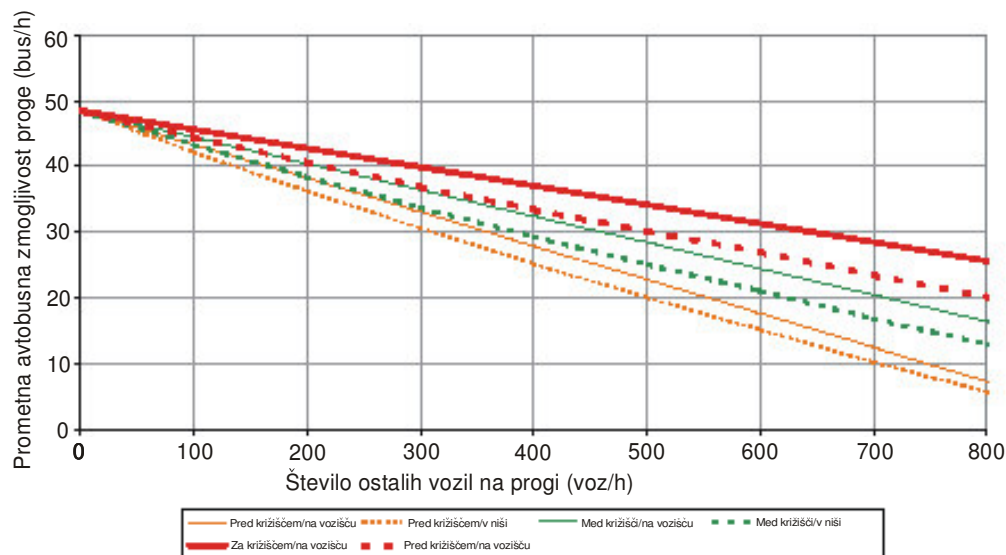


Diagram 5.3: zmogljivosti proge v odvisnosti od števila ostalih vozil in lokacije postajališč

6.4 Hitrosti avtobusov v mešanem prometu

Enako kot na avtobusnih progah na avtobusnih pasovih je tudi na progah v mešanem prometu hitrost avtobusov najbolje določiti z meritvami na terenu. Kadar to ni mogoče, na primer pri načrtovanju novih prog, je hitrost mogoče oceniti in sicer tako, da se bodočo progo prevozi, opravi se povprečno število simulacij postankov, priporočljivo pa je opraviti tudi dve do tri vožnje v času prometnih konic ter v običajnih razmerah. Vozni red predpostavimo na osnovi podobnih prog.

Na hitrosti avtobusov v mešanem prometu vplivajo razdalje med avtobusnimi postajališči, zadrževalni časi, zamude zaradi prometne signalizacije in interferenca ostalih vozil. Za oceno hitrosti se uporabi enak postopek, kot za oceno hitrosti proge na avtobusnem voznem pasu, to je s pomočjo enačbe 5.3 ter preglednic 5.3 in 5.4.

7.0 PRILOGE

V tem poglavju so podani primeri obrazcev za zbiranje podatkov na terenu in diagrami, potrebni za načrtovanje avtobusnih prog.

7.1 Obrazci

Obrazec za določitev oskrbovalnega čas potnikov št. _____

Datum: _____ Čas: _____

Proga: _____ Lokacija: _____ Smer proge: _____

Št. busa/ proge	Čas prihoda	Čas odprtja vrat	Čas konca vstopanja glavnine potnikov	Čas zaprtja vrat	Čas odhoda	Št. vstopajočih potnikov		Št. izstopajočih potnikov		Št. potnikov na busu po odhodu	Opombe
						Spredaj	Zadaj	Spredaj	Zadaj		

Obrazec št. 1 – določitev oskrbovalnega časa potnikov

Obrazec za določitev zadrževalnega časa: _____

Datum: _____ Čas: _____

Proga: _____ Lokacija: _____ Smer proge: _____

Ime post.	Čas prihoda	Čas odprtja vrat	Čas konca vstopanja glavnine potnikov	Čas zaprtja vrat	Čas odhoda	Št. vstopajočih potnikov		Št. izstopajočih potnikov		Št. potnikov na busu po odhodu	Opombe
						Spredaj	Zadaj	Spredaj	Zadaj		

Obrazec št. 2 - določitev zadrževalnega časa

7.2 Diagrami

V tem poglavju so podani diagrami za določanje zmogljivosti avtobusnega postajališča.

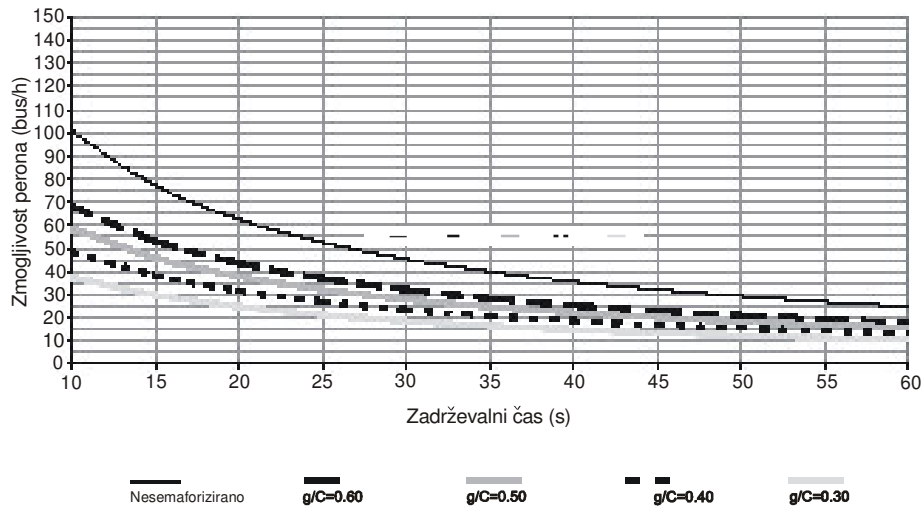


Diagram št. 7.1: postajališče v niši, 400 voz/h, primestno naselje – neuspešnost prihodov 2.5%, c_v 60%

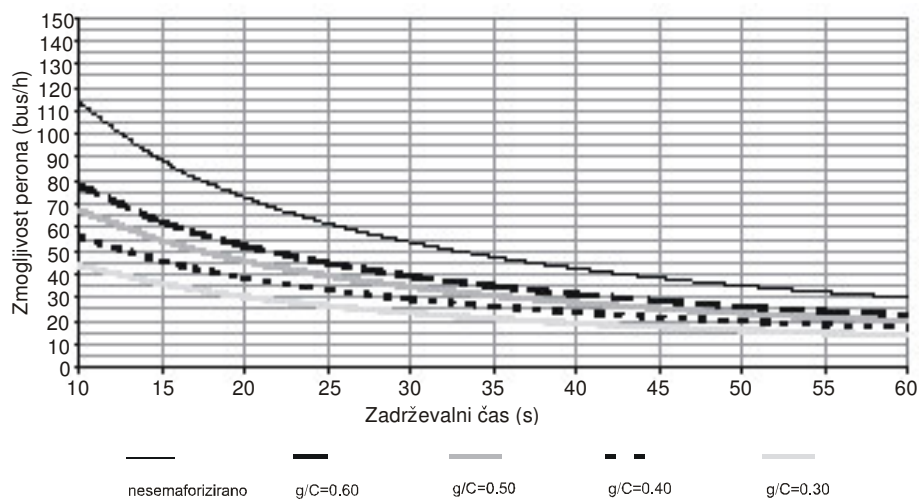


Diagram št. 7.2: postajališče v niši, 400 voz/h, mestno središče – neuspešnost prihodov 10%, c_v 60%

