

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennustekniikka
Ympäristörakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Sami Iikkanen

Gongqingin DigiEcoCityn joukkoliikenteen linjas- tovaihtoehtojen vertailu ja terminaalien toimivuuden arviointi simuloimalla

TIIVISTELMÄ

Sami Iikkanen

Gongqingin DigiEcoCityn linjastovaihtoehtojen vertailu ja joukkoliikennetermi-
naalin toimivuuden arviointi simuloimalla, 64 sivua, 6 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikan yksikkö, Rakennustekniikan koulutusohjelma

Ympäristörakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Ohjaajat: Yliopettaja Jorma Jaakkola, Saimaan ammattikorkeakoulu

DI Jukka-Pekka Pitkänen, Ramboll Finland Oy

Arkkitehti SAFA Katariina Langenskiöld, DigiEcoCity Oy

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja vertailla Kiinaan rakennettavan kau-
pungin, Gongqingin DigiEcoCityn joukkoliikennevaihtoehtoja simuloinnin avulla.
Työssä selvitettiin, minkälainen terminaaliratkaisu, linjastorakenne ja kalustoko-
ko palvelevat parhaiten ennustettua bussiliikenteen kysyntää.

Työssä tarkasteltiin kolmea eri terminaaliratkaisua, kahta eri linjasto- sekä kahta
eri bussityyppiä. Linjastovaihtoehdot koostuivat yhdestä sisäisestä linjasta sekä
yhdestä tai kahdesta ulkoisesta linjasta. Simuloinneissa käytettiin telibusseja,
joiden kapasiteetti on 80 matkustajaa ja tuplanivelbusseja, joiden kapasiteetti on
150 matkustajaa. Simuloimalla tutkittiin yhteensä 12 erilaista terminaal- ja lin-
jastovaihtoehtoa. Simuloinnit koskivat aamunhuipputunnin liikennettä.

Simulointia varten mallinnettiin liikenneverkko ja muita tarvittavia elementtejä
kuten rakennuksia sekä terminaalien portaita ja laitureita. Terminaalien maanalai-
sia laitureita käyttävät ulkoiset bussit ja katutasolla sijaitsevia laitureita kaupun-
gin sisäinen linja.

Simuloinnit tehtiin VISSIM-mikrosimulointiohjelmalla. Tulokset perustuvat simu-
lointien visuaaliseen analysointiin sekä simulointien avulla laskettuihin erilaisiin
joukkoliikennettä ja kevyttä liikennettä kuvaavia tunnuslukuihin. Näitä ovat bus-
sien vuoroväli, matka-aika ja keskimääräinen matkustajamäärä, terminaalien pysä-
kkien varausasteet sekä matkustajien kävely aika odotuslaiturien välillä. Li-
säksi odotuslaitureiden mitoitus varten laskettiin matkustajien määrät odotus-
laiturin pinta-alaa kohti.

Parhaassa terminaalivaihtoehdossa katutaso pysäkit sijaitsevat keskustan
kahden eri kadun varressa. Parhaassa linjastovaihtoehdossa kaupungin ulkoi-
nen liikenne hoidetaan kahdella linjalla ja busseilla, joiden kapasiteetti on 150
matkustajaa. Sen sijaan kaupungin sisäisellä linjalla on järkevämpää käyttää
pienempiä busseja.

Avainsanat: Simulointi, Gongqing, Kiina, joukkoliikenne, terminaalit, bussilinjasto

ABSTRACT

Sami Iikkanen

Gongqing DigiEcoCity's comparison of service networks and evaluation of public transport terminal with simulation, 64 pages, 6 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Unit of Technology, Civil and Construction Engineering

Specialization in Community Infrastructure Engineering

Instructors: Senior teacher Jorma Jaakkola, Saimaan ammattikorkeakoulu

M.Sc. Jukka-Pekka Pitkänen, Ramboll Finland Oy

Architect SAFA Katariina Langenskiöld, DigiEcoCity Oy

The purpose of this study was to study and compare different alternatives for public transport system with simulation to the new city of China, Gongqing DigiEcoCity. The study examined what kind of terminal option, structure of the service network and transportation fleet are the most feasible to serve forecasted amount of passengers.

Three different terminal options, two service networks and two different bus types were analysed in this report. Service networks consist of one inner bus line and one or two outer bus lines of the city. The options of the passenger capacities of buses were 80 passengers and 150 passengers. Simulations were related to the morning peak hour.

In addition to bus and private vehicle lanes and pedestrian areas, other elements were also added to the simulation model. The bus stops on the underground level of terminal are used by the outer city bus lines and the bus stops on street level are used by the inner city bus line.

The simulations were made with VISSIM micro simulation program. The results are based on visual analyzing of simulations and on estimates of the key indicators related to pedestrians and cyclists and public transport. The key ratios were bus intervals, bus travel times, average number of passengers in buses, reservation grades of terminal's bus stops and walking time of passengers between bus waiting areas. Furthermore, the numbers of passengers per square meter were calculated for the dimensioning of waiting areas.

In the best terminal option the street level bus stops are situated by the side of two different streets in the centre of the city. In the best bus service network there are two outer bus lines and operating of the lines relates to bus whose capacity is 150 passengers. By contrast, on the inner bus line it is more reasonable to use smaller buses.

Key words: Simulation, Gongqing, China, public transport, terminal, bus service network

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	TAUSTA JA TAVOITTEET	9
3	YLEISTÄ KIINAN LIIKENNEJÄRJESTELYISTÄ.....	11
3.1	Yleistä Kiinasta	11
3.2	Tieverkko	11
3.3	Rataverkosto.....	12
3.4	Vesiväyläverkosto	14
3.5	Lentoliikenne.....	16
4	GONGQINGIN DIGIECOCITY-HANKE	17
4.1	Yleistä Gongqingin kaupungista	17
4.2	DigiEcoCity hankkeen suunnitelmat ja toteutusaikataulu.....	21
5	SIMULOINTI LIIKENNESUUNNITTELUSSA.....	23
5.1	Yleistä liikenteen simuloinnista	23
5.2	Joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen simulointi	24
5.3	Simulointi VISSIMillä.....	26
5.4	Muita Suomessa käytössä olevia simulointiohjelmia	27
6	DIGIECOCITYN SIMULOINTIMALLIT SEKÄ VERTAILTAVAT VAIHTOEHDOT	28
6.1	Liikenne-ennusteet	28
6.2	Tie- ja katuverkko	29
6.3	Tutkittavat joukkoliikennevaihtoehdot	31
6.3.1	Linjastovaihtoehdot	31
6.3.2	Terminaalivaihtoehdot ja laiturijärjestelyt.....	35
6.3.3	Käytettävä kalusto	39
6.4	Simulointitapaukset.....	40
7	VAIHTOEHTOJEN VERTAILU SIMULOIMALLA.....	41
7.1	Tunnusluvut	41
7.2	Henkilöautoliikenteen aiheuttamat viivytykset terminaalialueella	41
7.3	Keskeiset tulokset.....	44
7.3.1	Vuorovälit ja bussien määrät	44
7.3.2	Bussien matkustajamäärät	46
7.3.3	Bussien matka-ajat.....	48
7.3.4	Kävelyajat laiturien välillä	49
7.3.5	Laitureilla odottavien matkustajien määrät	50

7.3.6	Laiturivaraukset.....	51
8	VAIHTOEHTOJEN VERTAILUJEN YHTEENVETO	55
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	56
	LÄHTEET.....	62

LIITTEET

Liite 1 Bussien käyttämä aika kasilenkin sekä sen ylä- ja alalenkin kiertämiseen eri vaihtoehtoissa.

Liite 2 Ulkoisten linjojen matka-ajat yksityisautoilun kanssa samaan aikaan simuloituna.

Liite 3 Odotuslaitureiden koko, maksimi ihmismäärä ja ihmismäärä pinta-alayksikköä kohti.

Liite 4 Bussien keskimääräinen matkustajamäärä ja matkustajamäärien keskijajonta.

Liite 5 Aamun huipputunnin ajoneuvoliikenne ajoneuvoyksiköissä.

Liite 6 Keskustan kehän valo-ohjatut liittymät sekä valojen suunnittelussa käytetyt liikennemäärät.

TERMEJÄ

Joint Venture: Kahden tai useamman yrityksen muodostama yhteisyritys. Nämä voidaan jakaa joint equity ventures -yrityksiin, jotka perustuvat omistuksen jakoon sekä joint contractual ventures -yrityksiin, jotka perustuvat sopimus pohjaisiin yhteistyöoperaatioihin. (Talous Sanomat 2011).

Gongqing: Kiinan Jiangxi-provinssissa sijaitseva kaupunki.

DigiEcoCity: Liikeideana on tarjota tuotteistettuja digitaalisen ja kestävän kehityksen mukaisia kaupunkisuunnittelun ratkaisuja erityisesti Kiinan kehittyville markkinoille.

Mikroskooppinen simulointi: Yksittäisten ajoneuvojen, jalankulkijoiden yms. mallintamista simulointiohjelmalla käyttäen. Mikroskooppiset mallit voivat olla yksittäisiä osia liikenneverkosta tai jopa kokonaisia kaupunkeja. Simulointeja voidaan tarkastella visuaalisesti ja simuloinneista saadaan liikennettä kuvaavia tunnuslukuja.

VISSIM: Saksalainen mikroskooppinen simulointiohjelma, jota käytettiin tässä opinnäytetyössä. Ohjelma soveltuu suurten kohteiden simulointiin, ja on käyttökelpoinen yksityisautoilun, joukkoliikenteen, ja kevyen liikenteen, sekä niiden vuorovaikutuksen simuloinnissa.

Kasilinja: Kahdeksikon muotoista lenkkiä kiertävä DigiEcoCityn sisäinen bussilinja. Käyttää maanpäällistä terminaalia.

Vihreä linja: DigiEcoCityn ulkoinen bussilinja. Käyttää maanalaista terminaalia.

Musta linja: Toinen DEC:n ulkoinen bussilinja, joka on käytössä linjastovaihtoehto 2:ssa. Käyttää maanalaista terminaalia.

Terminaali: Maanalainen ja/tai maanpäällinen alue, joka toimii joukkoliikenteen solmukohtana ja palvelualueena.

Laituri: Terminaalissa sijaitseva bussien pysähtymisalue.

Odotuslaituri: Bussilaiturin vieressä oleva matkustajien odotusalue.

1 JOHDANTO

Kaupungistuminen

Kiina on maailman väkirikkain ja maapinta-alaltaan Venäjän ja Kanadan jälkeen maailman kolmanneksi suurin valtio. Talouskasvu Kiinassa on johtanut merkittävään varallisuuden kasvuun ja kaupungistumiseen. Seuraavan parinkymmenen vuoden aikana on arvioitu 400 miljoonan kiinalaisen muuttavan kaupunkeihin. Kiinan valinnoilla on globaalit vaikutukset ilmastomuutokseen, sillä rakentaminen ja rakennusten operointi sitoo noin puolet tämänhetkisestä maapallon hiilijalanjäljestä.

Kaupungit kasvavat ja tarve rakentaa kokonaan uusia kaupunkeja on suuri. Tähän haasteeseen pyritään vastaamaan muun muassa DigiEcoCity -konseptin avulla. DigiEcoCity on ihannekaupunkimalli, jossa yhdistyvät kestävän kehityksen periaatteet ja digitaalisen teknologian mahdollistamat innovaatiot sekä hyvälle elämälle tarpeelliset kaupunkitoiminnot - asuminen, työnteko sekä julkiset, yksityiset, kaupalliset ja vapaa-ajan palvelut. (DEC 2010.)

Gongqing DigiEcoCity

Gongqingin DigiEcoCity on suomalaisen yrityksen, DigiEcoCity Oy:n kaupunkihanke Kiinassa. Se on mitoitettu 60 000 asukkaalle, ja sen pinta-ala on 5,2 km². DigiEcoCity integroituu olemassa olevaan, noin 120 000 asukkaan Gongqingin-cheniin. Gongqingchen on perustettu vuonna 1955. Se sijaitsee Jiangxi-provinssissa, Kiinan suurimman järven, Pojang-järven rannalla.

Liikenteen simulointi

Liikennejärjestelmän vuorovaikutuksien mittaamisessa ja analysoinnissa käytetään koko ajan enemmän simulointia hyödyksi. Simuloinnin yksi merkittävimmistä hyödyistä on liikenteen tarkasteltavuus animaationa. Lisäksi simuloinnin avulla saadaan muodostettua liikennevirran ominaisuuksia kuvaavia tunnuslukuja eri liikennetilanteissa.

Kiinan autokanta

Kiinan autokanta on kasvanut viime vuosina noin 50 %:n vuosivauhtia. Kiinassa auto on korkean elintason merkki, jonka hankintaan kiinalaiset saavat tukea valtiolta. Maailman öljynkulutuksen kasvusta 60 prosenttia johtuu liikennepolttoaineiden kulutuksen kasvusta. Kiinan osuus maailman öljyn kulutuksen kasvusta on IMF:n ennusteen mukaan noin neljännes. Öljyn kulutus kasvaa Kiinassa siten yhtä paljon kuin kaikissa OECD-maissa yhteensä. (Radio 86 2005). Autokannan ja autoliikenteen nopea kasvu lisää suuresti ilmansaasteita. Keinoja liikenteen aiheuttamien päästöjen vähentämiseksi ovat mm. joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen suosiminen sekä sähkö- ja hybridautojen käytön lisääminen (Helsingin sanomat 2010.)

Gongqingin joukkoliikenne

Ennen vuotta 2010 Gongqingissa ei ole ollut joukkoliikennettä lainkaan. Vuonna 2010 kaupunkiin valmistui juna-asema, josta juna 5 miljoonan asukkaan Nanchangiin kulkee 28 minuutissa. Vuoden 2010 alussa kaupungissa otettiin käyttöön kolme bussilinjaa. Joukkoliikenteen suosion kasvattamiseksi DigiEcoCityyn pyritään kehittämään toimiva joukkoliikennejärjestelmä.

2 TAUSTA JA TAVOITTEET

DigiEcoCity Oy perustettiin vuonna 2006 ja sen liikeidea on tarjota tuotteistettuja digitaalisen ja kestäväen kehityksen mukaisia kaupunkisuunnittelun ratkaisuja erityisesti Kiinan kehittyville markkinoille. Lähtökohtaisesti kehitettävää kaupunkiformaattia voidaan kuitenkin soveltaa missä tahansa, kunhan paikalliset olosuhteet otetaan huomioon. Yrityksen perustajajäsenet ovat kehittäneet yhteistyömahdollisuuksia kiinalaisten kanssa jo vuodesta 2004. He kävivät mm. strategisia keskusteluja useiden kaupunkien, keskushallinnon sekä ministeriöiden kanssa. Pitkäjänteinen yhteistyön rakentaminen johti DigiEcoCity Oy:n liiketoimintamahdollisuuksien nopeaan kehittymiseen vuoden 2009 aikana. Yritys on tehnyt JV-sopimukset Gongqingin kaupungin (marraskuu 2009) ja Danyangin kaupungin (maaliskuu 2010) kanssa DigiEcoCity-kaupunkialueiden toteuttamisesta. Molemmat kaupunki-alueet ovat pinta-alaltaan 5-6 km². (Heinonen 2010b.)

DigiEcoCity Oy:n lisäksi kaupunkihankkeessa on mukana yhteistyökumppaneita Euroopasta ja Kiinasta. Yrityksen tämän hetken yhteistyökumppaneina toimivat

- Arkkitehdit Tommila Oy
- Ramboll Finland Oy
- ÅF Group
- Nokia Siemens Networks
- Tongji yliopisto.

Ensimmäiset DigiEcoCityt rakennetaan GongQingiin sekä DanYangiin, joista GongQing on aikataulussa etusijalla. Sen rakentaminen alkoi toukokuussa 2010 pidetyllä ”peruskiven muuraus”-seremonialla (kuva 1). GongQingin DigiEcoCity on valmis arviolta 5–7 vuoden kuluttua ja sen on arvioitu maksavan 1–2 miljardia euroa (Heinonen 2010a). Valtaosa kustannuksista menee rakentamiseen. DigiEcoCityt integroituvat ”emokaupunkeihinsa”, ja niiden suunnittelussa huomioidaan muu kaupungin kaavoitustilanne sekä kytkentä olemassa olevaan infrastruktuuriin. Kaupungit rakennetaan tyhjille tonteille, mikä mahdollistaa juuri halutunlaisen kaupungin toteutuksen.



