AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Trængselsanalyse ved Limfjordstunnelen

Kandidatspeciale
Natascha Rigborg
Veje & Trafik
Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Det Ingeniør- og
Naturvidenskabelige Fakultet
Byggeri og Anlæg
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg Øst

Titel:

Trængselsanalyse ved Limfjordstunnelen

Projekttype:

Kandidatspeciale

Projektperiode:

01. februar 2019 - 07. juni 2019

Forfatter:

Natascha Rigborg

Vejleder:

Harry Lahrmann

Antal sider: 101
Antal bilag: 5
Antal elektroniske bilag: 12
Afsluttet: 07. juni 2019

Synopsis:

Dette speciale omhandler en trængselsanalyse af motorvejen omkring Limfjordstunnelen ved Aalborg. Projektlokaliteten er afgrænset mellem afkørsel 20 *Bouet* og afkørsel 25 *Humlebakken*, hvor der er fokuseret på både den sydgående og nordgående trafik. Projektets fokuspunkt har været at undersøge, hvordan trængslen ser ud omkring Limfjordstunnelen, og hvilken betydning de variable hastighedstavler, som står på strækningen, har på trængslen.
Trængselsanalysen tager udgangspunkt i Boris S. Kerners Tre-Fase Trafik Teori, som omhandler forskellige trafikfaser og trafiksammenbrud ved motorvejs flaskehalse.
I analysen er der anvendt tre typer data; spoledata, data fra variable hastighedstavler og Bluetooth data fra BlipTrack. Spoledataene er benyttet til at beregne den kritiske hastighed, for at bestemme de tidsrum, hvor der er sket trafiksammenbrud med resulterende trængsel. Herefter blev dataene fra de variable hastighedstavler analyseret for at besvare hypotesen om, at hastighedstavlerne først bliver sat ned efter trafiksammenbrud er indtruffet. Til sidst er der blevet analyseret på rejsetider og forsinkelser ud fra BlipTrack data og spoledata.
Analysen har vist at trafiksammenbruddet er sket i spidstimerne, og indenfor spidstimerne er sammenbruddet ikke er konstant og varierer mellem 15 minutter og to timer. Hypotesen om de variable hastighedstavler afkræftes, men den viste hastighed bliver dog sat ned for langsomt i forhold til den kørte hastighed. Rejsetiderne og forsinkelserne har vist at disse varierer fra lokalitet til lokalitet.

Abstract

This thesis is about a congestion analysis of the highway around the Limfjordstunnel at Aalborg. The project location are limited between exit 20 *Bouet* and exit 25 *Humlebakken*, where the focus is on both the southbound and northbound traffic. The focus point of the project has been to investigate the congestion arround the Limfjordstunnel and what influence the variable message signs have on the congestion.

The congestion analysis uses Boris S. Kerners Three-Phase Traffic Theory, which is about different traffic phases and traffic breakdown at highway bottlenecks.

The analysis uses three types of data; coil data, data from variable message signs and Bluetooth data from BlipTrack. The coil data is used to calculate the critical speed to determine the times traffic breakdown with resulting traffic congestion have occurred. Hereinafter the data from the variable message signs have been analyzed to see how the displayed speed follows the vehicle speed. At last there has been analyzed on travelling times and delay times from both BlipTrack and coil data.

The analysis have showed that traffic breakdown occur in the peak hours, and in the peak hours the breakdown is not constant and variates between 15 minutes end two hours. The hypothesis about the variable message signs have been disproved, but the displayed speed, however, slowed down too slowly in relation to the vehicle speed. The travelling times and delay times variates from the different locations.

Forord og læsevejledning

Dette projekt er udarbejdet som afgangsprojekt på kandidatuddannelsen i Veje og Trafik i perioden februar 2019 til juni 2019.

Billedet på forsiden er eget billede.

Jeg vil gerne sige tak til nedenstående personer, som har hjulpet med bl.a. data til specialet.

- Steen Merlach Lauritzen, Vejdirektoratet, for at hjælpe med at udtrække spoledata fra Mastra og svare på spørgsmål i løbet af projektperioden.
- Bo Petersen, Vejdirektoratet, og Per Røn Olesen, ÅF Consults, for at hjælpe med data fra de variable hastighedstavler på projektlokaliteten.
- Thomas Westring Roslyng, Vejdirektoratet, for information omkring variable hastighedstavler og deres algoritmer.
- Ivar Sande, Mogens Feddern og Kenn Mørk, Vejdirektoratet, for at tage sig tid til at afholde et møde, hvor vi diskuterede mulige forsøg med variable hastighedstavler.

Læsevejledning
Der er anvendt Harvard metoden som kildeangivelse, hvor kilden angives: [Efternavn, år]. Ved kilder som ikke har et årstal angives kilden ved: [Efternavn, n.d.], hvor n.d. står for "no dated". De resterende informationer om kilderne kan ses i litteraturlisten, som er placeret efter hovedrapporten og inden bilag.

Der er igennem specialet flere figurer som anvender baggrundskort. Hvis ikke andet er angivet, stammer baggrundskortet fra Kortforsyningen [Kortforsyningen, n.d.]. Ved alle figurer (grafer) som er fremstillet på baggrund af data anvendt i rapporten er der ikke angivet kilde på, hvor dataene stammer fra. Her henvises til kapitel 6 Dataindsamling, hvor de respektive kilder findes.

I rapporten henvises der til flere elektroniske bilag, som består af forskellige excelark. Rapporten består af to typer elektroniske bilag; bilag med rådata og bilag med grafer. Bilagene med rådata består af alt det data der ligger til baggrund for analysen og indeholder data fra spoledetektorer (1), variable hastighedstavler (2) og Bluetooth målestationer (3). Rådataene findes i følgende excelark:

- 1 - Spolestation, I udfletningen med M90
- 1 - Spolestation, Mellem TSA 21 og udf mod Hjørring og Frederikshavn
- 1 - Spolestation, Nord for TSA 22
- 1 - Spolestation, Limfjordstunnel
- 1 - Spolestation, TSA 24 – mellem ramperne
- 1 - Spolestation, TSA 25 – mellem ramperne ved Humlebakken
- 2 - VMS_M80_M70
- 3 - Bluetooth_data_nordgående
- 3 - Bluetooth_data_sydgående

Bilagene med grafer består af grafer der er fremstillet ud fra rådataene, og der henvises til følgende igennem rapporten:

- 4 - Analyseperioder_og_steder
- 5 - Speed_flow_diagrammer
- 6 - Hastighedsgrafer_hverdage

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1 Indledning **1**
1.1 Limfjordsforbindelserne . . . 1
1.2 Løsninger på trængselsproblemerne . . . 2
1.3 Den 3. Limfjordsforbindelse . . . 3

Kapitel 2 Problemfelt **4**
2.1 Problemformulering . . . 4

Kapitel 3 Projektlokalitet **5**

Kapitel 4 Metode **7**
4.1 Proces . . . 7
4.2 Litteraturstudie . . . 8
4.3 Data . . . 8

Kapitel 5 Tre-Fase Trafik Teori **12**
5.1 Frit flow . . . 12
5.2 Trængsel . . . 13
5.3 Trafik flaskehalse . . . 13
5.4 Trafiksammenbrud . . . 14

Kapitel 6 Dataindsamling **17**
6.1 Spoledata . . . 17
6.2 Variable hastighedstavler . . . 19
6.3 Bluetooth data . . . 20

Kapitel 7 Analyse **22**
7.1 Analysesteder og -perioder . . . 23
7.2 Kritisk hastighed . . . 25
7.3 Trafiksammenbrud og resulterende trængsel . . . 33
7.4 Betydning af de variable hastighedstavler . . . 37
7.5 Rejsetider og forsinkelse fra BlipTrack . . . 42
7.6 Rejsetider og forsinkelse fra spoledata . . . 45

Kapitel 8 Diskussion **49**
8.1 Løsninger på trængselsproblemet . . . 49
8.2 Den kritiske hastighed . . . 50
8.3 Trafiksammenbrud og rejsetid . . . 50
8.4 Trængsel . . . 50
8.5 Variable hastighedstavler og deres algoritme . . . 51

Kapitel 9 Konklusion **52**

Litteraturliste **54**

Bilag A Spor afgrænsning **56**

Bilag B Kritisk hastighed **57**

Bilag C Trafiksammenbrud med resulterende trængsel **61**

Bilag D Hastigheder over døgnet **68**

Bilag E Hastigheder i spidstimerne **82**

Indledning 1

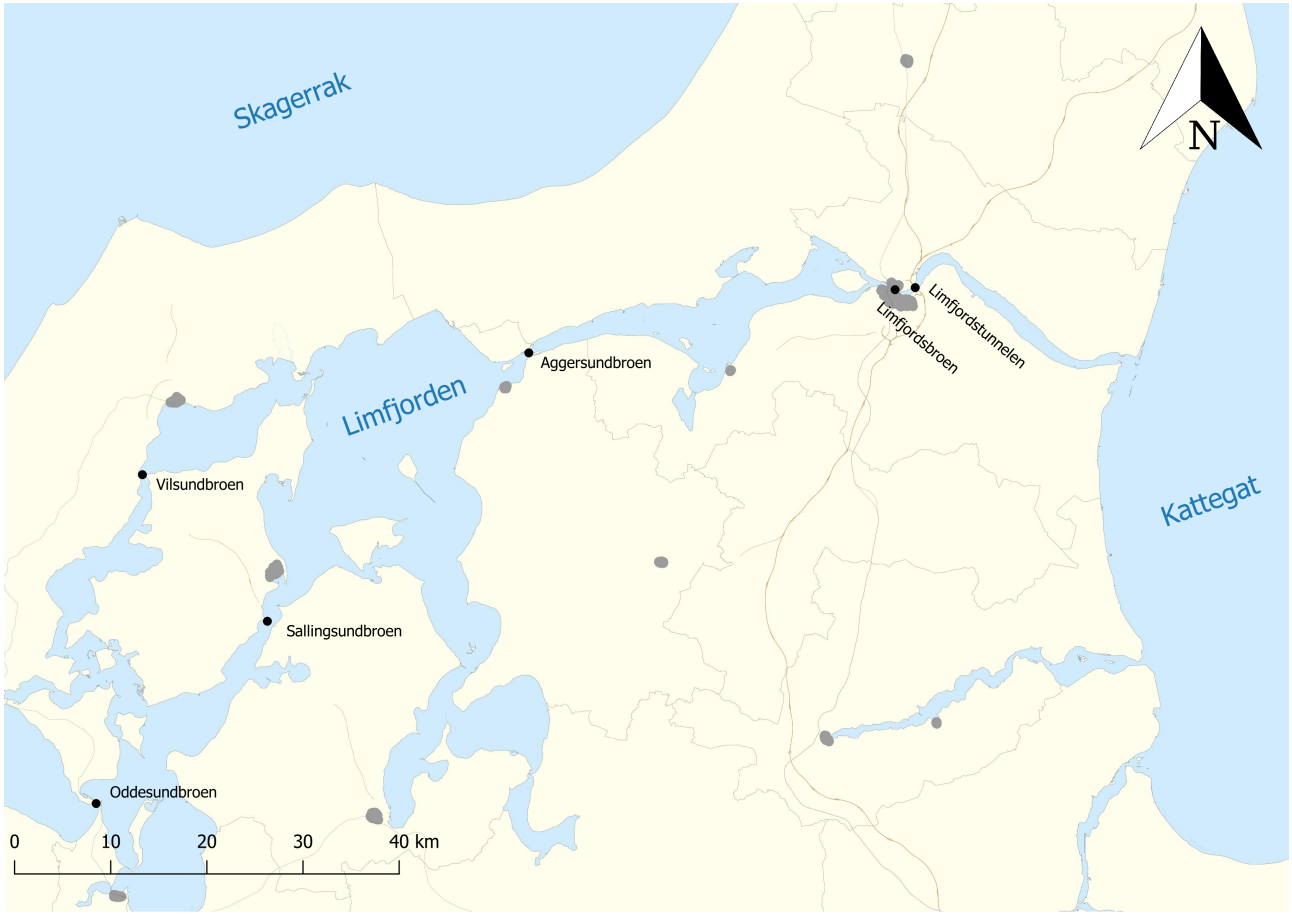
Trængslen på det danske vejnet stiger og stiger, hvilket skaber kø og forsinkelser. Der har siden 2010 været økonomisk fremgang, befolkningsvækst og faldende bilpriser, som har øget antallet af biler på de danske motorveje. [Jensen, 2017]

Fra 2007 til 2017 er trafikken på motorvejene steget med 32,5 %, mens trafikken på de mest belastede strækninger i myldretiden er steget med op til 45 %. Det er problematisk, at de største trafikstigninger findes inden for myldretiden, hvor vejnettet i forvejen er stærkt belastet, da dette giver ekstra risiko for trængsel og trafikkøer. Trafikprognoser viser i øvrigt, at trængslen vil fortsætte med at stige de kommende år, som medfører, at flere motorvejsstrækninger i 2030 vil nå deres kapacitetsgrænse. [Vejdirektoratet, 2018b]

1.1 Limfjordsforbindelserne

En af de steder, hvor kapacitetsgrænsen er overskredet er Limfjordstunnelen ved Aalborg. Her har trafikstigningerne på motorvejene ved Aalborg medført, at kapacitetsgrænsen på 80.000 biler pr. hverdagsdøgn blev overskredet tilbage i 2016. Dette betyder, at de to Limfjordsforbindelser ved Aalborg begge har overskredet deres kapacitetsgrænser, da det er flere år siden Limfjordsbroen overskred sin kapactitetsgrænse. [Region Nordjylland, 2016].