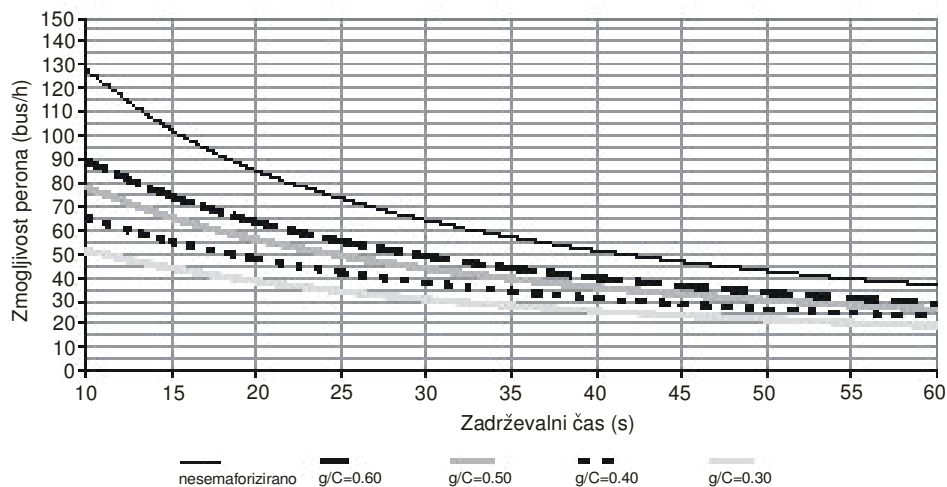


Diagram št. 7.3: postajališče v niši, 400 voz/h, največja zmogljivost – neuspešnost prihodov 25%, c_v 60%

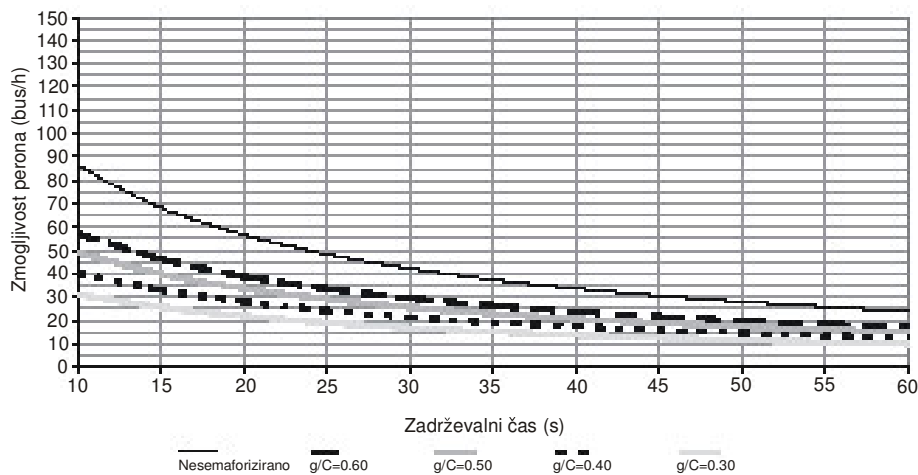


Diagram št. 7.4: postajališče v niši, 800 voz/h, primestno naselje – neuspešnost prihodov 2.5%, c_v 60%

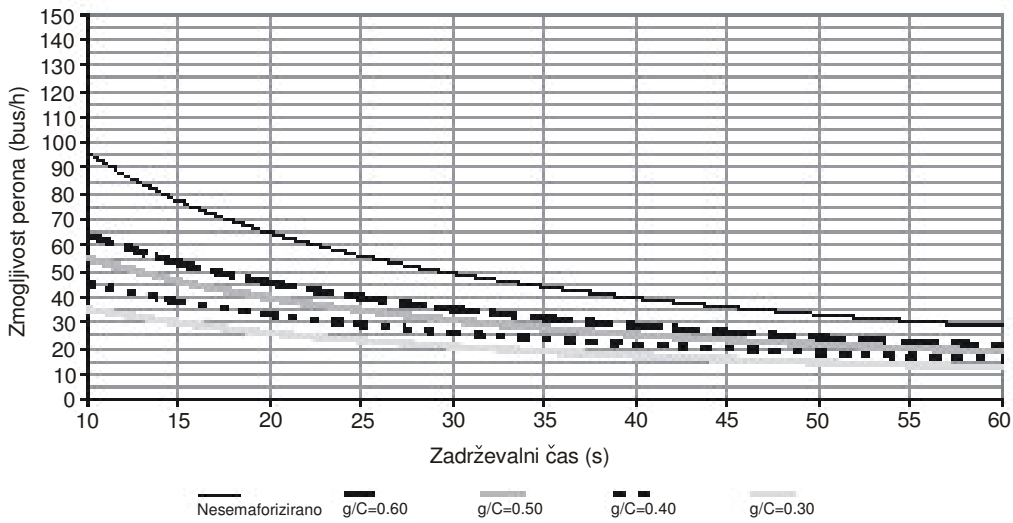


Diagram št. 7.5: postajališče v niši, 800 voz/h, mestno središče – neuspešnost prihodov 10%, c_v 60%

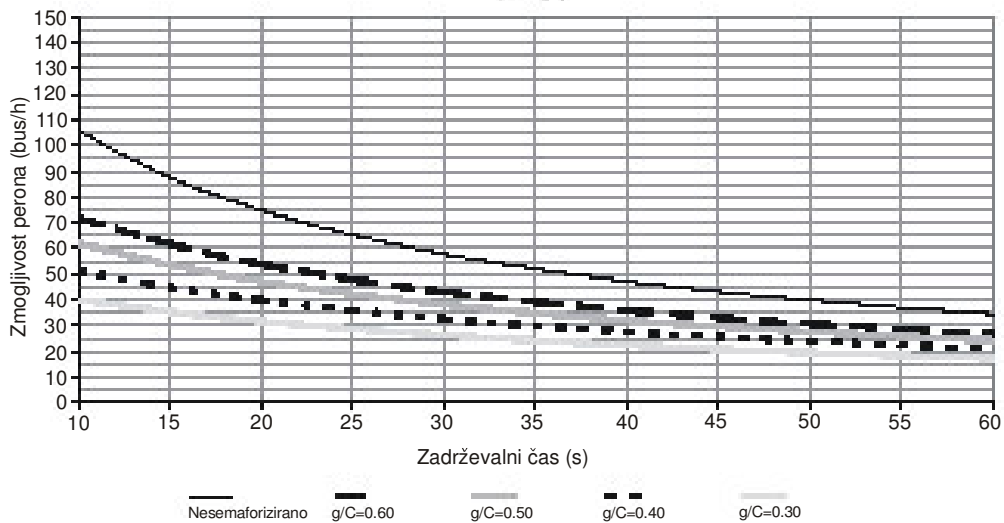


Diagram št. 7.6: postajališče v niši, 800 voz/h, največja zmogljivost – neuspešnost prihodov 25%, c_v 60%

