



S12 Pääteiden parantamisratkaisut

Erkanemis- ja kiihdytyskaistojen linja-autopysäkkien toimivuus

Sisäisiä julkaisuja 4/2002

S12 Pääteiden parantamisratkaisut

Erkanemis- ja kiihdytyskaistojen linja-autopysäkkien toimivuus

Sisäisiä julkaisuja 4/2002

ISSN 1457-991X
TIEH4000317

Edita Prima Oy
Helsinki 2002

Julkaisua myy/saatavana:
Tiehallinto, julkaisumyynti
faksi 0204 22 2652
julkaisumyynti@tiehallinto.fi

TIEHALLINTO
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 22 11

S12 Pääteiden parantamisratkaisut: Mikko Räsänen, Tapio Ahonen & Erkki Ritari: Erkanemis- ja kiihdytyskaistojen linja-autopysäkkien toimivuus. Helsinki 2002. Tiehallinto, Liikennetekniikka. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 4/2002. 31 s. ISSN 1457-991X, TIEH 4000317.

Asiasanat: liikenneturvallisuus, jarruttaminen, kaistanvaihto, sujuvuus, liikennekäyttäytyminen

Aiheluokka: 31, 82

TIIVISTELMÄ

Liittymän erkanemis- tai liittymiskaistalla sijaitsevalle linja-autopysäkillä saapuvat ja siitä lähtevät bussit voivat vaikuttaa huomattavasti liikennevirran käyttäytymiseen. Tutkimuksen tavoitteena oli alustavasti selvittää, miten erkanemis- ja kiihdytyskaistaan eri tavalla sijoitetut linja-autopysäkit vaikuttavat kuljettajien käyttäytymiseen ja tämän perusteella arvioida liikenneturvallisuutta ja sujuvuutta.

Tutkimuksessa tarkasteltiin viiden, sijainniltaan erilaisen linja-autopysäkin toimivuutta:

1. Pysäkki erkanemiskaistan alussa
2. Pysäkki erkanemiskaistan kohdalla levikkeenä
3. Pysäkki liittymän kohdalla "tulpassa"
4. Pysäkki liittymiskaistan lopussa
5. Pysäkki liittymiskaistan kohdalla levikkeenä.

Kaikkien pysäkkien kohdalla oli 80 km/h nopeusrajoitus.

Tutkimus suoritettiin kuvaamalla videokameralla pysäkillä saapuvia ja siitä lähteviä linja-autoja. Näissä tilanteissa linja-auton takana tulevien ajoneuvojen käyttäytymistä mitattiin jarrutusten ja kaistanvaihtojen määrillä. Jarrutusten ja kaistanvaihtojen suuren määrän oletettiin kuvastavan huonosti toimivaa ja riskialtista pysäkkiä.

Liittymiskaistan levikkeenä (5) sijaitsevalla pysäkillä jarrutusten ja kaistanvaihtojen määrä oli suuri. Myöskään pysäkki erkanemiskaistan alussa (1) ei ole suositeltava, koska jarrutusten määrä oli joka tilanteessa suuri.

Pysäkki liittymiskaistan lopussa (4) on ilmeisesti huonoin ratkaisu linja-autoliikenteen sujuvuuden kannalta, koska linja-auton pääsy takaisin liikennevirtaan kesti usein pitkään. Liittymiskaistan lopussa sijaitseva pysäkki toimi kuitenkin melko hyvin linja-auton saapuessa pysäkillä.

Pysäkki "tulpassa" (3) ei juuri vaikuta muihin ajoneuvoihin, kun linja-auton "tulppaan" saapuminen ja lähteminen on järjestetty erillistä bussikaistaa pitkin. Muista tyypeistä pysäkki erkanemiskaistan levikkeenä (2) on turvallisuuden ja sujuvuuden kannalta suositeltavin vaihtoehto. Siinä linja-auton takana tulevien ajoneuvojen jarrutusten ja kaistanvaihtojen määrä oli useimmin pienempi kuin muilla pysäkeillä.

Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava perusero liittymis- ja erkanemiskaistalla ajavan autoilijan ajotehtävän välillä riippumatta linja-auton olemassaolosta: liittymiskaistalla ajava kuljettaja on kiihdyttämässä ja erkanemiskaistalla hidastamassa. Liittymiskaistalla kuljettajalla on siis "kiire" liittyä sujuvasti liikennevirtaan, kun taas erkanemiskaistalla kuljettajan liikennetilanne on rauhallisempi. Tästä johtuen erkanemiskaistaan sijoitetut pysäkkiratkaisut toimivat yleensä hyvin ellei pysäkkiä ole sijoitettu aivan erkanemiskaistan alkuun.

Mikko Räsänen, Tapio Ahonen & Erkki Ritari: The functionality of bus stop at exit or merging lane. Helsinki 2002. Finnish National Road Administration. Finnra Reports 4/2002. 31 p. ISSN 1457-991X, TIEH 4000317.

Keywords:

Traffic safety, braking, lane-changing, flow of traffic, traffic behaviour

SUMMARY

Buses arriving or departing bus stop may have a considerable effect on traffic flow. The aim of the study was to find out how bus stops at different locations affect driver behaviour. This formed the base for evaluations of safety effects.

Five different types of bus stops were looked at:

1. Bus stop in the beginning of exit lane
2. Bus stop at the extension of exit lane
3. Bus stop in the middle of junction between exit and merging lane
4. Bus stop at the end of merging lane
5. Bus stop at the extension of merging lane.

All bus stops located at roads of 80 km/h speed limit.

The behaviour of vehicles was video recorded unobtrusively as buses arrived or departed bus stop. The behaviour was measured by observing braking (light on) and lane-changing from videotapes. A large number of these actions was hypothesised to indicate badly operating and high accident risk bus stop.

The results suggested that the best location for the bus stop is at the extension of exit lane (2) or in it's own bus lane in the middle of junction between exit and merging lane (3).

There is a basic distinction between the driving tasks at merging lane and exit lane. Drivers at merging lane are accelerating, looking traffic coming from the back and trying to get smoothly into traffic flow whereas drivers at exit lane are decelerating "in all peace" with more time to adjust behaviour to the movements of bus. Thus, bus stops at exit lanes tend to operate well if the bus stop is not located immediately in the beginning of exit lane.

ESIPUHE

Tällä selvityksellä pyrittiin saamaan lisävalaistusta siihen, mihin linja-autopysäkki kannattaa sijoittaa perusverkon korkealuokkaisten väylien liittymissä.

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa työstä vastasi Mikko Räsänen. Harri Peltola oli työn alkuvaiheessa mukana suunnittelemassa tutkimusta. Heidän lisäksi Erkki Ritari suoritti kenttämittaukset ja Tapio Ahonen aineiston purkamisen videonauhoilta. Veli-Pekka Kallberg ja Jouni Hytönen esittivät selventäviä kommentteja ja oikolukivat tekstin. Jouni Hytönen otti myös julkaisun valokuvat. Tiehallinnon yhdyshenkilö oli tieinsinööri Jukka Lehtinen.

