

Mat-2.177 Operaatiotutkimuksen projektityöseminaari

Dynaaminen kimppakyytijärjestelmä Uudellamaalla

Loppuraportti

4.5.2006

Kohdeorganisaatio: Matrex Oy

Yhteyshenkilö: Ville Koskinen

Projektiryhmä: Jukka Luoma, 61320J
Otso Alanko, 44385B
Mikko Kerola, 51565W
Topi Sikanen, 55670A

1.	Tiivistelmä.....	1
2.	Johdanto.....	3
2.1.	Raportin sisältö	3
2.2.	Tehtävän tausta ja projektin tavoitteet.....	3
2.3.	Projektin hyötyjen arviointi.....	5
3.	Kirjallisuuskatsaus	7
3.1.	Tavoite.....	7
3.2.	Toteutetut kimppakyytijärjestelmät.....	7
3.3.	Uusi lähestymistapa.....	9
4.	Kimppakyytijärjestelmän kuvaus.....	11
5.	Kimppakyytijärjestelmän malli	12
5.1.	Yleistä.....	12
5.2.	Tieverkon kuvaus.....	12
5.3.	Kyytien tarjonta ja reitinhaku	13
5.4.	Kyytien pyyntö.....	14
5.5.	Kyydinhaku	15
5.6.	Yhteenveto mallin toiminnasta	18
6.	Kimppakyytijärjestelmän esimerkkitoteutus	19
6.1.	Lähtökohta ja tavoitteet	19

6.2.	Toteutus.....	20
6.3.	Toiminta.....	22
7.	Kimppakyytijärjestelmän simulointi.....	23
7.1.	Simulaatioiden toteutus.....	23
7.2.	Simulointituloksia.....	29
7.2.1.	Optimaalisen tarjonnan ja kysynnän suhteen selvittäminen.....	29
7.2.2.	Aamuruuhka.....	32
7.2.3.	Iltapäiväruuhka.....	36
7.2.4.	Edestakaisen kyydin löytämistodennäköisyys.....	40
7.2.5.	Kyydin löytämistodennäköisyyksiä alueittain.....	42
8.	Kimppakyytijärjestelmän arviointi.....	43
8.1.	Yleistä.....	43
8.2.	Suunnitellun kimppakyytijärjestelmän houkuttelevuus.....	43
8.3.	Kimppakyytijärjestelmän toteutettavuus.....	46
8.4.	Vaihtoehtoinen toteutustapa.....	48
8.5.	Kimppakyytijärjestelmän elinkaariskenaario.....	48
9.	Yhteenveto tuloksista.....	50
10.	Yhteenveto projektista.....	52
11.	Viitteet.....	53

1. Tiivistelmä

Tämä loppuraportti liittyy *Dynaaminen kimpakyytijärjestelmä Uudellamaalla* -projektityön toteutukseen. Projektityö liittyy Teknillisen korkeakoulun Operaatiotutkimuksen projektityöseminaariin¹. Työn tilaaja, Matrex Oy², on liikennejärjestelmäanalyysiin ja johdon konsultointiin erikoistunut yritys.

Projektityön päämääränä oli suunnitella ja toteuttaa vastavuoroisuuteen perustuva *kimpakyytijärjestelmä*, joka mahdollistaa käyttäjilleen kyytien tarjoamisen ja pyytämisen ilman, että osapuolet tuntevat entuudestaan toisiaan.

Toteutimme projektin tekemällä ensin kirjallisuuskatsauksen. Kirjallisuuskatsauksen, Ahti Salon ja työn asettajan kanssa käytyjen keskustelujen sekä oman pohdintamme tuloksena, kehitimme yhdistelyalgoritmin, joka pyrkii yhdistelemään järjestelmään syötettyä tarjontaa ja kysyntää.

Kimppakyytijärjestelmässä on kaksi toimijaryhmää, kyydin tarjoajat ja kyydin pyytäjät. Pidemmällä aikavälillä kaikkien järjestelmän käyttäjien on toimittava myös kyydin tarjoajina. Kyydin tarjoajat syöttävät järjestelmään tarjoamansa kyydin reitin, ajankohdan sekä tiedon siitä kuinka monta henkilöä kyydin tarjoajan kyytiin mahtuu. Kyydin pyytäjät syöttävät järjestelmään pyyntönsä reunaehdot sekä optimointikriteerin, jonka perusteella paras kyyti valitaan.

Kehittämämme yhdistelyalgoritmi etsii tarjolla olevien kyytien joukosta kyydin pyytäjille parhaan kyydin. Vaikka kimpakyytijärjestelmän käyttöönoton perimmäinen tarkoitus on vähentää Uudenmaan tieverkoston ruuhkaisuutta, ei järjestelmä pyri maksimoimaan

¹ <http://www.sal.tkk.fi/Opinnot/Mat-2.177/>

² <http://www.matrex.fi>

systemin kokonaisyötyä, esimerkiksi minimoimalla autojen määrää liikenteessä, vaan kyydit tarjotaan kyydin pyytäjille *First Come, First Served* -periaatteella. Kun kyydin pyytäjille etsitään sopivaa kyytiä, pyritään kulloinkin optimoimaan käyttäjän ilmoittamaa optimointikriteeriä asetetuin reunaehdoin.

Teimme kimpakyytijärjestelmän ytimeä (so. tarjonnasta ja kysynnästä sekä näitä yhdistelevästä yhdistelyalgoritmista) esimerkkitoteutuksen Java-kielellä. Liitimme järjestelmään simulaattorin, jolla simuloimme järjestelmän toimintaa. Mallinsimme liikennettä työn asettajaltamme saatujen tietojen perusteella. Tutkimme tarjonnan ja kysynnän optimaalista suhdetta sekä tämän suhteen avulla pyrimme selvittämään kuinka paljon käyttäjiä tarvitaan, jotta kyydin pyytäjät löytävät tarjolla olevista kyydeistä itselleen sopivan riittävän suurella todennäköisyydellä. Kirjallisuuskatsauksen ja simulointitulosten valossa arvioimme kimpakyytijärjestelmän houkuttelevuutta ja toteutettavuutta sekä pohdimme vaihtoehtoisia toteutustapoja suunnittelemalemme kimpakyytijärjestelmälle.

2. Johdanto

2.1. Raportin sisältö

Tämä dokumentti koostuu

- loppuraportin tiivistelmästä (edellä)
- johdannosta, jossa on kuvattu projektin taustat, projektin tavoitteet sekä arvion projektin tulosten hyödyistä
- kirjallisuuskatsauksesta, jossa kuvataan projektityön toteutukseen kuuluneen kirjallisuuskatsauksen tulokset
- kimppakyytijärjestelmän kuvauksesta, jossa kuvataan yleisellä tasolla suunnittelemamme kimppakyytijärjestelmä
- kimppakyytijärjestelmän mallin kuvauksesta, jossa kuvataan ne matemaattiset mallit, johon suunnittelemamme kimppakyytijärjestelmä perustuu
- kimppakyytijärjestelmän esimerkkitoimituksen (tietokoneohjelman, jonka olemme toteuttaneet tämän projektin yhteydessä) toiminnallisen sekä teknisen kuvauksen
- kuvauksen niistä simuloinneista, joita teimme kimppakyytijärjestelmän arvioimiseksi sekä näiden simulointien tulosten esittelyyn
- kirjallisuuskatsauksen ja simulointitulosten perusteella tehdyn kimppakyytijärjestelmän arvioinnin
- yhteenvedon saavuttamistamme tuloksista sekä projektista yleisesti.

2.2. Tehtävän tausta ja projektin tavoitteet

Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen mukaan väestön kasvun suuntautuminen suurten

kaupunkien kehyskuntiin henkilöautojen määrän kasvaessa ja joukkoliikenteen aseman heiketessä ovat uhkia ympäristölle³. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla henkilöauto oli suosituin kulkuväline vuonna 2000⁴. Suuri henkilöautoilun määrä ruuhkauttaa Uudenmaan tieverkostoa. Tämän projektin päämääränä oli suunnitella ja toteuttaa kimppakyytijärjestelmä, jonka tarkoituksena on osaltaan vähentää Uudenmaan tieverkoston ruuhkaisuutta. Asetimme projektisuunnittelun yhteydessä projektin tavoitteiksi

1. kirjallisuuskatsauksen tekemisen
2. niiden matemaattisten mallien kehittämisen, joihin mahdollinen kimppakyytijärjestelmä perustuisi
3. kimppakyytijärjestelmän tietoteknisen toteutuksen
4. kimppakyytijärjestelmän testauksen ja simuloinnin
5. tarvittavan projektidokumentaation tuottamisen.

Projektisuunnitelman luvussa 2.2 (Tutkimusongelmat) on kuvattu kysymyksiä, joihin olemme pyrkineet projektin aikana löytämään vastauksia. Seuraavassa kappaleessa on kuvattu lyhyesti, miten olemme asettamiamme tutkimuskysymyksiä lähestyneet.

Projektin yhteydessä kehitimme *yhdistelyalgoritmin*, joka yhdistelee kyytien tarjontaa ja kysyntää. Simuloinnin avulla etsimme *tarjonnalle ja kysynnälle optimaalisen suhteen* siten, että autojen suhteellinen osuus kimppakyytijärjestelmän käyttäjien kokonaismäärästä minimoituu. Käyttäen simuloinnin avulla selvitettyä tarjonnan ja kysynnän optimaalista suhdetta, tutkimme, *kuinka suuri käyttäjämäärä järjestelmälle*

³ <http://www.vatt.fi>

⁴ http://www.ytv.fi/FIN/seutu_ymparistotietoja/liikkuminen/matkat/etusivu.htm

tarvitaan, jotta kyydin pyytäjät löytävät riittävän suurella todennäköisyydellä itselleen kyydin tarjolla olevista kyydeistä. Tämän lisäksi pohdimme kimppakyytijärjestelmän houkuttelevuutta ja käytettävyyttä simulointitulosten ja kirjallisuuskatsauksen pohjalta.

Sikäli kun järjestelmä toimii riittävän hyvin (onnistuu yhdistelemään tarjontaa ja kysyntää) ja järjestelmän käyttö on käyttäjän kannalta riittävän helppoa ja houkuttelevaa, on kimppakyytijärjestelmälle mahdollista saada riittävästi käyttäjiä. Riittävä määrä käyttäjiä - yhdessä riittävän hyvin tarjontaa ja kysyntää yhdistelevän algoritmin kanssa - mahdollistaa taas sen, että kimppakyytijärjestelmän käyttöönotolla olisi vaikutusta Uudenmaan tieverkoston ruuhkaisuuteen. Näitä asioita käsitellään myöhemmin tässä raportissa.

2.3. Projektin hyötyjen arviointi

Alun perin projektin tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa kimppakyytijärjestelmä, joka voitaisiin tarvittaessa integroida osaksi jotain toista järjestelmää tai erilliseen käyttöliittymään ohjelmaan toteutettavien rajapintojen avulla. Projektin tavoitteena oli toteuttaa kimppakyytijärjestelmän ydin, erityisesti yhdistelyalgoritmit, joilla tarjontaa ja kysyntää yhdistellään. Vaikka kimppakyytijärjestelmän tietotekninen toteutus toteuttaakin sille asetetut toiminnalliset ja tekniset vaatimukset, näkemyksemme on, että projektin tulokset ovat hyödyllisiä työn asettajallemme erityisesti seuraavista näkökulmista:

1. Olemme kehittäneet *erään tavan yhdistellä tarjontaa ja kysyntää* luvussa 4 kuvatussa kimppakyytijärjestelmän kaltaisessa järjestelmässä.
2. Olemme selvittäneet, mikä olisi *optimaalinen tarjonnan ja kysynnän suhde*, mikäli suunnittelemamme kimppakyytijärjestelmä otettaisiin käyttöön. Mikäli Uudellamaalla toteutettaisiin kimppakyytijärjestelmä, tulisi sen perustua vastavuoroisuuteen. Tarjonnan ja kysynnän optimaalista voitaisiin käyttää

- vastavuoroisuudesta huolehtivan *krediittijärjestelmän*⁵ suunnittelussa. Suunnittelemalla krediittijärjestelmä siten, että tarjonnan ja kysynnän suhde saadaan halutunlaiseksi, pystytään järjestelmän houkuttelevuutta parantamaan.
3. Olemme tutkineet *olisiko kimpakyytijärjestelmän käyttöönotto mahdollista Uudellamaalla ja kuinka paljon käyttäjiä tarvittaisiin*, jotta järjestelmä toimisi siten, että siitä tulisi potentiaalisen käyttäjän kannalta aito vaihtoehto omalla autolla kulkemisen sijaan.
 4. Olemme pohtineet niitä *käytännön seikkoja, joita kimpakyytijärjestelmän toteutuksessa ja käyttöönotossa tulisi ottaa huomioon*. Olemme myös pohtineet *vaihtoehtoisia toteutustapoja* kimpakyytijärjestelmälle (verrattuna siihen järjestelmään, joka on kuvattu kappaleissa 3 ja 4).

Suunnittelemassamme kimpakyytijärjestelmässä on piirteitä, joita emme löytäneet muista kirjallisuuskatsauksen yhteydessä vastaan tulleista dokumentoiduista kimpakyytijärjestelmistä. Mikäli Uudellamaalla haluttaisiin ottaa käyttöön kimpakyytijärjestelmä, vaatisi tämä mielestämme lisäselvityksiä tämän projektin tulosten lisäksi. Näkemyksemme mukaan tämän projektin tulokset toimivat kuitenkin suuntaa antavina ja siten päätöksenteon tukena mahdollisten lisäselvitysten suhteen.

⁵ Krediittijärjestelmällä tarkoitetaan tässä raportissa järjestelmää, joka huolehtii siitä, että kaikki kyydin pyytäjät toimivat myös kyydin tarjoajina. Koska tämän projektityön tavoitteena oli suunnitella kimpakyytijärjestelmä, joka perustuu vastavuoroisuuteen, on pyydetyistä kyydeistä ”maksettava” tarjoamalla kyytejä järjestelmän muille käyttäjille. Krediittijärjestelmän avulla ”maksaminen” voi tapahtua myös esimerkiksi siten, että käyttäjä tarjoaa kyydin eri henkilölle kuin kenen kyydissä tämä on aiemmin ollut.

3. Kirjallisuuskatsaus

3.1. Tavoite

Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli hankkia tietoa jo toiminnassa olevista ja suunnitelluista kimppakyytijärjestelmistä sekä tutustua kimppakyytijärjestelmiä koskeviin tutkimuksiin. Suurimman mielenkiinnon kohteena olivat kimppakyytimallien ratkaisuihin käytetyt algoritmit sekä mahdolliset mallinnus- ja simulointiprosessissa esiin nousseet erityiskysymykset ja rajoitteet. Ajatuksena oli, että aiheeseen tutustumalla nopeutetaan omaa suunnitteluprosessia. Eri artikkeleista ja kuvauksista oli tarkoitus poimia käyttökelpoisia ideoita ja toteutustapoja, ja soveltaa niitä mahdollisuuksien mukaan oman järjestelmän toteutuksessa. Toiveena oli myös löytää informaatiota epäonnistuneista hankkeista tai lähestymistavoista, sillä jo kerran tehtyjä virheitä ei haluttu toistaa.

3.2. Toteutetut kimppakyytijärjestelmät

Projektityön lähtökohtana on kehittää kimppakyytijärjestelmä, jossa ennalta toisilleen tuntemattomien ihmisten työmatkoja saadaan yhdisteltyä siten, että liikenteessä olevien autojen määrää saadaan vähennettyä ja ruuhkia näin ollen helpotettua. Oletuksena on, että ihmiset lähtevät liikkeelle eri paikoista ja myös päätyvät eri paikkoihin.

Ryhmän sisäisen pohdinnan, sekä Matrexin ja Ahti Salon kanssa pidettyjen palaverien myötä tulimme tulokseen, että kyseisen kaltainen järjestelmä saattaa olla erittäin hankala toteuttaa, ja asettaisi joka tapauksessa erittäin suuret vaatimukset mallinnukselle ja prosessorin laskentakapasiteetille.

Tutustuminen kirjallisuuteen ei tuonut eteen yhtään järjestelmää, joka olisi toteutettu alkuperäisen tehtävämäärittelyn mukaisesti. Itse asiassa edes yhtään tutkimusta, jossa järjestelmä olisi "toivotun" kaltainen, ei ole löytynyt.

Valtaosassa tutkimuksia kimppakyytijärjestelmä mielletään järjestelmäksi, jonka käyttäjillä on yksi yhteinen nimittäjä, työskentely samassa työpaikassa. Yhdysvalloissa

on olemassa kimppakyytijärjestelmiä, jotka perustuvat nk. kokoontumisparkkipaikkoihin kaupunkien ulostuloväylien paikkeilla, joihin ihmiset saapuvat (useimmiten autolla) kodeistaan. Kokoontumisparkkipaikassa ihmiset muodostavat kimppoja, jotka koostuvat usein saman työpaikan työntekijöistä. Kimppa jatkaa kokoontumisparkkipaikalta yhdellä autolla kohti työpaikkaa, ja palaa työpäivän jälkeen parkkipaikalle, josta ihmiset jatkavat omin neuvoin koteihinsa.