Kuva 1. Peruskiven muurausseremonia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, minkälainen Gongqingin joukkoliikenteen linjastorakenne riittää palvelemaan odotettua matkustajakysyntää ja miten kaupungin joukkoliikenteestä saadaan riittävän tehokas. Muina tavoitteina on selvittää, mikä on riittävä joukkoliikennevälineiden kapasiteetti sekä pohtia millainen olisi sopiva lipunostojärjestelmä. Lisäksi tutkielmassa tarkastellaan kaupungin keskustaan rakennettavan korkeatasoisen joukkoliikenneterminaalin suunnitteluratkaisuiden riittävyttä kevyen liikenteen ja joukkoliikenteen näkökulmasta. Tässä huomioidaan erityisesti vaihdot joukkoliikennevälineestä toiseen.

Työssä käytetään VISSIM-simulointiohjelmaa. Simuloimalla erilaisia joukkoliikennetarkaisuja tutkitaan matkustajan palvelutasoa kuvaavia tunnuslukuja sekä vertaillaan erilaisten linjasto- ja terminaaliratkaisuiden toimivuutta. Päätelmät ja suositukset tehdään simulointien visuaalisen tarkastelun sekä keskeisten tulosten analysointien perusteella. Joukkoliikenteestä pyritään luomaan mahdollisimman kustannustehokas ja palvelutasoltaan riittävä. Kävelymatka pysäkille saa olla enintään 300 metriä. Joukkoliikennevälineinä toimivat bussit.

3 YLEISTÄ KIINAN LIIKENNEJÄRJESTELYISTÄ

3.1 Yleistä Kiinasta

Kiina on hyvin laaja maa, jossa asuu noin 1,3 miljardia asukasta. Kiinan pinta-ala on noin 9,6 miljoonaa neliökilometriä ja asukastiheys 141 asukasta neliökilometriä kohti. Väestö ei kuitenkaan jakaannu tasaisesti koko maan alueelle. Kiinan itäosat Keltaisenmeren ja Itä-Kiinan meren rannikolla ovat hyvin tiheään asuttuja tasankoalueita. Kiinan eteläosat koostuvat pääosin ylängöistä ja vuoristoista. Kiinan läntisemmän osan etelärajalla sijaitsee Himalajan vuoristo. Läntiset osat ovat itärannikkoon verrattuna erittäin harvaanasuttuja. Maan keskiosien halki virtaavat sen kaksi suurta jokea, Keltainenjoki ja Jangtsejoki. Muita merkittäviä jokia ovat Xi Jiang, Mekong, Brahmaputra ja Amur. (China Travel Guide 2010). Kiinan suuri pinta-ala, väestön paljous, maantieteelliset olosuhteet ja historialliset tekijät ovat vaikuttaneet Kiinan liikennejärjestelmän kehitykseen.

3.2 Tieverkko

Tieliikenteen rooli Kiinan valtakunnallisessa liikennejärjestelmässä on toistaiseksi vielä melko vähäinen alhaisen autotiheyden ja puutteellisen tieverkon vuoksi. Kiinan autotiheys oli 2000-luvun alussa 16 autoa tuhatta ihmistä kohti. Kiinan autokannan arvioidaan lähes 20-kertaistuvan kolmessa vuosikymmenessä. IMF:n ennusteen mukaan Kiinan autokanta nousee 387 miljoonaan autoon vuonna 2030. Tällöin ennustettu autotiheys olisi 267 autoa tuhatta ihmistä kohti. Yhdysvalloissa autojen määrä tuhatta asukasta kohti nousee IMF:n ennusteen mukaan 843 autoon. (Radio 86 2010.)

Nopean autoistumisen myötä Kiinalla on suuri tarve laajentaa tieverkkoaan. Kiinassa oli vuonna 2005 yhteensä noin 3,3 miljoonaa tiekilometriä, joista päällystettyä tietä on noin neljännes. Kansallisia valtateitä maassa on noin 130 000 kilometriä. Suurin osa valtateista sijaitsee Kiinan itäosassa, jonne myös Kiinan asutus on keskittynyt. Moottoriteitä Kiinassa on 65 000 kilometriä. Moottoritieverkko kattaa lähes koko maan lukuun ottamatta Tiibetiä. (U.S. Department

of Transportation 2006,China Travel Discovery 2007.) Vuoteen 2025 mennessä moottoritieverkkoa pyritään laajentamaan 85 000 kilometriin.

3.3 Rataverkosto

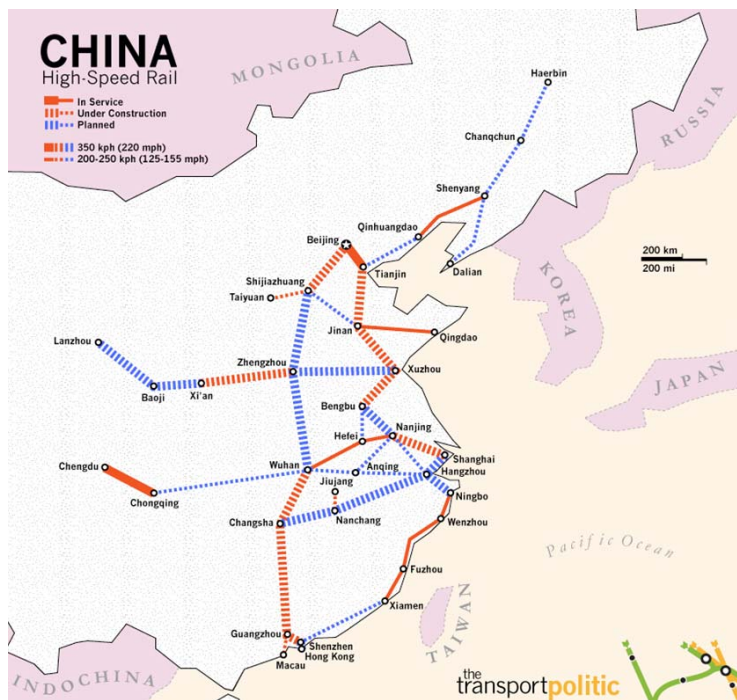
Rautatiet muodostaa Kiinan valtakunnallisen henkilö- ja tavaraliikennejärjestelmän rungon. Kiinan rataverkko (kuva 2) on maailman toiseksi laajin kattaen noin 76 000 ratakilometriä vuonna 2006. Rataverkkoa on suunniteltu laajennettavan 120 000 ratakilometriin vuoteen 2020 mennessä. (China Travel Discovery 2007.)



Kuva 2. Kiinan rautatieverkko. (Sheepish 2010)

Matkustajaliikennettä varten Kiinassa on maailman laajin nopean junaliikenteen verkko, jonka pituus on 7500 kilometriä, joista neljänneksellä liikennöi yli 350 km/h kulkevia suurnopeusjunia (kuva 3). Tätä verkkoa on suunniteltu laajennettavaksi 16 000 kilometrillä kymmenen vuoden aikajänteellä. Tällöin rataverkko yhdistäisi kaikki Kiinan suuret kaupungit. (Fairley 2010).

Suurin osa Kiinan suurnopeusjunista on CRH-junien (China Railway High-speed) eri malleja (kuva 4). Käytössä on myös Pendolino-, Velaro-, E2- sekä Regina-junia (Wikipedia 2010). Shanghaiin lentokentän ja keskustan välillä liikennöi maailman nopein juna, Maglev. Juna kulkee magneettisen levitaation avulla, ja sen huippunopeus on 431 km/h. Rata on maailman ainoa julkisen liikenteen käytössä oleva Maglev-rata. (SMT 2010).



Kuva 3. Kiinan suurnopeusjunaverkko. (The transportpolitic 2010)



Kuva 4. Kiinalainen luotijuna CHR380A. (Wikipedia 2010)

3.4 Vesiväyläverkosto

Kiinan sisävesiverkko on maailman laajin. Se muodostuu 110 000 kilometristä navigoitavia jokia, järviä ja kanavia. Henkilö- ja tavaraliikennettä palvelee 5100 sisävesisatamaa. Tärkeimpiä vesiväyliä yhdistää pohjois-eteläsuunnassa Suuri kanaali, toiselta nimeltään Keisarin kanava (kuva 5). Kanava on 1800 kilometriä pitkä ja se palvelee 17 kaupunkia Pekingin ja Hangzhoun välillä. (Ramsay 2007, Inland SE-track background 2010.) Sisävesiverkostolla on erittäin tärkeä merkitys maan sisäisessä tavaraliikenteessä. Vuonna 2003 sisävesiliikenteessä kuljetettiin 1,6 miljardia tonnia rahtia. Henkilöliikenteessä uusien ratojen ja valta-ten rakentaminen on vähentänyt vesiliikenteen suosiota, mutta varsinkin harvaanasutuilla vuoristoseuduilla alusliikenne on yhä tärkeä henkilöliikenteen kulutapa (Britannica 2010; Wikipedia 2010c).



Kuva 5. Suuri kanaali yhdistää pohjois-etelä suunnassa Kiinan vesitieverkkoa. (Wikipedia 2010)

Kiinassa on 130 kansainvälisen liikenteen satamaa. Näiden yhteenlaskettu rahdin käsittelykapasiteetti on 2900 miljoona tonnia. Vuonna 2010 kaikista maailman laivauksista 35 % arvioidaan lähtevän Kiinasta (Wikipedia 2010c).

3.5 Lentoliikenne

Kiinan lentoliikenne kasvaa hurjaa vauhtia. Maan siviililentokoneiden arvioidaan kaksinkertaistuvan vuoteen 2015 mennessä. Tällä hetkellä maan lentoyhtiöillä on 2600 konetta. Lentokenttiä maassa on 175, mutta vuoden 2011 aikana on tarkoitus rakentaa 11 uutta kenttää. Kiinan lentoliikenteen arvioidaan kuljettavan 300 miljoonaa matkustajaa ja 6,3 miljoonaa tonnia rahtia vuonna 2011. Maan siviili-ilmailuhallinnon, CAAC:n tavoitteena on kasvattaa Kiinasta maailman suurin lentoliikennealue vuoteen 2030 mennessä. (Tekniikka&Talous 2011.)

Maan pääkaupungissa Pekingissä on maailman toiseksi suurin lentokenttä matkustajamäärissä mitattuna (73,9 matkustajaa). Kaupunkiin on suunnitteilla toinen kansainvälinen lentokenttä, jonka kapasiteetti olisi 60 miljoonaa matkustajaa. (Tekniikka&Talous 2011.)

4 GONGQINGIN DIGIECOCITY-HANKE

4.1 Yleistä Gongqingin kaupungista

Gongqing sijaitsee Jiangxi-provinssissa Kaakkois-Kiinassa (kuvat 6 ja 7). Jiangxia ympäröivät vuoret kolmesta suunnasta. Provinssia kutsutaan myös nimellä Gan. Nimi tulee Gan-joesta, joka virtaa provinssin halki pohjois-eteläsuunnassa laskien Poyang-järveen, joka on Kiinan suurin järvi. Provinssi sai nimensä Tang dynastian aikana vuosien 618–907 välillä. Provinssin pinta-ala on 1 669 000 km² ja asukasluku on 42,8 miljoonaa. (Chinatouronline 2010a.) Provinssin pääkaupunki on noin 4,95 miljoonan asukkaan Nanchang. Nanchang sijaitsee Ganjoen varrella, noin 65 kilometrin päässä Gongqingista (kuva 6). Kaupunki on yli 2200 vuotta ja sen nimi tarkoittaa ”Kiinan vaurasta eteläosaa”. (Chinatouronline 2010b.)



Kuva 6. Jiangxi-provinssi. (Maps of China 2010)

Nanchangista on hyvät rautatieyhteydet muihin Kiinan maakuntiin. Kaupungin rautatieasema on Kiinan yksi tärkeimmistä matkakeskuksista, sillä Peking-Jiulong rautatie ja Shanghai-Kungming rautatie kohtaavat kaupungissa. Nanchangissa on vuodesta 2007 asti ollut CRH-luotijunayhteydet lähialueen suurimpiin kaupunkeihin eli Shanghaihin, Hangzhouhun ja Changshaan. Shanghaihin on Nanchangista matkaa rautateitse 817 kilometriä. Provinssin päärataverkkoa on suunniteltu laajennettavaksi lähitulevaisuudessa. (TravelChinaGuide 2010; Wikipedia 2010.)

Poyang järvi ja useat joet, kuten Gan ja Jangtse muodostavat Gongqingille erinomaisen vesiväyläverkon laajalle alueelle Kiinaa. Jiangxi-provinssin alueella on yhteensä yli 5500 kilometriä vesiväylää. Jangtsea pitkin pääsee Tyynelle merelle asti. (Provinces and cities 2000.)

Nanchangissa on kolme suurta bussiasemaa. Kahdelta bussiasemalta lähtevät kaukobussit provinssin ulkopuolisiin kaupunkeihin ja pienempiin taajamiin. Kolmas bussiasema on tarkoitettu provinssin sisäiselle liikenteelle. Nanchangissa on 40 bussilinjaa kaupungin sisäiselle liikenteelle. (TravelChinaGuide 2010.)

Jiangxi-provinssin ainoa kansainvälinen lentokenttä, Nanchangin lentoasema valmistui vuonna 1996. Lentokentän kapasiteetti on 2 000 000 matkustajaa vuodessa ja se sijaitsee 28 kilometriä kaupungin pohjoispuolella. (TravelChinaGuide 2010.)

Gongqing sijaitsee noin 45 kilometriä Nanchangista pohjoiseen päin. Shanghaihin Gongqingista on matkaa noin 600 kilometriä, Pekingiin noin 1200 kilometriä (kuva 7). Kaupunki on perustettu vuonna 1955 ja se sijaitsee Kiinan suurimman järven, Poyang järven rannalla. Gongqing on poliittisesti vaikutusvaltainen ja merkittävä kaupunki ja sitä pidetään nuorten kansallisena yrittäjyyden ”kehtona” (DEC 2010). Gongqing tarkoittaa suomeksi ”kommunistinuoria” (Balletown Gongqing 2010). Kaupungin asukasmäärä on noin 120 000, joista opiskelijoita on noin 20 000. Kaupungissa on Nanchangin yliopistoon kuuluvia osastoja. Näissä opetus tapahtuu englanniksi, ja osastojen painotus on englannin kielen

opinnoissa. Alueen asukasluvun oletetaan kasvavan 300 000 asukkaaseen lyhyellä aikavälillä. (DEC 2010.)



Kuva 7. Gongqingin sijainti Kiinan kartalla. (DigiEcoCity 2010)

Gongqingiin valmistui vuonna 2010 juna-asema, josta suurnopeusjunan matka-aika Nanchangiin on 28 minuuttia (Chinahighlights 2011). Kaupungin asukkaista noin 1000 omistaa auton. Lisäksi joka neljäs henkilö omistaa moottoripyörän tai mopon ja joka kahdeksas henkilö sähkömopon. Vuoden alussa Gongqingin kaupungissa alkoi liikennöidä 3 bussilinjaa. Tätä ennen ei kaupungissa ollut sisäistä bussiliikennettä. (DEC 2010.) Gongqingin pääkatuverkko on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Kuvassa on esitetty Gongqingin katuverkko sekä rautatieaseman sijainti. Rautatie kulkee pohjois-eteläsuunnassa DEC:n länsipuolelta. Lisäksi kartalla näkyy DEC:n itäpuolelle rakennettavan huvipuiston sijainti. (DigiEcoCity 2010)

4.2 DigiEcoCity-hankkeen suunnitelmat ja toteutusaikataulu

DEC integroituu jo olemassa olevan kaupungin, Gongqingin kanssa. DEC:n alueen pinta-ala on 5,2 km², ja sen asukasluku tulee olemaan noin 60 000 henkilöä.

Alueella vallitsee kostea, subtrooppinen ilmasto. Pohjamaa koostuu hiekasta, siltistä, savesta sekä punaisesta lateriittimaannoksesta. Alamaa-alueet tulvivat vuosittain ja tulvaraja on +24 metriä. Tämän rajan alle saa rakentaa vain erikoisjärjestelyillä (mm. pato). Pojang-järven pinta on noin +15 metrissä. Tulvivat alueet soveltuvat hyvin riisinviljelyyn. Ylämaa-alueet ovat punaista lateriittimaannosta. (DEC 2010.)

Kaupungin MasterPlan-kaavoitusvaihe käynnistettiin loppukeväällä 2010. Syyskuuhun 2010 mennessä oli tehty ainoastaan karkean tason kaavoitus-suunnitelmia. Infrastruktuurista päätetään vuoden 2010 lopussa. (Heinonen 2010a.)