Helsingissä, huhtikuussa 2002

Tiehallinto
Liikennetekniikka

Sisältö

1	JOHDANTO	11
1.1	Tausta	11
1.2	Tavoitteet	11
2	AINEISTO JA MENETELMÄT	12
3	TULOKSET	19
3.1	Pysäkillä saapuvan linja-auton tilanne	20
3.1.1	Ajoneuvojen jarrutukset pysäkkiä lähestyttäessä	20
3.1.2	Ajoneuvojen kaistanvaihdot linja-auton ohittamiseksi	21
3.2	Pysäkiltä lähtevän linja-auton tilanne	22
3.2.1	Ajoneuvojen jarrutukset linja-auton lähtiessä	22
3.2.2	Ajoneuvojen kaistanvaihdot lähtevän linja-auton ohittamiseksi	24
3.2.3	Lähtevän linja-auton liittymisaika liikennevirtaan	24
3.2.4	”Tulpassa” sijaitsevalta pysäkiltä lähtevä linja-auto	26
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	27

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Liittymän erkanemis- tai kiihdytyskaistalla sijaitsevalle linja-autopysäkillä saapuvat ja siitä lähtevät bussit voivat vaikuttaa huomattavasti liikennevirran käyttäytymiseen. Linja-auton pysähtyminen pysäkillä voi tulla yllätyksenä takana ajavalle ajoneuvolle ja johtaa peräänajoon tai äkilliseen väistöliikkeeseen. Tämä saattaa edelleen heijastua muihin ajoneuvoihin aiheuttaen jarrutuksia ja kaistanvaihtoja. Lähtevän linja-auton voi olla vaikea päästä takaisin ajokaistalle takaa tulevien ajoneuvojen suuren tiheyden tai nopeuden takia ja tällaiset tilanteet aiheuttavat turvallisuusongelmien lisäksi häiriöitä paitsi linja-autoliikenteen niin myös muun liikenteen sujuvuudessa. Linja-autopysäkin sijainnilla liittymässä voidaan olettaa olevan ratkaiseva merkitys liikenteen turvallisuudelle ja sujuvuudelle.

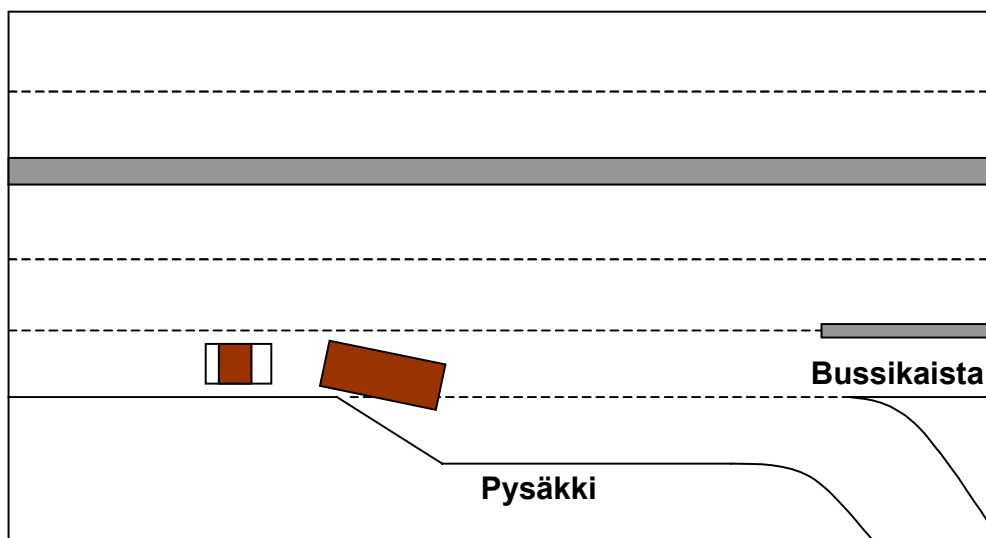
1.2 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten erkanemis- ja kiihdytyskaistaan eri tavalla sijoitetut linja-autopysäkit vaikuttavat kuljettajien käyttäytymiseen ja tämän perusteella arvioida niiden liikenneturvallisuutta ja vaikutusta liikennevirtaan.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksessa tarkasteltiin viiden, sijainniltaan erilaisen linja-autopysäkin toimivuutta liittymissä (kuvat 1-5):

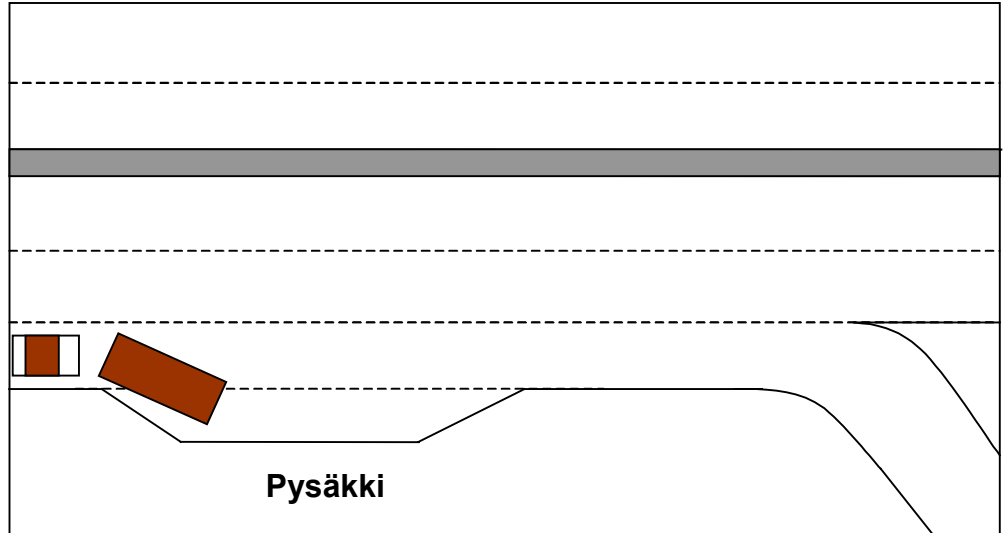
1. Pysäkki erkanemiskaistan alussa (Kehä I länteen-Pirkkolan urheilupuisto);
2. Pysäkki erkanemiskaistan kohdalla levikkeenä (vt 3, Hämeenlinnanväylä pohjoiseen–Kaarelantie);
3. Pysäkki liittymän kohdalla ”tulpassa” (kt 45, Tuusulanväylä pohjoiseen – Käpylän asema);
4. Pysäkki liittymiskaistan lopussa (Kehä I itään – Latokartanontie);
5. Pysäkki liittymiskaistan kohdalla levikkeenä (Kehä I itään–Kantelettarent.).



Kuva 1a. Skemaattinen esitys pysäkestä erkanemiskaistan alussa.



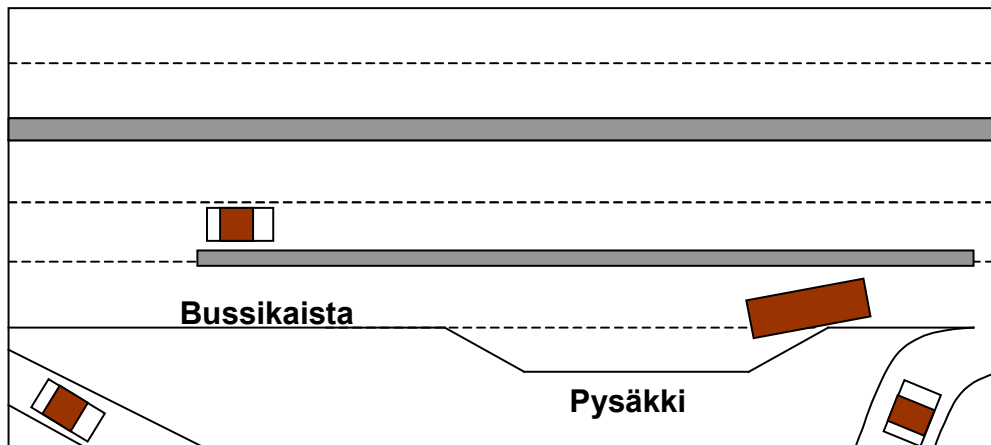
Kuva 1b. Pysäkki erkanemiskaistan alussa (Kehä I länteen - Pirkkolan urheilupuisto).



Kuva 2a. Skemaattinen esitys pysäkistä erkanemiskaistan kohdalla levikkeenä.