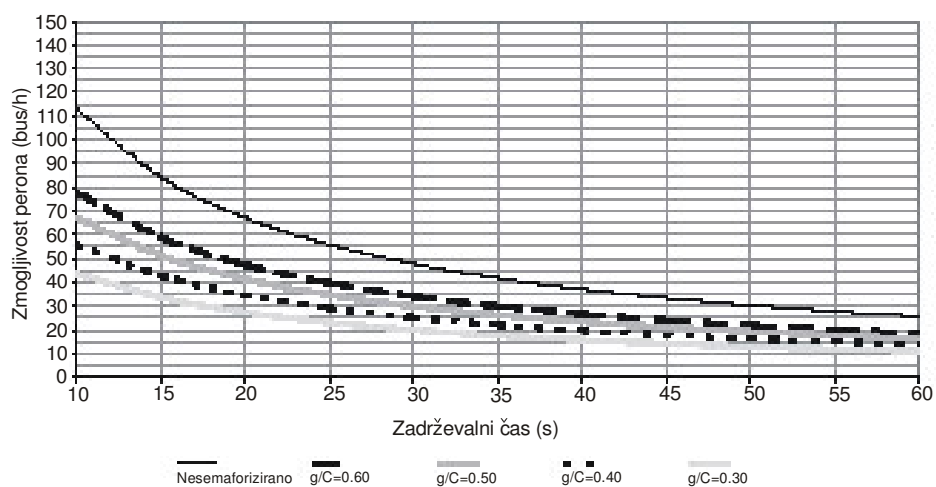


Diagram št. 7.7: postajališče na vozišču, primestno naselje – neuspešnost prihodov 2.5%, c_v 60%

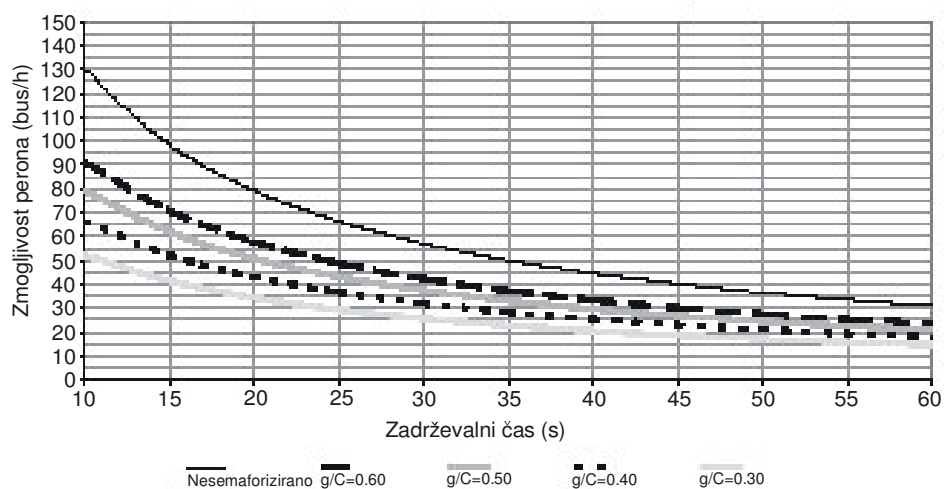


Diagram št. 7.8: postajališče na vozišču, mestno središče – neuspešnost prihodov 10%, c_v 60%

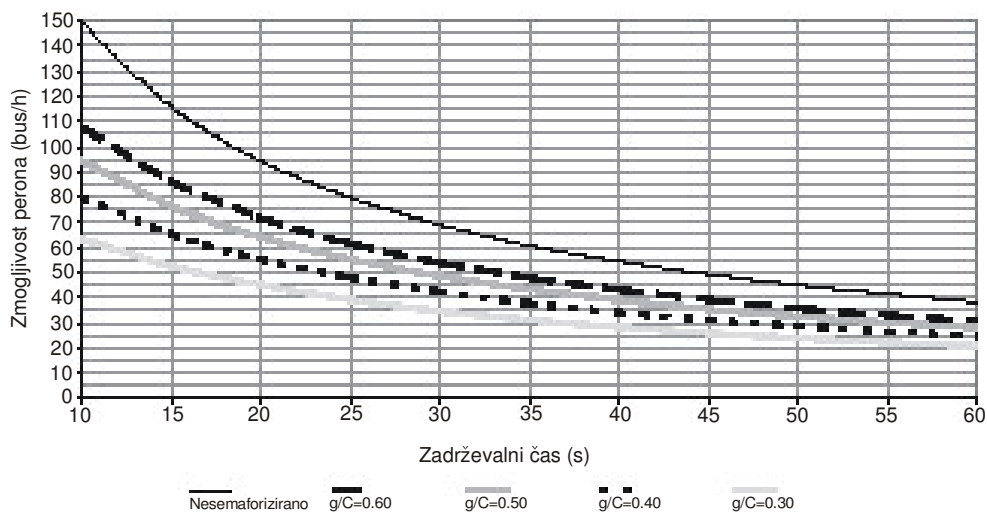


Diagram št. 7.9: postajališče na vozišču, največja zmogljivost – neuspešnost prihodov 25%, c_v 60%

8.0 PRAKTIČNI PRIMERI

8.1 Splošno

V praktičnem delu diplomske naloge je bila izdelana analiza učinkov možnih ukrepov za povečanje zmogljivosti in skrajšanja potovalnega časa avtobusov mestnega prometa na odseku Celovške ceste med križiščem s Kosmačevo in križiščem z Litostrojsko cesto.

Na LPP-ju nimajo zbranih podatkov o številu vstopajočih/izstopajočih potnikov za posamezno postajališče in tudi ne podatkov o zadrževalnih, odhodnih in oskrbovalnih časih - število prepeljanih potnikov določijo iz števila prodanih vozovnic, žetonov in voznine, plačane v gotovini, postajne čase kot vsoto zadrževalnih in odhodnih časov pa je mogoče določiti s spremljanjem avtobusov s pomočjo GPS-a. Ker so bili za potrebe izdelave diplomske naloge potrebni natančnejši podatki za vsako posamezno postajališče, so bili podatki o številu potnikov pridobljeni s štetjem na terenu, prav tako so se na terenu izvajale tudi meritve zadrževalnih, odhodnih in oskrbovalnih časov potnikov. Štetja in meritve so se izvajale ob delavnikih v jutranji urni konici od 7:00 do 8:00 ter v popoldanski urni konici od 15:30 do 16:30 in sicer na vsakem postajališču dvakrat v jutranji in dvakrat v popoldanski urni konici. Potrebno je poudariti, da tako pridobljeni podatki niso dovolj reprezentativni.

Podatki o prometni obremenitvi vozniških pasov so pridobljeni iz študije Promet v Ljubljani 2002, naročnik MOL, izvajalec Teca d.o.o. Podatki o potovalnih hitrostih avtobusov, postajnih časih in frekventnosti avtobusov so pridobljeni na LPP-ju.

Kot možna ukrepa za izboljšanje delovanja avtobusne proge sta predvidena dva ukrepa in sicer uvedba posebnega avtobusnega voznega pasu ter sprememba načina plačevanja voznine.

8.2 Obstoječe stanje



Slika 8.1 – študijsko območje

Študijsko območje obsega odsek Celovške ceste od križišča z Litostrojsko cesto do križišča s Kosmačevo ulico oziroma do avtobusnega obračališča, po kateri deluje avtobusna proga na voznem pasu v mešanem prometu in sicer v smeri od Vižmarij proti centru ter od centra proti Vižmarjem, na njej pa se nahaja osem parov avtobusnih postajališč:

- postajališče št. 1 – Avtomontaža
- postajališče št. 2 – Kompas
- postajališče št. 3 – Dravlje
- postajališče št. 4 – Trata
- postajališče št. 5 – Prušnikova
- postajališče št. 6 – Podgora
- postajališče št. 7 – Šentvid
- postajališče št. 8 – Vižmarje

Postajališče Vižmarje se nahaja na avtobusnem obračališču in zaradi svoje netipičnosti v nadaljevanju naloge ni obravnavano. Na celotnem odseku, ki je predmet obdelave te naloge, delujejo proge št. 1,15 in 16, na odseku od križišča s Pečnikovo in Kosmačevo ulico pa še proga 8.

