

# Epidemian leviämisen mallintaminen agenttipohjaisen mallin avulla

Karel Kaurila & Timo Toukkari

Valkeakosken Tietotien lukio 20.11.2009

## Tiivistelmä

Epidemiat ovat viime vuosina olleet ajankohtaisia. Olemme myös kiinnostuneita mallin rakentamisesta ja sen avulla saatujen tulosten analysoinnista. Rakensimme agenttipohjaisen mallin ohjelmoimalla käyttäen C++-kieltä. Graafinen ulkoasu toteutettiin SDL-rajapinnalla.

Agenttipohjainen malli on tehokas ratkaisu, kun mallinnetaan tilanteita, joissa huomioidaan yksilön käyttäytyminen. Agenttipohjaisissa mallissa käyttäjä näkee miten tilanne kehittyy ja voi itse säätää parametrit.

Mallissa teimme pienen yhteiskunnan, johon ihmiset on ohjelmoitu agenteina. Agentit asuvat kotonaan, käyvät töissä tai koulussa ja osa hakee rokotteen terveysasemalta. Lisäksi osa agenteista opiskelee sisäoppilaitoksessa, jossa he opiskelevat kaksi viikkoa kerrallaan ja pitävät joka toisen viikonlopun vapaata. Sisäoppilaitoksen tarkoitus on esittää koulumme Päivölän kaltaista opistoa.

Mallissa osa agenteista on saanut tartunnan ja he voivat tartuttaa taudin muihin agenteihin.

Tartunnan saaneet oireelliset agentit sairastavat kotona.

Tällä asetelmalla tutkimme myös, kuinka paljon rokotus vaikuttaa taudin leviämiseen. Vertasimme sisäoppilaitoksen opiskelijoiden rokotusta siihen, että rokotetaan sama määrä muita agenteja.

Yritimme myös löytää kriittisen määrän rokotettavia, eli selvittää lakkaako rokotettavien määrän lisäämisen vaikutus taudin leviämiseen jossakin vaiheessa.

Saimme tulokset ajamalla mallia eri parametreilla. Havaitimme, että sisäoppilaitoksen opiskelijoiden rokottaminen vähentää sairastuneiden määrää huomattavasti. Mallissamme rokottamalla sisäoppilaitoksen opiskelijoita sairastuneita oli n. 7,3 % vähemmän kuin rokottamalla muita agenteja. Havaitimme myös, että rokotuksen hyöty laskee, kun agenteja tarpeeksi monta agenttia on rokotettu. Mallissamme tämä määrä on n. kuusisataa tuhannesta, eli 60 %. Mallin käyttäjän on helppo muuttaa mallin parametreja, joten malli soveltuu hyvin myös myöhempään tutkimukseen.

1. Johdanto .....	4
2. Menetelmät ja Aineisto .....	6
2.1 Taudin vaiheet .....	6
2.2 Mallin tietorakenne .....	7
2.3 Mallin parametrit .....	8
2.4 Tartunta .....	10
2.5 Aika-askel .....	11
2.6 Yhteiskunta .....	11
3. Tulokset .....	13
3.1 Sisäoppilaitoksen vaikutus .....	13
3.2 Sisäoppilaitoksen rokotus .....	14
3.3 Rokotusten vertaus .....	14
4. Johtopäätökset .....	16
5. Lähteet .....	16
6. Liitteet .....	18
6.1 Ohjelma ja kuvaajat .....	18
6.2 Parametrien oletusarvot.....	19

# 1. Johdanto

Tutkimuksessa mallinnetaan epidemioiden leviämistä. Aihe on ajankohtainen, koska epidemiat kuten AH1N1 (sikainfluenssa), AH5N1 (lintuinfluenssa) ja SARS ovat olleet esillä mediassa. Suomessa on viime aikoina ollut paljon keskustelua rokotuksesta. Epidemiaa mallintamalla voidaan ennustaa taudin leviämistä ja vertailla eri keinoja taistella taudin leviämistä vastaan. [1]

Tutkimme agenttipohjaisen mallin avulla, kuinka monta ihmistä pitää vähintään rokottaa, jotta taudin leviäminen pysähtyisi. Tutkimme miten paikka, jonne kerääntyy ihmisiä eri puolelta maata vaikuttaa taudin leviämiseen. Mallissamme tarkensimme paikan sisäoppilaitokseksi, kuten Päivölän matematiikkalinja, jossa itse opiskelemme ja johon AH1N1:tä on odotettu pitkin syksyä. Täällä ihmiset ovat kaksi viikkoa kerrallaan ja joka toinen viikonloppu kotona.

Epidemioita on mallinnettu matemaattisilla malleilla. Niissä tarkastellaan ihmisiä, jolla on kolme mahdollista vaihetta. SIS (Susceptible – Infected – Susceptible)-mallissa ihminen ei tule immuuniksi sairaudelle ja voi siten parantumisen jälkeen saada tartunnan uudelleen. SIR (Susceptible – Infected – Recovered/Removed) – mallissa ihminen parantuu ja tulee immuuniksi sairaudelle (Recovered) tai kuolee (Removed) tartunnan jälkeen. Molemmissa malleissa tilannetta tarkastellaan differentiaaliyhtälöiden avulla. Agenttipohjaisten mallien toimivuutta voidaan arvioida vertaamalla niiden käyttäytymistä näihin malleihin. [2][3][4]

Agenttipohjaisiin malleihin perustuvia tutkimuksia on julkaistu Internetissä ja tiedeartikkeleissa. Joshua Epstein on mallintanut epidemian leviämistä suuressa mittakaavassa mallintamalla suurta osaa Amerikasta. Hän on luonut keinotekoisia yhteiskuntia, joiden asukkaiden käyttäytymisen mallintamiseen on panostettu. Hänen mallissaan käytettiin tilastoja ihmisten matkustamisesta. Epidemioihin liittyvät agenttipohjaiset mallit ovat tuore ilmiö, joten läheskään kaikkea ei olla vielä tutkittu. [5][6]

Miles Parker on mallintanut erään virustaudin leviämistä pienessä tilassa. Hänen mallissaan

piirretään kuvaajaa, josta ilmenee kuinka monta ihmistä on kussakin vaiheessa tautia ja kuinka tauti kehittyy. Kuvaajasta ilmenee myös taudin leviämisenopeus ja elinaika. [7]