Kaupungin rakentaminen aloitettiin peruskiven muurausseremonialla 3.5.2010. Kesällä 2010 aloitettiin kaupungin ympäri kulkevan kehätien rakentaminen sekä sillan rakentaminen kaupungin toiselle sisääntuloväylälle. Asuntojen rakentaminen pyritään aloittamaan vuoden 2011 kesään mennessä. Asuntojen keskikoko tulee olemaan 100–120 m². Tavoitteena on saada kaupunki valmiiksi (vähintään asunnot, väylät, kadut, kunnallistekniikka) vuoden 2015 aikana, mutta aikataulu voi venyä 1–2 vuodella. Kaikki kaupunkiin tulevat palvelut eivät toteudu heti. Rakennettava infrastruktuuri tarjoaa valmiudet palvelujen toteuttamiseen ja käyttöönottoon myöhemmin. (Heinonen 2010a.)

Kaupungin ympärille tulevalta kehätieltä erkanee säteittäisesti useita poikkikatuja kaupungin keskustaan. Osa kaduista on ainoastaan kevyen liikenteen käytössä ja joillakin kaduilla on ainoastaan julkista liikennettä. Keskustaan rakennetaan korkeatasoinen joukkoliikenneterminaali, johon tulee bussilaitureita sekä maan alle että maan päälle. Terminaalin lisäksi keskustan alueelle sijoittuu parkkitilaa yksityisautoille sekä huoltopihoja.

Hankkeen yhtenä haasteena on saada houkuteltua ihmiset hintatason puolesta muuttamaan kaupunkiin. Hintatason onkin oltava samaa luokkaa kuin lähialueella. Riskinä on, että asunnot ostavat ulkopuoliset sijoittajat, jotka eivät itse muuta kaupunkiin. DigiEcoCity Oy:n verkosto tekee hankkeessa isoimmat ratkaisut, mutta lupa-asiat sekä työpiirustukset tekevät paikalliset. Rakentaminen toteutetaan kiinalaisella työvoimalla. (Heinonen 2010a.)

5 SIMULOINTI LIIKENNESUUNNITTELUSSA

5.1 Yleistä liikenteen simuloinnista

Simuloinnilla tarkoitetaan jonkin todellisuuden ilmiön jäljittelemistä. Liikenteen simuloinnissa oleellista on mallin toiminnan perustuminen muutokseen tai liikkeeseen. Toisin sanoen simulointimallin avulla seurataan tarkasteltavan ilmiön muutoksia ajan funktiona. (Pursula 1982.) Simuloimalla voidaan tutkia erilaisten ratkaisuiden toimivuutta täsmälleen samassa liikennetilanteessa, joten se on erinomainen apuväline liikennesuunnittelussa. Eri suunnitteluvaihtoehtoja kokeilemalla ennen niiden toteutusta voidaan lisäksi saada muun muassa merkittäviä kustannussäästöjä ja tärkeitä tietoja mahdollisista liikenteen ongelmakohdista.

Makroskooppiset mallit käsittelevät koko liikennevirran ominaisuuksia eivätkä keskity yksittäisiin yksilöihin. Mikroskooppinen simulointi keskittyy yksittäisten ajoneuvojen mallintamiseen, kun taas mesoskooppisella simuloinnilla mallinnetaan ajoneuvoryhmien liikettä (Pursula, Niittymäki, Ojala 2000.) Nanoskooppisella simuloinnilla tarkoitetaan yksittäisen ihmisen havainnointia sekä käyttäytymistä liikenteessä hyvin tarkalla tasolla (Kosonen 1999). 3D-simulointi on tyyppillinen nanoskooppisen simuloinnin esiintymismuoto (Kosonen 1999). Tässä työssä keskitytään mikroskooppiseen simulointiin.

Ennen varsinaisia simulointeja on rakennettava simulointimalli. Simulointimalliin syötetään lähtötiedot, joihin sisältyy kalibroinnissa tarvittavat tiedot, liikennejärjestelmän ja – tilanteen kuvaamiseen tarvittavat tiedot sekä tulosten oikeellisuuden varmistavat tiedot (Pursula ym. 2000).

Ensimmäisillä mikrosimulointiohjelmilla voitiin säädellä kuljettajan toimintaa erilaisilla säännöillä ja liikenteenohjauslaitteilla. Tyypillisiä kohteita olivat valo-ohjatut sekä ilman valo-ohjausta toimivat tasoliittymät. (Lehtinen 2000.) Tietokoneiden kehittyminen on kuitenkin mahdollistanut yhä monipuolisempien ja tarkempien tietokoneilla toimivien simulointiohjelmien kehityksen. (Pitkänen & Capek 2008.)

Tänä päivänä simulointiohjelmilla voidaan mallintaa ja arvioida sekä yksittäisiä kohteita, kuten taso- ja eritasoliittymiä, että suurempia verkkoja, kuten kokonaisia kaupunkeja. Simuloimalla voidaan samanaikaisesti tutkia useita eri liikennemuotoja ja niiden yhteyksien toimivuutta. Simulointimallia rakennettaessa on saatava vaadittavat lähtötiedot, joita ovat muun muassa teiden leveydet, kaistamäärät, liikennevalot ja niiden kiertoajat vaiheineen, etuajo-oikeudet ajo-suunnat sekä teiden nopeusrajoitukset. Lisäksi simulointia varten on tiedettävä liikennemäärät. Isomman verkon luontia helpottaa simulointiohjelman taustalle ladattava, oikeassa mittakaavassa oleva pohjakartta.

Simuloitavaa liikennettä voidaan kalibroida eli asettaa mallin parametrit vallitsevia olosuhteita vastaaviksi. Ajoneuvoliikennettä simuloitaessa muokattavia parametreja ovat esimerkiksi:

- ajoneuvon kiihtyvyys
- reaktioaika
- lähestyvän kohteen havaitsemisetäisyys
- turvavälin pituus
- suoritukseen (esim. kaistanvaihtoon) kuluva aika. (Pitkänen & Capek 2008.)

5.2 Joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen simulointi

Joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen simulointiin on kehitetty erilaisia ohjelmia. Jotkin ohjelmat ovat keskittyneet pelkästään kevyen liikenteen simulointiin, mutta monet ohjelmat ovat käyttökelpoisia sekä moottoriajoneuvojen että kevyen liikenteen simuloinnissa.

Kevyen liikenteen simulointia on pelkkien jalankulkualueiden simuloiminen sekä kevyen liikenteen mallintaminen yhdessä muun liikenteen kanssa. Yhteisvaikutusta simuloitaessa voidaan yksittäisen jalankulkijan liikkumista seurata koko verkolla liikkumisajan. Tyypillisiä kevyen liikenteen simuloinnin kohteita ovat joukkoliikenneterminaalit, rautatieasemat, hätä- ja evakuointitiet ja ostoskeskukset. Yleisimmät kevyen liikenteen simuloinnissa käytettävät mallit voidaan jakaa

painovoimamalleihin, solumalleihin ja oliomalleihin. (Pitkänen & Capek 2010.) Kevyen liikenteen simulointi vaatii paljon konetehoja, sillä jalankulkijat valitsevat itse parhaaksi katsomansa reitin lukuisten eri vaihtoehtojen väliltä.

Kevyttä liikennettä simuloimalla saadaan suunnitteluun tärkeitä tunnuslukuja, joita ovat esimerkiksi kävelyajan mittaaminen paikasta A paikkaan B, henkilötiheys ja kevyen liikenteen reittivalinnat. Tunnuslukujen hyödyntämiskohteita ovat esimerkiksi

- ovien ja portaiden mitoitus
- laiturien mitoitus
- rakennusten mitoitus.

Simulointiohjelmien parametrit voidaan kalibroida vallitsevia olosuhteita vastaaviksi. Kevyen liikenteen aluekohtaiset vaihtelut ovat yleensä niin pieniä, ettei kerran kalibroituja parametreja yleensä tarvitse muuttaa. Muokattavia parametreja ovat muun muassa kävelynopeus ja kiihtyvyys. Jalankulkijoiden ulkonäkö on myös muokattavissa.

Joukkoliikenteen muokkaaminen onnistuu yksityiskohtaisesti juuri halutun laiseksi. Muokattavia lukuarvoja ovat esimerkiksi

- ajonopeus
- pysähtymisaikojen pituus
- matkustajien lukumäärä kulkuneuvossa
- pysäkiltä kulkuneuvon nousevien matkustajien lukumäärä
- pysäkillä jäävien matkustajien lukumäärä
- kulkuneuvon kapasiteetti
- vuoroväli
- aikataulu.

Matkustajien ja liikennöintivälineiden vuorovaikutusta voidaan hyödyntää esimerkiksi linjojen vuorovälin, liikennöintivälineen kapasiteettitarpeen sekä aikataulujen suunnittelussa. Lisäksi joukkoliikenteen simulointia voidaan hyödyntää

joukkoliikenteen nopeuttamiseen liittyvien parannustoimenpiteiden, kuten joukkoliikennekaistojen sekä erilaisten häiriötilanteiden tutkimisessa. Joukkoliikenteen reitit, aikataulut sekä muut tarvittavat tiedot pystytään syöttämään malliin hyvin yksityiskohtaisesti.

5.3 Simulointi VISSIMillä

VISSIM on Innovative Transportation Conceptsin kehittämä saksalainen mikro-skooppinen simulointiohjelma. Sen toiminta perustuu aika-askeleisiin. Ohjelma pystyy käsittelemään erittäin suuria malleja, jopa kokonaisia kaupunkeja. (Pursula ym. 2000). Ohjelmalla pystytään mallintamaan autoliikennettä, joukkoliikennettä, raideliikennettä sekä kevyttä liikennettä.

Mallin rakentaminen VISSIMillä alkaa liikenneympäristön mallintamisesta. Kadut voidaan tehdä hyvin yksityiskohtaisiksi ja aidon näköisiksi, joskin usein karkeampi mallinnus riittää.

Simuloinneista saadaan mitattua haluttuja tietoja kuten ajonopeus, liikennetiheys, liikennemäärä, jonotusaika ja matka-aika. Tiedot voidaan mitata niin monesta kohtaa mallia kuin on tarvetta. Parametreja muuttamalla voidaan vaikuttaa yksittäisten autojen sekä suurempien liikennevirtojen käyttäytymiseen liikenteessä.

Havainnollisuutta ja tunnistettavuutta lisäämään malliin voidaan lisätä rakennuksia sekä muita ympäristöön kuuluvia elementtejä. Liikenneverkkoon pystytään lisäämään erikokoisia ja näköisiä ajoneuvoja, kuten busseja, kuorma-autoja, pakettiautoja sekä henkilöautoja. Ajoneuvot voidaan muokata halutun värisiksi, esimerkiksi ajoreitin perusteella.

5.4 Muita Suomessa käytössä olevia simulointiohjelmia

VISSIMin lisäksi Suomessa on yleisesti käytössä seuraavia simulohjelmia:

- Quadstone Paramics
- HUTSIM
- AIMSUN
- Synchro/SimTraffic.

HUTSIM on Teknillisen korkeakoulun kehittämä mikrosimulointiohjelma. Ohjelmaa perustuu oliopohjaiseen mallinnus- ja ohjelmointitekniikkaan (Lanne 2003). Ohjelma soveltuu parhaiten pienten kohteiden toimivuustarkasteluihin.

Synchro soveltuu erinomaisesti yksittäisten liittymien liikennevalo-ohjelmien simulointiin. Ohjelmalla pystyy optimoimaan liikennevalojen kiertoajan sekä eri vaiheiden pituudet liikennemäärien perusteella. Lisäksi Synchrolla voidaan optimoida liikennevalot toimimaan joukkona, esimerkiksi vihreät aallot. (Nyberg 2011.)

AIMSUN-ohjelman sovellukseen kuuluvat mikroskooppinen simulaattori, AIMSUN sekä liikenteen mallintamiseen ja analysointiin soveltuva GETRAM. Ohjelma soveltuu erilaisten liikenneympäristöjen kuten moottoriteiden, kehäteiden ja katujen simulointiin. (Pursula ym. 2000).

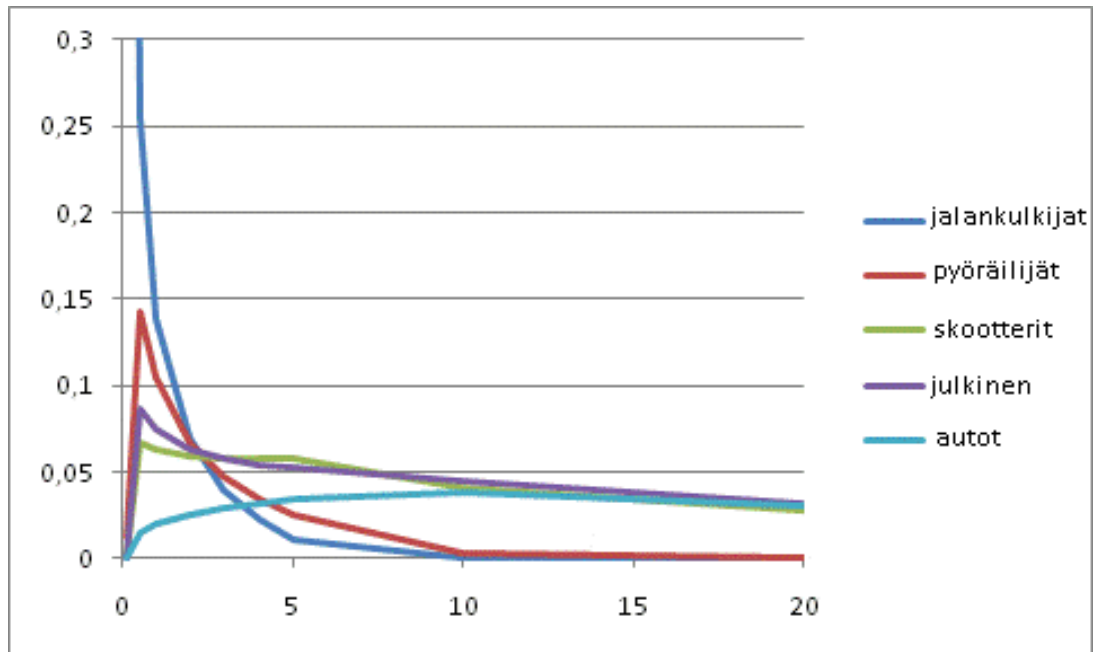
Paramics on mikrosimulointiohjelma, joka perustuu rinnakkaisprosessointiin. Ohjelma soveltuu erinomaisesti suurten verkkojen simulointiin. Rinnakkaisprosessoinnin ansiosta sillä pystyy samanaikaisesti mallintamaan tuhansia teitä ja satoja tuhansia ajoneuvoja. (Pursula ym. 2010). Paramicsilla pystyy myös mallintamaan kevyttä liikennettä, mutta se on erillinen sovellus toisin kuin VISSIMillä.

6 DIGIECOCITYN SIMULOINTIMALLIT SEKÄ VERTAILTAVAT VAIHTOEHDOT

6.1 Liikenne-ennusteet

DigiEcCityn liikenne-ennusteet laadittiin asukas- ja maankäyttöennusteisiin sekä matkatuotoksia ja kulkutapajakaumaa koskeviin arvioihin ja tietoihin perustuen. Liikenteen verkolliset ennusteet laadittiin Emme/3 -liikennesuunnitteluohjelmistoa käyttäen.

DigiEcoCity on mitoitettu 60 000 asukkaalle. Ennusteen lähtökohtana oli Suomen valtakunnalliseen henkilöliikennetutkimukseen perustuva matkatuotos kaupungeissa, jonka mukaan asukkaat tekevät keskimäärin on 3,2 matkaa päivässä. Matkojen kulkutapajakauma poikkeaa Suomen kaupunkien ja DigiEcoCityn välillä. Kiinassa mopoilla ja skoottereilla tehtyjen matkojen osuus on selvästi suurempi kuin Suomessa ja vastaavasti henkilöautoilla tehtyjen matkojen osuus pienempi kuin Suomessa. DigiEcoCityssä lyhyet matkat tehdään pääasiassa kävellen tai pyöräillen ja pitkät matkat moottoriajoneuvoilla. Matkan keskimääräinen pituus DigiEcoCityssä on 5 kilometriä. (Kuva 9, Ramboll 2010).



Kuva 9. DigiEcoCityn asukkaiden oletetut matkatuotokset (matkaa/vrk) matkan pituuden mukaan (Ramboll 2010).

DigiEcoCityn joukkoliikennematkoista suurin osa on kaupungin ulkoisia matkoja. Aamun huipputunnin aikana suurimmat matkustajamäärät ovat luoteesta eli Gongqingin suunnasta tulevassa liikenteessä. Vastaavasti DigiEcoCityn terminaalista lähtevässä liikenteessä matkustajia on eniten Gongqingin suuntaan (Liite 5).