Preglednica 8.1 – postajališča na odseku proge v študijskem območju

Ozn. post.	Ime postajališča	Lokacija	V niši/na vozišču	Št.peronov	Oznake prog
1	Avtomontaža-smer center	Med križiščema	v niši	2	1,15,16
2	Kompas – smer center	Pred križiščem	v niši	2	1,15,16
3	Dravlje – smer center	Med križiščema	v niši	2	1,15,16
4	Trata – smer center	Za križiščem	v niši	2	1,15,16
5	Podgora – smer center	Za križiščem	v niši	2	1,15,16
6	Prušnikova – smer center	Za križiščem	v niši	2	1,8,15,16
7	Šentvid – smer center	Za križiščem	v niši	2	1,8,15,16
8	Šentvid – smer Vižmarje	Pred križiščem	v niši	2	1,8,15,16
9	Prušnikova – smer Vižmarje	Za križiščem	v niši	2	1,8,15,16
10	Podgora – smer Vižmarje	Za križiščem	v niši	2	1,15,16
11	Trata – smer Vižmarje	Za križiščem	v niši	2	1,15,16
12	Dravlje – smer Vižmarje	Za križiščem	v niši	2	1,15,16
13	Kompas – smer Vižmarje	Za križiščem	v niši	2	1,15,16
14	Avtomontaža-smer center	Med križiščema	v niši	2	1,15,16

Pri štetju potnikov in meritvah zadrževalnih, odhodnih in oskrbovalnih časov je bilo ugotovljeno, da je v smeri center merodajna jutranja konica, v smeri Vižmarje pa popoldanska urna konica. To je mogoče pojasniti s tem, da se ob Celovski cesti na obravnavanem odseku nahajajo predvsem stanovanjske soseske in ni območij z izrazito gospodarsko ali kakšno drugo dejavnostjo. Industrijsko-obrtna cona med Celovško cesto in železniško progo deloma

gravitira k Cesti Ljubljanske brigade, po kateri obratuje avtobusna proga št. 8. Večina potnikov se zjutraj odpelje v smeri proti centru, ob koncu delavnika pa se vračajo iz te smeri vračajo. V smeri center zato močno prevladujejo vstopi, v smeri Vižmarje pa izstopi potnikov.

V preglednici 8.2 so prikazani podatki o povprečnem številu vstopajočih/izstopajočih potnikov, frekventnosti avtobusov in številu delujočih prog za posamezno postajališče. Za smer center so prikazani rezultati meritev jutranje urne konice, za smer Vižmarje pa popoldanske urne konice.

Preglednica 8.2 – število potnikov, frekventnost avtobusov in število delujočih prog

Ozn. post.	Ime postajališča	Št. potnikov (p/bus)		Frekventnost (bus/h)	Št. prog
		Vstopajoči	Izstopajoči		
1	Avtomontaža- smer center	12	1	14	3
2	Kompas – smer center	9	0	14	3
3	Dravlje – smer center	7	0	14	3
4	Trata – smer center	6	1	14	3
5	Prušnikova – smer center	4	0	12	4
6	Podgora – smer center	7	0	21	4
7	Šentvid – smer center	6	0	21	4
8	Šentvid – smer Vižmarje	1	7	21	4
9	Podgora – smer Vižmarje	0	4	21	4
10	Prušnikova – smer Vižmarje	1	4	12	4
11	Trata – smer Vižmarje	2	10	14	3
12	Dravlje – smer Vižmarje	1	5	14	3
13	Kompas – smer Vižmarje	1	7	14	3
14	Avtomontaža – smer Vižmarje	1	6	14	3

Opomba: vstopanje samo skozi prva vrata, izstopanje skozi srednja in zadnja vrata.

Preglednica 8.3 – zadrževalni t_d in odhodni čas t_c

Ozn. Post.	Ime postajališča	Zadrževalni čas t_d (s)	Odhodni čas t_c (s)
1	Avtomontaža – smer center	33	10
2	Kompas – smer center	25	12
3	Dravlje – smer center	20	15
4	Trata – smer center	27	12
5	Prušnikova – smer center	15	13
6	Podgora – smer center	17	11
7	Šentvid – smer center	15	12
8	Šentvid – smer Vižmarje	12	11
9	Podgora – smer Vižmarje	11	14
10	Prušnikova – smer Vižmarje	12	11
11	Trata – smer Vižmarje	17	24
12	Dravlje – smer Vižmarje	17	12
13	Kompas – smer center	18	11
14	Avtomontaža – smer Vižmarje	14	11
Povprečne vrednosti		18	13

Preglednica 8.4 – število ostalih vozil na voznem pasu, po katerem vozijo tudi avtobusi, in število desnih zavijalcev

Ozn.post.	Naziv postajališča	Št. vozil (voz/h)	Št. desnih zavijalcev (voz/h)
1	Avtomontaža – smer center	1085	/
2	Kompas – smer center	2368	1078
3	Dravlje – smer center	2176	/
4	Trata – smer center	1932	185
5	Prušnikova – smer center	1966	170
6	Podgora – smer center	1966	Ni podatkov
7	Šentvid – smer center	1966	Ni podatkov
8	Šentvid – smer Vižmarje	2390	Ni podatkov
9	Podgora – smer Vižmarje	2390	Ni podatkov
10	Prušnikova – smer Vižmarje	2390	311
11	Trata – smer Vižmarje	2167	249
12	Dravlje – smer Vižmarje	2177	Ni podatkov
13	Kompas – smer center	2254	Ni podatkov
14	Avtomontaža – smer Vižmarje	1540	/

8.3 PRIMER 1 – obstoječa prometna zmogljivost avtobusnih postajališč na trasi proge po Celovški cesti na odseku od Kosmačeve do Litostrajske ceste

Določiti želimo, kolikšna je obstoječa prometna zmogljivost avtobusnih postajališč na trasi proge po Celovški cesti na odseku od Kosmačeve do Litostrajske ceste.

8.3.1 Znani podatki

- proga v mešanem prometu
- linearna zasnova postajališč
- postajališča v niši
- dovoljena so desna zavijanja
- odhodni čas t_c – preglednica 8.3
- zadrževalni čas t_d – preglednica 8.3
- število peronov N_{el} – preglednica 8.1

8.3.2 Predpostavke

- koeficient spremenljivosti zadrževalnega časa $c_v = 0.60$
- neuspešnost prihodov 10%, $Z=1.28$
- $g/C = 0.45$: dopustno trajanje zelenega intervala je 45 s, celoten cikel 120 s
- število desnih zavijalcev je 200 voz/h v križiščih, za katera dejansko število ni znano
- število pešcev je 200 (ped/h)

8.3.3 Izračun zmogljivosti postajališča

Prometna zmogljivost postajališča B_s je odvisna od prometne zmogljivosti kritičnega postajališča. Za posamezno postajališče na progi v mešanem prometu jo izračunamo s pomočjo enačbe 5.5:

$$B_s = B_l N_{el} f_m$$

Prometno zmogljivost posameznega perona B_l določimo s pomočjo enačbe 3.6:

$$B_l = \frac{3.600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + t_{om}} = \frac{3.600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Zc_v t_d}$$

Operativno mejo t_{om} izračunamo s pomočjo enačbe 3.5

$$t_{om} = sZ = c_v t_d Z$$

korekcijski faktor zaradi mešanega prometa f_m pa s pomočjo enačbe 5.4

$$f_m = 1 - f_l \left(\frac{v_r}{c_r} \right)$$

Faktorje f_l odčitamo iz preglednice 5.2:

