

Thesis 245

# **Mikrosimulering av fotgängare**

**En parameterstudie utgående ifrån simuleringar,  
beräkningar och fältstudier.**

Oskar Kryh

Trafik och Väg

Institutionen för Teknik och Samhälle

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet



Copyright © Oskar Kryh

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle  
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5211)/1-100pdf-sidor/2013  
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet  
Lund 2013

Author: Oskar Kryh

Title: Mikrosimulering av fotgängare – En parameterstudie utgående ifrån simuleringar, beräkningar och fältstudier.

English title: Mikrosimulation of pedestrians - A parameter study using simulation, deterministic calculation and observed data.

Language: Swedish

Year: 2013

Keywords: Fotgängarsimulering; Vissim; Rulltrappsflöde; Parameterstudie; Level of Service.

Citation: Kryh, Oskar, Mikrosimulering av fotgängare. Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2013. Thesis. 245

**Abstract:**

A bigger focus on sustainable travel has increased the interest in changing stations by introducing larger amounts of shops and restaurants. A tool that can be used by planners to estimate the impact of these changes on pedestrian movements is microsimulation models for pedestrians. This master thesis aims to investigate potential differences in maximal escalator capacity and density between field observations, capacity calculations and simulated results. The thesis also aims to describe the effects that adjustments on calibrating parameters have on the escalator capacity and how this can be used when calibrating pedestrian models in *Vissim/Viswalk*. When comparing the maximum capacities it's seen in this thesis that *Vissim/Viswalk*, using a basic parameter configuration, underestimates the capacity by about 10% compared to what was observed in field studies. In the comparison, it's also seen that the computation correlations according to TRB overstate capacity by about 7% and that the capacity values according to EN 115-1 overestimate escalator capacity by as much as 45% compared to what was observed in the field studies. The parameters considered to be most interesting from a calibration perspective is **A\_soc\_mean**, which controls the speed-dependent force between two pedestrians, **B\_soc\_isotropic**, which corresponds to the pedestrians average body radius and **tau** that controls the pedestrians reaction time in the model.



## Förord

Detta examensarbete är den avslutande delen i min Civilingenjörsutbildning i Väg- och vattenbyggnad på LTH. Examensarbetet har genomförts under våren 2013 på institutionen för Teknik och samhälle samt Trafik- och samhällsplaneringsenheten på Ramböll i Malmö.

Jag vill börja med ett stort tack till mina handledare Anders Sjöholm och Thomas Jonsson för den hjälp jag har fått och det stöd som ni utgjort. Era idéer, frågor och er konstruktiva kritik har såväl höjt kvaliteten på detta arbete som gjort det roligare och intressantare att genomföra.

Ett stort tack riktas även till Planung Transport Verkehr AG (PTV AG) som gjort detta examensarbete möjligt genom att tillhandahålla programvaror och tekniskt stöd. Tack speciellt till Tobias Kretz på PTV för din hjälp med de allra svåraste programrelaterade frågorna.

Sedan vill jag även rikta ett varmt tack till Malin Sternerup på Trafikverket och Mats Améen på Skånetrafiken. Tack Malin för den stora hjälpen med ritningar över Malmö C och tack Mats för hjälpen med resandestatistik för tågtrafiken. Ett stort tack riktas även till operatörerna på Trafikverkets driftledningscentral i Malmö för deras hjälp vid fältstudie 5 och 6.

Jag vill även passa på att rikta ett stort tack till alla medarbetare på Rambölls Trafik- och samhällsplaneringsenhet som fick mig att känna mig som hemma redan ifrån dag ett. Era glada tillrop, intressanta frågor och härliga laganda har gjort det roligt att gå till jobbet varje dag och har därmed också gjort det lättare att genomföra detta examensarbete.

Sist men absolut inte minst vill jag även rikta ett stort tack till min familj för allt stöd och all hjälp jag fått under arbetet. Tack för att ni finns!

*Oskar Kryh*  
Malmö, juni 2013

# Innehållsförteckning

Förord .....	i
Sammanfattning.....	v
Summary.....	viii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte .....	2
1.3 Hypoteser .....	3
1.4 Avgränsning.....	4
1.5 Definition av begrepp .....	4
1.6 Läsanvisning .....	1
2 Metod.....	5
2.1 Litteraturstudie.....	5
2.1.1 Tidigare studier angående kalibrering av <i>Vissim/Viswalk</i> .....	5
2.1.2 Viswalk.....	7
2.1.3 Social force modellen .....	9
2.1.4 Ruttvalsmodeller i <i>Vissim/Viswalk</i> .....	14
2.1.5 Konceptet Level of Service .....	17
2.1.6 Befintliga beräkningssamband .....	19
2.1.7 Förutsättningar till fältstudie .....	24
2.2 Fältstudie.....	27
2.2.1 Fältstudie 1 den 27 februari 2013 .....	27
2.2.2 Fältstudie 2 den 4 mars 2013 .....	27
2.2.3 Fältstudie 3 den 27 mars 2013 .....	28
2.2.4 Fältstudie 4-5 den 22-23 april 2013.....	28
2.2.5 Fältstudie 6 den 25 april 2013 .....	28
2.3 Beräkningar.....	29
2.3.1 Indata .....	29
2.3.2 Val av samband .....	29
2.4 Simulering.....	31
2.4.1 Modellens uppbyggnad .....	31
2.4.2 Rutter och ruttval i modellen .....	33

2.4.3	Modellspecifika inställningar .....	36
2.4.4	Uppkomna problem under modellkonfigurationen .....	36
2.4.5	Studier.....	38
2.4.6	Verifiering, Validering och Kalibrering .....	39
2.5	Effektbedömning av parameterjusteringar.....	42
3	Resultat .....	44
3.1	Fältstudie.....	44
3.2	Beräkning.....	50
3.3	Simulering.....	51
3.4	Effektbedömning av parameterjusteringar - Rulltrappsflöde .....	55
3.4.1	Tau .....	55
3.4.2	Grid_size.....	55
3.4.3	React_to_n .....	56
3.4.4	A_soc_isotropic .....	56
3.4.5	B_soc_isotropic .....	57
3.4.6	Lambda_mean .....	57
3.4.7	A_soc_mean .....	58
3.4.8	B_soc_mean .....	58
3.4.9	VD .....	59
3.4.10	Sammanställning .....	60
3.5	Effektbedömning av parameterjusteringar - Densitet.....	61
3.6	Parameterjustering som lösning på problematik vid rulltrappans ingång.....	63
4	Analys.....	64
4.1	Jämförelse av resultat.....	64
4.1.1	Begränsande snitt mellan plattform och rulltrappa.....	64
4.1.2	Jämförelse av rulltrappsmaxkapaciteter .....	64
4.1.3	Jämförelse av densitetsutveckling (LOS-nivåer).....	65
4.1.4	Skillnader i köbeteende .....	66
4.1.5	Analys av parameterkonfigurationer - Rulltrappsflöden.....	68
4.1.6	Analys av parameterkonfigurationer – Densitet.....	70
5	Slutsatser.....	73
5.1	Bedömning av hypoteser .....	73

5.2	Förslag till fortsatta studier .....	76
6	Referenser.....	78
	Bilaga 1.....	80
	Bilaga 2.....	81
	Bilaga 3.....	82
	Bilaga 4.....	83



## Sammanfattning

På senare år har miljömedvetandet bland såväl allmänheten som hos planerarna ökat. Detta har lett till att fokus blivit större på det hållbara resandet. Som en del i detta har intresset ökat för att få fler att åka kollektivt. Då järnvägsstationer anses vara stora symboler för kollektivtrafiken, är det viktigt att beakta hur resenärerna upplever stationsmiljön och stationens kopplingar till omgivningen. Detta då upplevelsen vid ett stationsbesök kan påverka resenärens syn på hela kollektivtrafiksystemet. I samband med renovering av gamla stationer har intresset ökat för att förändra delar av stationens användning genom att införa större mängder handel och restauranger. En sådan förändring ställer speciella krav på utformningen då andelen ickeresande besökare ökar och nya rörelsemönster introduceras i stationsmiljön.

Ett verktyg som kan användas av planerare och stationsinnehavare för att bedöma hur fotgängarflödena påverkas av om- och tillbyggnader är mikrosimuleringsmodeller för fotgängare. I detta examensarbete används ett mikrosimuleringsprogram som heter *Vissim*, med fotgängartillägget *Viswalk*, som utvecklas och marknadsförs av Planung Transport Verkehr AG (PTV AG).

*Vissim/Viswalk* används för att simulera fotgängarflöden i bland annat järnvägsstationer arenor och andra byggnader med stora fotgängarflöden. Vid simulering kan möjliga platser för till exempel rulltrappor och hissar utredas samtidigt som platser där kapaciteten överskrids kan identifieras.

Examensarbetet syftar till att undersöka eventuella skillnader mellan fältstudier, mikrosimulering och beräkning vad det gäller maximala fotgängarflöden och densitetsnivåer i och vid rulltrappor i stationsmiljöer. Examensarbetet har även som syfte att beskriva vilka effekterna blir av olika parameterjusteringar på kapaciteten i rulltrappan, samt hur dessa justeringar kan användas för att kalibrera fotgängarmodeller i *Vissim/Viswalk*.

Examensarbetet inleds med en litteraturstudie för att dels få en överblick över vad som gjorts angående kalibrering av modeller i *Vissim/Viswalk* tidigare och dels för att få en djupare förståelse av hur programmet *Vissim/Viswalk* och dess Social force modell är uppbyggda. Litteraturstudien inkluderar även en beskrivning av ruttvalsmodellerna i *Vissim/Viswalk*, en redogörelse över befintliga beräkningssamband, en redogörelse för konceptet Level of Service (LOS) samt en presentation av förutsättningarna som legat till grund för arbetets fältstudier.

I *Vissim/Viswalk* simuleras fotgängarnas rörelser och beteenden med hjälp av den så kallade Social force modellen som består av en serie ekvationer som ämnar beskriva de olika krafter en person i en folkmassa utsätts för från andra personer och omgivningen. Som en del av litteraturstudien beskrivs modellens ekvationer samt vilka förändringar som gjorts för att anpassa Social force modellen till simulering i *Vissim/Viswalk*. I samband med detta beskrivs även de ruttvalsmodeller som används i

simuleringsprogrammet och som tillsammans med Social force modellen ligger till grund för simuleringen.

Konceptet Level of Service skapades för fotgängare av John Fruin utgående ifrån observerade data över trängsel i folksamlingar och köformationer. Konceptet består huvudsakligen av 6 nivåer, A-F som bestämts utifrån parametrar som till exempel fotgängarnas tillgängliga yta och deras möjlighet att välja sin egen hastighet.

De befintliga beräkningssamband som används i detta examensarbete härleds dels ifrån Transportation Research Board (TRB) och dels ifrån den europeiska standarden för rulltrappors dimensionering och installation EN 115-1. I arbetet presenteras samband för fotgängarflöden i korridorer, i rulltrappor, vid dörröppningar och vid passage av flaskhalsar.

Fältstudierna som genomförts i detta examensarbete har utförts vid Malmö C och ämnade undersöka dels hur stort det maximala flödet var under rusningstid samt en studie över vilken densitet som uppnås nedanför rulltrappan vid köbildning då rulltrappans kapacitet överskrids.

Enligt statistik från Skånetrafikens årliga räkningar går varje dag cirka 35000 personer på eller av ett tåg på Malmö C nedre. Den riktning och tidpunkt som rulltrapporna är hårdast belastade är mellan 07:30 och 08:30 för de södergående tågen på spår 1 och 2. Detta då denna tidsperiod och riktning har det största antalet avstigande samtidigt som resenärerna då ankommer till stationen stötvis och huvudsakligen endast belastar en av rulltrapporna upp till Glashallen.

Med utgångspunkt i ritningar, observationer och mätningar har miljöerna i fältstudien modellerats i 3D i mikrosimuleringsprogrammet *Vissim/Viswalk*. I modellen har sedan rulltrappskapaciteten utvärderats för såväl konfiguration med grundparametrar som för konfigurationer med justerade parametrar. Detta för att undersöka hur parametrarna i modellen skall justeras för att rulltrappsflödena och densitetsnivåerna i modellen på ett bättre sätt skall efterlikna de som uppmättes vid fältstudien.

Vid jämförelse av maxkapaciteten i rulltrappan enligt fältstudie, beräkning och simulering ses i detta examensarbete att *Vissim/Viswalk*, vid körning med grundparameterkonfigurationen, underskattar kapaciteten med cirka 10% jämfört med vad som observerats vid fältstudierna. Vid jämförelsen ses även att sambanden enligt TRB överskattar kapaciteten med cirka 7% och att kapacitetsvärdena enligt EN 115-1 överskattar rulltrappskapaciteten med hela 45% jämfört med observerade fältvärden.

Med stöd i parameterstudien ses att rulltrappskapaciteten i *Vissim/Viswalk* kan justeras till att motsvara observerade fältdata på ett flertal olika sätt genom parameterjusteringar. De parametrar som anses intressantast ur ett kalibreringsperspektiv är **A\_soc\_mean**, som styr den hastighetsberoende kraften två fotgängare emellan, **B\_soc\_isotropic**, som motsvarar fotgängarnas genomsnittliga kroppsradi och **tau** som styr fotgängarnas

reaktionsförmåga i modellen. Den parameterkonfiguration som i detta examensarbete ger upphov till bäst överensstämmelse är en konfiguration där kalibreringsparametern **A\_soc\_mean**, har justerats från 0.4 till 0.3 och parametern **B\_soc\_isotropic** justerats från 0.2 till 0.15.

## Summary

In recent years, environmental awareness both among the public and the planners has increased. This has led to a bigger focus on sustainable means of travel. As part of this, interest has increased to encourage more people to use the public transport system. Since railway stations are considered major symbols for the public transport system, it is important to consider how passengers perceive the station environment and the stations connections to its surroundings. This is important because a traveller's experience of a station can affect its view on the public transport system as a whole. In association with renovation of old stations, interest has been increased in changing parts of the station by introducing larger amounts of shops and restaurants. Changes like this puts special demands on the design and layout of the station. This since the proportion of non travelling visitors increases and new patterns of movement are introduced in the station environment.

A tool that can be used by planners and station owners to estimate the impact the changes of the station environment will have on the pedestrian movements is microsimulation models for pedestrians. In this thesis a microsimulation model called *Vissim* is being used with the pedestrian add on *Viswalk*, developed and distributed by Planung Transport Verkehr AG (PTV AG)

*Vissim/Viswalk* can be used to simulate pedestrian movements inside buildings such as railway stations and other buildings with high amounts of pedestrian traffic. By simulating the environment, possible positions of escalators and elevators can be examined and areas where the capacity will be exceeded can be identified.

This master thesis aims to investigate potential differences in maximal escalator capacity and density between field observations, capacity calculations and simulated results. The thesis also aims to describe the effects that adjustments on calibrating parameters have on the escalator capacity and how this can be used when calibrating pedestrian models in *Vissim/Viswalk*.

The thesis begins with a literature review, partly to get an overview of what has been done regarding the calibration of the models in *Vissim/Viswalk* previously, and also to gain a better understanding of how the program *Vissim/Viswalk* and its social force model works. The literature review also includes a description of the route choice models in *Vissim/Viswalk*, a description of existing computation correlations for capacity calculation, an explanation of the concept Level of service (LOS) and a presentation of the conditions that formed the basis for the field studies in this thesis.

In *Vissim/Viswalk* the movement and behavior of the simulated pedestrians is modeled by the Social Force model, which consists of a series of equations that describes the various forces a person in a crowd is exposed to, from other people and the surroundings. The literature review also describes the equations in the Social force model and the changes that have been made to adapt the Social force model to the

simulation in *Vissim/Viswalk*. Adjacent to this the route choice models used in the simulation program are also described, which together with Social force model form the underlying simulation model.

The concept Level of Service was created by John Fruin from observed data from crowding in pedestrian areas. The concept consists mainly of 6 levels, A-F, determined by parameters such as the size of each pedestrians accessible area and their ability to choose their own speed.

The existing computation correlations that is used in this thesis is derived partly from the Transportation Research Board (TRB) and partly from the European standard for design and installation of escalators, EN 115-1. In the thesis the computation correlations is presented for pedestrian flows in corridors, escalators, at doorways and at the crossing of bottlenecks.

The field studies conducted in this thesis was conducted by the escalators on *Malmö C* and was destined to examine both the maximum flow during peak hours and the maximum density that is reached below the escalator at times when the escalator capacity is exceeded.

According to the statistics from Skånetrafikens annual recordings there are about 35,000 people embarking or disembarking a train at *Malmö C nedre* each day. The direction and time interval when the escalators are at the biggest pressure is between 7:30 and 8:30 for the southbound trains on tracks 1 and 2. This is because during this time period and in this direction the number of passengers disembarking at the same time is the highest. During this time period the passengers embark intermittently and mainly use only one of the possible escalators up to the main building, so called *Glashallen*.

Based on blueprints, observations and measurements the environments in the field study were modelled in 3D in the microsimulation program *Vissim/Viswalk*. The model has then been used to evaluate the escalator capacity for both configurations with basic parameters and for the configurations with adjusted parameters. This was done to investigate how the parameters in the model must be adjusted to get the escalator capacity and the density levels in the model to mimic those observed in the field studies.

When comparing the maximum capacities of the escalator from the field study, the calculation and the simulations it's seen in this thesis that *Vissim/Viswalk*, using a basic parameter configuration, underestimates the capacity by about 10% compared to what was observed in field studies. In the comparison, it's also seen that the computation correlations according to TRB overstate capacity by about 7% and that the capacity values according to EN 115-1 overestimate escalator capacity by as much as 45% compared with the capacity observed in the field studies.

With the support of the parameter study it's seen that the escalator capacity in *Vissim/Viswalk* can be adjusted to correspond to the observed field data in a variety of

ways through parameter adjustments. The parameters considered to be most interesting from a calibration perspective is **A\_soc\_mean**, which controls the speed-dependent force between two pedestrians, **B\_soc\_isotropic**, which corresponds to the pedestrians average body radius and **tau** that controls the pedestrians reaction time in the model. The parameter configuration in this thesis that produces the best correlation with field data is a configuration where the calibration parameter **A\_soc\_mean** has been adjusted from 0.4 to 0.3 and where the parameter **B\_soc\_isotropic** has been adjusted from 0.2 to 0.15.

# 1 Inledning

## 1.1 Läsanvisning

**Kapitel 1 Inledning** – Här presenteras examensarbetets bakgrund, syfte och hypotesuppställningar.

**Kapitel 2 Metod** – Beskrivning av vilka metoder som använts i arbetet som till exempel litteraturstudie, fältstudie, beräkning och simulering. I litteraturstudien beskrivs bland annat programmet *Vissim/Viswalk*, Social force modellen och de ruttvalsmodeller som ingår i *Vissim/Viswalk* samt konceptet Level of service.

**Kapitel 3 Resultat** – Här beskrivs resultaten av fältstudien, beräkningarna och simuleringarna. Här redogörs även för resultaten av parameterstudien för såväl rulltrappsflödet som densitetsutvecklingen.

**Kapitel 4 Analys** – I kapitlet jämförs och analyseras resultaten ifrån fältstudien, beräkningarna och simuleringarna. Efter analysen presenteras parameterjusteringar som kan göras för att simuleringsmodellen på ett bättre sätt skall överensstämma med fältstudieresultaten.

**Kapitel 5 Slutsats** – Här presenteras examensarbetets slutsatser grundat på analysen i kapitel 4.

**Kapitel 6 Referenser** – Här presenteras de referenser som legat till grund för såväl litteraturstudie som metodval i examensarbetet.

## 1.2 Bakgrund

I takt med ett ökat miljömedvetande, bland såväl allmänheten som hos planerarna, har fokus blivit allt större på det hållbara resandet och därigenom även på vad som kan göras för att få fler att åka kollektivt. En viktig del av kollektivtrafiken är kvaliteten på dess kopplingar till närliggande områden och till andra transportslag. Som en del i arbetet med att förbättra och säkerställa kvaliteten på kollektivtrafiken satsas det i dagsläget mycket på förbättring och utveckling av landets järnvägsstationer (Trafikverket, 2008).

Järnvägsstationer anses ofta vara symboler för kollektivtrafiken och det är därför viktigt att beakta hur resenärer och besökare upplever stationsmiljön. Detta då upplevelsen vid stationsbesök kan påverka resenärens syn på hela kollektivtrafiksystemet. En väl fungerande station har stor potential att bidra till ett ökat kollektivtrafiksresande samtidigt som risken är stor för att en dåligt utformad station bidrar till motsatsen. Stationer har historiskt sett haft stor påverkan på samhällsutvecklingen och i många städer är stationen fortfarande en av de största mötespunkterna och därmed också en viktig plats för bland annat handel och kommunikationer (Trafikverket, 2012).

Ett ökat utnyttjande av stationsmiljön för handel och restauranger ställer speciella krav på utformningen då andelen ickeresande besökare tenderar att öka samtidigt som en rad nya rörelsemönster introduceras (Trafikverket, 2012). Introducerandet av större mängder handel och restauranger i stationsmiljön är något som nyligen gjorts på centralstationen i

Malmö. Detta då den gamla vänthallen byggdes om till saluhall i samband med att en ny glashall färdigställdes till Citytunnelns öppnande i december 2010 (Jernhusen, 2013).

Ett verktyg som kan användas för att hjälpa planerare att se hur fotgängarflödena påverkas av om- och tillbyggnader är mikrosimuleringsmodeller. I mikrosimuleringsmodeller kan varje fotgängare simuleras individuellt utifrån en rad olika parametrar. Modellerna för simulering av fotgängare har utvecklats mycket sedan 1990 i takt med att datorerna blivit allt kraftfullare. Till en början användes mikrosimuleringsmodellerna för fotgängare främst vid simulering av utrymningsscenarier. På senare år har intresse väckts för att även använda sig av mikrosimulering vid planerandet av till exempel stationer och andra platser där mycket fotgängare är i rörelse. För att kunna återge fotgängarnas beteenden även i vardagsituationer har modellerna kompletterats med bland annat mer avancerade ruttvalsmodeller och rutiner för köbildning m.m. (Fujijama & Tyler, 2010).

Mikrosimuleringsprogrammet för vägtrafik, *PTV Vissim*, kompletterades 2008, när version 5.1 släpptes, med en modul för att hantera fotgängares rörelser fritt i plan. Tidigare simulerades fotgängare i *Vissim* endast länkbundet i syfte att främst beskriva interaktionen med vägtrafik vid till exempel övergångsställen. Inkluderandet av en mer avancerad fotgängarmodul innebar då att det blev möjligt för *Vissim*-användare att beskriva interaktionen mellan fotgängare och kollektivtrafik samt hur fotgängare rör sig i trafikmiljön på ett mer realistiskt sätt än tidigare. 2011 lanserades sedan fotgängarsimuleringsmodulen i *Vissim* även som ett fristående program, *Viswalk*, för användning vid beskrivning av framförallt byggnader och öppna platser där i stort sett endast fotgängare förekommer (Kronenbitter, 2013).

### **1.3 Syfte**

Detta examensarbete syftar till att undersöka eventuella skillnader mellan fältstudier, mikrosimulering och beräkning vad det gäller maximala fotgängarflöden och densitetsnivåer i och vid rulltrappor i stationsmiljöer. Arbetet syftar även till att beskriva hur eventuella skillnader mellan simuleringar och fältstudier kan avhjälpas genom parameterjusteringar.



## 1.4 Hypoteser

**H1.** *Simulerade värden i Vissim/Viswalk med grundparameterinställningar underskattar kapaciteten i rulltrappor vid överbelastning jämfört med observerade fältdata.*

Denna hypotes utgör grunden för examensarbetet och härstammar ifrån det faktum att aktiva i branschen vid tidigare arbeten med fotgängarsimuleringar misstänkt att modellens kapacitet är för låg.

**H2.** *Befintliga beräkningssamband överskattar kapaciteten i rulltrappor vid överbelastning jämfört med observerade fältdata.*

Då simuleringar kan användas istället för beräkningssamband vid dimensionering av fotgängaranläggningar är det av intresse att undersöka hur väl dessa samband överensstämmer med fältstudierna. Då rulltrappsflödet som uppgavs i några av sambanden var högt jämfört med fotgångarflöden för gångvägar fattades misstanke om att de befintliga beräkningssambanden överskattar rulltrappskapaciteten

**H3. a.** *Vissim/Viswalk överskattar, vid simulering med grundparametrar, densitetsnivån på ytan nedanför rulltrappan, det vill säga att fotgängarna placerar sig tätare i modellen än i verkligheten.*

**b.** *Köformen i Vissim/Viswalk består i större grad än vid fältstudierna av endast en person i bredd.*

Efter en serie testkörningar av modelleringsprogrammet författades hypotes tre då det okulärt verkade vara onormalt korta avstånd fotgängarna emellan i modellen. H3b författades som en delhypotes för att belysa eventuella skillnader i utbredningen av väntande fotgängare, då enradigt köbeteende observerades vid påstigning av tåg i modellen antogs detta gälla generellt vid köer i modellen.

**H4.** *Överensstämmelse mellan kapacitetsvärden och densitetsnivåer i Vissim/Viswalk och fältdata kan nås genom justering av kalibreringsparametrar i programmet.*

Denna hypotes utgör grunden för den i arbetet ingående parameterstudien och ämnar utreda huruvida simuleringsmodeller kan justeras till att motsvara fältstudievärden eller inte.

**H5.** *Fotgängare accepterar högre densitetsnivåer, och ställer sig därmed tätare, ju närmare rulltrappans ingång de befinner sig.*

Denna hypotes grundar sig på observationer som gjorts vid Malmö C och vid liknande situationer före examensarbetet. Hypotesen avgör även om användandet av olika *Level of service* serier för olika ytor kan rättfärdigas eller inte.

## 1.5 Avgränsning

I arbetet har endast rulltrappor i stationsmiljö studerats då dessa ofta har stor betydelse för den totala kapaciteten på en station samt för att möjliggöra inhämtning av tillräckliga mängder data vid fältstudien. Fältstudierna avgränsas till att endast omfatta rulltrapporna på Malmö C.

Arbetet har avgränsats till att endast behandla mikrosimuleringsprogrammet *Vissim/Viswalk* och därigenom också avgränsats till att endast innefatta kontinuerlig modellering vad det gäller såväl simulerad tid som simulerad yta.

Arbetet avgränsas i kalibrerings- och valideringsavseende till att endast innefatta en parameterstudie där effekterna på en modell utvärderas och kan därför inte ses som en valideringsstudie.

## 1.6 Definition av begrepp

**Fotgängare** – Med fotgängare avses här gående trafikanter. Termen fotgängare avser såväl reella personer som observerats vid fältstudier som simulerade personer i modellen.

**Mikrosimulering** – En typ av datasimulering där trafiken byggs upp genom att varje enskilt fordon och enskild individ modelleras med individuella egenskaper. Mikrosimuleringsmodeller är dynamiska och kan därför på ett realistiskt sätt beskriva hur trängsel uppstår och avvecklas (Andersson, 2004).

**Vissim** – Mikrosimuleringsprogram för trafik, utvecklat av det tyska företaget PTV AG, som bland annat används för att simulera interaktioner mellan fordon i enskilda korsningar och/eller mindre system (PTV AG, 2012).

**Viswalk** – Mikrosimuleringsprogram för fotgängare utvecklat av PTV AG som används för att simulera fotgängares beteenden och interaktioner i olika miljöer. Kan användas både som fristående programvara och som tillägg till *Vissim* (PTV AG, 2012).

**Simuleringsmodell** – Avser i detta examensarbete en 3D-modell över Malmö C nedre med simulerade fotgängare och tågankomster som byggs upp och simuleras i *Vissim/Viswalk*.

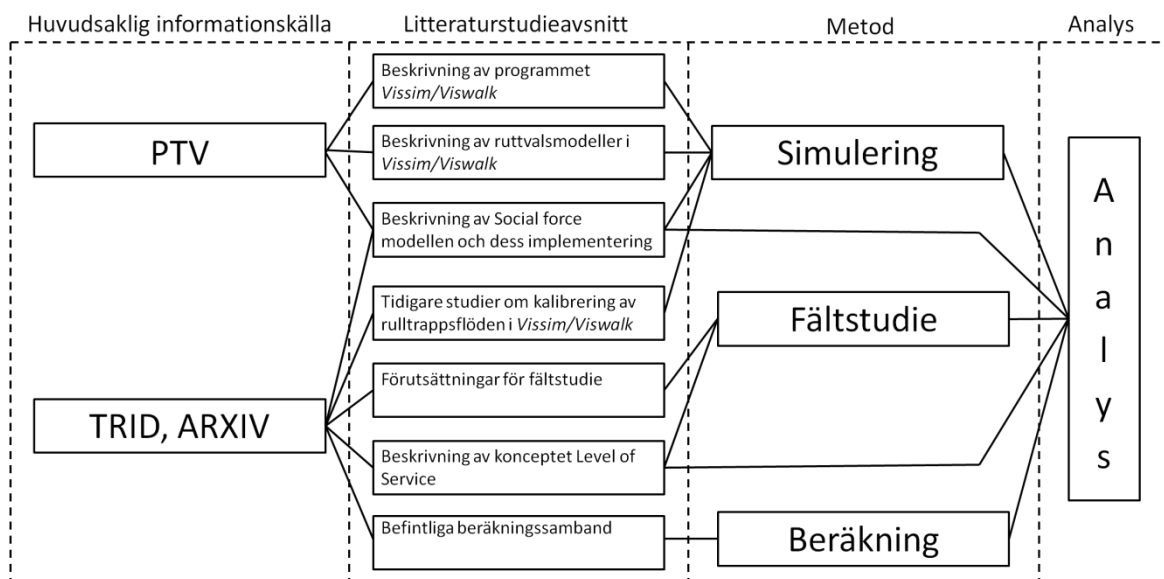
**Kalibreringsparameter** – I detta examensarbete avser kalibreringsparametrar de parametrar som i *Vissim/Viswalk* kan justeras genom förändring av parameterfilen i programmets installationsmapp, se exempel i Bilaga 1.

**Kapacitet** – Med kapacitet avses i detta arbete det maximala antalet fotgängare som under en given tidsenhet (min) kan passera ett snitt, exempelvis vid ingången till en rulltrappa.

**LOS (Level of Service)** – Koncept bestående av 6 nivåer som beskriver en fotgängares upplevda trängsel i olika situationer utgående ifrån parametrar såsom tillgänglig yta per fotgängare och fotgängarnas hastighet.

## 2 Metod

### 2.1 Litteraturstudie



Figur 1 Schematisk bild över litteraturstudiens roll i arbetet

Arbetet inleds med en litteraturstudie för att dels få en överblick över vad som gjorts angående kalibrering av modeller i *Vissim/Viswalk* tidigare och dels för att få en djupare förståelse av hur programmet *Vissim/Viswalk* och Social force modellen är uppbyggda. Litteraturstudien inkluderar även en beskrivning av ruttvalsmodellerna i *Vissim/Viswalk* samt en redogörelse över befintliga beräkningssamband för fotgängarflöden. Litteraturstudien behandlar även förutsättningarna för den fältstudie som genomförts som en del av detta examensarbete.

Litteraturstudien grundar sig på sökningar i artikeldatabaser som bland annat TRID<sup>1</sup> och arXiv<sup>2</sup> samt genom rekommenderad litteratur av personer som är insatta i ämnet (från institutionen för teknik och samhälle på LTH, Ramböll, VTI<sup>3</sup> m.fl). Resultatet av litteraturstudien ligger sedan till grund för utformning av fältstudie samt varit ett stöd och underlag vid beräkning och simulering.

#### 2.1.1 Tidigare studier angående kalibrering av *Vissim/Viswalk*

Vid sökningar i bland annat TRID<sup>1</sup> och arXiv<sup>2</sup> har inga kalibrerings- eller valideringsstudier för just rulltrappsflöden i *Vissim/Viswalk* funnits. Anslutande till området har dock ett antal studier utförts som bland annat berör kalibrering och validering av Social force modellen både som fristående modell och implementerad i *Vissim/Viswalk*.

Artikeln *Performance Evaluation of Railway Platform Design using Microscopic Simulation* av Johansson, Petersson och Tapani (2012) behandlar utvärdering av Social

<sup>1</sup> <http://trid.trb.org/>

<sup>2</sup> <http://arxiv.org/>

<sup>3</sup> Statens väg- och transportforskningsinstitut. [www.vti.se](http://www.vti.se)

force modellen utgående ifrån en rad parametrar från observerade data. Studien fokuserar på att undersöka hur väl modellen beskriver de olika Level of Service nivåerna samt därigenom även relationen mellan gånghastighet och densitet. I artikeln beskrivs även en struktur för modellering av fotgängare, se Tabell 1, där tre nivåer är definierade. Den strategiska beslutsnivån (Strategical i Tabell 1) omfattar hur en fotgängare planerar sin huvudsakliga rutt från sin nuvarande position till sin efterfrågade slutdestination. Denna nivå påverkar modellen som helhet och fotgängarnas val görs här väl medvetet. Den taktiska nivån (Tactical i Tabell 1) omfattar hur en fotgängare väljer mellan olika möjliga delrutter utefter vissa parametrar. Denna nivå påverkar valen i en del av modellen och fotgängarnas val framkallas här genom att de tvingas välja ett av flera alternativ. Den operationella nivån (Operational i Tabell 1) omfattar hur fotgängarna rör sig i förhållande till varandra och deras interaktioner i miljön. Dessa val påverkar endast fotgängarens absoluta närhet och dessa val görs instinktivt av fotgängaren (Johansson, et al., 2012).

