

FINAL REPORT BACHELOR THESIS

# SYNCHRONIZED CROSSING WITH STAGGERED PLATFORMS

INCREASING THE TRAFFIC FLOW AT LEVEL-CROSSINGS

ANNETJE VAN HENGSTUM

31 JANUARY 2023

Goudappel

UNIVERSITY OF TWENTE.



# COLOPHON

TITLE

Synchronized crossing with staggered platforms

AUTHOR

Annetje van Hengstum

STUDENT NUMBER

s2075458

VERSION

1.6 (Final Version)

DATE

31 January 2023

INSTITUTION

University of Twente  
Enschede, The Netherlands

PROGRAM

Civil Engineering  
Discipline: Traffic Engineering & Management

INTERNAL SUPERVISORS

MSc. O.A.L. (Oskar) Eikenbroek  
Dr. Ir. H.J. (Rick) Hogeboom

ORGANISATION

Goudappel  
Deventer, The Netherlands

EXTERNAL SUPERVISOR

G. (Geert-Jan) Wolters

## **PREFACE**

In this report I present the results of my Bachelor Thesis, “Synchronized Crossing with staggered platforms: Increasing the traffic flow at level-crossings”. This research was carried out within the department “Verkeersmanagement en -Prognoses (VMP)” of Goudappel. Hopefully, the outcome of my thesis can contribute to the question if synchronized crossing is a useful method to solve congestion problems at level-crossings.

I would like to express special thanks to my supervisor at Goudappel, Geert-Jan Wolters, for all his help, valuable feedback and keeping my motivation up during my entire graduation period. His expertise with VISSIM was a great help by building and understanding the model and gave insight in the plausibility of the results. I thank my internal supervisor at the University of Twente, Oskar Eikenbroek, for the bi-weekly meetings. Despite his busy schedule he always made time to provide feedback even if it was only two days before the deadline. He gave me the motivation to keep going, even on the days when I had to work on my least favourite subject: literature. Besides my supervisors, I want to thank the department of VMP, they made me feel welcome from the very start and were always enthusiastic to answer any questions I had. All the weekly meetings and chats during lunch walks were a great contribution to this thesis. Lastly, I want to thank Goudappel for the opportunity to carry out my Bachelor Thesis within their organisation.

Hopefully, you will enjoy reading my thesis as much as I did researching and writing it.

Annetje van Hengstum  
Enschede, January 31, 2023

## SUMMARY

The motivation behind this study, are the traffic volume capacity problems that arise at level-crossings with a high frequency. Due to the high number of closings the traffic flow is constantly interrupted. Therefore, the queues cannot dissolve fast enough which can increase the waiting time to several minutes.

In this study, a VISSIM model is made to simulate and evaluate the influence of synchronized crossing of trains and metros at level-crossings on traffic flow. Synchronized crossing is a method where two rail vehicles from opposite directions simultaneously cross. This study focuses on synchronized crossing at a level-crossing with staggered platforms (*Dutch: bajonetligging*) in front of the crossing. The VISSIM model is a representation of a typical level-crossing where two tracks and a road intersect. This means that the effect of synchronized crossing on the traffic flow can be studied better without outside influences such as intersections and traffic lights (further) along the road.

Traffic-related problems at level-crossings occur for various reasons one of them being a long closing time due to passing trains or metros. When the closings are evenly distributed over an hour, the congestion problems are less severe. It becomes problematic when the closings are asymmetrical distributed. For instance, this means that a crossing closes three times in 10 minutes or in some cases that the crossing opens and directly closes again. The result of this, is traffic delay and depending on the layout of the crossing, can also cause blocking of the intersections on the road. Besides this, dangerous situations could occur because people get impatient when the waiting time gets to long. Also, the waiting cars cause much more emission.

The next step after building the model was assessing the effect on the traffic flow by simulating a scenario with and without synchronized crossing. The closing time of the crossing can be effected by different factors. The factors that are being research in this study are the speed of the rail vehicle, the length of the rail vehicle, the platform length and the distance between the platform and the crossing. This was done by adding several simulation scenarios for each parameter in the VISSIM model.

Besides assessing the effectiveness of synchronized crossing on improving the traffic flow also the applicability of this method is researched. To determine the applicability, interviews were conducted with two people from ProRail and one from RET. In these interviews topics such as policy, timetable scheduling issues and interlocking were discussed.

The results show that applying synchronized crossing has a large effect on decreasing the closing time and the queue length. The total closing time is more than halved. The waiting time (delay) of regular traffic decreases from several minutes to tenth of seconds. While the queues do not dissolves every time after each closing, the queue length is considerable shortened. However, the influence on the closing time of the speed and length factors were statistically very small. These factors do not add significantly to the effect of synchronized crossing.

In the interviews it became clear that implementing synchronized crossing requires changes when it comes to interlocking systems and timetables. Synchronized crossing may fix the problem at level-crossings, but the problems will most likely move to other parts of the PT network.

## LIST OF FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: Traffic blockages at the south-side Kralingseweg level-crossing.....                | 7  |
| Figure 2: Congestion and blockages at the east-side of the Kralingseweg level-crossing.....   | 7  |
| Figure 3: Example of level-crossing with staggered platforms .....                            | 9  |
| Figure 4: Layout test model (VISSIM).....   | 14 |
| Figure 5: Close-up crossing.....  | 14 |
| Figure 6: Layout detection loops rail .....   | 15 |
| Figure 7: Average total closing time [min] per hour for model parameters .....                | 18 |
| Figure 8: Queue length traffic in north direction without synchronization .....               | 19 |
| Figure 9: Queue length traffic in south direction without synchronization .....               | 19 |
| Figure 10: Queue length traffic in north direction without synchronization.....               | 20 |
| Figure 11: Queue length traffic in south direction without synchronization .....              | 20 |
| Figure 12: Queueing in north direction for the speed parameter .....                          | 20 |
| Figure 13: Queueing due to changes in metro length .....                                      | 20 |
| Figure 14: Queue length for regular traffic due to distance between platform/crossing .....   | 21 |
| Figure 15: Travel time results of scenario without synchronization for car and metro .....    | 22 |
| Figure 16: Travel time results of scenario with synchronization scenario for car and metro .. | 22 |
| Figure 17: Delay results for car and metro for scenario without synchronization.....          | 23 |
| Figure 18: Delay results for car and metro for scenario with synchronization.....             | 23 |
| Figure 19: Delay changes of speed parameter .....   | 24 |
| Figure 20: Delay of regular traffic due to change in metro length.....                        | 24 |
| Figure 21: Delay of regular traffic due to distance platform/crossing.....                    | 24 |
| Figure 22: Delay car in east direction for all scenarios part A .....                         | 32 |
| Figure 23: Delay car in east direction for all scenarios part B .....                         | 33 |
| Figure 24: Delay car in south direction for all scenarios part A .....                        | 33 |
| Figure 25: Delay car in south direction for all scenarios part B .....                        | 34 |
| Figure 26: Delay metro in west direction for all scenarios part A.....                        | 35 |
| Figure 27: Delay metro in west direction for all scenarios part B.....                        | 36 |
| Figure 28: Delay metro in east direction for all scenarios part A .....                       | 36 |
| Figure 29: Delay metro in east direction for all scenarios part B .....                       | 37 |
| Figure 30: Queue length of traffic for all scenarios.....                                     | 38 |
| Figure 31: Travel time car for all scenarios part A.....                                      | 39 |
| Figure 32: Travel time car for all scenarios part B.....                                      | 40 |
| Figure 33: Travel time metro in west direction for all scenarios part A .....                 | 40 |
| Figure 34: Travel time metro in west direction for all scenarios part B .....                 | 41 |
| Figure 35: Travel time metro in east direction for all scenarios part A.....                  | 42 |
| Figure 36: Travel time metro in east direction for all scenarios part B.....                  | 43 |

## LIST OF TABLES

|  |    |
|--|----|
| Table 1: Scenario's in VISSIM model .....                              | 16 |
| Table 2: Average closing time in an hour for ten simulation runs ..... | 17 |

# CONTENT

|   |    |
|---|----|
| Preface .....                             | 2  |
| Summary .....                             | 3  |
| List of Figures .....                     | 4  |
| List of Tables .....                      | 4  |
| 1. Introduction .....                     | 7  |
| 2. research context .....                 | 8  |
| 2.1 General context .....                 | 8  |
| 2.2 Problem statement.....                | 9  |
| 2.3 Research objective .....              | 10 |
| 2.4 Research scope.....                   | 10 |
| 2.5 Research Questions .....              | 10 |
| 3. Theoretical Framework.....             | 12 |
| 3.1 Synchronization .....                 | 12 |
| 3.2 Prioritization .....                  | 12 |
| 3.3 Measures of Effectiveness (MOEs)..... | 13 |
| 4. Methodology .....                      | 14 |
| 4.1 VISSIM model.....                     | 14 |
| 4.2 Travel time .....                     | 14 |
| 4.3 Queue length .....                    | 15 |
| 4.4 Closing time .....                    | 15 |
| 4.5 Detection loop rail vehicle.....      | 15 |
| 4.6 Scenario management .....             | 16 |
| 5. Results .....                          | 17 |
| 5.1 Model results .....                   | 17 |
| 5.1.1 Closing time (ct).....              | 17 |
| 5.1.2 Queueing .....                      | 19 |
| 5.1.3 Travel time results .....           | 21 |
| 5.1.4 (Congestion) delay.....             | 23 |
| 5.2 Feasibility study results .....       | 25 |
| 5.2.1 Time scheduling.....                | 25 |
| 5.2.2 PT priority .....                   | 25 |
| 5.2.3 Closing time level-crossing.....    | 26 |
| 5.2.4 Interlocking systems .....          | 26 |
| 6. Discussion .....                       | 27 |
| 7. Conclusion .....                       | 28 |
| 8. Recommendations.....                   | 29 |
| 8.1 Delay.....                            | 29 |
| 8.2 interlocking.....                     | 29 |
| 9. References .....                       | 30 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Appendix.....                  | 32 |
| A: Figures Delay results ..... | 32 |
| B: Queue length figures .....  | 38 |
| C: Travel time figures .....   | 39 |
| D: Interview C. Murtas .....   | 44 |
| E: Interview V.A. Weeda.....   | 50 |
| F: Interview RET .....         | 54 |

# 1. INTRODUCTION

Public transport (PT) is a popular form of transport for the urbanite. In cities such as Rotterdam, the metro is therefore a common mode of public transport besides the bus and tram. In such busy cities, where it is full of traffic lights and pedestrian crossings, it is also a much faster means of transport than the car. In 2021, the Rotterdam metro network transported more than 99 million passengers (RET, 2023). This means that the network must have a high frequency to be able to transport all these passengers.

Despite the extensive use of public transport, many people still travel by car. Long queues of cars standing still in front of a traffic light or level-crossing are therefore a recognizable picture. These queues can expand onto nearby intersections. An example of this is the metro level-crossing on the Kralingseweg in Rotterdam. This level-crossing has long and frequent closures due to the high metro frequency on that line. During peak hours, long traffic jams and blockages occur at the intersections next to the crossing as shown in Figure 1 and Figure 2. This is therefore the reason for this research.

In order to improve the traffic flow at level-crossings, possibilities to shorten the closing time are being examined. One of these options is 'synchronized crossing'. This means that two metro's or trains from opposite directions pass each other on the level-crossing. This method is currently not applied, so the effects of it are not yet clear. When implemented, new problems might arise further on the metro line or even move to other lines. It may also turn out that this method only works for specific level-crossings. Whether this method is effective and if the implementation is feasible, will become clear in this thesis.

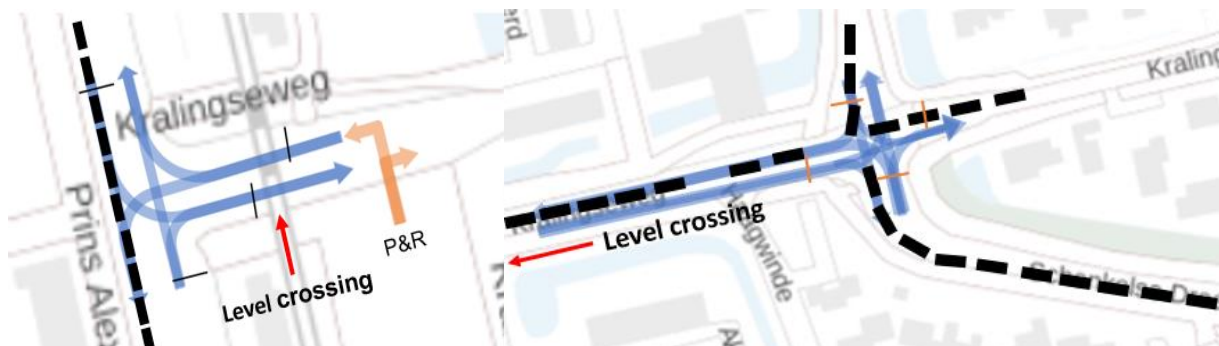


Figure 1: Traffic blockages at the south-side Kralingseweg level-crossing

Figure 2: Congestion and blockages at the east-side of the Kralingseweg level-crossing



## 2. RESEARCH CONTEXT

### 2.1 GENERAL CONTEXT

The Dutch train network consists of more than 1800 level-crossings (ProRail, n.d.). This number will rise even further when taking the metro and tram network into account. At a level-crossing various types of traffic such as cars and pedestrians, interact with each other. The speed of these types of traffic may also differ significantly. The speed has an impact on the closing time of a level-crossing. For instance, a pedestrian cannot cross a level-crossing as fast as a car. Therefore, the crossing closes earlier to ensure the safety of the traffic.

On routes with a high metro frequency the total closing time per hour of a level-crossings will be longer. Long closing times cause queues to form in front of the crossing. This can lead to dangerous situations as people get impatient. To prevent this problem synchronization of metros could possibly solve/reduce the traffic flow problem at level-crossing where the maximum road capacity has been reached. At the moment trains and metros are not synchronized which means that every train crosses the level-crossing separately or a few seconds after each other.

As stated in the introduction, synchronized crossings is not an existing method. Therefore, the effect on the closing time and thus traffic flow needs to be researched first. Besides effectiveness, also the feasibility of the implementation remains unknown. If the method can be implemented depends on factors such as time scheduling, safety (systems) and policy. In the past, research has been done on shortening the departure procedure of the trains and thus decreasing the closing time (Weeda, 2022). This has resulted in decreasing the departure procedure with 15 seconds but the closing time of the crossing beams has remained unchanged.

There are several reasons why synchronized crossing has not yet been applied. From a technical point of view it is difficult to implement because of existing interlock systems (*Dutch: beveiligingssysteem*). Besides the potential challenges from a technical perspective it is not equally interesting or desirable from a societal perspective. Public transport companies focus on their travellers' convenience at not on that of regular traffic. Also level-crossings are not a source of delay for metros which makes it less of a problem for PT. Implementation requires changes on the side of PT as the timetable and interlocking systems have to be updated. The most important reason is still that PT is promoted heavily by the government because the PT is more durable and thus better for the environment.

## 2.2 PROBLEM STATEMENT

Due to high train/metro frequencies, level-crossings close many times in an hour. The result is, that regular traffic forms queues in front of the crossing. During peak hours the maximum capacity of the level-crossing is reached. The formed queues cannot dissolve completely and even increase over time. The waiting time can increase up to several minutes before an individual car can pass the crossing.

One of the options to reduce the waiting time, is to decrease the total closing time of the crossing. To achieve this the possibility of synchronized crossing is being explored in this thesis. Metro's from opposite direction will pass the level-crossing at the same time. The closing of the crossing will then be used as efficiently as possible. It also results in a shorter total closing time per hour.

There are several options to implement synchronized crossing. The first is by way of dynamic speeds. The metros adapt their speed on the location of the other to arrive at the same time at the level-crossing. The second option is staggered platforms in front of the level-crossing as can be seen in Figure 3 on the next page. The metros will then have a synchronized departure time. The second option will be explored in this research.



Figure 3: Example of level-crossing with staggered platforms

## 2.3 RESEARCH OBJECTIVE

This study is focused on determining the effect of synchronized crossing on traffic flow at level-crossings where the maximum traffic volume capacity is reached. In addition, the feasibility of implementing synchronized crossing in the time schedule, policy and safety systems is researched. To achieve this, a typical level-crossing will be modelled with a traffic simulation software called VISSIM. The output of this model will be used to evaluate the decrease in closing time and improvement of traffic flow.

Therefore, the research objective of this study is:

***To evaluate the effect of synchronized crossing on the traffic flow compared to the situation without synchronization and establishing the limitations of its implementation.***

The definition of each section from the research objective is explained below.

**The effect of synchronized crossing on the traffic flow** is considered to be the decrease or increase of traffic flow due to the implementation of synchronized crossing.

**Situation without synchronization** is considered to be the real-life situation at intersections where PT has full priority. The norm of the average waiting time for traffic signals is 90 seconds (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014).

**Limitations of its implementation** are considered to be existing safety systems, policy and the time scheduling of metros.

## 2.4 RESEARCH SCOPE

The scope of this study is a typical metro level-crossing with an intersection one-lane road. The traffic composition will be limited to metros and cars. This is done to create a closed-off environment where factors such as intersections or slow traffic cannot influence the results of the synchronized crossing scenario. The VISSIM model will simulate one hour of the morning/evening rush hour. The reason is that problems occur during the peak periods as the intensity of regular traffic is higher in those moments.

## 2.5 RESEARCH QUESTIONS

To achieve the research objective, a main question was formulated. The metros will then have a synchronized departure time. The main question is as follows:

***“To what extent does ‘synchronized crossing’ with halting at staggered platforms improve the traffic flow at level-crossing which have reached the maximum capacity and what is the feasibility of implementing synchronized crossing in regard to safety (systems), time scheduling and policy in the Netherlands.”***

To answer this question, seven sub-questions have been formulated. These sub-questions are listed and explained below.

Trains and metros operate with a static timetable. When implementing synchronized crossing it is important to know what norms and regulations are in place e.g. travel time delay. It might be that there is space in the time schedule to add for instances 2 minutes to the time schedule of a specific metro line. Besides this, metros can also have travel time delay. What regulations or maximum waiting time are set for this. Since part of the Rotterdam metro network, which is operated by RET, was the reason for this study, these preconditions will be researched. The first sub-question is as follows:

**1. *“What are the preconditions of the RET metro network regarding delays and shifting of arrival- and departure times of the metro”***

To determine if synchronized crossing has a significant increasing effect on the traffic flow, it needs to be determined to what extent the closing time can be decreased when synchronized crossing is applied. Therefore the next sub-question is introduced.

**2. *“What is the maximum decrease in closing time of a level-crossing when synchronized crossing is applied”***

When implementing synchronized crossing the metro in one direction will have longer waiting time because the other metro has not arrived yet. This means that the crossing will be open longer and thus will effect the waiting time of the regular traffic as well. The effect of the reduced priority of PT will be researched in the following sub-question:

**3. *“What influence does synchronized crossing have on the travel time of regular traffic and Public Transport ”***

Besides comparing scenarios with and without synchronized crossing it is interesting to determine which parameters can influence synchronized crossing. For instance, when the metro capacity or speed has increased on a route the effectiveness of synchronized crossing can change. The influence of these parameters is researched in the fourth sub-question:

**4. *“Which parameters of the metro network e.g. speed have a decreasing effect on the closing time ”***

The second part of the main question focuses on the feasibility of implementing synchronized crossing. For instance is it even possible to execute synchronized crossing with the current interlocking systems at level-crossings or what changes need to be made to make it possible. Also, in the existing traffic network PT has full priority. This will decrease when applying synchronized crossing. What needs to be considered before changing this policy.