6.2 Tie- ja katuverkko

Kehätielle ja DigiEcoCityn läpikulkevalle pääkadulle on suunniteltu 50 km/h nopeusrajoitus ja kaupungin muille kaduille on 40 km/h rajoitus (kuva 10). Osalla katuverkkoa on sallittu vain julkinen liikenne ja osa katuverkkoa on vain kevyen liikenteen käytössä.



Kuva 10. Gongqingin DigiEcoCityn pääkatu verkko (Ramboll 2010).

Tie- ja katuverkolla sijaitsevat liikennevalot optimoitiin Synchro7-ohjelmalla. Valo-ohjattuja liittymiä on kuusi, ja ne sijaitsevat keskustaa ympäröivällä kehätiellä (liite 6). Liittymien valo-ohjelmat (kiertoajat ja vaiheet) määritettiin liikennemäärien ja kääntyvien liikennevirtojen perusteella. Kunkin valo-ohjatun liittymän valo-ohjelmaan sisältyy kaksi vaihetta. (Nyberg 2011.)

Sisemmän kehän jälkeen osa kaduista kulkee tunnelissa maan alla ja osa jatkaa maanpäällä keskustaan. Maan alle johtavat kadut ovat pääasiassa joukkoliikenteen ja huoltoliikenteen käytössä. Lisäksi yksityisautot pääsevät katuja pitkin keskustan alla sijaitseviin parkkihalleihin.

Osa katujen keskimmäisistä kaistoista on varattu joukkoliikenteelle ja ne ovat 3,5 metriä leveitä. Pääosalla joukkoliikenteen pysäkeistä on levennys ja ne ovat 33 metriä pitkiä. Poikkeuksen muodostavat kaksi Gongqingin suunnan busrikaistoilla sijaitsevaa pysäkkiparia, joilla ei ole levennystä ja ne ovat 16 metriä pitkiä.

6.3 Tutkittavat joukkoliikennevaihtoehdot

6.3.1 Linjastovaihtoehdot

Linjastovaihtoehtoja on kaksi (kuvat 11 ja 12). Molemmissa vaihtoehdoissa kaupungin sisällä on linja, joka kulkee kahdeksikon muotoista reittiä. Tästä linjasta käytetään tässä työssä jatkossa nimitystä kasilinja (kuvissa merkitty sinisellä). Lisäksi kaupungin läpi kulkee linjastovaihtoehdosta riippuen yksi tai kaksi ulkoista linjaa, joita kutsutaan vihreäksi linjaksi ja mustaksi linjaksi. Linjastovaihtoehdossa 1 on kasilinjan pituus terminaalivaihtoehdosta riippuen 200–1000 metriä pidempi kuin linjastovaihtoehdoissa 2. Vihreän linjan reitti on sama molemmissa vaihtoehdoissa. (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Bussireittien pituudet DEC:n alueella.

Terminaali	Linjasto	Linja	Matka (m)
1	1 ja 2	Vihreä	n. 3500
1	1	Musta	n. 4000
1	1	Kasi	n. 5500
1	2	Kasi	n.5300
2	1 ja 2	Vihreä	n.3100
2	1	Musta	n. 3700
2	1	Kasi	n.5600
2	2	Kasi	n. 4600
3	1 ja 2	Vihreä	n.3100
3	1	Musta	n. 3600
3	1	Kasi	n.5900
3	2	Kasi	n.5100

Bussien vuorovälit optimoitiin siten, että bussien matkustajakapasiteetit tulevat hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti, kuitenkin niin ettei ne ylitä. Lisäksi kaikkien bussia odottavien matkustajien on mahdollista aina seuraavaksi pysäkille saapuvaan bussiin. Vuorovälien pituuteen vaikuttavat linjastoratkaisu (1 vai 2 läpikulkevaa linjaa), bussien kapasiteetti sekä matkustajamäärät. Linjasto-suunnitelmat laadittiin niin, että linjat kattavat koko kaupungin ja ovat asetettujen vaatimusten mukaisia. Pisin sallittu kävelymatka pysäkille on 300 metriä. Joukkoliikennettä ei myöskään haluttu liian monelle kadulle.

Linjastovaihtoehto 1

Tässä linjastovaihtoehdossa kasilinjan lisäksi on kaupungin halki kulkeva vihreä linja, jonka terminaali-alue sijaitsee maan alla (kuva 10). Vihreä linja kulkee joukkoliikennekaistoja pitkin molempiin suuntiin. Vihreän linjan käyttämillä bussipysäkeillä ei ole levennystä, lukuun ottamatta terminaali-alueita. Kasilinjan kaikilla bussipysäkeillä on levennys.



Kuva 11. Linjastovaihtoehdon 1 linjat ja pysäkit (Ramboll 2010).

Linjastovaihtoehto 2

Tässä vaihtoehdossa on kasilinjan lisäksi kaksi ulkoista linjaa (vihreä linja ja musta linja), jotka kulkevat kaupungin läpi (kuva 11). Vihreä linja kulkee samaa reittiä kuin linjastovaihtoehdossa 1. Mustan linjan reitti kulkee kaupungin länsiosien kautta. Ulkoiset linjat pysähtyvät maanalaisessa terminaalissa. Kasilinjan reitti on hieman lyhyempi kuin linjasto 1:ssä, jotta koko kaupunki olisi katettu mahdollisimman tehokkaasti.



Kuva 12. Linjastovaihtoehdon 2 linjat ja bussipysäkit (Ramboll 2010).

6.3.2 Terminaalivaihtoehdot ja laiturijärjestelyt

Terminaalivaihtoehto 1

Tässä vaihtoehdossa kasilinjan maan päällisen terminaalialueen pysäkit sijaitsevat keskustan eteläisen kadun molemmilla puolilla (kuva 13). Terminaalissa on kasilinjan pysäkki jokaiseen neljään suuntaan. Pysäkit ovat 33 metriä pitkiä. Pysäkkien takana sijaitsevat matkustajien odotuslaiturit.

Maanalaisen terminaalin pysäkit ovat suoraan maanpäällisten pysäkkien alla. Mustaa linjaa kulkevat bussit pääsevät ajamaan suoraa linjaa maan alle ja terminaaliin, vihreän linjan bussit joutuvat ajamaan u-kirjainta muistuttavan lenkin maan alla. Terminaalissa on kahdet portaat maanpäällisen osan ja maanalaisen osan välillä.

Tässä työssä maanpäällisen terminaalin eteläpuoleisesta laiturista käytetään nimitystä laitur 1, ja pohjoisen puoleisesta nimitystä laitur 2. Maanalaisen terminaalin etelän puoleisen laiturin nimitys on laitur 3 ja pohjoisenpuoleisen laiturin nimitys on laitur 4.



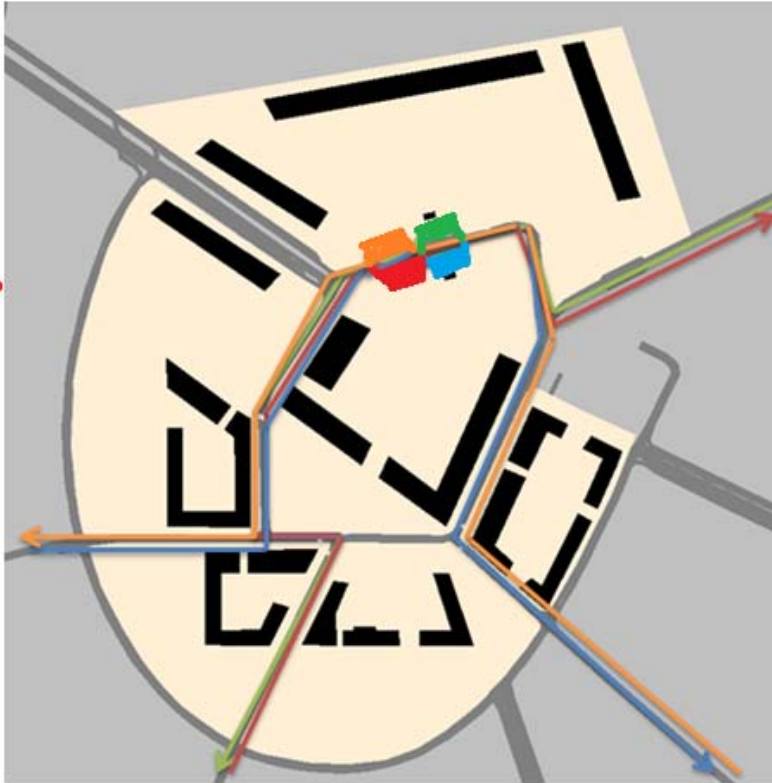
Kuva 13. Terminaalivaihtoehdon 1 katutaso (simulointimalli). Kuvassa on esitetty kasilinjan reitit eri suuntiin, pysäkit terminaali-alueella ja keskustan rakennukset.

Terminaalivaihtoehdo 2

Tässä vaihtoehdossa kasilinjan pysäkit ovat maan päällä keskustan pohjoisosaan suunnitellun kadun varrella. Kuten vaihtoehdossa 1, sijaitsevat bussipysäkit myös tässä vaihtoehdossa kadun molemmilla puolilla. Kadun toiselta puolelta bussit lähtevät koilliseen ja kaakkoon, ja kadun toiselta puolelta luoteeseen ja lounaaseen (kuva 14).

Maanalainen terminaali sijaitsee suoraan maanpäällisen terminaalin alapuolella. Vihreä linja ja musta linja yhdistyvät ennen terminaali-alueelle saapumista Gongqingin suunnasta (luoteesta) tullessaan. Portaat on järjestetty ja mallinnettu samalla tavoin terminaalivaihtoehdossa 1.

Tässä työssä maanpäällisen terminaalin eteläpuoleisesta laiturista käytetään nimitystä laitur 1, ja pohjoisen puoleisesta nimitystä laitur 2. Maanalaisen terminaalin etelän puoleisen laiturin nimitys on laitur 3 ja pohjoisenpuoleisen laiturin nimitys on laitur 4.



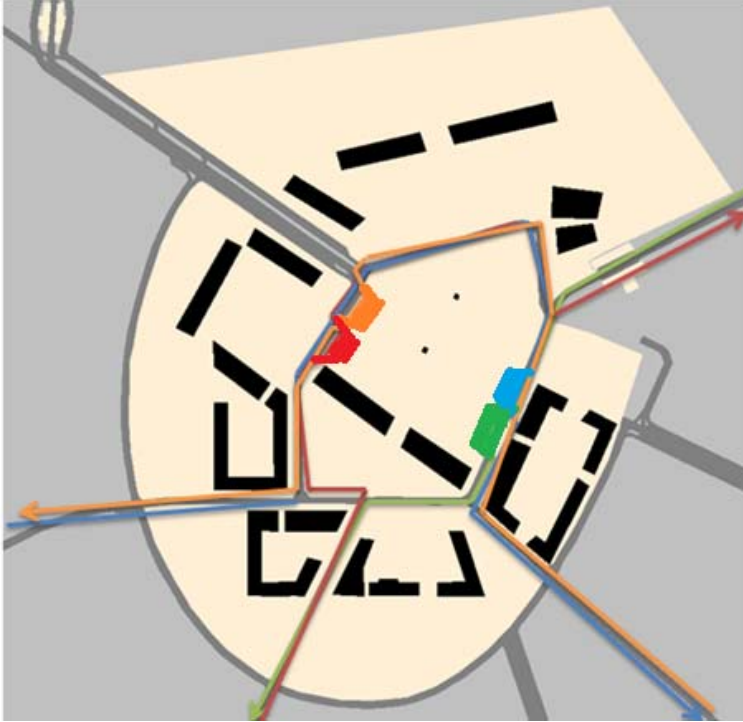
Kuva 14. Terminaalivaihtoehdon 2 katutaso (simulointimalli). Kuvassa on esitetty kasilinjan reitit eri suuntiin, pysäkit terminaalialueella ja keskustan rakennukset.

Terminaalivaihtoehdo 3

Kolmannessa terminaalivaihtoehdossa vihreän ja mustan linjan käyttämä maanalainen terminaali sijoittuu ”torialueen” alapuolelle. Vihreän linjan reitti kulkee suoraa linjaa maan alla.

Kasilinjan pysäkit sijaitsevat keskustan alueella sijaitsevien pohjois-eteläsuunnassa kulkevien katujen varsilla (kuva15). Jalankulkijoiden ei tässä vaihtoehdossa tarvitse ylittää katua vaihtaakseen bussia. Kahdet tasojen välillä olevat portaat ovat melko keskellä ”torialuetta”.

Tässä työssä maanpäällisen terminaalin lännenpuoleisesta laiturista käytetään nimitystä laiturit 1, ja idänpuoleisesta nimitystä laiturit 2. Maanalaisen terminaalin etelän puoleisen laiturin nimitys on laiturit 3 ja pohjoisenpuoleisen laiturin nimitys on laiturit 4.



Kuva 15. Terminaalivaihtoehdon 3 katutaso (simulointimalli). Kuvassa on esitetty kasilinjan reitit eri suuntiin, pysäkit terminaali-alueella ja keskustan rakennukset.

6.3.3 Käytettävä kalusto

Simuloinneissa käytettiin kahta eri bussityyppiä. Toinen busseista on telibussi, jonka tavoitekapasiteetti on 70 matkustajaa, kuitenkin niin, että huipputunnin aikana osalla vuoroista sallitaan myös 80 matkustajan kuormitus. Tämän kokoisen bussin pituus on 14,5 metriä. Toinen simuloinneissa käytetty bussi on erikoispitkä haitaribussi eli tuplanivelbussi, jonka kapasiteetti on noin 150 matkustajaa. Tällaisen bussin pituus on 19,5 metriä. Telibussista käytetään tässä työssä vaihtoehtonumeroa 1 ja tuplanivelbussista numeroa 2 (kuva 16).



Kuva 16. Volvon erikoispitkä haitaribussi. (Helsingin sanomat 2010)

6.4 Simulointitapaukset

Työssä simuloitiin yhteensä 12 eri tapausta, jotka muodostuivat eri terminaali-, linjasto- ja kalustovaihtoehtojen yhdistelmästä. Eri vaihtoehdoista käytetään nimityksiä kuten 1-1-1, jossa ensimmäinen numero tarkoittaa terminaalivaihtoehdon numeroa, toinen numero linjastovaihtoehdon numeroa ja kolmas on käytettävän bussityypin numero. Bussityypin numero 1 vastaa 80-paikkaista telibussia ja numero 2 on 150-paikkaista tuplanivelbussia. Taulukossa 2 on esitetty simuloitavien vaihtoehtojen nimitykset.

Taulukko 2. Simuloitavien vaihtoehtojen nimitykset.

		Linjastovaihtoehto/bussin kapasiteetti			
		1/80	1/150	2/80	2/150
Terminaalivaihtoehto	1	1-1-1	1-1-2	1-2-1	1-2-2
	2	2-1-1	2-1-2	2-2-1	2-2-2
	3	3-1-1	3-1-2	3-2-1	3-2-2

7 VAIHTOEHTOJEN VERTAILU SIMULOIMALLA

7.1 Tunnusluvut

Simuloimalla eri vaihtoehtoja saadaan määritettyä joukkoliikenteen palvelutasoa kuvaavia tunnuslukuja. Näitä tunnuslukuja käytetään bussiliikenteen linjastojen ja aikataulujen suunnitteluun, kaluston mitoitukseen (kaluston kapasiteetti ja määrä) sekä pysäkkien ja niihin kuuluvien laiturialueiden suunnitteluun ja mitoitukseen. Tässä työssä määritetyt tunnusluvut ja niiden käyttötarkoitukset DigiEco-Cityn joukkoliikennejärjestelmän suunnittelutyössä on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Mitattavat tunnusluvut sekä niiden käyttötarkoitukset. Tunnusluvuilla on merkittävä vaikutus linjasto- ja terminaalivaihtoehdon valintaan.