$f_l = 0.9$, avtobusna proga tip 2, postajališče pred križiščem

$f_l = 0.7$, avtobusna proga tip 2, postajališče med križiščema

$f_l = 0.5$, avtobusna proga tip 2, postajališče za križiščem

Preglednica 8.5 – izračun korekcijskega faktorja mešanega prometa f_m

Ozn.post.	Faktor lokacije f_l	Št.desnih zavijalcev v_r (voz/h)	Zmogljivost zaradi vpliva desnih zavijalcev c_r (voz/h)	f_m
1	0,7	/	/	1,00
2	0,9	1078	510	0,90
3	0,7	/	/	1,00
4	0,5	185	510	0,82
5	0,5	170	510	0,83
6	0,5	200	510	0,80
7	0,5	200	510	0,80
8	0,9	200	510	0,65
9	0,5	200	510	0,80
10	0,5	311	510	0,70
11	0,5	249	510	0,76
12	0,5	200	510	0,80
13	0,5	200	510	0,80
14	0,7	/	/	1,00

Primer izračuna zmogljivosti postajališča št. 11 – Trata, smer Vižmarje:

$$B_s = \frac{3.600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Zc_v t_d} N_{el} f_m = \frac{3600 * 0.45}{24 + 17 * 0.45 + 1.28 * 0.6 * 17} * 1.75 * 0,76 =$$

$$B_s \cong 48bus / h$$

8.3.4 Rezultat

Preglednica 8.6 – izračun prometne zmogljivosti avtobusnih postajališč

Ozn.post.	B_s (bus/h) <i>obst. stanje</i>	B_s (bus/h) <i>računsko</i>
1	14	56
2	14	60
3	14	72
4	14	52
5	12	76
6	21	72
7	21	75
8	21	72
9	21	83
10	12	77
11	14	48
12	14	70
13	14	69
14	14	101

8.3.5 Zaključek

Najmanjšo zmogljivost na obravnavanem odseku proge ima postajališče Trata smer Vižmarje, ki ima najdaljši odhodni čas in je zato *kritično postajališče*. Locirano je v niši za nesemaforiziranim križiščem s Cesto v Kleče ter cca 50.00 m pred semaforiziranim križiščem z Ulico Jožeta Jame. Zaradi velike gostote prometa po Celovski cesti se vzdolž postajališča zaradi bližine semaforiziranega križišča v času rdeče semaforske faze formirajo kolone vozil, ki otežujejo vključevanje avtobusov v promet in močno podaljšujejo odhodni čas. Istočasno

vozila, ki se s Ceste v Kleče vključujejo v promet po Celovški cesti, onemogočajo avtobusom dostop na postajališče, kar podaljšuje potovalne čase.

Iz primerjave obstoječe in računske prometne zmogljivosti avtobusnih postajališč je razvidno, da so postajališča razmeroma neizkoriščena – povprečna izkoriščenost znaša cca 22%. Ob eventualno povečanem potniškem povpraševanju bi bilo torej mogoče prepeljati bistveno večje število potnikov. V obstoječih razmerah bi bilo mogoče z večjo frekventnostjo avtobusov zmanjšati gnečo na včasih prepolnih avtobusih v času potniških konic, kar bi rezultiralo v povečani kakovosti ponudbe in posledično lahko tudi v pridobivanju novih potnikov.

8.4 PRIMER 2 – vpliv uvedbe avtobusnega voznega pasu na zmogljivost postajališč

Ugotoviti želimo, kako na zmogljivost avtobusnih prog na obravnavanem odseku avtobusne proge vpliva uvedba posebnega avtobusnega voznega pasu. Obstoječa avtobusna proga poteka po voznem pasu v mešanem prometu, dovoljeno je desno zavijanje za ostala vozila, vsa postajališča so v niši in so linearno zasnovana.

8.4.1 Znani podatki

- linearna zasnova postajališč
- postajališča v niši, za križiščem
- število peronov
- dovoljena so desna zavijanja z avtobusnega voznega pasu
- zadrževalni čas t_d – preglednica 8.3
- število peronov N_{el} – preglednica 8.1

8.4.2 Predpostavke

- odhodni čas $t_c = 10$ sec, glej poglavje 3.3.2.1
- $g/C = 0.45$: dopustno trajanje zelenega intervala je 45 s, celoten ciklus 120 s
- koeficient spremenljivosti zadrževalnega časa $c_v = 0.60$
- neuspešnost prihodov 10%, $Z=1.28$
- število desnih zavijalcev je 200 voz/h v križiščih, za katera dejansko število ni znano
- število pešcev je 200 (ped/h)

8.4.3 Izračun zmogljivosti postajališča

Prometno zmogljivost B_s avtobusnega postajališča na avtobusni progi, ki poteka po avtobusnem voznem pasu, izračunamo s pomočjo enačbe 5.2:

$$B_s = B_l N_{el} f_r$$

Prometno zmogljivost perona določimo s pomočjo enačbe 3.6:

$$B_l = \frac{3.600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + t_{om}} = \frac{3.600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Zc_v t_d}$$

Operativno mejo izračunamo s pomočjo enačbe 3.5

$$t_{om} = sZ = c_v t_d Z$$

korekcijski faktor desnih zavijanj f_r pa s pomočjo enačbe 5.14

$$f_r = 1 - f_l \left(\frac{v_r}{c_r} \right)$$

Primer izračuna zmogljivosti postajališča št. 11 – Trata smer Vižmarje:

$$B_s = \frac{3.600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Zc_v t_d} N_{el} f_r = \frac{3600 * 0.45}{24 + 10 * 0.45 + 1.28 * 0.60 * 10} * 1.75 * 0.76$$

$$B_s = 70 \text{ bus / h}$$

8.4.4 Rezultat

Preglednica 8.7 – izračun prometne zmogljivosti avtobusnih postajališč po uvedbi posebnega avtobusnega voznega pasu

Ozn.post.	B_s (bus/h) <i>obst. stanje</i>	B_s (bus/h) <i>avtobusni vozni pas</i>
1	14	56
2	14	63
3	14	83
4	14	54
5	12	84
6	21	74
7	21	81
8	21	75
9	21	97
10	12	80
11	14	70
12	14	74
13	14	71
14	14	105

8.4.5 Zaključek

Z uvedbo posebnega avtobusnega voznega pasu se prometna zmogljivost avtobusnih postajališč poveča. Odhodni časi se skrajšajo in znašajo 10 sekund, kolikor znaša predpostavljeni čas, ki ga avtobus potrebuje da prične premik, se premakne za svojo dolžino in izprazni postajališče. V tem primeru je kritično postajališče Avtomontaža smer center, ki ima najnižjo prometno zmogljivost, saj je število vstopajočih potnikov na njemu največje, posledično pa so zato na njemu najdaljši tudi zadrževalni časi.

S primerjavo obstoječe in računske prometne zmogljivosti ob uvedbi avtobusnega voznega pasu ugotovimo, da je povprečna izkoriščenost postajališč cca 20%. V primeru povečanega potniškega povpraševanja bi bilo torej mogoče prepeljati precej večje število potnikov.

8.5 PRIMER 3 – vpliv spremembe načina plačevanja voznine na zmogljivost postajališč

Določiti je potrebno zmogljivost avtobusnih postajališč za primer spremembe plačilnega sistema. V obstoječem sistemu se voznino plačuje z nakupom mesečnih vozovnic, žetonov ali z gotovino, potniki vstopajo samo skozi prva vrata, izstopajo pa skozi vsa ostala. S spremembo se predvidi plačevanje voznine s predplačilom – na postajališčih se postavijo avtomati za vozovnice. V tem primeru lahko potniki vstopajo in izstopajo skozi vsa vrata.