Limfjordsbroen og Limfjordstunnelen er to af de seks faste vejforbindelser som forbinder Vendsyssel med det resterende Jylland, mens Limfjordstunnelen er den eneste motorvejsforbindelse, der krydser Limfjorden. Dette gør at Limfjordstunnelen fungerer som regional korridor samtidig med at være en bymotorvej med mange til og fra kørsler. De faste vejforbindelser over Limfjorden kan ses på figur 1.1.



Figur 1.1. De faste vejforbindelser over Limfjorden.

Idet at Limfjordstunnelen er den eneste motorvejsforbindelse over Limfjorden, er det vigtigt at fokusere på løsninger, som kan afhjælpe de stigende trængelselsproblemer for at kunne udvikle og skabe vækst i regionen.

1.2 Løsninger på trængselsproblemerne

Der findes flere forskellige bud på, hvilke løsninger der kan afhjælpe eller løse trængselsproblemerne på de danske veje. Mogens Fosgerau, professor i transportøkonomi ved DTU, er kommet med fire bud som kan få trafikken til at køre med glidende i fremtiden [Wang, 2018]:

- Kollektiv trafik
- Kørselsafgifter
- Samkørsel og delebiler
- Flere veje

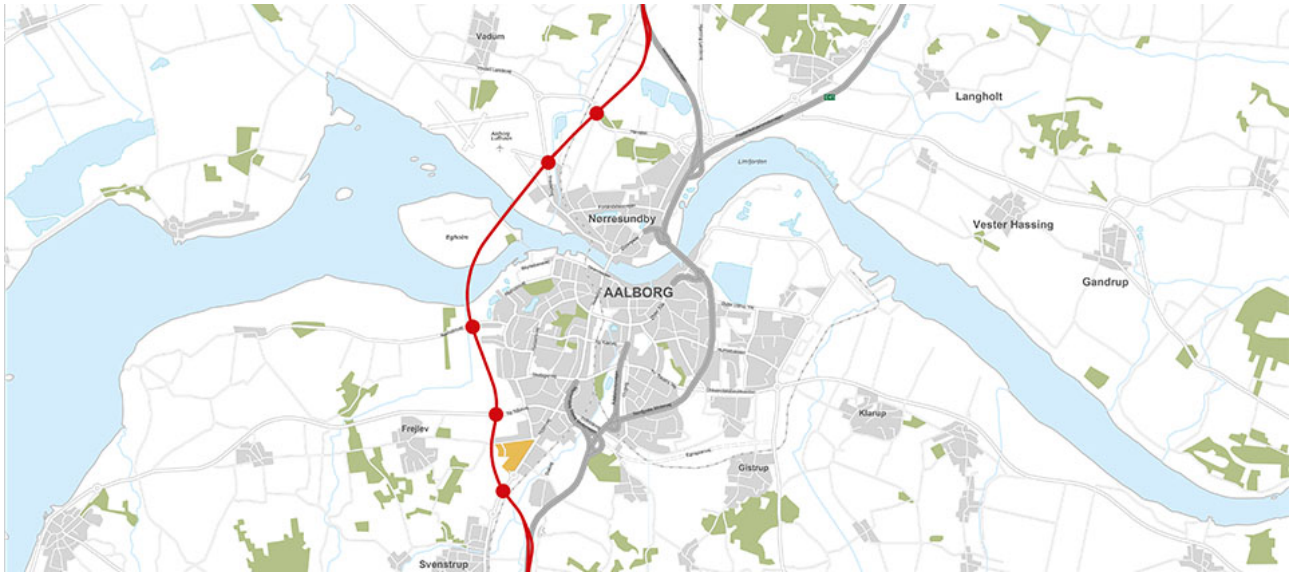
Ved at udbygge og forbedre den kollektive trafik er der potentiale for at flytte en del af biltrafikken over til den kollektive trafik, som vil aflaste vejene. Indførelse af kørselsafgifter vil derimod appellere til bilisternes behov for at foretage en tur i bil. Det kan være bilisterne vælger andre alternativer, men også vælger nogle ture fra. Et alternativ kan være mere fokus på samkørsel og delebiler. Ved at flere køre sammen, vil der komme mindre biler på vejene og mindre trængsel, mens at delebiler gør, at færre vil have egen bil. Det kan dog også have den modsatte effekt ved, at det trækker flere fra den kollektive trafik over i delebiler. Den sidste løsning Mogens Fosgerau kommer med er at bygge flere veje, som vil øge kapaciteten.

Et helt andet alternativ til at afhjælpe trængselsproblemerne er ITS-løsninger. ITS har et betydeligt potentiale og kan forbedre udnyttelsen af vejnettet, idet det kan være med til at afvikle trafikken mere glidende og effektivt. [Als, 2011]

1.3 Den 3. Limfjordsforbindelse

For at afhjælpe og løse trængselsproblemerne omkring Aalborg er der tale om en tredje Limfjordsforbindelse. Denne har været på tale siden før Limfjordstunnelen åbnede i 1969, hvor de første linjeføringer blev undersøgt og fremsat i 1970'erne. I 1990'erne var der tale om ni forskellige linjeføringer, som hurtigt blev begrænset til fem, idet de resterende fire linjeføringer ikke vil give den ønskede aflastning på hverken Limfjordsbroen eller Limfjordstunnelen. [Studstrup, 1994]

Selvom en tredje Limfjordsforbindelse har været på tale i over 50 år er den stadig ikke blevet realiseret. VVM-redegørelsen stod færdig i 2011, mens den endelige linjeføring blev fastlagt i 2014. Linjeføringen går vest om Aalborg over Egholm, hvilket kan ses på figur 1.2. [3. Limfjordsforbindelse NU!, 2018]



Figur 1.2. Vedtaget linjeføring for Den 3. Limfjordsforbindelse [3. Limfjordsforbindelse NU!, 2018].

Den 3. Limfjordsforbindelse er en del af "Investeringsplan 2030", hvor Regeringen og Dansk Folkeparti har prioriteret investeringer i udbyggelse af transportinfrastrukturen for 112,7 mia. kr. i Danmark. Den 3. Limfjordsforbindelse er en del af første fase af investeringsplanen. VVM-redegørelsen skal opdateres og forventes afsluttet i 2021, mens selve projektet igangsættes i 2024. [Regeringen og Dansk Folkeparti, 2019]

Da der er fem år til at projektet skal igangsættes og ikke nogen præcis tidshorisont for, hvornår forbindelsen vil blive taget i drift, må der fokuseres på andre tiltag til at afhjælpe trængselsproblemerne i dag og i den nærmeste fremtid. Nogle muligheder er at udvide Limfjordstunnelen og de tilhørende vejforbindelser eller forbedre udnyttelsen af vejkapaciten ved hjælp af ITS eller andre foranstaltninger.

Problemfelt 2

Der opleves på dagligt basis trængsel på motorvejen omkring Limfjordstunnelen [Region Nordjylland, 2016], hvilket giver kødannelse og længere rejsetid. Idet trafikken bliver ved med at stige [Vejdirektoratet, 2018b], vil det være svært at fjerne trængslen ved Limfjordstunnelen, men der vil være mulighed for, at trafikken kunne afvikles mere glidende ved at bruge det realtidsinformation som er til stede omkring tunnelen. Her bør der arbejdes med mulighederne for at implementere realtidsinformationen i trafikanternes biler f.eks. via GPS eller Saphe[1].

Tanken er, at realtidsinformationen skal fortælle om kødannelser og trængsel, og give trafikanterne mulighed for at køre en anden rute eller på et andet tidspunkt. Dilemmaet med dette er dog, at der skal brydes med trafikanternes vaner. Mange trafikanter kører den samme rute på det samme tidspunkt hver dag [Pedersen og Kristensen, 2013], så selvom de havde mulighed for at forkorte rejsetiden ved at køre tidligere eller senere, er det ikke sikkert de vil gøre dette. Problemet ligger også i, at de fleste arbejdspladser møder på samme tidspunkt [Pedersen og Kristensen, 2013], så hvis nogle af trafikanterne skal køre enten tidligere eller senere, vil de enten komme for tidligt eller for sent på arbejde. Realtidsinformation kan dog også bruges til at oplyse trafikanterne om, hvornår køen starter og hvor meget længere rejsetid de kan forvente, sådan de er forberedte på det og kan tilpasse hastigheden efter dette.

Et andet dilemma der skal fokuseres på, er om trængselsperioden er konstant eller variere fra dag til dag, samt hvor stort et tidsrum trængslen strækker sig over. Idet der kun er to vejforbindelser over Limfjorden ved Aalborg er det ikke en mulighed for trafikanterne at vælge en anden rute, og derfor er det nødvendigt at fokusere på, at trafikanterne skal køre på andre tidspunkter. Jo længere trængselsperioden er, desto svære er det dog at få trafikanterne til at køre udenfor trængselsperioden.

2.1 Problemformulering

På baggrund af ovenstående problemfelt arbejdes der i dette speciale med følgende problemformulering:

> *Hvordan ser trængselsproblermerne ud på motorvejen omkring Limfjordstunnelen, og varierer trængselsperioden over tid? Hvilken betydning har de variable hastighedstavler på trængslen, og bliver hastigheden sat ned inden trafiksammenbruddet indtræffer?*

[1] Trafik alarm der advarer mod fotovogne og uheld [Saphe, n.d.]

Projektlokalitet 3

Trængslen i Limfjordstunnelen skyldes ikke kun selve tunnelen, men også de mange til- og frakørsler som der fører trafikken til og fra Nørresundby og Aalborg. Udover tunnelen er to af de store knudepunkter Motorvejskryds Vendsyssel og til- og frakørsel 23, *Kridtsvinget*. Motorvejskryds Vendsyssel ligger ca. 2,5 km nord for tunnelen og er bindeleddet mellem motorvej E45, motorvej E39 og Høvejen. Motorvej E45 leder trafikken mod Frederikshavn, motorvej E39 leder trafikken mod Hirtshals, men Høvejen fører trafikken ud mod hovedvejen til Thisted. Kridtsvinget ligger syd for tunnelen, og er placeret få hundrede meter fra tunneludmundingen. Kridtsvinget skiller sig ud fra andre motorvejsfrakørsler, da trafikanterne i det inderste spor i tunnelen bliver ført direkte af motorvejen, hvis de ikke aktivt skifter spor lige efter tunneludmundingen. Desuden kan trafikanterne køre fra i to spor, hvilket betyder, at trafikanterne som kører i midterste spor gennem tunnelen, ligeledes kan køre fra ved Kridtsvinget.

Idet trafikken i Limfjordstunnelen afhænger af, hvordan trafikflowet er ved disse to knudepunkter bliver projektlokaliteten fra afkørsel 20 *Bouet* til afkørsel 25 *Humlebakken*. Der vil blive analyseret på trafikken i både nord- og sydgående retning. Projektlokaliteten kan ses på figur 3.1.

Figur 3.1. Projeklokalitet med tilhørende afkørsler.