**Tabell 1 Huvudsaklig modellstruktur vid simulering av fotgängare (Johansson, et al., 2012, p. 4)**

	Behavior	Spatial and temporal extension	Level of consciousness	Model in this paper
Strategical	Activity planning	Global	Premeditated	Not modeled
Tactical	Route choice	Regional	Induced	Shortest path
Operational	Evasive maneuvers	Local	Instinctive	Social force model

Vid studien som behandlas i artikeln användes inte programmet *Vissim/Viswalk*. Som kan ses i kolumnen längst till höger i Tabell 1 användes istället en så ren variant som möjligt av Social force modellen för att därigenom undvika störningar vars ursprung är annat än själva Social force modellen. Det enda tillägg de i artikeln använde sig av var en ruttvalsmodell baserad på kortast väg. Studien finner att modellen på ett tillförlitligt sätt beskriver hur fotgängare undviker fördröjningar. I artikelns slutsats betonas även vikten av en bra koppling mellan Social force modellen och de ruttvalsmodeller som används för att erhålla tillförlitliga resultat (Johansson, et al., 2012).

Anders Johansson (2008) har i sin doktorsavhandling *Data-Driven Modelling of Pedestrian Crowds*, behandlat kalibrering av Social force modellen. Kalibreringen har inte fokus på kapacitet utan har istället fokus på hur väl modellen beskriver hur en person rör sig inom en folkmassa. Han har i sin doktorsavhandling utgått ifrån videodata från tre olika försök. Två av dessa genomfördes i naturlig miljö och genomfördes under ett experiment i riggad miljö. Utgående ifrån videodata har fotgängarnas gångväg registrerats och utifrån detta har sedan parametrar såsom hastighet och densitet tagits fram. Genom att ge varje

reell person en motsvarande virtuell person i simuleringsmodellen och sedan låta den virtuella individen agera mot omkringliggande reella fotgängare har Johansson kunnat ta fram ett avvikelsevärde på hur väl simuleringsmodellen efterliknar den observerade situationen. Genom att ändra parametrarna i modellen och sedan jämföra hur avvikelsevärdet påverkas har sedan lämpliga värden för de observerade situationerna kunnat bestämmas. Utgående ifrån den studien har även de olika parametrarnas påverkan på avvikelsevärdet uppskattats (Johansson, 2008).

Hur väl Social force modellen i *Vissim/Viswalk* beskriver flöden vid flaskhalsar och den problematik som där kan uppstå har undersökts av Kretz, Hengst och Vortisch (2008) i *Pedestrian Flow at Bottlenecks – Validation and Calibration of Vissim's Social Force Model of Pedestrian Traffic and it's Empirical Foundations*. I artikeln har resultat ifrån försök jämförts med simuleringar av samma situation. Vid jämförelse mellan försöken och simuleringarna användes en serie olika flaskhalsbredder mellan 40 och 100cm. För att kalibrera modellen användes 7 olika parameterkonfigurationer där endast en parameter varierades mellan varje simulering. Resultaten från de olika simuleringarna jämförs i artikeln sedan grafiskt med såväl resultaten från försöken som med de andra parameterkonfigurationerna. Vid dessa jämförelser ses att modellen likt försöken uppvisar en minimipunkt för en specifik bredd, något som anses vara en stor framgång med hänsyn till den komplexitet som anses ligga bakom uppkomsten av en sådan minimipunkt. I artikeln uppvisar dock simuleringarna minimipunkter för lägre värden än vad som observerats vid försöken och detta tros i artikeln bero på att ingående data för kroppsradien i modellen kan varit för låg. Vid jämförelsen ses att simuleringarna såväl som försöken uppvisar stor flödeskänslighet för små skillnader i flaskhallsbredd (Kretz, et al., 2008).

## **2.1.2 Viswalk**

### **2.1.2.1 Beskrivning**

*Viswalk* är ett mikrosimuleringsprogram för fotgängare som utvecklats och marknadsförs av Planung Transport Verkehr AG (PTV AG). *Viswalk* ingår i deras programserie *VISION TRAFFIC SUITE* och kan därför helt integreras i deras mikrosimuleringsprogram för trafik, *Vissim*. I *Vissim/Viswalk* simuleras fotgängarnas rörelser och beteenden med hjälp av den så kallade Social force modellen, se avsnitt 2.1.3, som utvecklats av Prof. Dr. Dirk Helbing vid ETH i Zurich (PTV AG, 2012).



**Figur 2 Exempel från fotgängarmodellen i Vissim/Viswalk**

Som beskrivits under avsnitt 2.1.1 styrs en fotgängares beteenden huvudsakligen på tre olika nivåer, den strategiska, den taktiska och den operationella nivån (Hoogendoorn, et al., 2002). Den strategiska beslutsnivån motsvaras i *Vissim/Viswalk* av de indata som ges av användaren till modellen, i form av möjliga vägar och huvudsakliga rutter. Den taktiska nivån består i *Vissim/Viswalk* dels av de förprogrammerade delrutter som användaren skapat och dels av en rad olika fördelningar som styr valet mellan dessa. Den operationella nivån utgörs i *Vissim/Viswalk* av Social force modellen som beskriver fotgängarnas rörelser samt hur de undviker kollisioner med såväl andra fotgängare som med fasta hinder på sin väg mot nästa valpunkt (PTV AG, 2012).

Att varje enskild fotgängare i modellen simuleras individuellt samt att densamme kan röra sig och agera med andra fotgängare fritt i plan innebär att dessa typer av modeller är relativt beräkningstunga jämfört med liknande modeller för vägtrafik. Förutom att de är kapacitetskrävande är modellerna även beroende av relativt stora mängder indata för att beskriva den simulerade situationen med hög noggrannhet (Kretz, et al., 2011).

Vid körning av en simulering i *Vissim/Viswalk* kan fotgängarnas och fordonens rörelser visas i såväl 2D som 3D under simuleringens gång. Något som kan vara till stor hjälp vid till exempel inkörning av en modell. För presentation av en simulerad miljö kan användaren även välja att spela in en film i avi-format. Som resultat av en simuleringskörning kan användaren välja att för fotgängarsimuleringen få ut en rad olika former av utdata. Genom att i modellen konfigurera olika typer av mätytor och samplingsintervall kan användaren mäta till exempel densitet på en yta, antalet passerande fotgängare över en yta, fotgängarnas hastighet på en yta eller restiden mellan två snitt/ytor. I modellen kan även skillnaden mellan en fotgängares aktuella hastighet och dennes efterfrågade hastighet registreras under passage av en viss yta. För de ytor där köbildning är aktiverat, och fotgängarna därför ställer sig i en kö med ett led kan även kölängden registreras. Dessa resultat exporteras, efter avslutad simulering, till separata textfiler som

sedan kan importeras och behandlas i till exempel *Excel* eller liknande program. Under en simuleringskörning kan även LOS-nivåer (beskrivs i avsnitt 2.1.5 nedan) avläsas grafiskt direkt i modellens 2D-läge i form av ett rutnät där varje LOS-nivå representeras av en egen färg (PTV AG, 2012).

### 2.1.2.2 Användningsområden

*Vissim/Viswalk* används bland annat för att simulera fotgängarflöden och ruttval i järnvägsstationer, arenor och andra byggnader, både vad det gäller normala förhållanden och evakueringsituationer. Vid simulering av järnvägsstationer och andra bytespunkter kan möjliga platser för hissar och rulltrappor utredas samtidigt som platser där kapaciteten riskerar att överskridas kan identifieras. Vid simulering av interna flöden i byggnader kan programmet användas för att identifiera flaskhalsar och andra kapacitetshämmande objekt. Programmet kan även användas vid utvecklandet av stads- och gatumiljöer för att där simulera interaktionen mellan fotgängare och andra trafikslag, till exempel av- och påstigning av kollektiva färdmedel (PTV AG, 2013).

### 2.1.3 Social force modellen

#### 2.1.3.1 Beskrivning

Social force modellen (SFM) består av en serie ekvationer som beskriver de olika sociala och individuella krafter som en person i en folkmassa utsätts för från andra personer och omgivningen. Trots att SFM är en stor förenkling av verkligheten beskriver den på ett relativt realistiskt sätt flera av de självorganiserande fenomen som kan observeras i folkmassor som inte styrs utifrån genom t.ex. skyltar och signaler. Ett exempel på beteende som SFM efterliknar realistiskt, utan att individerna kommunicerar eller tar strategiska beslut, är bildandet och upplösningen av spontana radformationer bland människor som är på väg i samma riktning (Helbing & Johansson, 2009).

#### 2.1.3.2 Uppbyggnad

SFM bygger på antagandet att alla fotgängare ( $\alpha$ ) har en efterfrågad destination ( $\vec{r}_\alpha^0$ ) och att de vill ta sig dit med minsta möjliga uppoffring. Vägen mellan fotgängarens utgångsposition och dess slutposition beskrivs i modellen med hjälp av en polygon med punkterna ( $\vec{r}_\alpha^1, \dots, \vec{r}_\alpha^n := \vec{r}_\alpha^0$ ). Om fotgängarens nästa position längs polygonen antas vara ( $\vec{r}_\alpha^k$ ) kan fotgängarens efterfrågade riktning ( $\vec{e}_\alpha(t)$ ) i den nuvarande punkten ( $\vec{r}_\alpha(t)$ ) beskrivas enligt ekvation (1) (Helbing & Molnár, 1995).

$$\vec{e}_\alpha(t) := \frac{\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha(t)}{\|\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha(t)\|}$$

(1)

Om fotgängaren stöter på hinder på sin väg mot nästa position kommer denne att tvingas anpassa sin hastighet för att undvika en kollision. Detta innebär att den verkliga hastigheten ( $\vec{v}_\alpha(t)$ ) avviker ifrån den önskade farten ( $v_\alpha^0$ ). När hindret undvikits eller avlägsnats kommer fotgängaren återigen försöka accelerera till sin önskade fart, med en

viss användarbestämd fördröjning ( $\tau_\alpha$ ), enligt ekvation ( 2 ) (Helbing & Molnár, 1995).

$$\vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, v_\alpha^0 \vec{e}_\alpha) := \frac{1}{\tau_\alpha} (v_\alpha^0 \vec{e}_\alpha - \vec{v}_\alpha)$$

( 2 )

Sambandet mellan en fotgängares verkliga hastighet ( $\vec{v}_\alpha(t)$ ) och den efterfrågade hastigheten ( $\vec{w}_\alpha(t)$ ) beror även på fotgängarens maximala fart ( $v_\alpha^{max}$ ). Detta samband beskrivs i ekvation ( 3 ), där termen  $\left( g \left( \frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{w}_\alpha\|} \right) \right)$  ges av ekvation ( 4 ) (Helbing & Molnár, 1995).

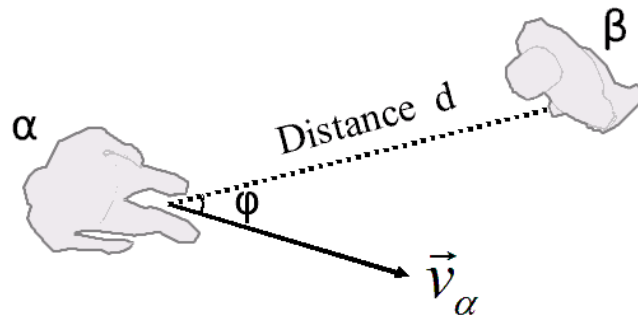
$$\frac{d\vec{r}_\alpha}{dt} = \vec{v}_\alpha(t) := \vec{w}_\alpha(t) g \left( \frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{w}_\alpha\|} \right)$$

( 3 )

$$g \left( \frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{w}_\alpha\|} \right) := \begin{cases} 1 & \text{if } \|\vec{w}_\alpha\| \leq v_\alpha^{max} \\ \frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{w}_\alpha\|} & \text{i annat fall} \end{cases}$$

( 4 )

När fotgängare rör sig i en miljö kommer de förutom att anpassa sin hastighet, även att ändra riktning för att undvika andra fotgängare och fasta hinder. Hur en fotgängare ( $\alpha$ ) agerar vid konflikt med en annan fotgängare ( $\beta$ ) beror dels på avståndet till den andra fotgängaren och dels på riktningsektorn dem emellan, se Figur 3 nedan (Helbing & Molnár, 1995).



Figur 3 Interaktion mellan fotgängare i SFM (Johansson, 2008, p. 71)

Fotgängarens agerande kan beskrivas som en bortstötande reaktion ( $\vec{f}_{\alpha\beta}$ ) som uppstår då någon inkräktar på fotgängarens personliga område enligt ekvation ( 5 ) (Helbing & Molnár, 1995).

$$\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha\beta}) := -\nabla_{\vec{r}_{\alpha\beta}} V_{\alpha\beta} [b(\vec{r}_{\alpha\beta})]$$

( 5 )



I ekvation ( 5 ) ovan beskrivs potentialen hos den bortstötande reaktionen som en funktion av hur långt in något inkräktar på det personliga området (Helbing & Molnár, 1995). I ekvation ( 6 ) beskrivs det personliga området som ellipsformade ekvipotentiallinjer där (b) motsvarar ellipsens kortaste diameter och ges av ekvation ( 6 ). Ellipsen är riktad i linje med färdriktningen då utrymme krävs för nästa steg, något som även fotgängarna runt omkring tar hänsyn till (Helbing & Johansson, 2009).

$$2b := \sqrt{(\|\vec{r}_{\alpha\beta}\| + \|\vec{r}_{\alpha\beta} - v_{\beta}\Delta t\vec{e}_{\beta}\|)^2 - (v_{\beta}\Delta t)^2}$$

( 6 )

Där  $\vec{r}_{\alpha\beta} := \vec{r}_{\alpha} - \vec{r}_{\beta}$  och där hänsyn tas till skillnaden i steglängd på grund av hastighetsskillnaden mellan fotgängarna genom:  $s_{\beta} := v_{\beta}\Delta t$

Fotgängare känner sig generellt mer obekväma ju närmare ett hinder eller en vägg de befinner sig. Detta representeras i modellen, genom ekvation ( 7 ), av en bortstötande kraft ( $\vec{F}_{\alpha B}$ ) vars potential ( $U_{\alpha B}$ ) ökar då avståndet mellan fotgängare och hinder minskar. Avståndet mellan fotgängaren ( $\alpha$ ) och den punkt på hindret (B) som är närmast densamma ges av vektorn  $\vec{r}_{\alpha B} := \vec{r}_{\alpha} - \vec{r}_B^{\alpha}$  (Helbing & Molnár, 1995).

$$\vec{F}_{\alpha B}(\vec{r}_{\alpha B}) := -\nabla_{\vec{r}_{\alpha B}} U_{\alpha B}(\|\vec{r}_{\alpha B}\|)$$

( 7 )

Förutom att fotgängare väjer för hinder och andra fotgängare, händer det också att fotgängare attraheras av varandra eller andra intressanta föremål så som till exempel skyltfönster. Modellen tar hänsyn till detta genom en ekvation lik de bortstötande krafter som tidigare presenterats. Största skillnaden är, förutom att kraften snarare attraherar än repellerar, att den attraktiva potentialen ( $W_{\alpha i}$ ) avtar med tiden. Detta då det antas att intresset svalnar allt eftersom personen tar del av informationen. Den attraherande reaktionen ( $\vec{f}_{\alpha i}$ ) ges av ekvation ( 8 ) där  $\vec{r}_{\alpha i} := \vec{r}_{\alpha} - \vec{r}_i$  (Helbing & Molnár, 1995).

$$\vec{f}_{\alpha i}(\|\vec{r}_{\alpha i}\|, t) := -\nabla_{\vec{r}_{\alpha i}} W_{\alpha i}(\|\vec{r}_{\alpha i}\|, t)$$

( 8 )

Ovanstående ekvationers elliptiska influensområden innebär att reaktionerna får samma styrka oavsett om händelsen sker framför eller bakom fotgängaren. I verkligheten tenderar dock fotgängare till att visa betydligt mer hänsyn till vad som inträffar framför dem än bakom dem, dels beroende på rörelseriktning och dels beroende på synfältets utbredning ( $\varphi$ ). För att ta hänsyn till detta i modellen har följande vikter med vinkelberoende antagits i ekvation ( 9 ) (Helbing & Molnár, 1995).

$$w(\vec{e}, \vec{f}) := \begin{cases} 1 & \text{if } \vec{e} \cdot \vec{f} \geq \|\vec{f}\| \cos \varphi \\ c & \text{i annat fall.} \end{cases}$$

( 9 )

I Ekvation ( 9 ) anges  $(\varphi)$  och  $(c)$  av användaren utifrån lokala förutsättningar. Konstanten  $(\varphi)$  anger vinkelområdet för halva synfältet och konstanten  $(c)$  har ett värde,  $0 > c > 1$ , som avgör i vilken utsträckning fotgängaren tar hänsyn till händelser utanför synfältet. Införandet av de vinkelberoende vikterna ger då följande utseende för de repellerande och de attraherande krafterna, ekvation ( 10 ),( 11 ) (Helbing & Molnár, 1995).

$$\vec{F}_{\alpha\beta}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta) := w(\vec{e}_\alpha, -\vec{f}_{\alpha\beta}) \vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta) \quad (10)$$

$$\vec{F}_{\alpha i}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_i, t) := w(\vec{e}_\alpha, \vec{f}_{\alpha i}) \vec{f}_{\alpha i}(\vec{r}_\alpha - \vec{r}_i, t) \quad (11)$$

Sammanställs sedan ekvationerna ( 2 ),( 7 ),( 10 ) och ( 11 ) erhålls ett totalt uttryck för krafterna i Social force modellen enligt ekvation ( 12 ) (Helbing & Molnár, 1995).

$$\vec{F}_\alpha(t) := \vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, v_\alpha^0 \vec{e}_\alpha) + \sum_{\beta} \vec{F}_{\alpha\beta}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta) + \sum_B \vec{F}_{\alpha B}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_B^\alpha) + \sum_i \vec{F}_{\alpha i}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_i, t) \quad (12)$$

För att Social force modellen även skall ta hänsyn till de avvikelser, avsiktliga som oavsiktliga, som kan uppstå, samt för att kunna hantera de situationer då två olika alternativ blir lika bra, har en variationsterm introducerats enligt ekvation ( 13 ) (Helbing & Molnár, 1995).

$$\frac{d\vec{w}_\alpha}{dt} := \vec{F}_\alpha(t) + \text{variationer} \quad (13)$$

### 2.1.3.3 Anpassning och tillägg vid implementering i *Vissim/Viswalk*

För att anpassa SFM till simulering i *Vissim/Viswalk* och för att minska antalet nödvändiga beräkningar har ett antal parametrar, utöver de som anges av användaren i ursprungsmodellen, introducerats. Dessa kan delas in i två kategorier, de som likt i SFM anges för varje typ av fotgängare och de som anges av användaren för hela den simulerade miljön (PTV AG, 2012). Nedan presenteras de olika parametrarnas påverkan kortfattat. För mer djupgående förklaring samt standardvärden hänvisas till användarmanualen för *Vissim* 5.40 (se referens (PTV AG, 2012)) och fotgångarparameterfilen i installationskatalogen för programmet (se exempel i Bilaga 1). Olika ytor i modellen kan ges olika parameterkonfigurationer och användaren kan genom detta anpassa fotgängarnas beteenden vid speciellt komplexa passager och dylikt (PTV AG, 2012).

Parametern **tau** i ekvation ( 2 ) kan i *Vissim/Viswalk* direkt anges av användaren och ett lägre värde på parametern **tau** ger i modellen upphov till en kortare reaktionstid. De fotgängartypsspecifika parametrar som introducerats ämnar bland annat att göra mindre

justeringar för specifika situationer samt att begränsa beräkningstygden hos simuleringen. I *Vissim/Viswalk* används parametern **lambda\_mean** för att ange de vinkelberoende vikter som i SFM annars anges med hjälp av ekvation ( 9 ). Högre värden på parametern **lambda\_mean** innebär att bakomvarande krafter undantrycks i större grad. Parametern **noise** har införts för att ge användaren möjlighet att kontrollera storleken hos den variationstermen som introducerades i ekvation ( 13 ) (PTV AG, 2012).

För att på ett bättre sätt beskriva hur nära en fotgängare väljer att vara en annan fotgängare används i *Vissim/Viswalk* två olika samband som tillsammans beskriver en liknande kraft som i ekvation ( 5 ) ovan. Det första sambandet beräknar den hastighetsoberoende påverkan två fotgängare har på varandra och det andra sambandet tar hänsyn till den relativa hastigheten men är då istället oberoende av riktning. Detta tillägg bidrar enligt PTV till en mer realistisk beskrivning av avståndet mellan fotgängare i olika miljöer. I det första sambandet används parametern **A\_soc\_isotropic** som bestämmer styrkan på reaktionen och parametern **B\_soc\_isotropic** som bestämmer reaktionens aktiva avstånd. Högre värden på dessa parametrar innebär en större kraft och ett längre avstånd. I det andra sambandet ingår två liknande parametrar och här används **A\_soc\_mean** för att bestämma styrkan på reaktionen och parametern **B\_soc\_mean** för att bestämma reaktionens aktiva avstånd. Även här innebär högre parametervärden större kraft och längre avstånd. I det andra sambandet ingår även parametern **VD** som används för att bestämma i vilken grad den relativa hastigheten ska påverka reaktionens storlek. Ett högre värde på denna parameter innebär att de simulerade fotgängarna visar större hänsyn mot andra fotgängare med skiljande hastigheter (PTV AG, 2012).

För att möjliggöra för mer realistiska köer vid simuleringar har även två parametrar **queue\_order** och **queue\_straightness** introducerats. Dessa parametrar kan ändras av användaren för att justera formationen av köer i simuleringen så att de på ett bättre sätt efterliknar beteendet i den studerade miljön. Ännu en parameter som kan justeras av användaren för att bättre efterlikna ett verkligt beteende är termen **side\_preference** som anger om fotgängarna föredrar att mötas i höger eller vänstertrafik. För att minska antalet beräkningar och för att göra det möjligt att ange hur stor hänsyn en fotgängare visar har en term **react\_to\_n** introducerats. Värdet på denna parameter motsvarar i modellen hur många av de närmaste personerna en fotgängare skall ta hänsyn till vid beräkning av krafterna i SFM (PTV AG, 2012).

Utöver de parametrar som kan anges separat för varje typ av fotgängare har även ett antal parametrar introducerats som påverkar hur simuleringen genomförs i hela den simulerade miljön. Vissa av parametrarna påverkar de val som fotgängarna gör och andra påverkar simuleringens noggrannhet och därigenom till viss del även simuleringshastigheten. En parameter som på global nivå kan justera antalet nödvändiga beräkningar är **grid\_size** som genom att dela in fotgängarna i ett rutnät, med av användaren definierade dimensioner, kan begränsa avståndet på vilka fotgängare påverkar varandra. Detta då en fotgängare i simuleringen endast tar hänsyn till de fotgängare som är i samma eller angränsande rutor (PTV AG, 2012).

En annan typ av rutnät som används av *Vissim/Viswalk* är det topologiska rutnätet som beskriver kopplingarna mellan modellens olika element utan att ta hänsyn till avstånd eller deras faktiska läge i förhållande till varandra. Storleken på detta nät definieras av användaren genom parametern **routing\_large\_grid** och genom justering av denna kan modellens noggrannhet ökas/minskas med hänsyn till modellens ramminnesbehov. I samband med beräkning av möjliga vägar för olika ruttval används två parametrar **routing\_step** och **routing\_accuracy** för att justera noggrannhet och därmed även beräkningstygden. I samband med beräkning av statiska rutter kan parametern **routing\_obstacle\_dist** användas för att justera avståndet på vilket ett hinder påverkar ruttberäkningen och därmed hur nära en simulerad fotgängare väljer att gå väggarna och andra hinder. För att undvika orealistiskt beteende i vissa situationer har PTV inkluderat en parameter **never\_walk\_back** som ger användaren möjlighet att avgöra om de simulerade fotgängarna skall stanna eller ej om deras riktningvektor ändras mer än 90°. Med hjälp av denna parameter kan användaren därmed förhindra/tillåta att fotgängarna i modellen backar eller går tillbaka (PTV AG, 2012).

För att minska datakapacitetsbehovet vid uppstart av simuleringar, där komplexa miljöer ingår, kan en cachefunktion **use\_cache** i *Viswalk* initieras. Om användaren väljer att aktivera cachefunktionen beräknas distanser för modellens ingående delar på nytt endast om geometrin i modellen har ändrats sen tidigare simulering. En parameter som användaren enligt PTV endast bör justera i felavhjälpsyfte, vid användandet av smala passager, är **routing\_cell\_size** som bestämmer avståndet mellan de datapunkter som används vid ruttval för att beräkna avstånd längs en rutt (PTV AG, 2012).

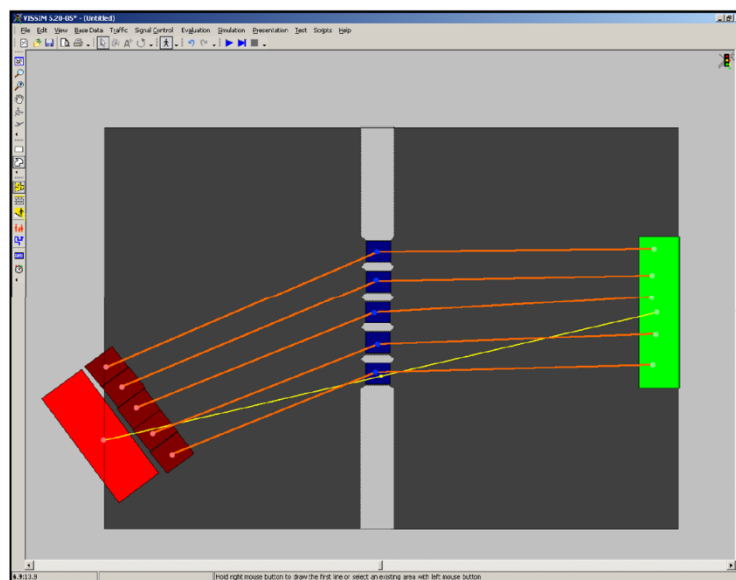
## 2.1.4 Ruttvalsmodeller i *Vissim/Viswalk*

### 2.1.4.1 Huvudrutter (Static routes) och delrutter (Partial routes)

I *Vissim/Viswalk* finns två typer av rutter vid konstruktion av modeller, huvudrutter och delrutter. Huvudrutternas är de rutter som avgör en fotgängares startpunkt, slutpunkt och eventuella delmål. I de fall fotgängarna skall fördelas till flera målytor från en och samma startyta kan flödet fördelas med hjälp av en användarbestämd procentsats. En fotgängare som påbörjat en huvudrutt kommer att följa densamma till dess att huvudruttens målyta har nåtts. I de fall delrutter förekommer längs huvudruten kommer fotgängaren att följa dessa och sedan fortsätta sin huvudrutt direkt efter det att en eventuell delrutt avklarats (PTV AG, 2012).

Delrutter utgör alltid en del av en statisk rutt och används där fotgängare har två eller fler vägval mellan två punkter. Vid konfigurering av delrutter kan användaren välja om fotgängarnas val skall baseras på en procentsats likt för de statiska rutternas, om de istället skall grundas på restid eller om det ska baseras på kölängden hos en definierad servicestation. Om valet grundas på restid kan andelen fotgängare som ska välja alternativet med kortast restid bestämmas med hjälp av procentsats, *Best time*, eller ett flertal olika fördelningsmodeller, som till exempel *Kirchoff* och *Logit*. Användaren kan även bestämma antalet fotgängare på vilket medelrestiden för de olika alternativen skall

bestämmas. Delrutter kan även användas för att leda fotgängare som går på en viss yta, en viss väg. Detta då delrutter har en ersättande effekt på de fotgängare vars huvudrutt har ett delmål på den yta där delruten har sin målpunkt. Detta kan till exempel användas vid fördelning av fotgängare till olika biljettkassor eller liknande, se Figur 4 nedan. I figuren motsvarar röda ytor startytor för rutter och delrutter och den gröna ytan utgör målyta för samtliga rutter. Den gula linjen representerar huvudruten i området och de orangea linjerna representerar delrutter (PTV AG, 2012).



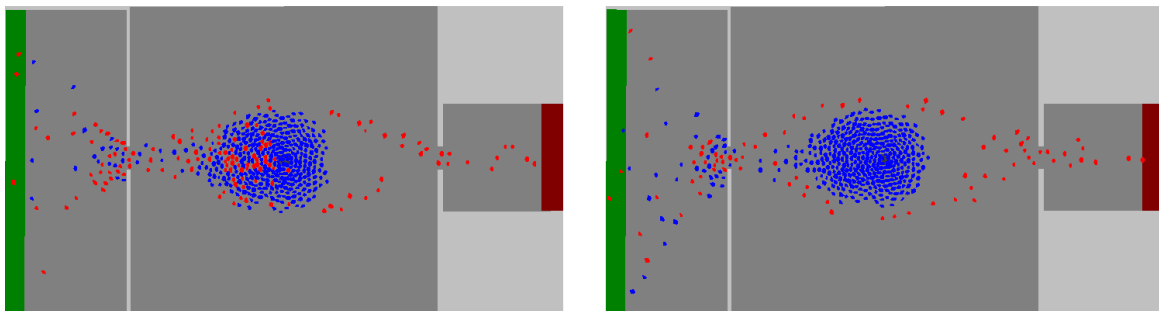
Figur 4 Exempel på Partial routes ersättande effekt (PTV AG, 2012, p. 420)

Fördelningen till de olika kassorna sker här genom att huvudrutterna ges ett delmål på en uppsamlingsyta efter kassorna och att delrutter sedan läggs från ”uppfångstytor” framför kassorna, via kassorna, till samma yta. En sådan konfiguration får då funktionen att fotgängare fördelar sig på de olika kassorna beroende på var de anländer till området (PTV AG, 2012).

#### 2.1.4.2 Dynamiskt vägval (Dynamic potential)

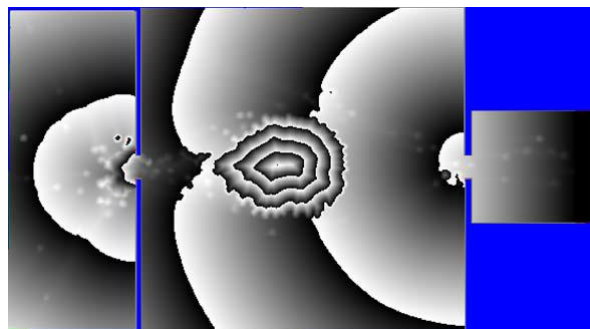
*Dynamic potential* är en ruttvalsfunktion i *Vissim/Viswalk* som kan användas för att göra de huvudsakliga rutterna dynamiska och därigenom på ett bättre sätt beskriva hur fotgängare väljer sin väg genom en miljö. Huvudsyftet är att fotgängarna skall välja den väg som har kortast restid snarare än den väg som innebär kortast sträcka. När dynamiskt vägval är aktiverat för en rutt kommer varje simulerad fotgängare att välja väg genom miljön utgående ifrån den restid som återstår för de olika alternativen just då. Tack vare detta kommer fotgängarna att självmant undvika passager där köer uppstår om det finns snabbare alternativa vägar, även om dessa innebär en omväg. Användandet av dynamiska vägval innebär även att fotgängarnas ruttval inte behöver begränsas till specifika valpunkter likt vid användandet av delrutter. Vid användandet av dynamiska vägval gör varje simulerad fotgängare kontinuerligt nya riktningval utifrån den då gällande situationen (PTV AG, 2012).

I Figur 5 nedan visas en jämförelse av en vänthallssituation med dynamiskt vägval aktiverat (högra bilden) respektive utan dynamiskt vägval aktiverat (vänstra bilden). I Figur 5 genereras samtliga fotgängare i det gröna området i vänsterkanten. De blå fotgängarna har sedan sin målpunkt i mitten av bilden där de dröjer kvar under hela simuleringen medan de röda fotgängarna har sin målpunkt i det röda området ute i högerkanten. I figuren syns tydligt att då dynamiskt vägval inte är aktiverat, och fotgängarna därför strävar efter att gå kortaste vägen, tenderar de röda fotgängarna att fastna i den växande samlingen av blåa fotgängare snarare än att gå runt. I den högra bilden däremot, då dynamiskt vägval är aktiverat, syns att de röda fotgängarna nu på ett mer realistiskt sätt undviker den blåa samlingen och därigenom kommer fram snabbare till sin målpunkt (Kretz, et al., 2011). För bildserien i sin helhet se Bilaga 4.



Figur 5 Exempel på situation utan och med dynamiskt vägval aktiverat (Kretz, et al., 2011, p. 746)

I Figur 6 Beräknad tidsåtgång för situationen i Figur 5 nedan visas de beräknade dynamiska vägvalens tidsåtgång för situationen i Figur 5 ovan. I Figur 6 ökar tidsåtgången från mörkt till ljus och längs en linje med samma ljushet är tidsåtgången konstant. Avståndet mellan två linjer med samma ljushet motsvarar en tidsenhet. Gradientens negativa riktning motsvarar i modellen sedan riktningen i vilken den uppskattade restiden minskar (Kretz, et al., 2011).