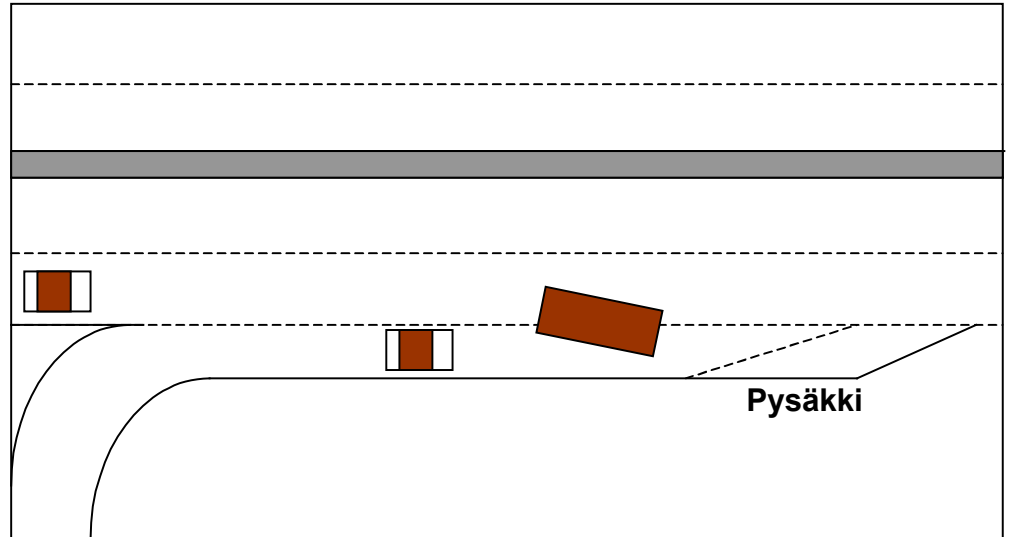
Kuva 2b. Pysäkki erkanemiskaistan kohdalla levikkeenä
(Hämeenlinnanväylä pohjoiseen – Kaarelantie).



Kuva 3a. Skemaattinen esitys pysäkistä liittymän kohdalla "tulpassa".



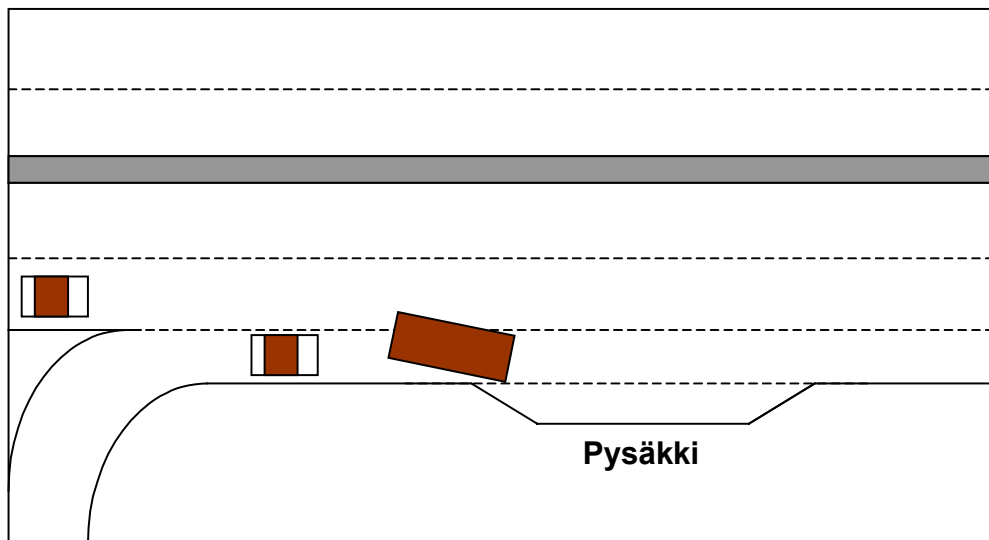
Kuva 3b. Pysäkki liittymän kohdalla "tulpassa"
(Tuusulanväylä pohjoiseen-Käpylän asema).



Kuva 4a. Skemaattinen esitys pysäkistä liittymiskaistan lopussa.



Kuva 4b. Pysäkki liittymiskaistan lopussa (Kehä I itään – Latokartanontie).



Kuva 5a. Skemaattinen esitys pysäkestä liittymiskaistan kohdalla levikkeenä.

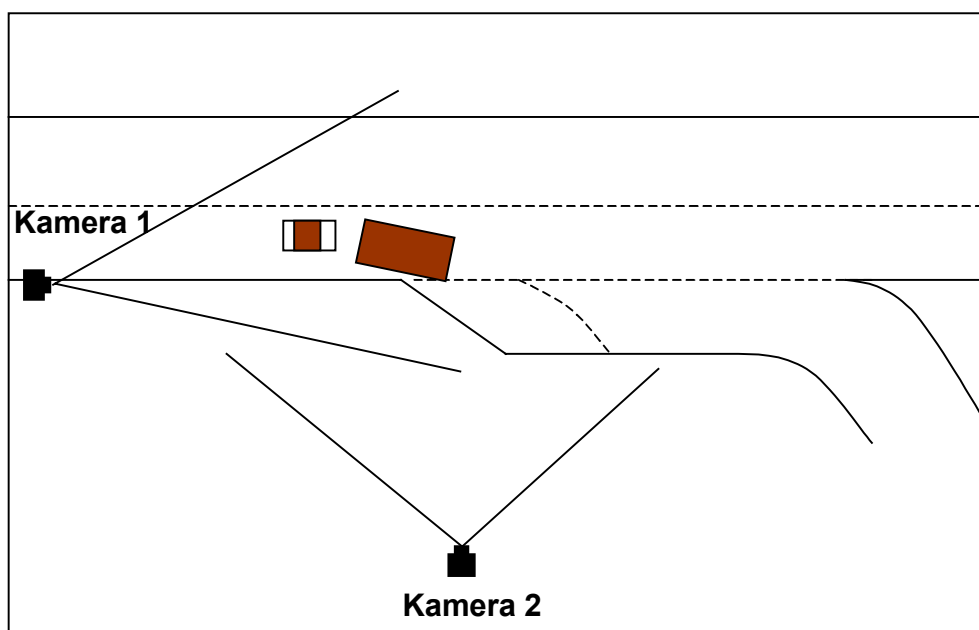


Kuva 5b. Pysäkki liittymiskaistan kohdalla levikkeenä
(Kehä I itään – Kantelehtarentie).

Kaikkien pysäkkien kohdalla oli 80 km/h nopeusrajoitus.

Tutkimus suoritettiin kuvaamalla videokameralla pysäkillä saapuvia ja lähteviä linja-autoja. Kamera sijoitettiin siten, että se kuvasi pysäkillä tulosuunnasta liikenteen käyttäytymistä ennen pysäkkiä, pysäkillä ja sen jälkeen. Jos oli mahdollista, niin toisella kameralla kuvattiin pysäkkiä poikittain tien suuntaan nähden. Tällöin voitiin nähdä tarkemmin ajoneuvojen etäisyydet toisiinsa eri vaiheissa (kuva 6). Käytännössä kameroiden sijoittamiseen vaikuttivat monet tekijät, ja kahta kameraa voitiin käyttää vain pysäkeillä 3 ja 5. Kamera 1 oli käytössä jokaisella pysäkillä (kuva 6).

Jokaisesta viidestä tutkimuspaikasta kuvattiin kaksi näytettä aamuruuhkan ja kaksi näytettä iltapäiväruuhkan aikaan (noin kello 7:30-9:30 ja 15:00-17:00) marraskuun lopussa ja joulukuun alussa 2001. Yhteensä kuvattiin siis kahdeksan tuntia tutkimuspaikkaa kohden.



Kuva 6. Ideaali tutkimusasetelma.