Motorvej E45 er etableret med to farbare spor i hver retning, men grundet trafikale problemer på projeklokaliteten er der udbygget med et ekstra spor i hver retning mellem Motorvejskryds Vendsyssel og afkørsel 23 *Kridtsvinget*. I sydgående retning mellem Limfjordstunnelen og afkørsel 24 *Øster Uttrup Vej* er der desuden også udbygget med et tredje spor. I 2015 valgte Vejdirektoratet at udbygge strækningen idet, at vejens stigning efter Limfjordstunnelen betød, at langsomkørende lastbiler var til gene for den resterende trafik. Det nye spor skulle dermed give et bedre flow samt en bedre trafikafvikling. [Clausen, 2015]

Da Limfjordstunnelen har stor betydning for den regionale trafik, er projektlokaliteten udstyret med forskellige intelligente transportsystemer (ITS) for at mindske de trafikale problemer. Heri indgår køvarslingsanlæg, variable tekststavler, hastighedsharmonisering og kameraovervågning. Køvarslingsanlægget anvendes til automatisk at advare trafikanterne om eventuel kø længere fremme, mens de variable teksttavler benyttes til at give trafikanterne information om bl.a rejsetid. Målet med hastighedsharmonisering er, at mindske risikoen for uheld og give en mere glidende trafikafvikling, mens kameraovervågning kan bruges til hurtig og korrekt reaktion ved uheld eller andre hændelser der kan forstyrre trafikafviklingen. Desuden har Limfjordstunnelen et trafikreguleringsanlæg, som bl.a. giver mulighed for vognbaneregulering, spærring af det ene tunnelrør samt overledning af trafik mellem tunnelrør. [Sørensen, 2011]

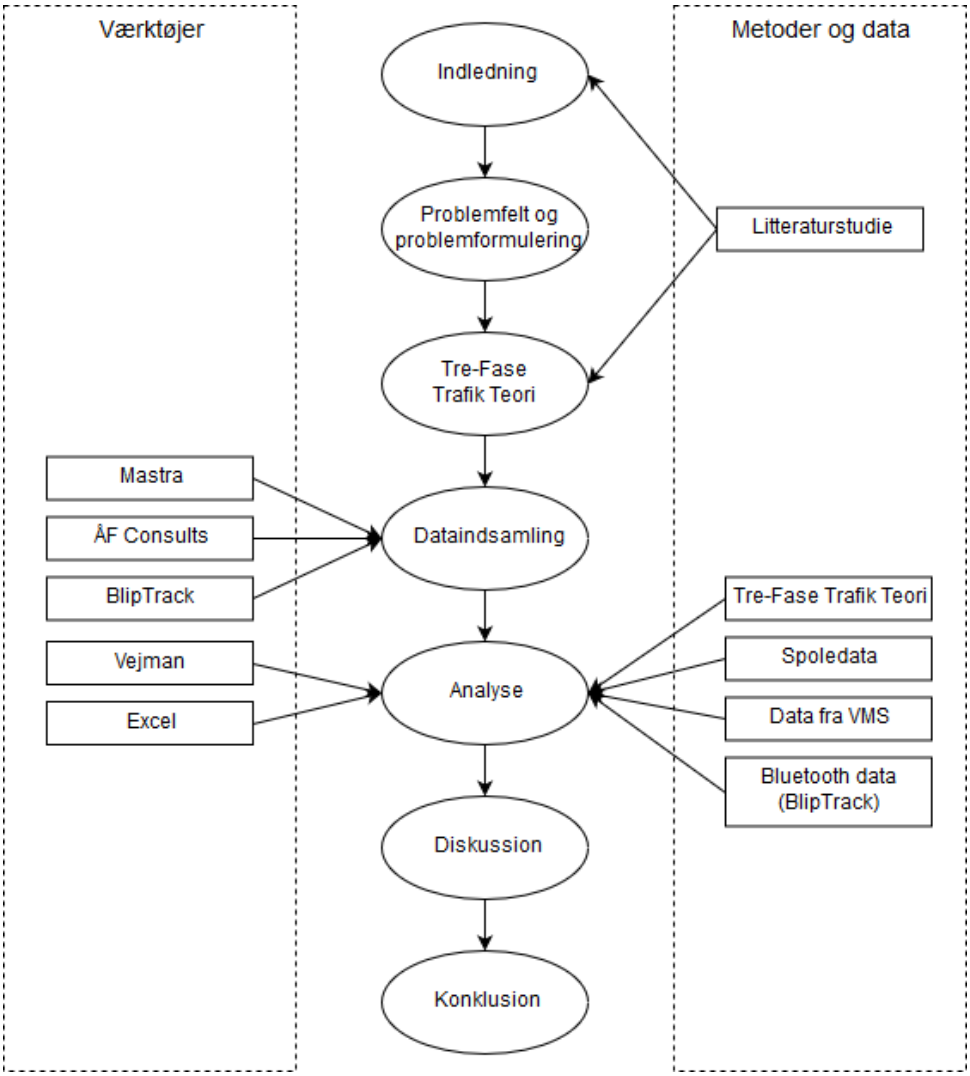
Trafikreguleringsanlægget er især anvendeligt ved reparationer og vedligeholdelse af tunnelen, men kan også anvendes ved uheld. Ved overledning af trafikken vil begge retninger gå fra at have tre farbare spor med 90 km/t til kun at have ét farbart spor med 50 km/t. Dette betyder, at kapaciteten nedsættes drastisk gennem tunnelen, og dermed vil reparationer og vedligeholdelse foregå på det tid af døgnet, hvor trafikmængden er lavest. Udover de nævnte intelligente transportsystemer står der flere Bluetooth målestationer på projektlokaliteten, som bruges til at måle rejsetider.

Metode 4

I dette kapitel beskrives de metoder der er anvendt i forbindelse med specialet. Først beskrives arbejdsgangsprocessen, som tydeliggør hvilke metoder og værktøjer der er anvendt, og hvornår disse er blevet anvendt. Herefter beskrives metoder og typer af data, der er blevet anvendt.

4.1 Proces

I projektet er der benyttet flere værktøjer og metoder for at kunne besvare problemformuleringen, og disse fremgår af figur 4.1.



Figur 4.1. Flowchart som viser projektets proces med inddragelse af de værktøjer og metoder der er anvendt.

Arbejdsprocessen er startet med et litteraturstudie for at bestemme vinklen på projektet og hvilke(n) teori(er) der anvendes. Dette har ført videre til dataindsamling, hvor der er udtrukket data fra

forskellige værktøjer, hvorefter analysen blev påbegyndt. I analysen er der anvendt teorien Tre-Fase Trafik Teori [Kerner, 2009; Kerner, 2017] og tre forskellige datatyper. Analysen har efterfølgende ført til en diskussion som har ledt videre til en konklusion på problemformuleringen.

4.2 Litteraturstudie

I dette kandidatspeciale er der blevet anvendt et litteraturstudie, hvor der er blevet anvendt forskellige databaser og søgetjenester for at finde en tilstrækkelig og relevant litteratur. De databaser der er blevet anvendt er:

- Primo, Aalborg Universitetsbiblioteks (AUB) søgemaskine
- Trafik og Veje
- Google
- Vejregler

I forbindelse med tidligere bachelorprojekt blev der kendskab til bøgerne *Highway Capacity Manual* af Transportation Research Board og *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control* af Boris S. Kerner. Ved søgningen efter Highway Capacity Manual via Primo, som viste sig ikke at være relevant for projektet, blev der kendskab til bogserien "Springer Tracts on Transportation and Traffic", hvori bogen *Road Traffic Congestion: A Concise Guide* indgår. Efterfølgende blev der søgt på Kerner på Primo, hvor der er blevet anvendt de to bøger *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control* og *Breakdown in Traffic Networks*. Disse tre bøger danner grundlag for teorien gennem dette speciale.

Til indledningen og projeklokaliteten er der blevet søgt efter litteratur som indeholdte nogle af følgende ord; Limfjordstunnel, ITS, trængsel og 3. Limfjordsforbindelse på Trafik og Veje samt Google. Hertil er der blevet anvendt både faglige artikler og avisartikler. Der er blevet set kildekritisk på avisartiklerne, idet disse oftest er subjektive. I dette speciale er avisartiklerne hovedsageligt anvendt i indledningen, hvor de anvendes som indledning til generelle problemstillinger på det danske vejnet. Der er desuden blevet undersøgt, at personerne der udtaler sig i avisartiklerne er fagfolk, som gør artiklerne mere pålidelig.

Til information omkring de forskellige datatyper i metoden, og den videre analyse, er der blevet anvendt Trafik og Veje samt Vejregler, hvor der er blevet søgt på litteratur indeholdende følgende ord; spoler, detektorspoler, Bluetooth, BlipTrack, variable tavler, variable hastighedstavler, VMS[1], hastighedsharmonisering og hastighedstilpasning. Hertil er der også anvendt materiale modtaget af Vejdirektoratet, samt information der er givet via mail fra Vejdirektoratet.

4.3 Data

I forbindelse med analysen af trafikken og trængslen på projeklokaliteten anvendes data fra de detektorspoler Vejdirektoratet har på området. Hertil anvendes der også information fra de variable hastighedstavler. Derudover anvendes der Bluetooth data fra BLIP Systems som skal bruges til at analysere rejsetiderne på projektlokaliteten.

4.3.1 Spoledata

Detektering med spoler kom til Danmark i 1960'erne og er med årene blevet udviklet således det i dag er den mest præcise detekteringsform, der kendes [Gautier, 2016].

[1] Variable Message Signs

Detektorspoler kan anvendes til mange formål bl.a. variable færdselstavler, variable teksttavler og statistik. Detektoren består grundlæggende af tre dele; et detektorkort, tilledning og en detektorspole, hvor detektorspolen nedfræses i asfalten. De tre dele udgør tilsammen et elektrisk kredsløb, hvor der bliver sendt vekselstrøm igennem. Omkring spolens ledning er der et varierende elektromagnetisk felt, og når et køretøj med metaldele passerer feltet vil det give en magnetisk påvirkning, som resulterer i en ændring i strømmen i spolen. Denne ændring registrere detektorkortet, som kan omsætte dette til trafikdata. Der kan anvendes både enkeltspoler og dobbeltspoler, og på projektlokationen er der anvendt dobbeltspoler, da disse anvendes til at detektere retning, hastighed og køretøjslængde. [Vejdirektoratet, 2012]

Fordelen ved detektorspoler er, at det er en gennemprøvet teknologi som giver trafikregistrering af meget høj kvalitet. Desuden er detektorspoler billigere end andre detektortyper, men tilgængelig er ulempen at installationsomkostningerne er forholdsvis store. En anden ulempe er, at spolerne bør efterses regelmæssigt for slitage og belægningsskader. Dette gøres for at kunne nå at udbedre skaderne inden detektorspolen ødelægges. [Vejdirektoratet, 2012]

4.3.2 Variable hastighedstavler

Variable hastighedstavler er dynamiske tavler, som gør at hastighedsgrænsen kan variere over tid. De kan opsættes omkring kryds eller på udvalgte strækninger, og der skelnes mellem fire forskellige typer. Den første type er, hvor hastighedsgrænsen aktiveres manuelt eller aktiveres i prædefinerede tidsrum. En anden er, hvor de variable hastighedstavler opsættes i kryds, hvor hastighedsgrænsen reduceres i primærretningen, hvis der detekteres sidevejstrafik eller svingende trafik på primærvejen. De sidste to typer er, hvor hastighedsgrænsen varierer på baggrund af målinger, eksempelvis trafikanternes hastighed eller trafikdensitet, og hvor hastighedsgrænsen varierer på baggrund af vejrforholdene. [Vejdirektoratet, 2014]

I forbindelse med variable hastighedstavler på strækninger arbejder man med funktionerne hastighedsharmonisering og hastighedstilpasning [Lauritzen, 2015]. Hastighedsharmonisering er en funktion, som forsøger at få trafikanterne til at køre med en ensartet hastighed, og ikke nødvendigvis en nedtrapning i hastighed til 50 km/t [Lauritzen, 2019]. Ved hastighedsharmonisering måles der løbende hastigheder i hver vognbane, hvorefter middelhastigheden for 30 sekunders intervaller bestemmes. Herefter anvendes en funktion til at udjævne hastigheden, hvormed resultatet fra den vognbane med højeste udjævnede hastighed anvendes som styreparameter. Til at beregne hastighedsvisningen på hvert tavlesnit, anvendes der data fra et detektorsnit ved tavlesnittet samt det følgende detektorsnit nedstrøms. Ud fra denne beregning anvendes tabel 4.1 for at bestemme hastighedsvisningen på tavlesnittet. [Lauritzen, 2015]

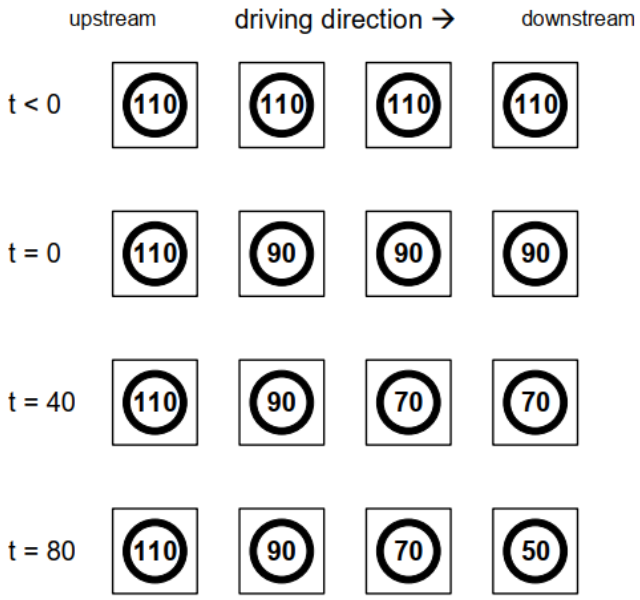
Tabel 4.1. Hastighedsvisning på et tavlesnit ud fra den styrende hastighed [Lauritzen, 2015].