Figur 6 Beräknad tidsåtgång för situationen i Figur 5 (Kretz, et al., 2011, p. 747)

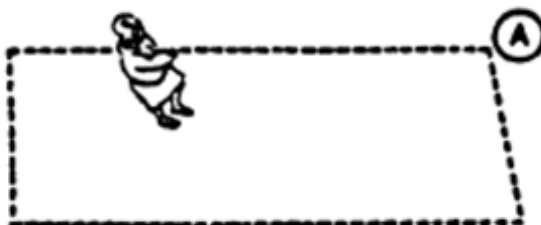
Matematiskt implementeras de dynamiska vägvalens styrfunktion i SFM genom att modifieringar görs angående hur fotgängarens efterfrågade riktning ( $\vec{e}_\alpha(t)$ ) beräknas till ekvation (1) i kapitel 2.1.3.2 ovan. När dynamiska vägval används kommer två olika

typer av riktningsektorer beräknas, dels  $e_{\alpha^s}$  som representerar riktningen för den kortaste vägen och dels  $e_{\alpha^q}$  som representerar riktningen för den snabbaste vägen. Dessa två parametrar viktas sedan samman till riktningsektorn  $e_{\alpha}$  som sedan används i ekvation ( 1 ) (PTV AG, 2012).

Idealt vore att beräkna tidsåtgången för varje enskild fotgängare men då detta skulle kräva orimligt mycket datakapacitet beräknas idag samma tidsfält för samtliga fotgängare som är på väg till samma punkt. Förutom att användandet av dynamiska vägval riskerar att göra modellen beräkningstung finns även ett kritiskt problem för modellen som avses i detta examensarbete då *Vissim/Viswalk* i dagsläget inte kan hantera dynamiska vägval för rutten som går över flera plan. I de fall där flera val är möjligt vid övergång mellan två plan hänvisar PTV tills vidare till användande av delrutten (PTV AG, 2012). De ruttkonfigurationer som testats vid uppbyggnad av modellen beskrivs i avsnitt 2.4.2.

### 2.1.5 Konceptet Level of Service

Konceptet *Level of Service* (LOS) skapades för fotgängare av John Fruin utgående ifrån en stor mängd observerade data över trängsel i folksamlingar och köformationer. Konceptet består huvudsakligen av 6 nivåer, A-F. Dessa nivåer har satts utgående ifrån parametrar som fotgängarnas tillgängliga yta, deras möjlighet att välja sin egen hastighet samt utgående ifrån hur lätt en fotgängare kan röra sig genom ett korsande flöde. Vid sina studier har Fruin även tagit hänsyn till det faktum att området som en fotgängare behöver ökar med hastigheten och att denna parameter starkt påverkar den hastighetsfrihet en fotgängare upplever. För att en fotgängare fritt skall kunna hålla sin efterfrågade hastighet och samtidigt kunna undvika konflikter med andra fotgängare på ett tillfredsställande sätt kan det krävas upp till  $3,2\text{m}^2/\text{person}$  (NYC DCP, 2006).



Figur 7 Exempel bild för LOS-A för gångytor (TRB, 2003, p. 11)

I Fruins Level of service koncept motsvarar LOS-A, Figur 7, en situation där samtliga fotgängare kan röra sig ostört och där konflikter med andra fotgängare är sällsynta. Det kan därav antas att fotgängare som befinner sig i en situation med en densitet som motsvarar LOS-A inte känner något trängselrelaterat obehag.



Figur 8 Exempelbild för LOS-F för gångtytor (TRB, 2003, p. 11)

LOS nivå F, däremot representerar en situation där flödet har kollapsat och fotgängarna själva inte kan bestämma sin hastighet och till viss del även riktning. Detta samtidigt som kroppskontakt med omgivande fotgängare är oundviklig och det är nästintill omöjligt att korsa ett flöde med en avvikande riktning (TRB, 2003).

LOS-konceptet är framtaget för att användas vid dimensionering och utformning av stationer och andra ytor där stora mängder fotgängare rör sig. Användning av konceptet tidigt i planeringsprocessen möjliggör för en bättre fotgängarmiljö och därmed även en miljö där chansen är större att personer trivs (NYC DCP, 2006).

Det grundläggande antagandet i konceptet är att fotgängare i allmänhet upplever en större frihet då de kan välja sin egen hastighet och väg oberoende av andra i sin omgivning. Detta innebär i sin tur att ju mindre en fotgängares tillgängliga yta är och ju mer dess rörelse hindras, desto större blir dess obehag. Dock är det så att förutom tillgänglig yta och möjlig hastighet, spelar enligt TRB (2003) även uppehållstiden i situationen in som en avgörande faktor för det obehag en person upplever. Detta medför att fotgängare i vissa situationer kan acceptera en högre täthet om det endast är under en kort period, jämför exempelvis ytan i en hiss med en vänteyta på en station. För att ta hänsyn till detta har ett antal olika LOS-serier utvecklats för olika typer av områden som till exempel gångvägar (Tabell 2) och kömråden (Tabell 3). För illustrationer och karakteristika för de olika LOS-nivåerna se Bilaga 2 för gångvägar och Bilaga 3 för kömråden (TRB, 2003).

Ett flertal vidareutvecklingar har genom åren gjorts utgående ifrån Fruins LOS-nivåer för olika tillämpningar. Dock avses som grund i programmet *Vissim/Viswalk* Fruins nivåer varför endast grundformerna behandlas i detta arbete (PTV AG, 2012).



Tabell 2 LOS-nivåer för gångvägar (TRB, 2003, p. 11)

LOS	Pedestrian Space (m <sup>2</sup> /p)	Expected Flows and Speeds		
		Avg. Speed, <i>S</i> (m/min)	Flow per Unit Width, <i>v</i> (p/m/min)	<i>v/c</i>
A	≥ 3.3	79	0-23	0.0-0.3
B	2.3-3.3	76	23-33	0.3-0.4
C	1.4-2.3	73	33-49	0.4-0.6
D	0.9-1.4	69	49-66	0.6-0.8
E	0.5-0.9	46	66-82	0.8-1.0
F	< 0.5	< 46	Variable	Variable

*v/c* = volume-to-capacity ratio

Tabell 3 LOS-nivåer för kömråden (TRB, 2003, p. 14)

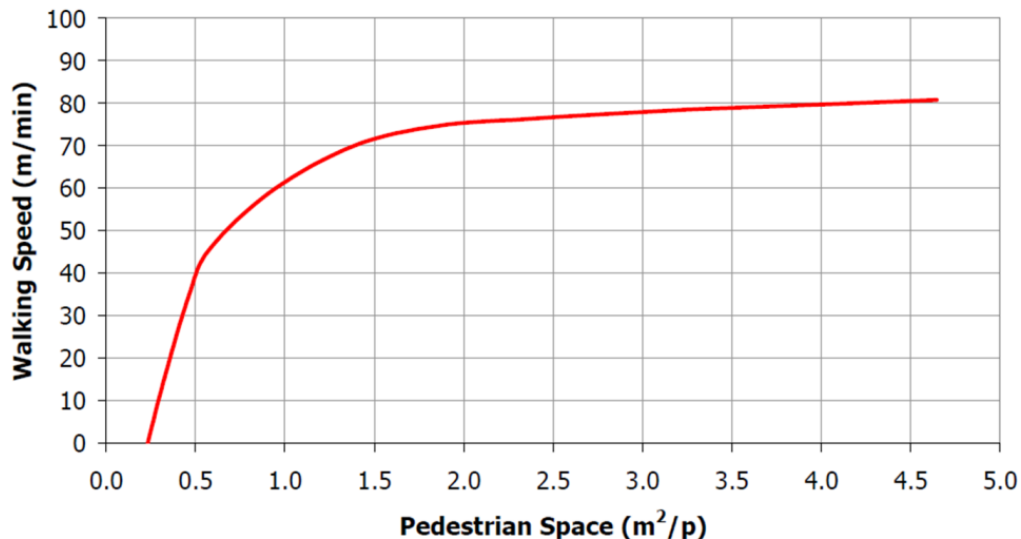
LOS	Average Pedestrian Area		Average Inter-Person Spacing	
	(ft <sup>2</sup> /p)	(m <sup>2</sup> /p)	(ft)	(m)
A	≥ 13	≥ 1.2	≥ 4.0	≥ 1.2
B	10-13	0.9-1.2	3.5-4.0	1.1-1.2
C	7-10	0.7-0.9	3.0-3.5	0.9-1.1
D	3-7	0.3-0.7	2.0-3.0	0.6-0.9
E	2-3	0.2-0.3	<2.0	<0.6
F	< 2	< 0.2	Variable	Variable

Om fotgängarnas upplevda trängsel i rulltrappor antas kunna härledas till samma faktorer som för köytor kan en parallell dras mellan nivåerna i Tabell 3 och fyllnadsgraden för rulltrappor, som berörs i avsnitt 2.1.6.2. Om man förenklat ser på LOS-nivåerna för köytor utgående endast ifrån fotgängarnas tillgängliga yta kan olika LOS-nivåer relateras till olika fyllnadsgrader för rulltrappor. För en rulltrappa som den i fältstudierna, med en bredd på 1m och ett stegdjup på 0,4m, motsvarar då LOS-A en situation där det står en person på vart tredje steg eller mindre. LOS-C motsvaras av en situation där det står en person på vartannat steg och situationen då det står en person på varje steg representeras då av LOS-D. En situation där den teoretiska maxkapaciteten för rulltrappan uppnås, där det står två personer per steg representeras då av LOS-E.

## 2.1.6 Befintliga beräkningssamband

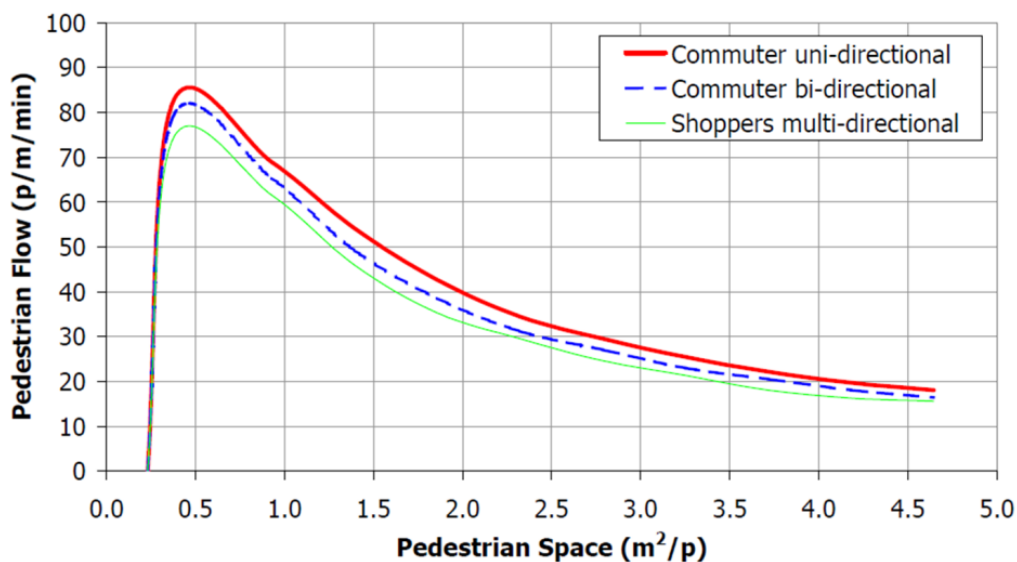
### 2.1.6.1 Gångvägar och korridorer

För gångvägar och korridorer har *Transportation Research Board* (TRB) tagit fram två samband. Det första är sambandet mellan fotgängarnas tillgängliga yta (inverterad densitet) och fotgängarnas hastighet, se Figur 9 nedan. Den fria gånghastigheten varierar stort mellan olika typer av fotgängare, från 145m/min till 45m/min. För folksamlingar antas därför att medelgånghastigheten är 75m/min och att hastigheter under 45m/min kan anses vara begränsade hastigheter. I Figur 9 ses att gånghastigheten avtar betydligt när fotgängarnas tillgängliga yta blir mindre än 1,5m<sup>2</sup>/pers och att hastigheten snabbt närmar sig noll då den tillgängliga ytan per person blir mindre än 0,5m<sup>2</sup> (TRB, 2003).



Figur 9 Samband mellan gånghastighet och tillgänglig yta för gångvägar och korridorer (TRB, 2003, p. 67)

Det andra är sambandet mellan fotgängarnas tillgängliga yta och det maximala flödet per breddmeter. I Figur 10 illustreras tre olika flödestyper och för samtliga flödestyper infaller det maximala flödet då varje fotgängare har cirka 0,46m<sup>2</sup> tillgänglig yta, vilket innebär att densiteten är cirka 2,17p/m<sup>2</sup>. För ett dubbelriktat pendlingsflöde är det maximala flödet enligt Figur 10, 82p/m/min. Det maximala flödet representerar en situation med mycket trängsel och liten rörelsefrihet varpå det inte bör användas som ett generellt värde vid dimensionering utan endast ses som en maximal kapacitet. På LOS-skalan motsvarar situationen vid det maximala flödet LOS-E (TRB, 2003).



Figur 10 Samband mellan fotgängarflöden och tillgänglig yta för tre olika flödestyper (TRB, 2003, p. 67)

Att det enkelriktade och det dubbelriktade pendlingsflödena i Figur 10 inte skiljer sig speciellt mycket visar på att motriktade flöden på gångvägar och i korridorer inte påverkar det totala flödet betydligt. Bredden som avses i Figur 10 är den effektiva bredden vilket innebär att en meter (0,5m på vardera sidan) subtraherats från den verkliga bredden för att

ta hänsyn till det avstånd fotgängare väljer att ha till väggar och trottoarkanter (TRB, 2003).

### 2.1.6.2 Rulltrappor

För rulltrappor kan två typer av kapaciteter anges, den teoretiska kapaciteten som anger rulltrappans kapacitet vid en fyllnadsgrad på 100% och den praktiska kapaciteten som skall avspeglade den kapacitet som uppnås vid normal fyllnadsgrad. Fyllnadsgraden för en rulltrappa blir i praktiken aldrig 100%, vilket beror på en rad faktorer som till exempel att fotgängarna inte anländer i en kontinuerlig ström till rulltrappan och att fotgängare väljer att hålla ett visst komfortavstånd till personen framför. Förutom detta påverkar även andelen fotgängare som har bagage med sig samt att personer inte alltid kliver på rulltrappan lika snabbt som är teoretiskt möjligt (TRB, 2003).

Då en fyllnadsgrad på 100% aldrig uppnås i praktiken, se resonemang om motsvarande LOS-nivåer under avsnitt 2.1.5, använder rulltrappstillverkarna vid dimensionering av rulltrappsanläggningar istället en praktisk kapacitet. TRB rekommenderar att de praktiska kapacitetsvärdena baseras på att det antingen står en person på vartannat steg i en 0,6m bred rulltrappa eller en person per steg i en 1m bred rulltrappa. Dimensionerande kapaciteter utifrån dessa antaganden presenteras i Tabell 4 nedan (TRB, 2003).

Enligt en europeisk branschstandard för dimensionering och installation av rulltrappor kallad EN 115-1 skall vid dimensionering kapaciteter enligt Tabell 5 användas (SS EN 115-1, 2010).

Tabell 4 Rulltrappskapaciteter enligt TRB (TRB, 2003, p. 36)

Type	Width at Tread		Incline Speed		Nominal Capacity	
	(in.)	(m)	(ft/min)	(m/min)	(p/h)	(p/min)
Single-width	24	0.6	90	27.4	2,040	34
			120	36.6	2,700	45
Double-width	40	1.0	90	27.4	4,080	68
			120	36.6	5,400	90

Tabell 5 Rulltrappskapaciteter enligt EN 115-1

Bredd på steg/lamell z <sub>1</sub> m	Nominell hastighet v m/s		
	0,50	0,65	0,75
0,60	3 600 personer/timme	4 400 personer/timme	4 900 personer/timme
0,80	4 800 personer/timme	5 900 personer/timme	6 600 personer/timme
1,00	6 000 personer/timme	7 300 personer/timme	8 200 personer/timme

ANM. 1 Användning av shopping- och bagagevagnar (se Bilaga I) minskar kapaciteten med cirka 80 %.

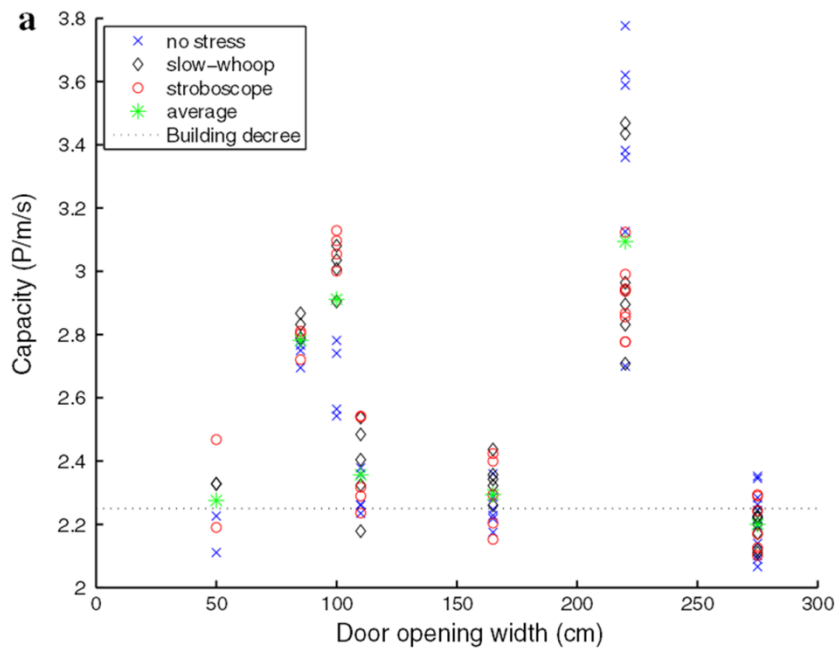
ANM. 2 Rullramper med en lamellbredd på mer än 1,00 m har inte högre kapacitet eftersom användarna behöver hålla i handledaren. Den ytterligare bredden gör det i första hand möjligt att använda shopping- och bagagevagnar.

Vid jämförelse mellan Tabell 4 och Tabell 5 bör beaktas att hastigheten 36,6m/min i Tabell 4 motsvarar cirka 0,65m/s i Tabell 5 vilket innebär att de jämförbara kapaciteterna för en 1m bred rulltrappa är 5400p/h enligt TRB (2003) och 7300P/h enligt EN 115-1 (2010).

### **2.1.6.3 Dörrar**

För dimensionering av dörrar rekommenderar TRB att fältförsök utförs för dörrar lika de som skall studeras för att därigenom konstatera hur många fotgängare som kan passera dörren per minut. Dörrar som inte kräver någon insats av fotgängaren har generellt högre kapacitet än dörrar som måste aktiveras eller öppnas för hand (TRB, 2003). Då de beräknade kapacitetsvärdena i denna studie skall jämföras mellan såväl simuleringsdata som med fältdata kan inte den beräknade kapaciteten grundas på tidigare fältstudier. Den beräknade dörrkapaciteten har istället uppskattats utgående ifrån resultat av experiment utförda av Daamen och Hoogendoorn för en rad olika dörrbredder.

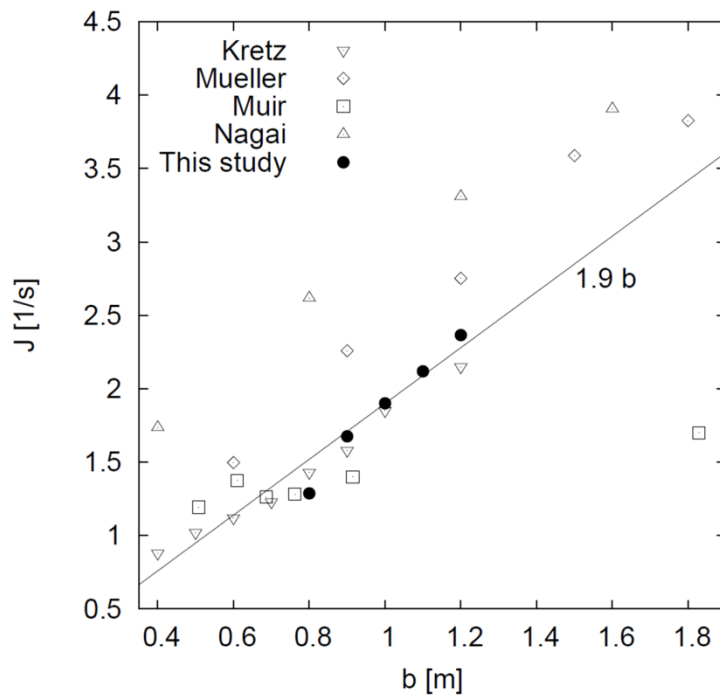
I Figur 11 nedan visas resultaten av experimenten där Daamen och Hoogendoorn (2012) undersökt kapaciteten hos dörröppningar med bredderna 50, 85, 100, 110, 165, 220 och 275cm. I figuren har förutom flöden för olika stressituationer, för varje undersökt bredd, även schablonkapaciteten (2,25p/m/s) enligt den Holländska byggförordningen lagts in. För en dörrbredd på 220cm ses att differensen mellan de olika försöken är stor samt att medelvärdet för kapaciteten är betydligt högre än schablonkapaciteten. Detta uppmärksammas av Daamen och Hoogendoorn (2012) i artikeln som något anmärkningsvärt. Av försiktighetsprincip används i detta arbete därför inte kapacitetsciffrorna för just dörröppningsbredden på 220cm. I Figur 11 ses att medelkapaciteten för 4 olika bredder ligger nära byggförordningens kapacitet och att kapaciteten för två (tre) bredder överstiger denna. Om endast de värden där ingen stress förekom i försöken beaktas ses att kapaciteten vid dessa situationer var något lägre än medelvärdet (Daamen & Hoogendoorn, 2012).



Figur 11 Fotgängerflöden genom dörröppningar (Daamen & Hoogendoorn, 2012, p. 62)

#### 2.1.6.4 Flaskhalsar

För att bedöma hur fotgängerflöden påverkas när de tvingas passera kraftigt avsmalnade passager, så kallade flaskhalsar, kan nedanstående Figur 12 från Seyfried et al (2009) användas. Diagrammet är en sammanställning av resultat ifrån en rad olika experiment där flödet genom flaskhalsar med varierande bredd undersökts. Plottat i figuren är det uppmätta flödet  $J$  (p/m/s) för respektive öppningsbredd med en symboltyp per studie. I figuren har en trendlinje anpassats till dataserierna och enligt trendlinjen kan flödet för flaskhalsar uppskattas till 1,9p/m/s (Seyfried, et al., 2009).



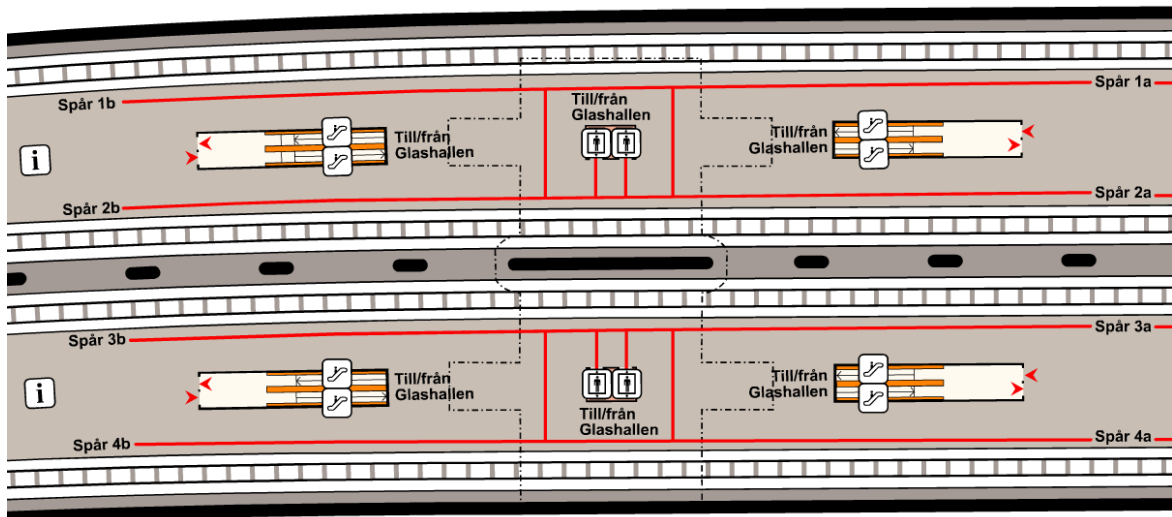
Figur 12 Fotgängarflöden genom flaskhalsar (Seyfried, et al., 2009, p. 13)

### 2.1.7 Förutsättningar till fältstudie

I takt med att stationer idag, i samband med nyetableringar, i allt större utsträckning placeras under jord ställs idag högre krav än tidigare på den vertikala transporten av resenärer till och från plattformarna. Samspelet mellan trappor, rulltrappor och hissar är viktigt för att erhålla en god kapacitet samtidigt som det alltid är den funktion med lägst kapacitet som kommer ha störst inverkan på det totala flödet. Detta medför i sin tur att för att uppehålla en god stationsmiljö, även under rusningstid, kan komponenter för vertikaltransporter behöva dimensioneras för flöden nära stationens maxbelastning. Vid planeringen av transportsystem i stationer är det viktigt att ta hänsyn till de dynamiska effekter som är karakteristiska för fotgängare. Detta då flödet ofta varierar stort över dagen och då personflödet starkt påverkas av tidtabellerna för ankommande och avgående trafik vad det gäller såväl bussar som tåg (Trafikverket, 2012).

*”Det faktum att passagerarflödena är kopplade till en avgångstid gör att det är viktigt att kapacitet inte saknas i de nödvändiga funktionerna då detta kan leda till att passagerare missar tåget, ådrar sig extra kostnader eller får ändra sin egen planering på ett för passageraren mindre bra sätt.”*

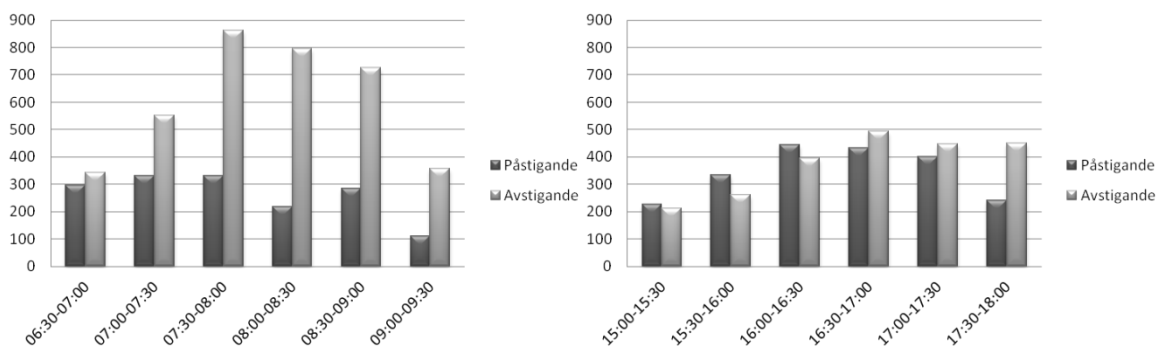
(Trafikverket, 2012, p. 60)



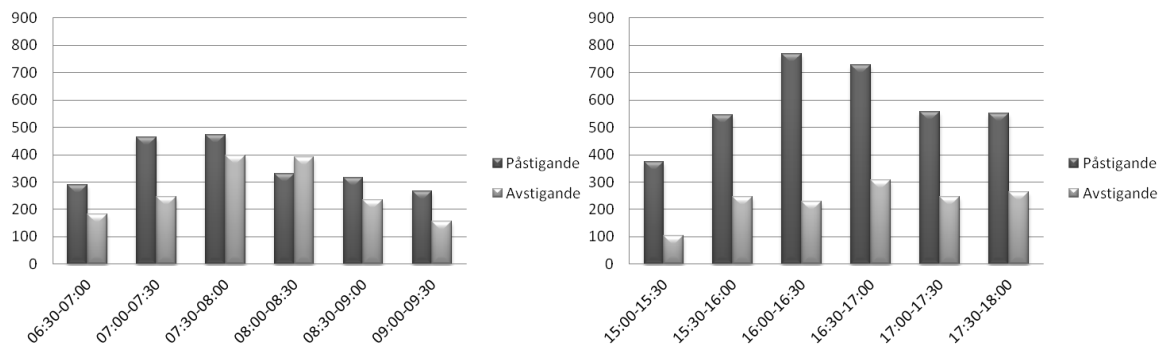
Figur 13 Utsnitt av översiktsbild av uppgångarna till glashallen Malmö C (Samtrafiken, 2013)

Varje dag går enligt Skånetrafiken cirka 35000 personer på eller av ett tåg på Malmö C nedre, vilket är den del av Malmö C som trafikeras av tågen i Citytunneln. (Skånetrafiken, 2012). Antalet på- och avstigande baseras på de årliga räkningar som utförs av Skånetrafiken en höstvecka varje år. I dessa räkningar är alla Skånetrafikens avgångar inkluderade men de avgångar som trafikeras av andra aktörer, som SJ och Veolia, är ej inkluderade i statistiken (Améen, 2013).

Genom studie av resandestatistik från Skånetrafikens årliga räkningar 2012 kan nedanstående diagram sammanställas, se Figur 14 och Figur 15. Vid jämförelse mellan figurerna ses att fältstudien bör genomföras mellan 07:30 och 08:30 för de södergående tågen (spår 1 och 2). Detta då denna tidsperiod och riktning är den då antalet avstigande är störst, vilket i sin tur innebär att belastningen på rulltrapporna då kan antas vara som störst i och med att stora mängder människor kommer stötvis. Totalt under den högst belastade timmen ankommer cirka 1700 personer till Malmö C på de södergående tågen. Under den studerade perioden i fältstudierna är Skånetrafiken den enda aktören som trafikerar Malmö C nedre i södergående riktning varför det inte påverkar resultatet att endast Skånetrafikens statistik använts som underlag.



Figur 14 Söderut från Malmö C nedre 06:30-09:30 och 15:00-18:00 Utdrag ur Skånetrafikens räkningar hösten 2012 (Améen, 2013).

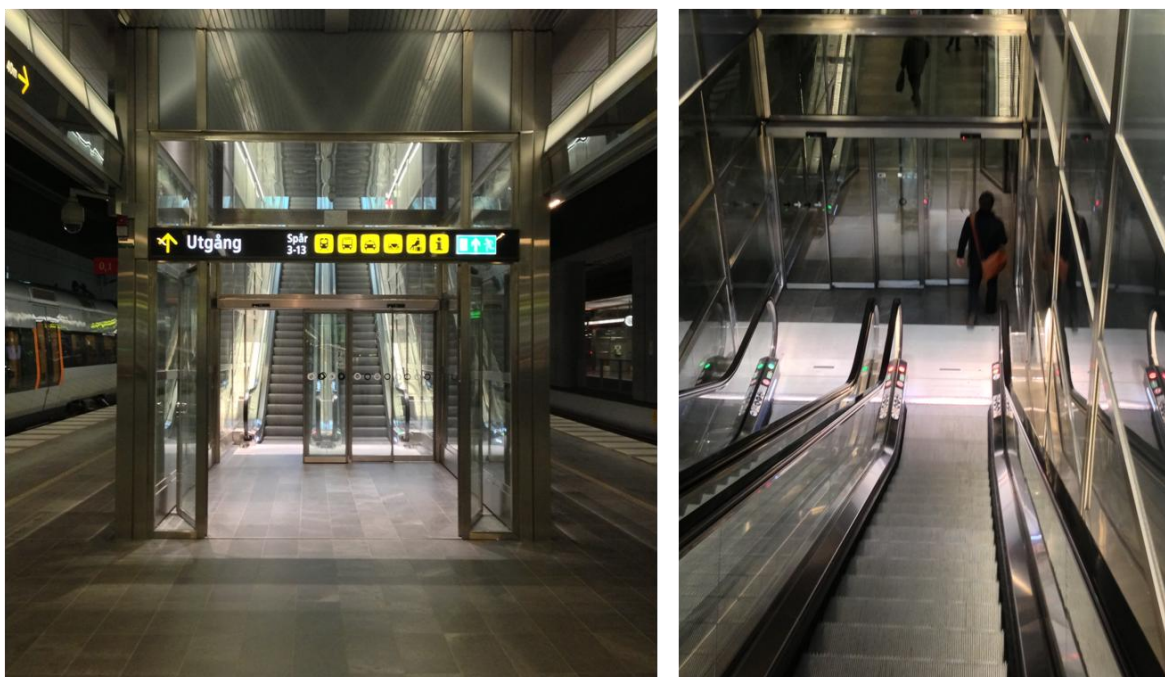


**Figur 15** Norrut från Malmö C nedre 06:30-09:30 och 15:00-18:00 Utdrag ur Skånetrafikens räkningar hösten 2012 (Améen, 2013).



## 2.2 Fältstudie

Fältstudierna ämnade undersöka dels hur stort det maximala flödet var under rusningstid och dels om detta flöde innebar att kö bildades nedanför trappan/rulltrappan, se Figur 16 för överblick över fältstudieplats. Fältstudierna inkluderar även en studie över vilken densitet som uppnås nedanför rulltrappan vid köbildning. Intressant för jämförelse mot det simulerade resultaten var även att registrera andelen gående i rulltrappan samt om något irrationellt beteende uppstod i eller omkring trappan.



Figur 16 Rulltrappa upp mot glashallen från spår 1 och 2

### 2.2.1 Fältstudie 1 den 27 februari 2013

En fältstudie (fältstudie 1) genomfördes mellan 08:00 och 08:30 onsdagen den 27 februari på Malmö C vid de västra rulltrapporna från perrongen vid spår 1 och 2 upp till Glashallen. Vid fältstudien undersöktes hur stor andel av resenärerna som väljer att gå i rulltrappan genom att antalet personer som gick vid en position cirka två meter in på rulltrappan räknades i en ström av 100 personer. Vid fältstudien genomfördes även en uppmätning av rulltrappans verkliga hastighet.