Tunnusluku	Käyttötarkoitus
Bussien vuorovälit	Liikenteen palvelutason arviointi ja kaluston mitoitus
Bussin matka-ajat	Kaluston mitoitus ja aikataulujen suunnittelu
Kävelyajat odotuslaiturien välillä	Laitureiden sijoitus, bussien lähtöajan suunnittelu ja palvelutason arviointi
Bussin matkustajamäärät	Kaluston mitoitus, matkustajien palvelutaso
Matkustajien määrät ja tiheydet laitureilla	Odotusalueiden mitoitus
Pysäkkien varausasteet	Pysäkkien määrä ja mitoitus

7.2 Henkilöautoliikenteen aiheuttamat viivytykset terminaalialueella

Henkilöautojen aiheuttamia viivytyksiä tutkittiin maanalaisessa terminaalissa jokaisella terminaalivaihtoehdolla, 80-paikkaisia busseja käyttäen. Henkilöautoliikenteen vaikutus näkyy vihreän linjan ja mustan linjan viivytysten lisääntymisenä. Simuloinneissa aamun huipputunnin aikana parkkihalliin saapuvan liikenteen suuruudeksi valittiin 30 % parkkihallin autopaikkojen kokonaismäärästä. Vastaavaa prosenttiosuutta käytetään Suomen suurten kauppakeskusten parkkihallien mitoituksessa (Keskisaari 2011). Aamun huipputuntina parkkihallista poistuvan liikenteen määrän on todettu olevan Suomessa noin puolet sisään ajavasta liikenteestä (Kalenoja, Vihanti, Voltti, Korhonen, Karasmaa 2008). Ilta-

päivän huipputunnin aikana parkkihalliin saapuvan liikenteen määräksi määritettiin 85 % parkkihallin autopaikkojen yhteislukumäärästä. Myös tämä on Suomessa käytettävä mitoitusarvo (Keskisaari 2011). Iltapäivän huipputunnin lähtevä liikenne on yhtä suurta sisäänajoliikenteen kanssa (Kalenoja ym. 2008). Autopaikkoja keskustan alueelle on suunniteltu noin 4900. Ajoneuvojen keskimääräinen viipymä parkkihallissa on Suomessa tehtyjen selvitysten mukaan 90 minuuttia (Keltala 2009).

Terminaalien ajoneuvoliikenteen määrät lasketaan kaavalla:

$$Q = a_p * t_a * \frac{t}{d} \quad , \text{ jossa} \quad [1]$$

Q = liikennemäärä

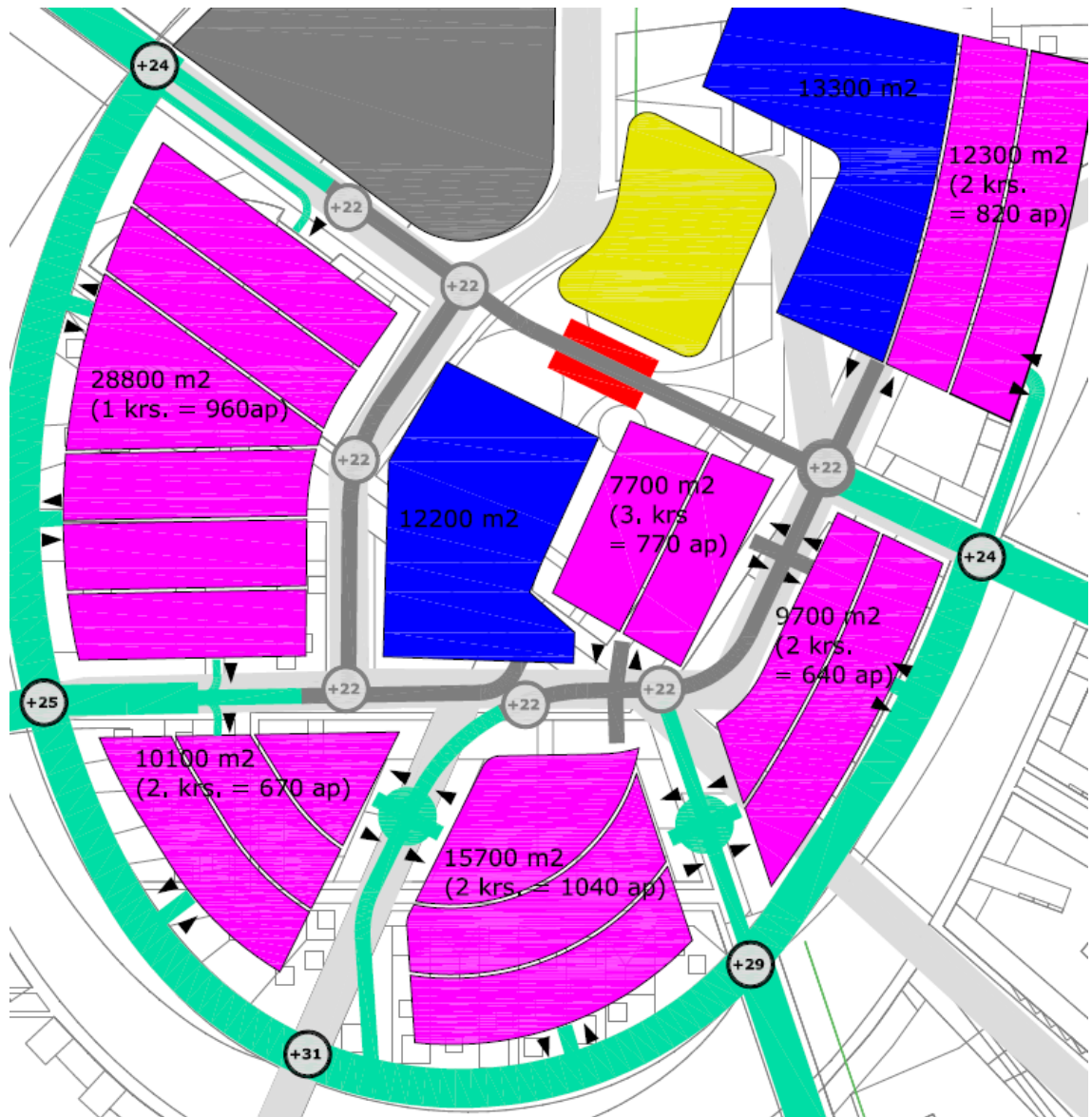
a_p = autopaikkojen määrä






t_a = täyttöaste

t = tarkasteltava ajanjakso

d = ajoneuvojen keskimääräinen viipymä parkkihallissa.

Simulointimallissa maan alle johtavat pääkadut ovat kaksikaistaisia. Muut maan alle johtavat kadut sekä keskustaa ympäröivä kehätie ovat yksikaistaisia. Joukkoliikennekaistat ovat pääkatujen välissä. Yksityisautojen simuloinnissa käytetty maanalainen liikennejärjestelmä on esitetty kuvassa 17.



- | | |
|--|---|
|  Pysäköinti alue |  Kaupallinen alue |
|  Huolto alue |  Katu maan alla |
|  Katu/luiska | |
|  Terminaali alue (maan alainen) | |

Kuva 17. Keskustan maanalainen liikennejärjestelmä (maalainen terminaali on terminaalivaihtoehto 3:n mukainen) (Ramboll 2010).

7.3 Keskeiset tulokset

7.3.1 Vuorovälit ja bussien määrät

Kaupungin läpikulkevien linjojen, vihreän linjan ja mustan linjan vuorovälit vaihtelevat linjastovaihtoehdoittain 1,5 minuutista 6 minuuttiin. Vaihteluja aiheuttavat erot bussilinjojen määrässä ja bussien kapasiteetissa. Kaakon suuntaan kulkevien bussien vuoroväli on linjastovaihtoehdossa 1 lyhyempi kuin luoteeseen kulkevien bussien. Sen sijaan linjastovaihtoehdossa 2 vuoroväli luoteen suunnan busseilla on lyhyempi kuin kaakon suunnan busseilla. Linjastovaihtoehdon 1 GongQingiin johtavan linjan (vihreän linjan) vuoroväli on pidempi kuin linjastovaihtoehdon 2 vastaavan linjan. (Taulukko 4.)

Kasilinjan bussien vuorovälit vaihtelevat 3,5 minuutista vajaaseen 7 minuuttiin (taulukko 4). Liikenteessä on samaan aikaan 3–7 bussia (taulukko 5). Erot johtuvat kasilenkin eri reitistä linjastovaihtoehtojen välillä sekä käytettävästä kalustosta.

Taulukko 4. Bussilinjojen vuorovälit (sekuntia).

Vaihtoehto	Vihreä 1	Vihreä 2	Musta 1	Musta 2	Kasi 1	Kasi 2
1-1-1	90	103	-	-	210	300
1-1-2	189	200	-	-	350	350
1-2-1	200	150	200	150	225	300
1-2-2	360	300	360	300	300	400
2-1-1	90	103	-	-	210	300
2-1-2	189	200	-	-	350	350
2-2-1	200	150	200	150	225	300
2-2-2	360	300	360	300	300	400
3-1-1	90	103	-	-	210	300
3-1-2	189	200	-	-	350	350
3-2-1	200	150	200	150	225	300
3-2-2	360	300	360	300	300	400

Taulukko 5. Kasilinjalla tarvittavien bussien määrä huipputuntina eri linjastovaihtoehdoissa ja eri kalustolla.

Kasilinjan suunta terminaalista lähtiessä	Koillinen/ kaakko	Luode/ lounas	Koillinen/ kaakko	Luode/ lounas	Koillinen/ kaakko	Luode/ lounas	Koillinen/ kaakko	Luode/ lounas
Linjastovaihtoehto	1				2			
Kapasiteetti	80		150		80		150	
Bussimäärä	7	5	4	4	5	4	4	3

Kasilinjan bussien ongelmana on jonoutuminen varsinkin 80–kapasiteettisia busseja käytettäessä. Bussien jonoutuminen aiheutuu siitä, että edellä ajava bussi ottaa suuren määrän pysäkillä odottavia matkustajia kyytiin. Seuraavan bussin saapuessa pysäkillä ei odotuslaiturilla ole matkustajia, jolloin sen pysähtymisaika on huomattavasti edellistä bussivuoroa lyhyempi. Pahimmillaan 3 bussia ajaa peräkkäin linjalla, jolloin matkustajien odotusajat kasvavat eivätkä bussit pysy aikataulussa.

Jonoutumista tapahtuu myös suurempikapasiteettisia (kapasiteetti 150) busseja käytettäessä. Pidemmän vuorovälin vuoksi ei kahta bussia enempää kuitenkaan aja peräkkäin missään vaiheessa huipputuntia. Jonoutumisen takia bussien lukumäärä on suurempi kuin se olisi ilman jonoutumisvaikutusta. Tämä heijastuu osaltaan myös kasilinjan bussien matkustajamääriin.

7.3.2 Bussien matkustajamäärät

Keskimääräiset matkustajamäärät mitattiin jokaisen pysäkin jälkeen sijaitsevassa mittauspisteessä (liite 4). Kuvissa 18 ja 19 on esitetty neljän vaihtoehdon matkustajamäärät linjaosuuksittain.



Kuva 18. Vaihtoehtojen 1-1-1 (vasen kuva) ja 3-1-2 (oikea kuva) bussien keskimääräiset matkustajamäärät linjojen eri osissa. Suluissa olevat numerot kuvaavat vihreän linjan matkustajamääriä.



Kuva 19. Vaihtoehtojen 3-2-1 (vasen kuva) ja 2-2-2 (oikea kuva) bussien keskimääräiset matkustajamäärät linjojen eri osissa. Suluissa olevat numerot kuvaavat vihreän linjan matkustajamääriä, mustan linjan matkustajat ovat punaisella fontilla.

Kasilinjan bussien matkustajamäärät jäivät melko pieneksi varsinkin koillisen ja kaakon suuntaan terminaalista lähtevissä busseissa. Keskimääräiset matkustajamäärät ovat maksimissaan vähän yli 30 henkilöä riippumatta bussin kapasiteetista. Yhden ulkoisen linjan vaihtoehdossa matkustajamäärät terminaalista luoteeseen ja lounaaseen lähtevissä busseissa olivat keskimäärin hieman suuremmat kuin koilliseen ja kaakkoon terminaalista lähtevissä busseissa. Terminaalista luoteeseen ja lounaaseen lähtevillä busseilla linjastovaihtoehdossa 2 kapasiteetti käytettiin huomattavasti tehokkaammin.

Ulkoisilla linjoilla GongQingista tulevat bussit olivat terminaaliiin saapuessaan lähes täynnä. GongQingiin matkaavassa kalustossa yksittäisten bussien matkustajamäärävaihtelu oli niin suurta, että keskimäärin kapasiteetista käytettiin noin puolet.

7.3.3 Bussien matka-ajat

Linjastovaihtoehdoissa 1 ja 2 oleva kasilinjan erilainen linjaus vaikuttaa merkittävästi matka-aikoihin. Yhtä paljon matkustajia vetävillä busseilla reitin kierto on käytetyn ajan keskiarvo eroaa vaihtoehtojen välillä 2,5–3,5 minuuttia. Poikkeus on vaihtoehto 2-2-2, jonka kiertoaika on 5 minuuttia vaihtoehdon 2-1-2 kiertoaika lyhyempi liikennöitäessä ”alalenkkiä” myötäpäivään.

Terminaalivaihtoehdossa 1 kasilinjan keskimääräiset matka-ajat ovat lyhimmat. Poikkeuksen muodostivat vaihtoehto 2-2-2 molempiin suuntiin sekä vaihtoehdon 3-2-2 terminaalista luoteeseen ja lounaaseen liikennöitäessä, jotka ovat vaihtoehtoa 1-2-2 nopeampia. Terminaalivaihtoehdossa 3 kasilenkki on hitain (keskimäärin n. 50 sekuntia terminaalivaihtoehtoa 2 hitaampi). (Liite 1.)

DEC:n ulkoisten linjojen matka-ajoissa eri terminaalivaihtoehtojen välillä ei ole suuria eroja (taulukko 6). Vihreällä linjalla terminaalivaihtoehto 3 on nopein (5–24 sekuntia muita nopeampi). Mustalla linjalla terminaalivaihtoehdon 1 matka-ajat ovat keskimäärin lyhimmat (n. 5–30 sekuntia muita vaihtoehtoja nopeampi).

Taulukko 6. Bussien matka-aikojen (s) keskiarvo (ka) ja niiden keskihajonta (kh) vihreän- ja mustan linjan ajamiseen kaupungin halki. Mittaukset on tehty 80 paikkaisia telibusseja kolmen linjan vaihtoehtoa tarkastelemalla.

Terminaalivaihtoehto	Vihreä kaakkoon (s)		Vihreä luoteeseen (s)		Musta kaakkoon (s)		Musta luoteeseen (s)	
	ka	kh	ka	kh	ka	kh	ka	kh
1	436	20	369	28	516	27	471	20
2	426	8	360	29	537	24	502	31
3	422	11	343	28	522	9	496	20

Yksityisautoliikenteen vaikutus bussiliikenteeseen

Ilmapäivän huipputunnilla liikenteen palvelutaso on huono kaakosta keskustaan johtavalla väylällä. Yksityisautoilu ei kuitenkaan vaikuta joukkoliikenteen matka-aikoihin juuri ollenkaan, sillä ruuhkaisella keskustasta kaakkoon johtavalla väylällä on joukkoliikennekaistat. Aamun huipputunnilla yksityisautoilu ei vaikuta ollenkaan bussien matka-aikoihin. (Liite 2.) Kaupungin aamun huipputunnin ajoneuvoliikennemäärät on liitteessä 5.

7.3.4 Kävelyajat laiturien välillä

Terminaalivaihtoehdoissa 1 matkustajien odotusalueiden väliseen siirtymiseen kuluva aika on 52–166 sekuntia, vaihtoehdossa 2 kuluva kävelyaika 39–127 sekuntia ja vaihtoehdossa 3 kuluva kävelyaika 89–105 sekuntia. (Taulukko 7.)

Taulukko 7. Odotuslaitureiden välisten kävelyaikojen keskiarvot (s) sekä keskihajonnat (s).

	Vaihtoehto	Matka-aika laiturille 1		Matka-aika laiturille 2		Matka-aika laiturille 3		Matka-aika laiturille 4	
		keskiarvo	keskihajonta	keskiarvo	keskihajonta	keskiarvo	keskihajonta	keskiarvo	keskihajonta
Terminaalii 1	Laituri 1	-	-	-	-	56	10	166	28
	Laituri 2	-	-	-	-	142	19	66	8
	Laituri 3	52	3	146	23	-	-	-	-
	Laituri 4	134	18	65	13	-	-	-	-
Terminaalii 2	Laituri 1	-	-	-	-	44	2	127	5
	Laituri 2	-	-	-	-	124	9	54	21
	Laituri 3	39	1	126	12	-	-	-	-
	Laituri 4	95	3	76	4	-	-	-	-
Terminaalii 3	Laituri 1	-	-	-	-	94	6	100	7
	Laituri 2	-	-	-	-	89	6	99	7
	Laituri 3	105	12	77	5	-	-	-	-
	Laituri 4	104	6	105	6	-	-	-	-

7.3.5 Laitureilla odottavien matkustajien määrät

Terminaalin kahdelle 33 metrin pituiselle bussipysäkille mahtuu kaksi bussia peräkkäin. Odotusalueen tilantarve bussin kulkusuunnassa on tällöin noin 70 metriä. Odotusalueiden leveys on terminaalivaihtoehdosta riippuen 5–7 metriä ja pinta-ala on siten 350–490 neliömetriä.