**5. *“What type of interlocking systems exist for train/metro level-crossing and can these systems execute synchronized crossing.”***

**6. *“What is the current policy for PT priority in the Netherlands”***

### 3. THEORETICAL FRAMEWORK

Synchronized crossing is not an existing method in the Netherlands or in any other country for that matter. This means that there are no preliminary rules or guidelines to follow or conditions that the system must meet. For this reason the literature background is focused on papers that have similar scenarios regarding public transport. For instance, this could be about the optimization of bus or tram priority. The results from these papers can give an answer of what can be expected from this research.

From the literature also several Measures Of Effectiveness (MOEs) are determined. On the basis of these MOEs the results from the synchronized crossing model can be evaluated and discussed.

#### 3.1 SYNCHRONIZATION

Synchronization can be applied physically (in execution) or in the timetable. Railway timetables are designed to achieve a maximum utilization from a passenger's perspective (Fretter, Krumov, Weihe, Müller-Hannemann, & Hütt, 2010). This means for instance that the waiting times for passengers should be as low as possible. However this limits the robustness of the system as it is more prone to delays. Trains maintain a buffer time of 7% (Weeda, 2022). Metro's on the other hand have only 15 to 45 seconds of buffer time [RET].

The synchronization of timetables is focused on transitions at stations so the passenger has an optimal travel time. In addition, while making the timetable it must also be prevented that trains are stationary for too long or that the layover time (*Dutch: keertijd*) is too long/short. Which is why obtaining synchronization in timetables is already difficult without adding level-crossings as a factor. Therefore in this thesis it is chosen to research the physically version of synchronization which is implemented during the execution of the timetable.

#### 3.2 PRIORITIZATION

Public Transport is dependent on many factors for its success. Travel time being one of them. Which is why municipalities try to decrease the travel time of PT in several ways. For instance, with traffic signal settings for buses or right of way for trams. Trains and metros have less direct interaction with other types of traffic. Interaction only occurs at level-crossings. A minimum travel time for all road users would be optimal but PT carries more passengers and thus should get higher priority. The downside is that it is at the expense of other road users (De Keyser, Hillewaere, Audenaert, & Maenhout, 2018)

In the paper of Scheffler & Strehler, several strategies and a model are discussed to optimize traffic settings for PT. The model is for example used to capture the impact of traffic jams on PT travel times. This last part is interesting for this thesis as it gives an idea of what the effects will be of traffic jams at a level-crossing. While this paper mostly focuses on bus traffic instead of the train it tests a scenario which is relatively similar to the one in this thesis. While applying synchronized crossing one metro has to wait on the other but the waiting time is not infinite. In the paper a scenario is simulated where the waiting time for buses is limited. The results show that it does decrease the waiting time of other traffic but the bus tends to get stuck in the queue. Of course the metro does not have any hindrance from queueing but it can be assumed that letting a metro wait will improve the travel time of regular traffic.

Another paper, about a tram intersection in Ghent, also discusses a similar scenario with PT priority strategies (De Keyser, Hillewaere, Audenaert, & Maenhout, 2018). It discusses four priority strategies: Full PT priority, PT priority with predefined waiting time, no PT priority via truncation and no PT priority. The second scenario with predefined waiting time comes closest to a synchronized crossing scenario as it also contains a predefined waiting time for PT. The evaluation of the strategy performance shows that compared to a strategy with full PT priority, there is some improvement. However it does not solve the congestion problems completely. The decrease of the travel time is best seen during these most congested periods. Besides this, the PT performance deteriorates faster than the performance of the car increases. Translating this to the synchronized crossing research the expectation is that the travel time of regular traffic will decrease but the congestion will not disappear completely. It will also be at the expense of the PT network performance.

### 3.3 MEASURES OF EFFECTIVENESS (MOEs)

The impact of synchronized crossing for PT on the traffic flow will be assessed by several MOEs. These MOEs determine changes in a systems behaviour, capability or its operational environment (Andress & Winterfeld, 2014). The effect of synchronized crossing is assessed on the following three MOEs: Travel time, delay and queue length. MOEs can be collected in VISSIM at detection locations or for selected links.

*Travel time:* Total travel time of vehicles in network divided by number of vehicles in network. Only the vehicles that have finished the route in that specific time interval are used to calculate the average travel time. The vehicles can however have entered the system before the interval started.

*Delay:* Delay is defined in VISSIM as the difference between the desired and actual vehicle travel time. The desired vehicle travel time is calculated by assuming there are no other vehicles in the network and no delays at signal controls or stop signs (US Department of Transport, 2007).

*Queue length:* length of queue from upstream point to detection point at signal head. In VISSIM a queue counter can be appointed to a certain location. The farthest upstream point is seen as the end location. The queue counter keeps its detection point as starting point of the queue even if the first vehicles have left the queue. VISSIM measures per minute the average queue length.

The following equation is used to calculate the queue length:

$$AVEQ = \frac{\sum_i Q(i)}{I}$$

Where:

- AVEQ = Average Back of Queue over analysis period [m]
- Q(i) = Observed Back of Queue length [m] at the end of time step (i)
- I = Total number of time steps in analysis period

## 4. METHODOLOGY

### 4.1 VISSIM MODEL

The level-crossing and the traffic situation are simulated with a dynamic microscopic model. Dynamic microscopic models allow for more detailed modelling of public transport and give more accurate results (De Keyser, Hillewaere, Audenaert, & Maenhout, 2018). This type of modelling aims to collect data such as flow, speed travel and delay time (Nasuha & Rohani, 2018). The software that is used, is called VISSIM. Besides VISSIM the add-on model VisVAP is used to synchronize the different traffic signals (PTV Group, 2021).

The model that is build to simulate synchronized crossing, contains a level-crossing with an intersecting two-lane road. The model is rather basic as the purpose of it is mainly to test the influence of synchronization on the traffic flow at the crossing. The layout of the test model is shown in Figure 4. The red circle shows the location of the level-crossing. Figure 5 shows the level-crossing in more detail. This figure also shows where the data collecting points are located. The queue counter collects the queue length. The travel time is also measured which is done from where the traffic enters the model to a few meters after the crossing. The model needs to know when the signal heads have to turn red when a train is coming which is the reason there are two detector strips located on the track.

In the base scenario a metro enters the model every 5 minutes from the west-side . The metro from the opposite direction also has a cycle of 5 minutes but enters the model 30 seconds after the metro from the west-side. The platforms are both 100m long and are located around 25m from the level-crossing. These parameters can vary in other scenarios tested in the model.

The scenarios are tested for peak periods which have the length of 1h. The simulation has a warming up and a cooling down period to avoid unexplainable peaks. Each has a duration of 15 minutes. Every simulation consists of 10 runs to obtain reliable output.

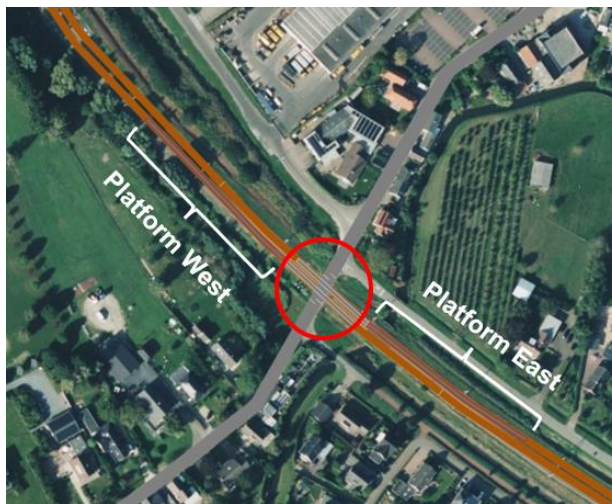


Figure 4: Layout test model (VISSIM)

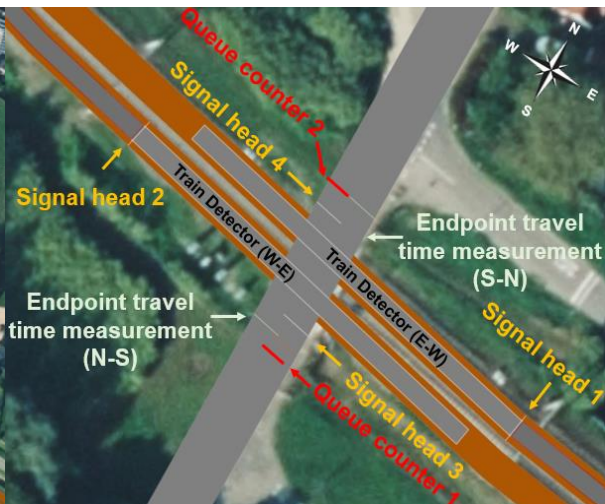


Figure 5: Close-up crossing

### 4.2 TRAVEL TIME

In the close-up from Figure 5 only the endpoints of the travel time measurement are shown. The starting points are located a few meters after the beginning of the road, where the traffic enters the model. These points measure the average travel time of the vehicles at this route. There are four routes defined, which are the car lanes in North-South and South-North direction and the metro tracks from West to East and East to West.

The average travel time is measured in intervals of 5 minutes. Measuring starts at 15 minutes because the model first needs to be filled with vehicles and avoids unexplainable peaks in the first data sets. VISSIM returns the travel time data as a text file which can be copied to excel for further analysis.

### 4.3 QUEUE LENGTH

When the signal head turns red a queue will form. The queue counter measures the number of vehicles waiting in front of the signal head. Queues are measured from the downstream location of the counter until the end of the upstream link. From the queue counter the following outputs can be obtained: the average queue length, the maximum queue length and the average number of stops for the defined intervals. The number of stops is the amount of times a vehicle has to stop within the queue.

### 4.4 CLOSING TIME

The closing time of the level-crossing is not a direct output of VISSIM. However VISSIM does give signal changes as output. For each signal head the intervals for green and red light is given. The closing time is then calculated per interval as follows:

$$\text{Closing time} = \text{SimSec\_red\_SG1}(i) - \text{SimSec\_green\_SG1}(i)$$

Where:

Closing time = Amount of time crossing is closed per interval[s]

SG1 = Signal Group 1 (cars)

SimSec\_red\_SG1 = Time at which SG1 turns red [s]

SimSec\_green\_SG1 = Time at which SG1 turns green [s]

The closing time of a crossing is dependent on the train frequency, time schedule and if there are stops nearby. The closing of the crossing itself takes around 20 seconds but the train also has to cross it. The whole cycle takes at least 45 seconds.

### 4.5 DETECTION LOOP RAIL VEHICLE

To apply synchronized crossing in the model, two detection loops were placed. The loops are located on the tracks at the level-crossing. The start of each loop has overlap with the rail platform and continues a few meters after the crossing Figure 6 on the next page. This is done to determine which track is occupied by a rail vehicle. The loop is connected to the signal head at that specific track.

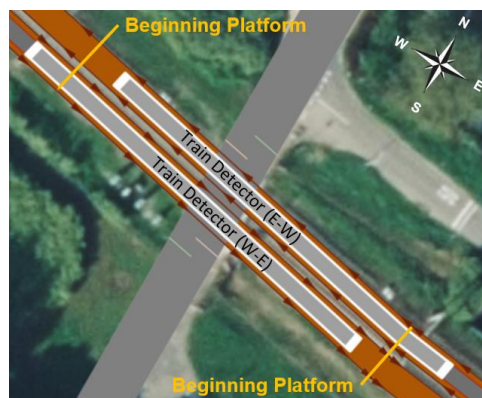


Figure 6: Layout detection loops rail

The rail vehicles are dependent on each other. The signal heads for the rail vehicles should only turn green when both are ready to leave (with exemption of delay). To make this possible, changes had to be made to the so-called VAP and PUA scripts. These scripts connect the loops with the signal heads. For instance, in these scripts it is determined when a signal head turns green and what the minimal green time should be.



## 4.6 SCENARIO MANAGEMENT

To test which parameters influence the closing time due to synchronized crossing, several scenarios have been made. The scenarios can be seen in Table 1. The parameters that are tested, are the speed and length of the metro, the platform length and the distance of the platform from the crossing. Besides these, there is also a scenario without synchronized crossing. The data obtained from the scenarios with parameter changes, is compared to the scenarios with synchronized crossing. The data obtained from these scenarios is analysed to determine if synchronized crossing can reduce the closing time of level-crossings significantly and what parameters have to most influence on this closing time.

Table 1: Scenario's in VISSIM model

| Type of scenario                       | Scenario Nr. | Value                          |
|--|--------------|--------------------------------|
| <b>Speed of metro</b>                  |              |                                |
|  | 1            | 30 km/h                        |
|  | 2            | 40 km/h                        |
|  | 3            | 60 km/h                        |
|  | 4            | 70 km/h                        |
|  | 5            | 80 km/h                        |
|  | 6            | 90 km/h                        |
|  | 7            | 100 km/h                       |
| <b>Length of metro</b>                 |              |                                |
|  | 9            | 40 m                           |
|  | 10           | 50 m                           |
|  | 11           | 60 m                           |
|  | 12           | 70 m                           |
|  | 13           | 80 m                           |
|  | 14           | 90 m                           |
|  | 15           | 100 m                          |
| <b>Length of Platform</b>              |              |                                |
|  | 16           | 120 m                          |
|  | 17           | 150 m                          |
|  | 18           | 200 m                          |
|  | 19           | 250 m                          |
| <b>Distance platform from crossing</b> |              |                                |
|  | 20           | 10 m                           |
|  | 21           | 20 m                           |
|  | 22           | 30 m                           |
|  | 23           | 80 m                           |
|  | 24           | 100 m                          |
| <b>No synchronization</b>              | 26           | Platforms in front of crossing |

## 5. RESULTS

This chapter discusses the results of the simulation study on synchronized crossing. First the results from the VISSIM level-crossing model are stated and explained. This contains for example, the time loss for vehicles and the closing time of the crossing. The second part (section 5.2) describes the results from the feasibility study. Here the data obtained from the interviews is stated.

### 5.1 MODEL RESULTS

Here, the output of the VISSIM model is discussed. First, the results from the closing time with and without synchronization are stated. Then the results of the four parameters are compared. This is followed by the queue length results in section 5.1.2.. After that, the travel time for the metro as well as for regular traffic is discussed. Lastly, the results from travel time delay are determined.

#### 5.1.1 Closing time (ct)

For each scenario in the model ten simulation runs have been done. Per simulation the following output is gathered: amount of signal changes and interval of the signal change per signal group. With this output the average closing time is calculated as discussed in the methodology chapter.

First, a real-life situation without synchronized crossing is simulated. In an hour, twenty rail vehicles will use the level-crossing i.e., ten in each direction. Travel time delay is not included in this simulation therefore every metro arrives at the exact planned time. The scenario with synchronisation contains ten closings in an hour.

The average closing time in an hour for these two scenarios can be seen in Table 2. As can be expected, the average closing time in an hour for the scenario with synchronization is approximately half the closing time of the scenario without synchronization. The average is relevant as the effects of synchronized crossing on the traffic flow is researched over the whole peak period.

Table 2: Average closing time in an hour for ten simulation runs

| Average total closing time [min] |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| Without Synchronization          | Synchronization |
| 23                               | 11              |

The next step was to determine the influence of the four defined parameters on the closing time. Again, the average total closing time across ten simulation runs has been used as the fluctuation was only a few seconds. The average total closing time for the four parameters can be seen in Figure 7 on the next page.

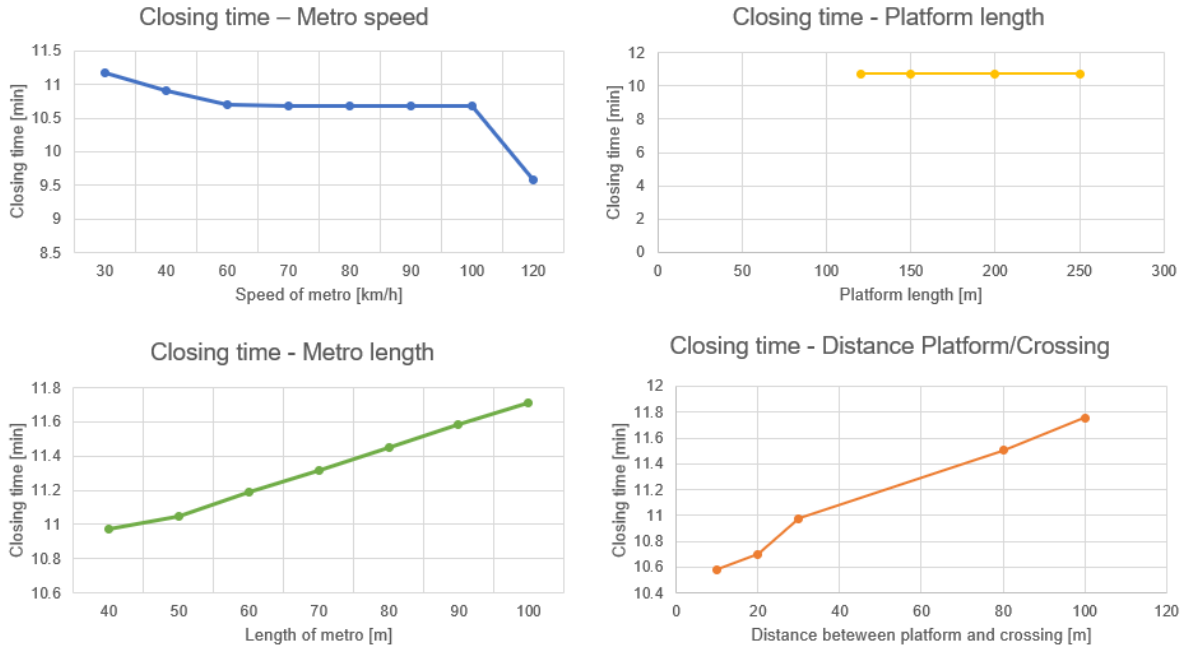


Figure 7: Average total closing time [min] per hour for model parameters

The increase in metro speed results in a reasonable decrease of the closing time. The maximum acceleration of the metro is reached at 60 km/h as the graph becomes horizontal. The reason for this is that the distance between the platform and the crossing is not long enough to gain a higher speed.

The changes in length of the metro have an almost linear increasing effect on the closing time. Again the differences in closing time are slight. The reason for the linear effect on the closing time is because the length of the metro is also increased linearly with 10 meters and the speed of the metro remains constant.

The simple reasoning when looking at the graph for the distance between platform and crossing is that the greater the distance, the longer the closing time. The graph becomes linear because at a certain distance, the rail vehicle will have reached full speed. For instance, in the first 30 meters the vehicle is still accelerating which means there is no linear difference in closing time but exponential.

The only parameter which does not appear to have any influence on the closing time, is the platform length. Normally, the length of the train and platform determine where at the platform a rail vehicle has to stop. In VISSIM this does not happen automatically. What happened during the simulation was that every rail vehicle stopped at the end of the platform instead of on a predefined location. Hence, the closing time for each change in platform length was the same as in the basic synchronized crossing scenario. In reality, the closing time is expected to increase when the platform is longer as the metro stops in the middle of the platform. Due to lack of difference with the 'base' synchronization scenario, the figures of the platform length parameter will not be discussed further in the results. The figures can be found in the appendix.

### 5.1.2 Queueing

During testing the traffic demand is increased to ensure that the level-crossing has reached its capacity so queues will form. At that moment problems with for instance queueing occur which makes it a perfect circumstance to test the effect that synchronized crossing has on the traffic flow.