Videokuvista tarkasteltiin linja-autojen saapumis- ja lähtötilanteita:

1. Pysäkillä saapuvan linja-auton perässä ajoi ajoneuvo(ja). (Laskettiin myös ne tapaukset, jolloin pysähtyvän linja-auton perässä ei ollut ajoneuvoja). Ensimmäiseksi selvitettiin joutuiko muu liikenne hidastamaan pysäkillä ajavan linja-auton takia. Tarkastelut tehtiin erikseen ensimmäisenä linja-auton takana tulleelle ajoneuvolle ja muille. Muiden ajoneuvojen käyttäytymisen arviointi sisälsi myös muilla kaistoilla kuin linja-auton käyttämällä ajaneet ajoneuvot. Hidastamista seurattiin autojen jarruvalojen syttymisellä. (Montako autoa oli linja-auton perässä ja kuinka moni jarrutti). Toki moottorilla jarruttamista saattoi tapahtua, mutta tällöin haitan katsottiin olevan sen verran lievempi ettei tilanteesta syntynyt mer

kittävä hidastusta. Toiseksi kuvasta arvioitiin tilanteen vakavuus: voimakas jarrutus, kohtalainen jarrutus, ei jarrutusta. Käyttäytymistä seurattiin 70 - 100 metriä ennen pysäkkiä. Tältä matkalta kirjattiin ylös mahdolliset kaistanvaihdot ja oliko linja-auton perässä ajavan kaistanvaihto ylipäättään mahdollinen. Alustavien kenttätutkimusten jälkeen havaittiin, että käyttäytymisen seuranta pysäkin 3 läheisyydessä oli turhaa, koska pysäkki sijaitsi kaukana erkanemiskaistasta bussikaistan levikkeellä ”tulpassa”, joten linja-auton saapumisella tai lähdöllä ei ollut suoranaista merkitystä päätien liikennevirtaan. Sen sijaan pysäkillä 3 seurattiin sitä miten pysäkiltä lähteneet linja-autot ja seuraavasta rampista liittyvät ajoneuvot käyttäytyivät.

2. Linja-auto oli lähdössä pysäkiltä. Samalla tavalla kuin edellisessä selvitettiin kuinka moni muu ajoneuvo joutui hidastamaan linja-auton takia. (Laskettiin myös ne tapaukset, jolloin lähtevän linja-auton aikana ei ollut muita ajoneuvoja). Linja-auton liittymisen sujuvuutta kuvattiin sillä kuinka monta sekuntia kului siitä kun linja-auton vilkku vasemmalle alkoi toimia siihen kun linja-auto oli kokonaan ajokaistalla. Joskus liikenne voi myös olla niin ruuhkautunut, että tarkastelu on mielekäästä tehdä vain sen suhteen kuinka kauan linja-autolta kestää päästä takaisin ajokaistalle

Kuvatusta aineistosta laskettiin joka tunnilta viiden minuutin ajan ohikulkevat autot kaistoittain tuntiliikenteen arvioimiseksi.

3 TULOKSET

Taulukossa 1 on esitetty liikennetilanteiden kokonaismäärät pysäkeittäin ja tilanteittain. Joitakin tilanteita ei pystytty analysoimaan muun ajoneuvon aiheuttaman näköesteen tms. takia.

Taulukko 1. Havaittujen liikennetilanteiden määrät.

Pysäkki	Pysäkille saapuva linja-auto	Pysäkiltä lähtevä linja-auto	LA ei pysähtynyt pysäkillä	Yhteensä
1	131	129	82	342
2	111	111	222	444
3	294	292	205	791
4	100	98	80	278
5	104	103	61	268
Yhteensä	740	733	650	2123

Tuntiliikenne laskettiin kaistoittain erikseen aamu- ja iltapäivälle. Neljästä viiden minuutin näytteestä (8:00-8:05 / 9:00-9:05 / 15:00-15:05 / 16:00-16:05) laskettiin keskiarvo ja kerrottiin 12:lla (taulukot 2 ja 3). Nämä viiden minuutin liikennemäärät edustivat riittävän hyvin koko kahden tunnin havaintojakson liikennemäärää. Tilanteiden aikana liikennemäärät eivät olleet koskaan niin suuret, että liikennevirta olisi pysähtynyt tai lähes pysähtynyt.

Taulukko 2. Tuntiliikenne keskimäärin kaistoittain aamupäivällä tutkimusaikana.

Pysäkki	Vasen kaista	Keskimmäinen kaista	Oikea kaista	Yhteensä
1	1629	1638	1086	4353
2	696	1083	96	1875
3	315	552	63	930
4	837	684	342	1863
5	1536	1377	405	3318
Yhteensä	5013	5334	1992	12339

Taulukko 3. Tuntiliikenne keskimäärin kaistoittain iltapäivällä tutkimusaikana.

Pysäkki	Vasen kaista	Keskimmäinen kaista	Oikea kaista	Yhteensä
1	1131	1347	702	3180
2	1176	1302	180	2658
3	975	1125	78	2178
4	1320	756	756	2832
5	1809	1584	633	4026
Yhteensä	6411	6114	2349	14874

3.1 Pysäkille saapuvan linja-auton tilanne

Pysäkille saapuvan linja-auton tilanteen alkamisajankohdaksi määriteltiin hetki, kun linja-auto tuli ensimmäisen kerran näkyviin kuvassa ja loppumisajankohdaksi hetki, kun linja-auto oli pysähtynyt pysäkille. Tältä ajalta kirjattiin ylös liikennetapahtumat. Kuljettajien käyttäytymistä tilanteessa mitattiin jarrutusten ja kaistanvaihtojen perusteella.

3.1.1 Ajoneuvojen jarrutukset pysäkkiä lähestyttäessä

Taulukossa 4 on esitetty tilanteiden määrä, jossa pysäkille saapuvan linja-auton takana oli ajoneuvo ja niistä jarruttaneiden määrä. Pysäkki 3 sijaitsi ”tulpassa” omalla bussikaistallaan, joten takana tulevia muita ajoneuvoja ei ollut. Eniten takana tulevan ajoneuvon jarrutuksia syntyi lähestyttäessä pysäkkiä (5), joka sijaitsi liittymiskaistan kohdalla levikkeenä. Toiseksi eniten jarrutuksia näkyi lähestyttäessä pysäkkiä (1), joka sijaitsi erkanemiskaistan alussa.

Taulukko 4. Pysäkille saapuvan linja-auton takana ajoneuvo ja jarrutusten määrä.

Pysäkki	Ei ollut ajoneuvoa	Oli ajoneuvo	Jarrutuksia*	Jarrutusten määrä 100 seuraamista kohden
1 erkanemiskaistan alussa	15 (11,5 %)	116 (88,5 %)	44	38
2 erkanemiskaistan levikkeenä	79 (71,2 %)	32 (28,8 %)	7	22
3 ”tulpassa”	294			
4 liittymiskaistan lopussa	27 (27,0 %)	73 (73,0 %)	16	22
5 liittymiskaistan levikkeenä	22 (21,2 %)	82 (78,8 %)	38	46
Yhteensä	437 (59,1 %)	303 (40,9 %)	105	35

*Jarruvalo syttyi. Viidessä tapauksessa takana tulleen ajoneuvon jarrutusta ei voitu arvioida. (Jarrutus kyllä/ei vs. pysäkit: $\chi^2=12,63$, $df=3$, $P=0.006$, ”tulppa” pysäkki ei mukana testissä)

Lähin ajoneuvo oli 88 prosentissa kaikista tapauksista henkilöauto. Kolarin ei arvioitu olleen lähellä missään tilanteista ja jarrutus oli voimakas vain yhdessä tilanteessa pysäkillä viisi.