Ved styrende hastighed mellem	**og**	**peges på visning**
0 km/t	55 km/t	50 km/t
55 km/t	65 km/t	60 km/t
65 km/t	75 km/t	70 km/t
75 km/t	85 km/t	80 km/t
85 km/t	95 km/t	90 km/t
95 km/t	200 km/t	110 km/t

Formålet med hastighedstilpasning er, at hastighedsvisning på nabotavlesnit afpasses hinanden og at hastighedsændringer foregår med små spring [Lauritzen, 2015]. Hastighedstilpasning bruges

som køvarsling, hvor hastigheden nedtrappes til køen nedstrøms [Lauritzen, 2019]. Det ønskes, at hastigheden på tavlerne ændres trinsvis på baggrund af den reelle hastighed, og der anvendes trinparametrene 20 km/t og 40 sekunder. Hvis den reelle hastighed er mere end 20 km/t lavere end den aktuelle tavlevisning, så nedsættes hastigheden på tavlerne med 20 km/t pr. 40 sek. Samme princip følges hvis der skal skiftes til en højere hastighed, hvor den viste hastighed øges med 20 km/t pr. 40 sek. [Lauritzen, 2015].

På projektlokaliteten anvendes begge funktioner [Vejdirektoratet, 2018a], og på figur 4.2 ses et eksempel på hastighedstilpasning på projektlokaliteten.



Figur 4.2. Eksempel på hastighedstilpasning fra 110 km/t til 50 km/t på projektlokaliteten [Vejdirektoratet, 2018a]. t er tiden i sekunder.

På projektlokaliteten anvendes Vejdirektoratets detekterspoler til at måle hastighederne, som anvendes til at bestemme hastighedsvisningen på de variable hastighedstavler.

4.3.3 Bluetooth data

Bluetooth data indsamles med en detektor, hvor detektoren registrerer passerende som har en aktiv synlig Bluetoothenhed. For at Bluetoothenheden er synlig for detektoren, skal den være indstillet til aktivt at udsende et ID til de nærmeste omgivelser. Hver Bluetoothenhed har er unikt ID, som bl.a. kan indeholde enhedsnavn og tekniske informationer. For at kunne anvende Bluetooth til at bestemme rejsetiden, skal der anvendes to detektorer. Når den samme Bluetoothenhed er blevet registreret ved begge detektorer, er det muligt at bestemme rejsetiden imellem dem. Indtil videre kan detektorer som registrerer Bluetoothenheder kun bruges til at måle rejsetid. [Vejdirektoratet, 2012]

Installationen består af en retningsantenne samt en boks med en Bluetooth-transceiver, strømforsyning og datakommunikationsenhed. Det er unikt for denne type detektor at indeholde alle disse funktioner i én enhed. Installationen skal gerne placeres højt i forhold til trafikken, enten over kørebanen eller i vejsiden, men ellers har den ikke brug for en bestemt placering ift. den trafik, der skal detekteres. Afhængig af hvilken type detektor der anvendes, kan rækkevidden være fra ca. 10-15 meter og op til ca. 100 meter. Forsøg med Bluetooth detektering har vist, at mellem 10 og 25 % af køretøjerne, der passerer detektoren, registreres. [Vejdirektoratet, 2012]

Bluetooth detektoren skiller sig ud fra andre detektorer, da denne ikke reagerer specifikt på køretøjer,

men på alle aktive og synlige Bluetoothenheder indenfor detektionzonen. Detektoren kan registrere køretøjers indbyggede Bluetoothenhed eller en af de løse Bluetoothenheder, som hænger med køretøjet eller passagererne, herunder mobiltelefoner, computere og GPS-modtagere. Der er dog en risiko for, at der kan være flere Bluetoothenheder i samme køretøj som vil blive registreret som hvert sit køretøj. [Vejdirektoratet, 2012]

Andre udfordringer ved at anvende Bluetooth til dataindsamling er registreringandelen og afstanden til registrering. Registreringsandelen kan være en udfordring, da det ikke er alle som vil blive registreret. Dette afhænger af den anvendte hardware, den kørte hastighed og lokale forhold, som ville kunne forstyrre signalet. Afstanden til registrering er en udfordring, da køretøjerne ikke bliver registreret præcist ud fra målestationerne. For det første bliver en forbikørsel registreres som en serie af individuelle registreringer, hvor der skal udvælges én registrering i den videre behandling, og for det andet kan afstanden variere med $\pm$ 250 meter. [Olesen og Knudsen, 2013]

Der er også betydelige fordele ved anvendelse af Bluetooth detektering. Det er en hurtig fysisk opsætning, som kan foregå uden den store gene for trafikken. Installationsomkostningerne er lave [Vejdirektoratet, 2012] og vedligehold er begrænset, da boksen passer sig selv. Det betyder, at det data der fås ved Bluetooth detektering er billige, og samtidig er det også pålidelige data. [Olesen og Knudsen, 2013]

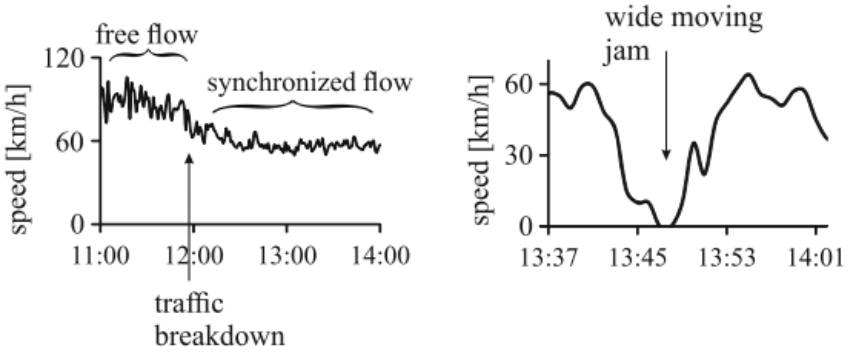
Levetiden er også en fordel, da denne er på 10-15 år. Levetiden har dog en ulempe ved at den afhænger af hvilke andre teknologier der kommer frem, da Bluetooth har en risiko for at blive udfaset ved nye forbedret teknologier. Derudover er der også flere mobile enheder, hvor Bluetooth ikke er aktiv synlig, som betyder, at enheden ikke bliver registreret. [Vejdirektoratet, 2012]

BLIP Systems anvender målestationer med Bluetooth sensorer, som via 3G modem sender realtidsdata til en BlipTrack server. Serveren gemmer sensordataene og udregner gennemsnitsrejsetider. Rejsetiderne kan følges i realtid via en webbaseret brugergrænseflade, hvor der ligeledes forefindes historiske rejsetider som kan bruges til analyser. [Knudsen og Tørholm, 2010]

Tre-Fase Trafik Teori 5

I den klassiske trafik teori anvendes der to forskellige faser inden for trafikafvikling: *frit flow* (free flow) og *trængsel* (congested traffic). Den klassiske trafik teori kan dog hverken forklare trafiksammenbrud (traffic breakdown) eller de fleste parametre inden for trængselsmønstrene. Dette var grunden til, at Boris S. Kerner introducerede *Tre-Fase Trafik Teori* (Three-Phase Traffic Theory), som kan forudsige og forklare trafiksammenbrud og den resulterende trængsel i både rum og tid. I Tre-Fase Trafik Teorien indgår der en ekstra fase end i den klassiske trafik teori. Her bliver trængsel opddelt i to faser: *synkroniseret flow* (synchronized flow) og *bevægelig kø* (wide moving jam). [Kerner, 2009]

Alle tre faser samt trafiksammenbrud er illustreret på figur 5.1, og bliver i de efterfølgende afsnit beskrevet.



Figur 5.1. Visualisering af faserne og trafiksammenbrud [Kerner, 2017].

5.1 Frit flow

Frit trafik flow er når køretøjstætheden er meget lille, hvilket betyder at interaktioner mellem køretøjer kan negligeres. Trafikken bliver afviklet uden problemer, hvor køretøjerne kan køre med den ønskede maksimale hastighed medmindre der er hastighedsrestriktioner på grund af vejens tilstand eller trafikale reguleringer. Når køretøjstætheden stiger i frit flow vil trafikintensiteten (flow rate) ligeledes stige, og dermed kan interaktionerne mellem køretøjerne ikke længere negligeres. Ved interaktioner mellem køretøjerne vil den gennemsnitlige køretøjshastighed falde mens køretøjstætheden vil stige. Sammenhængen mellem køretøjstætheden, trafikintensiteten og gennemsnitshastigheden kan ses i formel 5.1. [Kerner, 2009]

$$\rho = \frac{q}{v} \tag{5.1}$$

Hvor:

v	Gennemsnitshastighed [km/t]
q	Trafikintensitet [kt/t]
ρ	Køretøjstæthed [kt/km]

Stigningen i både trafikintensiteten og køretøjstætheden i frit flow har i empiriske trafik data en grænse. Hvor trafikintensiteten og køretøjstætheden har deres maksimumsværdi har gennemsnitshastigheden sin minimumsværdi, jf. formel 5.2. [Kerner, 2009]

$$v_{min}^{(free,\ emp)} = \frac{q_{max}^{(free,\ emp)}}{\rho_{max}^{(free,\ emp)}} \tag{5.2}$$

Hvor:

$v_{min}^{(free,\ emp)}$	Minimumsværdi for gennemsnitshastigheden [km/t]
$q_{max}^{(free,\ emp)}$	Maksimumsværdi for trafikintensiteten [kt/t]
$\rho_{max}^{(free,\ emp)}$	Maksimumsværdi for køretøjstætheden [kt/km]

5.2 Trængsel

Trængsel opstår når den gennemsnitlige hastighed er mindre end minimum gennemsnitshastigheden som stadig er mulig i frit flow. Denne minimum gennemsnitshastighed bestemmes i empiriske observationer ud fra trafik variabler (f.eks. gennemsnitlig køretøjshastighed og trafikintensitet), som oftest analyseres i flow/tæthed (flow/density) eller hastighed/flow (speed/flow) diagrammer. Trafik variablerne måles ud fra et langt nok tidsinterval i nærheden af flaskehalsen. [Kerner, 2017]

Trængsel består af de to faser synkroniseret flow og bevægelig kø. Synkroniseret flow opstår når tætheden i frit flow bliver for stor. Det er et kontinuert trafik flow med ingen signifikante stop, som oftest opstår indeni en bevægelig kø. [Kerner, 2009]. I synkroniseret flow er den gennemsnitlige hastighed mindre end i frit flow, hvorimod trafikintensiteten kan være lige så stor som i frit flow [Kerner, 2017].