Kimppakyytijärjestelmät jaetaan yleisesti kahteen luokkaan: pitkäaikaiseen (Long Term Car Pooling) ja päiväkohtaiseen (Short Term Car Pooling). Pitkäaikaisessa kimppakyytijärjestelmässä pyritään muodostamaan työntekijöistä "kimppoja", jotka kootaan päivittäin yhteen aamuisin ja iltapäivisin. "Kimppa" matkustaa töihin yhdellä autolla, ja palaa koteihinsa tällä samalla autolla. Idea perustuu siihen, että jokainen kimpan jäsen on vuorollaan ajovuorossa, eli kiertää hakemassa kimpan muut jäsenet kodeistaan, ja palauttaa jokaisen omalle kotiovelleen työpäivän jälkeen. Muun muassa artikkelit [3] ja [5] käsittelevät pitkäaikaista kimppakyytijärjestelmää.

Päiväkohtaisessa kimppakyytijärjestelmässä uusi kimppa muodostetaan päivittäin. Suunnittelemamme järjestelmä kuuluu lähtökohtaisesti tähän kategoriaan. Löydettyissä tutkimuksissa, esimerkiksi [9] ja [4], lähtökohtana on, että työntekijät ilmoittavat edellisenä päivänä tietyt reunaehdot seuraavan päivän työmatkaansa koskien. Työntekijä voi ilmoittautua kyydin tarjoajaksi tai pyytäjäksi. Molemmissa tapauksissa työntekijän on määritettävä aikaisin mahdollinen lähtöaika kotoa, sekä myöhäisin mahdollinen saapumisaika työpaikalle. Mikäli kyseessä on kotiinpaluu, määritetään luonnollisesti aikaisin mahdollinen lähtöaika töistä, sekä viimeisin mahdollinen saapumisaika kotiin.

Päivittäisen kimppakyytijärjestelmää on tutkittu varsin pienillä (100–1000) käyttäjämäärillä, esim. [1], [4] ja [9]. Laskenta-ajat ovat varsin pitkiä, ja vaikka varsin hyviin kysynnän tyydyttävyytlukuihin päästäänkin, eivät tulokset ole kovin rohkaisevia tehtävänannon mukaisen järjestelmän selvästi hankalamman luonteen kannalta.

Kirjallisuuskatsaus ei anna aihetta pohtia pidemmälle alkuperäisen tehtävänannon

mukaisen, järjestelmän kokonaisuhyötyä optimoivaan yhdistelyalgoritmiin perustuvan kimppakyytijärjestelmän toteuttamista, vaan ratkaisua ongelmaan on haettava muuta kautta.

3.3. Uusi lähestymistapa

Toteuttamiskelpoisempi lähestymistapa on seuraavantyyppinen (tarkempi kuvaus kappaleessa 4):

1. Kyydin tarjoaja ilmoittaa tarjolla olevasta kyydistä, määritellen lähtö- ja maalipaikkansa (tai halutessaan tarkemman reitin välipisteineen), lähtöaikansa, sekä vapaiden paikkojen lukumäärän autossaan.
2. Järjestelmä laskee tarjoajalle parhaimman (kustannuksiltaan⁶ halvimman) reitin lähtöpaikasta maalipaikkaan, ja syntynyt reitti lisätään reittitarjontaan.
3. Kyydin pyytäjä tarvitsee kyydin. Hän ilmoittaa järjestelmälle haluamansa kyydin reunaehdot, kuten aikaisimman hyväksyttävän lähtöajan ja pisimmän hyväksyttävän matkan lähtöpaikasta kyytireitin varrelle, ja optimointikriteerin.
4. Kyydin pyytäjälle pyritään löytämään hänen toiveidensa mukainen kyyti tai kyytiyhdistelmä. Mikäli sopivaa kyytiä ei löydy, tai kyydin pyytäjä ei hyväksy tarjottua kyytiä, siirtyy hän kyydin pyytäjien jonoon.
5. Jonoa käsitellään tietyin väliajoin (esim. 15 min) FCFS-periaatteella. Mahdollisten kyytien joukko koostuu kaikista käsittelyn alkuun mennessä saapuneista kyytitarjouksista.

Ongelman luonne muuttui ratkaisevasti uuden lähestymistavan myötä. Uudessa mallissa ei enää tarvita varsinaista yhdistelyalgoritmia, joka maksimoisi koko järjestelmän hyötyä,

⁶ Kustannus voi olla esimerkiksi matkan pituus tai matka-aika.

vaan ongelma ratkaistaan kulloinkin yhden kyydin pyytäjän hyötyä maksimoiden.

Uuden lähestymistavan ongelmakohdiksi erottuivat vaiheet 2 ja 4 (5). Molemmista vaiheista löytyy selkeitä yhtymäkohtia Suomessakin yleisessä käytössä oleviin internet-pohjaisiin palveluihin. Vaihetta 2 voidaan pitää Keltaisten Sivujen reittihaun⁷, ja vaihetta 4 (5) YTV:n Reittioppaan⁸ kaltaisena järjestelmänä. Kirjallisuuskatsauksen seuraava vaihe keskittyi näiden ongelmien ratkaisumenetelmien kehittämiseen.

Vaihe 2 on itse asiassa kaikessa yksinkertaisuudessaan lyhimmän polun löytämisongelma. Tunnetuin ja yleisimmin käytetty lyhimmän polun ongelman ratkaisumenetelmä on Dijkstran algoritmi. Sen hyödyntäminen perusmuodossaan lieneeärkevin lähestymistapa vaiheen 2 ongelmaan. Artikkelissa [6] vertaillaan Dijkstran algoritmin perusmuotoa, sekä sen A*-muunnosta. Perus-Dijkstran todetaan olevan hyvä ja riittävä algoritmi selvästi Uudenmaan tieverkostoa suuremman alueen (Dallasin metropolialue) käsittelyyn.

Dijkstran algoritmin implementoinnista Javalla on olemassa paljon referenssejä. Yksi käyttökelpoinen lienee artikkeli [8].

Vaihe 4 on periaatteessa myös lyhimmän polun ongelma. Vaiheeseen 2 verrattuna se on kuitenkin hieman monimutkaisempi. Vaiheen 4 kaltaista ongelmaa, eli optimaalisen reitin löytämistä, käsitellään mm. artikkeleissa [2], ja [7].

Artikkeli [2] käsittelee mahdollisesti useista eri osista koostuvan optimaalisen reitin löytämisongelman mallinnusta. Kyseisessä artikkelissa reitin hakijalle löydetään tämän reunaehtojen mukainen reittiyhdistelmä, joka saattaa koostua kävelystä, julkisten liikennevälineiden tarjoamista kyydeistä, sekä itse tilatuista (esim. taksi) kyydeistä.

7 www.keltaisetsivut.fi/cgi-bin/gwi679/gSks/gwx/?model=route.gws

8 www.reittiopas.fi

Artikkeli vaikuttaisi sopivan kaikin puolin tarpeisiimme, ja siitä lienee suurta hyötyä tehtävän mallinnuksessa.

Artikkelissa [7] on erittäin kattava kuvaus vastaavanlaisesta mallista. Myös siinä käytetään lyhimmän polun ratkaisemiseksi Dijkstran algoritmia.

4. Kimppakyytijärjestelmän kuvaus

Suunnittelemamme kimppakyytijärjestelmän tavoitteena on yhdistellä ihmisten työmatkoja siten, että liikenteessä olevien autojen kokonaismäärä olisi mahdollisimman pieni. Järjestelmä on luokiteltavissa päivittäiseksi kimppakyytijärjestelmäksi (Short Term Car Pooling Problem). Tässä kappaleessa esitellään kyseinen kimppakyytijärjestelmä kaikkine toiminnallisuuksineen. Kaikkia tässä kappaleessa mainittavia toiminnallisuuksia ei ole mallinnettu luvussa 6 esiteltävään järjestelmän esimerkkitoteutukseen.

Järjestelmässä on kaksi toimijaryhmää, kyydin tarjoajat ja kyydin pyytäjät. Kyydin tarjoaja ilmoittaa järjestelmään (lähtökohtaisesti edellisenä päivänä) reittinsä lähtöpisteen (L), lähtöajan (t) ja maalipisteen (M). Lisäksi kyydin tarjoaja ilmoittaa vapaiden paikkojen määrän autossaan. Järjestelmän käytettävyyden kannalta päädyttiin malliin, jossa kyydin tarjoajan ei tarvitse joustaa, tai esimerkiksi poiketa aikomaltaan reitiltä kyydin pyytäjien noutamiseksi. Järjestelmä laskee kyydin tarjoajalle optimaalisen reitin tämän antamien lähtö- ja maalipisteiden välille. Olkoon reitti L-A-B-C-M. Tällöin järjestelmään tallentuvat koko reitin lisäksi kaikki välipisteiden muodostamat reitit, esimerkiksi L-A-B ja A-B-C. Jokainen muodostunut reitti sisältää kaikki reittiin kuuluvat pisteet aikaleimoineen.

Kyydin pyytäjä ilmoittaa järjestelmään lähtöpisteensä, maalipisteensä, aikaisimman mahdollisen lähtöaikansa, viimeisen mahdollisen saapumisaikansa, sekä pisimmät hyväksyttävät liityntämatkat lähtöpisteestä reitin varrelle (poimintapisteeseen) ja reitiltä (jättöpisteestä) maalipisteeseen. Kyytipyyntöön saatuaan järjestelmä etsii sillä hetkellä tarjolla olevista reiteistä parhaiten kyydin pyytäjän preferensseihin sopivan reitin. Järjestelmän käytettävyyden kannalta on tärkeää, että kyydin pyytäjä saa välittömästi

kyytipyynnön jätettyään vastauksen, onko sopivaa kyytiä tarjolla. Tämä vaatimus perustelee osaltaan, miksi järjestelmässämme on yksittäisen henkilön hyödyn optimointi asetettu järjestelmän kokonaishyödyn optimoinnin edelle. Mikäli sopiva kyyti löytyy, kyydin pyytäjän on mahdollista hyväksyä, tai hylätä tarjottu kyyti. Mikäli kyydin pyytäjä hyväksyy kyydin, välitetään tarvittavat tiedot kyydin pyytäjältä kyseisen kyydin tarjoajalle ja päivitetään tarjolla olevien reittien vapaana olevat kapasiteetit. Jos taas kyydin pyytäjä hylkää tarjotun kyydin, hänet siirretään halutessaan kyydin pyytäjien jonoon. Samoin toimitaan, mikäli kyydin pyytäjälle ei löydetä sopivaa kyytiä.

Kyydin pyytäjien jonoa käsitellään säännöllisin väliajoin *First Come, First Served*-periaatteella. Jonoa puretaan yksi kerrallaan, ja etsitään jokaiselle pyytäjälle sopivia kyytejä sillä hetkellä tarjolla olevien kyytien joukosta. Kyydin pyytäjällä on jälleen mahdollisuus joko hyväksyä, tai hylätä tarjottu kyyti. Samoin hän voi valita, pysyykö hän edelleen jonossa, vai poistetaanko hänet siitä. Kyydin pyytäjä voi lisäksi asettaa määräajan, jonka jälkeen hänet poistetaan pyyntöjonosta. Käyttäjä voi halutessaan siirtyä kyydin pyytäjistä kyydin tarjoajaksi.

5. Kimppakyytijärjestelmän malli

5.1. Yleistä

Tässä luvussa kuvataan suunnittelemamme kimppakyytijärjestelmän malli. Mallin tarkoituksena on selvittää täydentävästi, miten järjestelmä toimii ja mitä osia se sisältää. Malli kattaa vain kimppakyytijärjestelmän ytimen – miten kyytejä tarjotaan ja miten niitä pyydetään. Lisäksi kuvataan tieverkon esitys ja yhdistelyalgoritmi, eli miten kyydin pyytäjille löydetään kyyti tarjonnasta. Erityisesti mallissa ei oteta kantaa käyttöliittymään, eli siihen miten järjestelmä esitetään loppukäyttäjälle. Simulaattori mallintaa järjestelmän käyttöä ja se kuvataan omassa kappaleessaan.

5.2. Tieverkon kuvaus

Tieverkko esittää jotain todellisen maailman tieverkostoa. Tieverkko on painotettu ja

suunnattu *graafi*, jonka *solmut* vastaavat fyysisiä paikkoja ja *linkit* niitä yhdistäviä tienpätkiä. Tieverkko oletetaan staattiseksi, siis linkit ja solmut eivät muutu ajallisesti. Tämä yksinkertaistaa reitinhakua. Solmuille oletetaan tunnetuksi koordinaatit, joitten avulla voidaan laskea euklidinen etäisyys kahden solmun välillä. Linkit yhdistävät kaksi solmua toisiinsa ja linkin paino tarkoittaa matka-aikaa lähtösolmusta loppusolmuun henkilöautolla.

5.3. Kyytien tarjonta ja reitinhaku

Ajoreitti, tai *reitti*, kuvaa yksittäistä ajomatkaa tieverkon alueella. Reitti koostuu järjestetystä listasta *reittipisteitä*. Jokainen reittipiste koostuu solmusta ja ajasta, jolloin kyseisessä solmussa ollaan. Ensimmäinen reittipiste on siis lähtöpiste ja viimeinen on ajomatkan päätepiste.

Kyydin tarjoaja on käyttäjä joka ajaa omalla autollaan pisteestä L pisteeseen M, ja on valmis tarjoamaan kyydin. *Kyydin tarjous* on sisältää tiedon käytetystä ajoreitistä ja siitä, kuinka monelle kyyditettävälle on tilaa. Kyydin tarjoaja voisi periaatteessa määrätä eksplisiittisesti käytetyn reitin. Voidaan kuitenkin olettaa tarjoajan ajavan nopeinta reittiä. Tällöin kyydin tarjoaja määrittelee lähtöpisteen ja päätepisteen ja joko saapumisajan tai lähtöajan. Kimppakyytijärjestelmä etsii nopeimman reitin lähtöpisteen ja saapumispaikan välillä.

Kyydin tarjoukset tallennetaan järjestelmään ja niitä kutsutaan *avoimiksi tarjouksiksi*. Kyydin tarjous sisältää tiedot

- reitistä
- vapaista paikoista

Kimppakyytijärjestelmä sisältää hakualgoritmin, joka etsii nopeimman *polun* kahden solmun välillä. Kuten kirjallisuuskatsauksessa todettiin, tunnetuin ja yleisimmin käytetty lyhimmän polun ongelman ratkaisumenetelmä on Dijkstran algoritmi. Löydetyistä polusta tehdään reitti käyttäen hyväksi joko saapumisaikaa tai lähtöaikaa. Jos käytetään

lähtöaikaa, asetetaan ensimmäisen reittipisteen solmuksi polun ensimmäinen solmu ja ajaksi lähtöaika. Seuraavan reittipisteen solmu on polun toinen solmu ja aikaan lisätään solmujen välinen matka-aika. Näin saadaan koko reitti aikaiseksi. Jos käytetään saapumisaikaa, polku käsitellään käänteisessä järjestyksessä.

5.4. Kyytien pyyntö

Kyydin pyytäjä on käyttäjä, joka tarvitsee kyydin kahden reittiverkon pisteen välillä. *Kyytimatka* on toteutunut tai mahdollisesti toteutuva matka, jonka kyydin pyytäjä kulkee. On todennäköistä, että juuri täsmälleen sopivia reittejä ei kulje kyydin pyytäjän ohi oikeaan aikaan. Kyyti koostuu *lähtöpisteestä* ja *lähtöajasta*, *loppupisteestä* ja *saapumisajasta*, *liityntämatkoista* ja *kyytireitistä*. Kyytireitti on jonkun kyydin tarjoajan ajoreitin osareitti, eli siis se matka, jonka kyydin tarjoaja kyyditettävälle tarjoaa. Kyytireitin alku- ja loppureittipisteet eivät välttämättä ole ne, joista kyyditettävä lähtee. Lähtöpisteen ja kyytireitin alkupisteen (poimintapisteen) välinen etäisyys on alkuliityntämatka, vastaavasti määritellään loppuliityntämatka. Liityntämatkat oletetaan kuljettavaksi linnuntietä ja niille on määriteltä matkanopeus. Näin saadaan laskettua koko kyytimatka – milloin lähdetään ja milloin ollaan perillä. Käyttämässämme mallissa kyydin pyytäjä siis voi käyttää vain yhtä kyytiä matkansa aikana.

Kun käyttäjä pyytää kyytiä hän syöttää järjestelmään *kyydin pyynnön*. Kyydin pyynnön parametrit koostuvat *lähtö-* ja *maalipaikoista*, *reunaehdoista* ja *optimointikriteeristä*. Lähtö- ja maalipaikat ovat graafin solmuja, ja kertovat mistä mihin kyydin pyytäjä haluaa päästä. Reunaehdot koostuvat aikaikkunasta eli aikaisimmasta *lähtöajasta* ja myöhäisimmästä *perilläoloajasta* ja maksimi liityntämatkoista. Lisäksi voidaan olettaa, että käyttäjä saa määritellä liityntämatkan matkanopeuden.