### 2.2.2 Fältstudie 2 den 4 mars 2013

En andra fältstudie inriktad på att mäta flödet i rulltrappan (fältstudie 2) genomfördes mellan 07:30 och 08:30 måndagen den 4 mars på samma plats som fältstudie 1. Under fältstudien räknades antalet personer som per tidsenhet passerade snittet där rulltrappan börjar. Mätningar utfördes endast när ett tåg just anlänt och endast under den tid då det var köbildning nedanför rulltrapporna. Vid de avgångar då det var möjligt registrerades även den tid det tog från det att tågen anlänt till perrongen till dess att passagerarna lämnat densamma.

### **2.2.3 Fältstudie 3 den 27 mars 2013**

En tredje fältstudie genomfördes onsdagen den 27 mars på samma plats som tidigare fältstudier. Denna fältstudie syftade till att erhålla fler värden på rulltrappsflödet samt för att även här mäta hur lång tid det tar att ”tömma” perrongen.

### **2.2.4 Fältstudie 4-5 den 22-23 april 2013**

Den fjärde och den femte fältstudien genomfördes på Trafikverkets driftsledningscentral i Malmö måndagen den 22 respektive tisdagen den 23 april. Under dessa fältstudier mättes densiteten på folksamlingen nedanför rulltrappan vid de tillfällen då det bildats kö efter en tågankomst. Densitetsmätningarna påbörjades då resenärerna tvingades sänka sin hastighet betydligt på grund av framförvarande personer. Densiteten mättes sedan var 30:e sekund till dess att resenärerna återigen kunde röra sig fritt på ytan nedanför rulltrappan. Då antalet resenärer på de olika tågankomsterna varierar, varierar även antalet densitetsmätningar som kunde genomföras för de olika ankomsterna. Vid fältstudierna användes videoövervakningsmaterial över ytan nedanför de västra rulltrapporna på plattformen för södergående tåg från den aktuella tidsperioden. Dessa analyserades på plats och raderades sedan med hänsyn till Trafikverkets gällande videoövervakningstillstånd. På grund av kamerans fasta placering kunde under fältstudie 4 och 5 endast ytorna i förrummet studeras varför densitetsutvecklingen på ytan direkt utanför, på plattformen inte kunnat tas med i undersökningen. En mindre undersökning av köbildning och densitet på denna yta utfördes istället under fältstudie 6.

### **2.2.5 Fältstudie 6 den 25 april 2013**

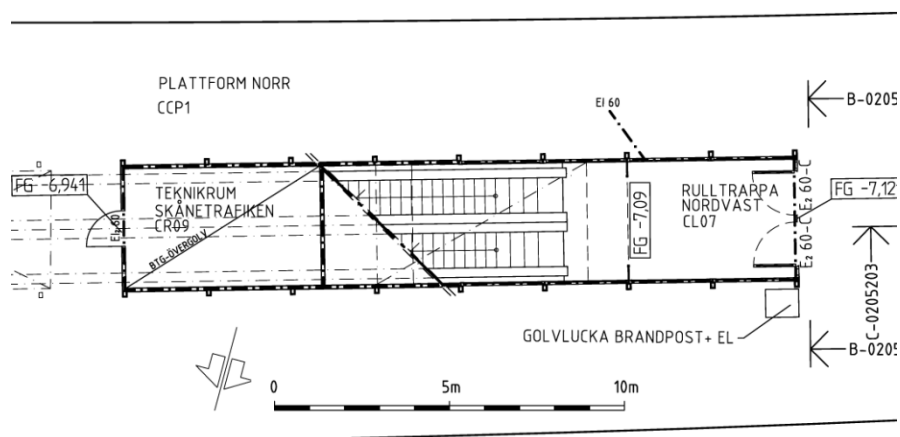
En sjätte mindre fältstudie genomfördes torsdagen den 25 april på samma plats som fältstudie 1-3 och vid denna fältstudie mättes den tid det tar från det att de första resenärerna stiger av tåget till dess att trängsel uppstår nedanför rulltrappan. Vid fältstudien mättes även tidsåtgången för plattformstömning. För ett antal av tågankomsterna genomfördes en mindre studie av situationen på ytan direkt utanför rulltrappans förрум genom att ett antal olika förekommande situationer fotograferades.

## 2.3 Beräkningar

### 2.3.1 Indata

Rulltrappan hade vid tiden för fältstudien en hastighet på 0,65m/s, en inklinering på 30° och en stegbredd på 1m enligt Trafikverkets ritning (E-69247.03-0.02).

Vid rulltrappans anslutning till perrongen är den inbyggd i ett förrum med dörrar dels ut mot perrongen och dels i ett mellanskikt precis nedanför rulltrappan enligt Figur 17 nedan. För de dimensioner som använts vid beräkning se Tabell 6.



Figur 17 Utsnitt ur Trafikverkets ritning J988HP0202106 kompletterad med skala och norrpil

Tabell 6 Dimensioner uppmätta vid fältstudie 2

Dimensioner, förrum på perrong	
Perronghöjd	90cm
Dörr mot perrong, bredd	230cm
Dörr i förrum, avstånd från vägg	8cm
Dörr i förrum, bredd mittdel	70cm
Dörr i förrum, effektiv bredd	127cm
Avstånd mellan förrumsdörr och rulltrappans platta	100cm
Avstånd mellan förrumsdörr och rulltrappans entré	100cm
Bredd på förrum	340cm
Avstånd mellan dörrarna	480cm

### 2.3.2 Val av samband

För rulltrappor är det i jämförelsen intressant att ta hänsyn till såväl rulltrappsflöden enligt TRB som de från tillverkarna då båda kan vara aktuella som underlag till projektering av nya fotgångaranläggningar.

För gångvägar och korridorer används i jämförelsen sambanden ifrån TRB då de är väl sammanlänkade med de gränsvärden för LOS som används såväl i *Vissim/Viswalk* som i bedömningarna i detta examensarbete.

För dörröppningen mellan plattformen och förrummet kan det diskuteras huruvida denna öppning skall klassas som dörr eller flaskhals då det av resenären inte direkt upplevs som en dörr utan snarare endast som ett avsmalnat parti. För att ta hänsyn till detta i jämförelsen uppskattas kapaciteten utifrån såväl schablonkapacitetsvärdet för dörröppningar som flödessamband för flaskhalsar.

Liknande resonemang kan föras för innerdörren nedanför rulltrapporna då denna är automatisk och därmed är ständigt öppen under tiden då fotgängarflödet är konstant. Den tid det tar för dörren att öppnas påverkar därmed bara de första resenärerna för varje tågankomst. Denna dörröppnings kapacitet beräknas därför även delvis enligt schablonkapaciteten och delvis enligt sambandet för flaskhalsar.

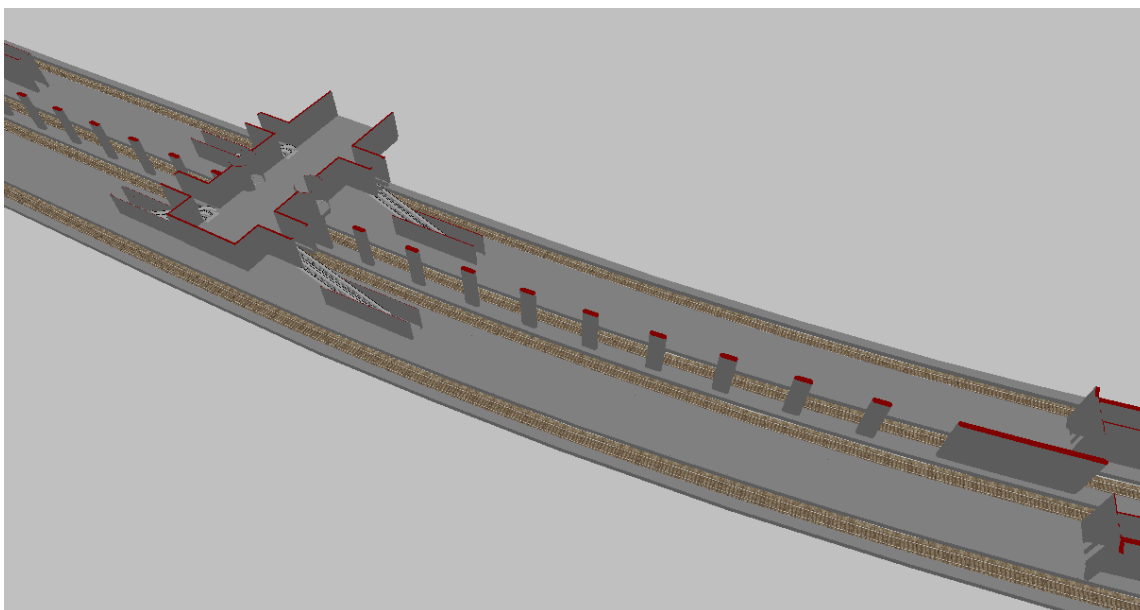
## 2.4 Simulering

Med utgångspunkt i ritningar, observationer och mätningar har miljöerna i fältstudien modellerats i 3D i mikrosimuleringsprogrammet *Vissim/Viswalk*. Denna modell har sedan justerats vad det gäller utformning och rulltrapps-karakteristika utgående ifrån det som observerades vid fältstudien för att ge en bättre överensstämmelse mellan simuleringen och situationen vid fältstudierna.

### 2.4.1 Modellens uppbyggnad

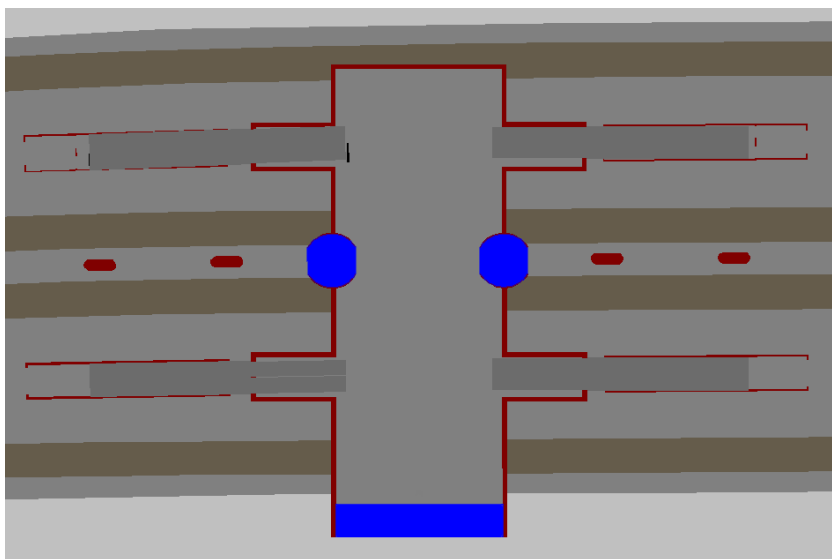
Utifrån ritningar i PDF-format från Trafikverket skapades en dwg-fil genom konvertering med hjälp av webverktyg. Denna fil förenklades och förfinades i Autocad för att sedan importeras i *Vissim/Viswalk*. Då importen i *Vissim/Viswalk* endast hanterar ytor och polylines modifierades dwg-filen så att de vitala konstruktionsdelarna utgjordes av slutna polylines. Vid import i *Vissim/Viswalk* gavs sedan varje lager i dwg-filen egna attribut såsom höjd, tjocklek och typ av objekt, se Figur 18 för översikt. Vid import till *Vissim/Viswalk* kan hänsyn ej tas till trappor och rulltrappor varför dessa måste läggas in i efterhand. Från glashallen ner till perrongerna lades de totalt 8 rulltrapporna in efter dimensioner enligt trafikverkets ritning (E-69247.03-0.02). Dimensionerna på trapporna upp till fjärrbussterminalen uppskattades utifrån observationer vid fältstudie 1 och rullbanden upp till Anna Lindhs plats dimensionerades enligt trafikverkets ritning (E-66551.00-0.04).

3D-miljön avgränsades i nedre plan av uppgången till Anna Lindhs plats i den västra delen och av trapporna upp till fjärrbussterminalen i den östra delen. I markplan begränsas modellen i den västra delen av övergången från rullbanden till mezzaninplan på Anna Lindhs plats. Den centrala delen av modellen begränsas vid utgångarna ifrån Glashallen samt vid gränsen mellan den yttre Glashallen och resterande del av stationen. Den östra delen av modellen begränsas i snittet mellan trapporna och markplan.



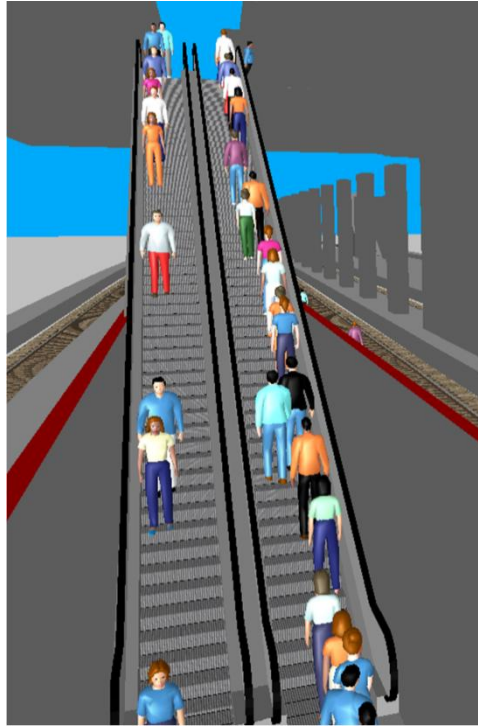
Figur 18 Översiktsbild över 3D-modellen i *Vissim/Viswalk*

När 3d-miljön importerats och kopplingar mellan de olika planen lagts in i modellen lades de fotgängarytor in som skulle representera ingångarna till stationen. I stationens övre plan (markplan) lades tre ytor ut, en vid vardera karuselldörr och en vid gränssnittet till övriga stationen, se blåmarkerade ytor i Figur 19. Vid dessa ytor genererades och attraherades sedan fotgängare till och från perrongerna. För att ge modellen som helhet mer realistiska perrongflöden lades även en yta in vid uppgången till Bagers plats där fotgängare såväl förs in i modellen som tas ut ur densamma. Dessa ytor programmerades så att totalt 550p/h genererades för att ungefärligt motsvara det antal fotgängare som ankommer till stationens Glashall och nergången vid Anna Lindhs plats mellan 07:30 och 08:30 enligt Skånetrafikens resandestatistik (se avsnitt 2.1.7). Vid trapporna upp till fjärrbussterminalen lades inte in några ytor för varken fotgängargenerering eller attrahering då detta flöde var så lågt att det vid fältstudierna inte påverkade situationen på perrongen.



Figur 19 Genererande och attraherande ytor i Glashallen

Nere på perrongen lades ytor ut för att motsvara perrongkant och de ytor som används av väntande resenärer. Modellen kompletterades sedan med kollektivtrafiklinjer och hållplatslägen för de fyra spår som utgör Malmö C nedre. Rulltrappor och de omgivande rummen där dessa ansluter till perrongen förfinades i modellen enligt ritningar från Trafikverket (J988HP0202106). Detta då denna del av modellen är den som skall studeras i detalj och därför är det mest väsentliga. I arbetet med uppbyggnaden av modellen gjordes en förenkling av själva perrongplanet då modellen annars blivit för komplex. I verkligheten lutar perrongplanet nedåt åt väster (mot tunneln) vilket innebär att lyfthöjden skiljer sig från 9,9m för de östra rulltrapporna till 10,5m för de västra rulltrapporna. I modellen har en lyfthöjd på 10m antagits för samtliga rulltrappor vilket medför att längden på de västra rulltrapporna i modellen skiljer sig något mot verkligheten. Denna förenkling påverkar dock inte resultatet vad det gäller rulltrappskapaciteten, då rulltrappslängden i sig inte påverkar flödet.



Figur 20 Exempel på rulltrappor i Vissim/Viswalk

#### 2.4.2 Rutter och ruttval i modellen

För att sammanbinda in- och utgångsytorna med hållplatslägena lades i modellen in en serie rutter med ett antal ruttval vardera. För de resenärer som färdades ifrån Glashallen och ner till perrongen lades ett ruttval in mellan de två möjliga rulltrapporna. Resenärerna fördelades här baserat på att 90% skulle välja den rutt som hade lägst medelrestid för de senaste 10 resenärerna.

I valpunkten på plattformskanten fördelades fotgängarna med hjälp av en ren procentsats mellan de två målpunkterna. Andelen resenärer som väljer Glashallen respektive uppgången vid Anna Lindhs plats baserades på medelvärden från Jernhusens kontinuerliga passagerarräkningar som sker med hjälp av fotoceller i överkanterna på rulltrapporna och rullbanden. Enligt dessa räkningar hade cirka 70% av resenärerna i medel sin målpunkt i glashallen och resterande 30% hade sin målpunkt på Anna Lindhs plats (Gunnefur, 2013).

Gemensamt för samtliga konfigurationer var att huvudrutter lades in från plattformskanten, där fotgängarna från tågen introduceras i modellen, upp till glashallen och upp till utgången vid Anna Lindhs plats. Att vana resenärer placerar sig i tåget på ett sätt som gynnar dem vid destinationen är något som observerats vid fältstudierna. Hänsyn till detta kunde tagits i modellen genom att ”lastningsstationer” anlagts utanför den studerade modellen där passagerare lastats fördelade efter slutdestination. Detta beteendes utbreddhet är dock något som är mycket svårt att mäta vid fältstudier och en sådan modellkonfiguration hade även inneburit en kraftigt ökad komplexitet. Med anledning av detta valdes en sådan ruttkonfiguration bort i den aktuella modellen. För de resenärer som

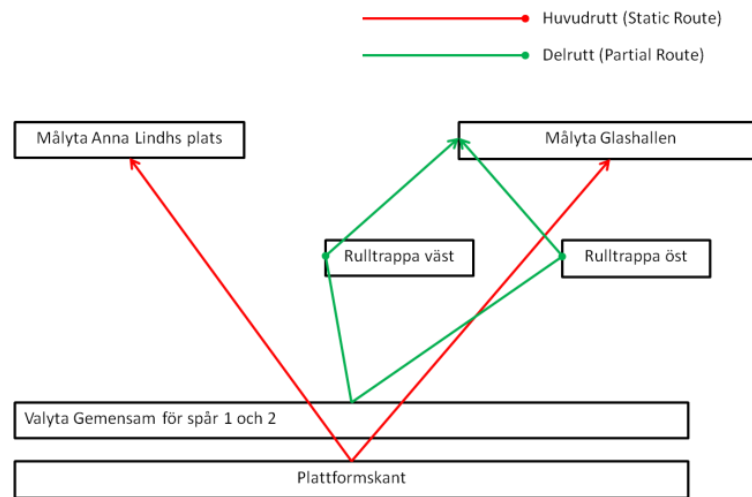
färdades upp från perrongen till Glashallen testades sedan en rad olika ruttkonfigurationer för att på bästa sätt beskriva hur resenärerna väljer mellan de två möjliga rulltrapporna.

Den första och enklaste ruttkonfigurationen ur ett modellperspektiv, konfiguration ett, var att fördela resenärerna procentuellt mellan de två möjliga rulltrapporna utgående ifrån uppmätta värden. Dock skulle en sådan ruttkonfiguration inte ta hänsyn till eventuell trängsel eller tågens position i modellen.

För att möjliggöra för att modellen automatiskt skulle fördela resenärerna mellan de två rulltrapporna konfigurerades modellen istället enligt konfiguration två. Konfiguration två innebar att fotgängarna, när de klev av ytan vid plattformskanten, valde en av de två rulltrapporna baserat på vilken väg som hade kortast restid, se Figur 21. I denna konfiguration var valytan gemensam för de två spåren och restiderna baserades här på medelvärdet av de senaste 100 personerna för varje val. Anledningen till att medeltalet beräknades för de senaste 100 resenärerna var för att undvika att en kraftig köbildning vid en tågankomst medför att en orealistisk stor del av resenärerna på nästkommande tåg väljer den längre vägen (östra rulltrappan). I verkligheten kan antas att resenärerna vid tågankomst grundar sitt vägval på situationen som råder vid ankomst samt på viss erfarenhet ifrån tidigare besök, något som kan vara påtagligt vid pendling då vissa resenärer gör samma resa varje dag. För att ta hänsyn till att erfarenheter spelar in vid vägvalet har en fördelning grundad på kortast tid en viktig roll. Fotgängarna fördelades i konfiguration två med en Kirchoff-fördelning där sannolikheten att en fotgängare valde ett alternativ beräknades som kvoten mellan inversen av restiden och inversen av samtliga alternativs restider. Anledningen till att en Kirchoff-fördelning valdes framför grundinställningen, där en procentsats anges för hur stor del som skall välja alternativet med kortast restid, var bland annat för att få mjukare överflyttningar mellan de olika alternativen.

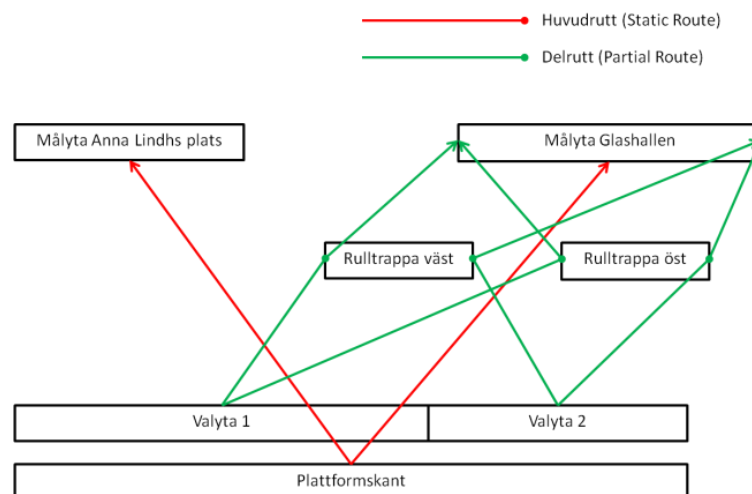
Fördelarna med denna konfiguration var att den gav en relativt mjuk överflyttning och en rimlig fördelning mellan de olika rulltrapporna, samtidigt som den har en låg komplexitet. Nackdelarna var dock att konfigurationen använde samma medelrestider för samtliga resenärer, vilket innebar att en person som gått av tåget så långt västerut som möjligt hade samma sannolikhet att välja den östra rulltrappan som en person som gått av tåget längst österut.





Figur 21 Schematisk bild, konfiguration två

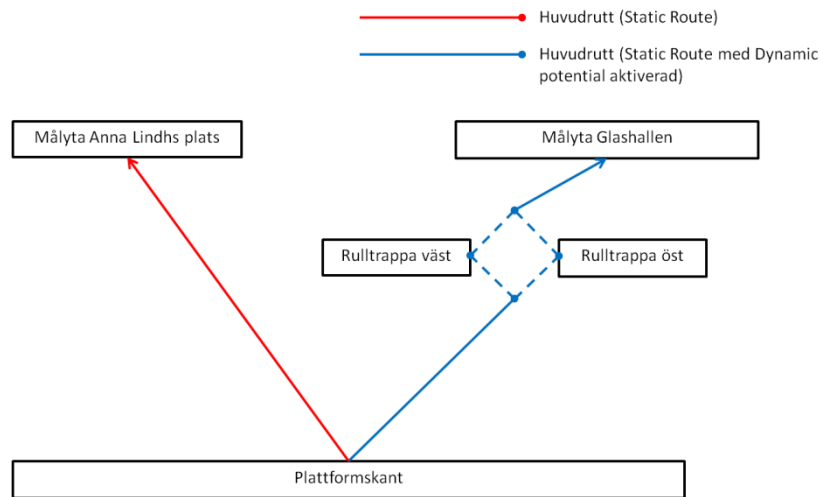
Den tredje konfigurationen, se Figur 22, bestod istället av att valytan delades upp i två delar med skärningspunkt i höjd med den västra rulltrappan. Anledningen till detta var att på ett bättre sätt försöka efterlikna hur resenärernas val av rulltrappa påverkas av var på plattformen de gått av tåget. Även i den tredje konfigurationen användes en Kirchoff-fördelning baserat på restid, men då fotgängarna i denna konfiguration ankom till olika ytor baserades även deras val på olika medelrestider. Denna konfiguration innebar dock en ökad komplexitet och svårigheter vad det gällde placering av valytorna. Detta då delrutters i *Vissim/Viswalk* har en ersättande effekt i de fall där fotgängarens huvudrutt inkluderar ytan där delrutten har sin målpunkt, se avsnitt 2.1.4.1. Då samtliga fotgängare på ett tåg i modellen ankommer till en yta för plattforms-kanten, kan endast en huvudrutt användas mellan plattforms-kanten och målpunkten i till exempel glashallen. Detta innebar i sin tur att samtliga delrutters målytor måste representeras även i huvudruten och därigenom kan inte heller den ersättande effekten hos delrutterna undvikas.



Figur 22 Schematisk bild, konfiguration tre

En fjärde konfiguration baserad på dynamiska vägval (Dynamic potential) testades också i modellen. Detta för att därigenom dra nytta av att fotgängarna vid användning av

dynamiska vägval gör sina vägval kontinuerligt. I teorin skulle detta ge en realistisk fördelning mellan rulltrapporna och en snabbare, mer direkt respons på trängseln. Detta då en ökad trängsel nedanför den västra rulltrappan skulle innebära att de fotgängare som närmar sig rulltrappan istället väljer den östra. Konfigurationen testades med en rad olika ytkonstellationer men dock hittades inte någon lösning som kunde frångå problematiken med att dynamiska vägval i dagsläget inte fungerar för rutter över flera plan.



Figur 23 Schematisk bild, konfiguration fyra

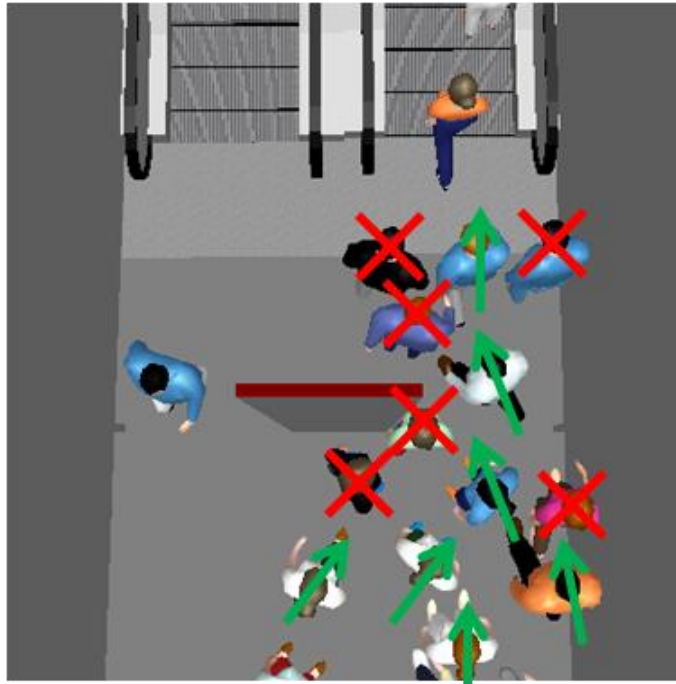
Efter en serie testkörningar konstaterades att ruttkonfiguration två var den som gav mest tillförlitliga resultat och att de fel denna konfiguration riskerar att ge upphov till inte påverkar själva fördelningen mellan rulltrapporna utan endast påverkar fotgängarnas totala restid och modellens estetik.

### 2.4.3 Modellspecifika inställningar

Ankommande tåg i modellen programmerades att släppa av 225 personer vid ankomst och att de sedan skulle ta med samtliga fotgängare på perrongen för det aktuella spåret vid avgång. Detta för att försöka efterlikna situationen då det tåg som i Skånetrafikens resanderäkningar hade flest avstigande under den studerade timmen i fältstudierna, 07:30-08:30, ankommer till stationen i södergående riktning. Tiden mellan två tåg på samma plattform angavs till 330s då detta är medelmellanrummet mellan två tåg under den studerade timmen i fältstudierna. För rulltrapporna i modellen matades förutom deras dimensioner även in karakteristika som hastighet på 0,65m/s och att fotgängarna väljer att stå till höger och gå till vänster. Utgående ifrån uppmätta värden vid fältstudie 2 angavs i modellen även att cirka 30% av fotgängarna väljer att gå upp för rulltrappan.

### 2.4.4 Uppkomna problem under modellkonfigurationen

Förutom de ruttrelaterade problemen som behandlats under avsnitt 2.4.2 ovan uppstod även i modellen problematik med att simulerade fotgängare blev stående vid sidan av rulltrappans ingång på en yta som vid fältstudierna inte användes av resenärerna, se Figur 24.



Figur 24 Exempel på situation med stillastående fotgängare vid sidan

För att identifiera vad i modellen som är anledningen till problematiken testades att för ett antal körningar ta bort mellanväggen i förrummet. Då detta inte innebar någon förbättring kunde slutsatsen dras att problematiken ligger vid rulltrappans ingång, möjligtvis i kombination med den närliggande väggen eller den andra rulltrappan. Även ett mer extremt test med endast en mittcentrerad rulltrappa utfördes men inte heller det resulterade i en lösning av problemet vilket innebar att det kunde fastslås att problematiken beror på fotgängarnas beteende vid ingången till rulltrappan. För att lösa problemet testades två olika modelluppbyggnader och för att för att minska problematiken ytterligare undersöktes två av konfigurationsparametrarna med hänsyn till denna problematik.

En metod som testades i modellen var att lägga in så kallade köytor nedanför rulltrapporna för att därigenom erhålla ett mer organiserat köbeteende och ge användaren möjlighet att påverka köformationen, något som behandlas i avsnitt 2.1.3.3. I programmet ställs kriteriet att en förprogrammerad fördröjning måste förekomma på ytan för att ett köbeteende skall initieras. I detta fall sattes denna fördröjning till 0,1s för att inte påverka restiden nämnvärt och därmed heller inte påverka valet av rulltrappa. Införandet av köytor precis framför rulltrappan gav dock inte upphov till någon större förbättring då detta istället innebar att problematiken med stillastående fotgängare försköts till området före innerdörren. I det fall då hela ytan i förrummet programmerades som en köyta hade inte detta någon effekt på fotgängarnas beteende då detta innebar att köytan blev för stor för att endast en kö skulle bildas. Införandet av köytor medförde även en ökad komplexitet i modellen då dessa för att fungera måste inkluderas som delmål i de rutter som passerar området.

En annan lösning på problemet, som föreslogs av Tobias Kretz (2013) på PTV, var att en separat yta lades in nedanför rulltrappan och att fotgängarna på denna yta gavs samma

efterfrågade hastighet genom en separat hastighetsfördelning på just den ytan. Detta då problematiken enligt Tobias kan bero på det faktum att de simulerade fotgängarnas acceleration i modellen bestäms utgående ifrån deras efterfrågade hastighet. Detta medför att personer med en lägre efterfrågad hastighet också får en långsammare acceleration och därför lättare fastnar i sådana situationer. Om då alla fotgängare på ytan får samma efterfrågade hastighet får de i modellen även samma acceleration vilket minskar problematiken (Kretz, 2013). Denna modellförändring minskade problematiken betydligt, dock kvarstår ändå ett fåtal situationer per simuleringskörning där fotgängare blir stående vid sidan av rulltrappan. På grund av detta undersöktes även om problemet kunde avhjälpas med parameterjusteringar. Två parametrar av intresse som problematiken tros kunna bero på är **A\_soc\_mean**, se avsnitt 2.1.3.3, som påverkar den hastighetsberoende kraften i ekvation (5) och parametern **tau**, se avsnitt 2.1.3.3, som påverkar reaktionstiden och därigenom även accelerationen. Dessa parametrars effekter på problematiken undersöktes därför genom en okulär studie och resultaten av denna studie presenteras i avsnitt 3.6.

För studierna i detta examensarbete används modellkonfigurationen där en yta med specifik hastighetsfördelning placeras nedanför rulltrappan för att minska problematiken med stillastående fotgängare vid sidan av rulltrappans ingång. Hur resultaten i modellen sedan påverkas av att problematiken minskas genom justeringar av parametrar behandlas istället sedan tillsammans med övriga parametrar i parameterstudien.

#### **2.4.5 Studier**

För att utvärdera hur väl *Vissim/Viswalk* beskriver rulltrappsflöden i sin grundform genomfördes en serie simuleringar med de fördefinierade grundparametrarna i *Vissim/Viswalk*. Mellan dessa körningar ändrades endast det så kallade slumpfröet, som bland annat avgör var fotgängare genereras, för att på så vis minska slumpens inverkan på resultatet. I Tabell 11 under avsnitt 3.3, presenteras två typer av värden för varje simuleringskörning, dels körningsmaxvärdet som avser det högsta flödesvärdet som uppnåtts under körningen och dels medelvärdet av ankomstmaxvärdena som avser ett medelvärde av de 10 i körningen förekommande ankomsternas maxflöden.