In the current situation there is no synchronization. As a result, queues do not disappear completely when the crossing is overloaded. The effect on the queue length can be seen in Figure 8 and Figure 9. The queue starts at the first closing of the crossing and increases to a maximum of 500 meters. The reason that the queue length is capped, is because the link stops at 500 meters. Therefore, the queue does not fit entirely on the link. After every closing the queues decrease but the traffic cannot be fully dispersed before the next closing because the queue is too long.

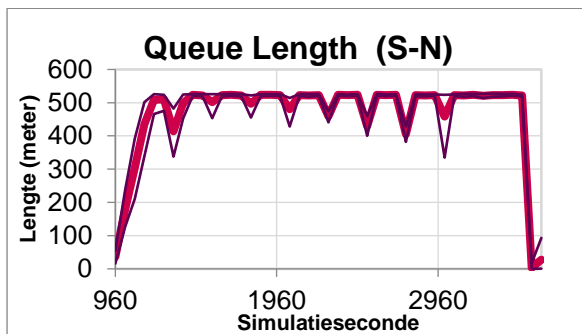


Figure 8: Queue length traffic in north direction without synchronization

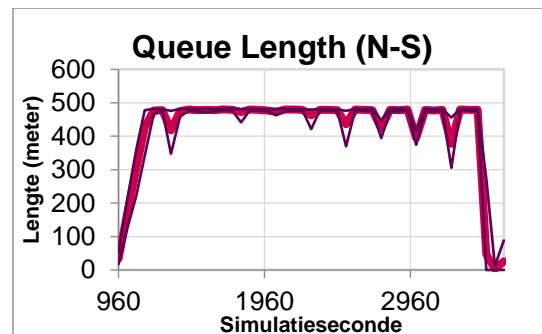


Figure 9: Queue length traffic in south direction without synchronization

Then synchronized crossing is applied, the queueing looks quite different as can be seen in Figure 10 and Figure 11. The red lines are the average queuing lengths over ten runs while the thinner purple lines show the minimum and maximum of the ten runs. After most closings the queues can be dispersed completely, and the average queue length has almost halved. A possible reason for this could be that when applying synchronized crossing there are less closings in an hour and thus more time for the queue to dissolve. Also, sometimes the duration of a closing can be shorter because trains use the crossing at the same time instead of closely after each other. The last would result in a closing time longer than the average sixty seconds per closing in the model.

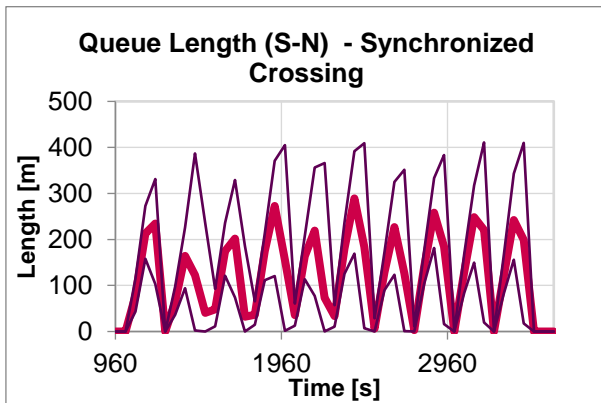


Figure 10: Queue length traffic in north direction without synchronization

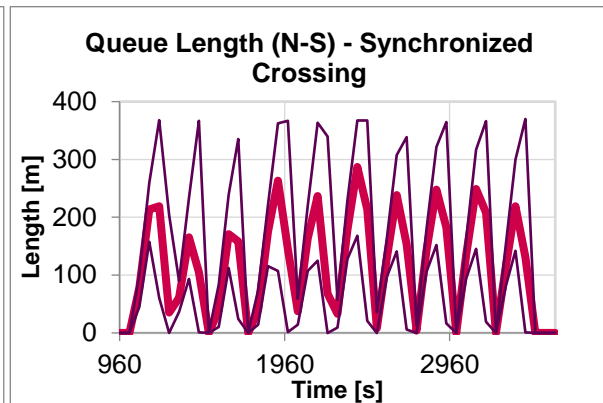


Figure 11: Queue length traffic in south direction without synchronization

Figure 12 shows the queue length for 30 km/h, 40 km/h and 60 km/h. As stated earlier after 60 km/h the closing time remains the same which means that the queue length graphs also look similar. The speed in the basic synchronization scenario is 50 km/h. The graph of 30 km/h shows that after most of the closings, the queue does not disappear completely. The reason for this is that the closing time is slightly higher than at 50 km/h. The number of remaining cars in the queue however is statistically smaller than in the scenario without synchronization. At the lowest point only 10 cars remain in the queue.

Surprisingly, in the 40 km/h graph the queue dissolves completely after eight of the ten closings. This is more than in the 60 km/h scenario while the closing time is higher. The reason for this could be that because of the higher speed, the level-crossing closes earlier. Regular traffic has then slightly less time to use the crossing.

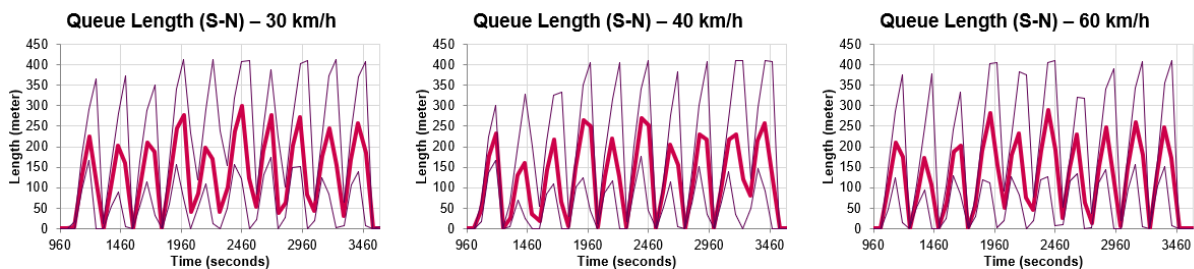


Figure 12: Queueing in north direction for the speed parameter

The metro length is the second parameter for which the queue length has been determined. In Figure 13 the queue length for 40 meters and 100 meters can be seen. The figures for the other metro length scenarios can be found in the appendix. The minimum and maximum queue length is for both scenarios the same. The difference is that for the 40 meters scenario, the queue dissolves more times. In the 100 meter scenario the queue dissolves 40 percent of the time while for the 40 meter scenario the queue dissolves 60 percent of the time. Therefore it can be concluded that shorter trains are more desirable when improving the traffic flow.

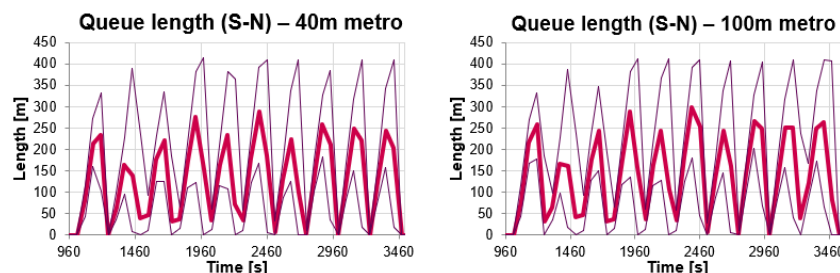


Figure 13: Queueing due to changes in metro length

To determine the effect of the distance between the platform and the crossing the two most extreme values are compared which can be seen in Figure 14. Again the graphs of the average queue length are similar. The left graph below has fewer queues that do not dissolve which can be let back to the lower closing time. Large deviations between the two distance values cannot be found.

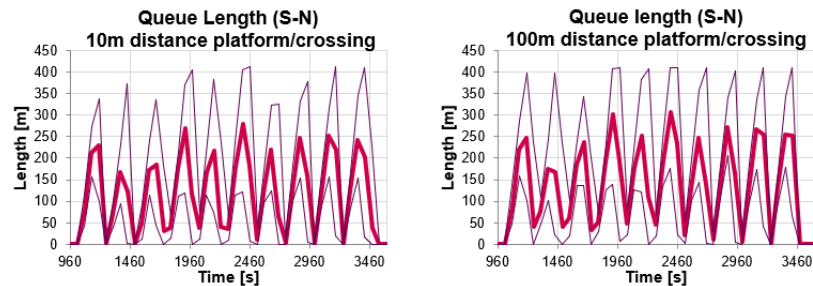


Figure 14: Queue length for regular traffic due to distance between platform/crossing

### 5.1.3 Travel time results

When the level-crossing is open and there are no other obstacles such as traffic signals, the desired travel time of the car should be around 45 seconds. The desired travel time is calculated with the speed of the traffic and the length of the travel time measurement.

In Figure 15 the travel time is shown for each direction of the car and metro. As results of the queueing the travel time of the car is far higher than the estimated 45 seconds. During the first closing a queue appears which cannot disappear completely before the next closing. Therefore, the travel time keeps increasing until the maximum queue length is reached.

On the other hand, in the synchronized crossing scenario the travel time for both traffic directions looks at first glance extremely low. The average travel time is calculated every five minutes for all vehicles which travelled through the system. There is no constant queue which adds to the travel time. Without a constant queue more vehicles can travel through the system but when the moments that a queue dissolves completely varies per run. For this reason the bandwidth is greater in the scenario with synchronization.

However, in the scenario without synchronization the travel time for metro's is on average lower. The travel time measurement starts when the metro enters the system and stops a few meters after the level-crossing. This also explains the 20 seconds difference in the two left metro graphs. Namely, the track on the east side of the model is longer.

In the scenario with synchronization, it is the other way around. Here the travel time of the metro from the west side is longer. This is because the metro enters before the metro in opposite direction and therefore has to wait at the platform.

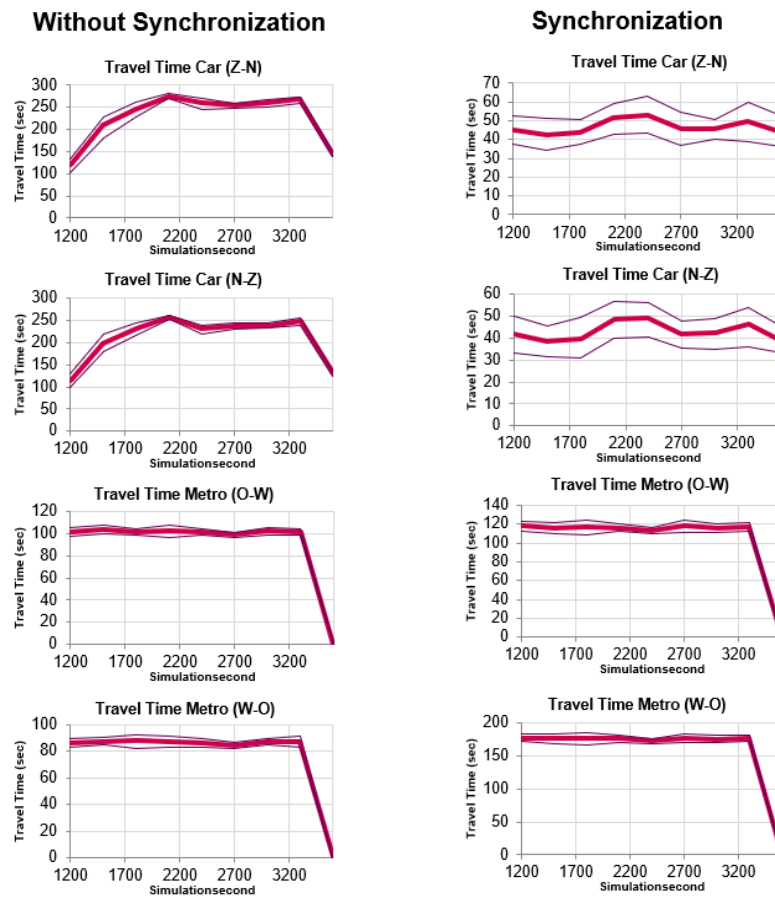


Figure 15: Travel time results of scenario without synchronization for car and metro

Figure 16: Travel time results of synchronization scenario for car and metro

### 5.1.4 (Congestion) delay

The last model output is the congestion delay. This is the delay caused by overloaded intersection such as an overloaded level-crossing (Mathew, 2019). As for the other three MOEs first the scenarios with and without synchronization are compared. The delay results for these two scenarios are shown in Figure 17 and Figure 18.

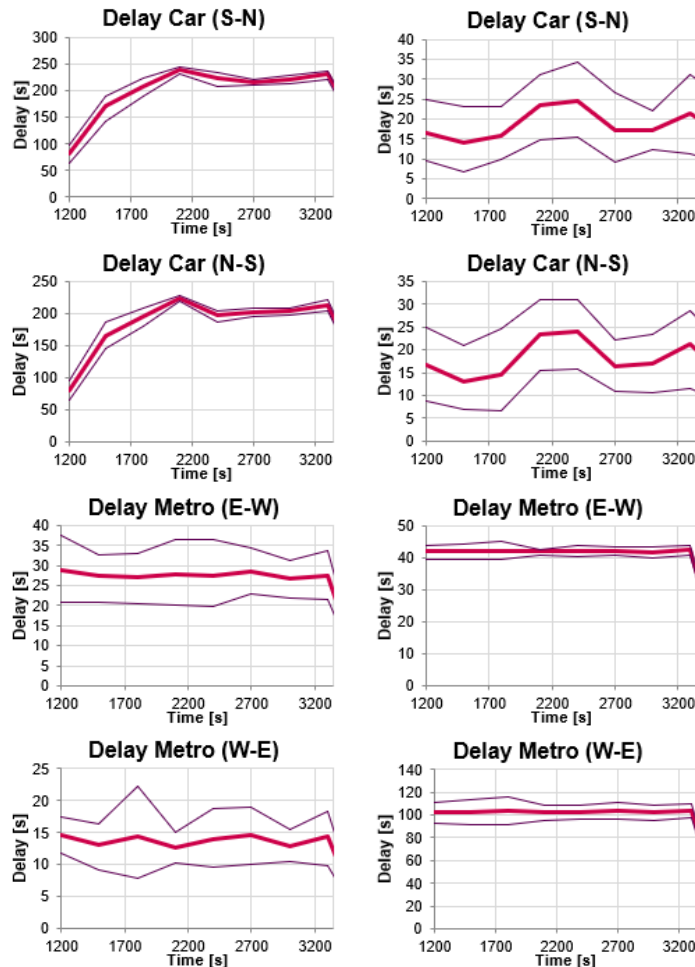


Figure 17: Delay results for car and metro for scenario without synchronization

Figure 18: Delay results for car and metro for scenario with synchronization

The graphs show that without synchronization the delay for regular traffic is between 2 and 4 minutes. At train crossing a limit for the closing time has been set on 5 minutes (Murtas, 2022). The reason for this is that people will get impatient and will ignore the closed beams. After the 5 minutes the crossing goes into failure which means train traffic will have to pass the crossing at walking pace. As can be seen from the results the delay for regular traffic is not far below these 5 minutes. For the scenario with synchronized crossing the delay is extremely shorter than without it. Here the delay due to closings is on average 15 seconds but the minimum and maximum vary more. For instance, the chance that the delay is longer, is higher than in the scenario without synchronization but the maximum is only half a minute.

The delay for the metro is longer in the scenario with synchronization. This is mainly because the metro from the west-side has to wait on the metro from the east-side.



The different parameters have also been tested for their influence on the delay. The delay for the metro remains the same for each parameter which is why only the delay of the car is being discussed in this part. All the figures for the metro delay can be found in the appendix.

The speed parameter will be discussed first. For the same reason as for the queue length results, the figures for 30 km/h, 40 km/h and 60 km/h are used. When the speed increases it is expected that the delay decreases. As can be seen in Figure 19, this is not the case. The delay is lower when the speed is lower. The reason for this is that the level-crossing closes a few seconds earlier when the speed is higher because the metro will reach the crossing earlier. Comparing the three speed graphs with that of the 'base' synchronization graph from Figure 18, the average delay line is almost identical. Therefore, it can be concluded that changing the speed does not decrease the delay further.

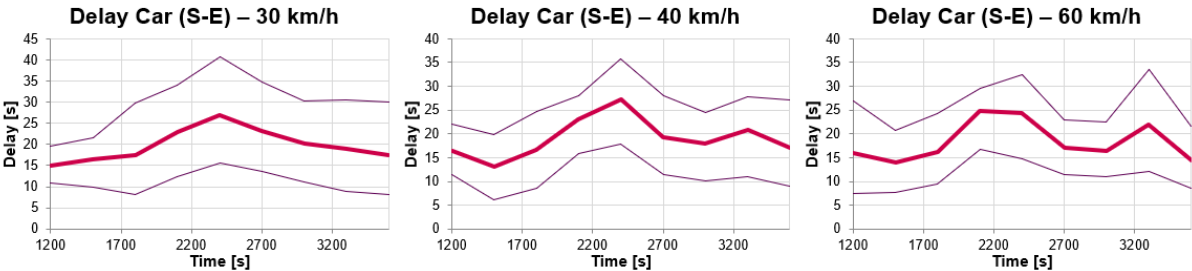


Figure 19: Delay changes of speed parameter

The next parameter that is tested for its effect on the delay, is the metro length. Figure 20 shows the increase in delay for a metro length of 40 meters and 100 meters. The reason only these two values are shown is because the increase in delay is very small compared to the increase in metro length. The increase is at most 5 seconds which means that the metro length does not have much effect on top of applying synchronization.

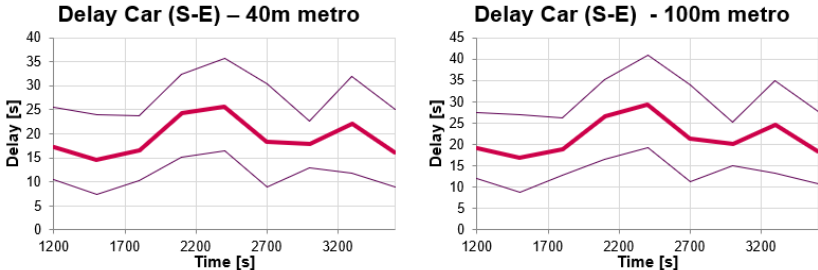


Figure 20: Delay of regular traffic due to change in metro length

The last parameter that needs to be discussed is, the distance between the platform and the crossing. This has been simulated for 10 meters up to 100 meters as shown in Figure 21. For the same reason as with the metro length, only the minimum and maximum tested values are discussed. Again the minimum, maximum and average delay value differs 5 seconds. Therefore it can be concluded that the distance between the platform and crossing also does not have a significant decreasing effect on the delay.

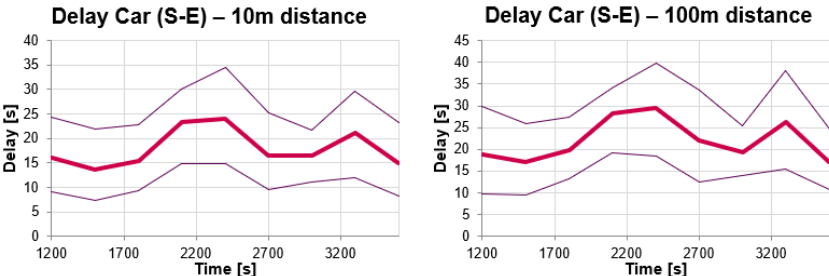


Figure 21: Delay of regular traffic due to distance platform/crossing

## 5.2 FEASIBILITY STUDY RESULTS

To determine the possibility of implementing of synchronized crossing, several interviews have been conducted. These interviews have been held with experts from the PT sector. Synchronized crossing has been studied for the metro as well as for the train. Therefore, the interviews have been conducted with people from ProRail and RET (Rotterdam metro). The results from these interviews are discussed in this section. The complete interviews can be found in the appendix.