Voidaan ajatella, että pyyntöjä on kahdenlaisia. Joko käyttäjän on oltava tiettyyn aikaan mennessä perillä, tai sitten hän haluaa lähteä tiettyyn aikaan, mutta ei aikaisemmin. Ensimmäisessä tapauksessa voitaisiin olettaa käyttäjän haluavan lähteä mahdollisimman myöhään liikkeelle ja toisessa taas pääsevän mahdollisimman aikaisin perille. Verrataan

tilannetta työhön saapumiseen ja töistä lähtemiseen. Optimointikriteerina siis joko maksimoidaan lähtöaikaa tai minimoidaan saapumisaikaa.

Kyydin pyyntö sisältää seuraavat tiedot

- Lähtöpaikka L
- Maalipaikka M
- Aikaisin sallittu lähtöaika t_{alku}^{\min}
- Myöhäisin sallittu perilläoloaika t_{loppu}^{\max}
- Pisin mahdollinen alkuliityntämatka r_{alku}^{\max}
- Pisin mahdollinen loppuliityntämatka r_{loppu}^{\max}
- Liityntämatkojen matkanopeus v_r
- Optimointikriteeri (myöhäisin lähtöaika t_{alku} tai aikaisin perilläoloaika t_{loppu})

5.5. Kyydinhaku

Mallin tehtävänä on yhdistellä kysyntää ja tarjontaa, jossakin mielessä järkevällä tavalla. *Yhdistelyalgoritmi* tarkoittaa sitä, miten olemassa olevista tarjotuista reiteistä löydetään kyydin pyytäjille paras tai parhaat kyydit. Yhdistelyalgoritmi on mahdollista toteuttaa monella tavalla. Käyttämässämme mallissa tarjotaan vain sellaisia kyytimatkoja, joissa ei tarvitse vaihtaa kyytiä matkan aikana. Liityntämatkat on abstrahoitu edellisessä kappaleessa esitetyllä tavalla. Tällöin yksittäiselle kyydin pyyntö ja kyydin tarjous parille voidaan nopeasti laskea yksikäsitteinen kyytireitti. Käyttämämme malli toimii siten, että yksittäiselle kyydin pyynnölle etsitään aina paras kyyti sillä hetkellä järjestelmässä olevista avoimista tarjouksista. Järjestelmä ei siis suorita kokonaisoptimointia. Jos tarjottu kyyti ei käyttäjää miellytä, hän voi jättää kyydin pyyntönsä jonoon, joka voidaan

käsitellä esimerkiksi tietyin väliajoin. Kyydinpyyntöjono käsitellään kuitenkin järjestyksessä pyyntö kerrallaan. Kokonaisuudessaan malli on näin ollen käsitteellisesti yksinkertainen ja helppo toteuttaa.

Kyydin pyyntö ja tarjousparille lasketaan kyytireitti seuraavalla tavalla. Valitaan kyytireitin alkupisteeksi se reittipiste, jonka euklidinen etäisyys lähtöpaikasta on lyhin. Vastaavasti kyytireitin loppupiste on se reittipiste, jonka euklidinen etäisyys maalipaikasta on lyhin. Lähtöaika saadaan vähentämällä kyytireitin alkupisteen ajasta alkuliityntämatkaan kuluva aika. Saapumisaika puolestaan lasketaan lisäämällä kyytireitin loppupisteen aikaan loppuliityntämatkaan kuluva aika.

Olkoon avointen reittien joukko on A . Yksittäiselle avoimelle reitille ja kyydin pyynnölle voidaan laskea kyytimatkan lähtöaika t_{alku} ja loppuaika t_{loppu} . Yhdistelyalgoritmin tehtävänä on siis löytää paras sellainen kyytimatka, jolla alkuliityntämatka r_{alku} ja loppuliityntämatka r_{loppu} ovat pienempiä kuin pyynnössä määriteltiin ja joka mahtuu käyttäjän määrittelemään aikaikkunaan $(t_{alku}^{\min}, t_{loppu}^{\max})$. Käyttäen hyväksi tässä ja edellisessä luvussa määriteltyjä symboleita, optimointiongelma voidaan kirjoittaa muodossa:

$$\begin{aligned} \max \quad & t_{alku}(a) \\ \text{s.e.} \quad & t_{alku} \geq t_{alku}^{\min}, \\ & t_{loppu} \leq t_{loppu}^{\max} \\ & r_{alku} \leq r_{alku}^{\max} \\ & r_{loppu} \leq r_{loppu}^{\max} \end{aligned} \quad (1)$$

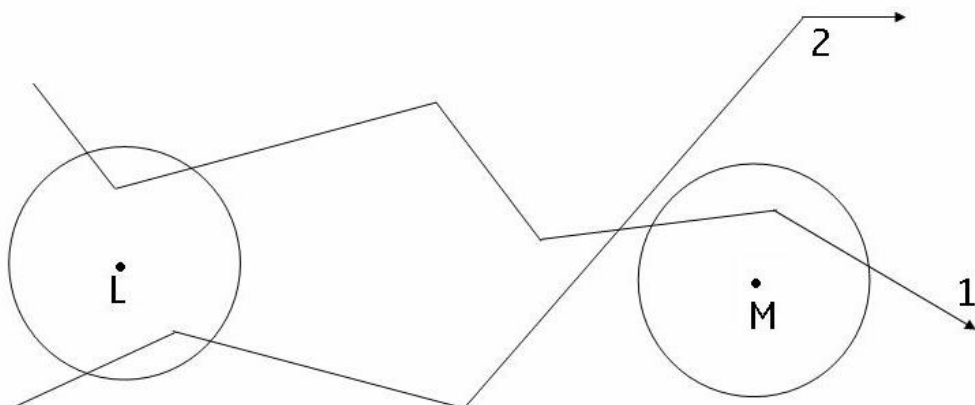
tai

$$\begin{aligned}
 \min \quad & t_{loppu}(a) \\
 \text{s.e.} \quad & t_{alku} \geq t_{alku}^{min}, \\
 & t_{loppu} \leq t_{loppu}^{max} \\
 & r_{alku} \leq r_{alku}^{max} \\
 & r_{loppu} \leq r_{loppu}^{max}
 \end{aligned} \tag{2}$$

missä $a \in A$.

Yksinkertaisin mahdollinen yhdistelyalgoritmi toimii seuraavalla tavalla. Yksittäiselle kyydin pyynnölle käydään läpi kaikki avoimet reitit yksi kerrallaan. Lasketaan jokaiselle kyytimatka kyydin pyynnön parametrien mukaisesti. Niistä kyytimatkoista, jotka toteuttavat reunaehdot, valitaan paras tai parhaat optimointikriteerin mukaisesti. Jos ollaan kiinnostuneita vain parhaasta kyytimatkasta, voidaan vertailu suorittaa vain parhaan jo löydetyn kyytimatkan ja juuri lasketun kyytimatkan välillä.

Kuvassa 5.1 on esitetty kaksi avointa reittiä. Reitti 2 ei kulje tarpeeksi läheltä maalipaikkaa. Reitin 1:n sopivuus riippuu siitä, mahtuuko kyytimatka haluttuun aikaikkunaan.



Kuva 5.1. Esimerkkireitit

Kuvattu yksinkertainen yhdistelyalgoritmi on toteutettu esimerkkitoteutuksessa. On mahdollista suunnitella myös hienostuneempia yhdistelyalgoritmeja. Näitten toimivuus riippuu siitä miten tarjotut reitit on tallennettu järjestelmään. Kutsutaan näitä heuristiikoiksi ja esitetään muutama vaihtoehto.

Tarjotut reitit voidaan järjestää reitin lähtöajan mukaan ja käsitellä vain ne, joitten lähtöaika on pienempi kuin kyydin pyynnön myöhäisin perilläoloaika. Tällöin käsiteltävien reittien joukkoa esikarsitaan. Reittejä voidaan käsitellä myös nopeammin (käymättä läpi kaikkia reittipisteitä) laskemalla heuristisesti aikaisin mahdollinen perilläoloaika suoraan reitin lähtöpisteen ja kyydin pyynnön maalipisteen etäisyydestä, kun tiedetään suurin mahdollinen matkanopeus.

Kun kyydinhaku löytää kyytivaihtoehdon käyttäjälle, tälle annetaan mahdollisuus hyväksyä ehdotettu kyytitarjous. Jos kyytitarjous hyväksytään, kyydin pyyntö siirretään käsiteltyjen listaan ja vähennetään kyydin tarjouksen vapaitten paikkojen lukumäärää yhdellä. Jos tarjottu kyyti täyttyy, siirretään myös tarjottu kyyti käsiteltyjen listaan.

5.6. Yhteenveto mallin toiminnasta

Esitetään vielä yhteenveto mallin toiminnasta.

Kyydin tarjonta

- Kyydin tarjoaja ilmoittaa mistä, mihin ja milloin aikaa ajaa autollaan ja kuinka monelle on paikkoja.
- Järjestelmä laskee parhaan ajoreitin ja tallettaa tarjouksen ja reitin.

Kyydin pyyntö

- Kyydin pyytäjä ilmoittaa mistä ja mihin on matkalla, asettaa reunaehdot ja kertoo optimointikriteerin.
- Järjestelmä etsii avoimista tarjouksista parhaan kyytivaihtoehdon.

- Jos kyytiä ei löydy tai kyydin pyytäjä ei hyväksy tarjottua kyytiä hän voi jättää pyyntönsä pyyntöjonoon.
- Jos pyytäjä hyväksyy kyydin, pyyntö poistetaan järjestelmästä.
- Mikäli kyydin tarjonneen paikat on nyt täytetty, myös hänet poistetaan järjestelmästä.

Muita toiminnallisuuksia

- Pyyntöjono käsitellään siten että jonon pyynnöt syötetään järjestelmään yksi kerrallaan järjestyksessä ikään kuin ne olisivat uusia pyyntöjä.
- Vanhentuneet pyynnöt ja tarjoukset voidaan poistaa järjestelmästä automaattisesti.

6. Kimppakyytijärjestelmän esimerkkitoteutus

6.1. Lähtökohta ja tavoitteet

Tehtävänannon mukaisesti kimppakyytijärjestelmästä tehtiin myös esimerkkitoteutus, joka toteuttaa suunnittelemamme mallin. Esimerkkitoteutuksen lisävaatimuksiksi oli asetettu hyvin määritellyt tiedonsiirtorajapinnat. Projektin kuluessa päätimme toteuttaa myös simulaattorin, joka mallintaa järjestelmän käyttöä. Näin ollen järjestelmän toiminnasta piti saada sellainen, että erilaisten yksinkertaisten tunnuslukujen (esim. kyydin löytämistodennäköisyyden) laskeminen olisi helppoa.

Käytössämme meillä oli työn asettajalta saatu Uudenmaan tieverkon kuvaus. Käytännössä kuvaus sisälsi tiedot solmuista ja linkeistä tekstitiedostomuodossa. Solmut esittävät tienristeyksiä tai taajama-alueita ja linkit niitä yhdistäviä tienpätkiä. Lisäksi oli käytettävissä matka-aika solmujen välillä, solmujen koordinaatit ja kuntakoodit, joita käytettiin simulaattorissa. Tieverkko käsittää noin 2000 solmua ja 5000 linkkiä.

Tavoitteena ei siis ollut tuottaa suorituskyyvyltään optimoitua esimerkkijärjestelmää, vaan pikemminkin loogisesti rakennettu järjestelmä, jota on helppo muokata. Näistä lähtökohdista päätettiin toteuttaa järjestelmä Java-ohjelmointikielellä. Sen lisäksi, että

kyseinen ohjelmointikieli oli se, jota kaikki projektiryhmän jäsenet osaavat, Javalla saatiin myös helposti käyttöön oliomaailman käsitteet, jolloin kimppakyytijärjestelmä on mahdollista integroida osaksi jotain ulkoista järjestelmää tekemättä muutoksia itse kimppakyytijärjestelmään.

Esimerkkitoteutuksen ohjelmoinnin yhteydessä suunniteltiin ja toteutettiin myös simulaattori käyttämään esimerkkitoteutusta. Simulaattori käyttää samoja tietomalleja kuin esimerkkitoteutuskin ja on luonnollisesti riippuvainen siitä. Esimerkkitoteutus on kuitenkin itsenäinen ohjelma ja toimii ilman simulaattoria. Simulaattorista kerrotaan enemmän seuraavassa luvussa.

6.2. Toteutus

Esimerkkitoteutus (myöhemmin: *ohjelma*) käsittää koko edellisessä kappaleessa kuvatun mallin. Sen pääkomponentit ovat tieverkko tai graafi, reitinhaku algoritmi, yhdistelyalgoritmi ja kyytitarjouksia ja pyyntöjä hallinnoivat hallinnoijat, eli *managerit*. Yleisesti voidaan sanoa, että mallissa määritellyille käsitteille on oliovastine esimerkkitoteutuksessa. Esimerkiksi kyydin pyyntöä vastaa luokka RideRequest, joka voidaan parametroida mallissa kuvatulla tavalla.

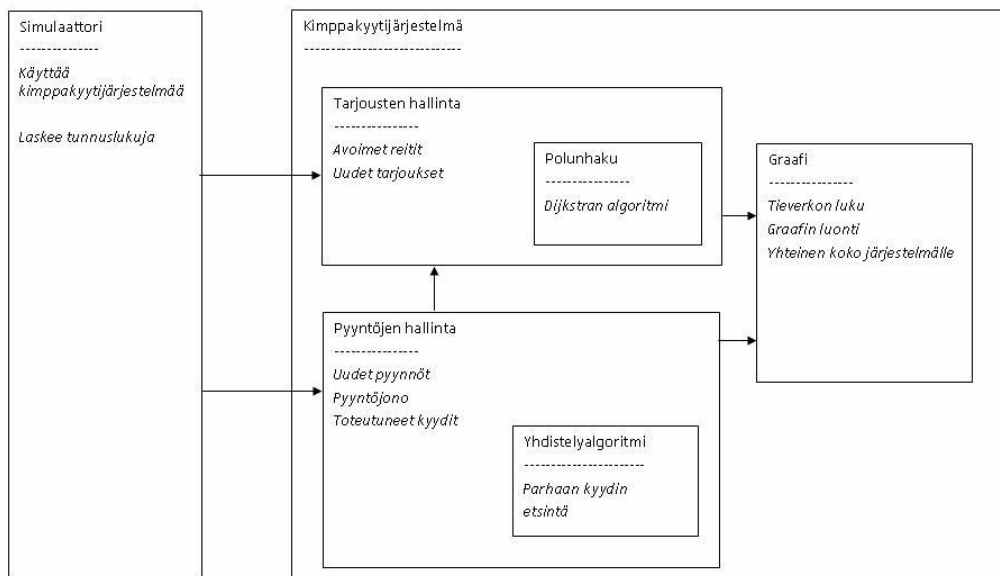
Graafi eli tieverkko luetaan tekstitiedostosta ohjelman käynnistyksen yhteydessä. Tieverkkoa voi siis halutessaan vaihtaa ja ohjelman tulisi siitä suoriutua. Graafin perusoliot solmut (ohjelmassa NodeImpl) ja linkit luodaan vain kerran. Kaikki muut ohjelman komponentit käyttävät samaa graafia, esimerkiksi reittipisteet sisältävät viitteen aina johonkin perussolmuun.

Kyydin pyyntöjä ja tarjouksia hallinnoivat kaksi manageria (RideManager, RouteManager), kutsutaan niitä pyyntöjen hallinnaksi ja tarjousten hallinnaksi. Nämä tarjoavat rajapinnat tarjousten ja pyyntien lisäämiseen järjestelmään. Kyydin tarjontaan tarvitaan polunhakua, joka on siis Dijkstran algoritmi. Dijkstrassa käytetään samoja perussolmuja kuin muuallakin järjestelmässä, joten reitinluonti on polun löydyttyä helppoa. Dijkstran toteutusta ei ole optimoitu haun nopeutta ajatellen, toiminta on

testattu.

Kyytien pyyntöjen luonnin lisäksi tarvitaan yhdistelyalgoritmia. Kun kyytipyyntöille haetaan parasta reittiä, pyynnön hallinta kysyy tarjonnan hallinnalta listaa järjestelmässä olevista tarjouksista. Listana palautetaan kaikki järjestelmässä olevat kyytitarjoukset. Ohjelmassa ei ole toteutettu kyytitarjousten esikarsintaa esimerkiksi ajan mukaan. Näistä yksi kerrallaan arvioidaan kyytitarjouksen hyvyttä ja tallennetaan paras – riippuen toki pyynnön optimointikriteeristä.