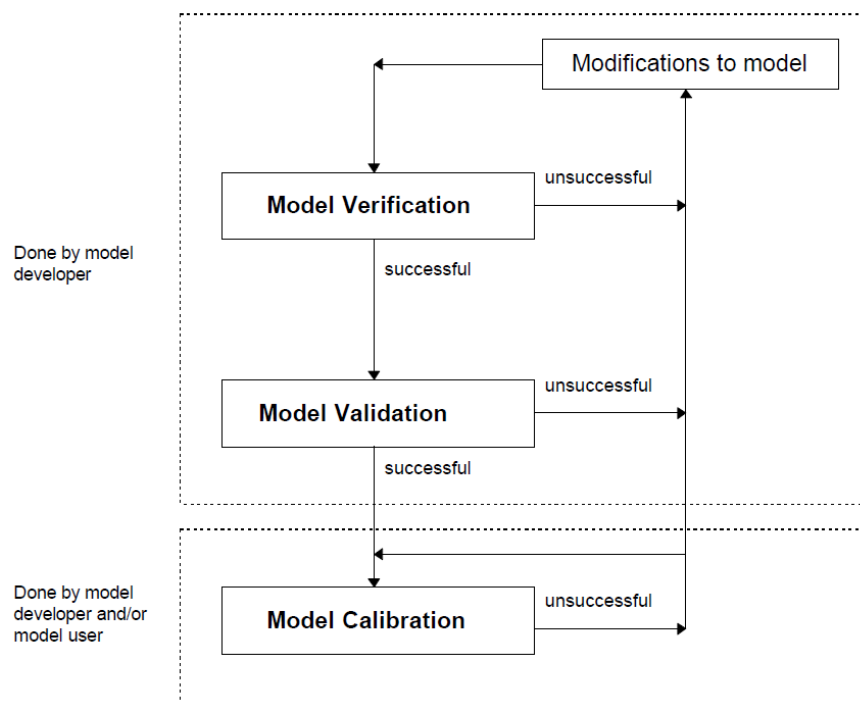
Vid utvärdering av LOS för Malmö C genomfördes dels en studie baserad på ett rutnät med cellstorlek 0,2 x 0,2m och dels en studie över hur densiteten byggs upp och avvecklas för området mellan innerdörren och rulltrappan samt området mellan de två dörrpartierna. LOS- studien genomfördes för en enskild tågankomst och presenteras nedan under resultat både som bildserie (rutnätsstudien) och grafiskt (densitetens utveckling).

För att utvärdera vilka effekterna blir på maxkapaciteten i rulltrappor vid justering av kalibreringsparametrar genomfördes en parameterstudie. Vid denna studie ändrades en parameter i taget och för varje simuleringskörning registrerades likt ovan såväl körningsmaxvärdet som medelvärdet av de 10 tågankomsternas maxvärden. Totalt omfattar parameterstudien 70 olika parameterkonfigurationer och därigenom 700 simulerade tågankomster.

Vid studierna användes ett samplingsintervall på 30s för att därigenom, enligt Jianhong och Xiaohong (2011), säkerställa att flödet är stabilt samtidigt som man inte riskerar att mätta ut korta toppar allt för mycket. Värden insamlade på 30s är, enligt Jianhong och Xiaohong (2011), tillräckligt stabila för att användas för beräkning av timvärden, något som dock ej kan göras i dessa fall då belastningen är mycket varierande på timbasis.

### 2.4.6 Verifiering, Validering och Kalibrering

Viktigt att tänka på vid Validering och kalibrering av simuleringsmodeller är vilket avseende som är mest relevant i det aktuella fallet. Är det makroskopiska värden som till exempel flöden och restider som är det intressanta eller är det snarare att modellen på den mikroskopiska nivån beskriver interaktioner och beteenden på ett realistiskt sätt. Att den ena av dessa stämmer bra överens med verkligheten betyder inte automatiskt att den andra gör det. Det kan till exempel uppstå situationer där effekterna av två felaktigheter på det mikroskopiska planet tar ut varandra på det makroskopiska planet eller tvärt om (Kretz, et al., 2008).



Figur 25 Ramverk för Verifiering-Validering-Kalibrering (Rakha, et al., 2005, p. 4)

Verifiering av en modell/simuleringsprogramvara innebär att kontrollera att modellen återger stabila resultat som överensstämmer med de resultat som ges utgående ifrån den logik som modellen konstruerats efter. Verifieringen grundar sig på kända indata och bekräftar endast att logiken kodats in i modellen/programvaran på ett korrekt sätt. Vilken grad av överensstämmande som eftersträvas för att en modell skall anses verifierad avgörs av dess utvecklare och motsvarar oftast noggrannheten på de kända indata som används (Rakha, et al., 2005).

Validering av en modell/simuleringsprogramvara innebär att bestämma hur väl modellen återger resultat av situationer med olika förutsättningar. Genom att testa modellens resultat mot kända situationer med förändrade förutsättningar undersöks huruvida relationerna mellan modellens underliggande regler agerar korrekt eller inte. En modell anses validerad då den kalibrerad för en situation sedan beskriver ett scenario med andra förutsättningar med önskad noggrannhet. I en ideal värld skall valideringen inte behöva repeteras av användaren utan skall endast behöva göras av modellens/simuleringsprogramvarans utvecklare. Användaren skall då endast behöva kalibrera modellen utefter lokala förutsättningar för att erhålla resultat med god säkerhet (Rakha, et al., 2005).

PTVs validering av fotgängarsimulering i Vissim/Viswalk utfördes i tre steg. Vid den första valideringen låg fokus på det makroskopiska planet och det utvärderades då hur väl modellen beskriver huvudsakliga flöden, restider och hastigheter. I nästa steg fokuserades det istället på fotgängarnas beteende på det mikroskopiska planet och då utvärderades bland annat hur väl modellen beskriver fotgängarnas sätt att undvika hinder. Vid valideringen på det mikroskopiska planet lades även stort fokus på att utvärdera hur modellen beskriver gruppbetenden som till exempel radformering samt hur ett flöde påverkas av ett motriktat flöde. Det tredje steget i PTVs valideringsprocess utfördes för att säkerställa att modellen återger realistiska animationer då detta anses vara en av mikrosimuleringsprogrammets styrkor (PTV AG, 2012).

För att validera en modell likt den som i detta examensarbete byggts upp för Malmö C bör en rad olika studier genomföras. En studie som kan användas för att kalibrera modellen och sedan en eller flera situationer där förutsättningarna förändrats. Trängselsituationen som studeras i detta examensarbete uppstår endast under morgonrusningen då stora mängder resenärer kommer klumpvis från tågen. På grund av detta kan inte en annan tidpunkt på dagen användas som kontrollsituation vid en validering. Detta leder till att en annan station med liknande problematik istället behöver användas som kontroll. En sådan validering har inom examensarbetets tidsramar inte varit möjlig då stora mängder indata krävs samtidigt som modellen vid en sådan validering behövs förändras geometriskt.

I detta examensarbete genomförs istället en parameterstudie där effekterna på rulltrappskapaciteten på grund av justering av en rad kalibreringsparametrar undersöks. Dessa effektbedömningar används sedan för att bedöma vilka parametrar som är intressanta att justera vid kalibrering av modeller angående maxkapaciteten i rulltrappor.

En begränsad kalibrering av den aktuella modellen över Malmö C nedre med fokus på rulltrappornas kapacitet och omgivning genomförs och i samband med detta föreslås vilka parameterkonfigurationer som ger bäst överensstämmelse mellan den aktuella modellen och observerade fälldata.

Kalibrering av en modell innebär att den ges specifika förutsättningar utifrån den plats som skall studeras och att resultaten sedan jämförs med exempelvis fälldata ifrån platsen. I det fall där resultatet inte överensstämmer med fälldata, justeras kalibreringsparametrar i modellen för att därigenom erhålla resultat med efterfrågad noggrannhet. Vid kalibrering

av modeller ställs användaren ofta inför huvudsakligen två problem. Dels brist på kvalitativa fältdata med tillräcklig utbredning och dels svårigheten i att bedöma vilka parametrar som påverkar det efterfrågade och hur en justering av en parameter påverkar modellen. Då kalibrering av simuleringsmodeller kan vara mycket tidskrävande är det även viktigt för användaren att tidigt i processen bestämma vilken noggrannhet som efterfrågas, grundat på till exempel noggrannheten hos tillgänglig indata och även vilken typ av studie resultatet är ämnat för (Rakha, et al., 2005).

Med utgångspunkt i modellen som används i detta examensarbete med fokus på maxkapaciteten i rulltrappor och situationen omkring dessa kan antas att ett intresse finns för att säkerställa modellens överensstämmelse med verkligheten såväl på det makroskopiska planet som på det mikroskopiska. Detta då rulltrappsflödet påverkar modellen på det makroskopiska planet medan utredningen vad det gäller densitetsnivåer nedanför rulltrappan mer är av mikroskopisk karaktär.

Vid ett kalibreringsförfarande är det även viktigt att lokalisera de faktorer som i största grad påverkar det studerade resultatet och undersöka om någon av de faktorerna kan bestämmas med högre noggrannhet med hjälp av extra studier eller experiment (Rakha, et al., 2005).

Den av parametrarna för fotgängarsimulering i *Vissim/Viswalk* som direkt kan härledas till mätbara faktorer i verkliga miljöer är **B\_soc\_isotropic** då denna motsvarar fotgängarnas genomsnittliga radie. Denna parameter skulle därför kunna mätas med hjälp av fotografier i fågelperspektiv eller uppskattas genom statistik om den studerade befolkningens kroppsstorlek. Vid denna studie har dock inte tid funnits för någon av dessa studietyper och därför ingår istället denna parameter i parameterstudien för att därigenom visa på dess effekter på rulltrappsflöden och densitetsvärden. Övriga parametrar i parameterstudien går ej att observera vid fältstudier. Dock kan ett antal av dem observeras vid experimentella försök, som till exempel **tau**, **grid size**, **react to n** och **B\_soc\_mean**. Resterande parametrar vars värden inte går att mäta direkt bör därmed sättas utifrån referensobjekt eller andra studier.

## 2.5 Effektbedömning av parameterjusteringar

För att undersöka hur parametrarna i modellen skall justeras för att rulltrappsflödena och densitetsnivåerna i modellen på ett bättre sätt skall efterlikna de som uppmättes vid fältstudien har en rad olika parameterkonfigurationer testats. Då parameterjusteringarna endast utvärderats för rulltrappsflöden och beteenden omkring rulltrappor bör de användas med försiktighet i andra områden och situationer. I Tabell 7 nedan visas de undersökta parametrarnas grundvärden i *Vissim/Viswalk* och i avsnitt 3.4.1-3.4.9 visas vilken effekt respektive justering får på rulltrappsflödet i modellen. I effektbedömningens resultatavsnitt presenteras två typer av flödesvärden på samma sätt som för simuleringskörningen med grundparametrarna i avsnitt 2.4.5. Dels presenteras körningsmaxvärdet som representerar det högsta värdet som uppnåtts under körningen och dels presenteras medelvärdet av ankomstmaxvärdena under körningen. Vid evaluering av flödesvärdena för rulltrappan bortses det ifrån den första tågankomsten i varje simuleringskörning då denna i modellen används för att mäta restid för de olika rutterna, vilket innebär att fördelningen vid denna tågankomst inte är korrekt.

Tabell 7 Grundparametrar Vissim/Viswalk (PTV AG, 2012)

Studerade parametrar	Grundvärde i Vissim/Viswalk
<b>Tau</b>	0.4
<b>Grid_size</b>	5
<b>React_to_n</b>	8
<b>A_soc_isotropic</b>	1.6
<b>B_soc_isotropic</b>	0.2
<b>Lambda_mean</b>	0.3
<b>A_soc_mean</b>	0.4
<b>B_soc_mean</b>	2.8
<b>VD</b>	3

Med grund i parameterstudien för rulltrappsflöden har sedan ett antal parameterkonfigurationer testats där en eller flera parametrar justerats. Anledningen till att konfigurationer testats där mer än en parameter förändrats är för att möjliggöra för små justeringar av enskilda parametrar snarare än en stor förändring av endast en parameter.

Att testa konfigurationer där mer än en parameter förändrats är enligt Lowenes och Machem (2006) ofta fördelaktigt vid kalibrering av flöden och kapaciteter. Detta då kapaciteten hos ett objekt påverkas av en rad olika faktorer vilket innebär att kombinationer av flera parametrar kan ge upphov till synergieffekter. Detta samtidigt som konfigurationer med flera förändrade parametrar kan bidra till att resultaten kan förfinas ytterligare (Lowenes & Machem, 2006).

Dessa konfigurationer har sedan studerats vad det gäller densitetsutvecklingen vid en tågankomst. Anledningen till att endast de konfigurationer som ger upphov till rulltrappsflöden i närheten av de vid fältstudien har undersökts är att rulltrappsflödet i sig är en avgörande faktor. Detta innebär i sin tur att parameterkonfigurationer med



rulltrappsflöden som skiljer sig mycket mot de vid fältstudien blir irrelevanta att undersöka ur ett densitetsperspektiv. Vid densitetsstudien har medelvärden för densitetsnivåerna för de i körningen förekommande tågankomsterna tagits och dessa representeras sedan i figuren av en kurva per parameterkonfiguration. Likt för rulltrappsflödena tas ej körningens första tågankomst med i studien och vid jämförelsen är det endast den aktuella parametern som förändrats utifrån grundvärdesstudien.

## 3 Resultat

### 3.1 Fältstudie

Fältstudieserien i detta examensarbete inleddes med en första fältstudie som förutom inventering av själva stationsmiljön även innefattade mätningar av andelen som väljer att gå i rulltrappan samt rulltrappans hastighet för användning vid simuleringarna. Resultatet av den första fältstudien ses i Tabell 8 nedan och där kan utläsas att medelandelen som väljer att gå uppför rulltrappan är cirka 28%. Vid första fältstudietillfället uppmättes restiden uppför rulltrappan (cirka 23m) till 36s vilket bekräftar att tillverkarens angivna hastighet på 0,65m/s är den som används.

Tabell 8 Andel gående i rulltrappan fältstudie 1

Andel gående	Klockslag	Tågtyp	Tågnr
32%	08:14	Ö-tåg	1029
26%	08:23	Ö-tåg	1331
27%	08:30	Ö-tåg	1031

Vid fältstudie 2 och 3 mättes flödet upp för rulltrappan i 30s intervall för att därigenom registrera rulltrappans maxkapacitet, se Tabell 9. I tabellen kan utläsas att medelflödet för fältstudie 2 var 72,4p/min och att det maximala flödet under fältstudie 2 uppmättes till 84,6p/min. För fältstudie 3 i nedre delen av Tabell 9 uppmättes medelflödet till 71,3p/min och det maximala rulltrappsflödet till 84,2p/min. Förutom just rulltrappsflöden registrerades under fältstudierna även den tid det tar från det att första resenären stiger av till dess att kön nedanför rulltrapporna upphört. I Tabell 9 kan utläsas att medeltidsåtgången för plattformstömning var 2:21min vid fältstudie 2 och 01:43min vid fältstudie 3. För fyra av tågankomsterna under fältstudie 2 registrerades ej tidsåtgången för plattformstömning då andra observationer gjordes i anslutning till dessa tågankomster. Under fältstudie 3 genomfördes för två av tågankomsterna dubbla flödesmätningar med 30s intervall.

Tabell 9 Rulltrappsflöden och tidsåtgång för plattformstömning

Uppmätt flöde p/min	Tidsåtgång	Klockslag	Tågtyp	Tågnr
<b>Fältstudie 2</b>				
56,3	-	07:25	P-tåg	1215
59,1	-	07:33	Ö-tåg	1025
82,1	02:16	07:38	P-tåg	1515
78,7	02:06	07:42	Ö-tåg	1327
80,9	-	07:46	P-tåg	1709
84,6	02:45	07:53	Ö-tåg	1027
69,9	02:18	08:02	Ö-tåg	1329
67,6	-	08:08	P-tåg	1217
<b>Fältstudie 3</b>				
70,4	01:56	07:51	Ö-tåg	1027
64,8	01:41	08:00	Ö-tåg	1329
68,9	01:17	08:08	P-tåg	1217
84,2	01:57	08:12	Ö-tåg	1029
77,0	-	08:12	Ö-tåg	1029
77,1	01:47	08:14	P-tåg	1711
75,0	-	08:14	P-tåg	1711
63,5	02:03	08:21	Ö-tåg	1331
64,0	01:16	08:25	P-tåg	1219
68,2	01:51	08:28	Ö-tåg	1031

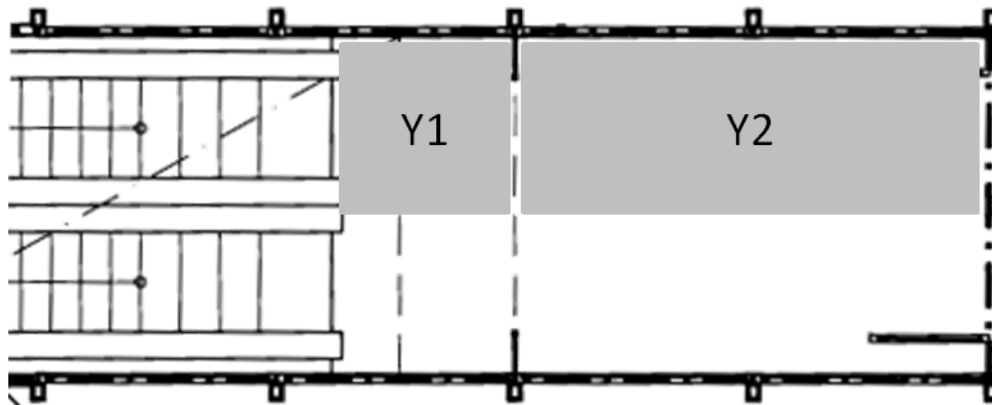
Vid den sjätte fältstudien registrerades dels tiden det tar innan trängsel uppstår från det att de första resenärerna stiger av tåget och dels tiden det tar från det att resenärerna börjar stiga av till dess att de sista resenärerna lämnar perrongen, se Tabell 10. I tabellen nedan inkluderas resenärerna från Öresundståg 1029 i tidsåtgången för plattformstömningen för Pågatåg 1711 då trängseln aldrig upphörde mellan dessa tågankomster. På grund av detta har inte heller tid till kö registrerats för Pågatåg 1711.

Tabell 10 Uppmätta tider fältstudie 6

Plattformstömning	Tid tills kö	Klockslag	Tågtyp	Tågnr
02:11	00:15	07:51	Ö-tåg	1027
01:55	00:20	08:00	Ö-tåg	1329
01:37	00:22	08:08	P-tåg	1217
-	00:23	08:12	Ö-tåg	1029
03:34	-	08:14	P-tåg	1711
02:02	00:22	08:21	Ö-tåg	1331
01:13	00:18	08:25	P-tåg	1219

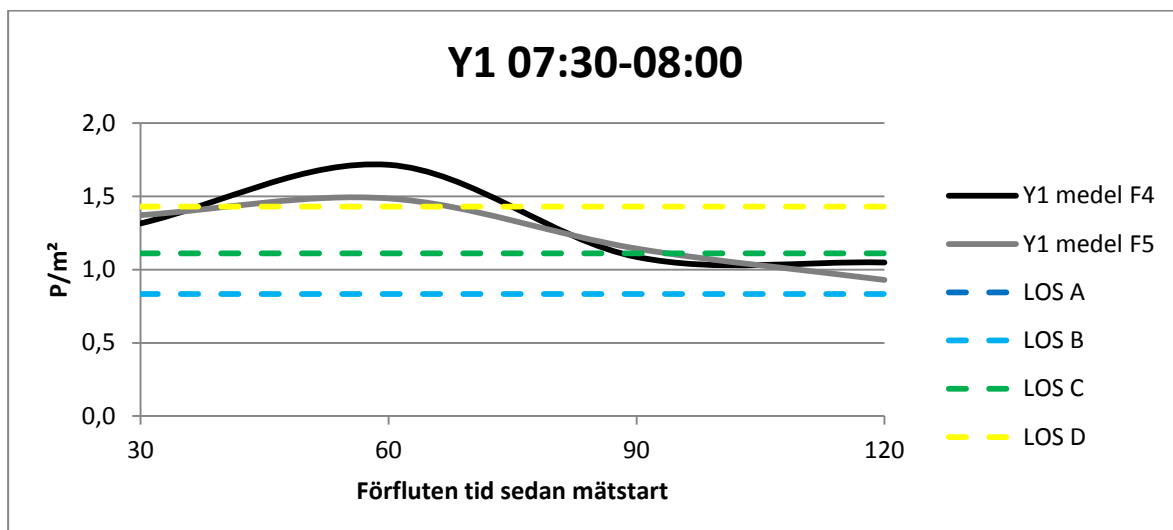
Vid fältstudie 4 och 5 mättes densiteten på två ytor. Den första ytan på 3,5m<sup>2</sup> (benämnd Y1 nedan) begränsades vid studien av rulltrappan i öster och mellandörrpartiet i väster. Den andra ytan på 8,2m<sup>2</sup> (benämnd Y2 nedan) begränsades vid studien av dörrpartiet ut mot

plattformen i väster och av mellandörrpartiet i öster. För att ta hänsyn till den köformation som uppstod vid fältstudierna omfattade Y2 endast halva ytan i nord-sydlig riktning mellan dörrpartierna i förrummet, se översikt i Figur 26 nedan.

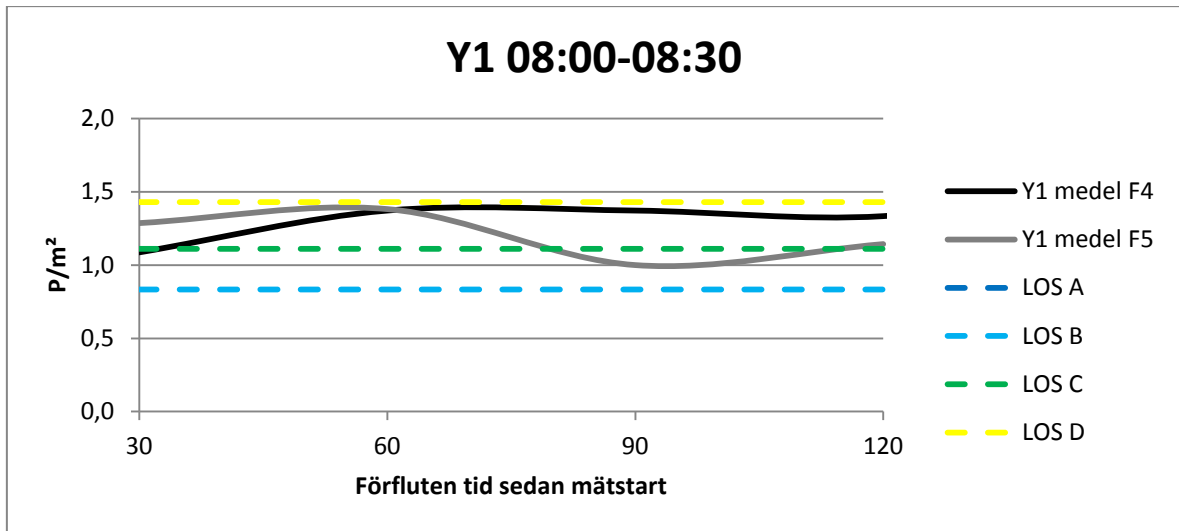


Figur 26 Översiktsbild över mätytorna under fältstudien

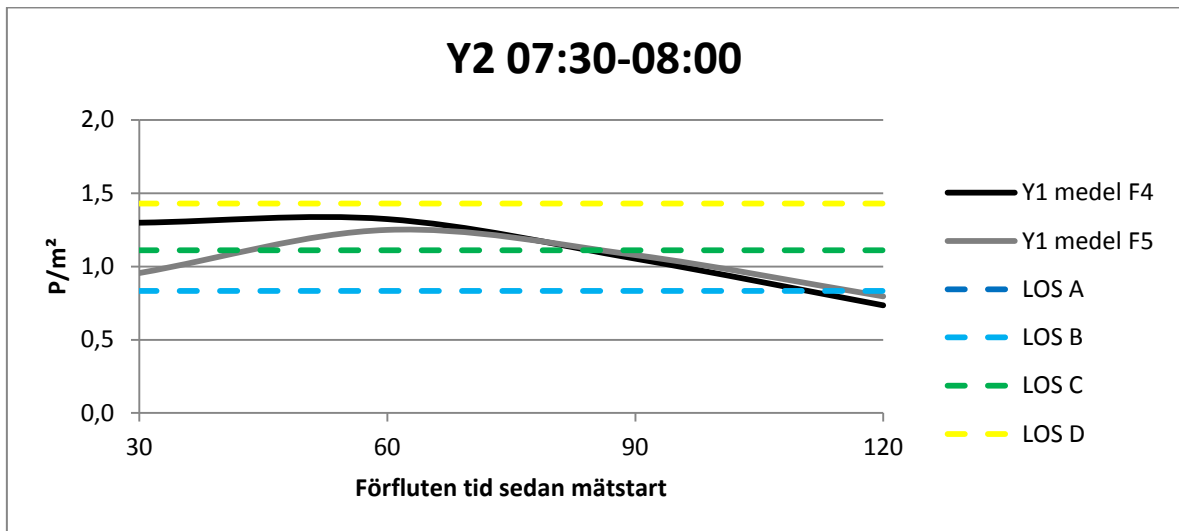
De insamlade densitetsvärdena för den studerade timmen har delats upp i två 30 minuters intervall för varje yta. Detta dels för att möjliggöra att urskilja skillnader i beteende och dels för att tydliggöra figurerna. För densitetsmätningar på ytan Y1 under perioden mellan 07.30-08:00 se Figur 27 och för perioden 08:00-08:30 se Figur 28. För densitetsmätningar på ytan Y2 under tidsperioden 07:30-08:00 se Figur 29 och för perioden 08:00-08:30 se Figur 30. I figurerna nedan finns två kurvor som representerar medelvärdet för de tågankomster som observerats vid respektive fältstudietillfälle under den studerade tidsperioden (5 ankomster fältstudie 4 och 6 ankomster fältstudie 5). Figurerna har kompletterats med kurvor som representerar de olika LOS-nivåerna för kö-områden för att direkt ge en känsla av den upplevda trängseln.



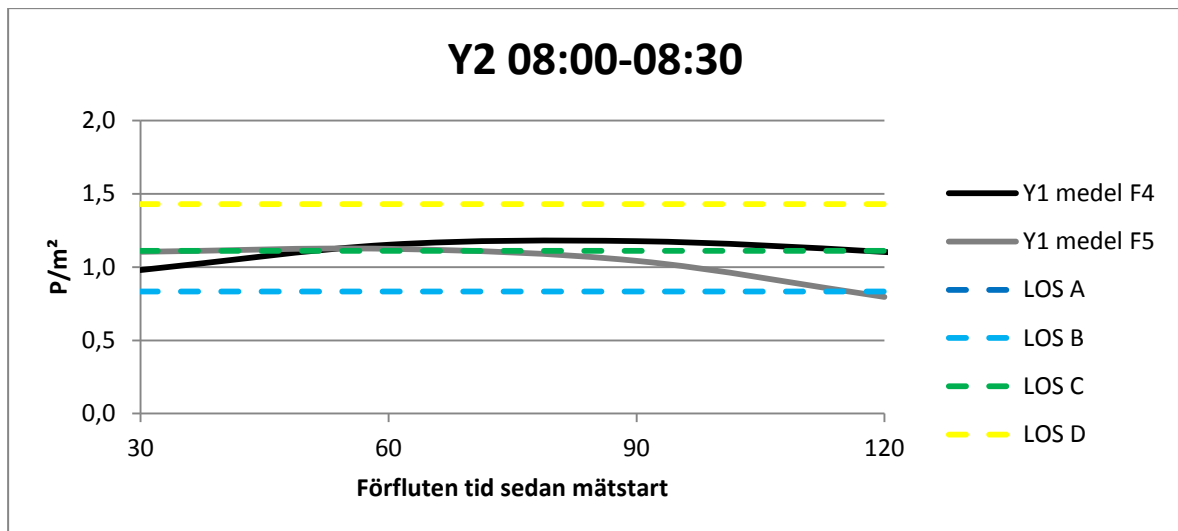
Figur 27 Densitetsutveckling Y1 07:30-08:00



Figur 28 Densitetsutveckling Y1 08:00-08:30



Figur 29 Densitetsutveckling Y2 07:30-08:00



Figur 30 Densitetsutveckling Y2 08:00-08:30

I samband med fältstudie 6 fotograferades även situationen på plattformsytan utanför rulltrappans förrum. Se Figur 31 för situationen i och precis utanför förrummet nedanför rulltrappan och Figur 32 för situationen ute på plattformen. I Figur 31 ses att resenärerna vid fältstudien väljer att bilda en kö långt ut på plattformen trots det att ytan i förrummet ännu inte fyllts. Vid fototillfället observerades även en stor artighet resenärerna emellan samt en stor acceptans för att stressade resenärer går före i kön, passerar genom den vänstra dörren och därefter går upp för rulltrappan.



**Figur 31** Exempel på kösituation fältstudie 6 främre delen av kön



**Figur 32** Exempel på kösituation fältstudie 6 bakre delen av kön

### 3.2 Beräkning

Rulltrappans maxkapacitet ges, utifrån indata, av Tabell 5 och enligt EN 115-1 till:  
 $7300p/h = 122p/min$ . Utgår man istället ifrån de samband som TRB (2003) tagit fram i Tabell 4 kan det maximala flödet för rulltrappan antas vara strax över  $90p/min$ .

För korridoren kan den maximala kapaciteten beräknas enligt avsnitt 2.1.6.1, utgående ifrån maxkapaciteten för LOS-E ( $82p/(m \cdot min)$ ) och ovanstående indata till:  
 $(3,3 - (0,5 \cdot 2)) \cdot 82 = 189p/min$ .

Kapaciteten för dörren mellan plattformsytan och förrummet blir enligt schablonvärdet i Daamen och Hoogendoorn (2012):  $2,3 \cdot 2,25 \cdot 60 = 310p/min$  och enligt sambandet för flaskhalskapaciteter:  $2,3 \cdot 1,9 \cdot 60 = 262p/min$ .

Kapaciteten för denna dörr enligt schablonvärdet i Daamen och Hoogendoorn (2012) är:  
 $1,27 \cdot 2,25 \cdot 60 = 171p/min$  och enligt sambanden för flaskhalsar kan beräknas till  
 $1,9 \cdot 1,27 \cdot 60 = 144p/min$ .



### 3.3 Simulering

Vid simulering med rulltrappsspecifikationer enligt fältstudiesituationen och grundparametrar i *Vissim/Viswalk* kunde två typer av värden för varje simuleringskörning registreras, se Tabell 11. Körningsmaxvärdet avser det högsta flödesvärdet som uppnåtts under körningen och medelvärdet av ankomstmaxvärdena avser ett medelvärde av de 10 i körningen förekommande ankomsternas maxflöden.

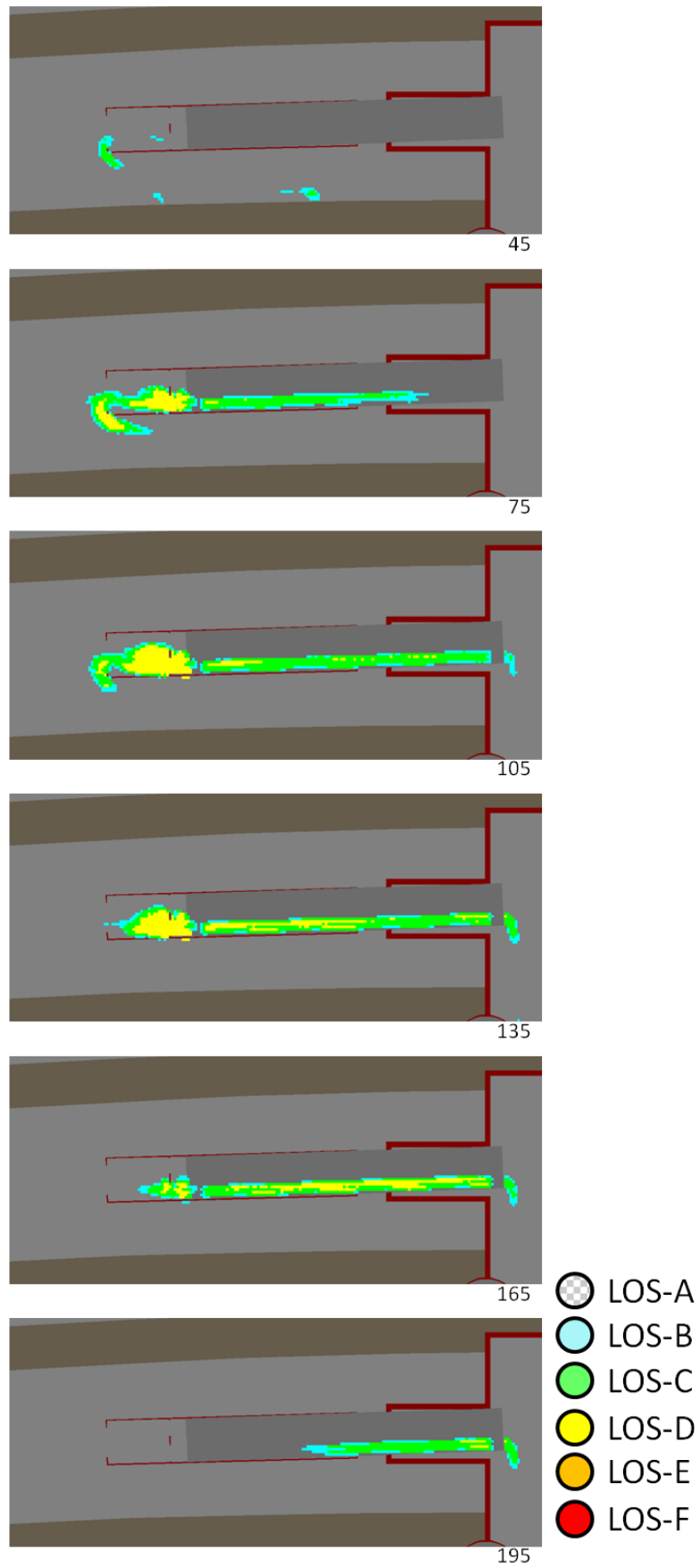
I tabellen ses att differensen mellan körningsmaxvärdet och medelvärdet för ankomstmaxvärdet för flera körningar är omkring 10p/min. Detta tyder på att maxflödet vid de körningarna endast inträffat vid en eller ett fåtal tågankomster. I Tabell 11 nedan kan även utläsas att medelvärdet för de 15 körningsmaxvärdena var 76p/min och att medelvärdet för de olika körningarnas medelvärden för ankomstmax var 67p/min.