Linja-auton saapuessa pysäkille seurattiin myös muiden tilanteessa jarruttaneiden ajoneuvojen määriä. Tässäkin tarkastelussa jarruttaneiden määrä oli suurin pysäkeillä yksi ja viisi. Pysäkillä yksi 26 tilanteessa ja pysäkillä viisi

18 tilanteessa jarrutti(vat) myös joku/jotkut muut ajoneuvot lähimmän ajoneuvon lisäksi, kun muilla pysäkeillä se tapahtui vain kerran pysäkillä neljä. Näistäkään ei kuitenkaan arvioitu aiheutuvan varsinaisen kolarin vaaraa. Pysäkkien yksi ja viisi suuri muiden jarrutusten määrä voisi johtua siitä, että pysäkillä saapuvan linja-auton tilanteessa olisi ollut samanaikaisesti enemmän muita ajoneuvoja kuin muilla pysäkeillä. Taulukosta 5 näkyy, että pysäkin kaksi kohdalla tämä voi osittain selittää eroa muihin pysäkkeihin, koska pysäkin kaksi oikea kaista oli liikennemäärältään selvästi pienempi kuin muut pysäkit. Pysäkin neljä liikennemäärät olivat kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin pysäkkien yksi ja viisi, joten liikennemäärien erot eivät merkittävästi selitä eroja jarrutusten määrissä.

Taulukko 5. Pysäkillä saapuvien linja-autojen takana tulleet ajoneuvot kaistoittain.

Pysäkki	Vasen kaista	Keskimmäinen kaista	Oikea kaista	Yhteensä
1 erkanemiskaistan alussa	272	305	202	779
2 erkanemiskaistan levikkeenä	193	199	39	431
4 liittymiskaistan lopussa	263	143	162	568
5 liittymiskaistan levikkeenä	260	232	162	654
Yhteensä	988	879	565	2432

3.1.2 Ajoneuvojen kaistanvaihdot linja-auton ohittamiseksi

Linja-auton lähestyessä pysäkkiä takana tulevan ajoneuvon kuljettaja voi jarruttamisen sijasta tai lisäksi myös vaihtaa kaistaa ohittaakseen linja-auton nopeasti. Kaistanvaihtoja tehtiin eniten pysäkillä (5), joka sijaitsi liittymiskaistan kohdalla levikkeenä (taulukko 6). Kaistanvaihtojen ei kuitenkaan arvioitu aiheuttaneen vaaratilannetta millään pysäkillä. Kaistanvaihto arvioitiin mahdolliseksi, jos viereisellä kaistalla ei ollut tulossa ajoneuvoa.

Samalla tavalla kuin arvioitiin muiden ajoneuvojen jarruttamista, arvioitiin myös muiden ajoneuvojen tekemiä kaistanvaihtoja pysäkillä saapuvan linja-auton tilanteessa. Muiden ajoneuvojen tekemiä kaistanvaihtoja havaittiin 22:ssa tilanteessa pysäkillä (4), joka sijaitsi liittymiskaistan lopussa. Näistä 16 tilanteessa kaistanvaihtajia oli useampi kuin yksi. Liittymiskaistan kohdalla levikkeenä sijaitsevalla pysäkillä (5) kaistanvaihtoja kirjattiin 11 tilanteessa. Muilla pysäkeillä ei havaittu muiden ajoneuvojen kaistanvaihtoja. Muidenkaan kaistanvaihtojen ei arvioitu aiheuttaneen vaaratilanteita.

Taulukko 6. Pysäkillä saapuvan linja-auton takana tulleen ajoneuvon mahdollisuudet kaistanvaihtoon ja kaistanvaihtojen määrä linja-auton ohittamiseksi.

Pysäkki	Ei ollut mahdoll.	Oli mahdoll.	Kaistanvaihtoja	Kaistanvaihtojen määrä 100 mahdollisuutta kohden
1 erkanemiskaistan alussa	102 (88,7 %)	13 (11,3 %)	4	31
2 erkanemiskaistan levikkeenä	31 (100 %)			
4 liittymiskaistan lopussa	17 (23,6 %)	55 (76,4 %)	29	53
5 liittymiskaistan levikkeenä	51 (62,2 %)	31 (37,8 %)	24	77
Yhteensä	201 (67,0 %)	99 (33,0 %)	57	58

*Kolmessa tapauksessa kaistanvaihdon mahdollisuutta ei voitu arvioida. (Kaistanvaihto kyllä/ei vs. pysäkit: $\chi^2=9,351$, $df=2$, $P=0.009$. Pysäkit 2 ja 3 ei mukana testissä. Parittaisessa khiin neliotestissä pysäkit 1 ja 4 eivät eronneet merkitsevästi toisistaan).

3.2 Pysäkiltä lähtevän linja-auton tilanne

Pysäkiltä lähtevän linja-auton tilanteen alkamisajankohdaksi määriteltiin hetki, jolloin linja-auton vilkku vasemmalle alkoi toimia. Tilanne loppui, kun linja-auto oli kokonaan menosuunnassaan ajokaistallaan. Isokokoisen ja henkilöautoja hitaammin kiihtyvän linja-auton aiheuttamia häiriöitä liikennevirtaan mitattiin samalla tavalla kuin saapuvan linja-auton tilanteessa, jarrutusten ja kaistanvaihtojen määrällä. Toisaalta linja-autoliikenteen sujuvuuden kannalta on tietenkin tärkeää, että linja-auto pääsee mahdollisimman nopeasti pysäkiltä takaisin ajokaistalle. Sen takia mitattiin vielä erikseen linja-auton liittymisaika pysäkiltä liikennevirtaan.

3.2.1 Ajoneuvojen jarrutukset linja-auton lähtiessä

Taulukossa 7 on esitetty tilanteiden määrä, jossa samanaikaisesti lähtevän linja-auton takaa oli tulossa ajoneuvo ja niistä jarruttaneiden määrä. Takaa tullut ajoneuvo oli 80 prosentissa henkilöauto ja 10 prosentissa pakettiauto. Erkanemiskaistojen pysäkeillä (1 ja 2) tapahtui lähes kaksinkertainen määrä jarrutuksia verrattuna liittymiskaistojen pysäkkeihin. On kuitenkin todettava, että erkanemiskaistoilla jarrutus ei välttämättä aina johtunut linja-autosta vaan siitä, että kuljettaja hidasti vauhtiaan kääntyäkseen rampille. Tosin silloin jarruvalon syttymistä ei yleensä tapahtunut, kun auto kääntyi erkanemiskaistalle tilanteessa, jossa pysäkillä ei ollut lähtevää linja-autoa pysäkillä.

Pysäkillä 1 jarrutuksen arvioitiin olleen voimakas seitsemässä tapauksessa. Varsinaisen kolarin synty ei kuitenkaan ollut lähellä.

Taulukko 7. Pysäkiltä lähtevän linja-auton takaa tulossa ajoneuvo ja jarrutusten määrä.

Pysäkki	Ei ollut tulossa	Oli tulossa	Jarrutuksia*	Jarrutusten määrä 100 lähtöä kohden
1 erkanemiskaistan alussa	32	97	86	89
2 erkanemiskaistan levikkeenä	85	26	24	92
4 liittymiskaistan lopussa	18	80	41	51
5 liittymiskaistan levikkeenä	27	76	35	46
Yhteensä	162	279	186	67

*Jarruvalo syttyi. (Jarrutus kyllä/ei vs. pysäkit: $\chi^2=51,895$, $df=3$, $P<0.001$)

Muiden ajoneuvojen jarrutukset jakoutuivat hieman eri tavalla verrattuna ensimmäisiin ajoneuvoihin, jotka lähestyivät pysäkiltä lähtevää linja-autoa (taulukko 8). Erkanemiskaistan alussa sijaitsevaa pysäkkiä (1) lähestyttäessä tapahtui edelleen paljon myös muiden ajoneuvojen jarrutuksia, mutta erkanemiskaistan levikkeellä sijaitsevalle pysäkille (2) ajettaessa muiden ajoneuvojen jarrutuksia oli vähän. Samoin liittymiskaistan levikkeellä (5) muut ajoneuvon kuljettajat joutuivat jarruttamaan harvemmin. Sen sijaan liittymiskaistan lopussa sijaitsevaa pysäkkiä (4) lähestyttäessä muita jarrutuksia tapahtui lähes yhtä paljon kuin erkanemiskaistan alussa sijaitsevalla pysäkillä.