Kyydin pyynnöt ja tarjoukset, haetut reitit ja toteutuneet reitit pidetään kaikki muistissa järjestelmän suorituksen ajan, jotta simulaattori voi laskea niistä haluamiaan lukuja. Kuvassa 6.1 on esitetty ohjelman komponentit ja simulaattori.



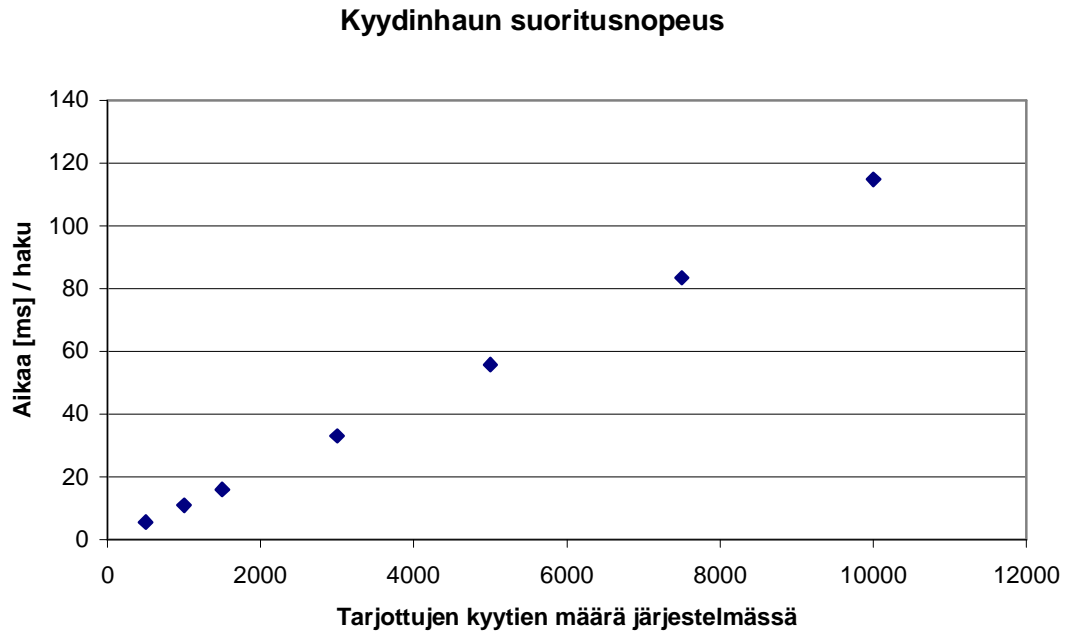
Kuva 6.1. Kimppakyytijärjestelmän esimerkitoteutuksen yleiskuva

6.3. Toiminta

Ohjelmaa on testattu ja se on todettu toimivaksi. Viimeistään simulaatiot olisivat paljastaneet, jos jokin olisi ollut pahasti vialla. Simuloinnin ansiosta ohjelmasta löytyi toki monta pientä virhettä. Ohjelman saa myös tulostamaan ruudulle testimielessä esimerkiksi haettuja kyytejä. Myös tämän raportin kansilehden kuva Uudenmaan tieverkosta on tehty ohjelmalla.

Ohjelman suorituskykyä on myös mitattu tavallisella (itse asiassa yli 5 vuotta vanhalla) kotikoneella. Periaatteessa kyytien tarjonta ja siihen liittyvä reitinhaun nopeus ovat riippumattomia järjestelmässä jo olevista kyytitarjouksista. Dijkstra on nopea algoritmi ja sillä saatiin varsin yksinkertaisestikin toteutettuna kyytitarjouksen käsittelyajan suuruusluokaksi noin 8 millisekuntia.

Kyytien pyynnön käsittely, tai oikeammin yhdistelyalgoritmin, suorituskyvyn voisi etukäteen ajatella olevan suurin piirtein lineaarisesti riippuvainen jo tarjotuista kyydeistä. Alla oleva diagrammi (kuva 6.2) suorituskykytestistä osoittaa arvelun oikeaksi. Yleisesti voitaneen todeta, että järjestelmän suorituskyky on täysin riittävä. Vaikka kyydin tarjouksia olisi järjestelmässä 10000 kappaletta, ohjelma löytää parhaan kyydin edelleen sekunnin murto-osassa.



Kuva 6.2. Kyydinhaun suoritusnopeus

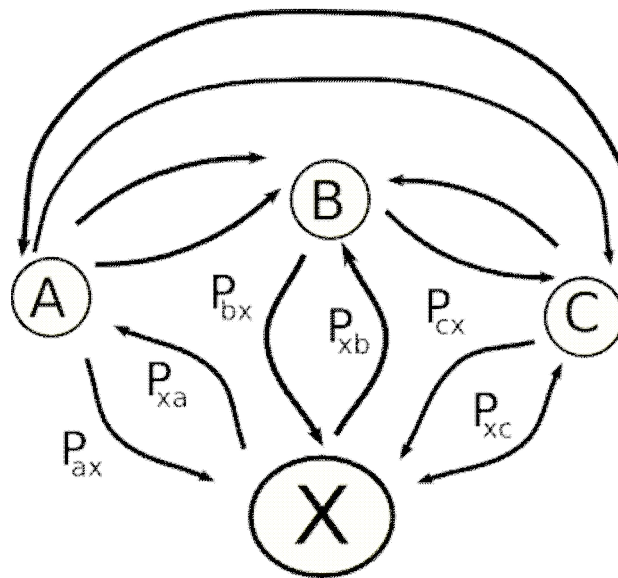
7. Kimppakyytijärjestelmän simulointi

7.1. Simulaatioiden toteutus

Käytettävissä oleva tieverkon kuvaus on valmiiksi jaettu alueisiin, jotka vastaavat suuria keskuksia. Näissä simuloinneissa on liikenne mallinnettu pääasiassa näiden suurten keskusten välillä tapahtuvaksi. Kullekin alueelle on määrätty todennäköisyys olla matkan lähtöpaikka, sekä todennäköisyys olla matkan maalipaikka. Tätä periaatetta on havainnollistettu kuvassa 7.1. Simulaatioissa käytetty matkajakauma on esitetty taulukossa 7.1. Taulukon arvoista saadaan kuvan esittämät todennäköisyydet kaavalla $P_{Matka}(AB) = P_{Lähtö}(A)P_{Loppu}(B)$. Kyydin pyytäjien ja kyydin tarjoajien oletetaan noudattavan samaa jakaumaa.

Taulukossa 7.1 esiintyvät myös alueet ”US” ja ”Muut”. Alue ”US” on uudenmaan alueelle ulkopuolelta tuleva syöttöliikenne, eikä sen oikeastaan tarvitsisi olla mallissa.

Sitä vastaavat todennäköisyydet ovat kuitenkin sen verran pieniä, ettei sen mukanaololla ole merkitystä. Alue "Muut" sisältää ne tieverkon solmut jotka eivät kuulu mihinkään määriteltyyn keskukseseen.



Kuva 7.1 Simuloinneissa käytetty liikenteen malli.

Taulukko 7.1. Simuloinneissa käytetty matkojen suuntajakauma (aamuruuhka)⁹.

	P(Lähtö)	P(Maali)
Helsinki	0.157	0.567
Espoo	0.160	0.155
Vantaa	0.150	0.146
Lohja	0.044	0.011
Hyvinkää	0.044	0.011
Porvoo	0.042	0.011
Nurmijärvi	0.042	0.010
Tuusula	0.039	0.010
Järvenpää	0.037	0.009
Kirkkonummi	0.033	0.008
Vihti	0.031	0.008
US	0.029	0.007
Kerava	0.021	0.005
Tammisaari	0.021	0.005
Mäntsälä	0.019	0.005
Muut	0.131	0.032

Simulaatioissa on tarkasteltu tilannetta, jossa kyydin tarjoukset ja pyynnöt on syötetty järjestelmään etukäteen ja kaikki tarjoukset ja pyynnöt ajetaan kerralla yhdistelyalgoritmien läpi. Mukana ei siis ole jonoa kyydin pyynnöille jotka eivät heti saaneet kyytiä, eikä toisaalta kyydin tarjouksiakaan tule lisää. Simulointiskenaarioita on pääpiirteissään kaksi: aamuruuhka ja iltapäiväruuhka.

Aamuruuhkasimulaatiossa, sekä kyydin pyytäjien, että kyydin tarjoajien oletetaan haluavan olla töissä 2 tunnin sisällä. Tämä tarkoittaa, että kaikkien käyttäjien maaliaika on välillä 0-120 minuuttia. Koska kyseessä on aamusimulaatio, kaikki käyttäjät haluavat

⁹ Käyttämämme matkojen suuntajakauma on laskettu työn asettajalta saadusta (eri alueiden välillä kuljettujen) matkojen määrää kuvaavasta matriisista. Esimerkiksi P(Lähtö) on laskettu siten, että matriisista on laskettu tietyltä alueelta lähteneiden matkojen määrän suhteellinen osuus kaikesta liikenteestä. Todellisuudessa todennäköisyys sille, että satunnainen matka kulkee kahden lähikunnan välillä saattaa olla suurempi kuin sille, että matka kulkisi kahden kunnan välillä, jotka ovat kauempana toisistaan (vaikka molempien määränpäiden P(Maali) olisi sama. Tätä ei ole otettu huomioon käyttämässämme simuloinneissa.

ehdottomasti olla töissä viimeistään määrättyyn maaliaikaansa mennessä. Etsitään siis paras reitti optimointiongelmassa (1) esitetyllä tavalla maksimoiden lähtöaikaa.

Iltapäiväruuhkasimulaatiossa liikenteen suunta kääntyy. Tämä tarkoittaa käytännössä taulukon 7.1 sarakkeiden järjestyksen kääntämistä. Lisäksi ehdot, joilla kyytien kysyntä ja tarjonta luodaan, muuttuu. Iltapäivällä käyttäjät haluavat lähteä mahdollisimman tarkkaan tiettyyn aikaan, eikä tästä ajasta voida nyt joustaa. Töistä ei siis voi lähteä aikaisemmin, kun taas aamusimulaatiossa lähtöajalla ei ollut takarajaa. Jälleen oletetaan, että kaikkien käyttäjien työajat noudattavat samaa jakaumaa. Näin ollen kaikille käyttäjille arvotaan töistä lähtöaika tasajakaumasta väliltä 0-120 minuuttia. Perillepääsyn ajankohta ei tässä tapauksessa ole reunaehtona. Reitit valitaan kuten edellä, mutta nyt valitaan optimointiongelma (2), maaliajan minimointi.

Simulaattorissa voidaan säätää seuraavia kyydin pyyntöjen ominaisuuksia:

- **Liityntänopeus:** Nopeus jolla kyydin pyytäjä liikkuu kahden kartan solmun välisen matkan ilman kyytiä.
- **Suurin sallittu liittymämatka alussa/lopussa:** Suurin matka jonka kyydin pyytäjä on valmis siirtymään lähtö/maalipisteestään reitille
- **Toleranssi:** Kuinka paljon kyydin pyytäjä on valmis joustamaan aikataulustaan alku tai loppuajasta.
- Onko merkitsevä aika lähtöaika vai maaliaika (eli onko kyseessä aamu- vai iltapäiväruuhkasimulaatio)

Kaikissa simulaatioissa käytettiin seuraavia asetuksia

- Liityntänopeus on 30 km/h. Melko nopea liityntänopeus kuvaa sitä, että kotoa lähtöpisteeseen saatetaan siirtyä muutenkin kuin kävellen
- Suurin sallittu liityntämatka alussa ja lopussa on 5000 metriä. Käytetyn reittiverkon luonteesta johtuen ei paljon pienemmät liityntämatkat olisi olleet järkeviä.

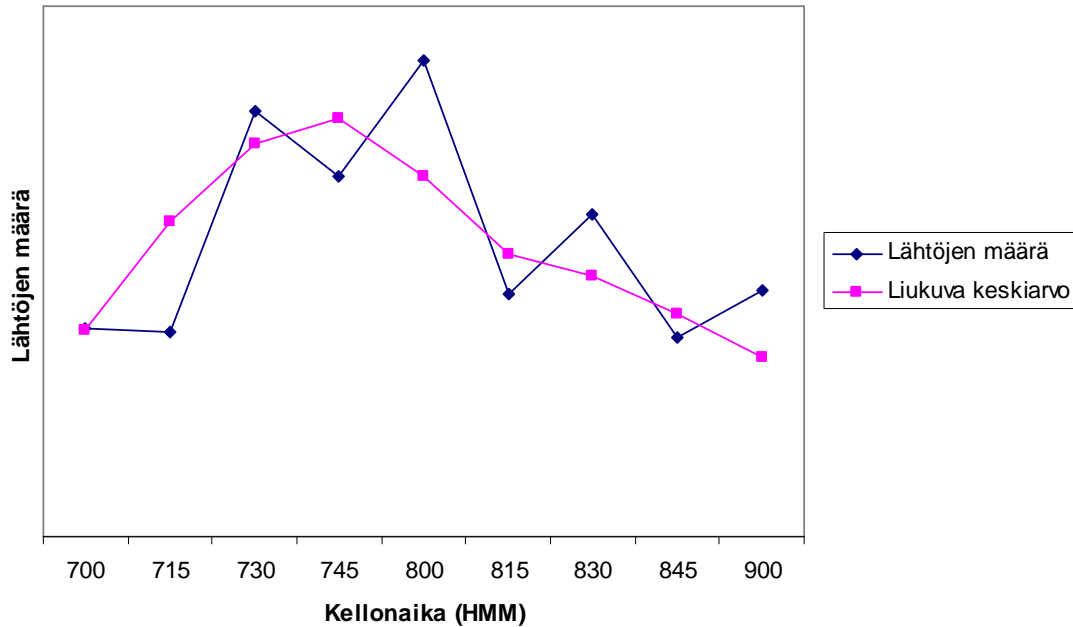
Skenaariokohtaiset asetukset on esitetty simulointitulosten yhteydessä

Kyydin tarjoajien ominaisuuksia ei toteutetussa simulaattorissa voida muuttaa ajon aikana. Kaikissa simulointiskenaariot toistettiin kymmenen kertaa. Lasketut tunnusluvut ovat kaikkien ajojen aritmeettisia keskiarvoja. Lasketut tunnusluvut ovat

- **Kyydin löytämistodennäköisyys:** Kyydin pyyntöjen onnistumisprosentti. Kuinka suuri osa kyydin pyytäjistä sai kyydin
- **Keskimääräinen liityntämatka:** Liittymämatkojen lähtöpisteestä reitin alkuun ja reitin loppupisteestä maalipaikkaan summan keskiarvo.
- **Keskimääräinen odotusaika.** Kuinka kauan ennen asetettua maaliaikaa kyydin pyytäjä saapuu maalipaikkaansa tai kuinka kauan pienimmän sallitun lähtöajan jälkeen kyydinpyytäjä pääsee kyytiin. Ensimmäinen tapaus lasketaan aamuruuhkassa ja jälkimmäinen tapaus iltapäiväruuhkassa.
- **Keskimääräinen kyydissäoloaika:** Keskimääräinen auton kyydissä vietetty aika. Tämä tunnusluku mittaa epäsuorasti sitä, miten pitkille matkoille kyydin pyytäjät saavat kyytejä.

Simulaatioissa käytetään tasajakaumaa lähtö ja maaliaikojen jakaumina. Todellisempi lähtöaikajakauman *muoto* aamuruuhkalle on esitetty kuvassa 7.2. Lähtöaikajakauman muoto on piirretty työn asettajalta saatujen tietojen perusteella. Kuvasta nähdään, ettei tasajakauma täysin vastaa todellista jakaumaa aikavälillä 7:15–9:15. Kuitenkin välillä 7:15–8:15 tasajakauma olisi melko hyvä approksimaatio.