Tabell 11 Rulltrappsflöde med grundparametrar (p/min)

Körning	Körningsmax	Medel av ankomstmax
1	80	67,8
2	78	68,6
3	72	68
4	78	67,6
5	76	67,2
6	76	65,6
7	70	67,6
8	76	66,2
9	70	64
10	74	65,6
11	78	68
12	76	66,4
13	78	69,6
14	80	65,4
15	72	67,6
<b>Medelvärde</b>	<b>76</b>	<b>67</b>
<b>Std. av.</b>	<b>3,3</b>	<b>1,5</b>

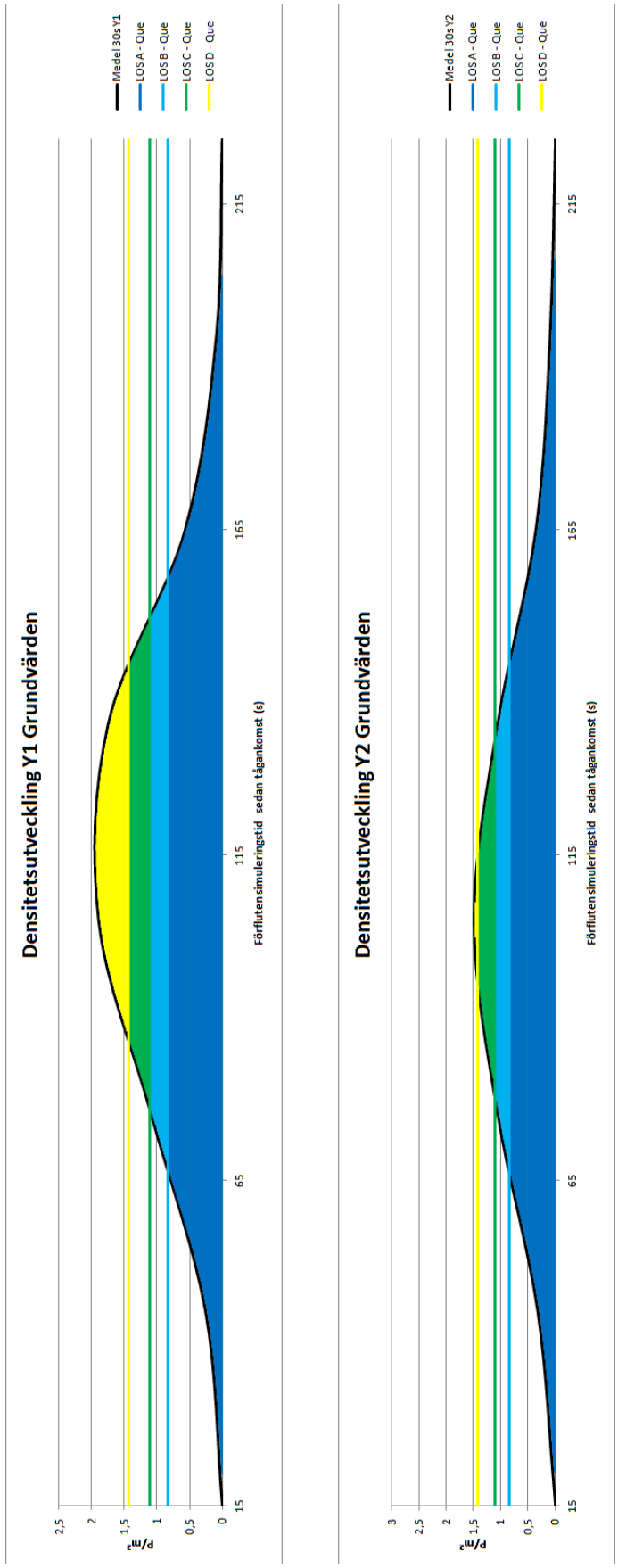
I Tabell 11 kan även utläsas att standardavvikelsen för serien med körningsmaxvärdena är 3,3 och för serien med medelvärden av ankomstmaxvärdena är 1,5. Detta ger variationskoefficienterna 4,3 % respektive 2,2 % vilket visar på att flödesvariationen i modellen mellan olika slumpantal är relativt liten.

Resultatet av rutnätsstudien för LOS-nivåer nedanför den västra rulltrappan presenteras i bildserien i Figur 33. I bildserien visas medel LOS-nivåer för ett samplingsintervall på 30s för en tågankomst med 225 personer. De olika LOS nivåerna representeras i figuren av en färg för respektive LOS-nivå. Markeringen, i Figur 33, som är statisk ute på själva plattformen utgörs av resenärer som väntar på nästa tågavgång och har därmed inget med trängseln nedanför rulltrapporna att göra.



Figur 33 LOS-utvärdering. Samplingsintervall 30s. Tiden anges sedan tågankomst

Densitetsutvecklingen för området mellan innerdörren och rulltrappan samt motsvarande LOS-nivåer presenteras grafiskt till vänster i Figur 34. Till höger i Figur 34 presenteras utvecklingen för ytan i försummets södra del. Studierna avser samma tidsperiod och simuleringskörning som situationen i Figur 33 ovan. De värden som utgör utdata ifrån *Vissim/Viswalk* representerar medelvärdet för den föregående 30s perioden. För att enklare kunna jämföra resultatet med bland annat fältstudieresultatet har kurvorna i figurerna nedan förskjutits 15s så att det plottade medelvärdet för perioden istället är markerat för mittpunkten för den aktuella 30s perioden. I modellen med grundparameterinställningar överskrids nivån för LOS-D ungefär 30% av den tiden då trängsel uppstår vid tågankomst. I figuren kan även ses att trängseln uppstår ungefär med samma kurv lutning som den sedan avvecklas vilket tyder på att den huvudsakliga orsaken till trängseln är att ett begränsat flöde överskrids och därmed inte orsakas av en kortvarig störning.

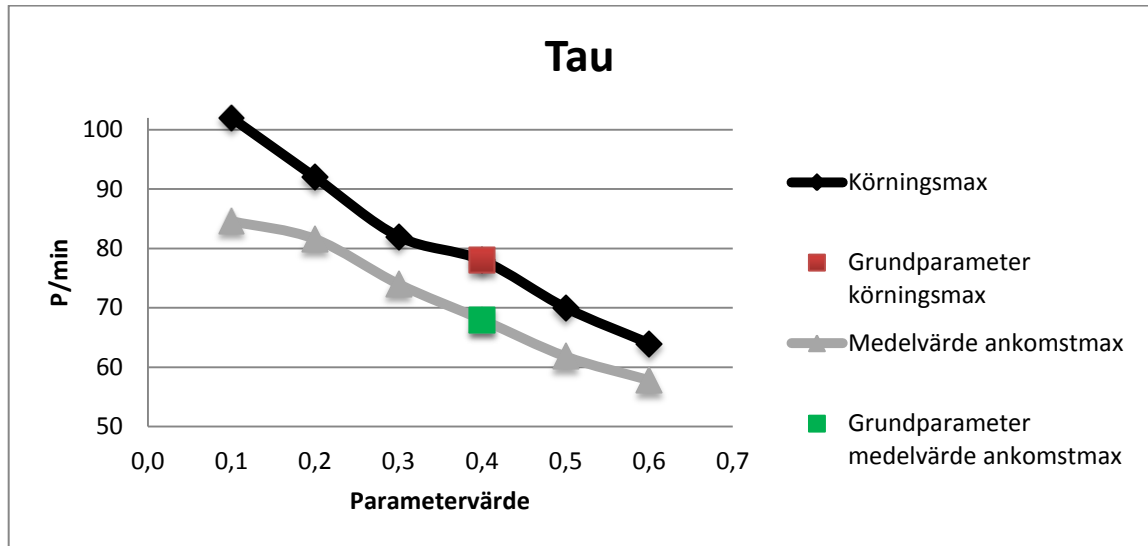


Figur 34 Medelnivå för sampling 30s Yta 1 t.v och Yta 2 t.h.

### 3.4 Effektbedömning av parameterjusteringar - Rulltrappsflöde

I figurerna nedan, för respektive parameter, har flödesvärdena för parametrarnas grundvärde accentuerats för att kunna användas som utgångspunkt i jämförelsen. För beskrivning av de olika parametrarna och dess koppling till SFM se avsnitt 2.1.3.2 och 2.1.3.3 ovan.

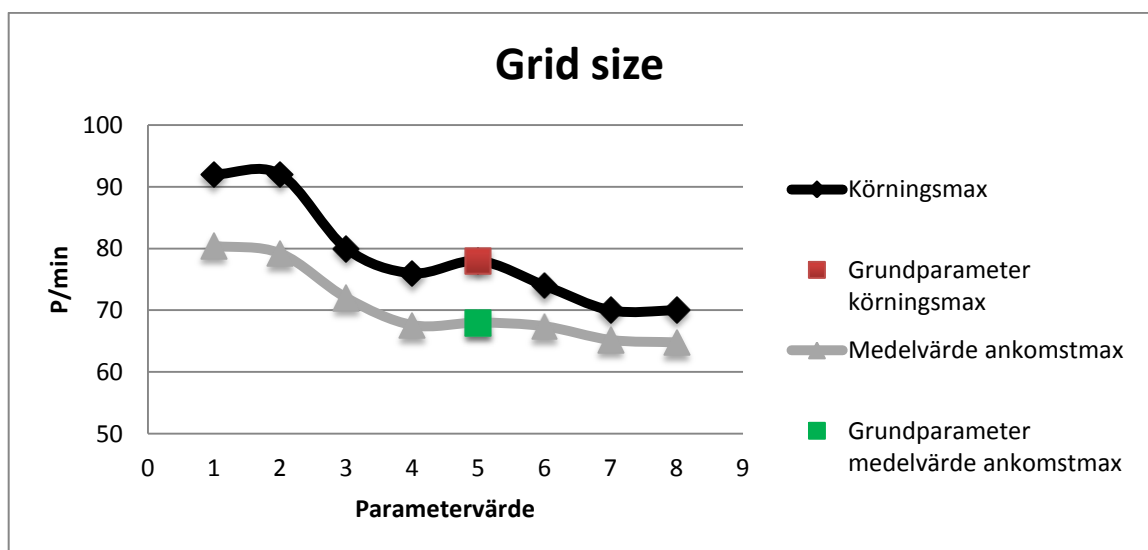
#### 3.4.1 Tau



Figur 35 Effektbedömning vid justering av parametern Tau

I Figur 35 ovan ses att rulltrappskapaciteten i modellen ökar för minskade värden på parametern **Tau**. Maxvärdena i figuren varierar mellan 102-64 och medelvärdena för ankomstmax varierar mellan 85-58.

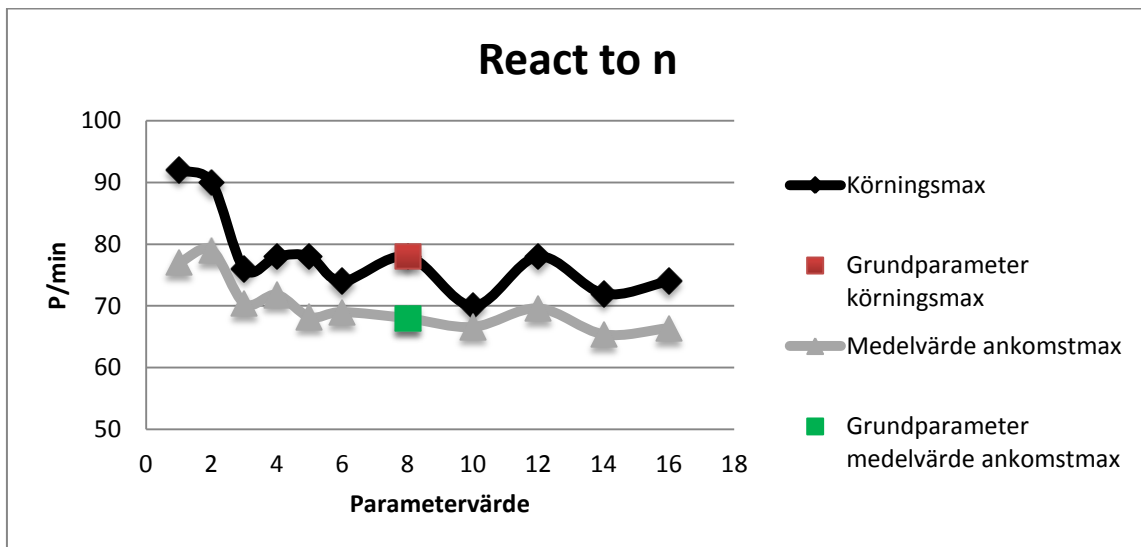
#### 3.4.2 Grid\_size



Figur 36 Effektbedömning vid justering av parametern Grid\_size

I Figur 36 ses att rulltrappsflödet, vid en justering av **grid\_size**, uppvisar en svag trend mot att lägre värden på **grid\_size** ger högre maxflöden i rulltrappan. Maxvärdena i figuren varierar mellan 92-70 och medelvärdena för ankomstmax varierar mellan 80-65.

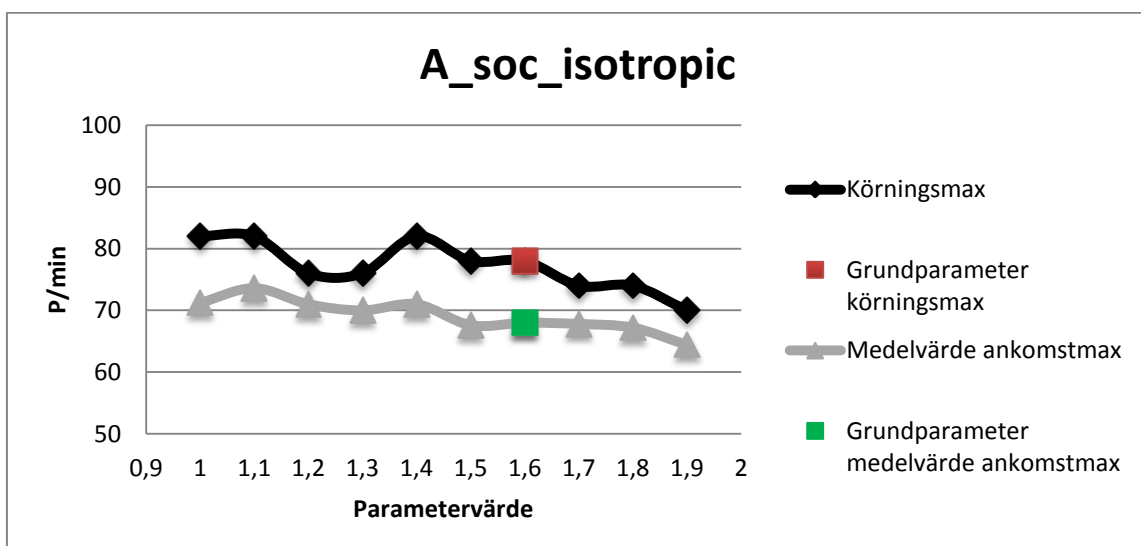
### 3.4.3 React\_to\_n



Figur 37 Effektbedömning vid justering av parametern React\_to\_n

Trenden i Figur 37 tyder på att maxkapaciteten i rulltrappan ökar vid ett lägre värde på parametern **react\_to\_n**. Maxvärdena i figuren varierar mellan 92-70 och medelvärdena för ankomstmax varierar mellan 79-65.

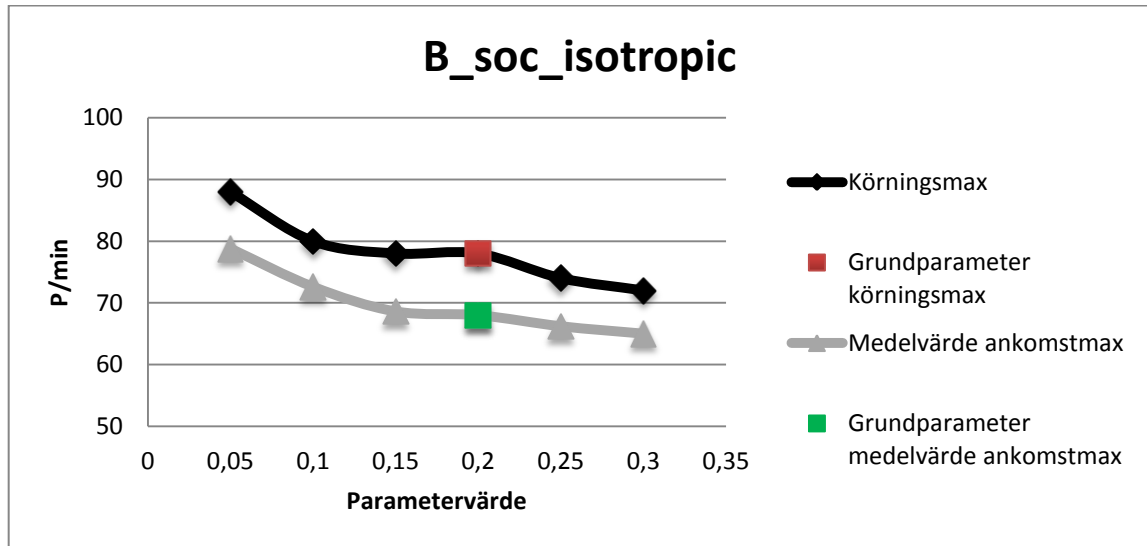
### 3.4.4 A\_soc\_isotropic



Figur 38 Effektbedömning vid justering av parametern A\_soc\_isotropic

I Figur 38 ses att justering av parametern **A\_soc\_isotropic** ger upphov till en svag trend för att lägre parametervärden ger något högre flödesvärden. Maxvärdena i figuren varierar mellan 82-70 och medelvärdena för ankomstmax varierar mellan 74-64.

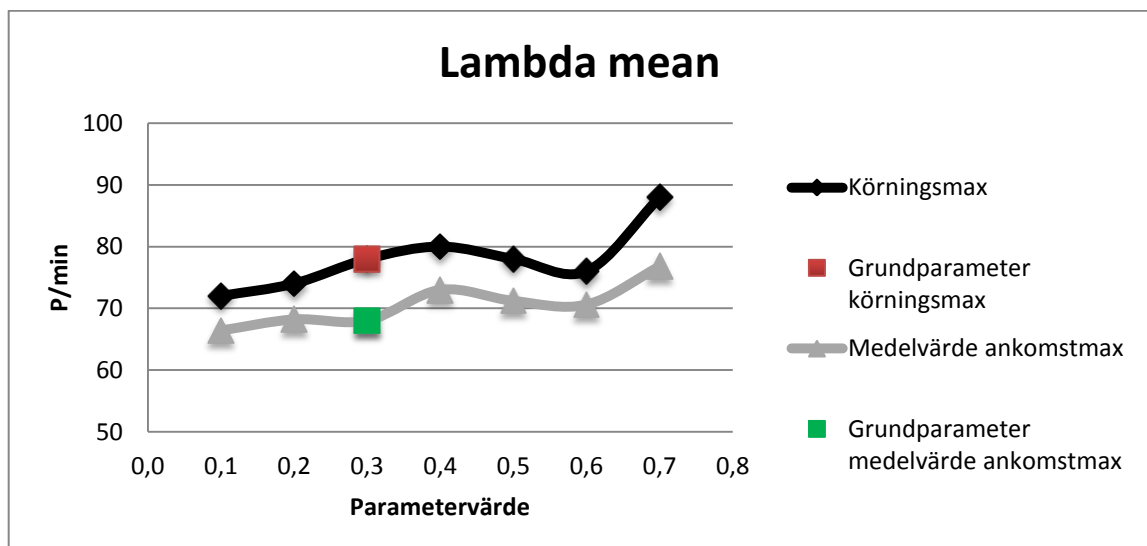
### 3.4.5 B\_soc\_isotropic



Figur 39 Effektbedömning vid justering av parametern **B\_soc\_isotropic**

I Figur 39 ses att rulltrappskapaciteten i modellen har en ökande trend för lägre värden på parametern **B\_soc\_isotropic**. Maxvärdena i figuren varierar mellan 88-72 och medelvärdena för ankomstmax varierar mellan 79-65.

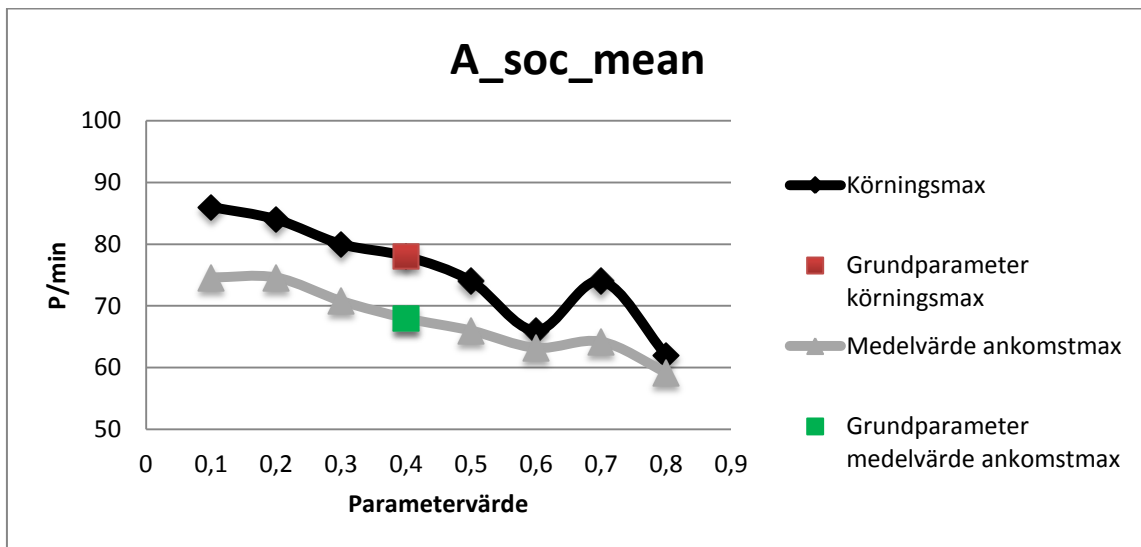
### 3.4.6 Lambda\_mean



Figur 40 Effektbedömning vid justering av parametern **Lambda\_mean**

I Figur 40 ovan ses en trend mot att höjda värden på parametern **lambda\_mean** tenderar att höja maxkapaciteten för rulltrapporna i modellen. Maxvärdena i figuren varierar mellan 88-72 och medelvärdena för ankomstmax varierar mellan 77-66.

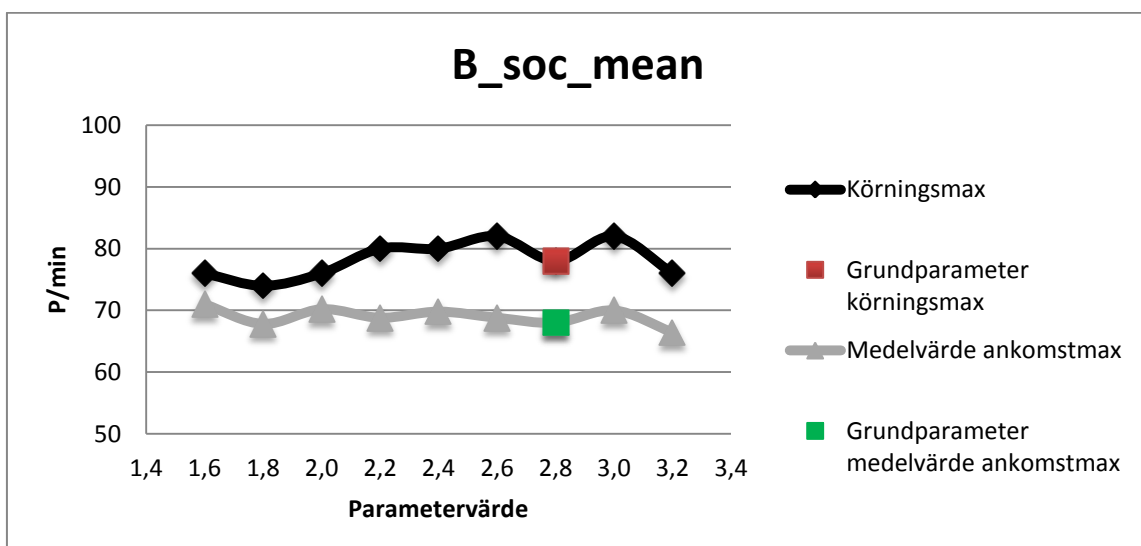
### 3.4.7 A\_soc\_mean



Figur 41 Effektbedömning vid justering av parametern A\_soc\_mean

Figur 41 visar att rulltrappskapaciteten i modellen ökar för lägre värden på **A\_soc\_mean**. Maxvärdena i figuren varierar mellan 74-59 och medelvärdena för ankomstmax varierar mellan 86-62.

### 3.4.8 B\_soc\_mean

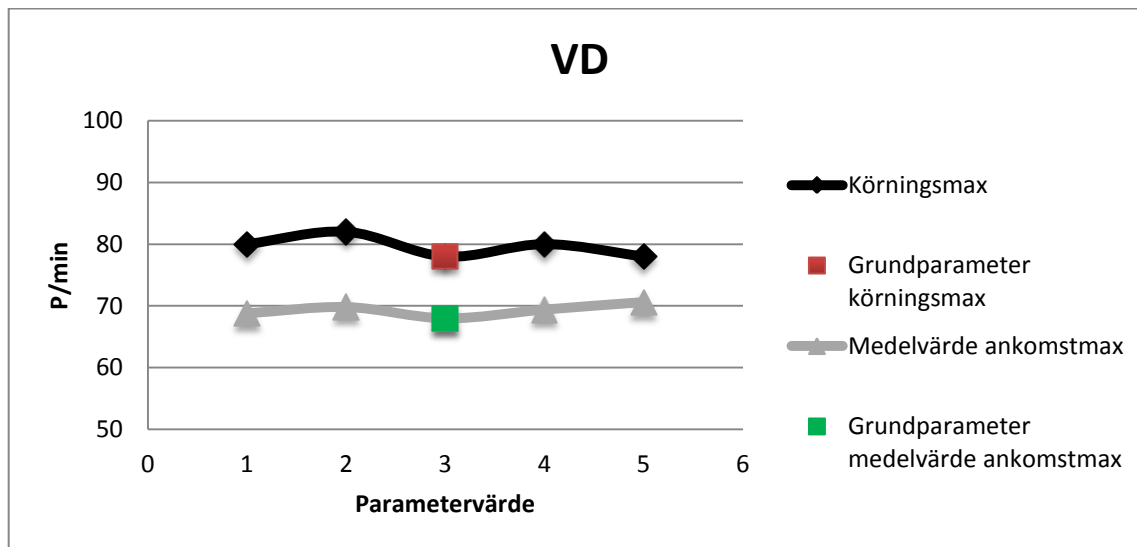


Figur 42 Effektbedömning vid justering av parametern B\_soc\_mean



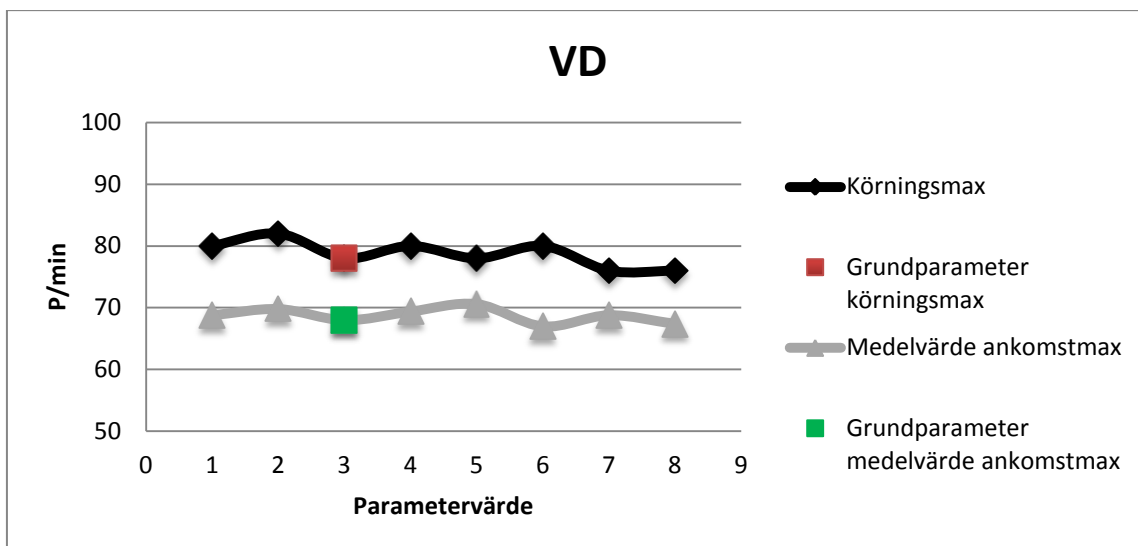
Förändrade värden på parametern **B\_soc\_mean** uppvisar enligt Figur 42 inte någon trend för att varken höja eller sänka rulltrappskapaciteten i modellen. Maxvärdena i figuren varierar mellan 82-74 och medelvärdena för ankomstmax varierar mellan 71-66.

### 3.4.9 VD



Figur 43 Effektbedömning vid justering av parametern VD

I Figur 43 ovan begränsas studien vid parametervärdet 5, då detta är det högsta värde för vilket parametern **VD** kan undersökas med alla andra parametrar på sitt grundvärde. Inom parametervärdesintervallet 1-5 uppvisar justering av **VD** inte någon trend för att varken höja eller sänka maxflödet i rulltrappan. Maxvärdena i figuren varierar mellan 82-78 och medelvärdena för ankomstmax varierar mellan 71-68. För parametervärden över 5 har i Figur 44 nedan parametern **grid\_size**, se avsnitt 3.4.2, ökat motsvarande då detta är ett krav för att högre värden på **VD** skall få effekt i modellen.



Figur 44 VD Effektbedömning vid justering av parametern VD med justerad Grid\_size

I Figur 44 ses att inte heller parametervärden över 5 innebär någon signifikant ökning/sänkning av maxflödet i rulltrappan. Maxvärdena i figuren varierar mellan 82-76 och medelvärdena för ankomstmax varierar mellan 71-67.

### 3.4.10 Sammanställning

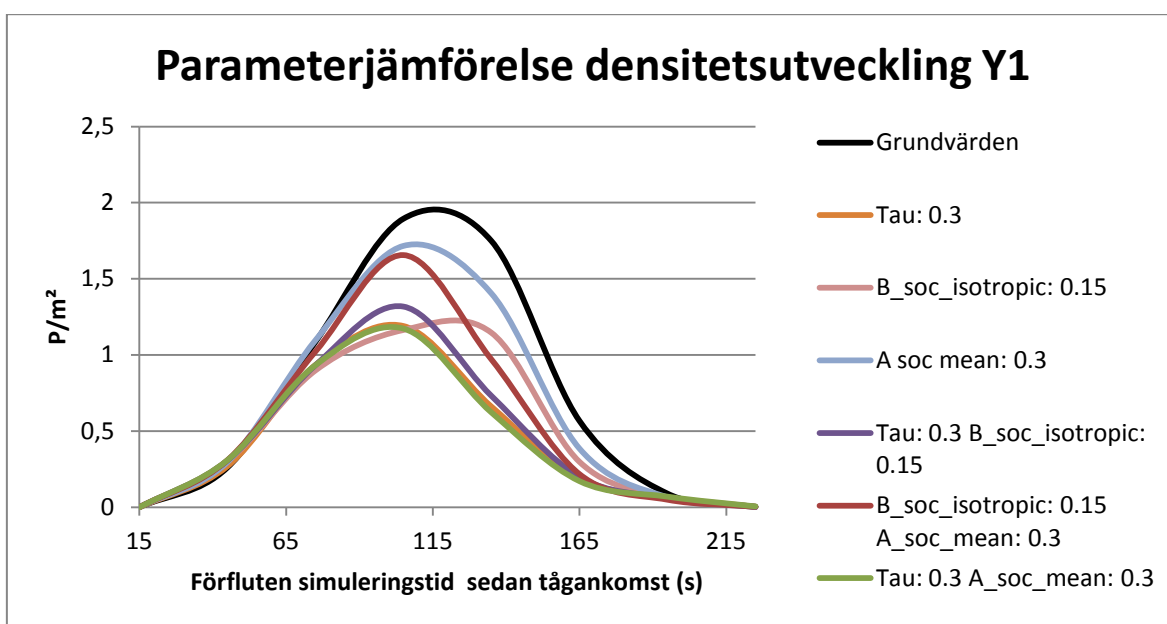
I tabellen nedan presenteras de konfigurationer som med utgångspunkt i tidigare parameterstudier bedömdes som intressanta ur ett kalibreringsperspektiv. Förutom de enparameterjusteringar som utretts grafiskt ovan presenteras i Tabell 12 även en rad parameterkonfigurationer där två eller flera parametrar justerats. I tabellen presenteras körningsmax och medel av ankomstmax för respektive parameterjustering.