Terminaalialueen maanpäällisillä odotuslaitureilla on enimmillään 0,1–0,4 henkilöä/m², poikkeuksen muodostaa vaihtoehto 1-1-2, jossa odottavia matkustajia on enimmillään (aamuhuipputunnin aikana) 0,53 henkilöä/m². Tällöin odotuslaiturilla on noin 200 bussia odottavaa ihmistä. Muissa vaihtoehdoissa ihmisten maksimimäärä huipputunnin aikana on 50–170. Käytettävien bussien kapasiteetti ei vaikuttanut merkittävästi odottavien ihmisten määrään. Terminaalivaihtoehdossa 3 maanpäällisillä laitureilla odottavien matkustajien määrät vaihtelevat vähemmän kuin terminaalivaihtoehdoissa 1 ja 2, joissa matkustajamäärät laiturineliometriä kohti olivat kadun eteläpuoleisilla pysäkeillä suuria (0,19–0,53 henkilöä/m²). Vaihteluväli terminaalivaihtoehdon 3 maanpäällisillä odotuslaitureilla on 0,1–0,2 henkilöä/m².

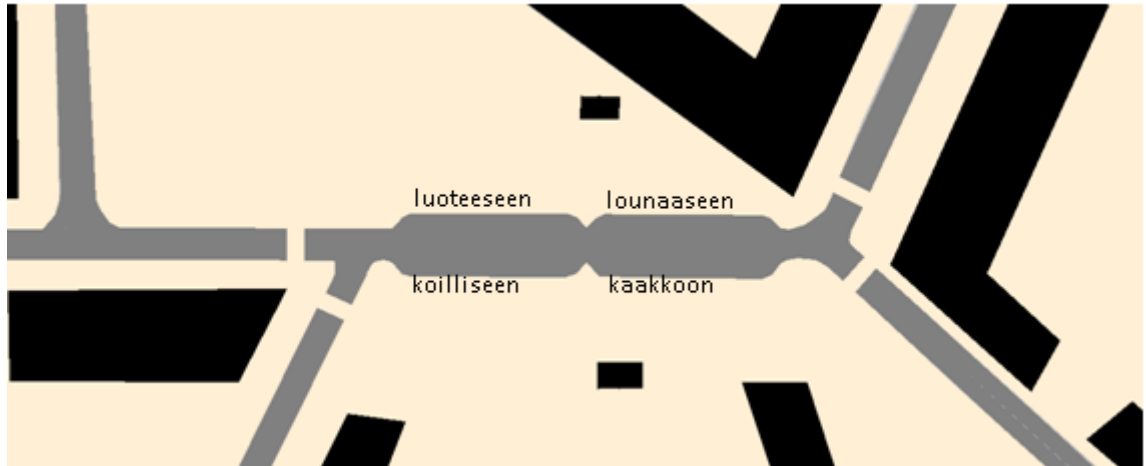
Maanalaisilla pysäkeillä luoteeseen kulkevan bussin odotuslaiturilla (laituri 4) oli selvästi eniten odottavia matkustajia. Kun liikennöidään 80–paikkaisilla busseilla, on odotuslaiturilla 3 (kaakon suuntaan kulkevat bussit) keskimäärin 0,11 henkilöä/m² (noin 30 ihmistä) ja odotuslaiturilla 4 vaihtoehdosta riippuen keskimäärin 0,1–0,25 henkilöä/m² (35–65 ihmistä). Kun liikennöidään isommilla, 150–paikkaisilla busseilla, on odottavien matkustajien määrät suurempia kuin pienempiä busseja käytettäessä. Tällöin odotuslaiturilla 3 on keskimäärin 0,1–0,21 henkilöä/m² (noin 30–60 ihmistä) ja odotuslaiturilla 4 keskimäärin 0,25–0,31 henkilöä/m² (50–100 ihmistä). Vaihtoehdoissa 1-1-1 ja 1-1-2 on laiturilla 3 odottavien matkustajien määrä kuitenkin vain 0,04 henkilöä/m² (noin 10 henkilöä). Tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 3.

7.3.6 Laiturivaraukset

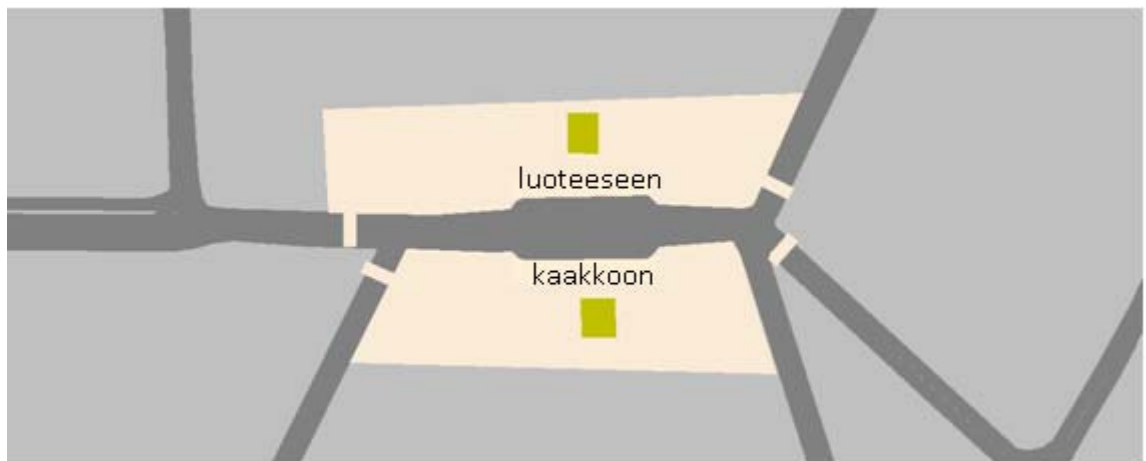
Terminaalin ylä- ja alatasen pysäkeille mahtuu kaksi bussia kerrallaan. Kuvissa 22–24 on esitetty vaihtoehtoja 1-1-1, 1-1-2 ja 1-2-2 koskevat pysäkin varausasteet aamuhuipputunnin aikana. Varausasteeseen on laskettu mukaan ne ajat, joina pysäkeillä on vähintään yksi busseja. Pysäkit on näissä tarkasteluissa nimetty bussien terminaalista poistumissuunnan mukaan (kuvat 20 ja 21).

Simulointien mukaan maanalaisen terminaalin molemmat laiturit ovat varattu lähes koko huipputunnin ajan käytettäessä busseja, joiden kapasiteetti on 80 matkustajaa. Käytettäessä busseja, joiden kapasiteetti on 150 matkustajaa, on maanalaisella luoteen suunnan (GongQingin suunta) laiturilla busseja noin kahden kolmasosan ajan huipputunnista. Kaakkoon päin kulkevien laiturilla on busseja noin puolet ajasta, jolloin odotusaika kasvaa pisimmillään noin 5 minuuttiin.

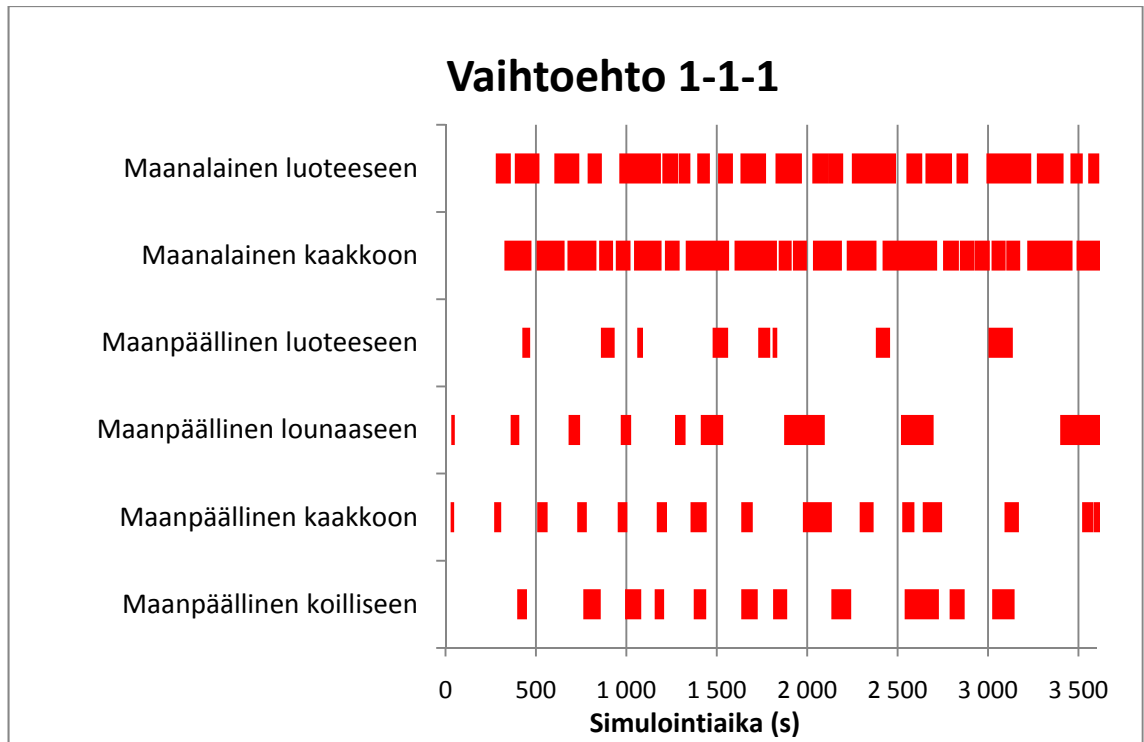
Koilliseen ja kaakkoon lähtevien kasilinjan bussien vuoroväli on lyhyt, joten bussit saapuvat terminaaliin tiheämmin. Luoteeseen ja lounaaseen kulkevilla busseilla pysäkeillä bussien viipymisajat ovat pidemmät kuin toiseen suuntaan kulkevilla busseilla. Erityisesti vaihtoehdossa 1-1-1 pysäkki oli ”varattu” jopa 3 minuutin pituisia jaksoja, kun käytettiin pienempää bussikalustoa. Tähän vaikuttivat sekä laiturilla odottavat suuret matkustajamäärät että jonossa ajavat bussit. Bussien jonossa ajamisen vaikutus näkyi aikatauluissa, sillä pisimmillään bussien vuoroväli kasvoi melkein 12 minuuttiin.



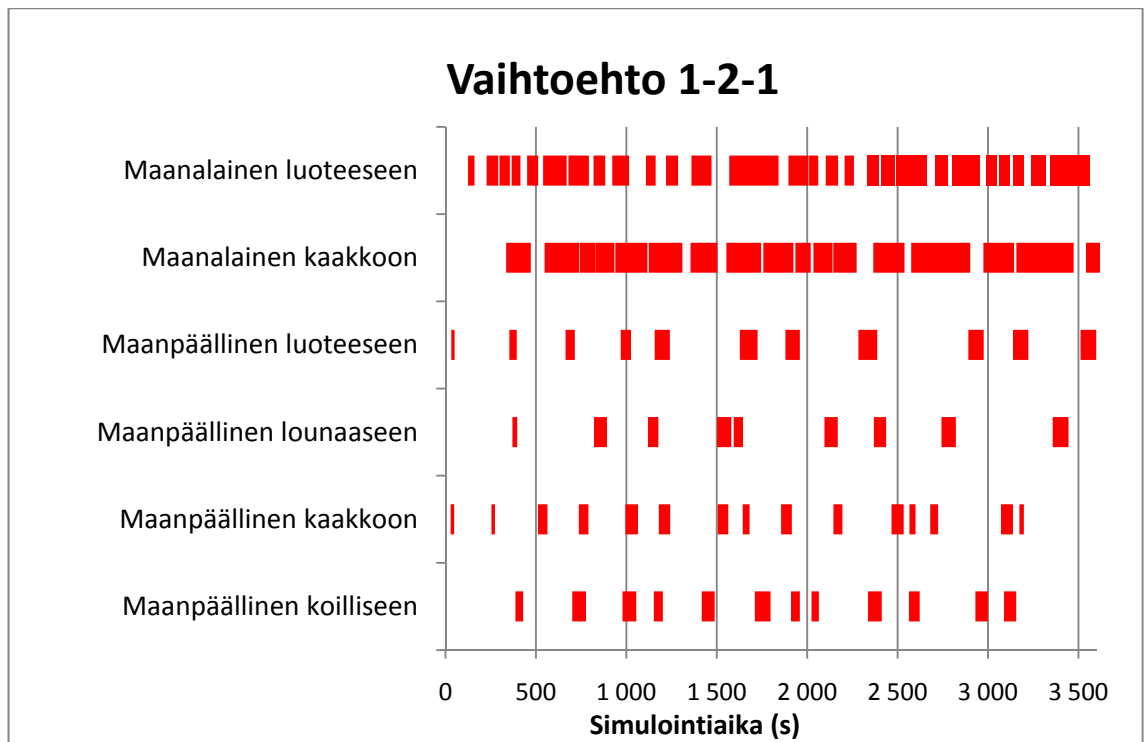
Kuva 20. Kuvissa 22–24 käytetyt maanpäällisen terminaalin pysäkkien nimitykset. (Terminaalivaihtoehto 1-1-1, simulointimalli).



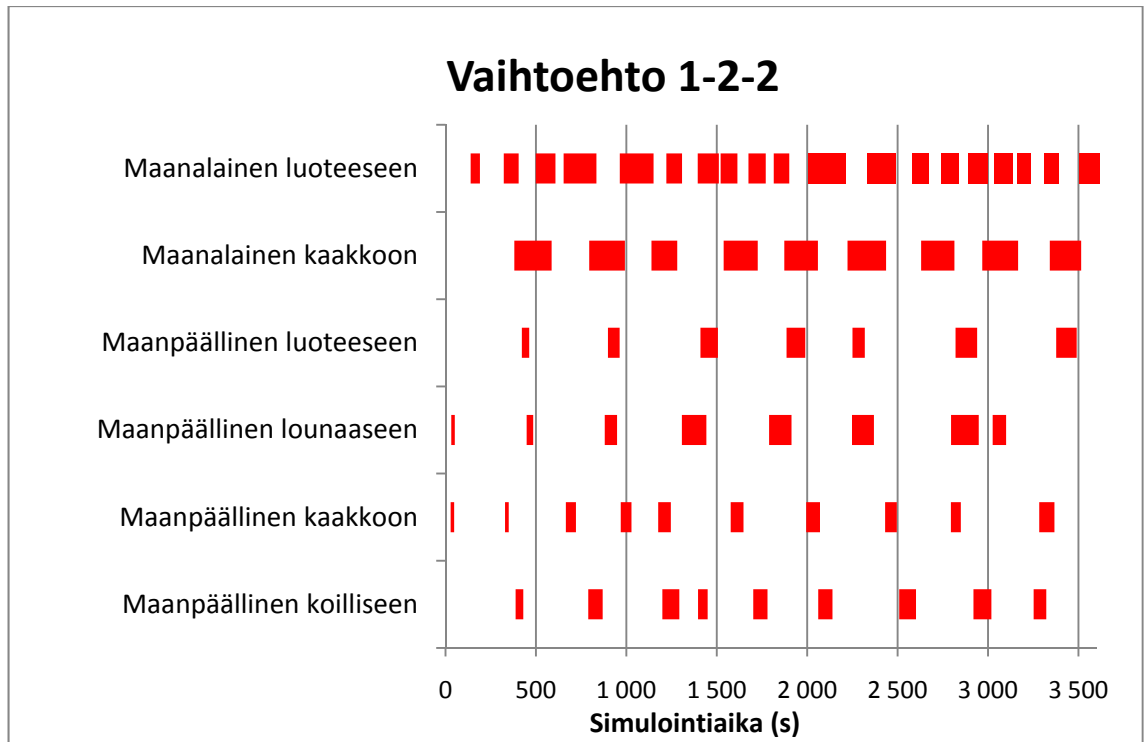
Kuva 21. Kuvissa 22–24 käytetyt maanalaisen terminaalin pysäkkien nimitykset. (Terminaalivaihtoehto 1-1-1, simulointimalli.)



Kuva 22. Terminaalien pysäkkien kuormitus vaihtoehdossa 1-1-1. Punainen väri tarkoittaa, että pysäkillä on vähintään yksi bussi.