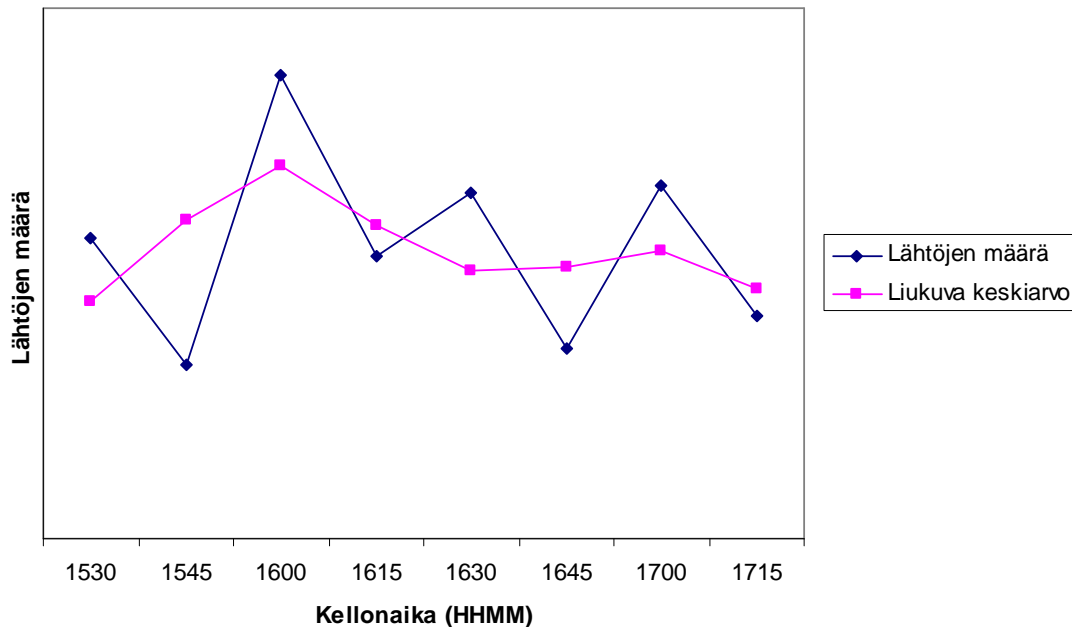
Aamuruuhkan lähtöaikajakauma



Kuva 7.2 Aamun todellinen lähtöaikajakauma

Iltapäivän lähtöaikajakaumasta (kuva 7.3) suunnilleen vastaava määrä lähtöjä on välillä 15:30:17:30. Tällä välillä jakauma on myös melko tasainen. Pieni laskeva trendi aikavälin loppua kohden on kuitenkin havaittavissa. Tasajakauman pitäisi olla siedettävä approksimaatio tässäkin tapauksessa

Iltaruuhkan lähtöaikajakauma



Kuva 7.3 Iltapäivän todellinen lähtöaikajakauma

Simulaatioissa käytettiin siis seuraavia oletuksia:

- Lähtö ja maaliajat ovat tasajakautuneita: $t \sim Uniform(0,120)$
- Liikennettä on pääasiassa suurten keskusten välillä.
- Kyydin pyytäjien ja tarjoajien matkat noudattavat samaa taulukossa 7.1 esitettyä jakaumaa tai sen käännteistä jakaumaa.
- Kyydin pyytäjien ja tarjoajien lähtö- ja maaliajat noudattavat samaa jakaumaa
- Kyydin tarjoajat ovat valmiita ottamaan maksimissaan 2 henkilöä kyytiin

7.2. Simulointituloksia

7.2.1. Optimaalisen tarjonnan ja kysynnän suhteen selvittäminen

Ensimmäiseksi tarkastellaan optimaalista tarjonnan ja kysynnän suhdetta

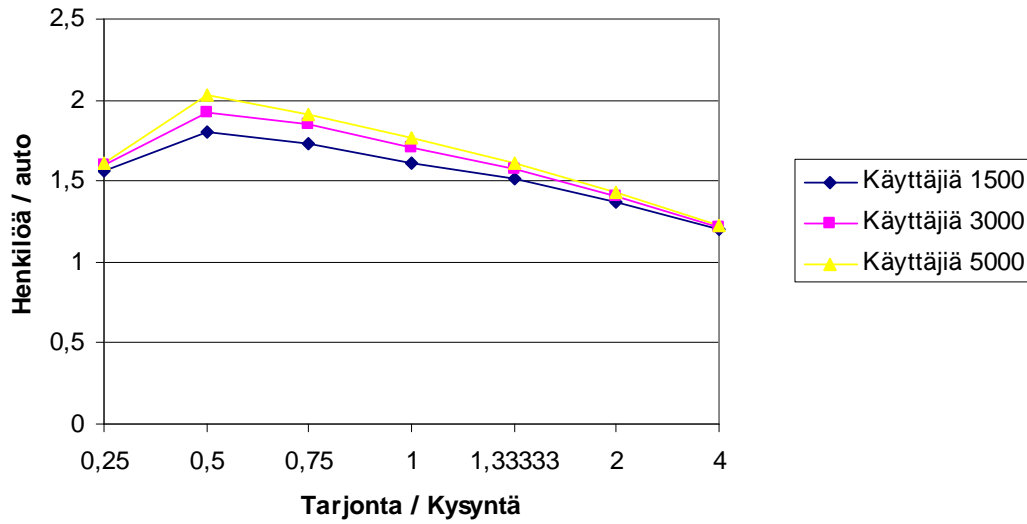
kimppakyytijärjestelmässä. Tarjonnan ja kysynnän välistä suhdetta voidaan säädellä jonkin verran tekemällä kyydin tarjoamisesta houkuttelevampaa tai vähemmän houkuttelevaa. Yritetään löytää tarjonnan ja kysynnän suhde, joka minimoisi liikenteessä olevien autojen määrän.

Oletetaan, että jokainen kyydin pyytäjä ajaa omalla autollaan töihin, mikäli kyytiä ei löydy. Tällöin edellä esitetty ongelma voidaan formuloida matemaattisesti

$$\begin{aligned} \min \quad & (1-p)D + S \\ \text{s.e.} \quad & D + S = N \end{aligned} \quad (3)$$

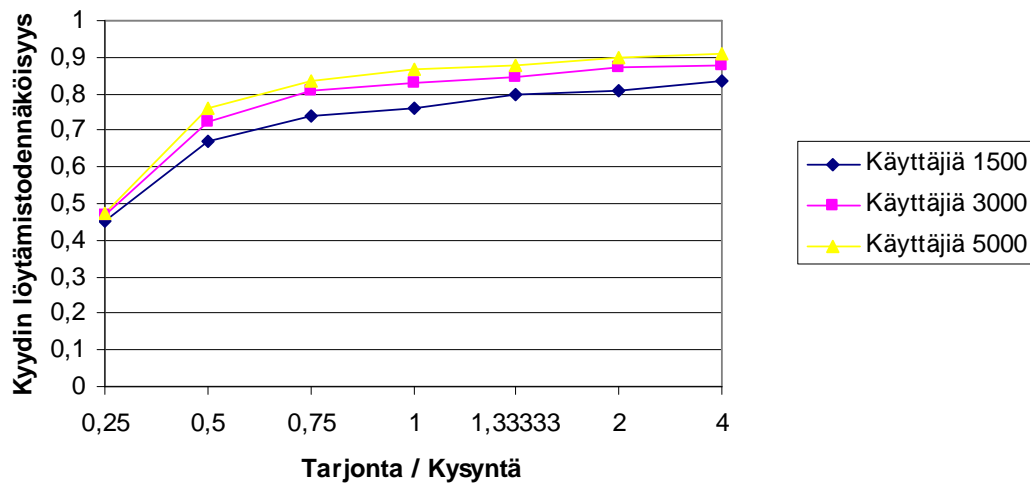
missä p on kyydin löytämistodennäköisyys, D on kysyntä (kyytipyyntöjen määrä), S tarjonta (tarjottujen kyytien määrä) ja N käyttäjien määrä järjestelmässä.

Erilaisia skenaarioita on tutkittu kuvissa 7.4 ja 7.5 (aamuruuhkasimulaatioita eri käyttäjämäärillä). Kokeiluissa on mukana tarjonta-kysyntä suhteet 4:1, 2:1, 4:3, 1:1, 3:4, 1:2 ja 1:4. Näistä suhteista, autojen täyttöaste saavuttaa maksiminsa tarjonnan ja kysynnän suhteella 1:2. Kyydin löytämistodennäköisyydet nousevat jonkin verran vielä tarjonnan suhteellisen määrän kasvaessa, mutta kasvu ei ole kuitenkaan kovin suurta. Vaikuttaisi siis siltä, että tarjonnan ja kysynnän haettu optimaalinen suhde on 1:2. Sekä aamu- että iltapäiväruuhkasimuloinneilla saatiin sama tulos. Kyydin tarjousten *kapasiteetin* (kuinka monta henkilöä kyydin tarjoaja on valmis ottamaan kyytiin) nostaminen kolmeen ei vaikuttanut optimaaliseen suhteeseen.

Henkilöä / auto eri tarjonnan ja kysynnän suhteilla

Kuva 7.4. Liikenteessä olevien (järjestelmän käyttäjien) autojen keskimääräinen täyttöaste eri tarjonnan ja kysynnän suhteilla ja käyttäjämäärillä.

Kyydin löytämistodennäköisyys eri tarjonnan ja kysynnän suhteilla



Kuva 7.5: Kyydin löytämistodennäköisyys eri tarjonnan ja kysynnän suhteilla ja käyttäjämäärillä.

7.2.2. Aamuruuhka

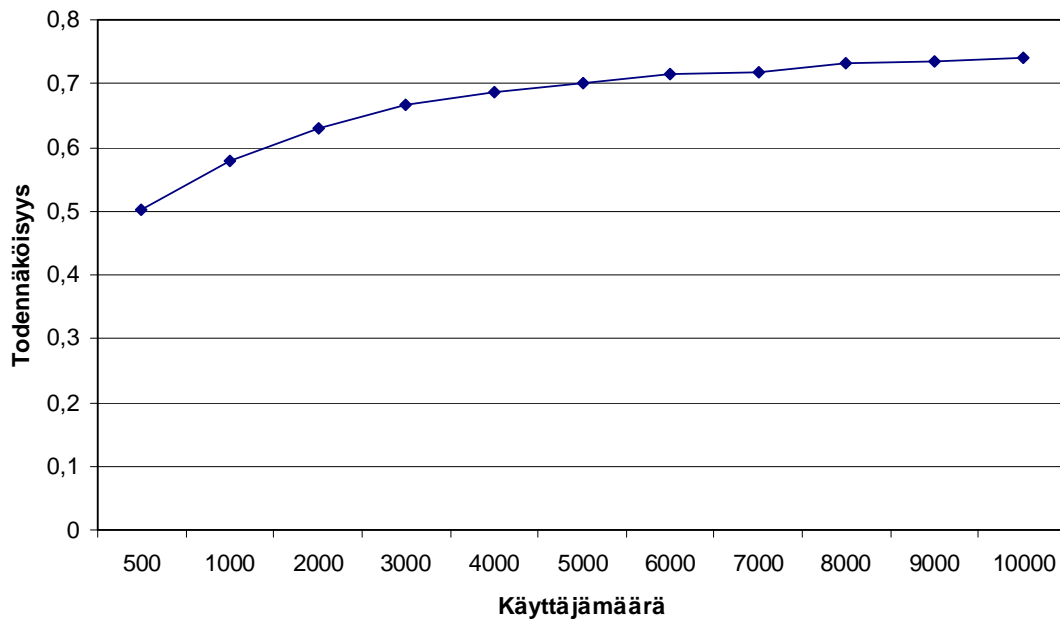
Aamuruuhkan simuloinneissa käytettiin seuraavia edellä määriteltyjen parametrien arvoja

- Ajallisena reunaehtona käytetään myöhäisintä sallittua perilläoloaikaa.
- Töihin on päästävä ajallaan, eikä myöhäisimmästä perilläoloajasta voida joustaa.
- Lähtöajalla ei ole merkitystä.
- Matkojen suuntajakauma on taulukossa 7.1 esitetty jakauma.

Kuvassa 7.6 on esitetty kyydin löytämistodennäköisyyksiä aamuruuhkassa. Jo melko pienillä käyttäjämäärillä aamuruuhkassa päästään kohtuullisen suureen kyydin löytämistodennäköisyyteen. Todennäköisyyden kasvu alkaa selkeästi hidastua n. 5000 käyttäjän rajan jälkeen. Kyydin löytämistodennäköisyys on kuitenkin vain keskiarvo kaikkien alueiden välisten kyytien löytämistodennäköisyyksistä. Esimerkiksi Helsingin ja Helsingin lähikuntien välillä on löytämistodennäköisyys paikoitellen jopa 100 %.

Toisaalta pienempien alueiden välillä ei välttämättä ole ollut lainkaan liikennettä tai näiden välisessä liikenteessä kyydin löytämistodennäköisyys on erittäin pieni. Espoosta ja Vantaalta Helsinkiin suuntautuvien matkojen kyydin löytämistodennäköisyydet olivat yli 90 % jo 500 käyttäjällä. Tulokset ovat kuitenkin erittäin riippuvaisia käytetystä matkojen suuntajakaumasta. Täysin satunnaisilla lähtö- ja määränpääjakaumilla testattaessa jäivät todennäköisyydet säännönmukaisesti alle 60 prosentin isoillakin käyttäjämäärillä; lisäksi kyydin löytämistodennäköisyyden varianssi oli kohtuullisen suurta.

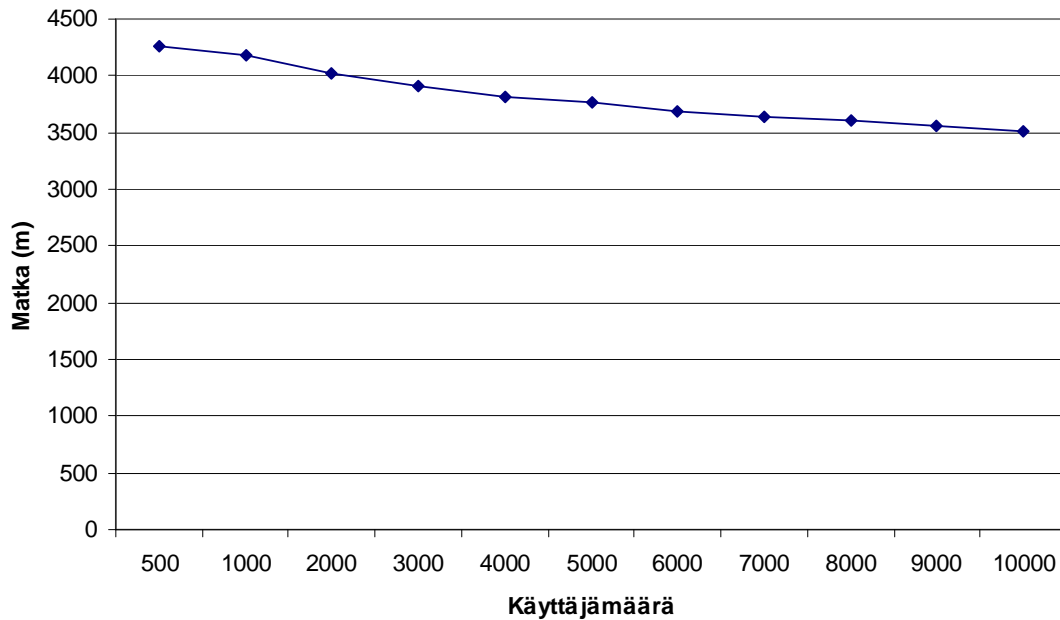
Kyydin löytämistodennäköisyys



Kuva 7.6 Kyydin löytämistodennäköisyys aamuruuhkassa eri käyttäjämäärillä

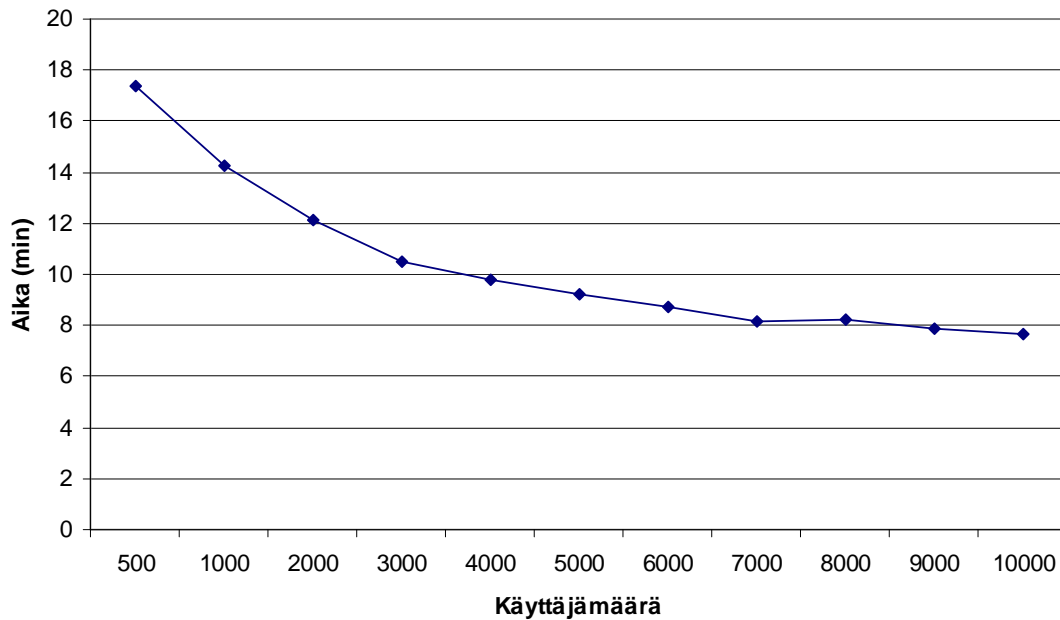
Keskimääräinen liityntämatka (kuva 7.7) näyttää lähenevän asymptoottisesti jotakin lukua, joka on hieman alle 3500 metriä. Keskimääräisen liityntämatkan lyhenemiseen vaikuttaa ilman muuta käytettävissä oleva verkon kuvaus. Verkon kuvaus on melko harva ja solmujen väliset etäisyydet ovat yleensä kilometrejä, joten nämä tulokset ovat lähinnä suuntaa antavia.