Tällaista taudin leviämistä voi mallintaa globaalisti ja tutkia maiden välistä lento- tai laivaliikennettä, jolloin on olennaista keskittyä matkatilastoihin yksityiskohtaisen mallin sijasta. Kun mallinnetaan influenssan etenemistä pienessä kylässä, on tärkeämpää tutkia yksittäisten ihmisten tapaa käydä ulkona tai altistua taudille. Malleissa voi olla siis runsaasti variaatiota tutkimusaiheen mittakaavasta riippuen. [5][6]

Agenttipohjaisessa mallissa monimutkaisia tilanteita mallinnetaan tietokoneohjelmalla, joka sisältää lukuisia agenteja. Omassa tutkielmassamme agentit ovat yksittäisiä kansalaisia. Mallissamme agentit käyttäytyvät tiettyjen sääntöjen mukaan. Nämä säännöt määräävät esimerkiksi agenttien liikkumavaraa ja tapaa tartuttaa tautia. Yksinkertaisen agentin sääntöjä ovat mm.: liikkuminen, taudin tartuttaminen ja taudin kehittyminen. [8][9]

Agenttipohjaiset mallit eivät anna täysin todenmukaisia tuloksia. Niiden avulla pyritään mallintamaan kohdetilannetta tietyillä oletuksilla ja säännöillä. Täysin todenmukaisia tuloksia varten mallissa tulee olla suuri määrä tarkkoja sääntöjä. [9][10]

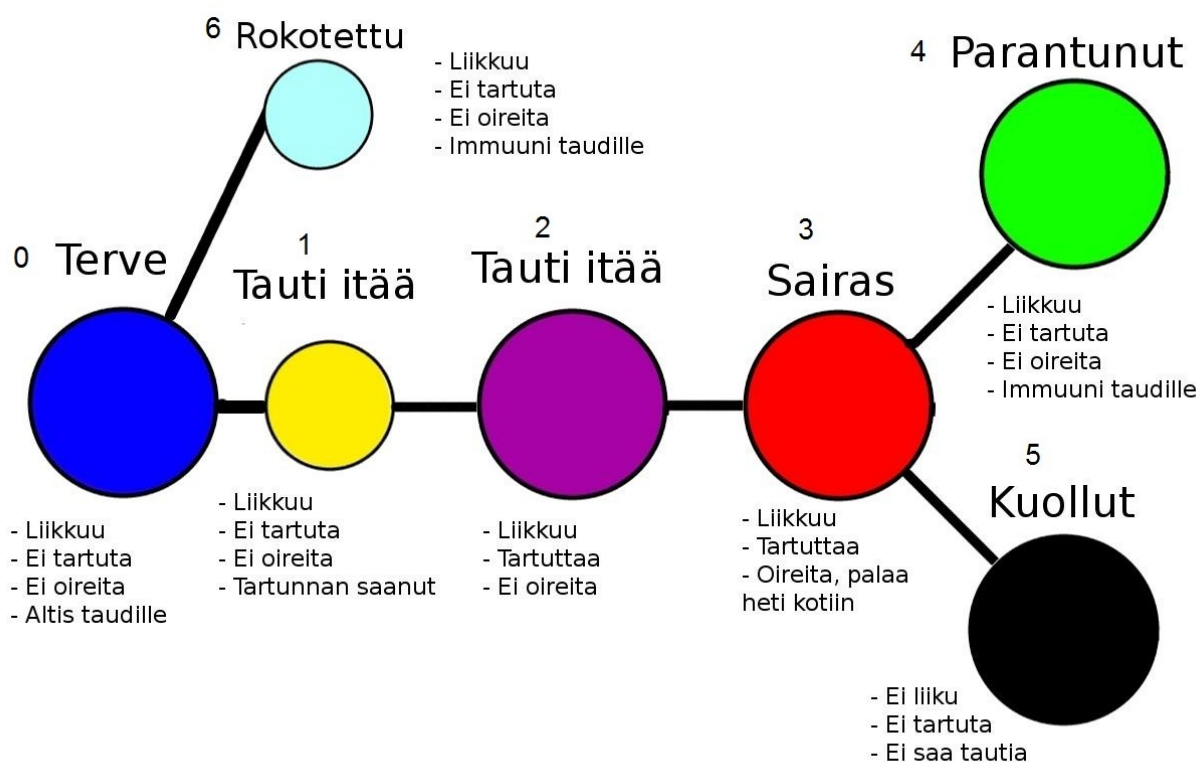
Agenttien sääntöihin liittyy tietty todennäköisyys tai aika. Epidemioita mallinnettaessa agenteilla on jokin todennäköisyys tartuttaa tauti, jos he ovat saaneet sen. Tartuntatodennäköisyys on tautikohtainen, sen voi etsiä aikaisemmista tutkimuksista. Sääntö voi myös olla ajasta riippuvainen. Esimerkiksi taudin kehittymisen osalta. [7][8]

Agenttipohjaisen mallin menetelmässä on tärkeää rajata agenttien yksilöllisyyttä ja ominaisuuksia. Agenttien ominaisuuksia, esimerkiksi vastustuskykyä (tartuntariskiä), varten tutkitaan tilastoja joiden pohjalta määritetään keskimääräinen vastustuskyky. Yksilöllisyys ja vaihteleva vastustuskyky ihmisten joukossa voidaan huomioida hajonnalla, jossa esimerkiksi yksilön parametrien arvot otetaan satunnaisesti käyttäjän määrittämältä väliltä. Osa henkilöistä saattaa olla lähes immuuneja taudille, kun taas jotkut saavat immuniteetin rokotuksesta. [8][10]

## 2. Menetelmät ja aineisto

### 2.1 Taudin vaiheet

Agenttipohjaisessa mallissa luodaan suuri määrä agenteja, joille annetaan sääntöjä joiden mukaan agentit käyttäytyvät. Epidemioiden leviämistä mallinnettaessa agentit ovat ihmisiä, jotka ovat sairauden eri vaiheissa. Mallimme on SIR-tyypin malli eli agentit eivät voi saada uutta tartuntaa parantumisen jälkeen. [2][11] Agenti voi siis olla jossakin seuraavista tiloista:



Kuva 1: Kaavio agentin taudin vaiheista

Terve agenti on altis tartunnalle, jolloin se voi liikkua ja saada taudin agenteilta, jotka ovat vaiheessa 2 tai 3. Taudin itämisen vaiheen (vaihe 1) alussa agentilla on muuten samat ominaisuudet kuin terveellä, lukuun ottamatta mahdollisuutta saada tartuntaa tai rokotusta. Vaiheessa 2 tauti itää, jolloin ihmisellä ei ole oireita, mutta hän voi tartuttaa tautia muihin.