### 5.2.1 Time scheduling

The train timetable is revised every year because ProRail receives requests from rail operators to use the track every year (ProRail, 2022). As a result, the capacity changes annually. In addition, it is expected that the train network will have to run at higher frequencies in order to be able to handle the growth in passengers. That is why ProRail is already working on the 2030 timetable (Treinreiziger, 2019).

The timetable for the RET bus, tram and metro is normally coordinated with MRDH (client) before the summer holidays of the previous year and then worked out (RET, 2023). This is slightly shorter in advance than with the train timetable.

When making the timetable, various preconditions are taken into account. These preconditions are, for example, layover times, follow-up times on the route section and transfer times at the junction stations (Weeda, 2022). For trains, there is a 7% buffer time in the timetable. Therefore, a long route has a slightly larger buffer time than on a short route. With the metro, buffer time is only scheduled at important junctions. The buffer time will then be 15-45 seconds. This makes the timetable a large puzzle.

It makes it also difficult to introduce shifts in the timetable. For example, by making a metro wait longer. This may be at the expense of a changeover with another train. In addition, tight scheduling causes a loss of punctuality. For both the metro and the train, 0 to 2 minutes is considered on time.

### 5.2.2 PT priority

At the moment PT has full priority. That is why it always has priority over other road users. This does not mean that, for example, that changeover of passengers is not taken into account. Sometimes it is more profitable to have departing train wait until the delayed train has arrived. This way passengers are able to make a transfer. If this is less than a minute, it's a valuable way to accommodate changeovers for passengers because the train make up for lost time.

In addition, the delay for individual transport such as the car or bicycle, is different than that of PT. Waiting one minute for a level crossing is for a car only one minute. Delays for PT passengers can increase a lot because there is a chance of missing a changeover to another train. This can amount up to fifteen minutes or even half an hour.

This problem is greater with the train than with the metro. The reason for this is that metros run more frequently. In particular, changeovers between train and metro and vice versa are taken into account (RET, 2023).

### **5.2.3 Closing time level-crossing**

The crossing length of a level-crossing determines the location of the announcement point for the train. The moment a train is detected, the level crossing lights must first be switched on and the barriers closed. This takes about twenty seconds. After that, the train has to arrive and pass the crossing. The entire cycle takes at least forty-five seconds. When the train is not at its maximum speed because it is for instance departing from a station, the closing time is more than a minute.

Several attempts have been made to shorten the closing time. For safety reasons, the level-crossing closes before the train is ready to depart. This means that the doors can only close when the level-crossing is closed. Nowadays, a 'counter' is installed. The interlocking system knows that the level-crossing must close and the signal must turn green after fifteen seconds. The system then counts down and the departure process of the train can be initiated. All doors may be closed except the one where the conductor is standing. This method reduces the closing time by fifteen seconds. However, it must be taken into account that this is not part of the aforementioned cycle time.

### **5.2.4 Interlocking systems**

In order to apply synchronized crossing, the interlocking systems must be able to detect which train is where. With the current technology it is a lot more difficult because the train location signals have to be retrieved from the track. This technique is not completely developed yet. Currently, track sections are used. A train runs over a certain section and it causes a short electrical circuit between the two rails. A relay is an electromagnetic operated switch. When a relay closes it indicates that there is a train on a certain section.

For synchronized crossing, a GPS or loop must be used to indicate how far each train is. The loop indicates where which train is so a train can speed up or slow down. Trains can travel closer behind each other. The use of sections makes detecting the precise location of a train technically difficult to implement.

## 6. DISCUSSION

There are some discussion points regarding the model and the results from the research. These points are discussed in this section.

The level-crossing is simulated for a scenario where it has reached the traffic volume capacity. The traffic intensity value was chosen by trial- and error. The intensity value that ensured that the queues did not dissolve before the next closing, was eventually used. The simulation is thus based only on model values instead of real-life values retrieved through observation. This makes the results less verifiable. For future research it would be recommended to use observational data to see if the results are similar.

Each simulation was based on one 'peak hour'. In reality morning and evening peak hours are two hours. Besides the relatively short simulation runs, the warming-up was also included in the peak hour simulation. This means that effectively only 45 minutes of the simulation could be used in the research. The results from this research are still justifiable because each simulation consisted of ten runs. However, it would be an improvement to run the simulations for two hours excluding the warming-up and cooling down period. This makes the results more reliable when looking at factors such as the queue length or waiting times.

Lastly, the limitations of implementing synchronized crossing have been determined through interviews. The interviews have been held with people from two different companies. One was a metro operator company while the other manages the infrastructure network for trains. While the acquired information was reliable, the quantity of interviews could have been higher. Interviewing more operators could provide different perspectives or confirm the information that has already been given. Now, the research depends mostly on one specific source.

## 7. CONCLUSION

Synchronized crossing is being researched as possible solution for level-crossings where the traffic intensity is too high. This results in problems with the traffic flow such as long waiting times. For this study a synchronized crossing scenario was compared to the real-life situation which is without synchronized crossing. As expected, synchronized crossing halves the closing time of the level-crossing.

From the average queue length of ten 'normal scenario' runs, it became clear that when the level-crossing is overloaded, the queues do not dissolve in time for the next closing. This results in waiting times of several minutes. When synchronized crossing is applied, this can be decreased to a situation where queues disappear completely or are significantly smaller after reopening of the crossing.

The influence on synchronized crossing of the following four parameters was also tested: metro length, metro speed, platform length and the distance between platform and crossings. The difference in the closing time for all the simulated scenarios was only a few seconds. It can be concluded that neither of these parameters can influence the effect of synchronized crossing significantly as the figures for the queue length and travel time are quite similar.

When looking at the feasibility of implementing there were several factors that were important. These factors are the interlocking system at level-crossings, policy and time scheduling. The current interlocking system works with track sections which are hundreds of meters long. This makes it difficult to track the precise location of each train which is necessary for synchronized crossing. When implementing synchronized crossing a form of GPS tracking or looping is necessary.

The question of decreasing the PT priority should be a well thought through choice. That needs to be considered for every level-crossing case separately. On the one hand it is an effective method to solve capacity problems at level-crossings. Delay for regular traffic is decreased drastically from several minutes to tenths of seconds. On the other hand the chance of delay for PT increases. In that case the consequences are much greater. This can lead to the missing of changeovers which can increase a delay of a few minutes to a delay of fifteen or thirty minutes.

Lastly, the largest problem when considering implementation, is time scheduling. The time buffer for train and metro timetables is measured out in seconds. This means that adding thirty seconds waiting time to a schedule can result in a loss of punctuality. It also means that some changeovers with other trains disappear.

To answer the main question: *"To what extent does 'synchronized crossing' with halting at staggered platforms improve the traffic flow at level-crossing which have reached the maximum capacity and what is the feasibility of implementing synchronized crossing in regard to safety (systems), time scheduling and policy in the Netherlands"*.

It can be concluded that while synchronized crossing is an effective method to reduce the queues at level-crossings, it only solves the problem at a specific location. Other problems will arise further in the network and the PT network will be less reliable. It is also a hard method to implement due to fact that GPS tracking is not commonly used in the Netherlands but the main limitation is the extra waiting time which does not fit in the time schedule.

## 8. RECOMMENDATIONS

As the research was conducted in ten weeks, not all aspects could be investigated. Therefore, further research is recommended, as stated in the discussion. This chapter describes future research which could add to or improve this thesis.

### 8.1 DELAY

In real-life public transport experiences delay. This delay could be the result of technical difficulties. This could be the reason that a metro arrives later to the next stop. Another source of delay could be the passengers itself. The stop time at the platform will in that case be longer.

In the level-crossing model, delay for the metro has not been taken into account. For future research a scenario could be made that does include delay for public transport. It can then be determined when the waiting time is too long for the other metro that synchronized crossing becomes ineffective. This could be done separately for the delay caused earlier on the route and delay caused by a longer stop time at the platform.

### 8.2 INTERLOCKING

One of the limitations is that the existing interlocking systems are not equipped to determine the precise location of each metro. The research made clear that GPS tracking or loops are necessary to implement synchronized crossing. Further research on how GPS tracking could be implemented would possibly be one step closer to implementing synchronized crossing. At the moment, research is done on how to implement the European Rail Traffic Management System (ERTMS) in the Dutch rail network. This system uses telecommunication. The potential of this system combined with synchronized crossing could be an interesting future research.

## 9. REFERENCES

- Andress, J., & Winterfeld, S. (2014). Cyber Doctrine. *Cyber Warfare*, 53-82.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124166721000040>
- De Keyser, O., Hillewaere, M., Audenaert, P., & Maenhout, B. (2018). Optimising the public transport priority at road intersections. *IET Intelligent Transport Systems*(12), 986-994. Retrieved from Intelligent Transport Systems.
- Feng, X., Mao, B., Feng, X., & Feng, J. (2011). Study on the maximum operation speeds of metro trains for saving energy as well as transport efficiency improvement. *Energy*, 6577-6582.
- Fretter, C., Krumov, L., Weihe, K., Müller-Hannemann, M., & Hütt, M.-T. (2010). Phase Synchronization in Railway Timetables. *European Physical Journal B*(77), 1-10.
- Mathew, T. (2019). *Measurements along a length of road*. Lecture notes in Transport Systems Engineering:  
[https://www.civil.iitb.ac.in/tvm/nptel/523\\_TrDensity/web/web.html#:~:text=Travel%20Time%20Delay%2D%20The%20difference,in%20addition%20to%20stopped%20delay](https://www.civil.iitb.ac.in/tvm/nptel/523_TrDensity/web/web.html#:~:text=Travel%20Time%20Delay%2D%20The%20difference,in%20addition%20to%20stopped%20delay)
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2014, maart 26). *Basis voor Nota Verkeerslichten*. Handvatten voor wegbeheerders om hun verkeerslichtenbeleid vorm te geven:  
[https://www.crow.nl/downloads/pdf/verkeer-en-vervoer/verkeersmanagement/basis-voor-een-nota-verkeerslichten-versie-1-2\\_tcm.aspx?ext=.pdf](https://www.crow.nl/downloads/pdf/verkeer-en-vervoer/verkeersmanagement/basis-voor-een-nota-verkeerslichten-versie-1-2_tcm.aspx?ext=.pdf)
- Murtas, C. (2022, 11). Gesynchroniseerd Oversteken . (A. van Hengstum, Interviewer)
- Nasuha, N., & Rohani, M. (2018). *Overview Of Application Of Traffic Simulation Model*. Researchgate:  
[https://www.researchgate.net/publication/323359102\\_Overview\\_Of\\_Application\\_Of\\_Traffic\\_Simulation\\_Model](https://www.researchgate.net/publication/323359102_Overview_Of_Application_Of_Traffic_Simulation_Model)
- Plantinga, T. (2016). *Ontwerpmethoden van Dienstregelingen, verkennend onderzoek naar de ontwerpmethodiek per fase in het planningsproces bij NS & ProRail*. Delft.
- ProRail. (2022, September 7). *Dienstregeling 2023: Groei en krimp tegelijk*. Prorail: <https://www.prorail.nl/nieuws/dienstregeling-2023-groei-en-krimp-tegelijk>
- ProRail. (n.d.). *Overwegen*. Retrieved from ProRail:  
<https://www.prorail.nl/veiligheid/overwegen>
- PTV Group. (2021). *VisVAP User Manual*. Retrieved from PTV Vissim.
- RET. (2023). Gesynchroniseerd Oversteken. (A. v. Hengstum, Interviewer)
- Scheffler, R., & Strehler, M. (2017). Optimizing Traffic Signal Settings for Public Transport Priority. *17th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems (ATMOS 2017)*(59), 9:1 - 9:15.  
<http://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2017/7900>
- Treinreiziger. (2019, March 28). *Dit is (misschien wel) de dienstregeling van 2030*. [treinreiziger.nl: https://www.treinreiziger.nl/dit-is-misschien-wel-de-dienstregeling-van-2030/](https://www.treinreiziger.nl/dit-is-misschien-wel-de-dienstregeling-van-2030/)

- US Department of Transport. (2007). Definition, Interpretation, and Calculation of Traffic Analysis Tools Measures of Effectiveness. *Traffic Analysis Toolbox*(6), 1-136.
- Weeda, V. (2022, 12 7). Gesynchroniseerd Oversteken. (A. v. Hengstum, Interviewer)
- Wu, J., Liu, M., Sun, H., Li, T., Gao, Z., & Wang, D. (2015). Equity-based timetable synchronization optimization in urban subway network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, pp. 1-18. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X14003179>
- Zamanipour, M., Head, L., & Ding, J. (2014, January). *Priority System for Multimodal Traffic Signal Control*. Researchgate: [https://www.researchgate.net/publication/267452749\\_Priority\\_System\\_for\\_Multimodal\\_Traffic\\_Signal\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/267452749_Priority_System_for_Multimodal_Traffic_Signal_Control)
- Zhichao Cao, A. (. (2019). Optimal synchronization and coordination of actual passenger-rail-timetables. *Journal of Intelligent Transportation Systems*(23:3), 231-249. doi:10.1080/15472450.2018.1488132