Keskimääräinen liityntämatka



Kuva 7.7 Keskimääräiset liityntämatka aamuruuhkassa eri käyttäjämäärillä

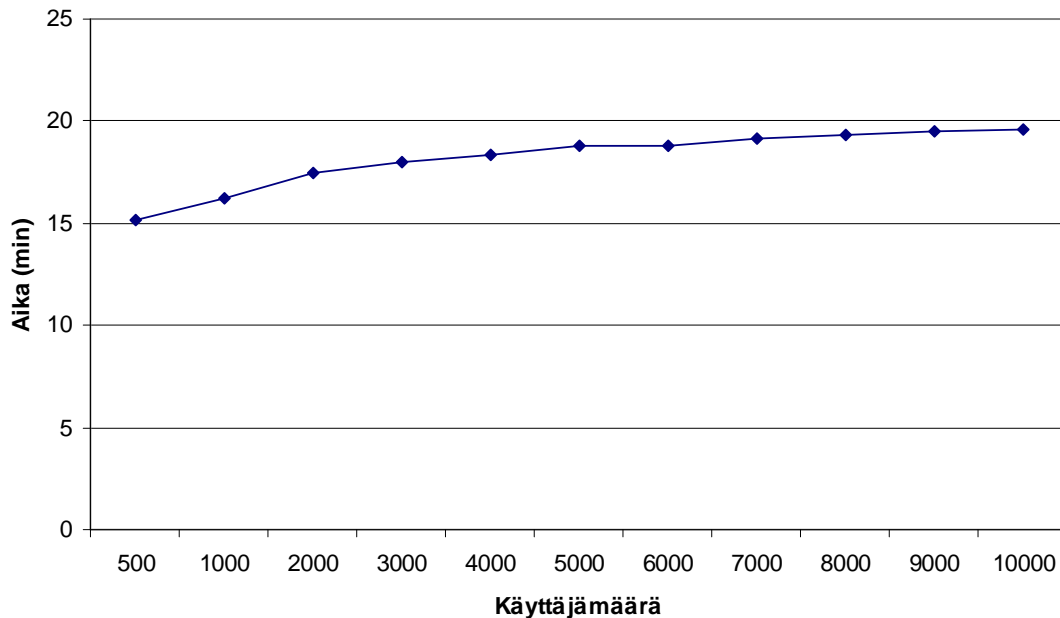
Keskimääräinen odotusaika määränpäässä (kuva 7.8) pienenee melko nopeasti käyttäjämäärän kasvaessa. Tämän tunnusluvun vähenemisessä ei ole nähtävissä yhtä selvää taittumista kuin aikaisemmissa tunnusluvuissa. Reittien ajallinen sopivuus näyttäisi siis lähenevän täydellistä.

Keskimääräinen odotusaika

Kuva 7.8 Keskimääräiset odotusajat aamuruuhkassa eri käyttäjämäärillä

Keskimääräinen kyydissäoloaika (kuva 7.9) kasvaa käyttäjämäärän funktiona. Kasvu kuitenkin selvästi hidastuu ja näyttäisi lähenevän n. 20 minuuttia. Syynä tähän kasvuun on luultavasti se, että käyttäjämäärän kasvaessa kyytejä alkaa löytyä myös kauempaa Helsinkiin matkaaville. Keskimäärin reitillä käytetty aika ei sisällä liityntämatkoihin kuluva aiaa.

Keskimääräinen kyydissäoloaika



Kuva 7.9 Keskimääräinen kyydissäoloaika aamuruuhkassa eri käyttäjämäärillä

7.2.3. Iltapäiväruuhka

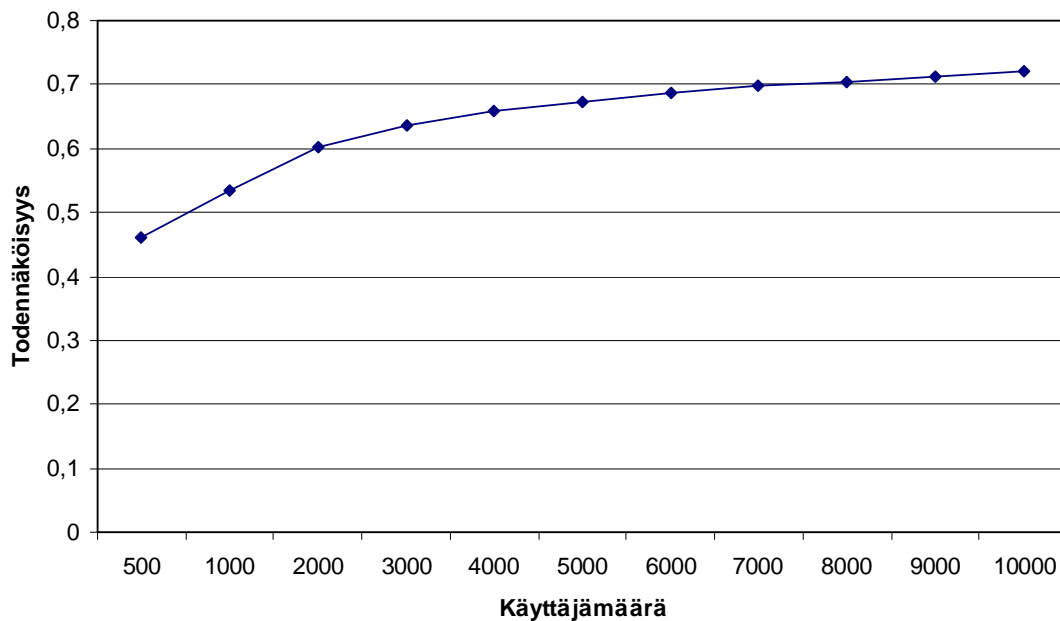
Aamuruuhkasimuloinneissa käytettiin seuraavia edellä määriteltyjen parametrien arvoja

- Ajallisen reunaehdona käytetään aikaisinta sallittua lähtöaikaa.
- Toleranssi on yksi tunti. Kyydin pyytäjät ovat valmiita odottamaan kyytiä tunnin työajan loppumisen jälkeen, ennen turvautumista muihin kulkuneuvoihin.
- Matkojen suuntajakauma on muodostettu taulukossa 7.1 esitetystä jakaumasta vaihtamalla sarakkeiden järjestystä

Iltapäiväruuhkassa kyydin löytämistodennäköisyydet (kuva 7.10) näyttäisivät jäävän marginaalisesti huonommiksi kuin aamuruuhkassa. Tämä johtuu siitä, että iltapäivällä aikaikkuna, jossa kyydin on lähdettävä, on tiukempi. Aamuruuhkasimulaatiossa oletettiin ihmisten olevan valmiita lähtemään niin aikaisin kuin on tarpeen ja toisaalta olevan

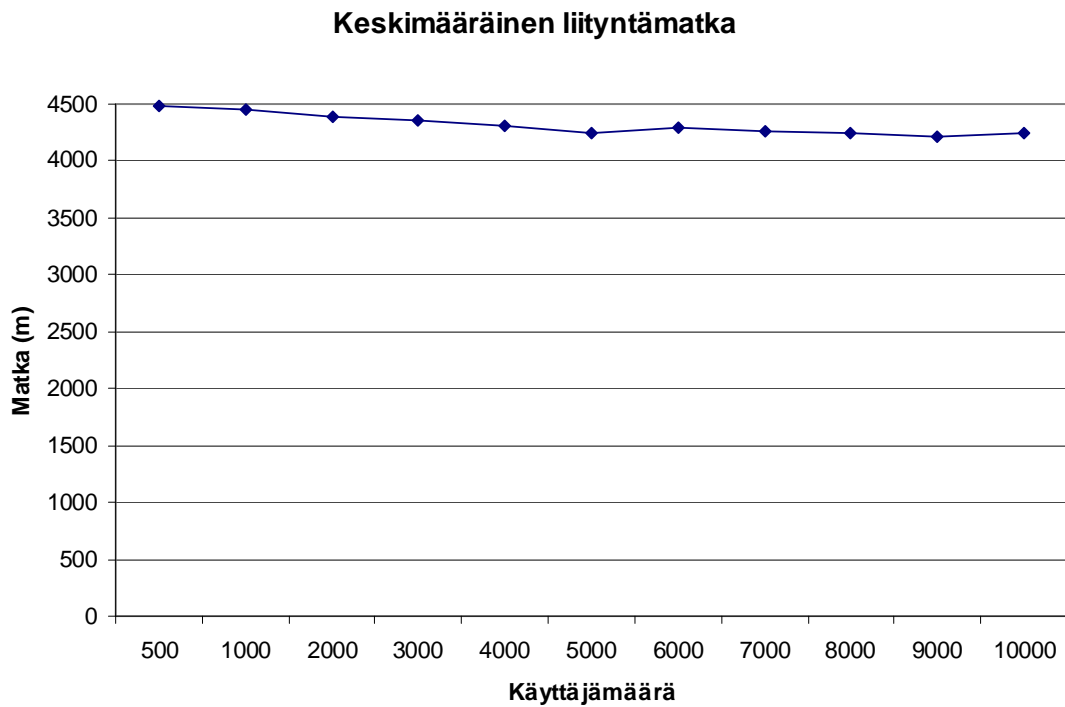
valmiita olemaan perillä paljonkin ennen maaliaikaa. Iltapäivällä kuitenkin lähtöaika on ehdoton (töistä ei voi lähteä aikaisin) ja toisaalta kyytiä ei olla valmiita odottamaan kovin pitkään (korkeintaan tunti). Ero aamuruuhkasimulaatioihin ei ole kuitenkaan kovin suuri.

Kyydin löytämistodennäköisyys



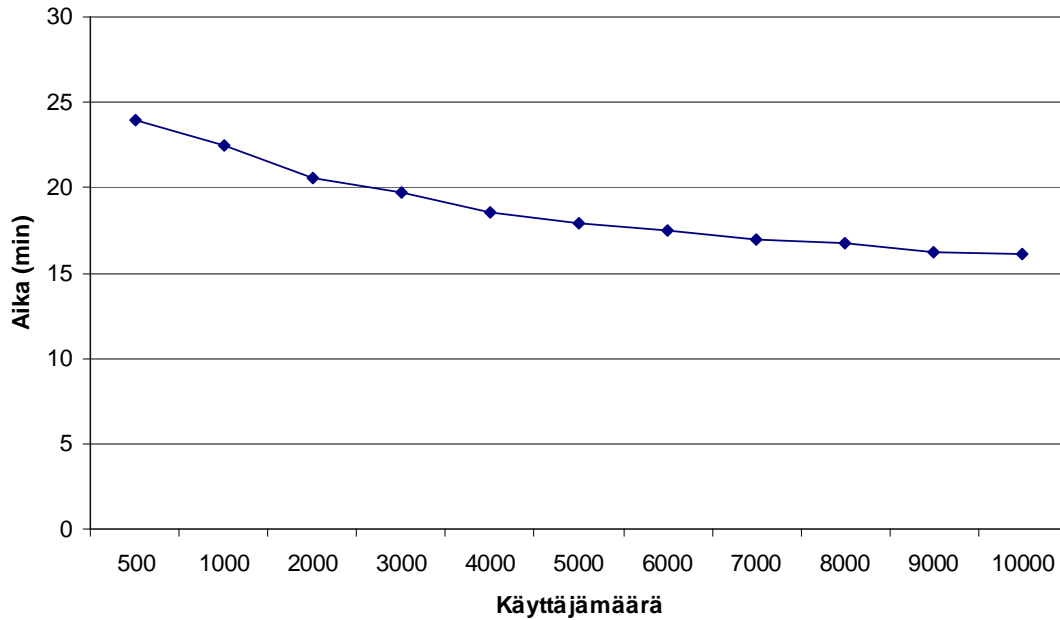
Kuva 7.10 Kyydin löytämistodennäköisyys iltapäiväruuhkassa eri käyttäjämäärillä

Liityntämatkat iltapäiväruuhkassa (kuva 7.11) ovat pidempiä kuin aamuruuhkassa. Liityntämatkat eivät myöskään pienene samalla tavalla kuin aamuruuhka simulaatioissa. Syynä tähän on oletettavasti se, että iltapäivällä alkuaika on tiukempi reunaehto kuin aamupäivän maaliaika. Itse asiassa kyydin pyytäjän valittavissa olevat kyydit saattavat pienentyä jopa puoleen iltaruuhkan tapauksessa, verrattuna aamuruuhkaan: sekä kyydin tarjoajien, että pyytäjien lähtöaikajakauma on molemmissa tapauksissa sama. Kuitenkin aamuruuhkassa käyttäjä, joka haluaa perille aikaan t , voi valita minkä tahansa kyydin joka on perillä ennen hetkeä t . Illalla sen sijaan käyttäjät valitsevat kyytejä jotka lähtevät aikavälillä $[t, t + \Delta t]$ Missä Δt on kyydin pyytäjälle määritetty toleranssi, eli aika jonka käyttäjä on valmis kyytiä odottamaan ennen turvautumista muihin kulkuvälineisiin.



Kuva 7.11 Keskimääräiset liityntämatkat iltapäiväruuhkassa eri käyttäjämäärillä

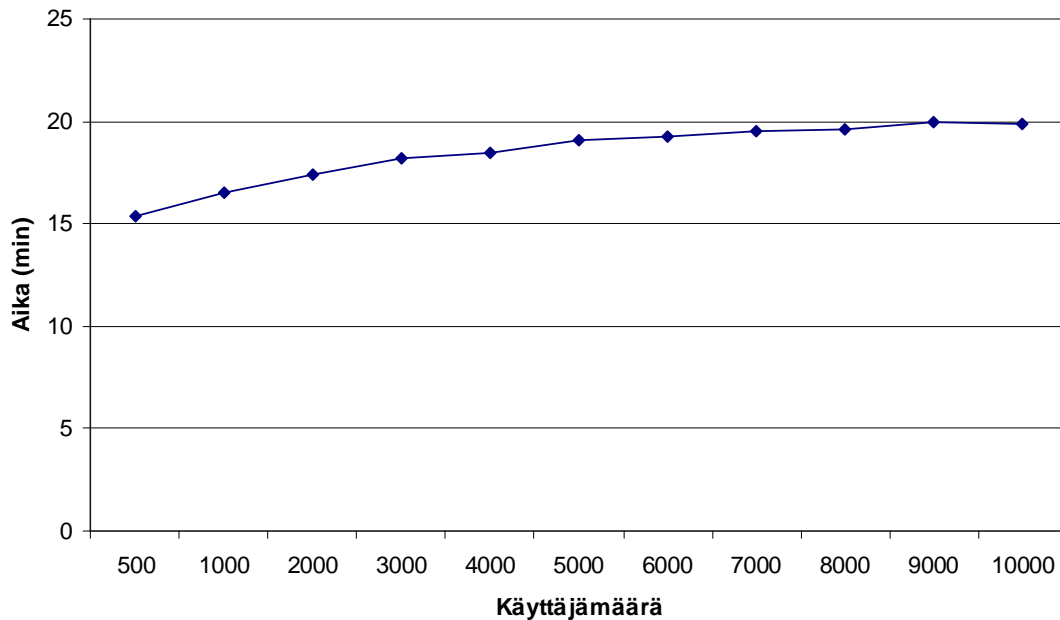
Keskimääräinen kyydin odotusaika iltaruuhkassa (kuva 7.12) käyttäytyy melko eri tavalla kuin aamuruuhkan odotusaika. Kyydin alun odotusaika ei nimittäin pienene yhtä nopeasti kuin aamuruuhkan tapauksessa. Tämän ilmiön taustalla on oletettavasti sama syy kuin pidempien liityntämatkojenkin tapauksessa.