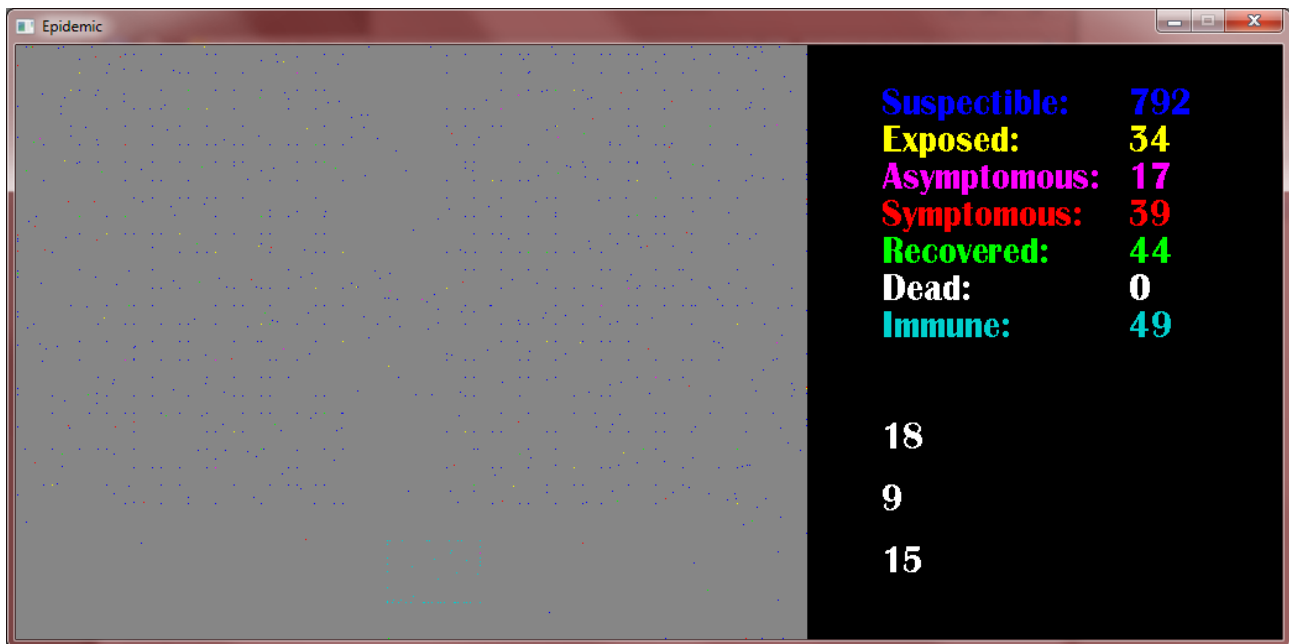
Kolmannessa vaiheessa agentilla on oireita ja agenti tartuttaa tautia muihin. Vaiheesta 3 tauti voi kehittyä tilaan 4 tai 5 todennäköisyydellä  $p$ , joka kuvaa taudin kuolettavuutta. Vaiheessa 4 ihminen

on parantunut ja täten immuuni taudille (SIR mallin mukaan). Vaiheessa 5 agentti on kuollut taudin seurauksena, kuolleet agentit jäävät paikoilleen, eivätkä tartuta tautia. Vaiheessa 6 agentti on rokotettu ja immuuni taudille. Agentti saa immuniteetin 2 viikkoa rokotuksen jälkeen. [7][9][12]

## **2. 2 Mallin tietorakenne**

Graafisessa simulaatiossa ihmiset ovat pikseleitä, joille määritetään ominaisuuksia, kuten taudin vaiheet. Erityisesti suuren mittakaavan mallissa, kuten yli 20 000 ihmisen mallissa, on tärkeää käyttää mahdollisimman optimaalista tietorakennetta, jotta ohjelma voidaan ajaa järkevässä ajassa. Teimme ensin mallin, jossa tarkistetaan jokaista tervettä agenttia kohti kaikki sairaat agentit. Tässä tarkastuksessa katsotaan, onko sairas agentti terveen agentin vieressä ja jos on, tarkistetaan tartuttaako se taudin terveeseen agenttiin. Tämä operaatio toistetaan kaikille terveille agenteille kunnes kaikki agentit ollaan käyty läpi, jolloin iteraatio päättyy. 50 000 ihmisen simulaatiossa on noin 1000 iteraatiota, mikä tekee tämänkaltaisesta tarkastelusta varsin hitaan.

Kehitimme mallia niin, että tarkastelut suoritetaan kaikkien pikseleiden taulukossa. Tällä tavalla ei tarvitse tarkastella jokaista tervettä ihmistä kohti kaikkia ihmisiä, vaan voidaan suoraan tarkastella terveen ihmisen vieressä olevia pikseleitä. Nämä joko tartuttavat tautia tai ovat merkityksettömiä taudin vaiheesta riippuen. Tämän tyylisessä rakenteessa on huomattavasti pienempi aika-arvio. Aika-arvio on ensimmäisessä mallissa  $O(N^2)$  luokkaa, kun taas jälkimmäisellä tavalla saadaan lineaarinen aika-arvio, eli  $O(N)$ .



Kuva 2: Kuvakaappaus mallista

## 2.3 Mallin parametrit

Tautiin liittyvät parametrit voivat olla vaikeita määrittää. Joitakin parametrejä joudutaan arvioimaan suurpiirteisesti. Tautiin liittyviä parametrejä pitää muuttaa malliin sopiviksi. Mallin käyttäjät päättävät millä parametreillä mallia ajetaan. [7] Parametrien perään on merkitty lähde, josta parametrin oletusarvo on saatu. Jos lähdettä ei ole, parametri on arvioitu suurpiirteisesti ja on tarkoitettu käyttäjän säädettäväksi.