8.5.1 Znani podatki

- število vstopajočih in izstopajočih potnikov – preglednica 8.2
- število vrat na avtobusu $n = 4$

8.5.2 Predpostavke

- oskrbovalni čas vstopajočih potnikov $t_b = 0.9$ s – preglednica 3.2
- oskrbovalni čas izstopajočih potnikov $t_a = 0.7$ s – preglednica 3.2
- čas, potreben za odpiranje in zapiranje vrat $t_{oc} = 4$ s, glej poglavje 3.3.1.1
- odhodni čas $t_c = 10$ s

8.5.3 Izračun zmogljivosti postajališča

Najprej s pomočjo enačbe 3.3 izračunamo zadrževalni čas t_d :

$$t_d = P_a t_a + P_b t_b + t_{oc}$$

Nato s pomočjo enačbe 5.5 določimo zmogljivost avtobusnega postajališča za progo v mešanem prometu:

$$B_s = B_l N_{el} f_m = \frac{3.600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Zc_v t_d} N_{el} f_m$$

Primer izračuna za potniško najbolj obremenjeno postajališče – Avtomontaža smer center:

Preglednica 8.8 – število vstopov/izstopov potnikov na postajališču Avtomontaža smer center v jutranji urni potniški konici

Zap. št. prihoda avtobusa	Število potnikov	
	Vstopajoči	Izstopajoči
1	12	1
2	26	1
3	14	0
4	7	1
5	8	0
6	12	1
7	8	0
8	15	1
9	10	1
10	7	0
11	13	5
12	6	1
POVPREČJE	12	1

$$t_d = 1 * 0.7 + 12 * .09 + 4 \cong 16 \text{sec}$$

$$B_s = \frac{3.600 * 0.45}{10 + 16 * 0.45 + 1.28 * 0.6 * 16} * 1.75 * 1.00 = 98 \text{bus} / h$$

8.5.4 Rezultat

Preglednica 8.9 – izračun prometne zmogljivosti avtobusnih postajališč po uvedbi spremenjenega načina plačevanja voznine

Ozn. post.	Zadrževalni čas $t_{d,rač}$	B_s (bus/h) <i>obst. stanje</i>	B_s (bus/h) <i>spremenjen način plačevanja voznine</i>
1	16	14	98
2	12	14	103
3	10	14	126
4	10	14	104
5	8	12	123
6	10	21	101
7	9	21	106
8	10	21	84
9	7	21	125
10	8	12	102
11	13	14	84
12	8	14	113
13	10	14	104
14	9	14	134

8.5.5 Zaključek

Z uvedbo spremenjenega načina voznine, ki na postajališčih predvideva postavitev avtomatov za vozovnice, se zadrževalni časi skrajšajo, posledično pa se poveča zmogljivost avtobusnih postajališč. V povprečju je njihova prometna zmogljivost izkoriščena le 15% in torej v primeru povečanega potniškega povpraševanja obstajajo še precejšnje rezerve.

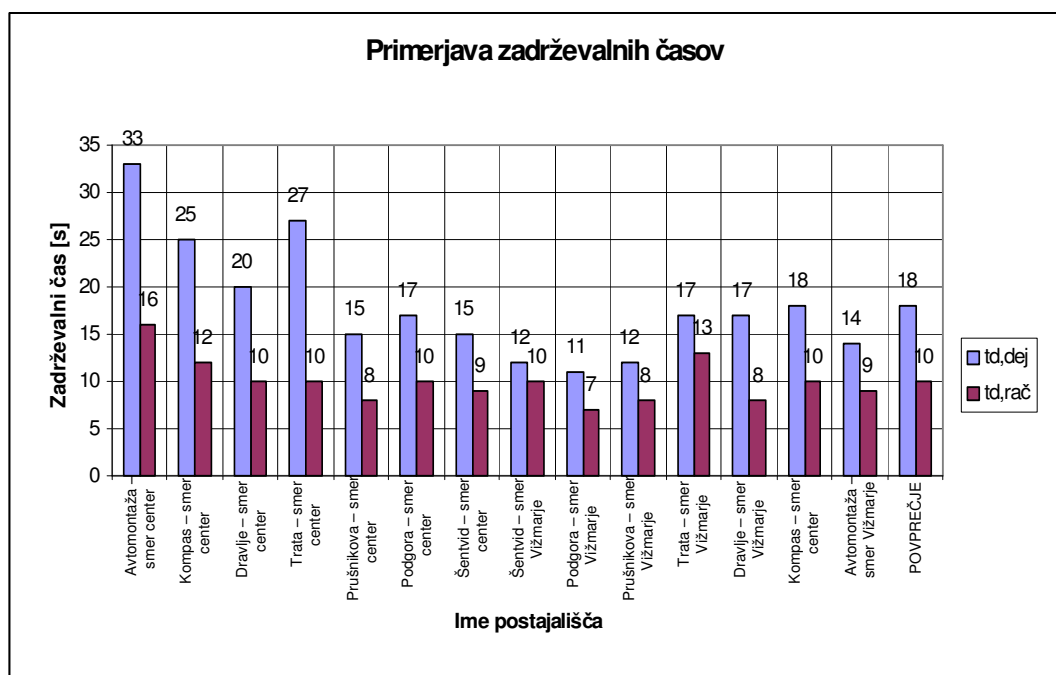
8.6 Primerjava zmogljivosti avtobusnih postajališč - obstoječe stanje, uvedba avtobusnega voznega pasu, sprememba načina plačevanja voznine

8.6.1 Primerjava zadrževalnih časov

Zadrževalni čas nastopi s trenutkom zaustavitve avtobusa in vključuje čas vstopanja/izstopanja potnikov ter čas odpiranja/zapiranja vrat. Narejena je primerjava izmerjenih zadrževalnih časov obstoječega stanja $t_{d,dej}$, ki so upoštevani tudi pri izračunu zmogljivosti postajališča na progi, ki deluje po avtobusnem voznem pasu, z izračunanimi zadrževalnimi časi $t_{d,rač}$, ki bi nastopili s spremembo načina plačevanja voznine ob postavitvi avtomatov za vozovnice na postajališčih.

Preglednica 8.10 – primerjava zadrževalnih časov

Oznaka postajališča	Izmerjeni zadrževalni čas - obstoječe stanje $t_{d,dej}$	Izračunani zadrževalni čas - sprememba načina plačevanja voznine $t_{d,rač}$
1	33	16
2	25	12
3	20	10
4	27	10
5	15	8
6	17	10
7	15	9
8	12	10
9	11	7
10	12	8
11	17	13
12	17	8
13	18	10
14	14	9
POVPREČJE	18	10