# APPENDIX

## A: FIGURES DELAY RESULTS

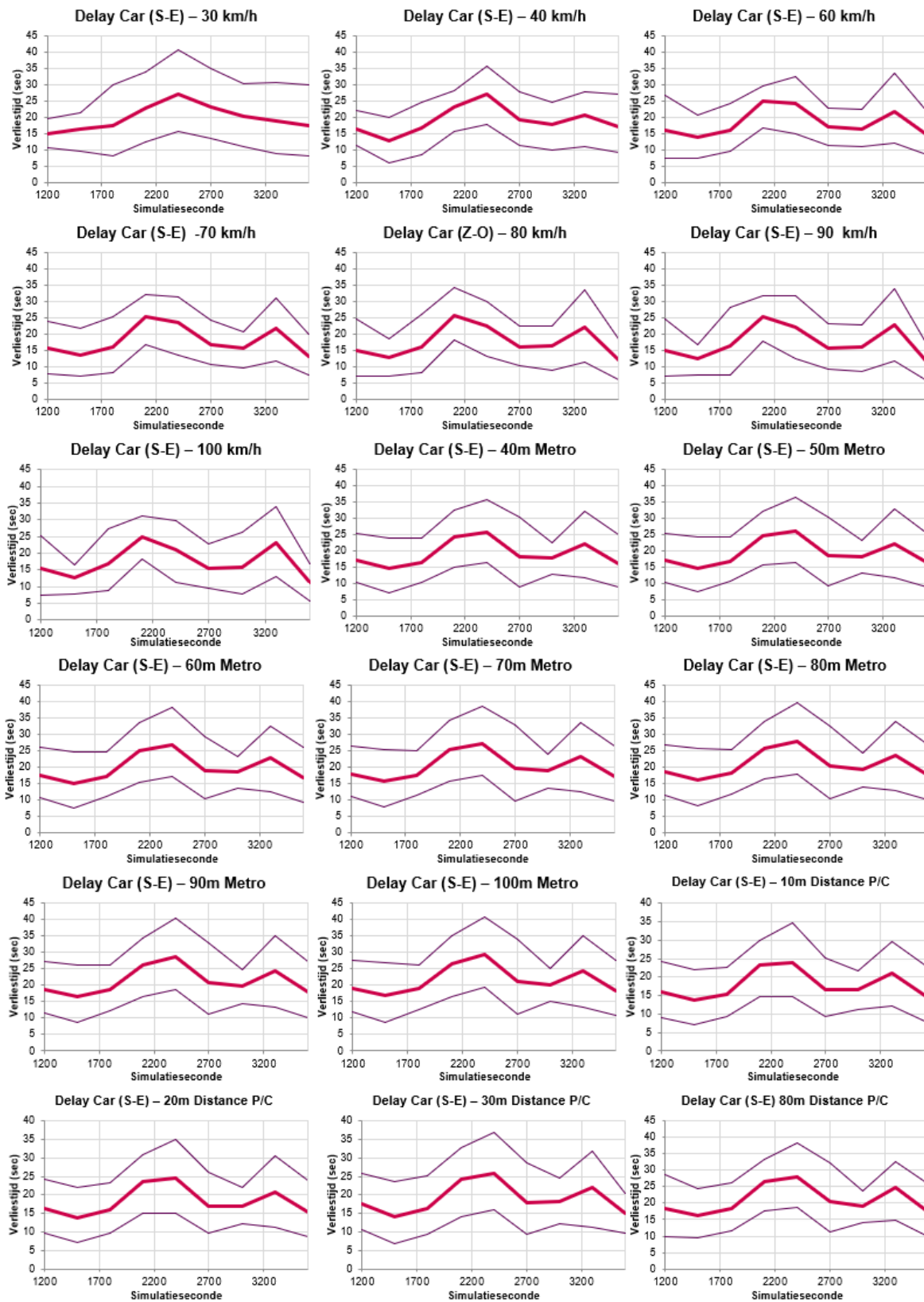


Figure 22: Delay car in east direction for all scenarios part A

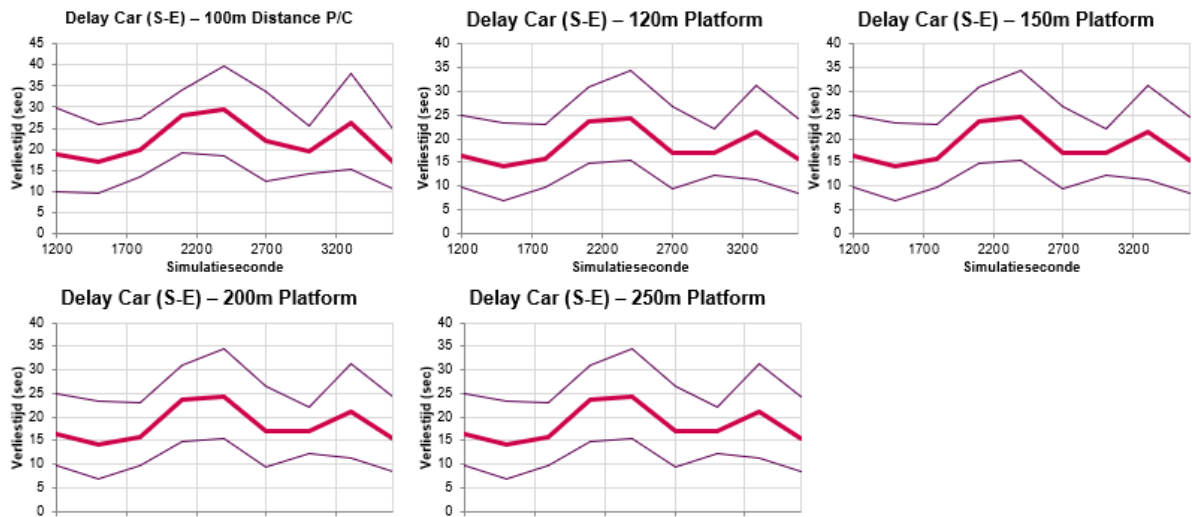


Figure 23: Delay car in east direction for all scenarios part B

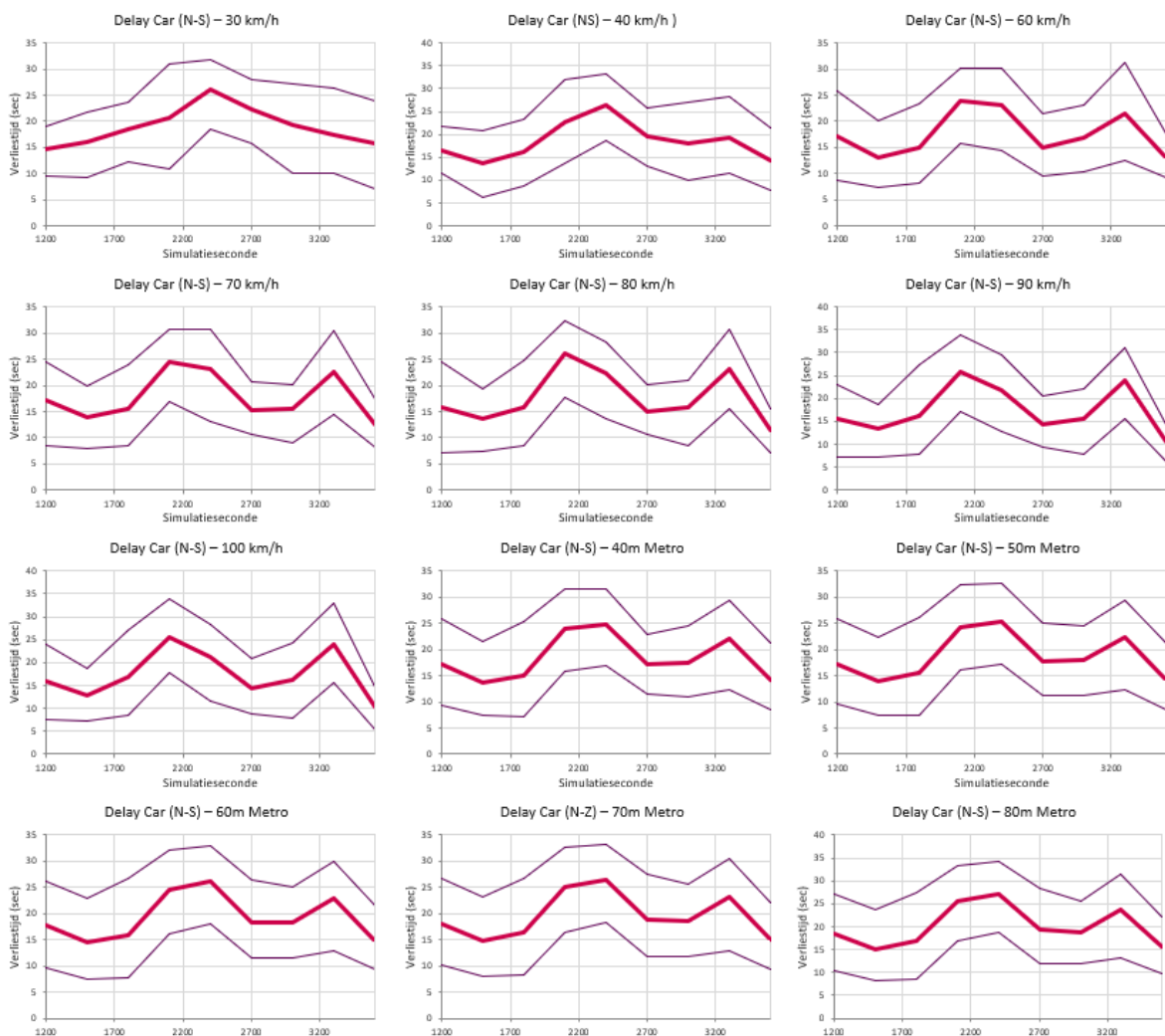


Figure 24: Delay car in south direction for all scenarios part A

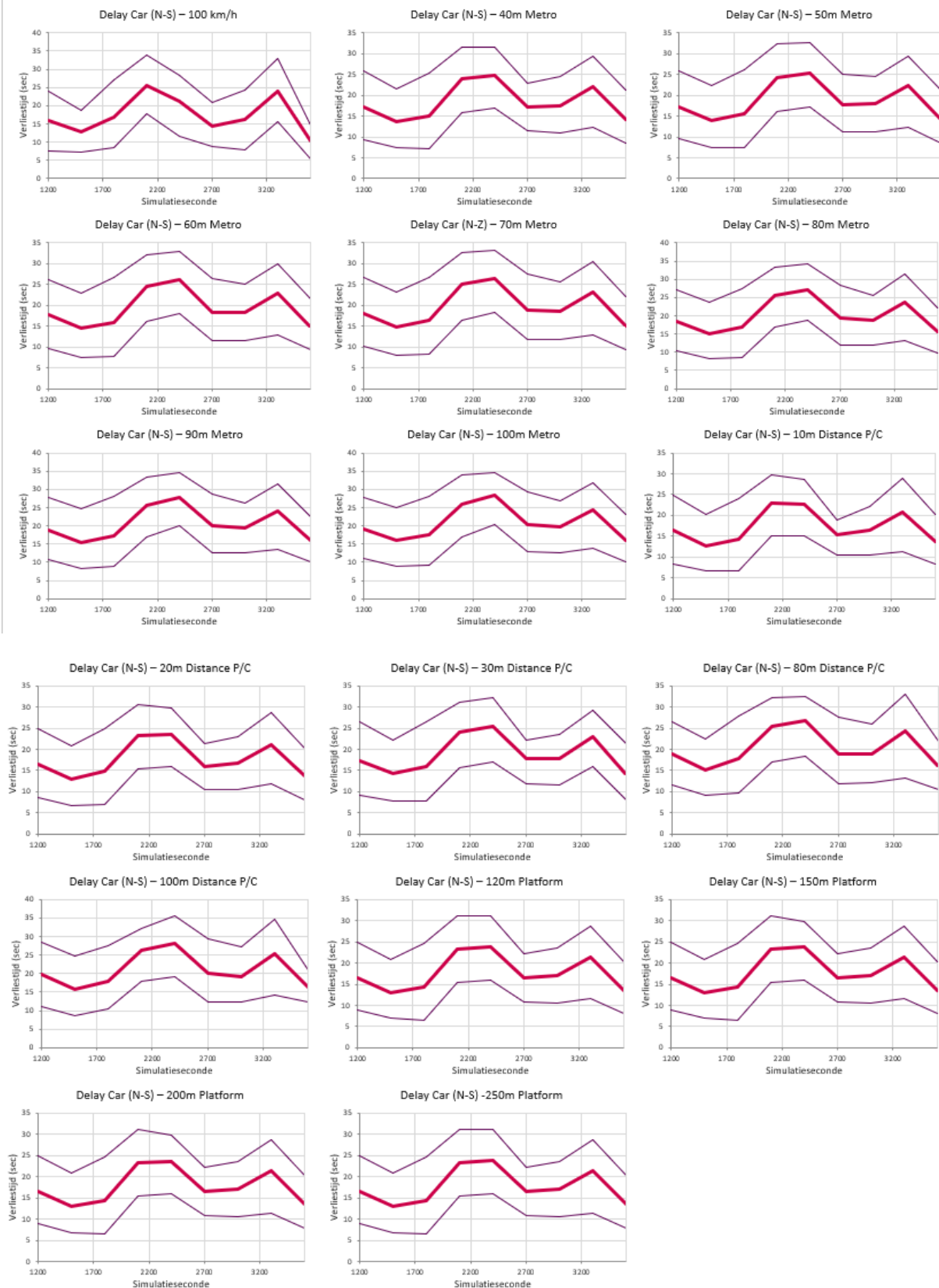


Figure 25: Delay car in south direction for all scenarios part B

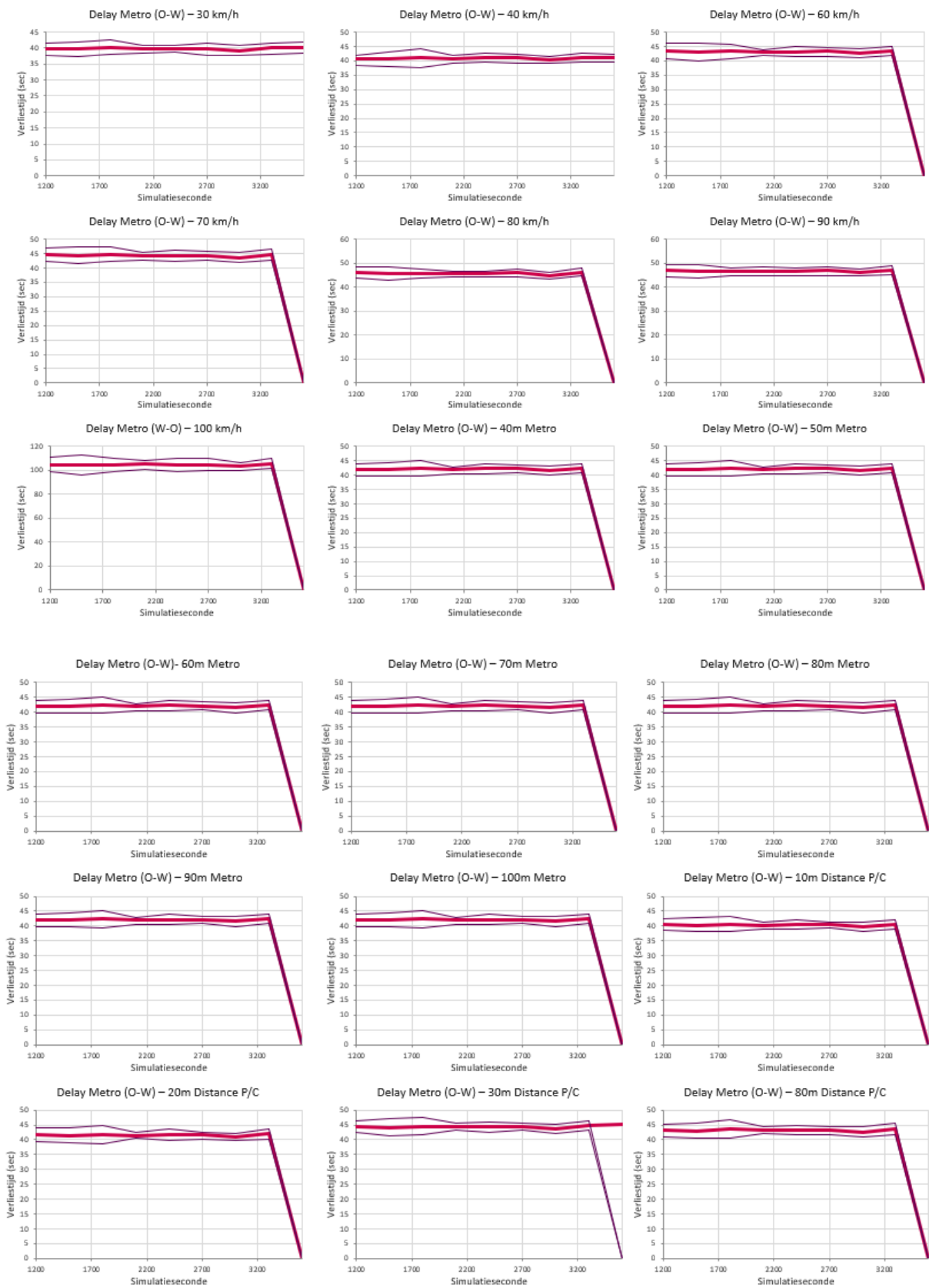


Figure 26: Delay metro in west direction for all scenarios part A

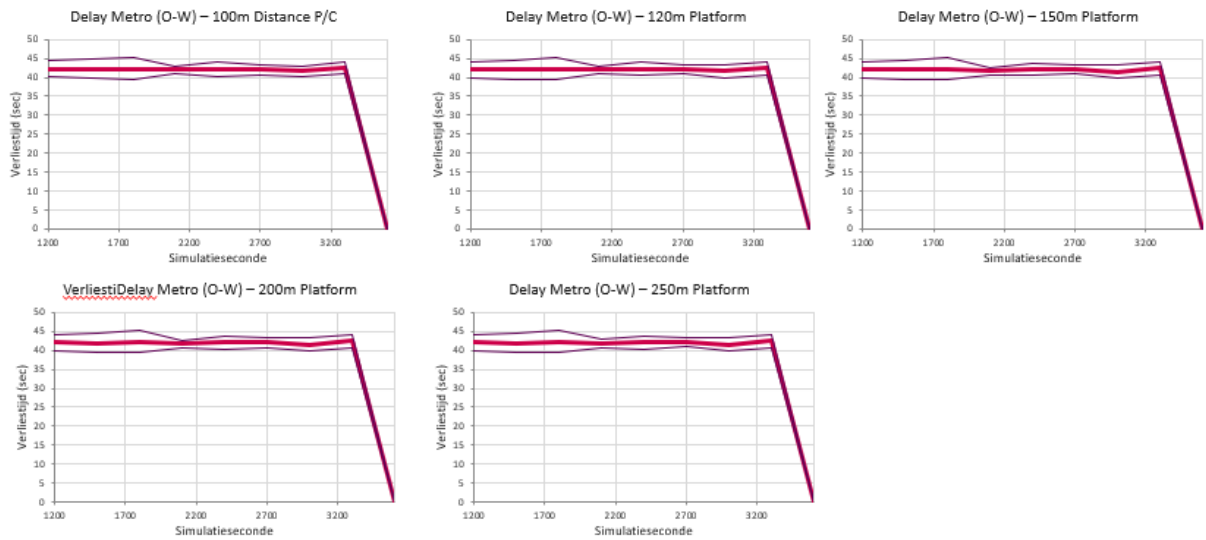


Figure 27: Delay metro in west direction for all scenarios part B

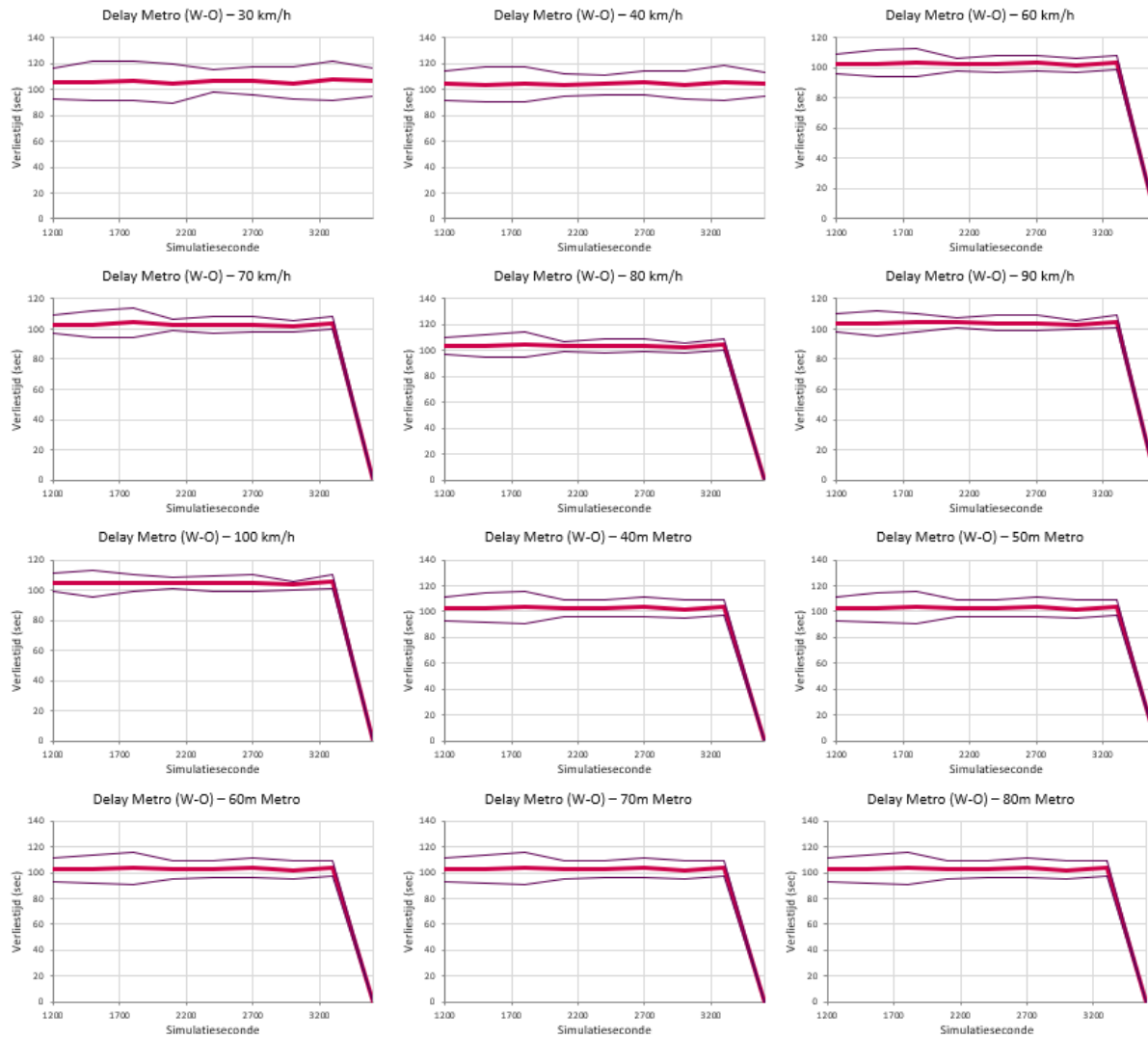


Figure 28: Delay metro in east direction for all scenarios part A

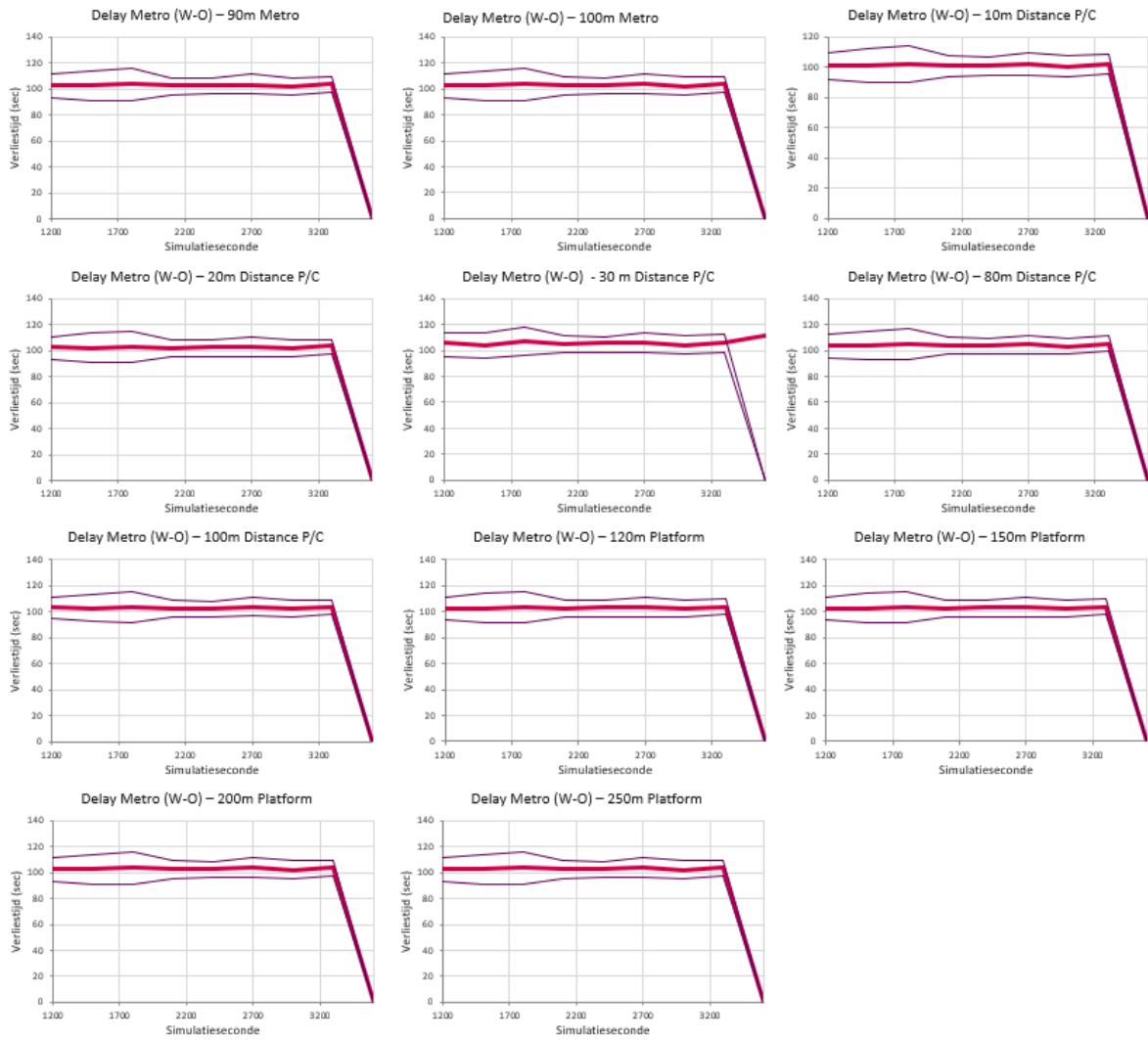


Figure 29: Delay metro in east direction for all scenarios part B

## B: QUEUE LENGTH FIGURES

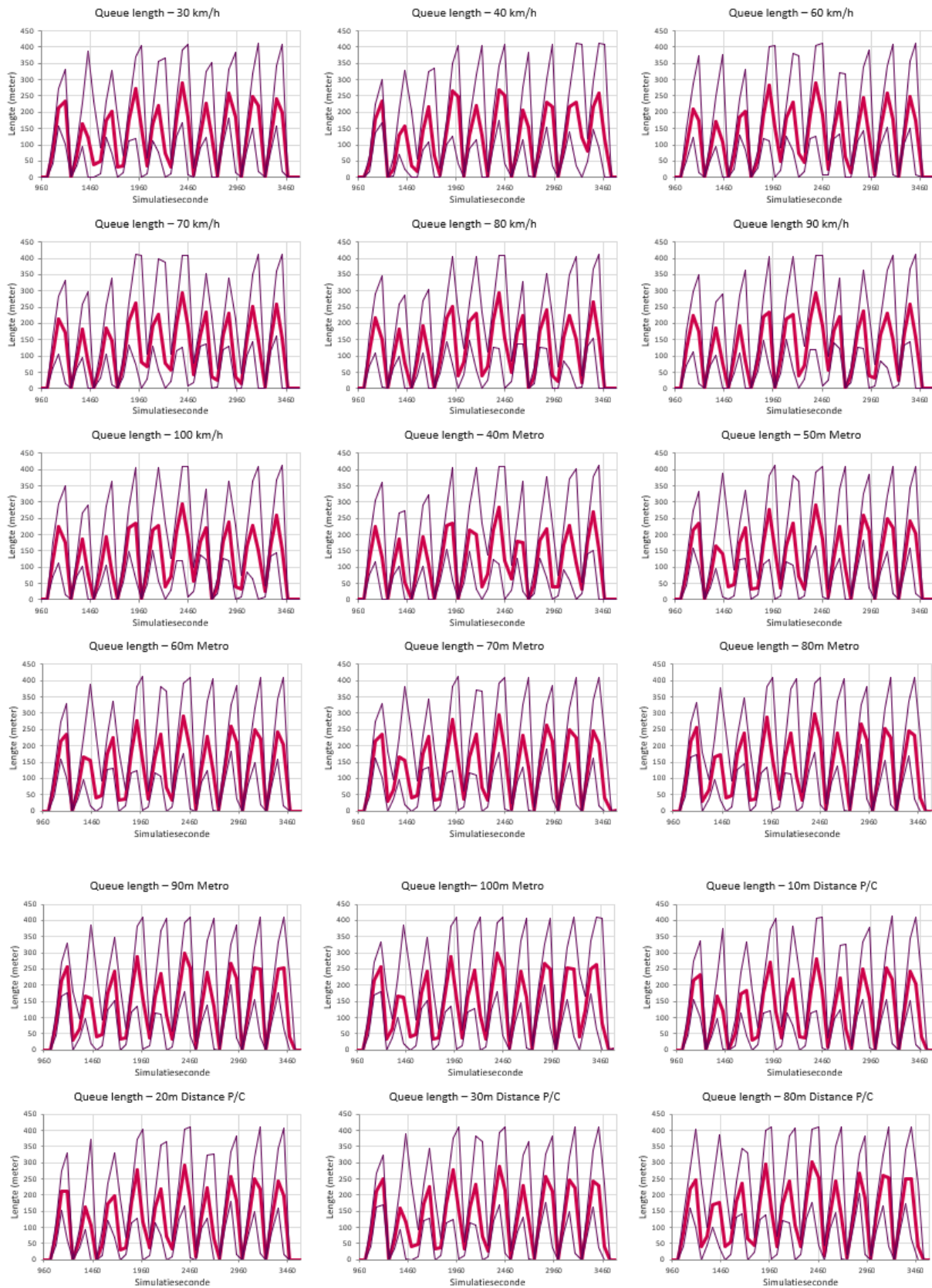


Figure 30: Queue length of traffic for all scenarios

## C: TRAVEL TIME FIGURES

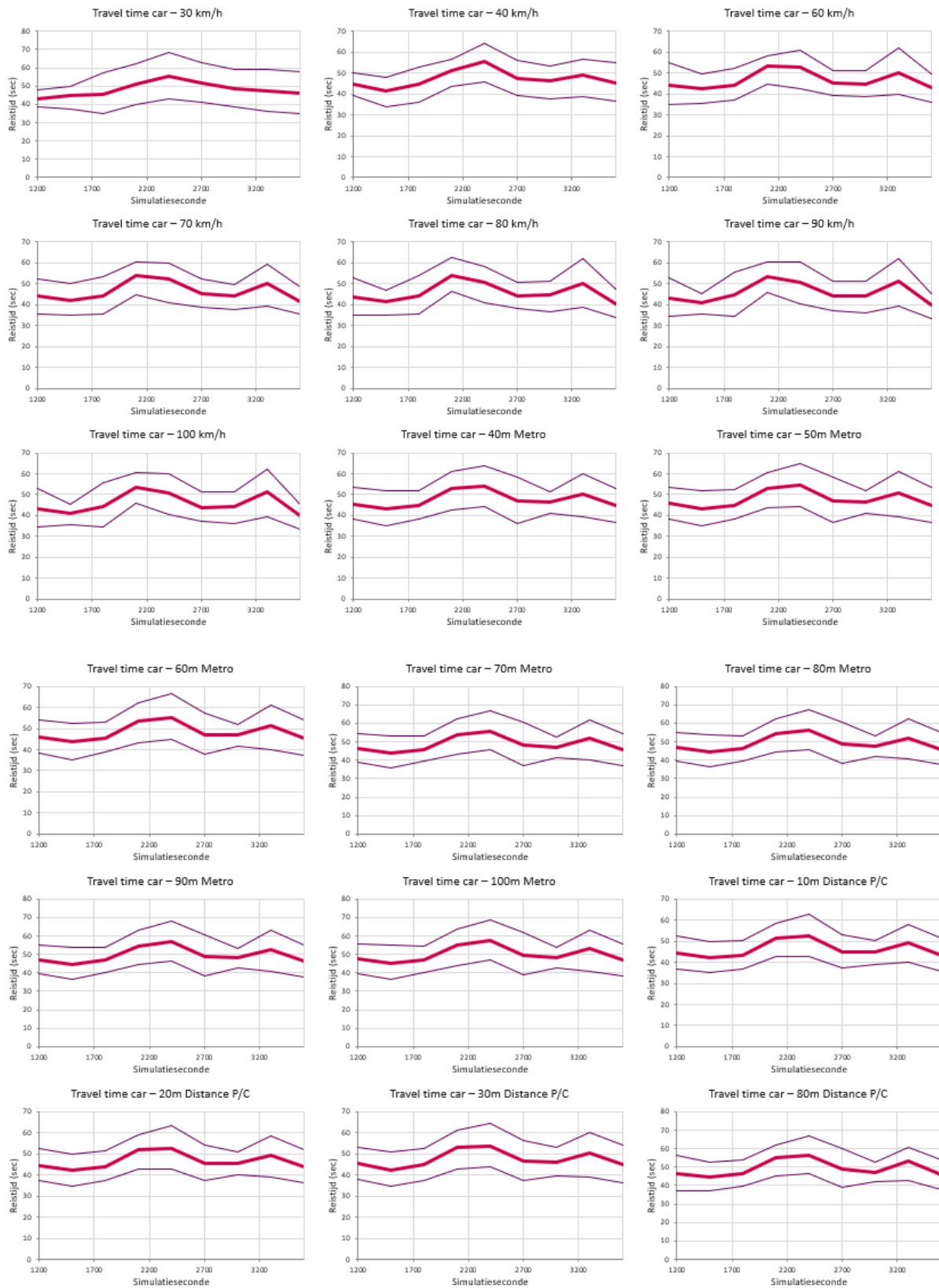


Figure 31: Travel time car for all scenarios part A



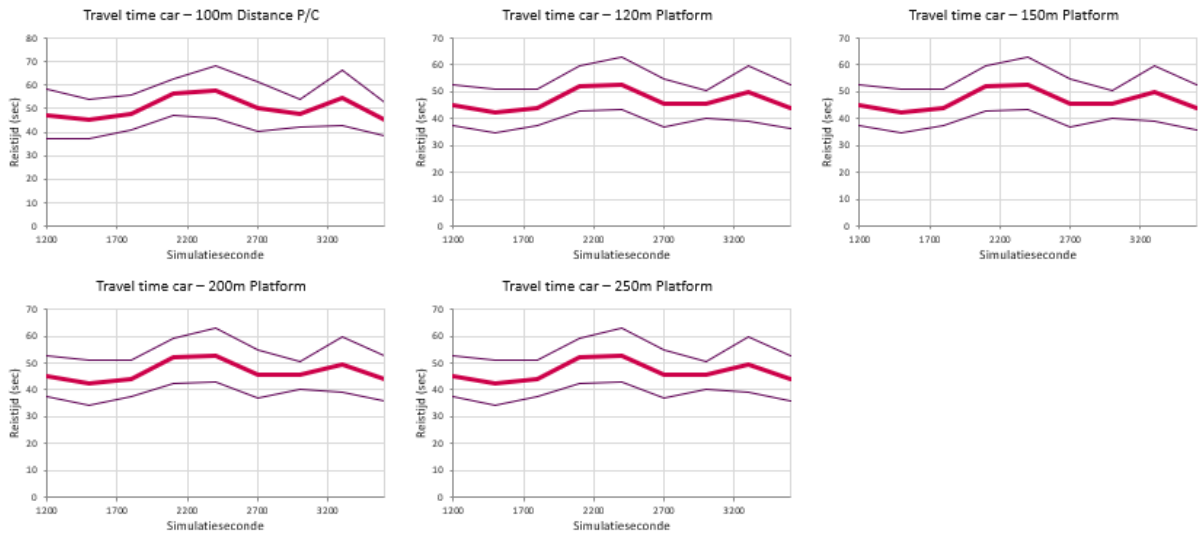


Figure 32: Travel time car for all scenarios part B

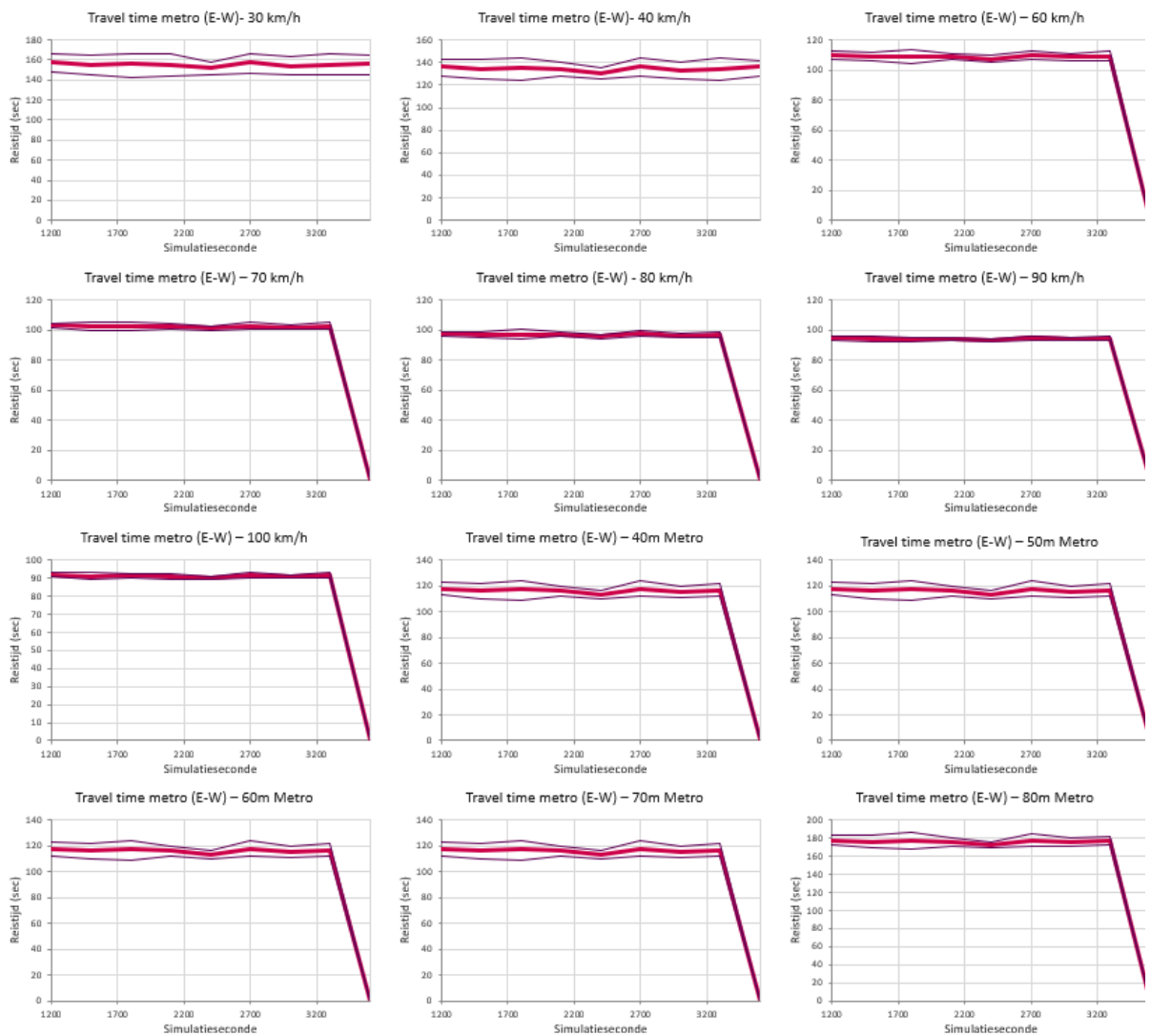


Figure 33: Travel time metro in west direction for all scenarios part A

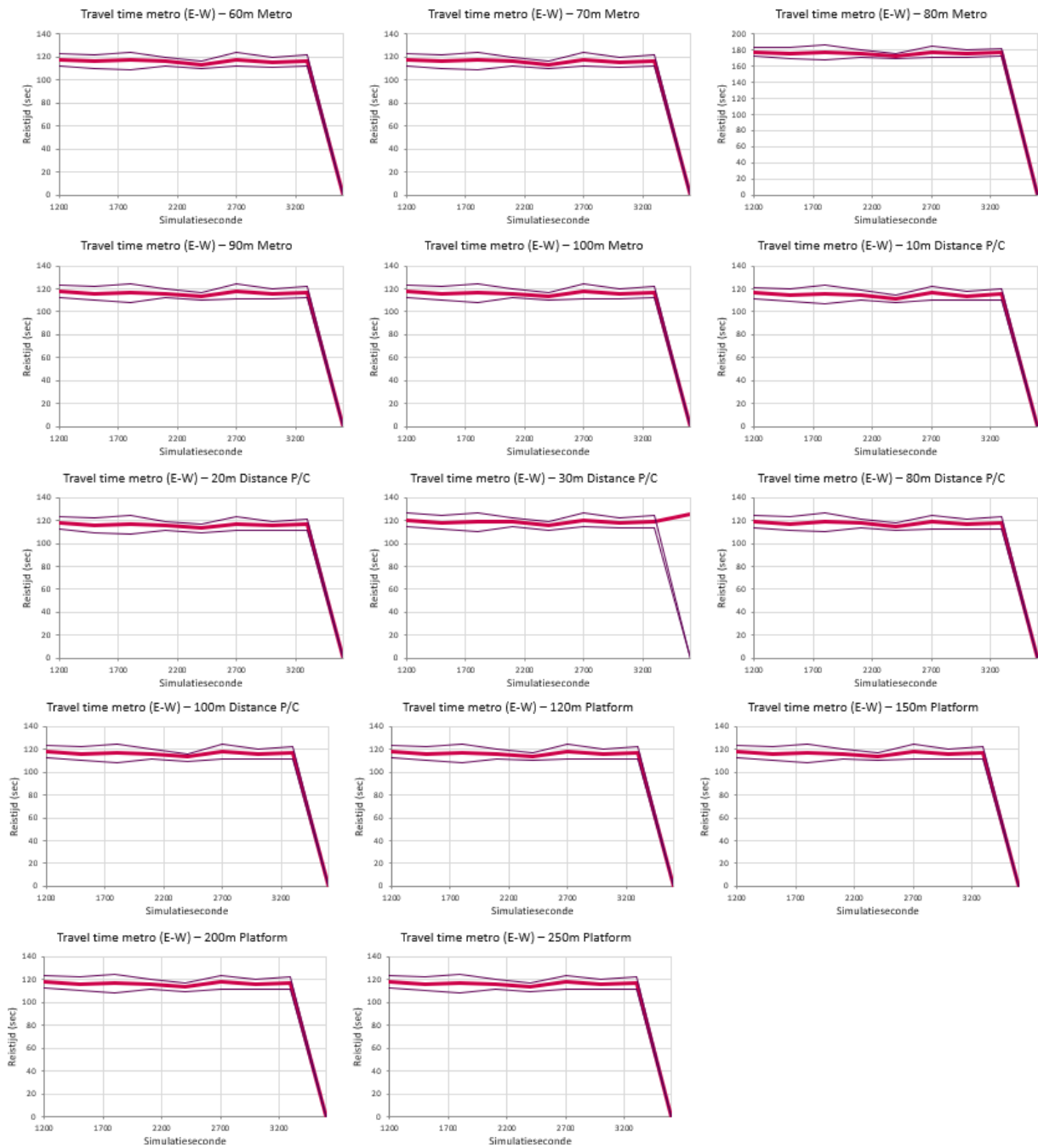


Figure 34: Travel time metro in west direction for all scenarios part B

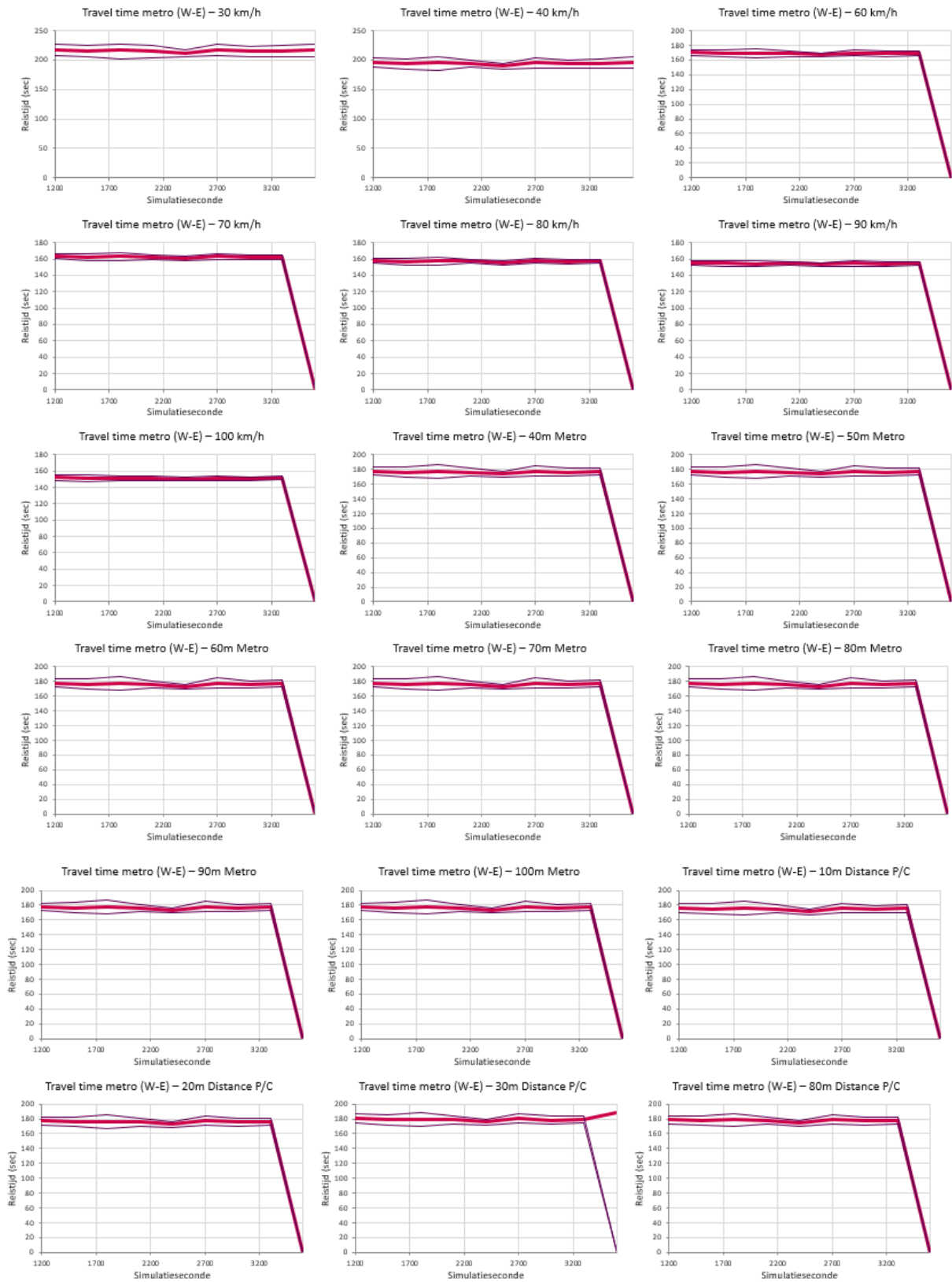


Figure 35: Travel time metro in east direction for all scenarios part A

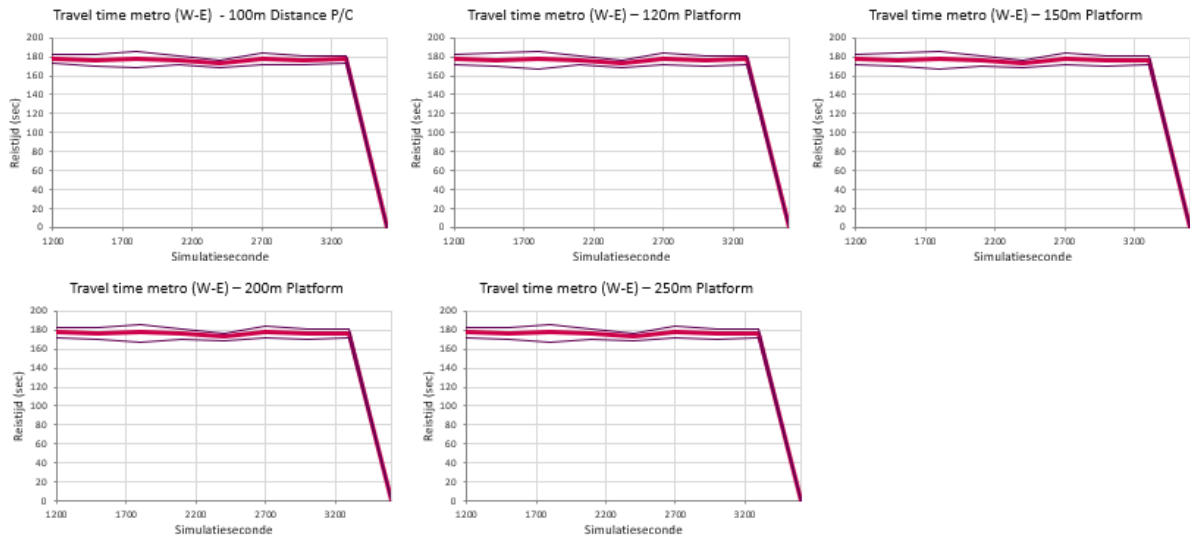


Figure 36: Travel time metro in east direction for all scenarios part B

## D: INTERVIEW C. MURTAS

### Algemene gegevens

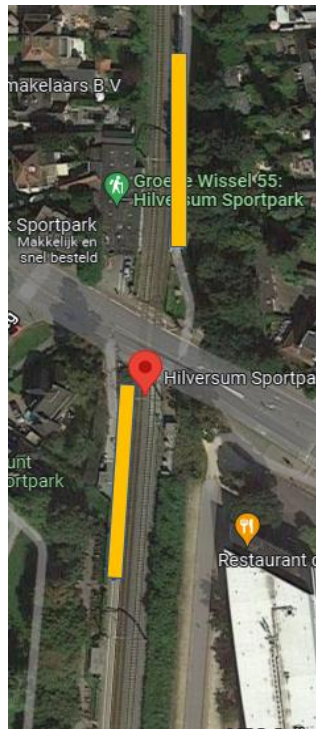
Naam: Carlo Murtas  
Functie: Vakdeskundige Overwegen - ProRail

### Hoe zit de dienstregeling in Nederland in elkaar? Het begin punt zit geloof ik bij Zwolle?

Nederland is eigenlijk een grote dienstregeling. Soms heb je doorgaande treinen of je moet een aansluiting halen waardoor een trein op een bepaald tijdstip moet aankomen zodat mensen hun aansluiting niet missen of ze moeten wachten. Het is een heel complex gebeuren. Want als je bijvoorbeeld kijkt naar een hele drukke baanvakken zoals in Noord-Holland en Utrecht dan wil je dat de trein op baanvaksnelheid kan passeren, want dan ligt een overweg het kortst dicht. De trein wordt gesignaleerd op het spoor, de oversteeklengte is bepalend voor het aankondigingspunt van de overweg. Eerst gaan dan de rode lampen aan, na 5 seconden dalen de bomen de bomen in 12 seconden naar horizontale stand. Vervolgens arriveert na een aantal seconden de trein bij de overweg. Die totaal tijd is afhankelijk van de oversteeklengte van de overweg. De kortste oversteektijd is rond de 21 seconden. Stel dat de baanvak snelheid 130 km/h is, dat is dan 36,11 m/s. Dat keer bijvoorbeeld 21 seconden oversteektijd is pakweg 760 meter. Dat betekent dat 760 m voor de overweg, het detectiepunt het signaal geeft dat de overweg moet gaan sluiten. Stel je voor dat de trein de overweg net is gepasseerd en van de andere kant komt een andere trein dan gaat de overweg even open maar gaat daarna gelijk weer dicht. Dit heet vlindergedrag. Het kan ook zo zijn dat de tweede trein zich aandient terwijl de ander nog in de detectiezone zit, dan blijft de overweg heel lang dicht.

Als je gewoon op baanvaksnelheid kan rijden is het ongeveer 21 seconden of meer (afhankelijk van de oversteeklengte) dat de overweg detecteert maar stel je hebt een halte in de buurt. Dan kan de trein niet met 130 km/h komen aanrijden. De trein remt dan af dus in plaats van die 21 seconden kan de dichtligtijd oplopen naar bijvoorbeeld 50 seconden of meer. Daarmee wil ik aangeven dat de dichtligtijd heel afhankelijk is van of je haltes hebt in de buurt van de overweg, de treinfrequentie, maar ook op basis van het uur patroon (hoe liggen de treinen in de tijd). Soms zijn de treinen netjes verdeeld over het uur maar soms heb je dat binnen een kwartier 5 à 6 treinen langskomen. Dat heeft ook consequenties voor de dichtligtijd.