Parametrien oletusarvot löytyvät liitteistä.

Mallimme parametrit ovat:

Nimi	Kuvaus
<i>Agenttien määrä asuntoa kohti</i>	Kuinka monta agenttia jokaisessa asunnossa asuu
<i>Asuntojen määrä</i>	Kuinka monta asuntoa tässä yhteiskunnassa on. Jokaisessa asunnossa on ylemmän parametrin ilmoittama määrä asukkaita.
<i>Tartunnan saaneiden määrä alussa</i>	Taudin saaneiden agenttien määrä mallin alussa. Agenttien tauti on itämisvaiheessa.
<i>Min tartuntariski [7]</i>	Minimitodennäköisyys, jolla sairas agentti

	tartuttaa agentin tartuntaetäisyydellä yhden aika-askelen ajassa. Jokaisen mallin ajon alussa jokaiselle agentille asetetaan tartuntariski minimin ja maksimin väliltä. Jos minimi ja maksimi ovat samat, jokaisella agentilla on sama todennäköisyys tartuttaa kaikkia viereisiä agenteja. Arvon täytyy olla välillä 0 – 1.0 ja sen tulee olla pienempi kuin maksimi tartuntariski.
<i>Max tartuntariski [7]</i>	Maksimitodennäköisyys, jolla agentti tartuttaa ihmisiä läheisyydessä. Täytyy olla väliltä 0 – 1.0 ja suurempi kuin minimi tartuntatodennäköisyys.
<i>Taudin kuolettavuus[14][15]</i>	Todennäköisyys kuolla tautiin. Väliltä 0 – 1.0.
<i>Aika-askel minuuteissa</i>	Aika, joka kuluu mallissa yhden iteraation aikana
<i>Tartunta aika-askel</i>	Aika, jonka välein tarkastetaan agenttien tartunnat, eli saako agentti tartunnan viereisiltä agenteilta
<i>Liikkumis aika-askel</i>	Aika, jonka välein agentit liikkuvat
<i>Agenttien nopeus</i>	Kuinka monta pikseliä agentit liikkuvat yhdessä liikkumis aika-askeleessa.
<i>Min aikajakso tauti-itää (ei tartuta) [13][15][17]</i>	Minimiaika tartunnan saaneesta eli 1 vaiheesta 2 vaiheen alkuun.
<i>Max aikajakso tauti-itää (ei tartuta) [13][15][17]</i>	Maksimiaika tartunnan saaneesta eli 1 vaiheesta 2 vaiheen alkuun.
<i>Min aikajakso tauti-itää (tartuttaa)[13][16][17]</i>	Minimiaika vaiheesta 2 vaiheeseen 3.
<i>Max aikajakso tauti-itää (tartuttaa)[13][16][17]</i>	Maksimiaika vaiheesta 2 vaiheeseen 3.
<i>Min aikajakso sairas [13][17][18]</i>	Minimiaika vaiheesta 3 vaiheeseen 4 tai 5
<i>Max aikajakso sairas [13][17][18]</i>	Maksimiaika vaiheesta 3 vaiheeseen 4 tai 5
<i>Liikkumistodennäköisyys</i>	Todennäköisyys että agentti liikkuu yhden aika-askelen aikana.
<i>Data-aikaväli</i>	Kuinka monen minuutin välein tallennetaan pisteet kuvaajaa varten.
<i>Ajoaika</i>	Kuinka monta minuuttia ohjelmaa ajetaan. Jos

	ajoaika on -1, ohjelmaa ajetaan niin kauan, kunnes kukaan ei voi enää sairastua.
<i>Ajojen määrä</i>	Kuinka monta kertaa ohjelma ajetaan. Jokaista ajoa varten piirretään oma kuvaaja.
<i>Sisäoppilaitoksen opiskelijat</i>	Sisäoppilaitoksen opiskelijoiden määrä (0 jos ei huomioida sisäoppilaitosta)
<i>Rokotettavien määrä</i>	Mallissa rokotettavien määrä. Sisäoppilaitoksen opiskelijat eivät kuulu rokotettavien joukkoon
<i>Sisäoppilaitoksen rokotus</i>	Rokotetaanko sisäoppilaitoksen opiskelijat. Tällöin rokotetaan kaikki sisäoppilaitoksen opiskelijat, eikä ketään muuta. Jos true rokotettavien määrä on merkityksetön.

## **2.4 Tartunta**

Tartuntariskiä on vaikea arvioida, sillä lääketieteen termeissä puhutaan yleensä taudin kertautumisluvusta. Kertautumisluvulla tarkoitetaan uusien tapausten määrää yhtä tartunnan saanutta kohti. Tämän numeron etuja ovat sen yksinkertaisuus ja käytännöllisyys.

Luvulle pätee yksinkertaiset säännöt:

- Jos  $R_0$  (kertautumisluku)  $< 1$  tauti katoaa, sillä yksittäistä tartuntaa kohti ei synny välttämättä uutta tartuntaa.
- Jos  $R_0$  (kertautumisluku)  $> 1$  tauti leviää rajattomasti, koska tartuntaa kohti syntyy enemmän kuin yksi uusi tartunta.

AH1N1:llä kertautumisluku on 1.4 – 1.6.

Tartuntatodennäköisyyden voisi kalibroida tämän luvun perusteella, esimerkiksi ajamalla mallia eri todennäköisyyksillä, kunnes jokaista sairasta kohti ilmestyy kertautumisluvun verran uusia sairastapauksia.

Mallia voisi myös muokata kertautumisluvun mukaiseksi, jolloin agenteille annetaan ominaisuus tartuttaa 1-2 kansalaista eli keskimäärin 1.5. [19][20]

Agenttipohjaisessa mallissa kertautumislukua voi käyttää yhdessä tartuntatodennäköisyyden kanssa. Kertautumisluku aiheuttaa ongelmia, jos tartuttava agentti päätyy suureen terveeseen väkijoukkoon, mutta ei pysty tartuttamaan heistä kuin korkeintaan 2. Oikeassa tilanteessa agentti tartuttaisi todennäköisesti enemmän. Kertautumisluku rajoittaa taudin leviämistä liikaa.

Päädyimme lopulta ratkaisuun, jossa taudin kertautumislukua ei huomioida.