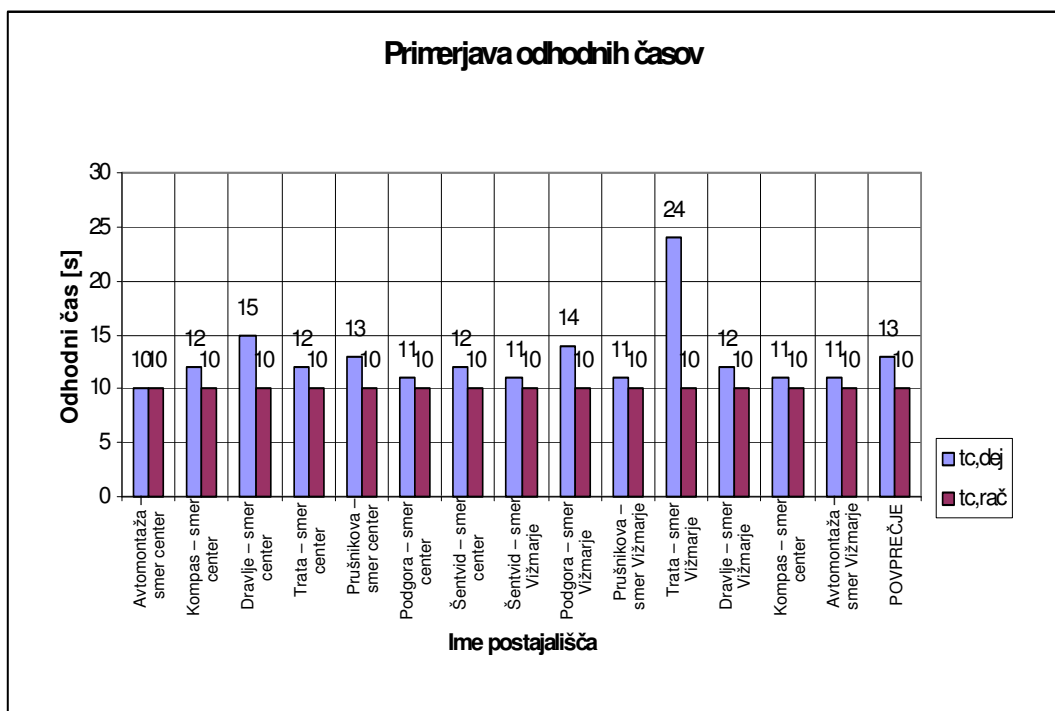
Slika 8.2 – primerjava zadrževalnih časov

8.6.2 Primerjava odhodnih časov

Odhodni čas je tisti čas, ki ga avtobus potrebuje, da prične premik, se premakne za svojo dolžino in izprazni postajališče. Primerjana sta izmerjen odhodni čas $t_{c,dej}$ obstoječega stanja in predpostavljeni odhodni čas $t_{c,rač}$ za primer uvedbe avtobusnega voznega pasu oziroma spremembo načina plačevanja voznine.

Preglednica 8.11 – primerjava odhodnih časov

Oznaka postajališča	Izmerjeni odhodni čas - obstoječe stanje $t_{c,dej}$	Predpostavljeni odhodni čas $t_{c,rač}$
1	10	10
2	12	10
3	15	10
4	12	10
5	13	10
6	11	10
7	12	10
8	11	10
9	14	10
10	11	10
11	24	10
12	12	10
13	11	10
14	11	10
POVPREČJE	13	10



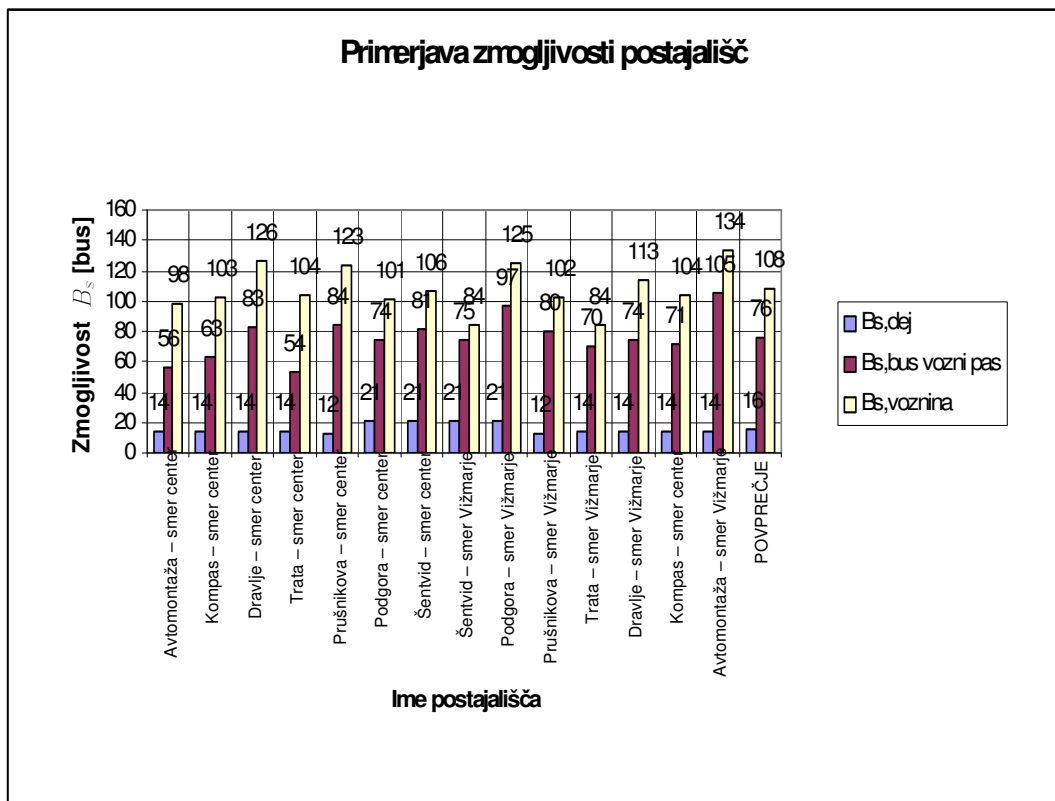
Slika 8.3 – primerjava odhodnih časov

8.6.3 Primerjava prometne zmogljivosti postajališč

Primerjane so izmerjena prometna zmogljivost avtobusnega postajališča v obstoječem stanju $B_{s,dej}$, prometna zmogljivost v primeru uvedbe avtobusnega voznega pasu $B_{s,pas}$ in prometna zmogljivost ob spremembi načina plačevanja vozine $B_{s,voznina}$.

Preglednica 8.12 – primerjava prometne zmogljivosti postajališč

Ozn. post.	$B_{s,dej}$ obst. stanje (bus/h)	$B_{s,pas}$ avtobusni vozni pas (bus/h)	$B_{s,voznina}$ spr. način plačevanja vozine (bus/h)
1	14	56	98
2	14	63	103
3	14	83	126
4	14	54	104
5	12	84	123
6	21	74	101
7	21	81	106
8	21	75	84
9	21	97	125
10	12	80	102
11	14	70	84
12	14	74	113
13	14	71	104
14	14	105	134
Povprečje	16	76	108



Slika 8.4 – primerjava zmogljivosti postajališč

8.6.4 Zaključek

Iz primerjave zadrževalnih časov se vidi, da se s spremembo načina plačevanja voznine le-ti glede na sedanje stanje v povprečju skrajšajo za cca 45%.

S primerjavo odhodnih časov ugotovimo, da se z uvedbo avtobusnega voznega pasu ali s spremembo načina plačevanja voznine glede na obstoječe stanje povprečno skrajšajo za cca 23%.

Primerjava prometnih zmogljivosti nam pokaže, da se z uvedbo avtobusnega voznega pasu le-ta glede na izmerjeno v povprečju poveča za cca 79%, s spremembo načina plačevanja voznine pa za 85%.

8.7 PRIMER 4 - Potovalne hitrosti avtobusov na avtobusnem voznem pasu

Določiti želimo hitrosti avtobusov na progi, ki deluje po avtobusnem voznem pasu. Primerjati jo je potrebno s povprečno sedanjo hitrostjo, ko avtobusi vozijo po progi v mešanem prometu.

8.7.1 Znani podatki

- dolžina odseka proge $L=2.952$ km
- povprečni potovalni čas v smeri center v medkoničnem času, $t_{c,m} = 273$ sec= 0.0758 h
- povprečni potovalni čas v smeri Vižmarje v medkoničnem času, $t_{v,m} = 280$ sec= 0.0778 h
- povprečni potovalni čas v smeri center v nočnem času, $t_{c,n} = 223$ sec= 0.0619 h
- povprečni potovalni čas v smeri Vižmarje v nočnem času, $t_{v,n} = 247$ sec= 0.0686 h

Podatki o povprečnih potovalnih časih so pridobljeni s pomočjo meritev preko GPS sistema.