Kuva 23. Terminaalien pysäkkien kuormitus vaihtoehdossa 1-2-1. Punainen väri tarkoittaa, että pysäkillä on vähintään yksi bussi.



Kuva 24. Terminaalien pysäkkien kuormitus vaihtoehdossa 1-2-2. Punainen väri tarkoittaa, että pysäkillä on vähintään yksi bussi.

8 VAIHTOEHTOJEN VERTAILUJEN YHTEENVETO

Tarkasteltujen terminaalivaihtoehtojen vertailun yhteenveto on esitetty taulukossa 8. Yhteenveto perustuu simulointituloksiin ja suunnittelussa esille tulleisiin kysymyksiin, jotka koskevat muun muassa terminaalien laajentamismahdollisuuksia, laiturialueiden selkeyttä ja bussiliikenteen toimivuutta.

Taulukko 8. Yhteenveto terminaalivaihtoehtojen vertailun tuloksista.

VAIHTOEHTOJEN VERTAILU	Terminaalivaihtoehto 1	Terminaalivaihtoehto 2	Terminaalivaihtoehto 3
Matkustajien vaihtoyhteydet	Kävelyaika maanalaisesta terminaalista maanpäällisille laitureille on 60–160 sekuntia riippuen tulo- ja lähtölaiturista.	Kävelyaika maanalaisesta terminaalista maanpäällisille laitureille on 40–120 sekuntia riippuen tulo- ja lähtölaiturista.	Kävelyaika maanalaisesta terminaalista maanpäällisille laitureille on 80–100 sekuntia riippuen kulku-suunnasta.
Laiturijärjestelyt ja niiden selkeys	Toiselta puolelta toria lähtevät bussit koilliseen ja kaakkoon, toiselta luoteeseen ja lounaaseen. Maanalaisille laitureille johtaa omat portaat. Kasilinjalla on neljä lähtölaituria saman kadun varrella, joten viitoituksen on oltava selkeää.	Toiselta puolelta katua lähtevät bussit koilliseen ja kaakkoon, toiselta luoteeseen ja lounaaseen. Maanalaisille laitureille johtaa omat portaat. Kasilinjalla on neljä lähtölaituria saman kadun varrella, joten viitoituksen on oltava selkeää.	Toiselta puolelta toria lähtevät "kasilinjan" bussit ylälenkille ja toiselta puolelta alalenkille. Maanalaisille laitureille johtaa omat portaat. Portaiden luona on oltava selkeää viitoitus bussien lähtölaitureista.
Laiturien odotusalueen kapasiteetin riittävyys	Laiturien odotusalueet ovat riittäviä, sillä suurimmillaan (vaihtoehdossa 1-1-2) henkilötiheys laiturilla on 0,53 henkilö/m ² . Muutoin laitureilla on tilaa vähintään 3 m ² /henkilö.	Laiturien odotusalueet ovat riittäviä, sillä suurimmillaan (vaihtoehdossa 2-1-2) henkilötiheys laiturilla on 0,4 henkilö/m ² . Muutoin laitureilla on tilaa vähintään 3 m ² /henkilö.	Laiturien odotusalueet ovat riittäviä. Jokaisessa vaihtoehdossa tilaa on koko ajan vähintään 4 m ² /henkilö.
Terminaalien laajentamismahdollisuudet	Saman kadun varrella, jossa maanpäällinen terminaalit sijaitsee, ei ole laajenemismahdollisuutta. Maanalaista terminaalia on vaikea laajentaa, jos parkkihallit toteutetaan viimeisten suunnitelmien mukaan.	Terminaalille on melko vähän maanpäällistä laajentamistilaa. Maanalaista terminaalia voidaan laajentaa saman kadun varrella, jossa terminaalit sijaitsee.	Maanpäällisen terminaalien katujen varrella on mahdollista laajentaa terminaalia. Maanalaista terminaalia voidaan laajentaa saman kadun varrella, jossa terminaalit sijaitsee.
Bussiliikenteen toimivuus	Kasilinjan matka-ajat ovat lyhyemmät verrattuna muihin terminaalivaihtoehtoihin. Vihreän linjan reitti maan alla olla hankala U-muotoisen reitin vuoksi. Mustan linjan busseille terminaalien sijainti on hyvä.	Kahden linjan vaihtoehdossa (linjastovaihtoehto 1) ajomatka on terminaalien sijainnin vuoksi n. 150m pidempi kuin terminaalivaihtoehdossa 1. Vihreän linjan busseille terminaalien sijainti on hyvä. Mustan linjan bussien reitti on n.100 metriä pidempi kuin terminaalivaihtoehdossa 1.	Kasilinjan busseille tulee kahden linjan vaihtoehdolla terminaalialueella ylimääräisiä "lenkkejä", jotka huonontavat toimivuutta. Kolmen linjan vaihtoehdolla maanpäällinen terminaalit on toimiva, vaikkakin bussien lenkillä käyttämä aika on hieman pidempi kuin muilla vaihtoehdoilla. Maanalaisen terminaalien sijainti on vihreän linjan busseille ihanteellinen. Mustan linjan busseille terminaalien sijainti on myös toimiva.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Joukkoliikenneterminaalit

Vaihtoehto 1 on ajoaikojen puolesta vaihtoehtoista paras. Kasilinjaa kiertävien bussien ajoaika on keskimäärin lyhyempi kuin muissa terminaalivaihtoehtoissa. Lisäksi ulkoisista linjoista mustan linjan ajoajat ovat vaihtoehto 1:ssä lyhimät. Vihreän linjan ajoajat ovat vaihtoehto 1:ssä pisimmät, mutta erot ovat pieniä.

Maanalainen terminaali on mallinnettu jokaisessa terminaalivaihtoehdossa samanlaiseksi. Eroa on ainoastaan maan alla kulkevien katujen linjauksessa sekä terminaalien sijainnissa. Terminaalivaihtoehtojen 1 ja 2 maanpäällisissä laiturijärjestelyissä ei ole sijaintia lukuun ottamatta eroa. Länsi–itä-suunnassa kulkevan kadun pohjoispuolelta lähtevät bussit kahteen suuntaan, eteläpuolelta kahteen muuhun suuntaan. Terminaalivaihtoehto 3:ssa bussit jakaantuvat eri puolille keskustaa. Matkustajille ratkaisu on hyvin viitoitettuna selkeä, sillä itäiseltä kadulta bussit lähtevät kiertämään kasilinjan alemmaa lenkkiä, läntiseltä kadulta kasilinjan ylempää lenkkiä.

Terminaalivaihtoehtoissa 1 ja 2 linjaa vaihtavien matkustajien kävelyaikojen vaihtelu on suurta. Pitkiä vaihtoaikoja nopeuttaisi huomattavasti suojausten tai alikulkukäytävän rakentaminen maan alle. Suojateiden huono puoli on ulkoisten linjojen matka-aikoja pidentävä vaikutus. Terminaalivaihtoehdossa 3 ei maanalaiselle suojaustielle tai alikulkukäytävälle ole tarvetta.

Kaikissa terminaalivaihtoehtoissa tasojen välissä kulkee kahdet portaat. Portaiden leveyden on oltava riittävän suuri, jotta kulku käy vaivattomasti eivätkä ihmiset joudu pysähtymään portaiden päähän. Sopiva leveys on vähintään 10 metriä.

Terminaalivaihtoehtoissa 1 ja 2 maanpäälliset terminaalit täyttävät koko pituudelta kadun, jonka varressa ne sijaitsevat. Terminaaleja ei siis voi laajentaa länsi-itä suunnassa. Terminaalivaihtoehdossa 3 maanpäällisen terminaalien laa-

jenemismahdollisuudet ovat paremmat, sillä molempien katujen varrella on tilaa laajentaa terminaalia tarpeen mukaan. Maanalaisen terminaalin laajentamismahdollisuudet ovat tasapuoliset jokaisessa vaihtoehdossa. Tärkeä tekijä laajentamismahdollisuuksien suhteen on muun maanalaisen tilan käyttö.

Linjastot

Linjastovaihtoehtojen merkittävin ero on linjojen lukumäärä, kun linjastovaihtoehto 2 sisältää yhden sijasta kaksi ulkoista linjaa. Molemmissa vaihtoehdoissa vihreä linja kulkee samaa reittiä pitkin, mutta vaihtoehtoon 2 sisältyvän mustan linjan vuoksi matka-aika Gongqingista DigiEcoCityn länsiosaan nopeutuu huomattavasti. Linjastovaihtoehdossa 2 kasilinja ei kierrä niin pitkää reittiä kuin linjastovaihtoehdossa 1, sillä vaatimukset 300 metrin kävelymatkasta pysäkille täyttyvät lyhyemmällä reitillä toisen (mustan) linjan vuoksi. Vaihtoehdossa 2 kasilinjan lyhyempi ylälänkki lyhentää myös matkustajien bussimatka-aikaa. Lyhyempi kasilinjan reitti vähentää bussien tarvetta aamun huipputuntina 1 bussin (kapasiteetti 150) tai 3 bussin (kapasiteetti 80) verran.

Kahden linjan linjastovaihtoehto riittää palvelemaan kaupunkia, mutta vaihtoehto kasvattaa monen ihmisen kävelymatkaa länsiosan työpaikka-alueelle. Lisäksi ilman mustaa linjaa pidentyvät joukkoliikennematkat sekä Gongqingista että DigiEcoCityn keskustasta DigiEcoCityn länsiosaan. Joukkoliikennejärjestelmä on siis matkustajien kannalta toimivampi kolmella linjalla liikennöitäessä.

Bussien kapasiteetti

Vertailtavat bussityypit olivat matkustajakapasiteetin mukaan 80 matkustajan telibussi ja 150 matkustajan tuplanivelbussi. Kasilinjan matka-ajoissa mitattuna 80 matkustajaa kuljettava bussi on noin 1,5–2,0 minuuttia nopeampi kuin suurempi tuplanivelbussi, joka johtuu tuplanivelbussien pidemmistä pysähtymisajoista pysäkeille. Tuplanivelbusseja tarvitaan 2–3 vähemmän kuin telibusseja. Pienemmät telibussit täyttyvät tehokkaammin kuin nivelbussit, vaikka ne jonoutuvatkin nivelbusseja herkemmin lyhyemmän vuorovälin vuoksi. Lisäksi pienempikapasiteettiset bussit soveltuvat paremmin mutkitteleville kaduille.

Linjastovaihtoehdossa 2 jonoutumista ei tapahdu niin paljon kuin linjastovaihtoehdossa 1. Tämä on seurausta vaihtoehdon 2 lyhyemmästä reitistä sekä pienemmästä pysäkkimäärästä. Kaupungin ulkoisilla linjoilla iso tuplanivelbussi on huomattavasti parempi vaihtoehto kuin telibussi. Ulkoisen liikenteen vuorovälit ovat telibusseja käytettäessä lyhyet (noin 70–100 sekuntia), joten terminaalissa on yksi bussi lähes koko huipputunnin ajan. Tuplanivelbusseille tarkoitettujen pysäkkien ei tarvitse olla 33 metriä pitkiä (kuten mallissa), sillä kahden bussin mahduttamiselle pysäkille yhtä aikaa ei ole tarvetta.

Laiturit

Odotuslaiturit ovat riittävän tilavat jokaisessa vertailtavassa vaihtoehdossa. Tilaa on koko ajan yhtä poikkeavaa vaihtoehtoa (1-1-2) lukuun ottamatta ainakin 3 m²/henkilö, joten ihmiset pystyvät odottamaan bussia mukavasti. Maanalaisessa terminaalissa suuri osa ihmisistä erityisesti pienempiä telibusseja käyttävät, voivat kävellä suoraan terminaalissa odottamaan bussiin, joten odotuslaiturin ei tarvitse olla suuri.

Maanpäällisessä terminaalissa on yhteensä neljä pysäkkiä, joista kasilinjan bussit lähtevät eri suuntiin. Peräkkäiset pysäkit on tilansäästämiseksi mahdollista muuttaa yhdeksi pitkäksi pysäkiksi.

Kustannukset

Kustannuksiin vaikuttavat muun muassa käytettävä kalusto sekä ajokilometrit. Mustan linjan reitti on noin 0,5 kilometriä pidempi vihreän linjan reittiä jokaisessa vaihtoehdossa. Toisaalta linjastovaihtoehdossa 2 kasilinjan reitti on 200–1000 metriä lyhyempi kuin linjastovaihtoehdossa 1. Tämä kaventaa kokonaisajosuoritteen eroa linjastovaihtoehtojen välillä. Hinnaltaan ja käyttökustannuksiltaan telibussit ovat tuplanivelbusseja halvempia. Toisaalta tuplanivelbusseja tarvitaan vähemmän kuin telibusseja eli kustannukset ovat samaa suuruusluokkaa bussivaihtoehdosta riippumatta.

Lipunostojärjestelmä

Bussien täytön on oltava mahdollisimman tehokasta, jotta bussien jonoutuminen on mahdollisimman pientä ja bussit pysyvät aikataulussa. Tehokas ja suositeltava ratkaisu on lippuautomaattien asentaminen terminaaliin ja bussipysäkeille. Tällöin ihmiset pystyvät käyttämään kaikkia bussin ovia bussiin nousemiseen. Bussissa voisi kuljettajan lisäksi olla lipunmyyjä, mutta täynnä olevassa bussissa liikkuminen ja lippujen ostaminen on hankalaa. Bussikusilta lippujen ostaminen hidastaa bussien matka-aikoja.

Suositus

Vaihtoehtojen vertailun perusteella paras terminaalivaihtoehto on terminaalivaihtoehto 3. Jalankulkijoiden linjan vaihtomatkat ovat lyhyet joka suuntaan ja bussien terminaalijärjestelyt ovat selkeät (katutason toiselta kadulta bussit lähtevät alalenkille, toiselta ylälenkille). Ulkoisten linjojen busseille reitin linjaus on parempi kuin muissa vaihtoehdoissa.

Linjastovaihtoehdoista kolmen linjan vaihtoehto palvelee matkustajia paremmin, ja tekee joukkoliikenteen käytön houkuttelevammaksi. Tärkeimpinä syinä tähän ovat paremmat yhteydet Gongqingista DigiEcoCityyn sekä sisäisen linjan lyhyempi matka-aika ja laajempi julkisen liikenteen verkko. Lisäksi kalustotarve on pienempi kolmen linjan vaihtoehdolla.

Kasilinjalla on parempi käyttää pienempiä telibusseja kuin suuria tuplanivelbusseja, sillä kapasiteetin käyttötehokkuus on niillä parempi. Kalustotarve on telibusseilla suurempi verrattuna tuplanivelbusseihin, mutta suuremmalla kalustomäärällä vuoroväli ja matkustajien odotusajat ovat lyhyemmät.

Hyvän palvelutason takaamiseksi matkustajakapasiteetin tulisi olla vähintään 150 matkustajaa ulkoisilla linjoilla. Kapasiteettivaatimus puoltaakin suurempaa investointia, kuten light railia tai raitiovaunua.