Tartuntatodennäköisyytenä käytetään lukua väliltä 0,08 – 0,16, jota käytetään aiemmassa tutkimuksessa [7]. Tämä parametri on myös käyttäjän säädeltävissä.

## **2.5 Aika-askel**

Mallissa täytyy asettaa sopiva aika-askel jokaista iteraatiota kohti. Aika-askel tarkoittaa sitä kuinka kauan simulaation aikaa kuluu yhtä iteraatiota kohti. Yksi iteraatio liikuttaa agenttia vain yhteen suuntaan, joten pienellä askeleella agentti voi liikkua suoran viivan sijasta epäsuoraa polkua.

Pienen aika-askeleen ongelmia on mallin hitaus. Jos tauti kehittyy toiseen vaiheeseen 2 päivässä, se tarkoittaa 2\*24\*60 iteraatiota. Pienellä aika-askeleella mallin ajaminen kestäisi kauan normaalilla pöytäkoneella. Kun simulaatioita ajetaan yli sata kertaa saattaa pieni aika-askel viedä liian kauan aikaa. Toisaalta tulosten uskottavuuden kannalta pienempi aika-askel on parempi, sillä agenttien liikkuvuus on realistisempaa (pienempiä askeleita iteraatiota kohti).

Aika-askeleen suuruus vaikuttaa myös sairastuvien määrään. Pienellä aika-askeleella taudin tarttuvuus tarkastetaan useammin, joten se myös tarttuu enemmän.

Tätä varten mallissa on erikseen aika-askel ja tartunnan ja liikkumisen tarkastusväli. Agentit voi laittaa liikkumaan 10 minuutin aika-askeleella ja tarkastaa tauti 50 minuutin aika-askeleen välein. Tällöin ei tule liikaa tarkastuksia ja tauti ei leviä liikaa pienellä aika-askeleella.

## **2.6 Mallin yhteiskunta**

Mallissamme on yksinkertainen yhteiskunta, jossa kansalaiset asuvat kotonaan, käyvät koulussa, töissä ja hakemassa rokotuksen. Mallissa agenteille asetetaan kohde, jonne ne pyrkivät.

Saavutettuaan alueen he kävelevät satunnaisesti ympäri aluetta. Tarkoituksena on mallintaa

tilannetta, jossa suuri joukko ihmisiä kokoontuu pieneen tilaan pitkäksi ajaksi ja sen jälkeen hajaantuu ympäri aluetta.

Tässä mallissa kokoontumispaikka on sisäoppilaitos. Osalla kokoontuvista ihmisistä voi olla tauti. Tämä todennäköisesti tarttuu sisäoppilaitoksessa oltuna aikana. Tämän jälkeen oppilaat palaavat kotiinsa ja voivat tartuttaa tautia eteenpäin. Tarkoituksena on tarkastella kuinka sisäoppilaitos taudin leviämiseen.

Asunnot:

- Agentit ovat kotona 13 tuntia päivässä
- sisäoppilaitoksen opiskelijat ovat asunnossa joka toisen toisen viikonlopun, muun ajan he asuvat opistossa
- Kotonaan agentit pyörivät sisätiloissa liikkumissääntöjen mukaisesti ja sairastuneet pysyvät paikoillaan
- Sijainti: riveissä alueen laidoilla
- Asunnoissa asuvien henkilöiden määrä on käyttäjän säädeltävissä, oletusarvona 3.  
Oletusarvo perustuu oletukseen, että jokaisessa kodissa on kaksi vanhempaa ja yksi lapsi
- Koko: 15 x 15 pikseliä

Koulu:

- Agentit käyvät koulussa opiskelemaan tai töissä, sisäoppilaitoksen opiskelijat opiskelevat omassa opistossaan
- Kävelevät sääntöjen mukaisesti, sairastuneet agentit palaavat kotiin
- Agentit ovat koulussa 6 tuntia (myös töissä käyvät)
- Kouluja on kaksi, keskustassa
- Koko: 40 x 70 pikseliä

Työpaikka:

- Agentit liikkuvat sääntöjen mukaisesti, sairastuneet agentit palaavat kotiin
- Työaika 8 tuntia

- Työpaikkoja on yhteensä 6; varsinaisia työpaikkoja on 2 keskustassa, niiden lisäksi terveyskeskukset ja koulut toimivat työpaikkoina
- Sisäoppilaitoksen opiskelijoista kukaan ei käy työpaikalla
- Koko: 40 x 70 pikseliä

Terveyskeskus:

- Agentit käyvät hakemassa rokotuksen ja palaavat kotiin
- Osa agenteista käy terveyskeskuksissa töissä
- Agentit liikkuvat sääntöjen mukaisesti, sairastuneet agentit palaavat kotiin
- Työaika 8 tuntia, rokotettavat käyvät yhtenä päivänä ja palaavat muihin toimiin
- Koko 40 x 70

Sisäoppilaitos

- Agentit ovat sisäoppilaitoksessa kaksi viikkoa kerrallaan ja käyvät joka toinen viikonloppu (kolme päivää) kotona
- Liikkuvat sääntöjen mukaisesti, sairastuneet palaavat kotiin
- Koko 75 x 50

Agenttien matkoihin kuluu yhteensä 3 tuntia.

## 3 Tulokset

### 3.1 Sisäoppilaitoksen vaikutus

Vertasimme miten tauti leviää sisäoppilaitoksen kanssa ja ilman sitä. Tuloksissa ei ollut merkittävää eroa. Tämä johtuu siitä, että sisäoppilaitoksessa on pieni määrä opiskelijoita, joten se ei vaikuta merkittävästi tartuntojen kokonaismäärään.

Jokaisessa kokeessa ajoimme mallia kymmenen kertaa samoilla parametreillä ja laskimme kaikkien parantuneiden määrän keskiarvon. Kuolleita oli kaikissa kokeissa ollut todella vähän, joten se ei vaikuta tuloksiin.

Keskimääräinen parantuneiden määrä ilman sisäoppilaitosta: 653

Keskimääräinen parantuneiden määrä kun sisäoppilaitos on mukana: 644

Kun sisäoppilaitos otetaan tarkasteluihin mukaan tartunnan saa 1.4 % vähemmän agenteista. Pieni ero johtuu otoksen koosta ja parametrien satunnaisuudesta.