Taulukko 8. Pysäkiltä lähtevän linja-auton tilanteessa tapahtuneiden muiden ajoneuvojen jarrutusten määrä.

Pysäkki	Oli tulossa	Jarrutuksia*	Jarrutusten määrä 100 lähtöä kohden
1 erkanemiskaistan alussa	97	91	94
2 erkanemiskaistan levikkeenä	26	8	31
4 liittymiskaistan lopussa	80	74	93
5 liittymiskaistan levikkeenä	76	20	26
Yhteensä	279	193	69

*Jarruvalo syttyi.

3.2.2 Ajoneuvojen kaistanvaihdot lähtevän linja-auton ohittamiseksi

Erkanemiskaistalla sijaitsevilla pysäkeillä linja-auton lähtiessä takaa tulevalla ajoneuvolla oli vain hyvin harvoin mahdollisuus vaihtaa kaistaa linja-auton ohittamiseksi takaa tulevan liikenteen takia (taulukko 9). Tämä on luonnollista, koska takaa tuleva liikenne saavuttaa nopeasti erkanemiskaistalla hidastavan ajoneuvon. Liittymiskaistalla ajoneuvon kuljettaja saattoi puolestaan helposti kiihdyttää ja vaihtaa kaistaa huomatessaan pysäkiltä lähtevän linja-auton.

Taulukko 9. Pysäkiltä lähtevän linja-auton takana tulleen ajoneuvon mahdollisuudet kaistanvaihtoon ja kaistanvaihtojen määrä linja-auton ohittamiseksi.

Pysäkki	Mahdollisuus kaistanvaihtoon		Kaistanvaihtoja	Kaistanvaihtojen määrä 100 mahdollisuutta kohden
	Ei ollut	Oli		
1 erkanemiskaistan alussa	94 (96,9 %)	3 (3,1 %)	3	(100)
2 erkanemiskaistan levikkeenä	25 (96,2 %)	1 (3,8 %)	1	(100)
4 liittymiskaistan lopussa	31 (38,8 %)	49 (61,3 %)	37	76
5 liittymiskaistan levikkeenä	26 (34,2 %)	50 (65,8 %)	49	98
Yhteensä	176 (63,1 %)	103 (36,9 %)	90	87

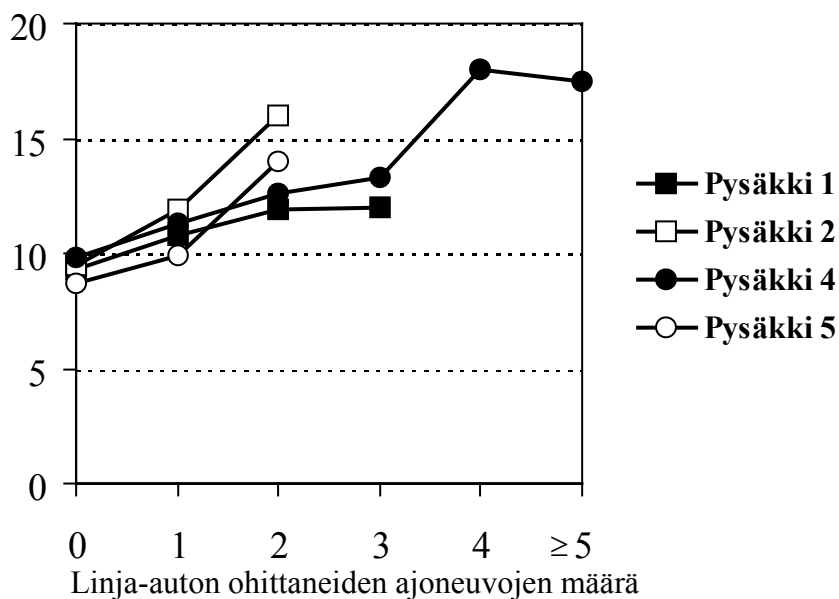
Kun liittymiskaistalla sijaitsevilta pysäkeiltä lähti linja-auto, niin havaittiin 25 tilanteessa pysäkillä neljä ja 28 tilanteessa pysäkillä viisi muiden ajoneuvojen kaistanvaihtoja.

3.2.3 Lähtevän linja-auton liittymisaika liikennevirtaan

Linja-auton liittymisaika mitattiin siitä hetkestä, kun linja-auton vilkku vasemmalle alkoi toimia siihen hetkeen, kun linja-auto oli kokonaan ajokaistallaan menosuuntaan. Liittymisaika on riippuvainen siitä, kuinka mahdolliset takaa tulevat ajoneuvot käyttäytyvät tilanteessa. Kuvassa 7 onkin esitetty linja-autojen keskimääräinen liittymisaika linja-auton ohittaneiden ajoneuvojen suhteen. Ohittaneiden ajoneuvojen määrä laskettiin siltä kaistalta, jolle linja-auto oli menossa. Ohittaneiden ajoneuvojen määrän kasvaessa myös liittymisaika luonnollisesti pitenee. Pysäkki neljä sijaitsi liittymiskaistan lopussa, jolloin linja-auto joutui liittymään suoraan keskimmaiselle, suoraan

eteenpäin ajaville tarkoitetulle kaistalle kun muilla pysäkeillä linja-autolla oli mahdollisuus ensin liittyä erkanemis- tai liittymiskaistalle. Pysäkillä neljä linja-auton ohittaneiden ajoneuvojen määrä olikin suurempi kuin muilla pysäkeillä (taulukko 10).

LA:n liittymisaika sek.



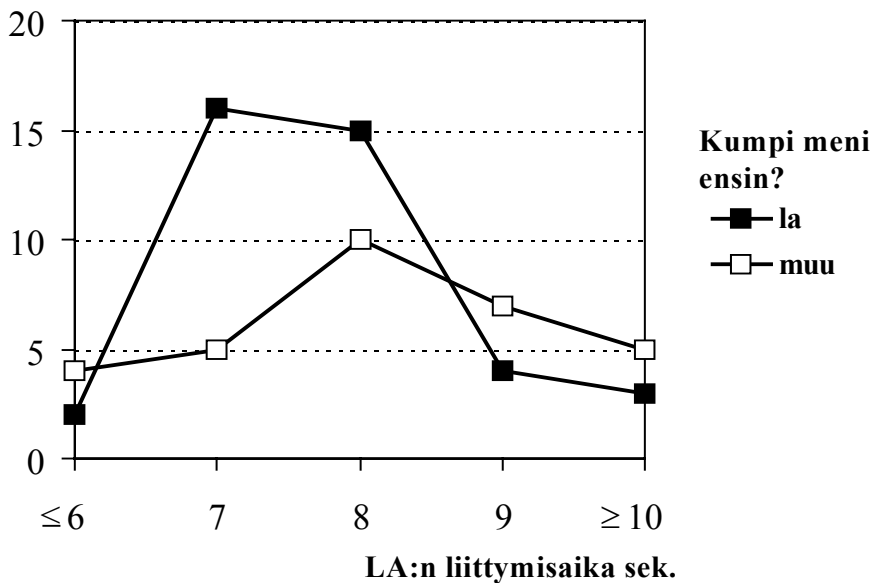
Kuva 7. Linja-autojen keskimääräinen liittymisaika pysäkiltä lähdettäessä

Taulukko 10. Linja-auton ohittaneiden ajoneuvojen määrä pysäkeittäin.