En bevægelig kø er et lokaliseret trængselsmønster som bevæger sig opstrøms i et trafik flow. Indenfor den bevægelig kø er gennemsnitshastigheden meget lav (kan være helt ned til 0 km/t) og køretøjstætheden er meget høj. Trængsel opstår oftest ved motorvejs flaskehalse. [Kerner, 2009]

5.3 Trafik flaskehalse

En trafik flaskehals er modsat en trafikprop et resultat af et specifik fysisk fænomen. Der findes to typer af flaskehalse; tilbagevendende flaskehalse og ikke-tilbagevendende flaskehalse. Tilbagevendende flaskehalse er, hvor vejens kapacitet bliver reduceret således, at myldretidstrafikken begynder at skabe kødannelse, hvilket fører til trængsel. Tilbagevendende flaskehalse består af topografiske barrierer og fysiske flaskehalse, og eksempler på disse er vejindsnævringer, motorvejstilkørsler og stejle vertikale gradienter, som får køretøjerne til at køre langsommere. Kendetegnet for en tilbagevendende flaskehals er, at trængslen er tilbagevendende og opstår på de samme lokaliteter. En ikke-tilbagevendende flaskehals er når vejens kapacitet bliver reduceret pga. uheld, vejr, vejarbejde og trafikantadfærd. Det kan også være når efterspørgslen på vejnettet overstiger vejens kapacitet, f.eks. når trafikanter skal hjem efter større begivenheder eller færgetræk. Ikke-tilbagevendende flaskehalse sker oftest på samme tidspunkt og ved samme lokalitet som tilbagevendende flaskehalse, og derfor bør foranstaltninger for at afhjælpe trængsel imødekomme begge typer af flaskehalse. [Falcocchio og Levinson, 2015]

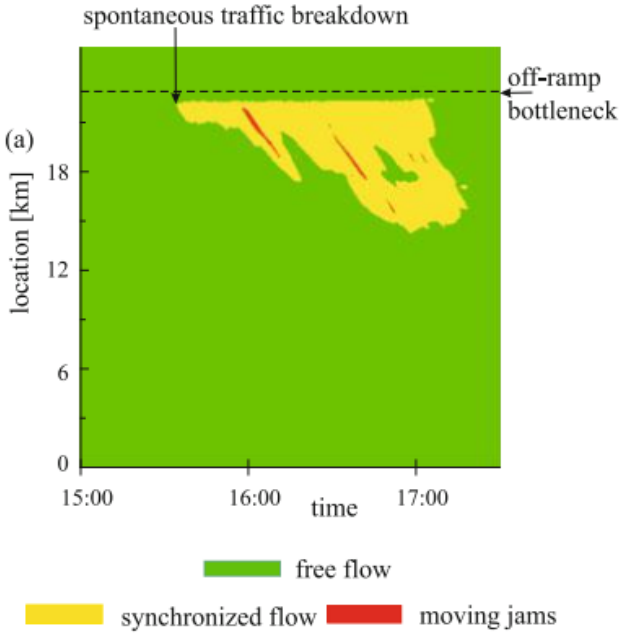
Langsomkørende køretøjer kan også danne en flaskehals, og disse betegnes som bevægelige flaskehalse [Kerner, 2017].

5.4 Trafiksammenbrud

Trafiksammenbrud er en overgang fra frit flow til synkroniseret flow, dvs. trafiksammenbrud sker ved overgangen til trængselsfasen. Trafiksammenbrud med resulterende trængsel sker oftest ved flaskehalse. Selve sammenbruddet ved motorvejs flaskehalse varer typisk et minut eller under. Faseskiftet med trafiksammenbrud kan ses på figur 5.1. [Kerner, 2017]

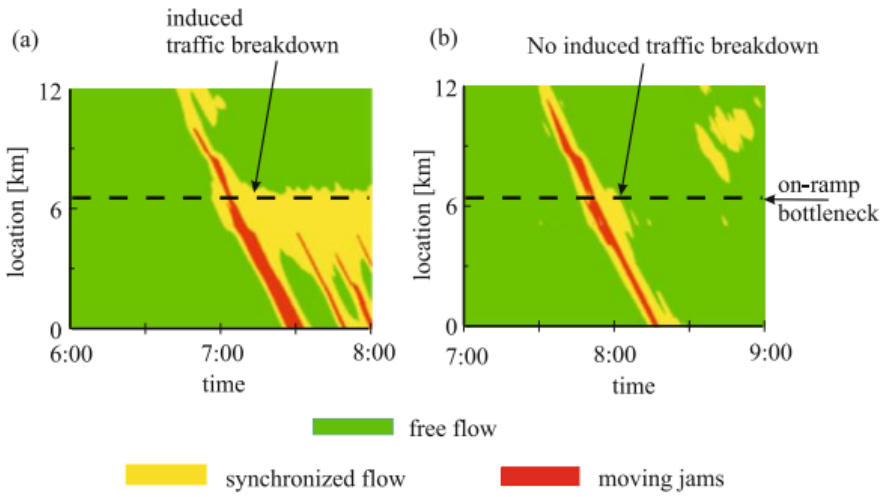
5.4.1 Typer af sammenbrud

Der findes to former for trafiksammenbrud, *spontant* (spontaneous) og *induceret* (induced), som begge er mulige ved den samme flaskehals. Hvis der er frit flow ved flaskehalsen samt i både indløbet og udløbet før trafiksammenbruddet sker, er der tale om et spontant trafiksammenbrud, hvilket er illustreret på figur 5.2. [Kerner, 2009]



Figur 5.2. Illustration af spontant trafiksammenbrud [Kerner, 2017].

Induceret trafiksammenbrud ved en flaskehals er når trængselsmønstret udbreder sig i tid og rum. Dette betyder at trængslen er opstået tidligere end trafiksammenbruddet ved flaskehalsen, samt ved en anden lokalitet (f.eks. en anden flaskehals). Når trængslen når den pågældende flaskehals vil trafiksammenbruddet ske. Dette er illustreret på figur 5.3. [Kerner, 2009]



Figur 5.3. Illustration af induceret trafiksammenbrud [Kerner, 2017].

5.4.2 Oprindelsen af trafiksammenbrud

I frit flow ved motorvejsflaskehalse er der mange forskellige lokale forstyrrelser af køretøjshastighed, -tæthed og trafikintensitet, som kan være med til skabe trafiksammenbrud ved flaskehalsen. En af disse forstyrrelser er køreadfærds karakteristika, hvor trafiksammenbruddet sker på grund af en konkurrence mellem to modsatrettede tendenser; tendensen til synkroniseret flow på grund af *hastighedstilpasnings effekten* (speed adaption effect) og tendensen til frit flow på grund af *over-accelerations effekten* (over-acceleration effect). [Kerner, 2017]

For en kvalitativ overvejelse af disse to tendenser introduceres begrebet en *stabil tilstand af synkroniseret flow* (steady state of synchronized flow). Det er en hypotetisk tilstand af synkroniseret flow af identiske køretøjer og chauffører, hvor alle køretøjer kører med den samme tidsafhængige hastighed og har den samme afstand/mellemrum (space gap) til andre køretøjer. Dette betyder at synkroniseret flow er homogen i både tid og rum, og dermed er køretøjsacceleration og -deceleration lig med nul. [Kerner, 2017]

I enhver stabil tilstand af synkroniseret flow er køretøjshastigheden v større end nul, hvilket betyder at mellemrummet g og tidsforskellen mellem køretøjerne τ hænger sammen med køretøjshastigheden, jf. formel 5.3 [Kerner, 2009].

$$g = v \cdot \tau \tag{5.3}$$

Den øvre grænse for stabil tilstand af synkroniseret flow er bestemt ud fra en sikkerhedsafstand g_{safe} associeret med en sikkerhedstids τ_{safe} [Kerner, 2009]:

$$g_{safe}(v) = v \cdot \tau_{safe}(v) \tag{5.4}$$

Den nedre grænse er bestemt ud fra en synkroniseringsafstand (synchronization space gap) mellem køretøjerne, betegnes G, associeret med en synkroniseringstid τ_G [Kerner, 2009]:

$$G(v) = v \cdot \tau_G(v) \tag{5.5}$$

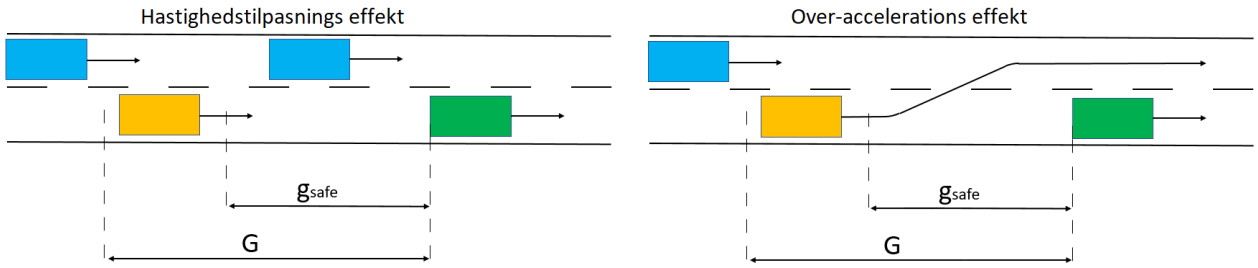
Ved en given stabil hastighed i synkroniseret flow er der et uendelig antal af mellemrum g indenfor:

$$g_{safe} \leq g \leq G \tag{5.6}$$

hvor et køretøj kan bevæge sig med den stabile tidsafhængige hastighed v [Kerner, 2009].

Hastighedstilpasnings effekten og over-accelerations effekten

Hastighedstilpasnings effekten er når et køretøj nærmer sig et langsommere forankørende køretøj, hvor det er ikke er muligt at passere dette køretøj, og dermed må decelerere indenfor afstanden G for at tilpasse hastigheden til den forankørende. Over-accelerations effekten er en manøvre hvor et køretøj accelerer for at passere den forankørende ved at skifte til en hurtigere vognbane. Disse to tendenser er begge skitseret på figur 5.4, hvor G er en afstand mellem køretøjerne i synkroniseret flow og g_{safe} er en sikkerhedsafstand. [Kerner, 2009]



Figur 5.4. Illustration af hastighedstilpasnings effekt og over-accelerations effekt [Kerner, 2009]. Den gule bil er den som betragtes, mens den grønne bil er det langsomkørende køretøj.

5.4.3 Kritisk hastighed

Trafiksammenbrud kan bestemmes ud fra enten hastighed eller tæthed, og når formel 5.7 er opfyldt vil der opstå trafiksammenbrud ved flaskehalsen [Kerner, 2009]:

$$v \leq v_{cr,\,FS}^{(B)} \qquad (\rho \geq \rho_{cr,\,FS}^{(B)}) \tag{5.7}$$

Hvor:

$v_{cr,\,FS}^{(B)}$	Kritisk hastighed [km/t]
$\rho_{cr,\,FS}^{(B)}$	Kritisk tæthed [kt/km]

Når det modsatte er opfyldt vil der ikke ske trafiksammenbrud ved flaskehalsen, jf. formel 5.8 [Kerner, 2009]:

$$v > v_{cr,\,FS}^{(B)} \qquad (\rho < \rho_{cr,\,FS}^{(B)}) \tag{5.8}$$

Grunden til, at trafiksammenbrud ikke bestemmes ud fra trafikintensiteten skyldes, at trafiksammenbrud ved motorvejsflaskhalse har en stokastisk adfærd. Dette betyder, at ved en given trafikintensitet i frit flow ved flaskehalsen kan der ske trafiksammenbrud, men det er ikke en selvfølge, at det forekommer. Hvis der en dag forekommer trafiksammenbrud, er det ikke nødvendigt, at der forekommer trafiksammenbrud en anden dag, selvom trafikintensiteten er den samme. Dermed kan trafiksammenbrud ved den samme motorvejsflaskehals forekomme med forskellige trafikintensiteter på de forskellige dage. [Kerner, 2017]

Empiriske studier viser, at under et trafiksammenbrud falder køretøjshastigheden drastisk. Efter sammenbruddet er sket kan trafikintensiteten være lige så stor som i det indledende frit flow, og derfor bliver trafiksammenbrud også omtalt som hastighedsdrop eller hastighedssammenbrud. [Kerner, 2017]