### **3.2 Sisäoppilaitoksen rokotus**

Tutkimme myös onko tuloksissa eroa jos rokotetaan 50 sisäoppilaitoksen opiskelijaa vai 50 muuta agenttia.

Keskimääräinen parantuneiden määrä kun sisäoppilaitoksen 50 opiskelijaa rokotettiin: 550

Keskimääräinen parantuneiden määrä kun 50 muuta agenttia rokotettiin: 593

Rokottamalla sisäoppilaitoksen opiskelijat muiden agenttien sijasta tartuntoja ilmeni 7.3 % vähemmän. Tuloksista nähdään, että olisi kannattavampaa rokottaa sisäoppilaitoksen opiskelijat kuin muut agentit.

### **3.3 Rokotusten vertaus**

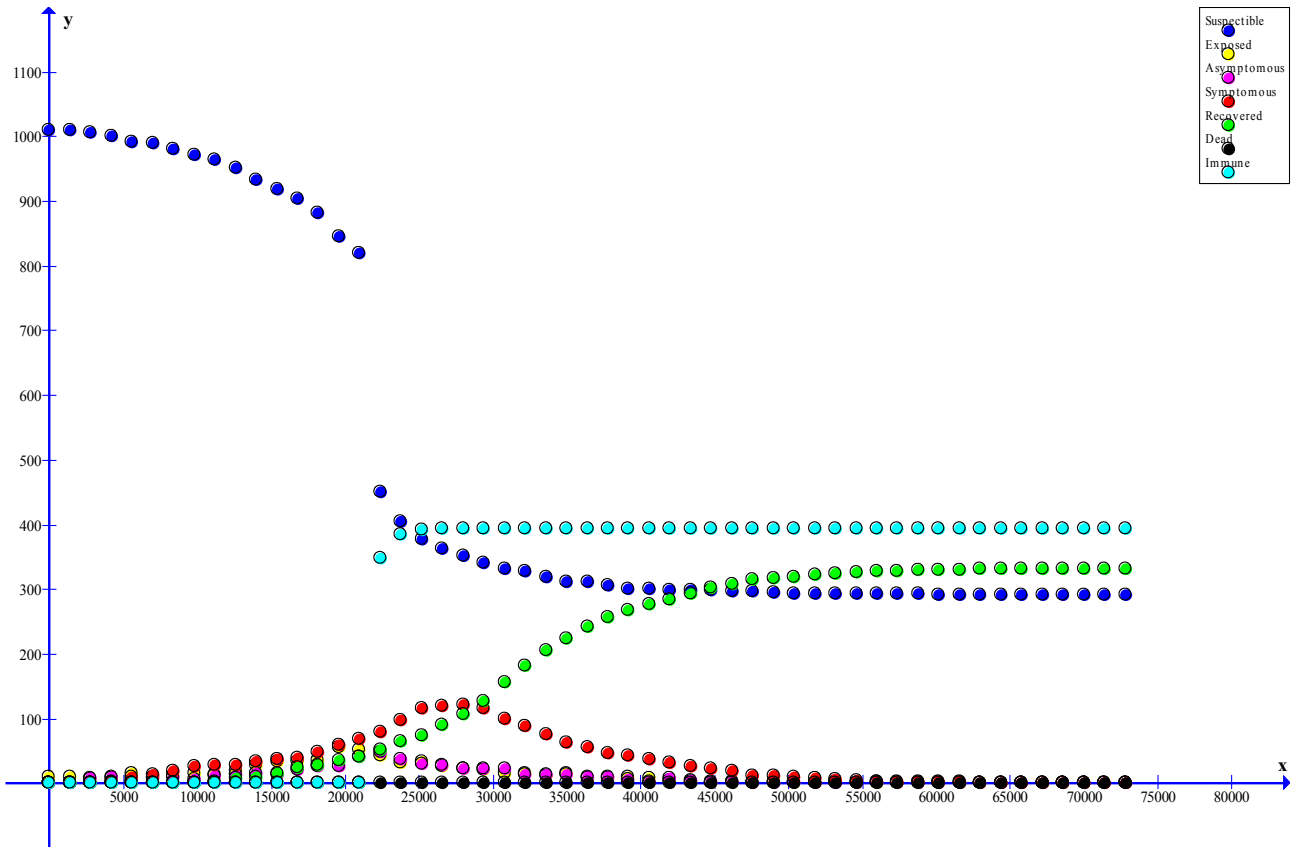
Yritimme löytää kriittisen määrän rokotettavia, eli selvittää löytyykö sellainen määrä rokotettavia, jonka jälkeen rokottamisen lisääminen ei enää vaikuta sairastuneiden määrään. Mallissa rokotettiin 200, 600 ja 800 agenttia ja vertasimme parantuneiden määriä. Mallissa osa agenteista ei ota rokotusta, mutta rokotettujen tarkka määrä ilmenee kuvaajista. Kuvaajat löytyy liitteistä.