Keskimääräinen odotusaika

Kuva 7.12 Keskimääräiset odotusajat iltapäiväruuhkassa eri käyttäjämäärillä

Keskimääräinen kydissäoloaika iltapäiväruuhkassa (kuva 7.12) on lähes identtinen kuin aamuruuhkan vastaava käyrä (kuva 7.9)

Keskimääräinen kyydissäoloaika

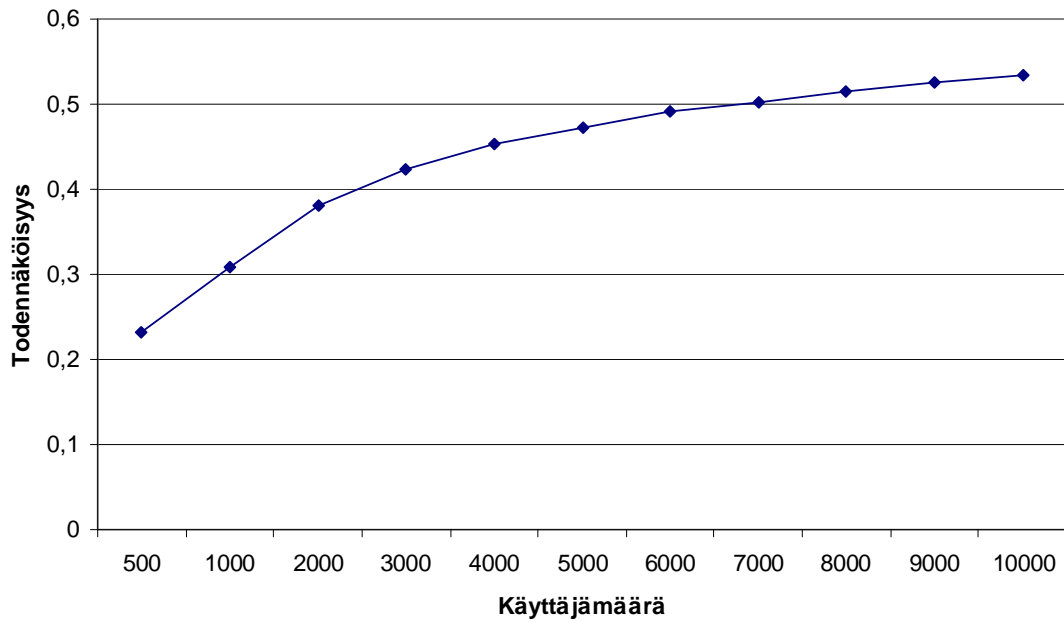


Kuva 7.13 Keskimääräinen kyydissäoloaika iltapäiväruuhkassa eri käyttäjämäärillä

7.2.4. Edestakaisen kyydin löytämistodennäköisyys

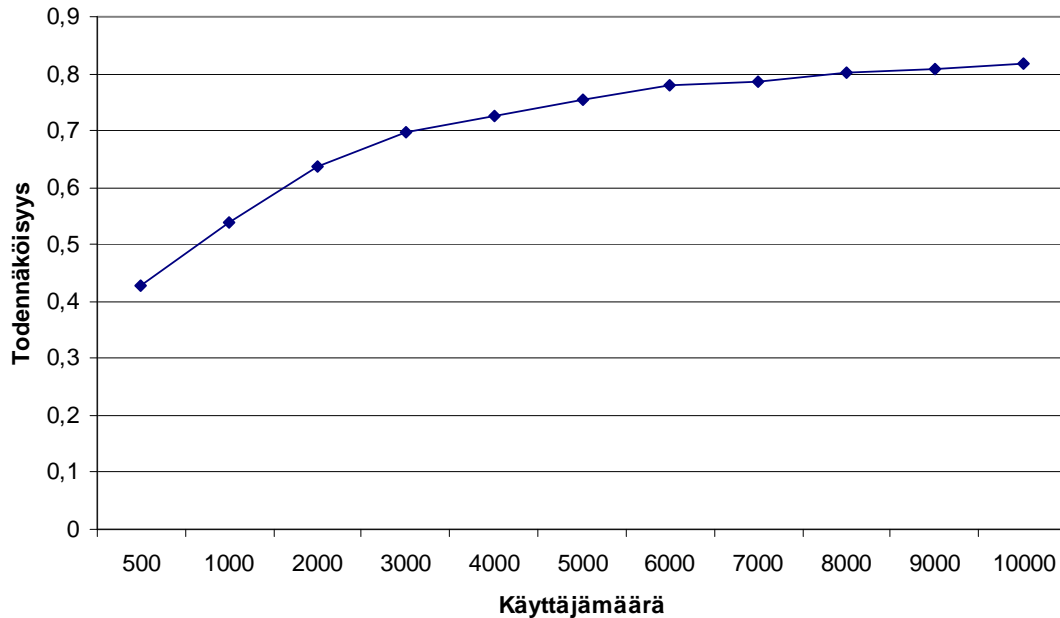
Järjestelmän käytettävyyden kannalta on mielenkiintoista tutkia, millaisilla todennäköisyyksillä käyttäjä löytää kyydin molempiin suuntiin. Tämä todennäköisyys on oletettavasti hyvin suuri tekijä mahdollisesti toteutettavan järjestelmän suosiolle. Todennäköisyydet eivät nouse kovin suurelle tasolle.

Mielenkiintoista on myös verrata tarjonnan ja kysynnän suhteella 1:2 laskettuja löytämistodennäköisyyksiä suhteella 2:1 saatuihin kyydin löytämistodennäköisyyksiin. Tämä on esitetty kuvassa 7.12. Kyydin löytämistodennäköisyydet ovat huomattavasti parempia. Tämä viittaa siihen, ettei autojen määrän vähentämisen kannalta paras kysyntä tarjonta suhde ole välttämättä järjestelmän toteuttamisen kannalta järkevin.

Meno-paluu kyydin löytämistodennäköisyys

Kuva 7.11: Meno-paluu kyydin löytämistodennäköisyys eri käyttäjämäärillä tarjonnan ja kysynnän suhteen ollessa 1:2.

Meno-paluu kyydin löytämistodennäköisyys



Kuva 7.12: Meno-paluu kyydin löytämistodennäköisyys eri käyttäjämäärillä tarjonnan ja kysynnän suhteen ollessa 1:2.

7.2.5. Kyydin löytämistodennäköisyyksiä alueittain

Kustakin simulaatiosta saatiin myös kyydin löytämistodennäköisyydet eri alueiden välillä. Taulukossa 7.2 on esitetty kyydin löytämistodennäköisyyksiä aamuruuhkassa eri alueiden välillä. Taulukosta nähdään, että kyytejä löytyy etenkin pääkaupunkiseudun kuntien välillä todella hyvin.

Tämä viittaa siihen, että järjestelmä saattaisi toimia käytännössäkin Helsinkiin päin suuntautuvalla liikenteelle kohtuullisen hyvin. Mikäli kyyti lähtee kauempaa, voi kyydin pyytjä kuitenkin tulla kyytiin myös lähempänä Helsinkiä. Näin kauempaa tuleva työmatka liikenne tarjoaa lähempänä Helsinkiä sijaitsevien kuntien asukkaille parempia kimpakyytimahdollisuuksia. Tämä sillä oletuksella, että kauempaa tulevat ovat valmiita poimimaan ihmisiä kyytiin puolimatassa.

Taulukko 7.2. Kyydin löytämistodennäköisyyksiä eri alueiden välillä aamuruuhkassa.

Käyttäjiä 5000, tarjonta/kysyntä-suhde 1:2.

Lähtö/Loppu	Helsinki	Espoo	Vantaa
Helsinki	0,99	0,92	0,94
Espoo	0,95	0,96	0,87
Vantaa	0,94	0,87	0,97
Lohja	0,56	0,78	0,39
Hyvinkää	0,67	0,54	0,65
Porvoo	0,69	0,4	0,57
Nurmijärvi	0,76	0,66	0,69
Tuusula	0,7	0,56	0,87
Järvenpää	0,71	0,47	0,87
Kirkkonummi	0,72	0,87	0,51
Vihti	0,54	0,72	0,49

8. Kimppakyytijärjestelmän arviointi

8.1. Yleistä

Tässä kappaleessa arvioidaan ensin kehitettyä kimppakyytijärjestelmää sen mahdollisten käyttäjien näkökulmasta. Arvioiden pohjana toimivat järjestelmän esimerkkitoteutuksesta saadut simulaatiotulokset. Toiseksi pohditaan, mitä käytännön seikkoja tulee ottaa huomioon järjestelmää toteutettaessa. Kolmanneksi kuvaillaan lyhyesti mahdollista vaihtoehtoista toteutustapaa. Lopuksi esitetään ajatuksia suunnitellun järjestelmän mahdollisesta elinkaariskenaariosta.

8.2. Suunnitellun kimppakyytijärjestelmän houkuttelevuus

Kimppakyytijärjestelmässä on siis kaksi ryhmää toimijoita, kyydin tarjoajat ja kyydin pyytäjät. Järjestelmän suunnittelun peruseriaatteena oli, että kyydin tarjoajan ei tarvitse joustaa. Hän ilmoittaa järjestelmään lähtöaikansa lähtöpaikasta, sekä maalipaikkansa, ja ajaa työmatkansa ilmoittamiensa preferenssien mukaisesti. Mikäli hänen tarjoamansa kyyti kohtaa yhden tai useamman kyydin pyytäjän tarpeet, poimii hän kyydittäviä reittinsä varrelta, ja jättää heidät niin ikään reitin varrelle. Kyydin tarjoajan näkökulmasta

järjestelmä on erittäin houkutteleva, sillä jouston tarvetta ei ole.

Kyydin pyytäjän näkökulmasta järjestelmä on monimutkaisempi. Kyytipyyntöön sisältyy aina epävarmuus kyydin saamisesta. Vaikka sopiva kyyti löytyisikin, saattaa kyydin pyytäjä joutua tekemään kompromisseja joutuessaan lähtemään liikkeelle varsin aikaisin, tai päätyessään perille selvästi tavoiteaikatauluun edellä. Lisäksi liityntämatka lähtöpaikasta poimimispisteeseen tai jättöpisteestä maalipisteeseen saattaa olla huomattavan pitkä, ja hankalasti kuljettavissa.

Keskimääräinen kyydin löytymistodennäköisyys aamuruuhkan aikaan nousee lähelle 70 % jo 3000 käyttäjän määrällä. Lukua voidaan pitää kyydin pyytäjän kannalta tyydyttävänä. Matkan kohdistuessa Helsinkiin on kyydin löytämistodennäköisyys vielä suurempi. Samoin Espooseen ja Vantaalle kohdistuvat kyytipyyntöt tulevat täytetyiksi erittäin korkeilla todennäköisyyksillä. Intuitiivisesti voisi ajatella, että mikäli kyydin pyytäjällä on syytä olettaa saavansa toivomustensa mukainen kyyti useammin kuin neljä kertaa viidestä, on järjestelmä hänen kannaltaan varsin käyttökelpoinen. On kuitenkin huomattava, että simulaatioissa muualle kuin pääkaupunkiseudulle kohdistuvat kyytipyyntöt löytävät kyydin huomattavasti harvemmin. Esimerkiksi Keravalta Lohjalle haluavan kyydin tarvitsijan tuskin kannattaa liikaa järjestelmän varaan laskea. Toisaalta suurimmat ruuhkaongelmat syntyvät nimenomaan pääkaupunkiseudun poikittaisliikenteessä, kehäteillä. Tämän ongelman kannalta saavutetut tulokset ovat varsin rohkaisevia. Esimerkiksi Espoon ja Vantaan välillä kyytien yhdisteleminen näyttäisi olevan sangen vaivatonta.

Iltapäiväruuhkan aikaan kyydin löytämistodennäköisyydet ovat simulointitulosten mukaan jonkin verran aamuruuhkan vastaavia alhaisempia. Mikäli oletetaan, että aamulla samassa autossa työpaikoilleen matkustavat sopivat samalla myös paluukyydistä, jolloin todelliset todennäköisyydet lienevät simuloituja tuloksia lähempänä aamuruuhkan todennäköisyyksiä, tai jopa korkeampia.

Keskimääräiset liityntämatkat ovat simulointitulosten mukaan 3,5-4 kilometriä riippuen

käyttäjämäärästä. Simuloinneissa käytetty karttaverkko on varsin harva, joten tätä tulosta ei voida tulkita liian tiukasti. Matkaa voidaan kuitenkin pitää kohtuullisena. Kuitenkin, jos ajatellaan, että kyydin saamiseksi olisi joka aamu käveltävä kaksi kilometriä päästäkseen poimintapisteeseen, ei ajatus välttämättä kuulosta kovin houkuttevalta. Ongelman ratkaisemiseksi voisi poimimispisteissä olla ilmaisia parkkipaikkoja kyydin pyytäjiä varten, jolloin he voisivat suorittaa liityntämatkan omalla autolla ilman suurempia kustannuksia. Kappaleessa 8.3 on esitelty tarkemmin näitä nk. kokoomapaikkoja. Toisaalta, sallitun liityntämatkan pienentämisellä ei ollut dramaattisia vaikutuksia kyydin löytämistodennäköisyyteen.

Kyydittävät saapuvat aamulla perille tulosten mukaan noin 7-15 minuuttia ennen tavoiteaikaansa käyttäjämäärästä riippuen, mitä voidaan pitää varsin hyvänä tuloksena. On vaikea kuvitella, että kukaan jättäisi tämän ”odotusajan” vuoksi kimppekyydin ottamatta. Sen sijaan iltapäivällä kyytiä joutuu odottamaan 18–22 minuuttia käyttäjämäärästä riippuen. Kuitenkin edellä mainittu paluukyydistä sopiminen menomatalla pienentäisi keskimääräistä odotteluaikaa selvästi.

Yhteenvedon voidaan todeta, että saavutetuilla tuloksilla kimppekyytijärjestelmä voisi olla käyttäjilleen potentiaalinen vaihtoehto yksin omalla autolla kulkemisen rinnalla, erityisesti alueilla, joilla potentiaalisten käyttäjien määrä on suuri. Kriittiseksi kysymykseksi nouseekin, onko Uudellamaalla riittävästi käyttäjäpotentiaalia, jotta järjestelmä olisi toimintakykyinen.

Edestakaisen kyydin keskimääräinen löytämistodennäköisyys esimerkiksi 5000 käyttäjällä on hieman alle 50 %. Kyydin saamiseen liittyy siten paljon epävarmuutta. Tästä näkökulmasta kimppekyytijärjestelmä saattaa vaikuttaa liian epävarmalta vaihtoehdolta. Toisaalta, jos käytetään tarjonnan ja kysynnän suhdetta 1:2 ja käyttäjien määrän oletetaan olevan 5000, saadaan autojen määräksi liikenteessä kaavalla (3) noin 3400, joka on yli 30 % pienempi kuin mitä se olisi tilanteessa, jossa kaikki (järjestelmän oletetut 5000 käyttäjä) kulkisivat yksin omalla autolla. Yksittäisen käyttäjän kannalta tämä tarkoittaa sitä, että tämä voi vähentää 30 % oman henkilöautonsa käyttöä ruuhka-

aikaan.

Tulosten mukaan merkittävimmissä tunnusluvuissa tapahtuu selkeää taittumista noin 5000 käyttäjän kohdalla. Tällaisen käyttäjämäärän keräämisen ei uskoisi olevan ylitsepääsemätön tehtävä. Alussa käyttäjiä on realistisesti ajatellen vähemmän, joten alkuvaiheeseen panostaminen on tärkeää, jotta riittävä määrä ihmisiä saataisiin kiinnostumaan järjestelmästä jo hyvin varhaisessa vaiheessa. Järjestelmän toteutuksella on tässä asiassa merkittävä rooli.

Suoritettujen simulointien suuntaa-antavuus estää tekemästä pitkälle vieviä päätelmiä järjestelmän toteutettavuudesta. Yksi tärkeimmistä kysymyksistä on optimaalinen tarjonta/kysyntä -suhde. Vaatisi huomattavasti laajempia (esimerkiksi muita tarjonta/kysyntä -suhdelukuja¹⁰ testaavia) ja pidemmän ajan kattavia simulointeja optimaalisen suhteen selvittämiseksi. Tehdyissä simuloinneissa suhde 1:2 osoittautui parhaaksi järjestelmän kannalta. Kokonaan toinen kysymys on, onko kyseinen suhde paras ja houkuttelevin myös järjestelmän käyttäjien kannalta.

8.3. Kimppakyytijärjestelmän toteutettavuus

Kimppakyytijärjestelmän toteutettavuuteen liittyy lukuisia kysymyksiä, joita on syytä pohtia tarkasti järjestelmää suunniteltaessa. Eräs tärkeimmistä kysymyksistä lienee se, miten järjestelmästä saadaan mahdollisimman käytettävä. On selvää, että mitä helpokäyttöisempi ja vaivattomampi järjestelmä on, sitä matalampi kynnys sen käyttämiseen on.

Yksinkertaisinta olisi varmasti järjestelmän toteuttaminen siten, että sen käyttäminen tapahtuisi tietokoneen välityksellä. Tietokoneen näyttöpohjaisia käyttöliittymiä on ollut olemassa jo kymmeniä vuosia, ja niihin on olemassa lukuisia ratkaisuja, jolloin helpokäyttöisen käyttöliittymän kehittämisen ei pitäisi olla ylivoimaisen vaikeaa. Alati

¹⁰ Testattavia suhdelukuja voisivat olla esimerkiksi 1:1,95 tai 1:2,05.

mobilisoitava yhteiskunta asettaa järjestelmää kohtaan kuitenkin enemmän vaatimuksia. Näin ollen suositeltavaa olisi, että järjestelmän käyttäminen olisi mahdollista matkapuhelimen avulla. Tässä tapauksessa käyttöliittymän suunnitteluun on panostettava entistä enemmän, sillä matkapuhelinpohjaiset ratkaisut ovat vasta yleistymässä, eikä varmoja, hyviksi koettuja käyttöliittymämalleja vielä ole kovin runsaasti.