**De casus die ik bekijk voor mijn onderzoek is een overweg met haltes in bajonetligging. Een van de punten waar ik ook naar kijk is veiligheid. Dus met betrekking tot doorschieten etc. Hoe groot is de kans dat het voorkomt of hoe vaak komt het voor bij dit soort haltes?**



De bajonet-ligging vanuit het spoor gezien ziet er als bovenstaand (Hilversum Sportpark) uit. Hiervoor is dan geen Stop/Door-schakeling nodig. Het gelijktijdig berijden van de overweg door vertrekkende treinen is dan niet mogelijk. Jij bedoeld de omgekeerde bajonetligging die we m.i. nu niet hebben. Bij een overweg na een halte wordt een zogenaamd Stop/Door-schakeling toegepast.

Doorschieten kan in de herfst voorkomen door gladde sporen als gevolg van vallende blaadjes. De trein zou dan door een rood licht kunnen glijden en een oen overweg benaderen/ betreden. Nadeel is dat als de trein te vroeg is en bij de halte blijft wachten tot het juiste vertrekmoment dan blijft zo'n overweg de hele tijd dichtliggen.

**Normaal gesproken heeft de trein altijd voorrang en door gesynchroniseerd oversteken toe te passen wordt dit minder. Is het wenselijk om die prioriteit op te geven en een trein te laten wachten.**

Door verwijzing naar collega -> Houdt zich bezig met treinprestaties. Kijkt of treinen conform dienstregeling rijden, waarom lopen ze vertraging op etc. Vinden van goede balans dat de treinen volgens dienstregeling rijden en dat de overweg kort dicht ligt.

**Wat voor beveilig systemen liggen er momenteel bij de overwegen?**

Je heb EBS (Elektronische Beveiliging Siemens) die wordt gebruikt voor emplacementen. Op emplacementen heb je veel te maken met wissels aangezien je met de rijrichting aan het werk bent. Dat is dus een soort emplacementbeveiliging. Langs de vrije baan heb je

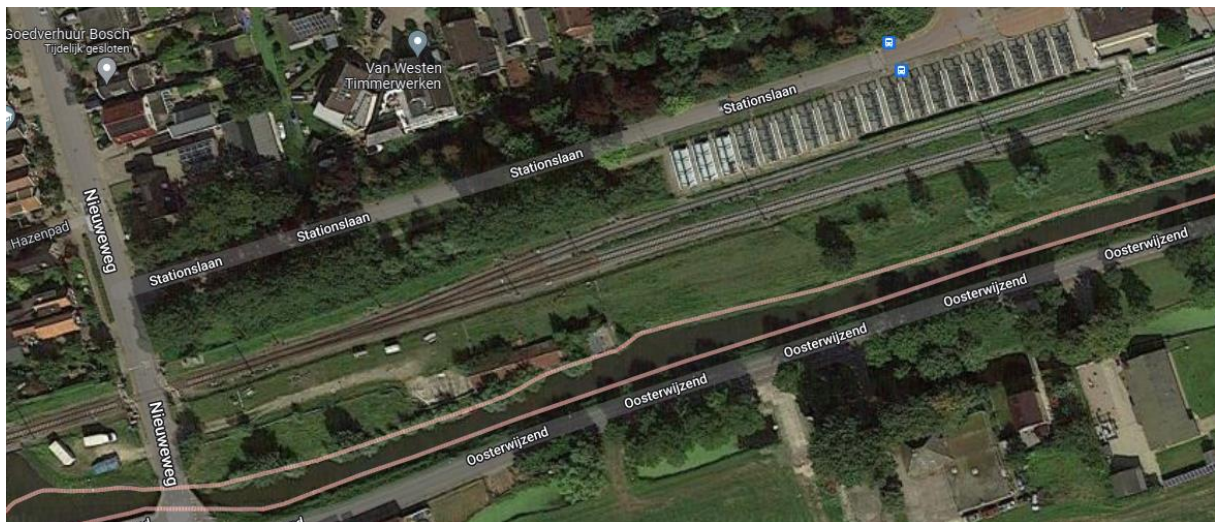
gewoon vrije baan beveiliging. Of eigenlijk linkerspoorbeveiliging of vierdraads APB. Maar ik weet niet of je daar iets mee kan eigenlijk.

### **Ik vroeg me vooral af je qua beveiliging überhaupt af of je twee treinen tegelijkertijd over een overweg heen zou kunnen laten gaan.**

Bij een tweesporige overweg kunnen eigenlijk altijd 2 treinen tegelijk of verschoven in tijd de overweg passeren. Dit is afhankelijk van de dienstregeling en de fluctuatie hierop. Er wordt m.i. nog niet bewust gestuurd op het gelijktijdig passeren van een overweg.

### **Is dat dan toeval dat de twee treinen er tegelijkertijd over heen gaan of is dat zo uitgedacht?**

Nee, het is het gevolg van een bepaalde dienstregeling. De dienstregeling maakt gebruik van de mogelijke sporen die er liggen. Soms zie je ook wel is dat je een spoor hebt en dat je dan een halte hebt met een wisseltje. Dan worden het ineens twee spoortjes (bijv. Hoogkarpsel zie plaatje). In dat geval komt de ene trein over het spoortje, die gaat langs de halte, tegelijkertijd komt de andere trein aan vanaf het tweede spoor, die gaat over het wissel en door op het enkel spoor. In zulke gevallen heb je altijd maar een trein tegelijkertijd.



Met de beveiliging zelf kan je denk ik niet heel veel meer. Ze zijn nu wel bezig met AAHC (Ari Aanwezigheids Criterium). Die kun je in plaats van een stop-door systeem toepassen. Dus een trein is aanwezig en moet op een bepaald moment vertrekken waardoor de overweg op het juiste moment geactiveerd moet worden.

### **Wat houdt een stop-door systeem precies in?**

Ik leg dat soort dingen veel te snel uit. Ik zal even gaan zoeken en als ik wat vind zal ik het naar je doorsturen. Wat ik net vertelde dat een trein op baanvak snelheid aankomt dan begint het signaal al te lopen. Als dit een stoptrein is dan stopt deze eerst nog bij een halte en dan zou de overweg heel lang dicht liggen. In het geval van stop-door geeft de beveiliging een bepaald commando mee. Die zegt 'Hé er komt nu een stoptrein aan dus je moet de

overweg nog even langer ophouden'. Als die timer is afgelopen dan wordt de overweg geactiveerd en kan de trein verder rijden.