Tabell 12 Sammanställning parameterkonfigurationer

Förändrade parametrar	Körningsmax	Medelvärde av ankomstmax
Tau: 0.3	82	74
B_soc_iso: 0.15	78	69
A_soc_mean: 0.3	80	71
Tau: 0.3 B_soc_iso: 0.15	82	76
B_soc:iso: 0.15 A_soc_mean: 0.3	86	76
Tau: 0.3 A_soc_mean: 0.3	82	76

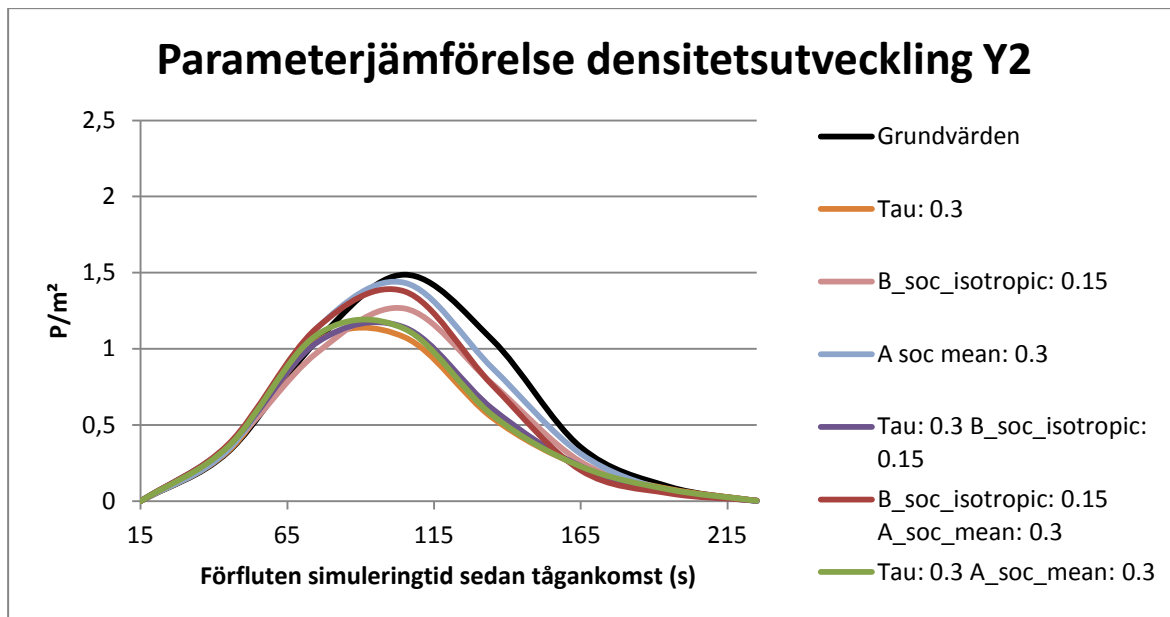
### 3.5 Effektbedömning av parameterjusteringar - Densitet

Samtliga konfigurationer som testas i nedanstående parameterförsök, med avseende på densitet, är parameterkonfigurationer som ger upphov till flöden liknande de som observerades vid fältstudierna, se Tabell 12. Detta för att utreda hur parameterjusteringarna, och därmed även det förändrade rulltrappsflödet, påverkar trängselsituationen nedanför rulltrapporna vad det gäller bland annat maxvärde och varaktighet. Figur 45 visar densitetsutvecklingen för yta 1 (precis nedanför rulltrappan) och Figur 46 visar motsvarande för yta 2 (södra halvan av ytan i förrummet). För att tydliggöra de olika konfigurationernas densitetsutveckling kring maxvärdet för yta 2 presenteras en detalj i Figur 47.

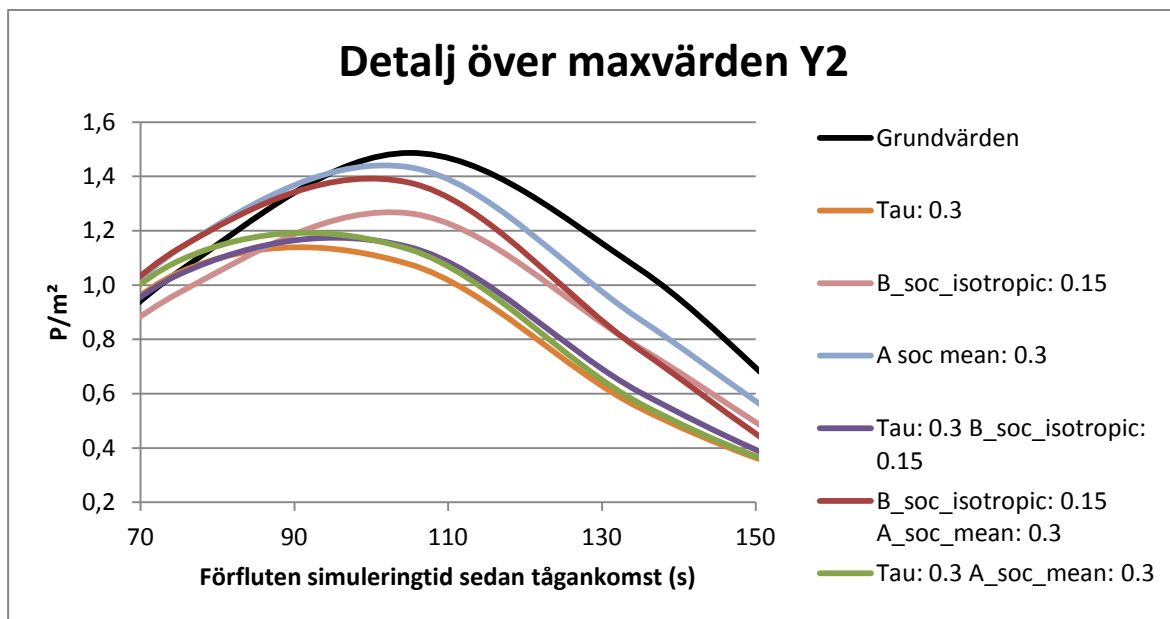


Figur 45 Parameterjämförelse densitetsutveckling Y1

I Figur 45 representeras varje parameterkonfiguration av en kurva som representerar medelvärdet av de 10 tågankomster som förekommer vid varje simuleringskörning. I figuren ses att samtliga konfigurationer som presenterats i Tabell 12 ger upphov till lägre maxvärden och kortare varaktighet än konfigurationen med parametrarnas grundvärden.



Figur 46 Parameterjämförelse densitetsutveckling Y2



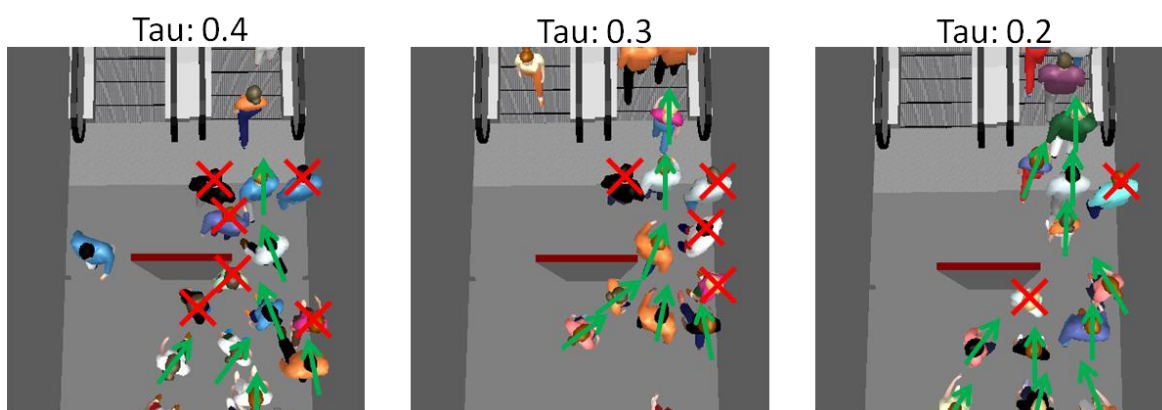
Figur 47 Detalj över maxvärden ur Figur 46

I Figur 46 och Figur 47 ovan ses att densitetsutvecklingen, även för yta 2, uppvisar lägre maxvärden för konfigurationerna med justerade parametrar. I figureerna ses även att vissa av konfigurationerna uppvisar en brantare kurv lutning under perioden då trängseln byggs upp.

### 3.6 Parameterjustering som lösning på problematik vid rulltrappans ingång.

Vid försök med justering av parametern **A\_soc\_mean** sågs inga förbättringar vad det gäller stillastående fotgängare vid sidan av rulltrappans ingång varvid fokus i detta avseende istället lades på parametern **tau**.

Vid justering av **tau** sågs att problemet minskade något i de fall där **tau** justerades mot lägre värden. I bildserien nedan, Figur 48, visas samma simuleringssekund för tre olika värden på **tau**: 0.4, 0.3 och 0.2. Observerbart i bilderna är att antalet fotgängare som blir stående vid sidan av rulltrappans entré är färre för lägre parametervärden. Dock förekommer problematiken precis nedanför rulltrappan för samtliga parametervärden vilket innebär att de stillastående fotgängarna där påverkar densitetsmätningen samt riskerar att även påverka flödet i rulltrappan.



Figur 48 Jämförelse för olika värden på parametern Tau

## 4 Analys

### 4.1 Jämförelse av resultat

#### 4.1.1 Begränsande snitt mellan plattform och rulltrappa

I Tabell 13 nedan jämförs maxkapaciteterna för de tre snitten i förrummet nedanför rulltrappan. I tabellen ses att sambanden för dörrar ger något högre värden än sambanden för flaskhalsar för båda dörrsnitten. I tabellen ses även att det begränsande flödet är 144p/m vid dörren nedanför rulltrapporna i det fall denna bedöms utgående ifrån sambanden för flaskhalsar. Jämför man sedan detta med de beräknade värdena för rulltrappan enligt såväl TRB som EN 115-1, se Tabell 14, ses att det i detta fall är rulltrappans flöde som är det begränsande. Detta resonemang stöds även av LOS-rutnätsstudien, se Figur 33, där det syns att trängseln inte är större i något annat snitt samt att kön lever kvar framför rulltrappan även då resenärsantalet avtar.

Tabell 13 Flödeskapacitet förrumspassager

Dörr plattformsförrum		Dörr nedanför rulltrappa	
enl. Dörrsamband	enl. Flaskhals	enl. Dörrsamband	enl. Flaskhals
310p/m	262p/m	171p/m	144p/m

#### 4.1.2 Jämförelse av rulltrappsmaxkapaciteter

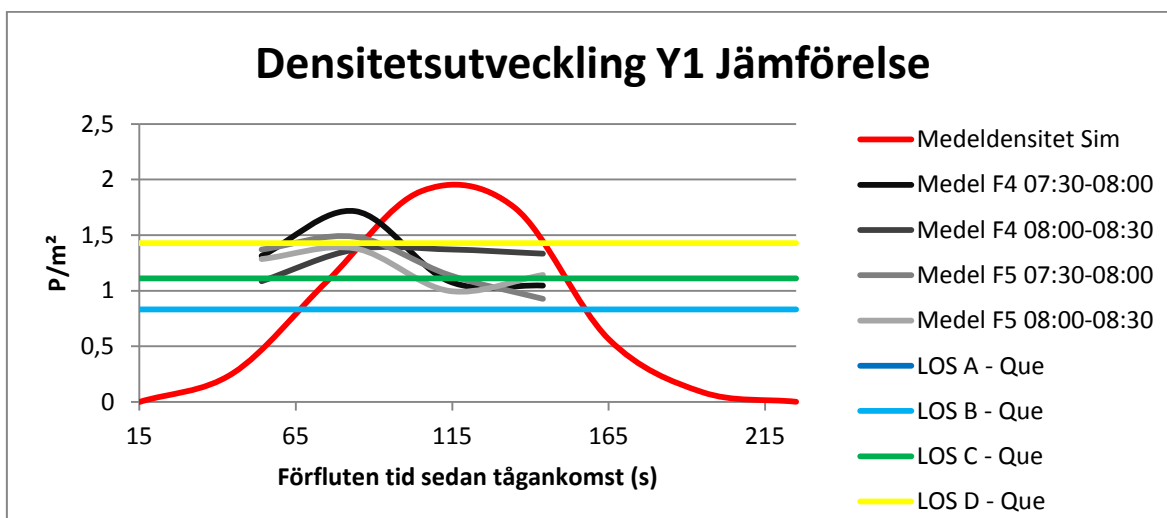
Vid jämförelse av resultaten från de två fältstudierna, där de maximala rulltrappsflödena studerades, se Tabell 9, ses att dessa överensstämmer väl vad det gäller såväl uppmätt maxflöde som medelflöde. I Tabell 14 nedan jämförs sedan rulltrappsmaxkapaciteterna enligt fältstudie, beräkningar och simuleringen.

Tabell 14 Jämförelse maximala rulltrappsflöden

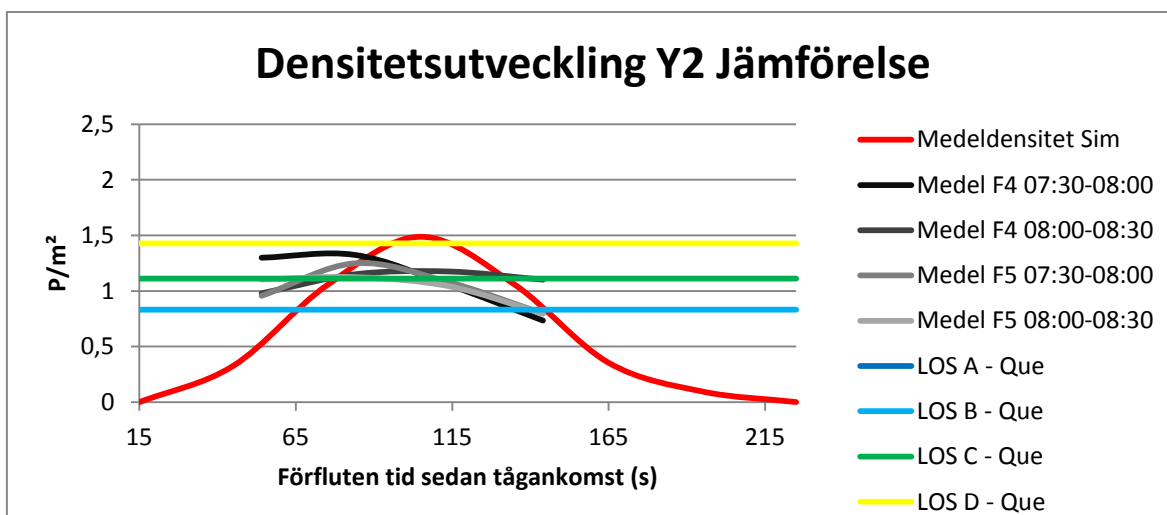
Fältstudie 1 och 2 maxvärden	Beräkning enligt TRB (2003)	Beräkning enligt EN 115-1	Simulering grundv. (körningsmax)
84p/m	90p/m	122p/m	76p/m

Vid jämförelse mellan fältstudieresultaten och maxkapaciteterna i simuleringskörningarna med *Vissim/Viswalks* grundvärden, se Tabell 14, ser man att *Vissim/Viswalk* i grundformen underskattar det maximala rulltrappsflödet med cirka 10% jämfört med vad som observerats vid fältstudierna. Detta trots att scenariot i simuleringskörningarna motsvarar den situation, enligt resandestatistiken, med det högsta antalet avstigande. Vid jämförelsen i Tabell 14 ses även att TRBs samband är det som ligger närmast det uppmätta maxflödet samtidigt som det maximala rulltrappsflödet enligt EN 115-1 överskattar kapaciteten jämfört med fältstudiesituationen.

### 4.1.3 Jämförelse av densitetsutveckling (LOS-nivåer)



Figur 49 Jämförelse av densitetsutveckling för Y1



Figur 50 Jämförelse av densitetsutveckling för Y2

I Figur 49 ovan jämförs densitetsutvecklingen på yta 1 för de fyra fältstudiehalvtimmarna med medeldensitetskurvan för simulering med grundparametrar i *Vissim/Viswalk*. I Figur 50 jämförs motsvarande för yta 2. I figurerna har även de olika LOS-nivåerna för köytor lyfts in för att tydliggöra vilken upplevd trängsel som avses.

Vid jämförelsen för yta 1 i Figur 49 syns att tidpunkten då fältstudiens mätningar startades ligger något tidigare än vad modellens densitetskurva uppvisar för samma nivå. En anledning till detta är att fotgängarna i modellen fördelas jämnt mellan tågets olika dörrar medan koncentrationen av avstigande vid fältstudien troligtvis är högre på de dörrar som stannar i närheten av uppgångarna. Detta då en stor del av resenärerna kan antas vara vana pendlare och att dessa därför redan när de stiger på tåget väljer vagn efter den position denna kommer att få på slutdestinationen. Detta medför att även om tåget i modellen stannar på samma ställe som vid fältstudierna kan koncentrationen av resenärer på vissa

ytor skilja sig. Att en stor del av fotgängarna i och med detta kommer fram till uppgången snabbare i fältstudien än vid simuleringen, innebär att trängseln uppstår snabbare vid fältstudiesituationen.

I Figur 49 ses även att högsta nivån för fältstudieresultaten på yta 1 är lägre än den högsta nivån under simuleringen. Detta samtidigt som varaktigheten för toppen är kortare vid fältstudierna än vid simuleringen. I jämförelsen för yta 2 i Figur 50 ses att trängseln även här visar något högre maxnivåer vid simuleringen än vid fältstudierna även om skillnaden här är betydligt mindre än för yta 1. Vid jämförelsen för yta 2 ses att varaktigheten för vissa av fältstudieresultaten liknar den för simuleringen samt att varaktigheten för vissa av fältstudieresultaten även här skiljer sig något mot simuleringen.

Att varaktigheten vid jämförelserna i Figur 49 och Figur 50 för trängselsituationen nedanför rulltrapporna vid fältstudierna varierar och skiljer sig något mot modellen, beror på att passagerarantalet varierat mellan de olika tågankomsterna vid fältstudierna och att de därför även skiljer sig mot antalet avstigande för tågankomsten i modellen. Den modellerade tågankomsten har, som berörs under avsnitt 2.4.3, ett resenärsantal motsvarande den ankomst som under den studerade timmen hade störst antal avstigande enligt Skånetrafikens statistik.

Ytterligare en bidragande faktor till att resultaten skiljer sig vad det gäller tidpunkt då trängseln först inträffar och varaktighet för själva kösituationen är att hastighetspridningen mellan fotgängarna i verkligheten troligtvis är större än mellan fotgängarna i modellen. En större hastighetspridning innebär att tiden mellan det att första och sista fotgängaren anländer förlängs, vilket i sin tur innebär att trängseln blir lägre i området nedanför rulltrapporna. Att rulltrapporna i modellen med grundparametrar även underskattar flödet enligt tidigare jämförelse riskerar även det att bidra till en högre trängsel på ytan nedanför rulltrapporna.

Vid jämförelse mellan densitetsnivåerna för de olika tidsperioderna under fältstudierna ses att maxnivåerna för den andra halvtimmen (08:00-08:30) är lägre än för den första. Detta trots att antalet resenärer är i samma storleksordning tyder på ett skiljande beteende hos resenärerna, exempelvis en lägre stressnivå.

#### **4.1.4 Skillnader i köbeteende**

En betydlig skillnad mellan trängselsituationen som observerades under fältstudierna och trängselsituationen i modellen är den form som köbildningen tar. Nedan i Figur 51 visas en situation från fältstudie 6 där en kö har uppstått som sträcker sig ut på plattformsytan utanför förrummet. I Figur 52 visas som jämförelse en situation ifrån simuleringsmodellen där ungefär lika många fotgängare ingår i kön men där kön trots detta inte går utanför förrummet.





Figur 51 Exempel köbildning fältstudie 6



Figur 52 Exempel köbildning Vissim/Viswalk

En intressant notering vid denna jämförelse är att kön vid fältstudien har en långsmal form och att fotgängarna i den situationen verkar föredra att redan ifrån början placera sig två och två i bredd. Kön vid den simulerade situationen har istället en radiell form där de väntande fotgängarna utgör ringformade lager. Denna skillnad i köform ger upphov till olika spridning av trängseln då fotgängarna i fältstudiesituationen, genom att bilda en kö som endast är två personer bred, sprider ut sig på fler ytor. Till exempel påverkar situationen vid fältstudien ytan utanför förrummet i större grad men håller samtidigt ytan i

förrummet fri för det motriktade fotgängarflödet. Situationen i modellen innebär istället att hela ytan i förrummet påverkas men att ytan ute på plattformen lämnas opåverkad. Vid LOS-rutnätsstudien, Figur 33 under avsnitt 3.3, ses att köbildningen i simuleringen till en början påverkar ytan på plattformen och att köbildningen sedan packas ihop och då även börjar påverka ytan för det motriktade fotgängarflödet. Anledningen till att köns form förändras är att de simulerade fotgängare strävar efter att optimera sin egen situation och därför vill minimera avståndet till rulltrappan. Då situationen i fältstudien istället präglas av en rad sociala och psykologiska faktorer uppstår denna skillnad i köform.

#### 4.1.5 Analys av parameterkonfigurationer - Rulltrappsflöden

I figurerna för respektive parameters effekt på rulltrappskapaciteten, som presenterats under avsnitt 3.4 ovan, ses dels en kurva som representerar körningsmax och dels en kurva som representerar medelvärdet av de olika ankomsternas maxvärden.

##### **Tau:**

Ett lägre värde på parametern **Tau** innebär att trögheten minskar i reaktionen då det åter blir fri väg efter en situation där fotgängaren tvingats bromsa in och att fotgängarna därför snabbare åter är uppe i sin efterfrågade hastighet. För kapaciteten i rulltrappan, se Figur 35, innebär den kortare reaktionstiden, det vill säga lägre parametervärden på **Tau**, en högre rulltrappskapacitet då fotgängarna har lättare för att hinna stiga på rulltrappan nära efter föregående fotgängare. Vid kösituationen nedanför rulltrappan innebär detta att varaktigheten för kön minskar då tiden mellan det att en situation löses tills dess att hela kön åter rör på sig kortas.

##### **Gridsize:**

En justering av parametern **grid\_size** innebär en förändring av storleken på det område för vilket en simulerad fotgängare influeras. Ett större influensområde innebär i sin tur att den aktuella fotgängaren har möjlighet att påverkas av ett större antal omgivande fotgängare. Lägre värden på parametern **grid\_size** tenderar enligt Figur 36 att innebära högre rulltrappskapaciteter. Detta beror på att fotgängarna när de endast influeras av ett litet område i det här fallet i större utsträckning påverkas i färdriktningen än i sidled varvid störningarna på flödet minskar. Värdena i närheten av grundvärdet uppvisar dock en plåtå vilket gör det något osäkert att ändra denna parameter i kalibreringssyfte.

##### **React to n:**

Då parametern **react\_to\_n** anger antalet fotgängare som den aktuella fotgängaren skall ta hänsyn till innebär ett högre parametervärde att den simulerade fotgängaren tar hänsyn till fler av de omgivande fotgängarna. Som visas i Figur 37 tenderar lägre parametervärden att ge högre rulltrappskapaciteter. Denna tendens har sin grund i att fotgängarna vid påstigning av rulltrappan och strax där före egentligen endast påverkas av ett fåtal personer. Att den simulerade fotgängaren då tar hänsyn till ett ”onödigt” stort flöde innebär troligtvis störningar som inverkar negativt på rulltrappans kapacitet. Trots detta lämpar sig inte justering av denna parameter för kalibrering av modeller vad det gäller maxkapacitet i rulltrappor då variationerna i serien är stora vilket gör justering av parametern osäker.

### **A soc isotropic:**

En sänkning av parametern **A\_soc\_isotropic** innebär att den kraft som beror på avståndet mellan fotgängarna minskar och att fotgängarna i modellen därigenom i mindre grad påverkas av omgivande fotgängare. Detta leder till att fotgängarna väljer att stå och gå närmare varandra, något som gynnar fyllnadsgraden i rulltrappan och därmed även kapaciteten. I Figur 38 syns att detta ger upphov till en svag trend mot att lägre värden på parametern **A\_soc\_isotropic** ger upphov till högre kapacitet i rulltrappan. Dock uppvisar förändring av parametern stor variation vad det gäller maxkapaciteten vilket gör att parametern inte är intressant ur ett kalibreringssyfte för just flöden i och omkring rulltrappor.

### **B soc isotropic:**

En sänkning av parametervärdet för **B\_soc\_isotropic** innebär att ytan varje fotgängare tar i anspråk minskar. I modellen bör dock enligt PTV (2012) värdet på parametern **B\_soc\_isotropic** ungefär motsvara fotgängarnas genomsnittliga kroppsradie. I Figur 39 ses en tydlig trend mot att lägre parametervärden ger upphov till högre rulltrappskapacitet. Detta genom att mindre avstånd fotgängarna emellan ger upphov till en högre fyllnadsgrad och därmed även en högre kapacitet. Intressant att se i parameterjämförelsen är även den påverkan som ”storleken” på de simulerade fotgängarna har på rulltrappskapaciteten i modellen, något som kan vara intressant vid till exempel jämförelser mellan situationer i olika delar av världen. Att parametervärdet bör motsvara fotgängarnas genomsnittliga kroppsradie innebär att stora justeringar på denna parameter är orimliga och att därför endast små justeringar bör göras förutom i specialfall.

### **Lambda mean:**

En höjning av parametern **lambda\_mean** innebär att de simulerade fotgängarna influeras allt mindre av sociala krafter bakifrån. Detta leder till mindre störningar i sidled från omgivande fotgängare som befinner sig bakom den aktuella fotgängaren. Dessa sidledsstörningar tenderar att påverka fotgängarnas frammåtående rörelser mer negativt än vad de eventuella påtryckade krafterna påverkar rörelsen positivt. I och med detta kan en trend mot att högre värden på **lambda\_mean** ger upphov till högre rulltrappskapaciteter observeras i Figur 40. Dock är trenden något ostabil för de närmast omkringliggande värdena vilket gör denna parameter något osäker vid kalibrering av just maxkapaciteter för rulltrappor.

### **A soc mean:**

Då en nedjustering av parametern **A\_soc\_mean** innebär en försvagning av den kraft mellan fotgängare som beror på den relativa hastigheten dem emellan blir det lättare för fotgängare att bryta in i passerande flöden. Detta ger upphov till bättre flyt i köbildningen och gynnar därmed kapaciteten i rulltrappan genom att det blir en jämnare ström fotgängare som kan stiga på. Intressant i Figur 41 är även att differensen mellan det totalt maximala värdet och värdet för genomsnittet av ankomsternas maxvärden för detta slumtial skiljer sig kraftigt mellan parametervärdet 0.6 och 0.7. Detta tyder på att det vid parametervärdet 0,7 för några ankomster under körningen uppstår en situation med

betydligt högre flöde än för andra ankomster, samtidigt som det för parametervärdet 0.6 istället uppnås väldigt lika maxflöden för de olika ankomsterna under körningen.

#### **B soc mean:**

Då parametern **B\_soc\_mean** representerar avståndet inom vilket en simulerad fotgängare påverkas av sociala krafter innebär ett ökat avstånd att fotgängaren kan påverkas av ett större antal omgivande fotgängare. Förändring av denna parameter ger i Figur 42 inte upphov till varken någon höjning eller sänkning av rulltrappskapaciteten. Att denna parameter är beroende av att parametern **grid\_size** måste vara lika stor eller större påverkar inte resultatet i Figur 42 då **grid\_size** som grundvärde har 5.

#### **VD:**

Då parametern **VD** styr i vilken grad en simulerad fotgängare tar hänsyn till omgivande fotgängares hastighet innebär ett höjt värde på **VD** att fotgängarna i modellen tidigare väjer för andra fotgängare med betydligt högre, lägre eller motriktad hastighet. Vid justering av parametern ses i Figur 44 inte någon trend för att varken höja eller sänka maxflödet i rulltrappan. Vid bedömning av värden över 5 bör beaktas att variationerna kan bero på konflikten mellan parametern **VDs** ökande trend och parametern **grid\_sizes** nedåtgående trend för ökande parametervärden.

De parametrar som utgående ifrån effektbedömningen anses vara intressanta ur ett kalibreringsperspektiv för kapaciteten i rulltrappor är parametrarna **Tau**, avsnitt 3.4.1, **B\_soc\_isotropic**, avsnitt 3.4.5, och **A\_soc\_mean**, avsnitt 3.4.8. Dessa tre kombineras även för att utreda om kombinationer kan användas för finjustering eller inte. I Tabell 12 sammanställs dessa sex föreslagna parameterkonfigurationer och där presenteras även det maxvärde och medelvärde för ankomstmax respektive parameterkonfiguration ger upphov till i modellen.

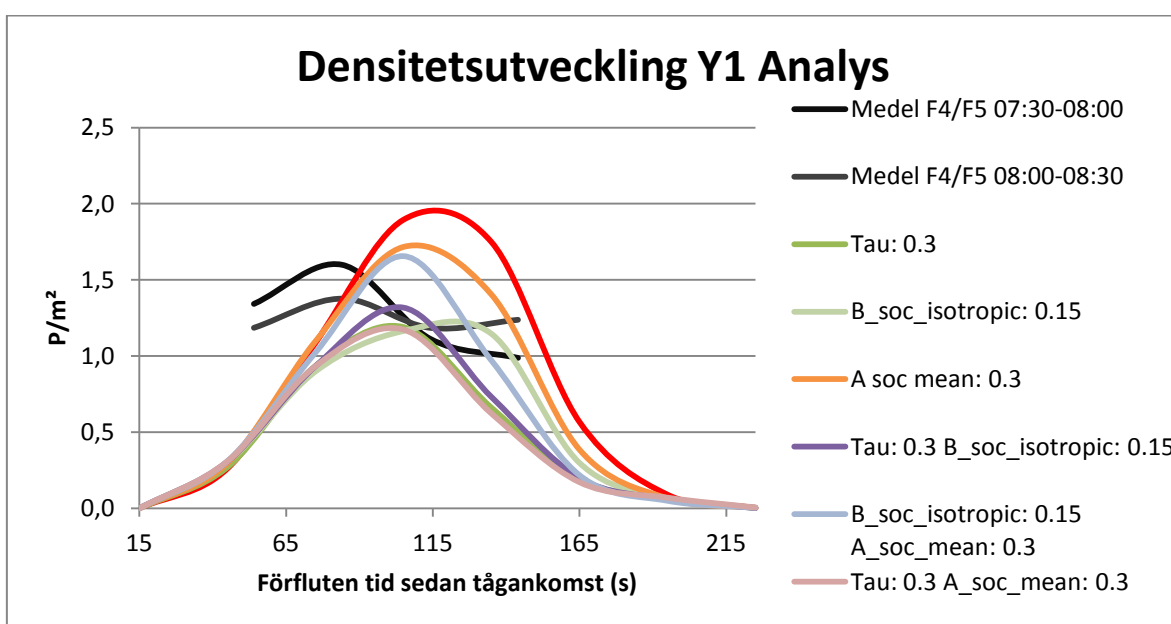
#### **4.1.6 Analys av parameterkonfigurationer – Densitet**

I Figur 45 ovan ses att samtliga parameterkonfigurationer som tidigare presenterats ger upphov till en högre rulltrappskapacitet även ger upphov till såväl lägre densitetsnivåer som kortare varaktigheter. Detta då en högre rulltrappskapacitet medför att tiden det tar för resenärerna att lämna plattformen minskar och att färre resenärer därför samlas i förrummet nedanför rulltrappan. Samtliga parameterkonfigurationer visar samma mönster för tidsperioden då trängseln byggs upp men avviker sedan för att uppnå olika maxvärden. Den parameterkonfiguration av de som studerats som innebär minst påverkan är den där parametern **A\_soc\_mean** ges värdet 0.3. I Figur 45 ses även att kurvorna för samtliga parameterkonfigurationer förutom **B\_soc\_isotropic** har sin topp något tidigare än konfigurationen med grundinställningar.