Dataindsamling 6

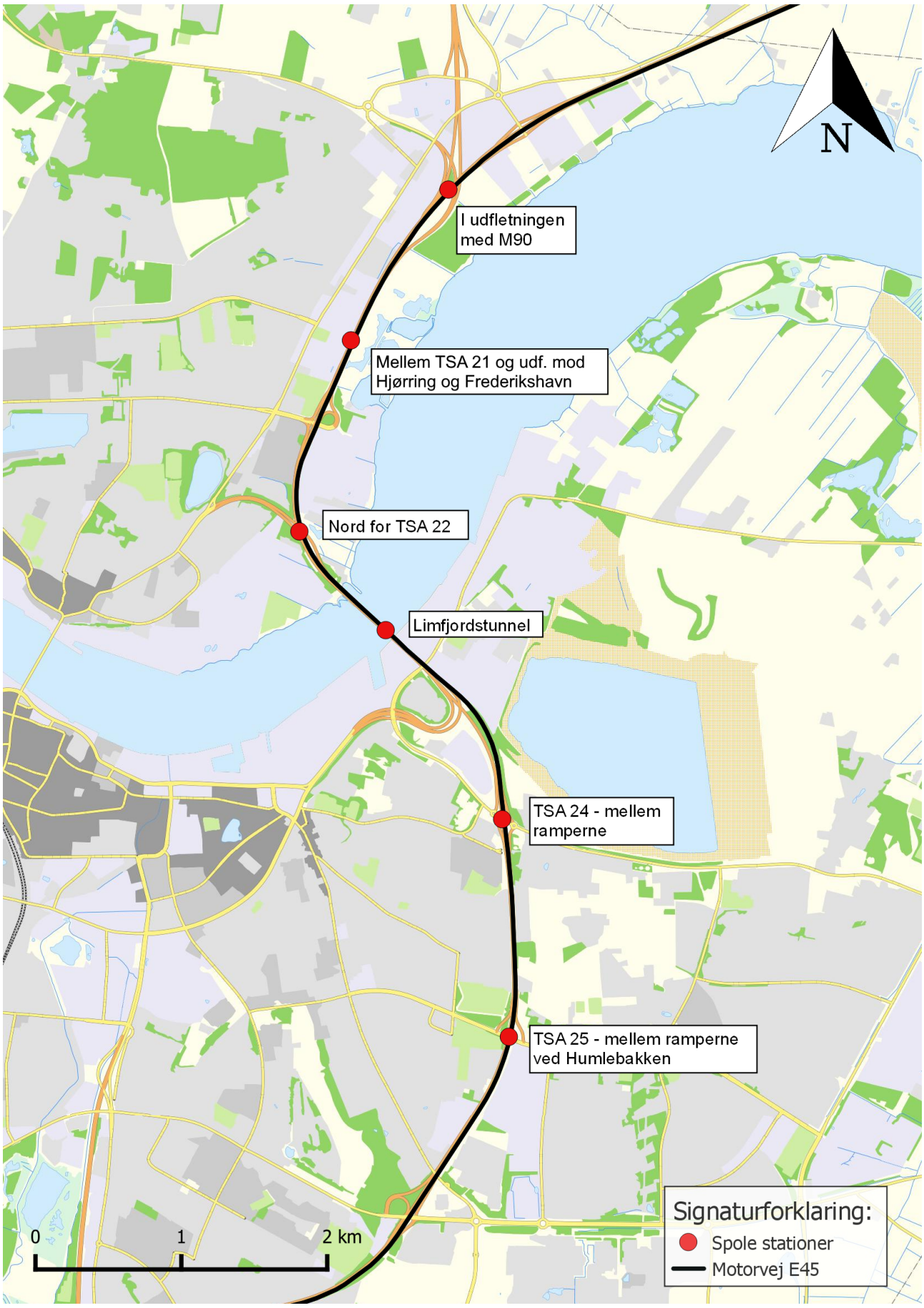
I dette speciale arbejdes der med data fra september 2018, som igennem specialet vil blive betegnet analyseperioden. Det er valgt at arbejde med data fra september måned, da dette er en trafikneutral måned, hvor der hverken er helligdage, ferier eller risiko for sne. Som beskrevet i kapitel 4 Metode anvendes der spoledata, data fra de variable hastighedstavler og Bluetooth data til at analysere trængselsproblemerne på projektlokaliteten.

6.1 Spoledata

Spoledataene er udtrukket fra Vejdirektoratets program Mastra [Vejdirektoratet, n.d.[a]] og findes i de elektroniske bilag "1 - Spolestation, [placeringen af spolestationen]", eks. "1 - Spolestation, Limfjordstunnel". Mastra er et internetbaseret program til trafikdatabehandling, som består af en database med trafikregistreringer og detaljerede oplysninger om bl.a. målesteder [Vejdirektoratet, 2019]. Dataene er udtrukket som enkeltkøretøjs rapporter samt aggregerede enkeltkøretøjs rapporter. Enkeltkøretøjs rapporterne består af dato og tidspunkt for køretøjernes passering af spolen, køretøjernes hastighed samt hvilket spor og hvilken retning køretøjet har kørt i. De aggregerede enkeltkøretøjs rapporter er udtrukket med et aggregeringsinterval på 1 minut og består af dato, tidspunkt, gennemsnitshastighed og antal køretøjer for hvert interval. Det skal bemærkes at i enkeltkøretøjs rapporterne er både personbiler og lastbiler medtaget, idet spoledataene ikke er opdelt efter køretøjstype. Dette kan give en variation i enkeltkøretøjs hastighederne, da personbilerne på projektlokaliteten må køre mellem 90 og 130 km/t, mens lastbilerne kun må køre 80 km/t.

Spoledataene anvendes til at bestemme den kritiske hastighed ud fra speed/flow diagrammer, hvorefter tidsrummene for hvornår der er sket trafiksammenbrud med resulterende trængsel kan bestemmes.

Der er blevet udtrukket spoledata fra seks spolestationer på projektlokaliteten. Tre af dem ligger nord for Limfjordstunnelen, to ligger syd for Limfjordstunnelen og den sidste er i selve tunnelen. Limfjordstunnelen har dog ingen detektorspoler, og spoledataene som er til rådighed i tunnelen er dannet ud fra spolerne lige før tunnelen [Vejdirektorat Aalborg, 2019]. Placeringen af de seks spolestationer samt deres navne kan ses på figur 6.1.



Figur 6.1. Spolestationer, hvor der er udtrukket data til analysen. Der udtrukket data fra både nordgående og sydgående trafik ved alle spolestationer.

I den resterende rapport bliver spolestationernes navne forkortet, dette er dog ikke gældende for de elektroniske bilag, og forkortelserne er som følgende:

I udfletningen med M90	→	M90
Mellem TSA 21 og udf. mod Hjørring og Frederikshavn	→	TSA 21
Nord for TSA 22	→	TSA 22
Limfjordstunnel	→	Limfjordstunnel
TSA 24 - mellem ramperne	→	TSA 24
TSA 25 - mellem ramperne ved Humlebakken	→	TSA 25

Spoledataene er udtrukket for hvert spor ved spolestationerne, og sporene betegnes; spor 1, spor 2 og spor 3.

- Spor 1 er det yderste og hurtigste spor
- Spor 2 er det inderste spor når der er to spor, og midtersporet når der er tre spor
- Spor 3 er det inderste spor ved tre spor

Der er tre spor ved spolestationerne: TSA 21, TSA 22 og Limfjordstunnelen. Det er dog valgt kun at analysere på to spor ved disse spolestationer. For at vælge, hvilket spor der afgrænses for er der undersøgt, hvor mange køretøjer der kører en tilfældig hverdag. Det er valgt at undersøge, hvor mange køretøjer der kører i døgnet samt i tidsrummene kl. 06-09 i sydgående retning og kl. 14-17 i nordgående retning. Det er i disse tidsrum det antages at myldretidstrafikken bliver afviklet. Antallet af køretøjer kan ses i bilag A, hvor det ses, at der generelt kører flere i spor 1 end i spor 3. Idet det ønskes at analysere på de værste tilfælde, vælges det at analysere på de spor med flest køretøjer. Dette betyder, at der afgrænses for at analysere på spor 3, og dermed bliver det spor 1 og spor 2 der analyseres ved alle spolestationer.

6.2 Variable hastighedstavler

Dataene fra de variable hastighedstavler er udtrukket af ÅF Consults, og findes i det elektroniske bilag "2 - VMS_M80_M70". Dataene består af dato, tidspunkt, strækning, tavle ID (indeholder strækning, kilometrering og tavleID) og visningsbibliotek, som viser den viste hastighed på tavlen.

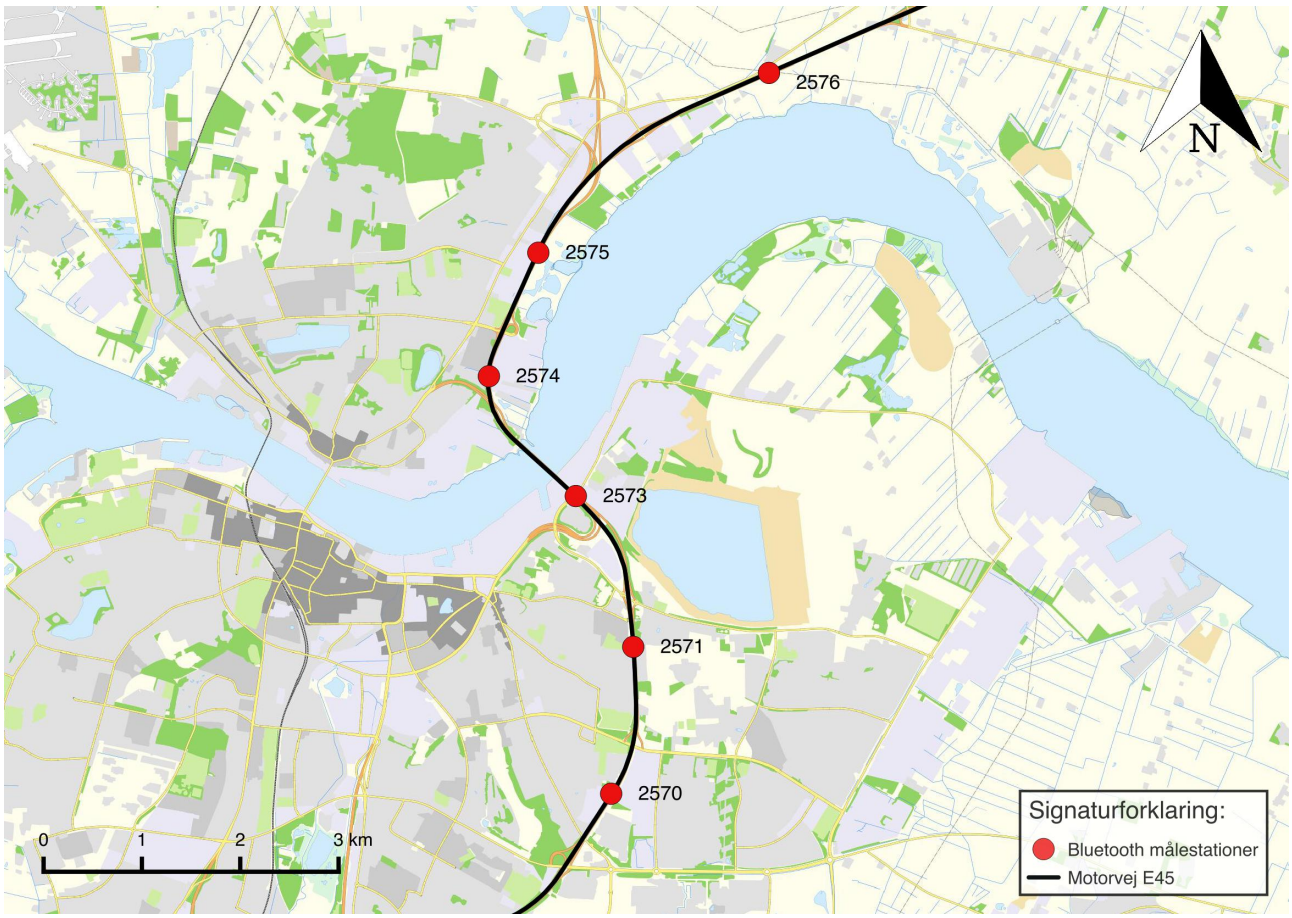
Dataene anvendes sammen med spoledataene for at undersøge, hvornår de variable hastighedstavler bliver sat ned i forbindelse med de tidspunkter, hvor der sker trafiksammenbrud. Hypotesen er, at de variable hastighedstavler først bliver sat ned efter sammenbruddet er indtruffet, og dermed bidrager de ikke til at afvikle trafikken optimalt. De tavler, hvor der er blevet udtrukket data fra kan ses på figur 6.2.

Figur 6.2. Variable hastighedstavler (VMS), hvor der er blevet udtrukket data fra. Retningen på tavlerne er angivet i navnet, hvor der inden selve tallet enten er angivet S for syd eller N for nord.

6.3 Bluetooth data

Bluetooth dataene er udtrukket fra BlipTrack [Systems, n.d.], som er BLIP Systems' internetbaseret brugergrænseflade, og dataene findes i de elektroniske bilag "3 - Bluetooth_data_nordgående"og "3 - Bluetooth_data_sydgående". Dataene er udtrukket som aggregerede rapporter med et aggregeringsinterval på 1 minut. Rapporterne består af et tidstempel med dato og tidspunkt, start og slut punkt (målestation), antal køretøjer og rejsetiden i hvert interval. Rejsetiden er inddelt i minimumsrejsetid, maksimumsrejsetid, gennemsnitlig rejsetid og rejsetids median. Det er valgt at anvende rejsetids medianen i den videre analyse, da medianen giver en bedre stabilitet, hvis der er målt nogle ekstreme rejsetider.