### **Hebben jullie veel overwegen met een hoge frequentie?**

Het wordt steeds meer, voornamelijk in de randstad. In Groningen en Friesland heb een lagere frequentie. Daar zijn bepaalde dienstregelingen van, die kan ik wel even laten zien.

[Laat plaatje van de dienstregeling in Amsterdam en omgeving zien]

Iedere strook geeft twee treinen aan. Wat ik hiermee wil aangeven is dat het heel druk is op die baanvakken (5/6 lijntjes naast elkaar op sommige stukken). Het andere plaatje geeft de lange termijn aan en dan zie je al dat er weer een strook bij komt op sommige plekken. Het wordt alleen maar drukker. Bepaalde corridors zoals Amsterdam, Utrecht en Eindhoven zijn heel druk. We zijn al bezig met een structurele aanpak van overwegen. Bij 20 treinen per uur (10 de ene kant op en 10 de andere kant op) wil je eigenlijk geen overwegen meer dan moet je er bijvoorbeeld een tunnel van maken.

### **Hebben jullie richtlijnen hoelang een overweg dicht zou mogen liggen.**

Nee die hebben we eigenlijk niet. Er is wel vaak discussie over wanneer een overweg door zijn hoeven heen zakt. Wanneer is het nog beheersbaar qua risico. Als het bijvoorbeeld meer dan 20 minuten per uur dicht ligt, moet je er iets mee. Het kan dat die 20 minuten over het uur goed verdeeld zijn dus iedere 5 minuten een sluiting of je hebt in 10 minuten 5 sluitingen. Dat heeft weer te maken met het basis uur patroon hoe de treinen verdeeld zijn over het hele uur. Het is belangrijk dat het verkeer tijdens de openingen voldoende kan doorstromen.

### **Kijken jullie ook gericht naar verkeersdoorstroming naast de veiligheid wat nu een heel belangrijk onderwerp als het over overwegen gaat?**

Dat klopt, Goudappel doet bijvoorbeeld heel veel berekeningen hierop qua doorstroming en dergelijke. Waar je ook naar kijkt is je hebt een overstandtijd dus hoelang blijft een voertuig staan. Als er bijvoorbeeld een kilometer file staat voor zo'n overweg en de overweg gaat open en gaat even later weer dicht dan kan het best wel zijn dat zo'n voertuigen pas na 3 sluitingen een overweg kan oversteken. Dat is ook wel een interessante van hoelang is de wachttijd van zo'n motorvoertuig. Je hebt ook wachttijd voor fietsers en voetgangers die zijn eerder geïrriteerd dan autobestuurders maar echt harde eisen hebben we daar nog niet aan wanneer het te veel is.

### **Stel dat je snelheden gaat aanpassen zodat de treinen ook tegelijkertijd over de overweg komen?**

Dat wordt wel lastig. Dan krijg je weer het probleem dat je een bepaalde dienstregeling hebt.



### **Hoeveel speling zit er in zo'n dienstregeling? Kun je daar bijvoorbeeld een paar minuten in schuiven?**

Nou het komt wel eens voor dat we een aanpassing willen. Als ik ergens een vertraging wil inbouwen om een bepaalde overweg minder lang dicht te laten zijn en dat scheelt maar een paar seconden daar worden de jongens van capaciteitsmanagement al niet erg blij van. Dat kost hen bijvoorbeeld 8 seconden. Dat accepteren ze niet en dan kom jij aan met een paar minuten. Bij sommige baanvakken zal het wel wat ruimer zijn maar als je al een heel druk baanvak hebt, wordt het erg lastig.

### **Voorzie jij nog andere obstakels als je 'Gesynchroniseerd Oversteken' zou willen toepassen?**

De dienstregeling is er sowieso eentje. Ik ben er voorstander van dat de dichtligtijden zo kort mogelijk zijn. We hebben ooit een beveiliging gehad met een bepaalde instelling die voorkwam dat de overweg even openging en dan meteen weer dichtging. Bijvoorbeeld op momenten wanneer de ene trein bijna uit de detectiezone is en de ander er bijna in komt. Dan was er een bepaalde schakeling die net voor dat punt waar de trein gesignaleerd wordt nog een punt had liggen om te voorkomen dat de overweg even openging en weer sloot. Je kunt ook instellen dat als de overweg opengaat, de overweg gegarandeerd 10 seconden open is. Dan voorkom je het vlinderen en heb je wel een gegarandeerde opentijd.

Het heeft waarschijnlijk heel veel met de dienstregeling te maken. Ik denk dat daar het grootste obstakel ligt.