200 rokotettu: keskimäärin 469 agenttia sairastui

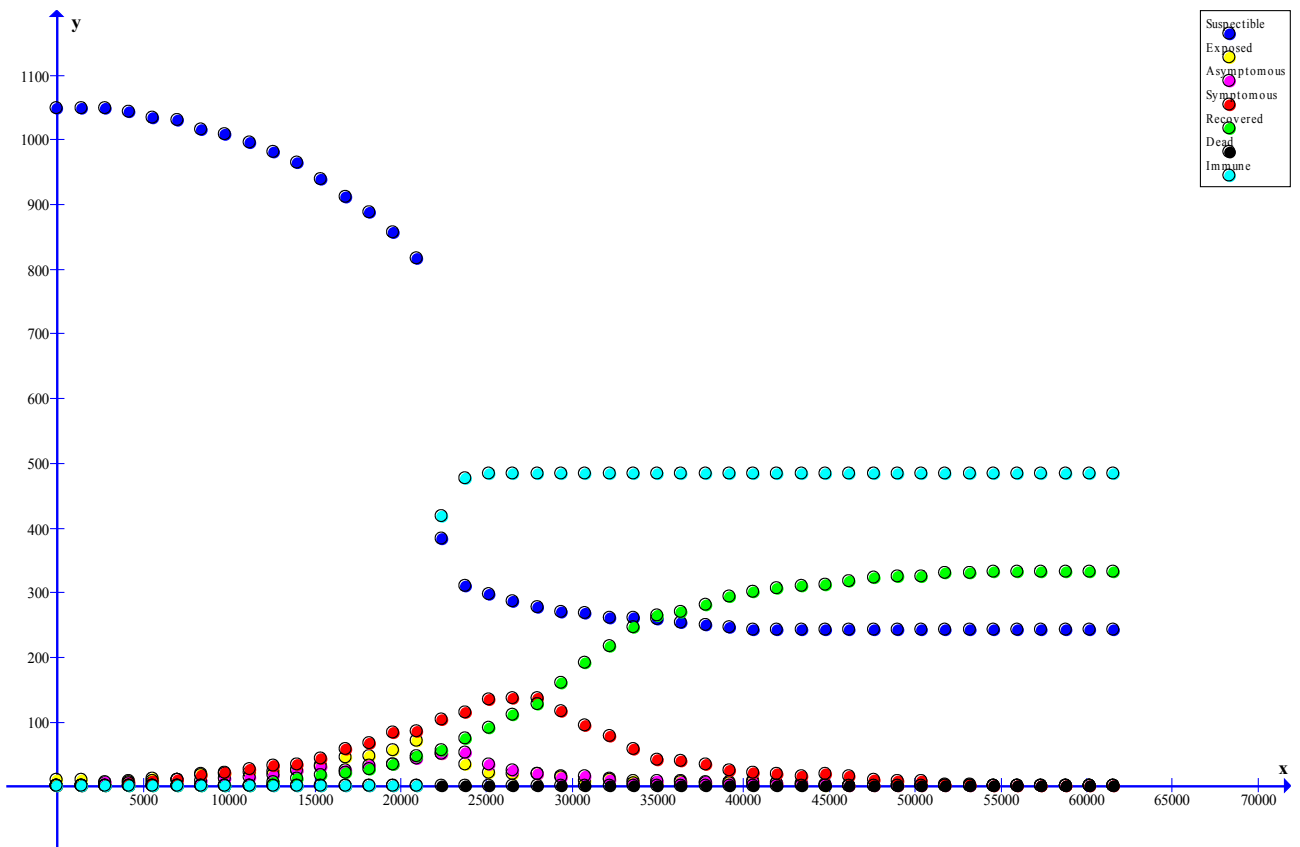
600 rokotettu: keskimäärin 286 agenttia sairastui

800 rokotettu: keskimäärin 283 agenttia sairastui

600 ja 800 rokotetulla agentilla saaduissa tuloksissa ei ole suurta eroa. Poistimme otoksesta selvästi poikkeavat tulokset. Tuloksista huomataan, että voidaan löytää kriittinen määrä rokotettavia, jonka jälkeen rokotettavien lisääminen ei muuta tuloksia merkittävästi.



Kuva 3: Kuvaaja tilanteesta, jossa rokotettiin 600 henkilöä. Värit ovat samat kuin kaaviossa taudin vaiheista



Kuva 4: Kuvaaja tilanteesta, josta rokotettiin 800 henkilöä. Värit ovat samat kuin kaaviossa taudin vaiheista.

## 4 Johtopäätökset

Tutkimuksessamme on seuraavat virhelähteet: Osa agenteista ei hae rokotusta. Käytämme vain parantuneiden määrää, osa agenteista voi olla kuolleita tai vielä sairaana. Näitä agenteja on tosin vain muutama. Käyttämillämme menetelmillä ja niiden virhelähteillä saimme seuraavat tulokset:

- Sisäoppilaitosten olemassaolo ei juuri vaikuta taudin leviämiseen
- Sen sijaan sisäoppilaitoksen oppilaiden rokottaminen vaikuttaa merkittävästi enemmän sairastuneiden määrään kuin muiden agenttien rokottaminen
- Rokottamiselle on olemassa kriittinen määrä rokotettavia, jonka jälkeen sairastuneiden määrää ei voida enää vähentää. Mallissamme tämä määrä on n.60% agenteista.

Näiden tulosten pohjalta voimme väittää, että sisäoppilaitoksen opiskelijoiden rokottaminen on tärkeämpää kuin muiden ihmisten. Siksi jatkossa sisäoppilaitosten oppilaat voitaisiin jatkossa ennen muiden rokottamista. Lisäksi väitämme, että ei ole kannattavaa rokottaa yli 60% väestöstä.

Mallimme parametrit ovat käyttäjän helposti säädettävissä, joten mallia voidaan käyttää myös myöhemmissä tutkimuksissa.

## 5 Lähteet

[1] [http://www.brookings.edu/multimedia/video/2008/1202\\_pandemic\\_modeling\\_epstein.aspx](http://www.brookings.edu/multimedia/video/2008/1202_pandemic_modeling_epstein.aspx)

Epstein J. 2.12.2008. How Computer Modeling Can Avert Pandemic Outbreaks.

(Luettu 16.10.2009)

[2] <http://www.fordham.edu/images/Undergraduate/economics/faculty/SIR.pdf>

Tassiers T. 15.9.2005. SIR model of epidemics. (Luettu 13.9.2009)

[3] <http://www.math.duke.edu/education/ccp/materials/diffcalc/sir/sir7.html>

Copyright 2000. The SIR Model for Spread of Disease. (Luettu 13.10.2009)

[4] <http://www.sal.tkk.fi/Opinnot/Mat-2.129/Harjoitustyot/Esseet/ahvenniemi.pdf>

Ahvenniemi R. 31.3.2009. Harjoitustyö: Tartuntatautien dynaamisista leviämismalleista.