Dataene fra BlipTrack anvendes til at analysere trafikanternes rejsetid samt forsinkelse på projektlokaliteten. Der er udtrukket Bluetooth data fra seks målestationer omkring og langs projektlokaliteten. Den nordligste målestation ligger ca. 1 km nord for afkørsel 20 *Bouet*, mens den sydligste ligger ca. 500 meter syd fra afkørsel 25 *Humlebakken*. Alle målestationer kan ses på figur 6.3

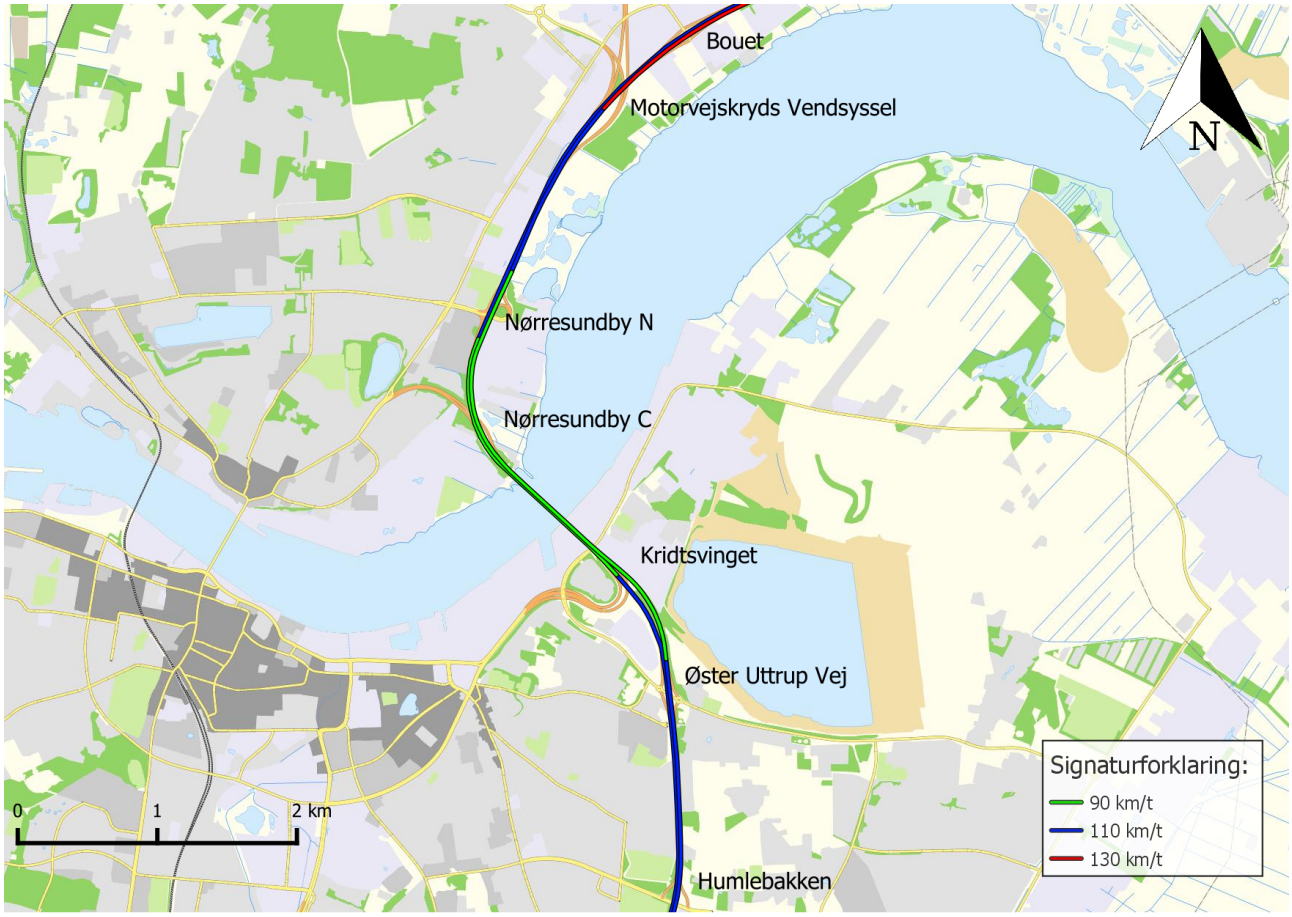


Figur 6.3. BlipTrack målestationer, hvor der er udtrukket data til analysen. Der er udtrukket data fra begge retninger.

Analyse 7

I forrige kapitel blev indsamling af data beskrevet, samt hvad dataene skal bruges til i analysen. Til at starte med i analysen udvælges de retninger for hver spolestation som anvendes i analysen, hvorefter de kritiske hastigheder bestemmes for at undersøge hvornår der er sket trafiksammenbrud med resulterende trængsel. Dernæst bliver hastighederne fra spoledataene sammenlignet med dataene fra de variable hastighedstavler for at undersøge om tavlerne har sat hastigheden ned inden trafiksammenbruddet er sket. Til sidst bliver der analyseret på BlipTrack data for at bestemme rejsetider samt forsinkelsestider.

Før analysen kan påbegyndes, skal hastighedsgrænserne på projektlokaliteten dog kendes. Hastighedsgrænserne varierer mellem 90 og 130 km/t, og er nødvendigvis ikke den samme i begge retninger. Idet der er variable hastighedstavler på større dele af projektlokaliteten kan hastigheden være lavere ved bl.a. myldretiden og uheld. På figur 7.1 ses de normale hastighedsgrænser.

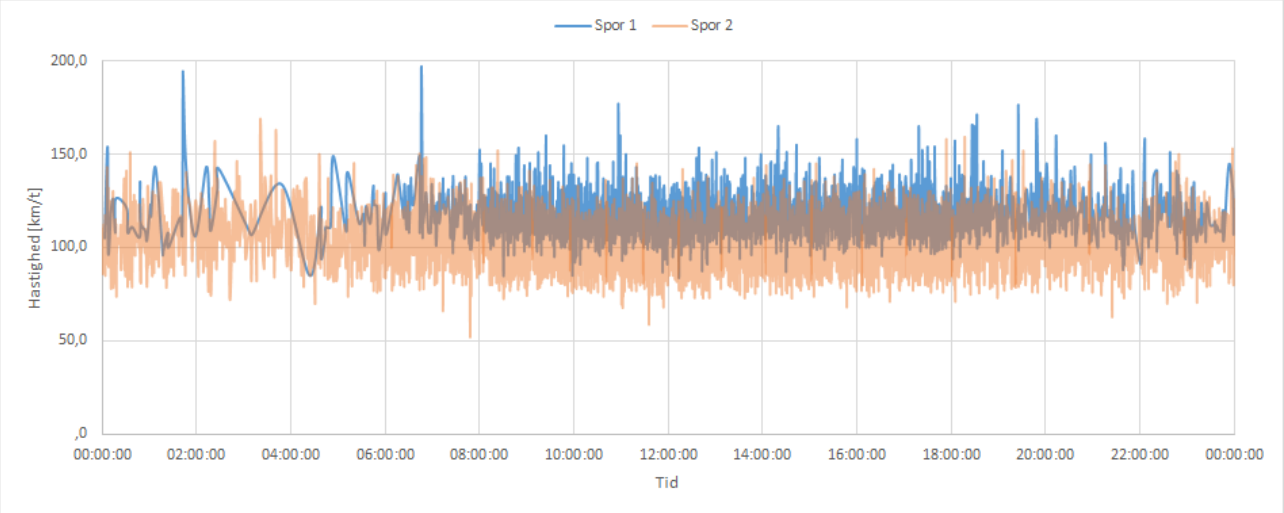


Figur 7.1. Hastighedsgrænserne på projektlokaliteten [Vejdirektoratet, n.d.[b]; Google Maps, n.d.].

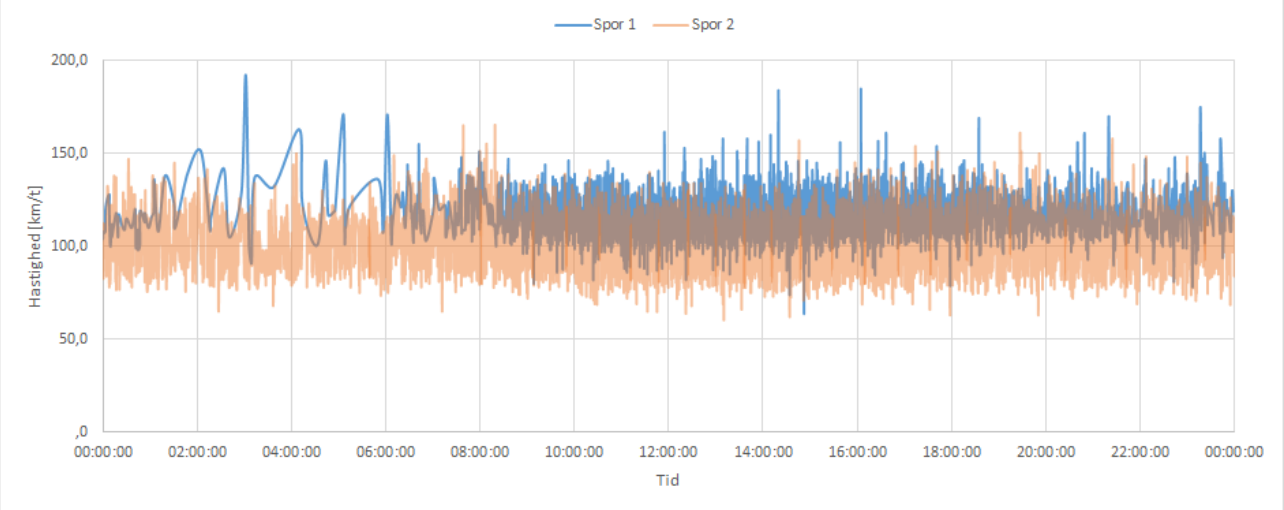
7.1 Analysesteder og -perioder

Det ønskes kun at analysere på de perioder, hvor der er sket gentagende trafiksammenbrud med resulterende trængsel. Først undersøges der om har været trafiksammenbrud i weekenderne, og dette gøres ved at tage udgangspunkt i enkeltkøretøjsdata fra spoledektektorne fra den første weekend d. 01.-02. september.

På figur 7.2 ses trafikken ved M90 i sydgående retning, mens på figur 7.3 ses trafikken ved TSA 25 i nordgående retning lørdag d. 01.09.2018. Graferne fra de andre spolestationer samt grafer fra søndage kan ses i det elektroniske bilag "4 - Analyseperioder_og_steder".



Figur 7.2. Den sydgående trafik ved M90 lørdag d. 01.09.2018.



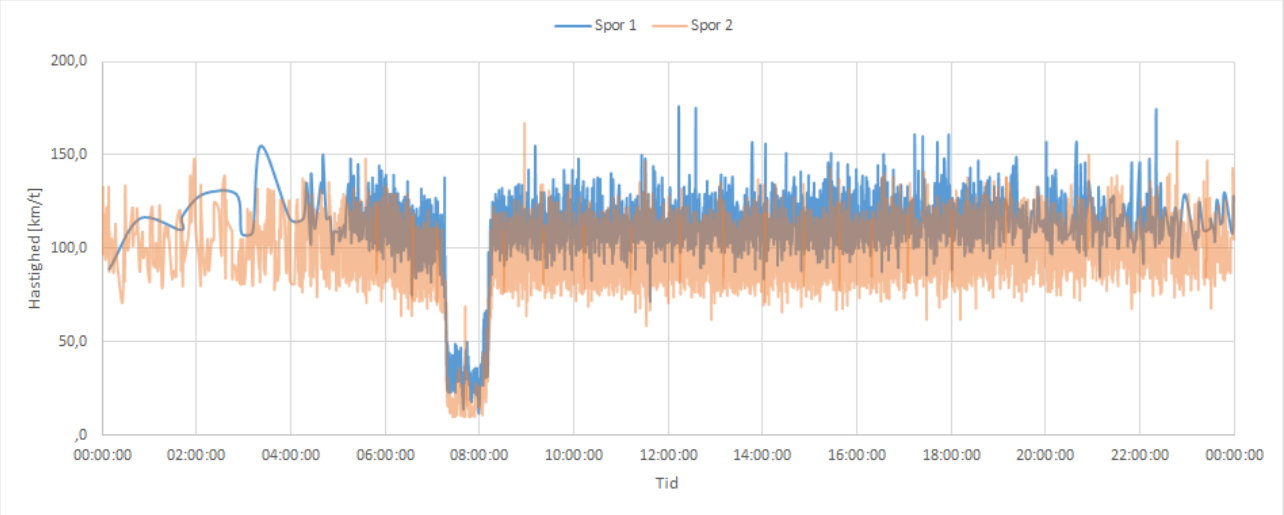
Figur 7.3. Den nordgående trafik ved TSA 25 lørdag d. 01.09.2018.

Ud fra graferne kan det ses, at der ikke har været trængsel eller trafiksammenbrud i weekenden, hvilket gælder for alle spolestationer. Dette betyder, at data fra weekenderne ikke bliver medtaget i de videre analyser, da det kun er interessant at analysere på de perioder, hvor der har været gentagende trængsel samt trafiksammenbrud. Dette betyder, at hvis der en enkelt weekend er sket trafiksammenbrud med efterfølgende trængsel, så medtages disse ikke i analysen.