I studien för yta 2 i Figur 46 ses att flera av parameterkonfigurationerna som testats uppvisar en brantare lutning än konfigurationen med grundinställningar i det inledande skedet. En brantare lutning i det inledande skedet innebär att maxvärdet uppnås tidigare men påverkar i övrigt inte den upplevda trängseln nedanför rulltrappan. Samtliga konfigurationer med justerade parametrar uppvisar även här lägre maxvärden än

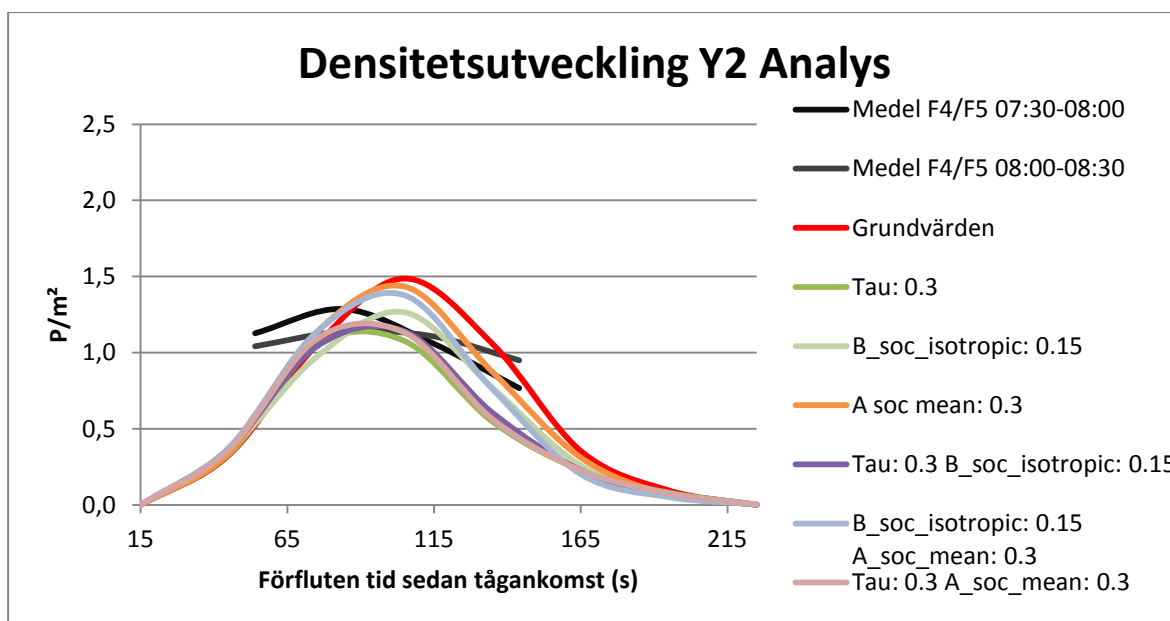
konfigurationen med grundinställningar, se detalj i Figur 47. Vid jämförelse mellan de olika kurvornas placering i de två figurerna, med avseende på densitetsnivå, ses att de olika konfigurationerna med justerade parametrar placerar sig i liknande ordning i studierna för de två ytorna, vilket innebär att parameterjusteringen påverkar ytorna på liknande sätt.

Om man sedan jämför densitetsutvecklingen vid fältstudierna med resultaten av de olika parameterjusteringarna, se Figur 53 för yta 1 och Figur 54 för yta 2, ser man att flera av konfigurationerna uppnår maxvärden likt de som observerats vid fältstudien. I figurerna presenteras densitetsutvecklingen dels ifrån modellen vid körning med parametrarnas grundvärden, dels ifrån modellen vid körning med de justerade parametervärdena och slutligen även densitetsutvecklingen som observerades vid fältstudierna. Kurvan som representerar densitetsutvecklingen vid fältstudierna är ett medelvärde av samtliga observerade tågankomster under såväl fältstudie 4 som fältstudie 5 för respektive yta.

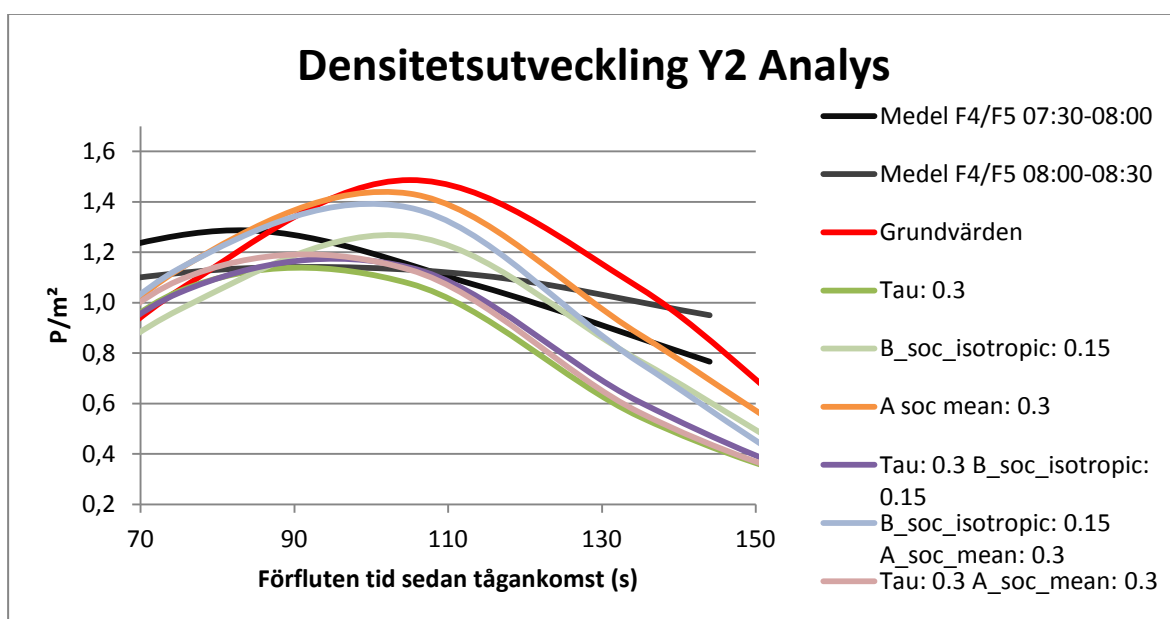


Figur 53 Densitetsutveckling Y1 analys

I Figur 53 ses att ett ökat rulltrappsflöde till följd av justeringen av kalibreringsparametrar ger upphov till en densitetsutveckling i modellen som i högre grad efterliknar utvecklingen vid fältstudien. Trots att flera av konfigurationerna enligt Tabell 12 ger upphov till liknande flödesvärden ses dock i Figur 54 att de trots detta ger upphov till olika densitetsutvecklingar. Detta medför att valet av parameterkonfiguration bör göras med avseende på såväl kapacitetsvärden som densitetsutveckling. Dock ses i figuren att ingen av konfigurationerna med justerade parametervärden uppvisar trängsel lika tidigt som observerats vid fältstudierna. Detta innebär att skillnaden beror på andra faktorer än rulltrappsflödet och därmed eventuellt kräver förändring av hastighetsfördelningar eller andra delar av modellen. Det viktigaste för fotgängarnas upplevelse av trängseln är dess maxnivå samt hur länge trängseln varar, se avsnitt 2.1.5. I denna studie är det därför av mindre betydelse att ”puckeln” för fältstudiedatan uppstår tidigare än vid simuleringen, så länge de uppvisar liknande form och maximalt densitetsvärde.



Figur 54 Densitetsutveckling Y2 analys



Figur 55 Detalj över maxvärden ur Figur 54

För analysen i Figur 54, med detalj i Figur 55, ses att maxnivåerna även här för flera av de justerade parameterkonfigurationerna, i större grad än grundparameterkonfigurationen, efterliknar fältstudiesituationens densitetsutveckling. Likt resonemanget för yta 1 och genom den absoluta kopplingen ytorna emellan beror den förskjutna starten även här på andra faktorer än kapaciteten i rulltrappan.

## 5 Slutsatser

### 5.1 Bedömning av hypoteser

**H1.** *Simulerade värden i Vissim/Viswalk med grundparameterinställningar underskattar kapaciteten i rulltrappor vid överbelastning.*

Hypotesen bedöms vara bekräftad då resultaten i Tabell 14 visar på att högre maxflöden i rulltrappan har observerats vid fältstudietillfällena än vid någon av de ankomster som simulerats under de 15 körningarna med grundparametrar. Vid användning av grundparameterkonfigurationen underskattas, för den aktuella situationen, det maximala rulltrappsflödet med cirka 10% i *Vissim/Viswalk* jämfört med vad som observerats vid fältstudierna. Det faktum att simuleringsmodellen underskattar den maximala kapaciteten hos rulltrapporna vid överbelastning innebär även att modellen riskerar att överskatta densitetsnivån nedanför rulltrappan och därigenom även återge en för hög Level of Service nivå för de aktuella ytorna.

**H2.** *Befintliga beräkningssamband överskattar kapaciteten i rulltrappor vid överbelastning.*

Med utgångspunkt i Tabell 14 och med stöd i avsnitt 2.1.6 bedöms hypotes H2 vara bekräftad då de maxkapaciteter som observerats vid fältstudierna understiger samtliga kapacitetsvärden som angivits och beräknats enligt befintliga beräkningssamband. Vad det gäller rulltrappskapaciteten överskattar sambandet enligt TRB kapaciteten med cirka 7% och kan därmed bekräftas uppfylla sin roll som ett generellt riktvärde vid dimensionering av byggnader och fotgängarfaciliteter. Rulltrappskapaciteten enligt EN 115-1 överskattar dock kapaciteten jämfört med vad som observerats vid fältstudierna med hela 45%. Denna överskattning riskerar att vid dimensionering av fotgängarfaciliteter innebära en underdimensionering av till exempel antalet rulltrappor samt en underskattning av densitetsnivåerna på ytan nedanför rulltrappan.

**H3.a.** *Vissim/Viswalk överskattar vid simulering med grundparametrar densitetsnivån på ytan nedanför rulltrappan, det vill säga att fotgängarna placerar sig tätare i modellen än i verkligheten.*

Denna hypotes kan med stöd i Figur 50, och delvis även Figur 49, bekräftas då densitetsutvecklingskurvan för simuleringskörningarna med grundparametrarna visar på högre densitetsvärden än kurvorna för fältstudierna. För studien på yta 1, Figur 49, bör beaktas att det vid simuleringskörningen med grundparametrar vid några tillfällen förekommit problematik med stillastående personer vid sidan av rulltrappans ingång. Då en person blir stillastående på en yta som vid fältstudierna inte används av resenärer påverkar detta densitetsnivån mot högre värden. Då denna problematik endast förekommer på yta 1 baseras istället bedömningen av hypotesen på situationen på yta 2. För situationen på yta 2 ses att simuleringen ger upphov till högre densitetsnivåer vilket bekräftar hypotesen. För yta 2 innebär överskattningen även att LOS-D uppnås vid maxvärdet enligt simuleringen trots att det vid fältstudietillfället som mest uppnås LOS-C.

**H3.b.** *Köformer i Vissim/Viswalk består i större grad än vid fältstudierna av endast en person i bredd.*

Denna hypotes kan motbevisas för köformeringen nedanför rulltrapporna med stöd i såväl Figur 33 som Figur 51 och Figur 52. I modellen bildas i motsats till hypotesen en kö med utpräglad radiell form medan köformationen som observerats vid fältstudierna hade en mer långsmal form med till största delen två personers bredd. Denna skillnad beror troligtvis på att de simulerade fotgängarna, i större utsträckning än de i verkligheten, optimerar sin egen resväg och därför inte visar samma ”artighet”. Modellen identifierar trots detta samma problemområden som observerats vid fältstudierna varpå den uppfyller sitt huvudsakliga syfte.

Vid simuleringen observeras att köformationen vid på- och avstigningsdörrarna har en utpräglad form med endast en person i bredd. Dock ingår inte denna del av modellen i studien varför hypotesen i detta examensarbete måste förkastas.

**H4.** *Överensstämmelse mellan kapacitetsvärden och densitetsnivåer i Vissim/Viswalk och observerade fältdata kan nås genom justering av kalibreringsparametrar i programmet.*

Med utgångspunkt i Tabell 12 kan denna hypotes bekräftas och det fastslås att rulltrappsflöden i Vissim/Viswalk kan justeras med hjälp av kalibreringsparametrar så att de överensstämmer med de rulltrappsflödesnivåer som observerats vid fältstudierna.

För anpassning till maxnivån för situationen vid fältstudierna lämpar sig enligt Tabell 12 och Figur 53 en parameterkonfiguration där **A\_soc\_mean** har justerats till ett värde på 0.3 och att parametern **B\_soc\_isotropic** eventuellt även justerats till 0.15. Med hänsyn till situationen vid ingången till rulltrappan kan även en konfiguration där **tau** justerats till 0.3 vara aktuell. En sådan konfiguration uppnår dock inte den maximala densitetsnivån som observerats under fältstudiens första halvtimme utan lämpar sig bättre till att beskriva densitetsutvecklingen under fältstudiernas andra halvtimme.

**H5.** *Fotgängare accepterar högre densitetsnivåer, och ställer sig därmed tätare, ju närmare rulltrappans ingång de befinner sig.*

Denna hypotes bekräftas då det vid fältstudierna observerats att densiteten är högre på ytan närmast rulltrappan än på ytan mellan de två dörrpartierna i förrummet. Detta samtidigt som att densiteten är betydligt högre i rulltrappans förrum än ute på perrongen där personerna kan välja sin placering firare. Grundat på dessa observationer kan därför slutsatsen dras att fotgängare i allmänhet accepterar en högre densitetsnivå nedanför rulltrappor än ute på perrongytan, något som också stödjer användandet av skiftande LOS-serier för olika typer av områden.

### **Slutlig kommentar**

Ovanstående resonemang och den i arbetet ingående parameterstudien grundar sig på en jämförelse mellan fältstudier och en simuleringsmodell över Malmö C. Detta medför att



slutsatser endast kan dras för Malmö C men att dessa slutsatser och parametrarnas påverkan med stor sannolikhet även går att tillämpa för liknande situationer och modeller.

## 5.2 Förslag till fortsatta studier

I anslutning till de delar som i detta arbete studerats i modellen skulle det även vara intressant att i kommande arbeten studera fotgängarnas beteenden vid tågens dörrar i samband med på- och avstigning. En studie över hur väl situationen beskrivs och kan kalibreras i Vissim/Viswalk skulle ge viktiga indata för framtida beskrivningar av perrongförhållanden vid tågstationer. Exempel på faktorer av stor vikt för beskrivning av till exempel LOS-nivåer på perrongen är köbildningens utformning samt hur fotgängarna på perrongytan reagerar sekunderna innan tåget stannat. Det vore i samband med detta mycket intressant att undersöka olika sätt att förändra modellen så att fotgängarna i modellen reagerar innan det att tåget stannat helt.



Figur 56 Exempel ifrån modellen där fotgängare möts vid på-/avstigning

För att möjliggöra en validering av fotgängarsimuleringen i Vissim i sin helhet hade det i ett fortsatt arbete varit mycket intressant att utveckla och utvidga modellen över Malmö C som använts i detta arbete. Att till exempel simulera hela stationen inklusive bytesmöjligheter till bussar och andra färdsätt skulle kunna användas för att undersöka lämpliga bytestider och för att validera Vissims fotgängarbeteende. Att dessutom inkludera en mer komplex innemiljö med såväl biljettautomater som butiker skulle ge stor möjlighet att testa och validera fotgängarsimulering med Vissim i dess fulla potential. Att dessutom inkludera studier av fler liknande stationer skulle möjliggöra för en fullständig validering och därmed även en större säkerhet angående resultaten som presenterats i detta arbete.

Intressant vore även att i kommande arbeten vidareutveckla LOS-studien till att även inkludera de nya verktyg som PTV nu arbetar med inför kommande uppdateringar av *Vissim/Viswalk*. De nya verktygen kommer ge användaren möjlighet att utvärdera och illustrera nivåerna i såväl 2D- som 3D-miljön på en rad olika sätt. För 2D-miljön kommer ett sätt att utvärdera LOS-nivåerna lika dynamiskt som mikrosimuleringen är, att introduceras. Detta genom att möjliggöra för användaren att använda en serie av gränsvåer där modellen själv avgör vilka LOS-gränser som är relevanta, beroende på vilken användning den avsedda ytan har just då. Detta kan vara mycket användbart i de situationer då en och samma yta under vissa situationer/tidsperioder används som köyta och under andra perioder används som gångyta. För både 2D och 3D-miljön kommer även den LOS-nivå som en simulerad fotgängare upplever i realtid att kunna illustreras med

hjälp av färgen på fotgängarens tröja, Se exempel på detta i Figur 57 nedan, där ytan utvärderas enligt ovan och där tröjfärgen representerar fotgängarens upplevda LOS-nivå (Kretz, 2011).



**Figur 57** Exempel på kommande LOS-utvärderingsmetoder (Kretz, 2011)

## 6 Referenser

- Améen, M., 2013. *Resandestatistik från Skånetrafiken* [Intervju] (28 02 2013).
- Andersson, H., 2004. *Mikrosimulering - Kurs KTH, februari*. [Online] <http://www.infra.kth.se/courses/1H1402/Litteratur/Mikrosimulering.pdf> [Använd 31 Januari 2013].
- Daamen, W. & Hoogendoorn, S. P., 2012. Emergency Door Capacity: Influence of Door Width, Population Composition and Stress Level. *Fire Technology*, 48(1), pp. 55-71.
- Fujijama, T. & Tyler, N., 2010. Predicting the walking speed of pedestrians on stairs. *Transportation Planning and Technology*, 33:2, pp. 178-202.
- Gunnefur, O., 2013. *Resenärskräkningar och kameraövervakning på Malmö C* [Intervju] (27 02 2013).
- Helbing, D. & Johansson, A., 2009. Pedestrian, Crowd and Evacuation Dynamics. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, vol 16, pp. 6476-6495.
- Helbing, D. & Molnár, P., 1995. Social force model for pedestrian dynamics. *Physical review E*, pp. 4282-4286.
- Hoogendoorn, S., Bovy, P. & Daamen, W., 2002. Mikrosopic Pedestrian Wayfinding and Dynamics Modelling. *Schreckenberg and Sharma*, pp. 123-154.
- Jernhusen, 2013. *Malmö Centralstation*. [Online] <http://www.jernhusen.se/Resenar/Malmo-Centralstation/> [Använd 5 Februari 2013].
- Jianhong, Y. & Xiaohong, C., 2011. Optimal Measurement Interval for. *Journal of Transportation Engineering*, pp. 934-943.
- Johansson, A., 2008. *Data-Driven Modeling of Pedestrian Crowds*. Dresden: Faculty of Traffic Sciences, Technische Universität Dresden.
- Johansson, F., Petersson, A. & Tapani, A., 2012. *Performance evaluation of railway platform design using*. Santiago, Chile, Linköpings universitet, Tekniska högskolan.
- Kretz, T., 2011. A level of service scheme for microscopic simulation, of pedestrians that integrates queuing, uni-and multi-directional flow situations.. *European Transport Research Review*, 3(4), pp. 211-220.
- Kretz, T., 2013. *Problems during Viswalk simulation* [Intervju] (07 Maj 2013).
- Kretz, T. o.a., 2011. Quickest paths in simulations of pedestrians. *Advances in complex systems*, vol 14 no.5, pp. 733-759.

Kretz, T., Hengst, S. & Vortisch, P., 2008. *Pedestrian Flow at Bottlenecks - Validation and Calibration of Vissim's Social Force Model of Pedestrian Traffic and its Empirical Foundations*. Gold Coast, Australia, International Symposium of Transport Simulation 2008.

Kronenbitter, S., 2013. *PTV Viswalk information* [Intervju] (28 Februari 2013).

Lowenes, N. E. & Machem, R. B., 2006. *VISSIM: A Multi-parameter Sensitivity Analysis*. Monterey, California, Winter Simulation Conference.

NYC DCP, 2006. *Pedestrian Level of Service Study, Phase I*. New York: New York City - Department of City Planning.

PTV AG, 2012. *VISSIM 5.40 - User Manual*. Karlsruhe: PTV AG.

PTV AG, 2013. *PTV viswalk - Application areas*. [Online]  
<http://www.ptv-vision.com/en-uk/products/vision-traffic-suite/ptv-viswalk/application-areas/>

[Använd 31 Januari 2013].

Rakha, H., Hellinga, B., Van Aerde, M. & Perez, W., 2005. *Systematic Verification, Validation and Calibration of Traffic*. Washington D.C., Transportation Research Board.

Samtrafiken, 2013. *Stationsinfo*. [Online]  
<http://www.stationsinfo.se/station/MalmoCentral>

[Använd 25 Februari 2013].

Seyfried, A. o.a., 2009. New insights into pedestrian flow through bottlenecks. *Transportation Science*, Volym 43, pp. 395-406.

Skånetrafiken, 2012. *Antal resor per station i Skåne 2000-2012*. [Online]  
<http://a3.mnndcdn.com/raw/upload/uowda9xz0z4zscb2k1yf.xls>

[Använd 1 Mars 2013].

SS EN 115-1, 2010. *SS-EN 115-1: 2008+A1:2010 Rulltrappor och rullramper – Säkerhet*, Stockholm: Swedish Standards Institute.

Trafikverket, 2008. *KOLL framåt – en kraftfull ökning av andelen kollektivtrafik*. [Online]  
[http://publikationswebbutik.vv.se/upload/4233/2008\\_33\\_koll\\_framat\\_huvudrapport\\_20071221.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/4233/2008_33_koll_framat_huvudrapport_20071221.pdf)

[Använd 5 Februari 2013].

Trafikverket, 2012. *Stationshandbok*. [Online]  
[http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6934/2012\\_226\\_Stationshandbok.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6934/2012_226_Stationshandbok.pdf)

[Använd 5 Februari 2013].

TRB, 2003. *Transit Capacity and Quality of Service Manual Part 7. 2:a red.* Washington DC: Transportation Research Board.

# Bilaga 1

## Exempel på fotgängarparameterfil från Vissim 5.40

```
<parameter name="parameter_use_cache" value="0" default="0" type="integer" scope="global" description="1: save distance look-up tables to disc for usage in later runs; 0:don't"/>

<parameter name="parameter_Tau" value="0.4" default="0.4" minimum="0.06" scope="pedestrian type" description="reaction time resp. inertia"/>

<parameter name="parameter_grid_size" value="5" default="5" type="integer" scope="global" description="maximum distance of influence"/>

<parameter name="parameter_react_to_n" value="8" default="8" type="integer" scope="pedestrian type" description="maximum number of influencing pedestrians"/>

<parameter name="parameter_A_soc_isotropic" value="1.6" default="1.6" scope="pedestrian type" description="general strength of direction- but not relative speed-dependent social force (physical, static)"/>

<parameter name="parameter_B_soc_isotropic" value="0.2" default="0.2" scope="pedestrian type" description="value should be about body radius in m"/>

<parameter name="parameter_lambda_mean" value="0.3" default="0.3" minimum="0.0" scope="pedestrian type" description="factor of suppression of soc_isotropic force from behind"/>

<parameter name="parameter_A_soc_mean" value="0.4" default="0.4" scope="pedestrian type" description="general strength of relative speed- but not direction dependent social force (social/psychological, dynamic)"/>

<parameter name="parameter_B_soc_mean" value="2.8" default="2.8" scope="pedestrian type" description="typical range; parameter grid_size should be at least as large, else increasing this value has no effect"/>

<parameter name="parameter_VD" value="3" default="3" scope="pedestrian type" description="impact of relative speed; increasing this will make opposing pedestrians evade earlier; effect limited by parameter grid_size"/>

<parameter name="parameter_noise" value="1.2" default="1.2" minimum="0.0" scope="pedestrian type" description="general force of random force applied on pedestrians being forced to move slower than desired for some time"/>

<parameter name="parameter_never_walk_back" value="0" default="0" type="boolean" scope="global" description="Enable/disable pedestrians stopping, if the calculated velocity points more than 90° away from the desired direction (1 = on, 0 = off)."/>

<parameter name="parameter_routing_large_grid" value="7" default="7" type="integer" scope="global" description="increase in scenarios with large open spaces and large obstacles and decrease in small scale scenarios to reduce need for RAM; this parameter has no directed influence on the movement" />

<parameter name="parameter_routing_step" value="4" default="4" type="integer" scope="global" description="increase for more precise calculation of distance look-up table, decrease for faster calculation of distance look-up table"/>

<parameter name="parameter_routing_accuracy" value="1.0" default="1.0" minimum="0.0" scope="global" description="reduce to speed up calculation of distance look-up table in draft runs; always set 1.0 in runs done to obtain results and/or animations"/>

<parameter name="parameter_routing_obstacle_dist" value="0.5" default="0.5" minimum="0.0" scope="global" description="typical additional distance in m kept from walls at low densities; reduce in scenarios with narrow passages"/>

<parameter name="parameter_routing_cell_size" value="0.15" default="0.15" minimum="0.01" scope="global" description="The cell size for the routing field (static potential). Reduce to 0.1, if you experience problems with passages narrower than 50 cm. Start with 0.15 for any new project."/>

<parameter name="parameter_dynamic_potential_average_f" value="0" default="0" type="boolean" scope="global" description="Enable/disable averaging of 1/f over time (1 = on, 0 = off)."/>

<parameter name="parameter_dynamic_potential_cell_size" value="0.20" default="0.20" type="double" minimum="0.01" scope="global" description="The cell size for dynamic potential field."/>

<parameter name="parameter_dynamic_potential_g" value="1.5" default="1.5" type="double" scope="global" description="Generic parameter g"/>

<parameter name="parameter_dynamic_potential_h" value="0.7" default="0.7" type="double" scope="global" description="Generic parameter h"/>

<parameter name="parameter_dynamic_potential_direction_change_clipping" value="1" default="1" type="boolean" scope="global" description="Enable/disable clipping of direction changes in potential field (1 = on, 0 = off)."/>

<parameter name="parameter_dynamic_potential_direction_change_p" value="4" default="4" type="double" minimum="0.0" scope="global" description="Degree of clipping of direction changes in potential field. Can be between 0 and 180 (absolute) degrees."/>

<parameter name="parameter_queue_order" value="0.7" default="0.7" minimum="0.0" scope="global" description="Together with queue_straightness this defines the shape of a (user-specified) queue." />

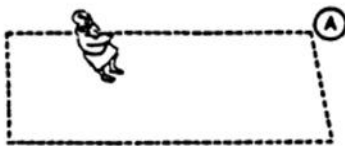
<parameter name="parameter_queue_straightness" value="0.6" default="0.6" minimum="0.0" scope="global" description="Together with queue_order this defines the shape of a (user-specified) queue." />
```

## Bilaga 2

### Pedestrian Level of Service on Walkways (TRB, 2003, p. 11)

LOS	Pedestrian Space ( $m^2/p$ )	Expected Flows and Speeds		
		Avg. Speed, $S$ (m/min)	Flow per Unit Width, $v$ (p/m/min)	$v/c$
A	$\geq 3.3$	79	0-23	0.0-0.3
B	2.3-3.3	76	23-33	0.3-0.4
C	1.4-2.3	73	33-49	0.4-0.6
D	0.9-1.4	69	49-66	0.6-0.8
E	0.5-0.9	46	66-82	0.8-1.0
F	$< 0.5$	$< 46$	Variable	Variable

$v/c$  = volume-to-capacity ratio



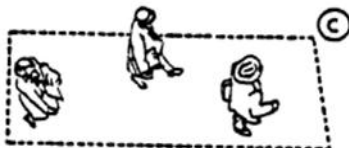
#### LEVEL OF SERVICE A

Walking speeds freely selected; conflicts with other pedestrians unlikely.



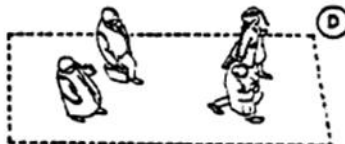
#### LEVEL OF SERVICE B

Walking speeds freely selected; pedestrians respond to presence of others.



#### LEVEL OF SERVICE C

Walking speeds freely selected; passing is possible in unidirectional streams; minor conflicts for reverse or cross movement.



#### LEVEL OF SERVICE D

Freedom to select walking speed and pass others is restricted; high probability of conflicts for reverse or cross movements.



#### LEVEL OF SERVICE E

Walking speeds and passing ability are restricted for all pedestrians; forward movement is possible only by shuffling; reverse or cross movements are possible only with extreme difficulty; volumes approach limit of walking capacity.



#### LEVEL OF SERVICE F

Walking speeds are severely restricted; frequent, unavoidable contact with others; reverse or cross movements are virtually impossible; flow is sporadic and unstable.

## Bilaga 3

### Pedestrian Level of Service in Queuing Areas (TRB, 2003, p. 14)

LOS	Average Pedestrian Area		Average Inter-Person Spacing	
	(ft <sup>2</sup> /p)	(m <sup>2</sup> /p)	(ft)	(m)
A	≥ 13	≥ 1.2	≥ 4.0	≥ 1.2
B	10-13	0.9-1.2	3.5-4.0	1.1-1.2
C	7-10	0.7-0.9	3.0-3.5	0.9-1.1
D	3-7	0.3-0.7	2.0-3.0	0.6-0.9
E	2-3	0.2-0.3	<2.0	<0.6
F	< 2	< 0.2	<i>Variable</i>	<i>Variable</i>



#### LEVEL OF SERVICE A

Standing and free circulation through the queuing area possible without disturbing others within the queue.



#### LEVEL OF SERVICE B

Standing and partially restricted circulation to avoid disturbing others within the queue is possible.



#### LEVEL OF SERVICE C

Standing and restricted circulation through the queuing area by disturbing others is possible; this density is within the range of personal comfort.



#### LEVEL OF SERVICE D

Standing without touching is impossible; circulation is severely restricted within the queue and forward movement is only possible as a group; long-term waiting at this density is discomforting.



#### LEVEL OF SERVICE E

Standing in physical contact with others is unavoidable; circulation within the queue is not possible; queuing at this density can only be sustained for a short period without serious discomfort.



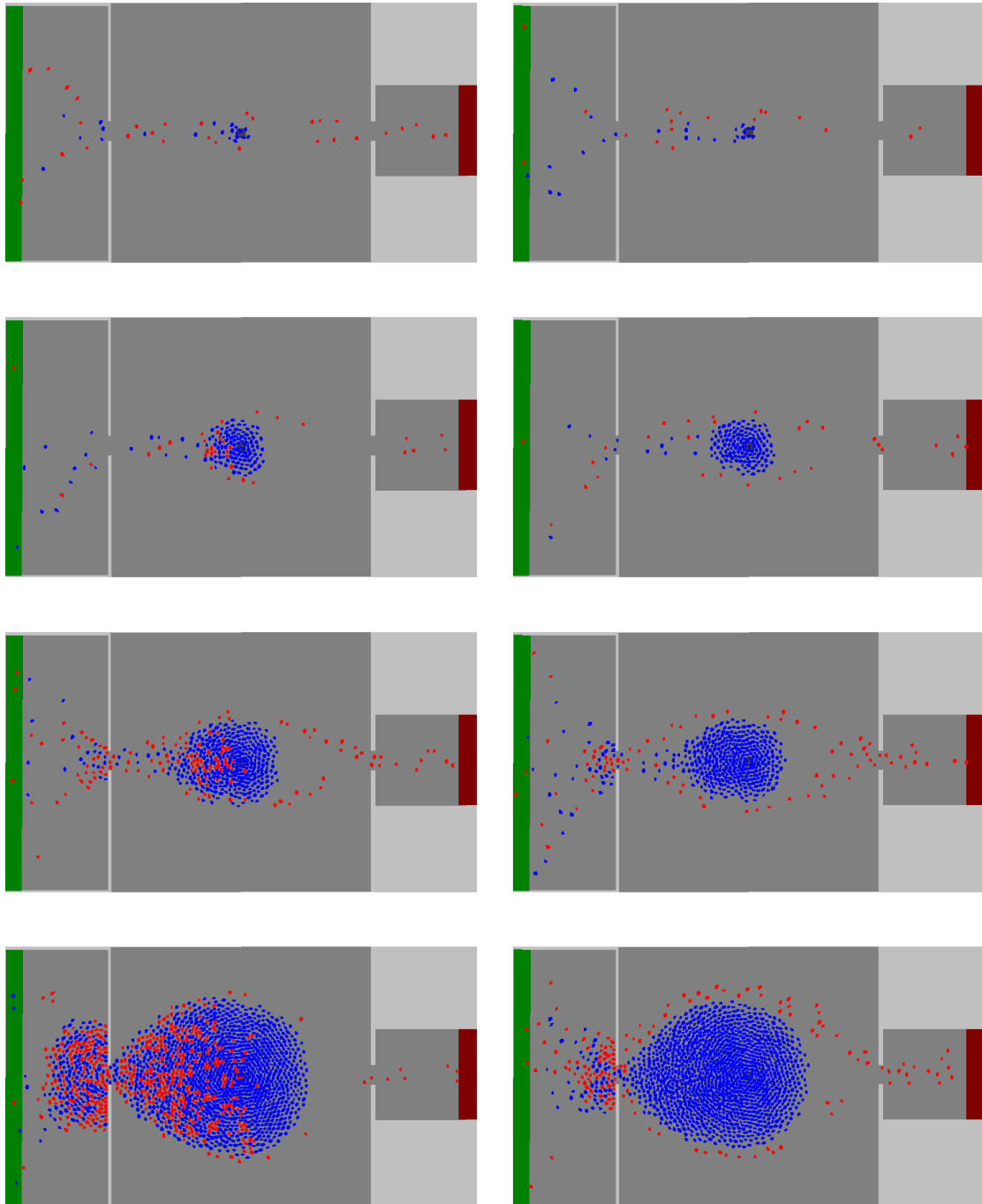
#### LEVEL OF SERVICE F

Virtually all persons within the queue are standing in direct physical contact with others; this density is extremely discomforting; no movement is possible within the queue; the potential for pushing and panic exists.



## Bilaga 4

### Demonstration av Dynamic Potential (Kretz, et al., 2011, p. 746)



De blå fotgängarna genereras i vänsterkanten och har bildens mittpunkt som destination och de dröjer sedan kvar där under simuleringen. De röda fotgängarna genereras även de i vänsterkanten men har istället sin slutpunkt i högerkanten. I vänstra kolumnen visas händelseförloppet då Dynamic Potential inte är aktiverat och i den högra visas samma förlopp då Dynamic potential är aktiverat. Skärmbilderna är tagna efter 60, 300, 600 och 1200 simulerade sekunder (Kretz, et al., 2011).