8.7.2 Predpostavke

Predpostavljeno je, da so v obstoječem stanju povprečni potovalni časi v nočnem času enaki potovalnim časom po avtobusnem voznem pasu. V nočnih urah so prometni pogoji na avtobusni progi, ki deluje v mešanem prometu, zaradi majhnega števila ostalih vozil zelo podoben pogojem na avtobusnem voznem pasu.

Avtobusni vozni pas, povprečna hitrost avtobusov v smeri center:

$$v_{c,a} = \frac{L}{t_{c,n}} = \frac{2.952\text{km}}{0.0619\text{h}} \cong 48\text{km/h}$$

Avtobusni vozni pas, povprečna hitrost avtobusov v smeri Vižmarje:

$$v_{v,a} = \frac{L}{t_{c,n}} = \frac{2.952\text{km}}{0.0686\text{h}} \cong 43\text{km/h}$$

8.7.3 Izračun povprečnih hitrosti – obstoječe stanje

Obstoječe stanje, povprečna hitrost avtobusov v smeri center:

$$v_{c,o} = \frac{L}{t_{c,m}} = \frac{2.952km}{0.0758h} \cong 39km/h$$

Obstoječe stanje, povprečna hitrost avtobusov v smeri Vižmarje:

$$v_{v,o} = \frac{L}{t_{v,m}} = \frac{2.952km}{0.0778h} \cong 38km/h$$

8.7.4 Rezultat

Razlika v potovalnih časih in hitrosti avtobusov v smeri center:

$$\Delta t = t_{c,m} - t_{c,n} = 50sec$$

$$\Delta v = v_{a,c} - v_{m,c} = 48 - 39 = 9km/h$$

Razlika v potovalnih časih in hitrosti avtobusov v smeri Vižmarje:

$$\Delta t = t_{v,m} - t_{v,n} = 33sec$$

$$\Delta v = v_{a,v} - v_{m,v} = 43 - 38 = 5km/h$$

8.7.5 Zaključek

Z uvedbo avtobusnega voznega pasu se hitrosti avtobusov v smeri center povečajo za 23%, v smeri Vižmarje pa za 13%. Posledično se potovalni časi v smeri center skrajšajo za 18%, v smeri Vižmarje pa za 12%. Na račun povečanja hitrosti in zmanjšanja potovalnih časov bi bilo torej mogoče ob enaki frekventnosti voženj zmanjšati število avtobusov.

9.0 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi so prikazani kriteriji za načrtovanje avtobusnega potniškega prometa, nadalje metode, s pomočjo katerih je mogoče izvršiti določene analize obstoječega stanja in pridobiti potrebne podatke za načrtovanje, predstavljenih pa je tudi več vrst ukrepov, s pomočjo katerih je možno doseči povečanje zmogljivosti tako postajališč kot celotne proge oziroma celotnega sistema. Posledično se poveča kakovost ponudbe, kar zagotavlja ohranitev obstoječega potniškega povpraševanja, z izboljšano kakovostjo pa je mogoče pridobiti tudi nove potnike.

Kot možni ukrepi za izboljšanje delovanja avtobusnega potniškega prometa so obdelani tako fizični ukrepi na prometnih objektih kot so na primer uvedba avtobusnih voznih pasov, prednostna prometna signalizacija ter ostali prednostni ukrepi – prehitevanje kolone vozil, vstopni otoki in polotoki, omejitev parkiranja in izjeme pri prepovedi zavijanja v levo – kot tudi nekateri operativni postopki, na primer konsolidacija avtobusnih postajališč, izpuščanje avtobusnih postajališč in združevanje avtobusov v kolone.

Ločeno je obdelano delovanje avtobusne proge po progi v mešanem prometu in po progi, na kateri avtobusi vozijo po posebnem avtobusnem voznem pasu.

V praktičnem delu naloge je narejena analiza avtobusne proge po Celovški cesti na odseku od Kosmačeve do Litostrojske ceste. S primerjavo obstoječega stanja in stanja za primer uvedbe posebnega avtobusnega voznega pasu ter spremembe načina plačevanja voznine s postavitvijo avtomatov za vozovnice na postajališčih sta bila prikazana le dva izmed možnih ukrepov za povečanje zmogljivosti avtobusne proge. Ugotoviti je mogoče, da bi bilo ob povečanem potniškem povpraševanju mogoče prepeljati bistveno večje število potnikov.

Ob skorajšnji dograditvi priključka gorenjske avtoceste na ljubljansko obvoznico, ki bo pomenila izdatno prometno razbremenitev Celovške ceste, bi bilo mogoče resno razmišljati o uvedbi posebnega voznega pasu za avtobuse. Fizičnih omejitev dejansko ni, vsaj ne na obravnavanem odseku, saj obstoječa zazidava omogoča razširitev vozišča, na posameznih

odsekih je vozišče že izvedeno kot šestpasovnica. Sedanje stanje, ko je prometna zmogljivost Celovške ceste praktično popolnoma izčrpana, seveda nikakor ne dopušča odvzema enega voznega pasu ostalim vozilom, ki bi kvečjemu potrebovala en vozni pas več in ne manj, saj je potrebno med ostalimi kriteriji upoštevati tudi koncept potniških zamud. Trenutno je žal v celotni strukturi potovanj osebni promet v izraziti prednosti pred javnim prevozom, s tem razmerjem pa je določeno tudi število prepeljanih potnikov.

10.0 VIRI

1. Dr. Reiner Koblo/dr. Peter Lipar, 2000, Integrated Transport Demand Managment – Final report, Annex I, Statistics, Cologne/Ljubljana, Prognos/TTI, 178 strani
2. Dr. Reiner Koblo/dr. Peter Lipar, 2000, Integrated Transport Demand Managment – Final report, Annex II, Assignment Plots, Cologne/Ljubljana, Prognos/TTI, 153 strani
3. Dr. Reiner Koblo/dr. Peter Lipar, 2000, Integrated Transport Demand Managment – Final report, Cologne/Ljubljana, Prognos/TTI, 43 strani
4. Dr. Livij Jakomin in sodelavci, 1997, Kaj moram vedeti o cestnem prometu, Portorož, Fakulteta za pomorstvo in promet, 284 strani
5. Miloš Bajt, 2005, Kvaliteta storitev javnega prevoza na primeru mestnega prometa v Ljubljani - magistrsko delo, Ljubljana, FGG
6. Promet v Ljubljani 2002, 2002, Ljubljana, Teca d.o.o., 161 strani
7. Tehničar 4 – građevinski priručnik, 1978, Beograd, Građevinska knjiga, 1095 strani
8. Tehnični normativi za projektiranje in opremo mestnih prometnih površin, 1. del, 1991, Ljubljana, FAGG PTI
9. Tehnični normativi za projektiranje in opremo mestnih prometnih površin, 2. del, 1991, Ljubljana, FAGG PTI
10. TCRP Synthesis 10, Bus Route Evaluation Standards – A Synthesis of Transit Practice, 1995, Washington D.C., Transportation Research Board, 63 strani
11. Transit Capacity and Quality of Service Manual – 2nd Edition, 2003, Washington D.C., Transportation Research Board, 116 strani
12. Zakon o javnih cestah, Uradni list RS št. 29/97, 18/02, 50/02
13. Zakon o prevozih v cestnem prometu, Uradni list RS št. 59/01, 73/03