### **Qua techniek zou deze methode toepasbaar kunnen zijn?**

Nou dat ligt wel weer wat anders. Je moet wel wat aanpassingen doen als je zegt dat je de ene trein wat wil ophouden en later wil laten vertrekken. Je moet weten of de andere trein ook op dat punt is dus je moet wel detecteren waar die trein precies is. Met de huidige techniek is het een stuk lastiger omdat je signalen uit de baan moet ophalen. Dat gaat een beetje amateuristisch nog. Een trein rijdt over een bepaalde sectie en die veroorzaakt daar kortsluiting tussen de twee spoorstaven. Dan valt er een relais af. De relais geeft dan aan hier (op een bepaalde sectie van enkele honderden meters) bevindt zich een trein. Dus waar je het net over had als je werkt zonder secties maar met lussen of GPS eigenlijk. Dan geeft de lus aan daar bevindt de trein zich dan moet de ander bijvoorbeeld even wachten. Dan kun je ook nadenken over de capaciteit van het baanvak als je op GPS gaat rijden. Treinen kunnen dichter achter elkaar zitten. Nu moet je een bepaalde sectie/lengte tussen de treinen hebben. Technisch denk ik dat het heel moeilijk uitvoerbaar is om te kijken of je een trein kunt laten vertrekken op het moment dat de ander er aankomt. Om dat goed afgestemd te krijgen is vrij lastig. Ik heb er ook wel is aan gedacht

Eigenlijk wil ik een randvoorwaarde meegeven. Je hebt bijvoorbeeld een heel ingewikkelde overweg bij Noord-Holland die is gewoon heel lang dicht. Eigenlijk wil ik dat als twee treinen daar komen ze veel verder uit elkaar liggen. Er zou een randvoorwaarde aan de dienstregeling meegegeven moeten worden dat bijvoorbeeld op dat stuk de treinen verder uit elkaar moeten liggen. Wat je dan krijgt, is als het daar verder uit elkaar ligt dat het dan op een andere plek dichter bij elkaar komt te liggen. Dit kan dan een gunstiger of minder gunstige plek zijn. Het is wel een lastig onderwerp wat je hebt aangekaart. De dienstregeling sluit erg op elkaar aan. Dus je lost het misschien op een plek op maar op een andere plek krijg je dan problemen.

**Stel je past synchronisatie echt alleen met stations in bajonetligging toe. Dus er staat een trein bij het ene perron en de tweede trein komt aan bij het andere perron. Zou het qua detectietechniek dan makkelijker zijn dan wanneer je een overweg zonder haltes hebt? Of loop je dan tegen dezelfde problemen aan?**

Ik denk dat het technisch gezien makkelijker is. Die twee treinen kun je opvangen en qua communicatie zal het ook wel meevallen. Het wordt natuurlijk nu nog niet toegepast maar als ze tegelijkertijd het sein groen krijgen, kunnen ze samen over de overweg. Bij vrije baan is het lastiger omdat de ene trein verder is dan de andere trein waardoor het lastiger is om in te schatten wanneer een trein moet remmen. Als een trein vanuit stilstand vertrekt kun je het veel beter bepalen. Dat is denk ik de enige mogelijkheid. Misschien nog met ERTMS maar dat is ver in de toekomst.

## E: INTERVIEW V.A. WEEDA

### Algemene gegevens

Naam: V.A. (Vincent) Weeda  
Functie: Verkeersanalist - ProRail

### **Hoeveel speling zit er in de dienstregeling? Bijvoorbeeld trajecten met een hoge frequentie, zit daar iets van speling in?**

Er zit speling in elk proces. Die speling is er voor rijtijden binnen een treinreis, halteertijden en opvolgtijden tussen treinen. Er is ruimte gemaakt in de dienstregeling om kleine afwijkingen op te vangen. In de rijtijden zit in principe 7% speling.

### **Het komt voor dat de overweg dicht gaat voor een trein en dat kort daarna de volgende trein al aankomt. Komt het in die situaties voor dat treinen per toeval tegelijkertijd over de overweg heen gaan?**

Een trein rijdt volgens een dienstregeling maar daar zit wat variatie. Hierdoor kan het voorkomen dat treinen per toeval tegelijkertijd over een overweg gaan. De variatie is in de laatste tien jaar kleiner geworden.

Bij het maken van de dienstregeling wordt er met percentielen gewerkt. Voor elke tien procent worden er lijnen gemaakt. Alles onder het tiende percentiel wordt beschouwd als uitzondering of meefout. De mediaan ligt over het algemeen tussen 'op tijd' en een halve minuut te laat. In de gevallen waar het minder goed gaat, kan de mediaan op een minuut te laat liggen. Een klein gedeelte rijdt iets te vroeg of met twee minuten vertraging. Dit is afhankelijk van de hoeveelheid speling die er in een treinrit zit. Grotere vertragingen komen ook voor maar dit wordt beschouwd als uitzondering.

Er zit een soort bandbreedte in de dienstregeling. In het geval dat treinen in tegenovergestelde richting ongeveer tegelijk gepland zijn dan is er dus een kans door de variatie dat ze tegelijkertijd aankomen. Daarentegen kan het daardoor ook zo zijn dat de overweg heel lang dicht ligt omdat de treinen net achter elkaar komen.

### **Zijn er richtlijnen voor hoelang een overweg maximaal dicht mag liggen?**

In een standaard situatie met een simpele overweg en zonder station in de buurt kunnen treinen hard rijden. In dat geval ligt een overweg minder dan een minuut dicht. Op plekken waar wel een station in de buurt ligt duurt het langer. Dat komt doordat de overweg eerst dicht moet zijn voordat de vertrekprocedure kan plaatsvinden. De dichtligtijd van de overweg gaat dan richting de twee minuten.

In sommige gevallen rijgen er meer dan twee treinen aan elkaar. Dichtligtijden kunnen dan erg lang worden door de hoeveelheid treinen die de overweg over moeten. Daarbij is een deel van de treinen 'vertrekkend' dus de tijd van de vertrekprocedure komt er ook bovenop.

Voor de overweg is een geïsoleerde sluiting voor één trein al een verbetering op zich. Het aan een rijgen is voor de totale dichtligtijd per uur goed maar dit leidt tot langere wachrijtijden voor het verkeer. Treinen precies tegelijkertijd plannen zou de ideale situatie zijn maar de kans dat dit met de dienstregeling goed uitkomt is klein.

### **Stel dat je tien treinen de ene kant op hebt en tien treinen de andere kant op hebt, zou het passen dat je het dan precies zo plant dat de overweg 5 keer dichtgaat.**

Een dienstregeling is een puzzel met vrij veel randvoorwaarden erin. Deze randvoorwaarden zijn bijvoorbeeld keertijden, opvolgtijden op het baanvak en overstaptijden op de knooppunt stations. Een goed voorbeeld hiervan is de situatie in Castricum. Daar wilden we de dichtligtijd van een overweg verbeteren. Het bleek dat het verschuiven van de dienstregeling met een minuut al een aansluiting met een andere trein ging kosten. Krap plannen zorgt er

voor dat de punctualiteit naar beneden gaat. Dus in theorie zou je het zo kunnen plannen dat de overweg 5 keer dichtgaat maar daar moeten veel andere offers voor gebracht worden zoals punctualiteit.

**Als je een verschuiving in de dienstregeling wil doen dan zijn de punctualiteit en het overstappen dus twee belangrijke punten?**

De punctualiteit neemt af wanneer de dienstregeling onder de 7% speling ingepland wordt. Proppen kan maar dan is de kans veel groter dat de trein niet op tijd komt. Als je een minuut langer inplant voor de overweg dan blijft de dienstregeling op de rest van het traject hetzelfde. De kans dat er op andere plekken nadelen ontstaan is alleen veel groter omdat de speling in het traject is afgenomen.

Naast de punctualiteit spelen ook andere overwegen mee. Als je de dienstregeling voor een overweg aanpast, kan het zo zijn dat een daaropvolgende overweg meer problemen krijgt.

**Als je meerdere overwegen na elkaar hebt en ze allemaal een probleem hebben met de verkeersafwikkeling dan is de kans dus minder waarschijnlijk dat je gesynchroniseerd oversteken zou kunnen toepassen?**

Binnen het overweg domein is dit het onderzoeken waard als een overweg erg problematisch is en er verder op het traject geen problemen zijn.

**Je had het net over de vertrekprocedure en dat dan al de overweg dicht gaat. Ik heb vernomen dat jullie in de herfst de overweg ook al eerder dichtleggen vanwege een kans op doorschieten**

In de herfst wordt bij de eerste twee treinen van de dag de overweg vervroegd dichtgelegd. 's Nachts is het spoor niet schoongereden door treinen dus dan kan er een glad laagje ontstaan. Blijft het glad dan wordt de overweg ook met de treinen daarna eerder dichtgelegd. Dit kan ook op andere momenten in het jaar gebeuren als machinisten een melding van gladheid doen maar in de herfst gebeurt dit standaard.

**Hebben jullie ooit gekeken naar hoe je die vertrekprocedure zou kunnen verkorten? Dat bijvoorbeeld de overweg pas dicht gaat als de trein al de deuren heeft dicht gedaan en klaar is om te vertrekken.**

Er zijn meerdere pogingen gedaan om de vertrekprocedure te verkorten. Vanuit de veiligheid van de conducteur en de reiziger is ooit bedacht dat de overweg eerst dicht moet liggen voor de vertrekprocedure gestart kan worden. In het geval dat de overweg nog open is en er wordt gefloten, is er een kans dat de trein door rood heen rijdt. De risico's worden nu bij de overweg gelegd om een vergezocht probleem met de trein op te lossen.

Tegenwoordig is er een 'afteller' in situaties waar een vertrekkende trein een overweg over wil. Dit houdt in dat de beveiliging weet dat de overweg gaat sluiten en dat het sein over 15 seconden groen wordt. Het systeem telt dan vanaf 15 seconden af en de conducteur kan alvast het vertrekproces ingang zetten. Dit betekent dat alle deuren behalve die waar de conducteur staat dicht mogen. Zodra het sein op groen gaat kan ook de laatste deur dicht. Deze methode vermindert de dichtligtijd met 15 seconden.

**Vijftien seconden klinkt al als een redelijke afname**

Het sluiten van een simpele overweg duurt 20 seconden. De tijd die de trein erover doet om bij de overweg te komen en er overheen te gaan, komt er nog bovenop. Die hele cyclus is minimaal 45 seconden. De vertrekprocedure van de trein komt hier nog extra bij. Van die 'extra' tijd kan door de afteller 15 seconden af.

**Zit er nog een bepaalde tijdspanne aan het openen van de overweg nadat de trein voorbij is.**

Meestal ligt er een lus achter de overweg. Het beveiligingssysteem detecteert via de lus of het spoor vrij is waardoor het spoor kan worden vrijgegeven. Daar zit geen verplichte tijd aan vast. Het systeem heeft ongeveer een seconde reactietijd voordat de spoorbomen openen.

Aan de voorkant van de overweg zitten veiligheidsmarges en ontruimingstijd. Aan de achterkant van de overweg zitten geen extra's dus op het moment dat de trein voorbij is, gaat de overweg snel open.

**Uw werk gaat onder andere over treinprestaties betekent dit dat er gekeken wordt naar de oorzaken van vertragingen of punctualiteit eigenlijk?**

Er wordt vooral gekeken naar trends. Over het hele land is de punctualiteit bijvoorbeeld 92%. Als er dan een traject ver onder dat percentage zit, wordt er gekeken naar de oorzaken. Op verzoek kunnen we dit ook voor specifieke treinen doen. Er wordt gekeken naar de treindienst en niet naar overwegen. Dit kan wel gebeuren als blijkt dat de dienstregeling beïnvloed wordt.

**Als je aanpassingen doet aan een traject is het dan zo dat je ook andere trajecten sterk kan beïnvloeden?**

Als er een trein wordt verschoven, kan het zijn dat er te weinig in- en uitstaptijd op bijvoorbeeld het eindstation overblijft. Dit zou betekenen dat je misschien ook de treinen op trajecten voorbij het eindpunt moet gaan verschuiven.

**Aangezien de dienstregeling vanuit Zwolle begint, breiden verschuivingen zich dan ook uit over het hele netwerk?**

In Zwolle sluiten alle treinen op elkaar aan in alle richtingen. De treinen komen allemaal aan voor het kwartier en gaan na het kwartier weg. Die treinen rijden allemaal een andere richting op en hebben verschillende snelheden. De dienstregeling kan bijvoorbeeld omgewisseld worden. De eerste trein die uit Zwolle vertrekt is dan niet die naar Utrecht maar die naar Amsterdam. Hierdoor breidt de verandering in de dienstregeling zich langzaam uit over het hele land omdat de treinen nu op andere tijden aankomen in Utrecht en Amsterdam. Daarnaast dicteren treinen van en naar het buitenland, zoals de Thalys, ook een deel van de Nederlandse dienstregeling. De dienstregeling wordt zo ontworpen dat de reiziger goede aansluitingen heeft maar het blijft een lastige puzzel zelfs als je de overwegen negeert. Er moet namelijk voorkomen worden dat treinen onnodig lang stilstaat of dat de keertijden te lang of te kort zijn. Vijf minuten is bijvoorbeeld kort voor een trein die die lang onderweg is maar voor een halfuur is het erg duur.

Er zijn plekken waar problemen met overwegen terugslaan op de treindienst. Dit kan op twee manieren voorkomen. De verkeersdrukte is zo hoog rond de overweg dat het niet meer acceptabel is voor de omgeving. Of de frequentieverhoging op een traject kan niet doorgaan omdat de overwegveiligheid dan te veel afneemt. In deze gevallen moet er een oplossing gevonden worden.

Er is bepaald dat mensen te ongeduldig worden op het moment dat een overweg langer dan vijf minuten dicht is. Men kan dan denken dat er zelfs iets mis is met de overweg waardoor de kans heel groot wordt dat de spoorbomen genegeerd worden. Om deze reden is ervoor gekozen om na vijf minuten de overweg in storting te laten raken. Dit om het menselijk gedrag in goede banen te laten leiden. Vanaf dat moment moeten alle treinen eerst stoppen voor de overweg. Er wordt dan instructie gegeven van de verkeersleiding. Hierdoor wordt de treindienst langzamer. Op drukke overwegen kan dit wel drie keer per week voorkomen en dat is ook gelijk de grens.

In zulke gevallen is het gelijk leggen van treinen of juist uit elkaar trekken een van de eerste oplossingen die geprobeerd wordt.

**Moet je beleidstechnisch gezien willen dat het wegverkeer meer prioriteit krijgt waardoor de trein tijd inlevert? Hoelang zou je bijvoorbeeld kunnen zeggen dat een trein maximaal moet wachten.**

Je kunt problemen met de overweg in de dienstregeling aanpakken maar ook in de uitvoering. Als je met gesynchroniseerd oversteken een probleem bij een overweg voor andere belanghebbende kan voorkomen, zou het mogelijkwys acceptabel kunnen zijn. Dit zal dan leiden tot iets meer energie gebruik verderop maar dat is het enige.

Zo wordt er ook gekeken naar reizigersaansluitingen. Er is een geplande aansluiting maar op het moment dat de aankomende trein vertraging heeft, moet de vertrekkende trein soms even wachten. Als het wachten minder dan een minuut kost kan dit vrij makkelijker weer ingehaald worden verderop op het traject. In dat geval is waardevol om op die manier overstappers mee te kunnen nemen.

Voor individueel vervoer zoals auto's en fietsers is een minuut tijdverlies ook echt een minuut tijdverlies. Voor openbaar vervoer kan dit soms minder zijn omdat de vertraging eruit gereden kan worden. Dit kan ook meer zijn waardoor reizigers hun overstap niet halen of dat de trein daarachter ook vertraging krijgt. Dan kan het tijdsverlies al snel oplopen naar een kwartier of halfuur. Op het moment dat het binnen de marge van het systeem past hoeft tijd inleveren geen probleem te zijn. Als het overschreden wordt zijn de nadelen vele malen groter dan dat het overstekende verkeer aan tijd wint.

Overwegen die als overpad tot een perron gebruikt worden, vallen onder een bijzondere categorie. Reizigers zijn hier namelijk bovengemiddeld bereidt om risico's te nemen doordat ze graag hun trein willen halen. Voor dat soort situaties wordt er wel gekeken naar de dienstregeling, techniek of het spoorgebruik.

**Is er ook een moment dat jullie besluiten om de overweg weg te halen omdat de problemen niet meer met de dienstregeling op te lossen is.**

Sommige overwegen kunnen ter plekke simpel vervangen worden door een tunnel. Dit kost geld maar levert wel veel op. Soms past dit niet door een ruimte gebrek in de omgeving. In dat geval wordt er geprobeerd om de hoofdstroom van het verkeer om te leggen en de overweg af te waardenen voor langzaam verkeer. Dit is wel ingrijpend en kost erg veel tijd.

## F: INTERVIEW RET

### **Algemene gegevens**

Functie: Vervoersontwikkelaar – RET

### **Zijn er ingebouwde tijdsbuffers op metro trajecten?**

De buffertijd in de dienstregeling is c.a. 15-45 seconden op een aantal plekken in het netwerk waar lijnen samenvoegen. Op deze plekken wordt een ruimere rijtijd gehanteerd om eventuele vertragingen op te vangen en de opvolgtijd op samenloopdelen te waarborgen. Het gaat hier om een beetje extra rijtijd, geen minuten.

### **Hoelang van tevoren wordt de dienstregeling vastgelegd?**

De dienstregeling voor bus, tram en metro voor 2024 wordt normaal gesproken voor de zomervakantie van het jaar van 2023 afgestemd met de MRDH (opdrachtgever) en daarna uitgewerkt.

### **De kans op vertraging is er altijd. Zijn hier ook grote uitschieters in zoals bij de trein?**

Voor de metro geldt dat 0-2 minuten te laat als op tijd geldt en alles daarbuiten als te laat geldt.

### **Heeft gelijktijdig passeren op de overweg invloed op de veiligheid?**

Als de passage precies tegelijkertijd is, is dat positief voor de veiligheid. Als de passage net na elkaar is, dan is dat zeer negatief voor de veiligheid. Niet voor niets staan bij alle overwegen de welbekende blauwe wachtplak met de tekst "Wacht tot het rode licht gedoofd is, er kan nog een trein aankomen". De praktijk leert echter dat weggebruikers zich daar slecht aan houden en daardoor de kans op aanrijdingsgevaar groter is.

### **Wordt de verkeersafwikkeling meegenomen in het maken van de dienstregeling?**

Wij hebben in de dienstregeling niet te maken met verkeersafwikkeling. Dit wordt wel indirect meegenomen bij het instellen van de timers van de overwegen, zodat de overweg zo kort mogelijk dicht ligt voor het passeren van een metro

### **Je gaf aan dat er rekening wordt gehouden met overstappen. Betekent dit dan ook dat een metro wacht als de metro van de overstap vertraging heeft?**

De meeste overstappen waar vanuit de dienstregeling rekening wordt gehouden is tussen metro en trein en andersom. De metrobestuurder wacht niet op een specifieke overstap, de vertrektijd is leidend. Dit komt ook omdat de metro hoogfrequent rijdt en reizigers niet lang hoeven te wachten op een volgende metro wanneer zij een overstap niet halen.

### **Door het implementeren van gesynchroniseerd oversteken gaat de prioriteit van de metro achteruit. Zouden jullie overwegen om zo'n concessie te doen?**

Gezien het aantal overwegen dat in ons metronetwerk bestaat is het niet aannemelijk dat er voor wordt gekozen om de metro te laten wachten op gesynchroniseerd oversteken van een overweg. Om te bepalen of dit mogelijk is zal er een business case voor geschreven moeten worden waarin alle voor- en nadelen belicht worden. Van daaruit zal een besluit genomen moeten worden om dit wel of niet toe te willen passen.