(Luettu 18.10.2009)

[5] <http://www.brookings.edu/dynamics/Models/lam.aspx>

Large-Scale Agent Model. (Luettu 16.10.2009)

[6] [http://www.brookings.edu/interviews/2008/0402\\_agent\\_based\\_epstein.aspx](http://www.brookings.edu/interviews/2008/0402_agent_based_epstein.aspx)

Epstein J. 2.4.2008. Artificial Society: Getting Clues on How a Pandemic Might Happen by Creating a Huge Model of the United States. (Luettu 16.10.2009)

[7] <http://milesarker.blogspot.com/2009/05/running-agent-based-model-of-influenza.html>

Parker M. 8.5.2009. Running an Agent-Based Model for Influenza. (Luettu 15.10.2009)

[8] <http://milesarker.blogspot.com/2009/05/agent-based-model-for-influenza-h1n1.html>

Parker M. 1.5.2009. An Agent-Based Model for Influenza A (H1N1). (Luettu 15.10.2009)

[9] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.118.546&rep=rep1&type=pdf>

Epstein J. 18.5.1999. Agent-Based Computational Models And Generative Social Science (Luettu 13.10.2009)

[10] [http://www.brookings.edu/multimedia/video/2009/0818\\_modeling\\_epstein.aspx](http://www.brookings.edu/multimedia/video/2009/0818_modeling_epstein.aspx)

Epstein J. 18.8.2009. How Computer Modeling Can Stem the Spread of Influenza (Luettu 16.10.2009)

[11] [http://pediatrics.about.com/gi/o.htm?](http://pediatrics.about.com/gi/o.htm?zi=1/XJ&zTi=1&sdn=pediatrics&cdn=health&tm=177&f=00&tt=2&bt=1&bts=1&zu=http%3A//www.cdc.gov/swineflu/swineflu_you.htm)

[zi=1/XJ&zTi=1&sdn=pediatrics&cdn=health&tm=177&f=00&tt=2&bt=1&bts=1&zu=http%3A//www.cdc.gov/swineflu/swineflu\\_you.htm](http://pediatrics.about.com/gi/o.htm?zi=1/XJ&zTi=1&sdn=pediatrics&cdn=health&tm=177&f=00&tt=2&bt=1&bts=1&zu=http%3A//www.cdc.gov/swineflu/swineflu_you.htm)

5.11.2009. 2009 H1N1 Flu ("Swine Flu") and You. (Luettu 10.11.2009)

[12] <http://www.poliklinikka.fi/?page=2515207&id=7394447>

29.04.2009. Artikkelin on päivitetty 16.11.2009. (Luettu 15.10.2009)

[13] <http://www.nhs.uk/conditions/pandemic-flu/pages/qa.aspx#incubation>

n.d. Swine flu Q&A

[14] [http://www.scientistlive.com/European-Science-News/Biotechnology/Early\\_findings\\_about\\_H1N1\\_pandemic/22321/](http://www.scientistlive.com/European-Science-News/Biotechnology/Early_findings_about_H1N1_pandemic/22321/)

n.d., Early findings about H1N1 pandemic, (Luettu 21.10.2009)

[15] <http://www.reuters.com/article/healthNews/idUSTRE58E6NZ20090916>

Fox M. 16.9.2009. Swine flu death rate similar to seasonal flu: expert. (Luettu 23.10.2009)

[16] <http://healthclub.info-ebazaar.com/influenza-a-h1n1-and-swine-flu-course-of-infection/>

30.8.2009. Influenza A, H1N1 and Swine Flu: Course of Infection. (Luettu 18.10.2009)

[17] <http://www.fluwiki.info/pmwiki.php?n=Science.DiseaseTransmissionPrimer>

Viimeksi muokattu 8.11.2009. Disease Transmission Primer. (Luettu 22.10.2009)

[18] [http://scienceblogs.com/effectmeasure/2009/05/swine\\_flu\\_estimating\\_pandemic.php](http://scienceblogs.com/effectmeasure/2009/05/swine_flu_estimating_pandemic.php)

12.5.2009. Swine flu: estimating pandemic potential with a computer model using early data. (Luettu 18.10.2009)

[19] <http://www.panama-guide.com/article.php/20090517152331424>

Winner D. 17.5.2009. The "Basic Reproduction Number" for the A/H1N1 Virus.

(Luettu 15.10.2009)

[20] [http://www.ghsi.ca/documents/Cauchemez\\_050920.pdf](http://www.ghsi.ca/documents/Cauchemez_050920.pdf)

Cauchemez S., Carrat S., Valleron J.-A., Ferguson N. & Boëlle P.-Y. n.d. Transmission parameters and real-time estimation methods. (Luettu 22.10.2009)

## 6 Liitteet

### 6.1 Ohjelma ja kuvaajat

Ohjelmoimamme malli lähdekoodeineen on ladattavissa osoitteesta:

[http://koti.mbnet.fi/karelkau/Epidemic\\_Release.zip](http://koti.mbnet.fi/karelkau/Epidemic_Release.zip)

Tutkimuksessa käytetyt graafit saa osoitteesta:

<http://koti.mbnet.fi/karelkau/graafeja.rar>

Graafien lukemiseen tarvitaan Graph -ohjelma osoitteesta

<http://www.padowan.dk/graph/>

### 6.2 Parametrien oletusarvot

<b>Nimi</b>	<b>Tyyppi</b>	<b>Oletusarvo</b>
Agenttien määrä asuntoa kohti	Kokonaisluku	3
Asuntojen määrä	Kokonaisluku	350
Tartunnan saaneiden määrä alussa	Kokonaisluku	10
Min tartuntariski	Liukuluku	0,08
Max tartuntariski	Liukuluku	.16
Taudin kuolettavuus	Liukuluku	.04
Aika-askel minuuteissa	Kokonaisluku	50
Tartunta aika-askel	Kokonaisluku	50
Liikkumis aika-askel	Kokonaisluku	50
Agenttien nopeus	Kokonaisluku	250
Min aikajakso tauti-itää (ei tartuta)	Kokonaisluku	1440
Max aikajakso tauti-itää (ei tartuta)	Kokonaisluku	4320
Min aikajakso tauti-itää (tartuttaa)	Kokonaisluku	1440
Max aikajakso tauti-itää (tartuttaa)	Kokonaisluku	2880
Min aikajakso sairas	Kokonaisluku	5760
Max aikajakso sairas	Kokonaisluku	8640
Liikkumistodennäköisyys	Liukuluku	.5
Data-aikaväli	Kokonaisluku	1440
Ajoaika	Kokonaisluku	80000(n.56 päivää)

<b>Nimi</b>	<b>Tyyppi</b>	<b>Oletusarvo</b>
Ajojen määrä	Kokonaisluku	10
Sisäoppilaitoksen opiskelijat	Kokonaisluku	50
Rokotettavien määrä	Kokonaisluku	0
Sisäoppilaitoksen rokotus	Totuusarvo	false