Pysäkki	Ohittaneiden ajoneuvojen määrä linja-auton lähtiessä				
	1	2	3	4	≥ 5
1 erkanemiskaistan alussa	38	9	1		
2 erkanemiskaistan levikkeenä	17	1			
3 "tulpassa"	4				
4 liittymiskaistan lopussa	28	17	11	5	5
5 liittymiskaistan levikkeenä	11	1			

3.2.4 ”Tulpassa” sijaitsevalta pysäkiltä lähtevä linja-auto

”Tulpassa” sijaitsevan pysäkin sijainti saattoi aiheuttaa ongelmia muiden ajoneuvojen kanssa lähinnä vain siinä tilanteessa, kun linja-auto oli lähtenyt pysäkiltä ja oli kiihdyttämässä takaisin tielle samaan aikaan oikealta rampilta tulevan ajoneuvon kanssa. Tässä tilanteessahan linja-autolla oli etuajaoikeus, koska rampilta tulevalla oli kärkikolmio. Yhteensä havaittiin 71 samaa aikaista lähestymistä kiihdytyskaistalle, joista 40:ssä linja-auto meni ensin, mutta 31:ssä tapauksessa toinen ajoneuvo kiihdytti linja-auton eteen väistämismoraliisuudesta huolimatta. Tämä johtunee siitä, että ainakin henkilöautoilijoilla lienee halu päästä hitaamman linja-auton ohi mahdollisimman pian. Toisaalta linja-auton kuljettajan ajotyylly voi myös vaikuttaa, koska oli havaittavissa tendenssiä siihen, että mitä voimakkaammin linja-auton kuljettaja kiihdytti pysäkiltä sitä useammin linja-auto jatkoi matkaansa ennen rampilta tullutta ajoneuvoa (kuva 8).



Kuva 8. Linja-auton liittymisaika takaisin bussikaistalle ja kumpi meni ensin bussi-kaistan ja rampin yhdistyessä.

Pysäkin pysähtymättä ohittavien linja-autojen nopeudet ovat luonnollisesti suurempia pysäkin jälkeiselle rampille tultaessa kuin niiden, jotka pysähtyvät pysäkillä. Linja-auton nopeuden kasvaessa rampilta tulevan ajoneuvon kuljettajan aika havaita ja arvioida ehtiikö hän liittymään ennen linja-autoa lyhenee. Pysäkin pysähtymättä ohittaneet linja-autot eivät kuitenkaan menneet merkittävästi useammin ennen rampilta saman aikaisesti tulevaa ajoneuvoa verrattuna tilanteeseen, jossa linja-auto oli ensin pysähtynyt pysäkillä.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa tarkasteltiin sijainniltaan erilaisten pysäkkien vaikutuksia kuljettajien toimintaan tilanteissa, joissa linja-auto oli joko saapumassa pysäkille tai lähtemässä pysäkiltä. Kuljettajien käyttäytymistä mitattiin jarrutusten ja kaistanvaihtojen määrällä. Aina ei tietenkään ollut varmuutta johtuivatko ne juuri linja-auton liikkeistä. Tilanteissa ei kuitenkaan yleensä tapahtunut muuta kuin joko linja-auton saapuminen pysäkille tai lähteminen pysäkiltä, joten suurin osa jarrutuksista ja kaistanvaihdoista johtui hyvin todennäköisesti linja-auton liikkeistä. Jarrutusten ja kaistanvaihtojen suuren määrän oletettiin kuvastavan huonosti toimivaa ja riskialtista pysäkkiä.

Taulukoissa 11 ja 12 on esitetty eri pysäkkien keskinäinen vertailu siitä, tapahtuuko niillä enemmän vai vähemmän jarrutuksia ja kaistanvaihtoja kuin muilla vertailussa mukana olleilla pysäkeillä. Pysäkki ”tulpassa” (3) ei juuri vaikuttanut muihin ajoneuvoihin, kun linja-auton hidastaminen pysäkille saavuttaessa ja kiihdyttäminen pysäkiltä lähtiessä tapahtuivat bussikaistalla. Tästä syystä ”tulpassa” sijaitseva pysäkki aiheuttaa vähemmän jarrutuksia ja kaistanvaihtoja kuin muut pysäkit. ”Tulpassa” muu liikenne on vain busseja. Silloin kaikki kuljettajat osaavat ennakoita tilanteet paremmin kuin jos joukossa olisi myös henkilöautoja. Ammattikuljettajien havaittiin ennakoivan paremmin linja-auton liikkeitä muillakin pysäkeillä kuin ”tavallisten” kuljettajien. ”Tulpassa” sijaitsevan pysäkin kohdalla on kuitenkin huolehdittava rakenteellisesti siitä, ettei pysäkin pysähtymättä ohittavien linja-autojen nopeudet nouse liian suuriksi. Varsinainen pysäkkien vertailu keskittyi muiden pysäkkityyppien välisten erojen tarkasteluun.

Kun linja-auto saapui pysäkille, niin jarrutusten määrän perusteella pysäkki erkanemiskaistan alussa (1) ja pysäkki liittymiskaistan kohdalla levikkeenä (5) olivat huonoja ratkaisuja. Liittymiskaistan levikkeenä sijaitsevalla pysäkillä (5) myös kaistanvaihtojen määrä oli suurin. Pysäkille saapuvan linja-auton tilanteesta saatujen tulosten perusteella pysäkkiä ei kannata sijoittaa liittymiskaistan levikkeelle (5) varsinkin jos liittyvän liikenteen määrä on suuri. Parhaiten pysäkille saapuvan linja-auton tilanteessa näyttäisi toimivan pysäkki erkanemiskaistan levikkeenä (2) (tai ”tulpassa” (3)).

Taulukko 11. Sijainniltaan erilaisten pysäkkien vertailu jarrutusten ja kaistanvaihtojen määrän suhteen linja-auton **saapuessa** pysäkillä.

- + Parempi, vähän jarrutuksia ja kaistanvaihtoja.
- Huonompi, paljon jarrutuksia ja kaistanvaihtoja.

Pysäkki	Jarrutusten määrä		Kaistanvaihtojen määrä		Yhteensä
	Lähin ajoneuvo	Muut ajoneuvot	Lähin ajoneuvo	Muut ajoneuvot	
1 Erkanemiskaistan alussa	-	-		+	1 + 2 -
2 Erkanemiskaistan levikkeenä	+	+	+	+	4 +
3 "Tulpassa"	+	+	+	+	4 +
4 Liittymiskaistan lopussa	+	+		-	1 - 2 +
5 Liittymiskaistan levikkeenä	-	-	-	-	4 -

Tulokset ovat varsin luonnollisia, kun ajatellaan kuljettajien ajotilannetta linja-auton takana eri pysäkeillä. Erkanemiskaistan alussa sijaitsevalle pysäkillä linja-auton pysähtyminen voi tulla yllätyksenä, joka näkyy myös ajoneuvojen jarrutusten suurena määränä samalla kun kaistaa ei ehditä enää vaihtaa. Sen sijaan linja-auton saapuessa erkanemiskaistan levikkeenä sijaitsevalle pysäkillä takana tulevan ajoneuvon kuljettaja(t) on jo sopeuttanut vauhtinsa erkanemiskaistalla linja-auton nopeuteen eikä linja-auton pysähtyminen levikkeelle yleensä aiheuta jarrutuksia. Suoraan ajavat ajoneuvot pääsevät myös jatkamaan häiriintymättä matkaa, eikä tarvetta kaistanvaihdolle ole. Kun linja-auto saapuu liittymiskaistan lopussa sijaitsevalle pysäkillä (4), jarrutusten määrä on pieni, koska linja-auto tavallaan kääntyy pois takaa tulevia autojen tieltä mutta se näyttää lisäävän jonkin verran muiden ajoneuvojen kaistanvaihtoja. Liittymiskaistan levikkeenä sijaitsevalla pysäkillä (5) takaa tulevilla ajoneuvoilla on vähemmän aikaa sovittaa nopeutensa saapuvan linja-auton liikkeisiin kuin liittymiskaistan lopussa sijaitsevalla pysäkillä (4). Tämä aiheuttaa jarrutuksia ja kaistanvaihtoja. Lisäksi on huomattava perusero liittymis- ja erkanemiskaistalla ajavan autoilijan ajotehtävän välillä riippumatta linja-auton olemassaolosta: liittymiskaistalla ajava kuljettaja on kiihdyttämässä ja erkanemiskaistalla hidastamassa. Liittymiskaistalla kuljettajalla on siis "kiire" liittyä sujuvasti liikennevirtaan, kun taas erkanemiskaistalla kuljettajan liikennetilanne on rauhallisempi. Liittymiskaistalla kuljettajan on lisäksi suunnattava tarkkaavaisuutta huomattavasti enemmän takaa tulevaan liikenteeseen kuin erkanemiskaistalla. Erkanemiskaistalla kuljettajalla on enemmän aikaa tarkkailla linja-autoa ja sopeuttaa oman ajoneuvon nopeus linja-auton liikkeisiin. Tästä johtuen erkanemiskaistaan sijoitetut pysäkit