KUVAT

- Kuva 1. Peruskiven muuraus- seremonia, s.10
- Kuva 2. Kiinan rautatieverkko, s.12
- Kuva 3. Kiinan suurnopeusjunaverkko, s.13
- Kuva 4. Kiinalainen luotijuna CHR380A, s.14
- Kuva 5. Suuri kanaali, s.15
- Kuva 6. Jiangxi-provinssi, s.17
- Kuva 7. Gongqingin sijainti Kiinan kartalla, s.19
- Kuva 8. Gongqingin katuverkko sekä rautatieasema, s.20
- Kuva 9. DEC:n asukkaiden matkatuotokset matkan pituuden mukaan, s.29
- Kuva 10. GongQingin DigiEcoCityn suurimpien katujen verkosto, s.30
- Kuva 11. Linjastovaihtoehdon 1 linjat ja pysäkit, s.33
- Kuva 12. Linjastovaihtoehdon 2 linjat ja bussipysäkit, s.34
- Kuva 13. Terminaalivaihtoehdon 1 katutaso, s.36
- Kuva 14. Terminaalivaihtoehdon 2 katutaso, s.37
- Kuva 15. Terminaalivaihtoehdon 3 katutaso, s.38
- Kuva 16. Volvon erikoispitkä haitaribussi. , s.39
- Kuva 17. Keskustan maanalainen liikennejärjestelmä, s.43
- Kuva 18. Vaihtoehtojen 1-1-1 ja 3-1-2 bussien keskimääräiset matkustajamäärät linjaston eri osissa, s. 46
- Kuva 19. Vaihtoehtojen 3-2-1 ja 2-2-2 bussien keskimääräiset matkustajamäärät linjaston eri osissa, s. 47
- Kuva 20. Kuvissa 22–24 käytetyt maanpäällisen terminaalin pysäkkien nimitykset, s.52
- Kuva 21. Kuvissa 22–24 käytetyt maanalaisen terminaalin pysäkkien nimitykset, s.52
- Kuva 22. Terminaalien pysäkkien kuormitus vaihtoehdossa 1-1-1, s.53
- Kuva 23. Terminaalien pysäkkien kuormitus vaihtoehdossa 1-2-1, s.53
- Kuva 24. Terminaalien pysäkkien kuormitus vaihtoehdossa 1-2-2, s.54

TAULUKOT

Taulukko 1. Bussireittien pituudet DEC:n alueella, s.32

Taulukko 2. Simuloitavien vaihtoehtojen nimitykset, s.40

Taulukko 3. Mitattavat tunnusluvut sekä niiden käyttötarkoitukset, s.41

Taulukko 4. Bussilinjojen vuorovälit, s.44

Taulukko 5. Kasilinjalla tarvittavien bussien määrä huipputuntina eri linjastovaihtoehdoissa ja eri kalustolla, s.45

Taulukko 6. Bussien matka-aikojen keskiarvo ja niiden keskihajonta vihreän- ja mustan linjan ajamiseen kaupungin halki, s.48

Taulukko 7. Odotuslaitureiden välisten kävelyaikojen keskiarvot sekä keskihajonnat, s.49

Taulukko 8. Yhteenveto terminaalivaihtoehtojen vertailun tuloksista, s.55

LÄHTEET

Ballettown Gongqing. 2010. Outlet China.

http://www.outletcn.com/en/development/ballettown_gq.html (Luettu 18.1.2011)

Britannica 2010: Travel & Geography China. Waterways.

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/111803/China/71011/Waterways>
(Luettu 30.11.2010)

China highlights. 2011. Trains from Gongqingchen to Nanchang.

http://www.chinahighlights.com/china-trains/search-result.asp?Txt_FZ=Gongqingcheng&SearchType=A&Txt_DZ=nanchang&x=0&
(Luettu 21.1.2011)

Chinatouronline. 2010a. Nanchang Facts.

<http://www.chinatouronline.com/china-travel/nanchang/nanchang-facts/index.html> (Luettu 30.11.2010)

Chinatouronline. 2010b. Nanchang History.

<http://www.chinatouronline.com/china-travel/nanchang/nanchang-facts/nanchang-history.html> (Luettu 30.11.2010)

China Travel Guide. 2010.<http://www.chinatour.com/countryinfo/countryinfo.htm>

(Luettu 1.12.2010)

China Travel Discovery. 2007. China Public Transport.

<http://www.chinatraveldiscovery.com/china-life/chinese-public-transport.htm>

Gongqing DigiEcoCity Ltd. 2010. Gongqing DigiEcoCity.

Fairley P. China's High-Speed Rail Revolution. 11.1.2010.

<http://www.technologyreview.com/energy/24341/> (Luettu 30.11.2010)

Heinonen J. 2010a. DigiEcoCity Oy:n varapääjohtajan haastattelu. Lokakuu 2010.

Heinonen J. 2010b. DigiEcoCity Oy:n varapääjohtajan haastattelu. Joulukuu 2010.

Helsingin sanomat. Kiinan autokanta kaksinkertaistuu kymmenessä vuodessa. 6.9.2010.

<http://www.hs.fi/autot/artikkeli/Kiinan+autokanta+kaksinkertaistuu+kymmeness%C3%A4+vuodessa/1135259926449> (Luettu 30.11.2010)

Kalenoja H., Vihanti K., Voltti V., Korhonen A. ja Karasmaa N. Suomen ympäristö 27/2008. Liikennetarpeen arviointi maankäytön suunnittelussa.

Keltala T., 2009. Kauppakeskuksen pysäköinnin ja liityntäpysäköinnin yhteiskäyttö. Metropolia. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Keskisaari H. 2010. Rambollin asiantuntijan haastattelu. Joulukuu 2010.

- Kosonen I. 1999. HUTSIM – Urban Traffic Simulation and Control Model: Principles and Applications. Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka, Julkaisu 100. Espoo.
- Lanne L. 2003. Joukkoliikenteen linjakohtaisen liikennöinnin simulointi. Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka. Diplomityö.
- Lehtinen J. 2000. Kaksikaistaisten teiden mikrosimulointi - nykytila ja kehityssuunnat. Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka. Diplomityö.
- Nyberg J. 2011. Rambollin asiantuntijan haastattelu. Tammikuu 2011.
- Provinces and cities. 2000. Jiangxi.
<http://www.hceis.com/ChinaBasic/ProvinCity/jiangxi.htm> (Luettu 25.1.2011)
- Pitkänen J-P. & Capek K. Väylät ja liikenne 2008. Mikroskooppisen liikenteen simuloinnin vähemmän tunnetut mahdollisuudet. Espoo.
- Pitkänen J-P. & Capek K. Väylät ja liikenne 2010. Kevyen liikenteen ja matkaketjujen simulointi - case Marja-Vantaa. Espoo.
- Pursula M., 1982. Liikenteen simulointi. Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka, Opetusmoniste 5. Espoo. 33 s.
- Pursula M., Niittymäki J. & Ojala J. 2000. Teknillinen korkeakoulu. Julkaisu 101. Liikennetekniikan seminaari 1999–2000. Liikenteen simulointi. Espoo: Otamedia Oy.
- Radio 86: Kaikkea Kiinasta. Kiinan autokanta k20-kertaistuu 30 vuodessa. 3.5.2005. <http://fi.radio86.com/uutiset/kiinan-autokanta-20-kertaistuu-30-vuodessa> (Luettu 1.12.2010)
- Ramboll Espoo. 2010. GongQing DigiEcoCity, transport forecast.
- Ramsay A. Kiinan Suuri kanaali eli Keisarinkanava. 27.7.2007.
<http://fi.radio86.com/matkailijan-kiina/matkakohteet/kiinan-suuri-kanaali-eli-keisarinkanava> (Luettu 30.11.2010)
- SE-Track background. Inland Waterway Transport in China.
<http://site.nea.nl/china/inland.htm> (Luettu 30.11.2010)
- SMT. Shanghai Maglev Transportation Development Co. Ltd.
<http://www.smtdc.com/en/gycf3.asp> (Luettu 30.11.2010)
- Taloussanomien. Taloussanakirja.
<http://www.taloussanomien.fi/porssi/sanakirja/termi/joint+venture/0> (Luettu 17.1.2011)
- Tekniikka & Talous. 2011. Kiinan lentobuuri jatkuu: Pekingiin rakennetaan kakkoskenttä. <http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/article559603.ece> (Luettu 26.1.2011)

The Transport Politic. 12.1.2009. High-Speed Rail in China.
<http://www.thetransportpolitic.com/2009/01/12/high-speed-rail-in-china/> (Luettu 30.11.2010)

TravelChinaGuide. Nanchang Transportation
<http://www.travelchinaguide.com/cityguides/jiangxi/nanchang/getting-there.htm>
(Luettu 1.12.2010)

US Department of transportation. Freight Mobility and Intermodal Connectivity in China: Chapter 3: China's Transportation System and Plans for the Future.
http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl08020/fmic_08_03.cfm (Luettu 20.12.2010)

Wikipedia 2010a: Jiangxi. Artikkele Wikipedia-internet tietosanakirjassa.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Jiangxi> (Luettu 30.11.2010)

Wikipedia 2010b: High-speed train in China. Artikkele Wikipedia-internet tietosanakirjassa. http://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_China (Luettu 30.11.2010)

Wikipedia 2010c: Transport in the People's Republic of China. Artikkele Wikipedia-internet tietosanakirjassa.
http://en.wikipedia.org/wiki/Transport_in_the_People's_Republic_of_China (Luettu 30.11.2010)

Bussien käyttämä aika kasilenkin sekä sen ylä- ja alalenkin kiertämiseen eri vaihtoehtoissa.

Vaihtoehto	Linjaosuus	Kasilenkki koilliseen ja kaakkoon		Kasilenkki lounaaseen ja luoteeseen	
		Keskiarvo (s)	Keskihajonta (s)	Keskiarvo (s)	Keskihajonta (s)
1-1-1	Alalenkki	459	44	510	94
	Ylälenkki	885	51	889	75
	Yhteensä	1346	48	1376	153
1-1-2	Alalenkki	522	92	498	77
	Ylälenkki	981	107	901	66
	Yhteensä	1440	144	1398	101
1-2-1	Alalenkki	429	70	466	50
	Ylälenkki	711	70	751	22
	Yhteensä	1135	122	1211	65
1-2-2	Alalenkki	458	56	519	80
	Ylälenkki	799	135	878	205
	Yhteensä	1262	140	1412	350
2-1-1	Alalenkki	520	51	572	64
	Ylälenkki	907	104	882	40
	Yhteensä	1413	126	1441	85
2-1-2	Alalenkki	562	88	574	73
	Ylälenkki	971	81	1018	141
	Yhteensä	1505	104	1529	126
2-2-1	Alalenkki	527	78	542	42
	Ylälenkki	753	77	721	22
	Yhteensä	1261	126	1255	56
2-2-2	Alalenkki	504	58	611	94
	Ylälenkki	715	46	787	35
	Yhteensä	1205	97	1385	89
3-1-1	Alalenkki	531	88	521	68
	Ylälenkki	902	120	902	89
	Yhteensä	1495	117	1416	113
3-1-2	Alalenkki	567	52	542	80
	Ylälenkki	1009	43	1023	142
	Yhteensä	1586	42	1580	144
3-2-1	Alalenkki	512	61	537	35
	Ylälenkki	776	74	711	16
	Yhteensä	1275	115	1253	47
3-2-2	Alalenkki	553	86	561	93
	Ylälenkki	768	158	785	30
	Yhteensä	1333	140	1372	68

Ulkoisten linjojen matka-ajat yksityisautoilun kanssa samaan aikaan simuloituna.

Terminaalivaihtoehto	Huipputunti	Linja	Matka-aika	
			keskiarvo	keskihajonta
1	aamu	vihreä linja kaakkoon	436	17
1	aamu	vihreä linja luoteeseen	376	26
1	aamu	musta linja kaakkoon	500	26
1	aamu	musta linja luoteeseen	492	42
1	iltapäivä	vihreä linja kaakkoon	422	19
1	iltapäivä	vihreä linja luoteeseen	408	18
1	iltapäivä	musta linja kaakkoon	492	54
1	iltapäivä	musta linja luoteeseen	488	22
2	aamu	vihreä linja kaakkoon	431	19
2	aamu	vihreä linja luoteeseen	365	27
2	aamu	musta linja kaakkoon	537	29
2	aamu	musta linja luoteeseen	505	31
2	iltapäivä	vihreä linja kaakkoon	417	26
2	iltapäivä	vihreä linja luoteeseen	395	18
2	iltapäivä	musta linja kaakkoon	537	37
2	iltapäivä	musta linja luoteeseen	520	28
3	aamu	vihreä linja kaakkoon	324	4
3	aamu	vihreä linja luoteeseen	348	20
3	aamu	musta linja kaakkoon	532	19
3	aamu	musta linja luoteeseen	495	31
3	iltapäivä	vihreä linja kaakkoon	406	31
3	iltapäivä	vihreä linja luoteeseen	378	17
3	iltapäivä	musta linja kaakkoon	540	72
3	iltapäivä	musta linja luoteeseen	495	36

Odotuslaitureiden koko, maksimi ihmismäärä ja ihmismäärä pinta-alayksikköä kohti.

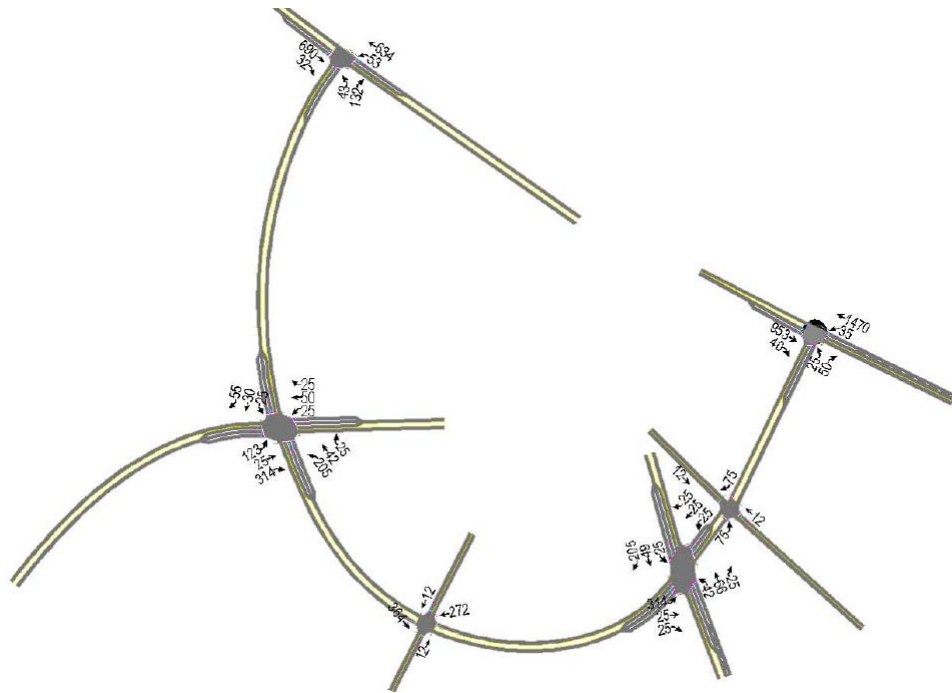
Vaihtoehto	Laiturialue	Koko (m ²)	Ihmismäärä(max)	henk./m ² (max)
1-1-1	1	420	103	0,27
	2	348	69	0,22
	3	287	9	0,04
	4	271	55	0,25
1-1-2	1	420	204	0,53
	2	348	72	0,23
	3	287	10	0,04
	4	271	53	0,24
1-2-1	1	420	102	0,26
	2	348	52	0,17
	3	287	27	0,11
	4	271	57	0,26
1-2-2	1	420	115	0,3
	2	348	93	0,3
	3	287	58	0,12
	4	271	55	0,25
2-1-1	1	430	140	0,32
	2	470	71	0,17
	3	296	34	0,12
	4	322	66	0,21
2-1-2	1	430	173	0,4
	2	470	108	0,25
	3	296	27	0,1
	4	322	97	0,31
2-2-1	1	430	104	0,24
	2	470	64	0,15
	3	296	30	0,11
	4	322	55	0,18
2-2-2	1	430	81	0,19
	2	470	73	0,17
	3	296	50	0,18
	4	322	83	0,27
3-1-1	1	572	75	0,15
	2	590	112	0,19
	3	286	32	0,11
	4	346	35	0,11
3-1-2	1	572	52	0,1
	2	590	115	0,20
	3	286	38	0,13
	4	346	79	0,24
3-2-1	1	572	71	0,14
	2	590	85	0,15
	3	286	32	0,11
	4	346	51	0,15
3-2-2	1	572	82	0,16
	2	590	115	0,2
	3	286	62	0,21
	4	346	75	0,23

Bussien keskimääräinen matkustajamäärä (ka) ja matkustajamäärien keskihajonta (kh).

Vaihtoehto	Vihreä 1		Vihreä 2		Musta 1		Musta 2		Kasi 1		Kasi 2	
	ka	kh	ka	kh	ka	kh	ka	kh	ka	kh	ka	kh
1-1-1	56	24	42	14	-	-	-	-	22	15	22	23
1-1-2	114	50	78	28	-	-	-	-	27	27	38	31
1-2-1	54	22	33	16	59	22	30	14	16	13	52	21
1-2-2	95	39	57	18	104	39	61	17	25	21	75	38
2-1-1	54	24	46	20	-	-	-	-	21	18	22	19
2-1-2	119	41	82	33	-	-	-	-	37	29	33	29
2-2-1	55	21	39	24	59	22	37	16	31	29	39	23
2-2-2	96	37	72	41	103	38	72	31	39	43	63	42
3-1-1	57	18	41	16	-	-	-	-	17	14	18	20
3-1-2	120	39	77	26	-	-	-	-	27	14	22	22
3-2-1	30	23	33	19	59	22	32	15	17	19	51	21
3-2-2	99	40	61	26	107	40	67	31	22	22	77	34



Aamun huipputunnin ajoneuvoliikenne ajoneuvoyksiköissä (Ramboll 2011).



Keskustan kehän valo-ohjatut liittymät sekä valojen suunnittelussa käytetyt liikennemäärät.