Järjestelmän on myös oltava luotettava. Kynnys hypätä ennalta tuntemattoman ihmisen autoon, tai ottaa ennalta tuntematon ihminen omaan autoonsa on suuri, joten kyydin osapuolista on oltava riittävästi tietoa kaikkien saatavissa. Internet-huutokauppatyylinen palautejärjestelmä olisi hyvä olla osana järjestelmää, jotta mahdollisista ongelmista voisi raportoida mahdollisimman kattavasti. Kyydin molemmilla osapuolilla tulee olla aina mahdollisuus kieltäytyä yhteistyötä toisen osapuolen kanssa. Aiemmin on esitetty, että kyydin pyytäjä voi hyväksyä tai hylätä tarjotun kyydin. Kuitenkin myös kyydin tarjoajan pitää saada päättää, ottaako hän tietyn kyydin pyytäjän autoonsa. Palautejärjestelmä karsii auttamatta epäluotettavat henkilöt järjestelmän ulkopuolelle.

Järjestelmän on lähetettävä molemmille osapuolille riittävät tiedot siitä, missä ja mihin aikaan matkojen yhdistäminen tapahtuu. Erillisen käyttäjärekisterin avulla osapuolet voivat tarkastaa etukäteen henkilön valokuvan, jolloin kyydin pyytäjän löytäminen helpottuu.

Lisäksi krediittijärjestelmän suunnitteluun on panostettava. Miten kyydit arvioidaan, suoraan kilometrien perusteella? Kuinka pitkällä aikavälillä annettujen ja otettujen kyytien on oltava tasapainossa? Mitä jos vaikuttaa siltä, että järjestelmässä on vapaamatkustajia, erotetaanko heidät suoraan, vai annetaanko poistuman tapahtua luonnollista kautta, eli oletetaan kyydin tarjoajien preferoivan henkilöitä, jolla krediitit ovat tasapainossa? Kyseeseen voi tulla myös niiden henkilöiden kyytipyyntöjen priorisointi, joilla tarjottujen kyytien määrän suhde kyytien pyyntöjen määrään on korkea suhteessa muihin käyttäjiin.

8.4. Vaihtoehtoinen toteutustapa

Kuten kappaleessa 8.1 todettiin, on selvää, että mitä vähemmän mahdollisia lähtö- tai maalipaikkoja on, sitä suuremmaksi kasvaa kyydin löytymistodennäköisyys. Kyydin pyytäjän hyväksymä liityntämatkan pituus rajoittaa merkittävästi mahdollisten kyytien määrää. Ongelmalle saattaa löytyä ratkaisu ottamalla käyttöön nk. kokoomapaikat. Viitaten kappaleen 4 kirjallisuuskatsaukseen, ainakin Yhdysvalloissa kimpakyytijärjestelmät perustuvat usein kokoomapaikkoihin. Järjestelmän hyödyntämistä kannattaa pohtia vakavasti myös Uudenmaan tilanteessa. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että ympäryskuntien keskuksat toimisivat kokoomapaikkoina, joihin lähiseudun ihmiset saapuisivat aamulla omin neuvoin. Auto olisi mahdollista pysäköidä veloituksetta kokoomapaikkaan päivän ajaksi. Kyydit kohti työpaikkoja (Helsingin keskusta, Espoo) lähtisivät näistä kokoomapaikoista. Vastaavasti iltapäivällä kyydit lähtisivät työpaikkojen läheisyydestä, ja päätyisivät kokoomapaikoille, joista ihmiset jatkaisivat loppumatkan itsenäisesti koteihinsa.

Yllä kuvatussa mallissa lähtöpaikkojen määrä supistuu merkittävästi. Intuitiivisesti tämän pitäisi parantaa kyydin löytämistodennäköisyyttä, ja näin ollen vähentää kehyskunnista työpaikkakeskuksiin suuntautuvaa liikennettä. Kokoomapaikkoja voisi käyttää myös työpaikkojen läheisyydessä. Tällöin kyydit päättyisivät aina kokoomapaikoille, joista kyydin pyytäjät hankkiutuisivat työpaikoilleen kävellen tai julkisilla kulkuvälineillä. Tässä tapauksessa vaatimukset kokoomapaikkojen sijainnille ovat tiukempia.

8.5. Kimpakyytijärjestelmän elinkaariskenaario

Ihminen kaipaa rutiineja. Tämä tosiasia saattaa hankaloittaa ”ideaalin” kimpakyytijärjestelmän toimivuutta. Voidaan kysyä, kuinka moni on todellisuudessa valmis sopimaan päivittäin työmatkakyydistään, ilman mitään takeita sellaisen löytymisestä? Ideaalitulanteessahan jokainen järjestelmän käyttäjä ilmoittaa aina edellisenä päivänä järjestelmään, haluaako hän toimia seuraavana päivänä kyydin tarjoajana, vai kyydin pyytäjänä, ja antaa tarkat tiedot kulkemastaan reitistä /

haluamastaan kyydistä.

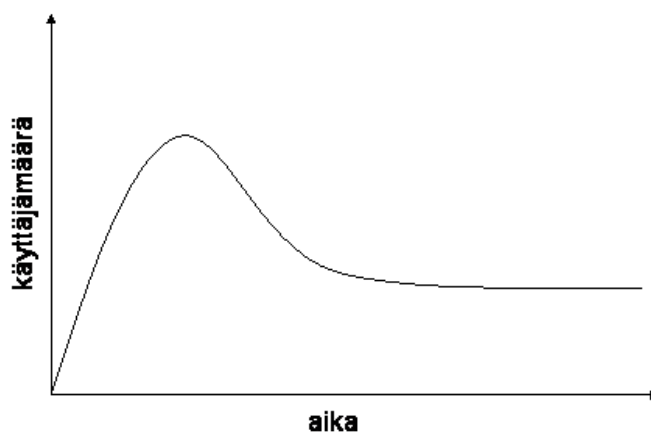
Suurin osa ihmisistä kulkee kuitenkin päivittäin saman matkan molempiin suuntiin. Voisi ajatella, että kahden tai useamman ihmisen havaitessa päivittäisten matkojensa samankaltaisuuden, alkavat he sopia kyydeistä ohi järjestelmän. Mikäli matkojen yhdistäminen tiettyjen henkilöiden kanssa havaitaan hyväksi ja toimivaksi, eikö kyseistä yhdistelyä kannata silloin käyttää jatkuvasti? Kuitenkaan juuri kyseinen kyytiyhdistely ei aina, jos edes kovin usein, toteudu järjestelmän kautta. Se, miten kyytejä järjestelmän avulla yhdistellään, on erittäin riippuvaista siitä, mihin aikaan kyytitarjouksia ja -pyyntöjä järjestelmään saapuu.

Ideaalin järjestelmän kannalta ei ole toivottavaa, että järjestelmä saattaa useiden henkilöiden kohdalla toimia vain ”parituspalveluna”, joka saattaa toisilleen sopivat matkaaajat yhteen. Kun sopiva kimppa on kerran löytynyt, eivät sen jäsenet enää aktiivisesti ole järjestelmän käyttäjiä, jolloin heidän tilalleen olisi saatava lisää käyttäjiä, jotta järjestelmä säilyisi toimintakykyisenä. On siis olemassa vaara, että päiväkohtaisia tarpeita täyttämään suunniteltu järjestelmä toteuttaakin pitempiaikaisen kimppakyytiongelman. Liikennemäärien kannalta asialla ei tietenkään ole merkitystä, vaan jokainen liikenteestä pois oleva auto helpottaa ruuhkaa yhtä paljon, on kyydistä sovittu sitten miten vain.

Kuten todettua, on mahdollista, että järjestelmän avulla syntyy 2-4 henkilön kimppoja, jotka sopivat päivittäisistä kyydeistään ohi järjestelmän. Järjestelmän kannalta olisi kuitenkin tärkeää, että kyseinen kyyti asetettaisiin kaikesta huolimatta tarjolle järjestelmään, jotta autossa vielä vapaina olevat 1-3 paikkaa olisivat sopivien kyydin pyytäjien tavoitettavissa.

Pitkällä aikavälillä saatetaan päätyä tilanteeseen, jossa järjestelmällä on kysyntää ainoastaan päivittäisestä poikkeavien matkojen yhdistelyssä. Esimerkiksi mikäli henkilö matkaa normaalisti töihin Vihdistä Helsinkiin, tarvitseekin hän järjestelmää ainoastaan kerran kuukaudessa, kun työmatka suuntautuu Porvooseen. Järjestelmällä on oltava

riittävän suuri päivittäinen käyttäjämäärä, jotta kyytejä löytyy riittäväällä todennäköisyydellä. Mikäli sellaista ei saavuteta, vähenee järjestelmän käyttö myös tavallisista poikkeavien matkojen kohdalla. Näin ollen lopputuloksena saattaa olla, että järjestelmä kuolee ajan myötä pois tehtyään itse itsensä tarpeettomaksi. Kuva 8.1 esittää mahdollisen käyttäjämäärän kehityksen ajan funktiona.



Kuva 8.1 Käyttäjämäärän kehitys järjestelmän elinkaariskenaariossa

On oletettavaa, että järjestelmän käyttäjämäärä kasvaa alussa voimakkaasti. Käyttäjämäärä saavuttaa huippunsa, jonka jälkeen järjestelmä ei enää kerää tarpeeksi uusia käyttäjiä kattamaan vanhojen, aktiivisista passiivisiksi muuttuneiden käyttäjien määrää, kun kyytejä sovitaan yhä enemmän ohi järjestelmän. Käyttäjämäärä kääntyy laskuun, ja asettuu ajan kuluessa jollekin tasolle. Mikäli saavutettu taso on suurempi, kuin järjestelmän toimivuuden kannalta kriittinen käyttäjämäärä, säilyy järjestelmä hengissä. Päinvastaisessa tapauksessa seuraa ennen pitkää järjestelmän hiipuminen.

9. Yhteenveto tuloksista

Seuraavissa kappaleissa on esitetty kimpakyytijärjestelmän suunnitteluun, toteutukseen ja arviointiin liittyvät tärkeimmät tulokset.

Kirjallisuuskatsauksen yhteydessä ei löytynyt yhtään tutkimusta, jossa tarkasteltava

kimppakyytijärjestelmä sisältäisi kaikki ne piirteet, joita suunnittelemallamme kimppakyytijärjestelmä sisältää. Niissä tutkimuksissa, joissa tarjonnan ja kysynnän yhdistely pyrittiin tekemään optimoimalla tiettyä kokonaissysteemiä koskevaa kriteeriä, vaatimukset laskentateholle olivat suuret; myös käyttäjämäärät olivat pieniä verrattuna suunnittelemamme järjestelmän potentiaaliseen käyttäjämäärään. Osittain tästä syystä päätimme yksinkertaistaa mallia siten, että yhdistelyalgoritmi pyrkii optimoimaan käyttäjäkohtaista optimointikriteeriä (kunkin käyttäjän kohdalla erikseen) kyytien etsinnässä. Yksinkertaisemman mallin valintaa tuki myös käytettävyyss-näkökulma; yksinkertainen malli mahdollistaa kyydin etsinnän heti, kun pyyntö tallennetaan järjestelmään.

Toteutimme luvuissa 3 ja 4 kuvatun kimppakyytijärjestelmästä esimerkkitoteutuksen Java-kielellä. Ohjelma on suunniteltu ja toteutettu siten, että se on mahdollista liittää osaksi jotain muuta ohjelmistoa, esimerkiksi laajempaan/tarkempaan tieverkon kuvaukseen, kimppakyytijärjestelmän käyttäjähallintaan, erilliseen käyttöliittymään tai kimppakyytijärjestelmää simuloivaan ohjelmaan. Laskenta-ajat yksittäiselle reitin- tai kyydinhaulle ovat suurillakin käyttäjämäärillä kohtuullisia.

Toteutimme Java-kielellä myös simulaattorin, jonka liitimme osaksi kimppakyytijärjestelmää. Simulointien tärkeimmät tulokset ovat:

- Optimaalinen tarjonnan ja kysynnän suhde (suhde, jolla autojen määrä liikenteessä minimoituu) näyttäisi olevan 1:2 käyttäjämäärästä riippumatta.
- Yhdistelyalgoritmi löytää kyytejä tyydyttävällä todennäköisyydellä, kun käyttäjien määrä nousee 3000 – 5000 käyttäjään.
- Kyydin pyytäjien odotusajat (määränpäässä tai lähtöpisteessä) pysyvät simulointitulosten valossa kohtuullisina käyttäjämäärästä riippumatta.
- Kyydin pyytäjien kulkemat liityntämatkat ovat melko pitkiä käyttäjämäärästä riippumatta. Tähän vaikuttaa kuitenkin merkittävästi se, että käyttämämme

tieverkon kuvaus on melko harva.

- Kyydin löytämistodennäköisyys riippuu vahvasti lähtö- ja maalipaikasta. Kyydin löytämistodennäköisyys esimerkiksi Espoon ja Vantaan välillä kyydin on hyvä, kun taas Keravan ja Lohjan välillä kulkevan henkilön kyydin saamiseen liittyy huomattavasti epävarmuutta.

Mikäli Uudellamaalla haluttaisiin ottaa käyttöön kimppakyytijärjestelmä, vaatisi tämä lisäselvityksiä tämän projektin tulosten lisäksi. Järjestelmän toimintaa tulisi simuloida pidemmällä aikavälillä kuin mitä tämän projektin yhteydessä simuloitiin. Tämän lisäksi tulisi harkita muita mahdollisia toteutustapoja kimppakyytijärjestelmän toteutukselle, kuten kokoomapisteiden käyttöä. Kimppakyytijärjestelmän toteutus asettaisi huomattavia vaatimuksia myös järjestelmän käyttöliittymälle, jotta se olisi mahdollisimman vaivaton käyttää.

10. Yhteenveto projektista

Projektinhallinnallisesti tämä projekti eteni suunnitellun mukaisesti. Projektin aikainen viestintä (ryhmän sisäisesti ja työn asettajan suuntaan) tapahtui pääasiassa sähköpostitse. Projektiryhmän sisäinen sähköpostikommunikaatio oli vilkasta. Tämän lisäksi projektiryhmä tapasi työn asettajan muutamia kertoja sekä kurssin vastaavan opettajan, Ahti Salon, kerran.

Aikataulullisesti projekti ei aiheuttanut suurempia ongelmia. Tämän mahdollisti projektiryhmän riittävä sitoutuminen projektiin. Projektiryhmän työmäärä ylitti kurssin asettaman karkean tavoitteen, 120 tuntia / henkilö (+ 40 tuntia projektipäällikölle), muttei kovinkaan merkittävästi.

Projektin alkuperäisenä tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa kimppakyytijärjestelmän ydin, joka voitaisiin rajapintojensa avulla liittää osaksi jotain isompaa kokonaisuutta. Suunnittelemamme kimppakyytijärjestelmän erityispiireiden vuoksi projektin päätavoitteeksi muotoutui kimppakyytijärjestelmäkonseptin toimivuuden arviointi

Uudellamaalla. Projektin luonteesta johtuen tavoitteisiin ja vaatimuksiin tehtiin jonkin verran muutoksia projektin kuluessa. Muutokset hyväksyttiin työn asettajalla.

Olemme tyytyväisiä projektin laatuun sekä projektinhallinnan että tulosten laadun näkökulmasta.

11. Viitteet

[1] Kekoni, Joonas; Dynaamisen kimpakyytijärjestelmän toimivuus simuloidussa kuormitustilanteessa; Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, tietoliikenneohjelmistojen ja multimedian laboratorio; 2005

[2] Horn, Mark E.T.; Procedures for planning multi-leg journeys with fixed-route and demand-responsive passenger transport services; Transportation Research Part C 12, 2004, pp. 33-55

[3] Varrentrapp, Klaus; Stütze, Thomas; Maniezzo, Vittorio; The Long Term Car Pooling Problem - On the Soundness of the Problem Formulation and Proof of NP-completeness, Technical Report AIDA-02-03, Technische Universität Darmstadt, 2002

[4] Baldacci, Roberto; Maniezzo, Vittorio; Mingozzi, Aristide; An Exact Method for the Car Pooling Problem Based on Lagrangean Column Generation; Operations Research vol 52, No. 3, 2004, pp. 422-439

[5] Maniezzo, Vittorio; Carbonaro, Antonella; Hildmann, Hanno; An ANTS Heuristic for the Long-Term Car Pooling Problem; 2001

[6] Jacob, Rico; Marathe, Madhav; Nagel, Kai; A Computational Study of Routing Algorithms for Realistic Transportation Networks; Los Alamos National Laboratory; 1999

[7] U.S. Department of Transportation, TRANSIMS project, Chapter 5, Route Planner

[8] Waldura, Renaud; Dijkstra's Shortest Path Algorithm in Java

[9] Calvo, Roberto; de Luigi, Fabio; Hastrup, Palle; Maniezzo, Vittorio; A distributed geographic information system for the daily car pooling problem; Computers & Operations Research vol. 31, n° 13, 2004, pp. 2263-2278