kiratkaisut toimivat hyvin ellei pysäkkiä ole sijoitettu aivan erkanemiskaistan alkuun.

Tilanne muuttui kuitenkin vähän, kun tarkasteltiin pysäkiltä lähtevää linja-autoa. Erkanemiskaistan alussa sijaitsevalla pysäkillä (1) jarrutuksia tapahtui edelleen paljon, mutta nyt ei enää liittymiskaistan levikkeenä (5) sijaitsevalla pysäkillä. Tähän oli syynä ilmeisesti se, että liittymiskaistan levikkeenä sijaitsevalla pysäkillä (5) takaa tulevat autot pystyivät vaihtamaan kaistaa vasemmalle ja ohittamaan pysäkiltä lähtevän linja-auton. Tämä näkyi myös kaistanvaihtojen suurena määränä. Kaistanvaihtoja tehtiin luonnollisesti paljon myös liittymiskaistan lopussa sijaitsevalla pysäkillä (4), mutta tärkeää on huomata, että liittymiskaistojen pysäkeillä aiheutui paljon myös muiden kuin lähimmän ajoneuvon kaistanvaihtoja. Erkanemiskaistan levikkeenä (2) sijaitseva pysäkki selvisi tästäkin tilanteesta parhaiten, vain linja-autoa seuranneen lähimmän ajoneuvon jarrutuksia aiheutui enemmän kuin liittymiskaistojen pysäkeillä. Tämä johtuu tietysti siitä, että erkanemiskaistalla kuljettaja ei voi enää tehdä kaistanvaihtoa ollessaan kääntymässä pois päätieltä. Tästä aiheutuu kuitenkin todennäköisesti vähemmän vaaratilanteita, kun sitä verrataan liittymiskaistan tilanteeseen, jossa kuljettaja kiihdyttää voimakkaasti ja vaihtaa saman aikaisesti kaistaa ohittaakseen linja-auton.

Taulukko 12. Sijainniltaan erilaisten pysäkkien vertailu jarrutusten ja kaistanvaihtojen määrän suhteen linja-auton lähtiessä pysäkiltä.

+ Parempi, vähän jarrutuksia ja kaistanvaihtoja.

- Huonompi, paljon jarrutuksia ja kaistanvaihtoja.

Pysäkki	Jarrutusten määrä		Kaistanvaihtojen määrä		Yhteensä
	Lähin ajoneuvo	Muut ajoneuvot	Lähin ajoneuvo	Muut ajoneuvot	
1 Erkanemiskaistan alussa	-	-	+	+	2 - 2 +
2 Erkanemiskaistan levikkeenä	-	+	+	+	1 - 3 +
3 "Tulpassa"	+	+	+	+	4 +
4 Liittymiskaistan lopussa	+	-	-	-	3 - 1 +
5 Liittymiskaistan levikkeenä	+	+	-	-	2 - 2 +

Taulukossa 13 on yhdistetty taulukoiden 11 ja 12 tulokset. Lisäksi siihen on lisätty tulos, joka osoitti, että liittymiskaistan lopussa sijaitsevalla pysäkillä linja-autolla kesti kauemmin päästä takaisin tielle pysäkiltä. Tulosten perus

teella ("tulpassa" sijaitsevan pysäkin lisäksi) pysäkki erkanemiskaistan levikkeenä (2) on turvallisuuden ja sujuvuuden kannalta suositeltava vaihtoehto. Siinä linja-auton takaa tulevien ajoneuvojen jarrutusten ja kaistanvaihtojen määrä oli useammin pienempi kuin muilla pysäkeillä.

Toisaalta, jos liittymiskaistan liikennemäärä on selvästi erkanemiskaistaa pienempi niin pysäkki voi olla kaikesta huolimatta järkevämpää sijoittaa sinne. Pysäkin sijaintia kannattaa miettiä myös erikseen kummallakin puolella liittymää. Esimerkiksi aamupäivällä kaupungista pois päin suuntautuva liittymisramppi on tavallisesti hiljaisempi liikenteeltään Pysäkki liittymiskaistan lopussa on ilmeisesti huonoin ratkaisu linja-autoliikenteen sujuvuuden kannalta, koska linja-auton pääsy takaisin liikennevirtaan kesti kaikkein kauimmin. Liittymiskaistan lopussa sijaitseva pysäkki toimi kuitenkin melko hyvin linja-auton saapuessa pysäkille.

Liittymiskaistan levikkeenä (5) sijaitseva pysäkki näytti olevan turvallisuuden ja sujuvuuden kannalta huonoin ratkaisu. Myöskään pysäkki erkanemiskaistan alussa (1) ei ole suositeltava, koska jarrutusten määrä oli joka tilanteesta suuri.

Taulukko 13. Yhteenvedo sijainniltaan erilaisten pysäkkien vertailuista jarrutusten ja kaistanvaihtojen määrään.

+ Parempi, vähän jarrutuksia ja kaistanvaihtoja.

- Huonompi, paljon jarrutuksia ja kaistanvaihtoja tai pitkä liittymisaika.

Pysäkki	Linja-auton saapuessa	Linja-auton lähtiessä	Linja-auton liittymisaika	Yhteensä
1 Erkanemiskaistan alussa	2 - 1 +	2 - 2 +		4 - 3 +
2 Erkanemiskaistan levikkeenä	4 +	1 - 3 +		1 - 7 +
3 "Tulpassa"	4 +	4 +		8 +
4 Liittymiskaistan lopussa	1 - 2 +	3 - 1 +	-	5 - 3 +
5 Liittymiskaistan levikkeenä	4 -	2 - 2 +		6 - 2 +

Tutkimuksessa ei kontrolloitu linja-autojen ja muiden ajoneuvojen nopeuksia, jotka voivat vaikuttaa tuloksiin. Linja-autojen voimakkaammat jarrutukset joillakin pysäkeillä ovat voineet aiheuttaa enemmän muiden ajoneuvojen reaktioita. Voimakkaammat jarrutukset voivat tosin johtua juuri pysäkin sijainnista. Kaikkien pysäkkien kohdalla oli 80 km/h nopeusrajoitus, joten kovin

suuria nopeuseroja muiden ajoneuvojen välillä eri paikoissa ei luultavasti ollut.

Tutkimuksessa oli mukana vain 2 + 2 kaistaisia teitä, joissa oli lisäksi erkanemis- tai kiihdytyskaista. Tulokset antavat kuitenkin osin suuntaa myös muiden tyyppisten teiden pysäkkien sijoitteluun. Pysäkki on parempi sijoittaa paikkaan, missä kuljettajat ovat hidastamassa tai suurin osa kuljettajista hidastaa kuin paikkaan missä kuljettajat odottavat voivansa kiihdyttää tai jatkaa suurella nopeudella.