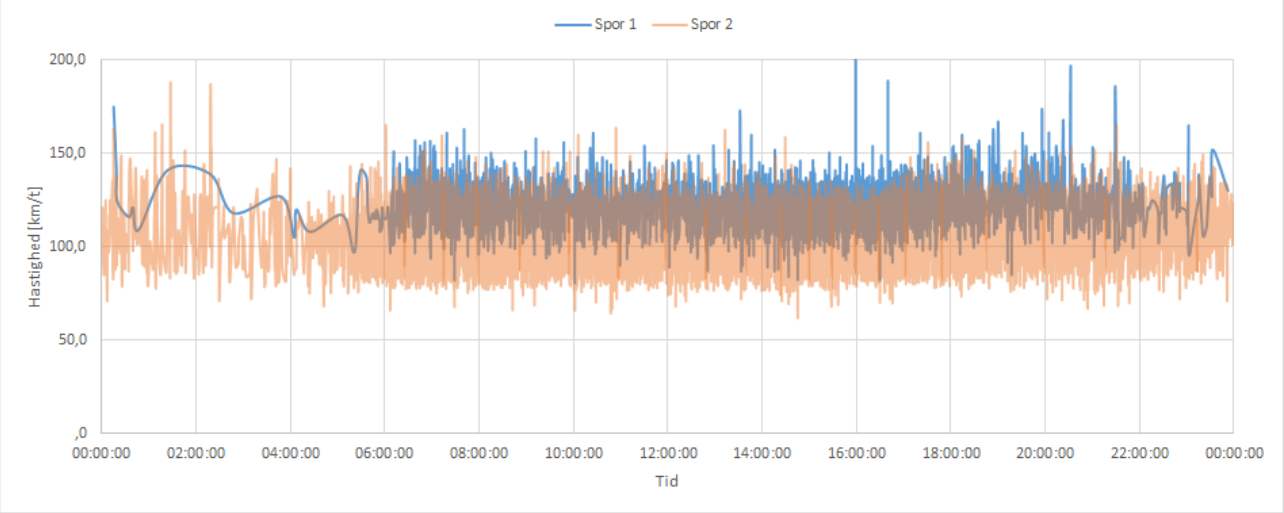
Udover at der ikke analyseres på alle dage, er det ikke sikkert, at der vil blive analyseret på alle spolestationer i begge retninger. Der vil blive analyseret de steder, hvor der har været gentagende

trafiksammenbrud med resulterende trængsel. For at finde ud af, hvor dette er gældende, er der lavet grafer for hver hverdag for hver spolestation i begge retninger i perioden 03.-07. september.

Det er valgt at tage udgangspunkt i to grafer for M90 d. 04.09.2018 i begge retninger, som kan ses på figur 7.4 og 7.5. De resterende grafer kan findes i det elektroniske bilag "4 - Analyseperioder_og_steder".



Figur 7.4. Den sydgående trafik ved M90 d. 04.09.2018.



Figur 7.5. Den nordgående trafik ved M90 d. 04.09.2018.

På figur 7.4 er det tydeligt at se, at der i sydgående retning er sket trafikssammenbrud med resulterende trængsel i morgentimerne, mens figur 7.5 viser, at der ikke har været trafiksammenbrud eller trængsel i nordgående retning. Det er samme tendens der er ved denne spolestation i perioden 03.-07. september.

I tabel 7.1 ses de retninger for hver spolestation, hvor der er sket trafiksammenbrud med resulterende trængsel, og det er dermed disse steder som medtages i analysen. Disse steder vil igennem analysen gå under betegnelsen *analysested*. Når der analyseres på de enkelte spor ved et analysested anvendes betegnelsen *analysepunkt*. Dermed er der to analysepunkter ved et analysested.

Tabel 7.1. Spolestationer med de retninger, hvor der er sket trafiksammenbrud med resulterende trængsel.

Spolestation	Analyseretning
M90	Sydgående
TSA 21	Sydgående
TSA 22	Sydgående
Limfjordstunnel	Sydgående og nordgående
TSA 24	Nordgående
TSA 25	Nordgående

Ud fra tabel 7.1 ses det, at det kun er i Limfjordstunnelen, hvor der bliver analyseret i begge retninger. Dette betyder, at der analyseres på data fra syv forskellige analysesteder. Idet der bliver analyseret på to spor, spor 1 og spor 2, ved hver analysested, betyder dette, at der er 14 analysepunkter. Grunden til at sporene analyseres separat er grundet hastighedsvariation.

I tabellen ses det desuden, at der ikke analyseres på de spolestationer som ligger efter Limfjordstunnelen for hver retning, hvilket betyder, at der ikke er trængselsproblemer når trafikanterne først har passeret tunnelen.

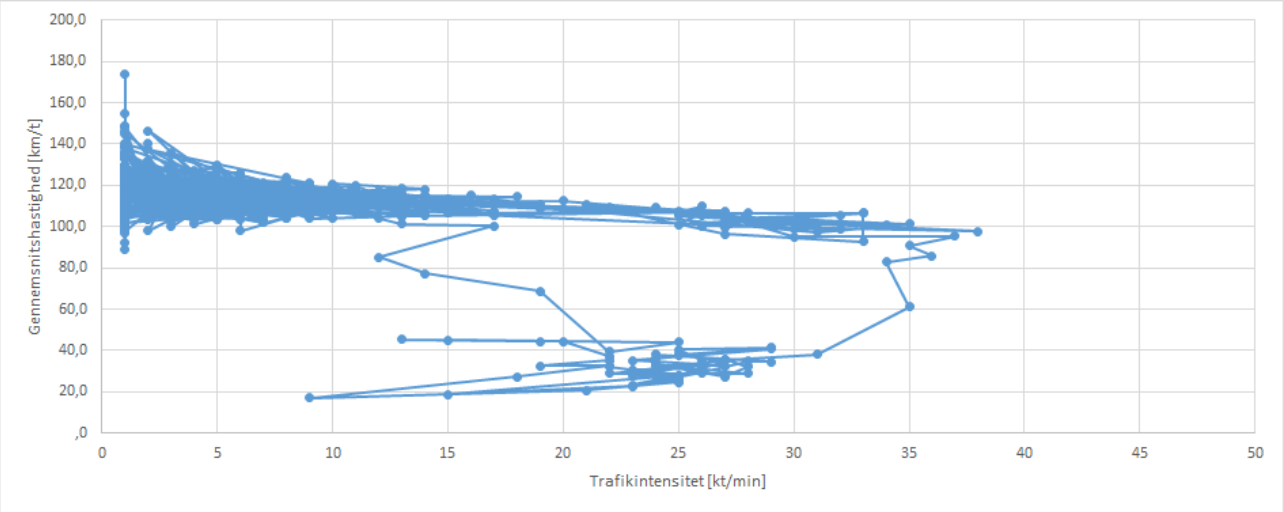
7.2 Kritisk hastighed

I Kerners Tre-Fase Trafik Teori [Kerner, 2009; Kerner, 2017] kan trafiksammenbrud bestemmes ud fra enten hastighed eller tæthed. Ud fra spoledataene er det muligt at udtrække hastighed og trafikintensitet, og dermed bliver trafiksammenbrud bestemt ud fra hastigheden. Trafiksammenbruddet sker når den gennemsnitlige hastighed er mindre end den kritiske hastighed, jf. formel 5.7 i kapitel 5 Tre-Fase Trafik Teori. Den kritiske hastighed ønskes dermed bestemt for at finde de tidspunkter, hvor der har været trafiksammenbrud. Dette gøres ud fra speed/flow diagrammer, hvor der anvendes spoledata fra de aggregerede enkeltkøretøjs rapporter. Der er lavet speed/flow diagrammer for alle hverdage i analyseperioden, dvs. 20 dage, ved hvert analysepunkt. I rapporten er der taget udgangspunkt i speed/flow diagrammer fra d. 04. september for alle analysepunkter, mens diagrammerne fra de andre dage er tilgængelig i det elektroniske bilag "5 - Speed_flow_diagrammer".

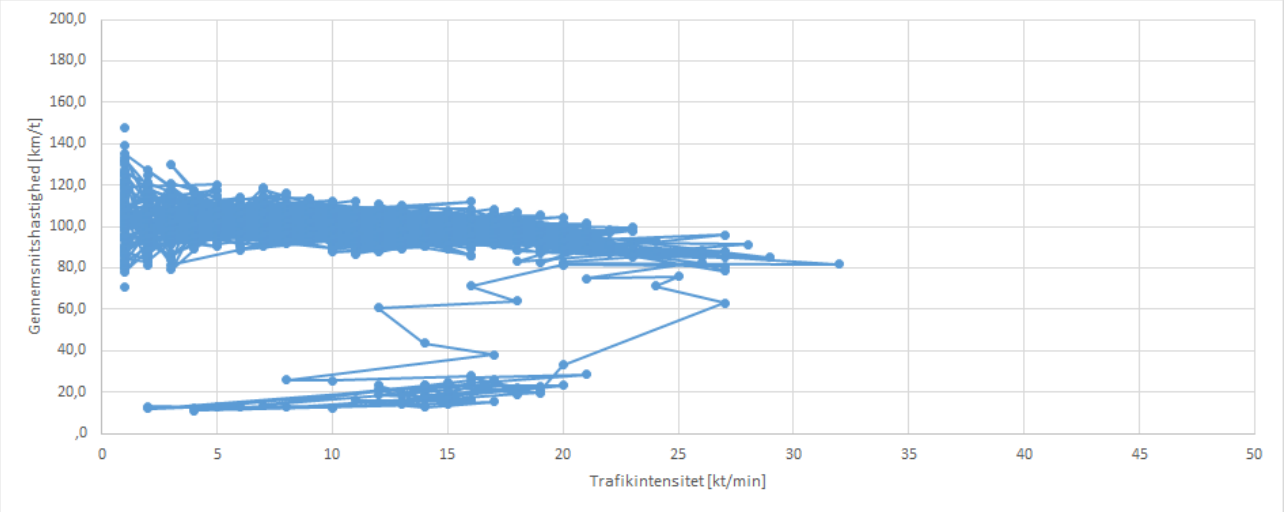
7.2.1 Speed/flow diagrammer for sydgående trafik

På figurene 7.6-7.13 ses speed/flow diagrammer for den sydgående trafik for M90, TSA 21, TSA 22 og Limfjordstunnelen. Diagrammerne er opdelt efter analysested, og analysestederne kommer i den retning trafikken bevæger sig.

M90



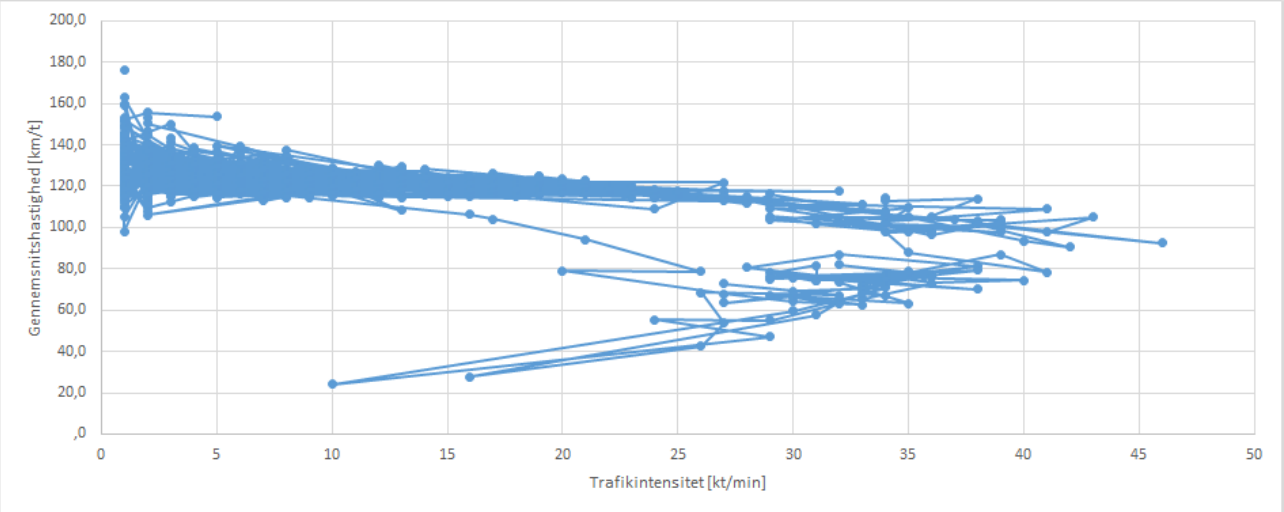
Figur 7.6. Speed/flow diagram fra spor 1 ved M90 d. 04.09.2018.



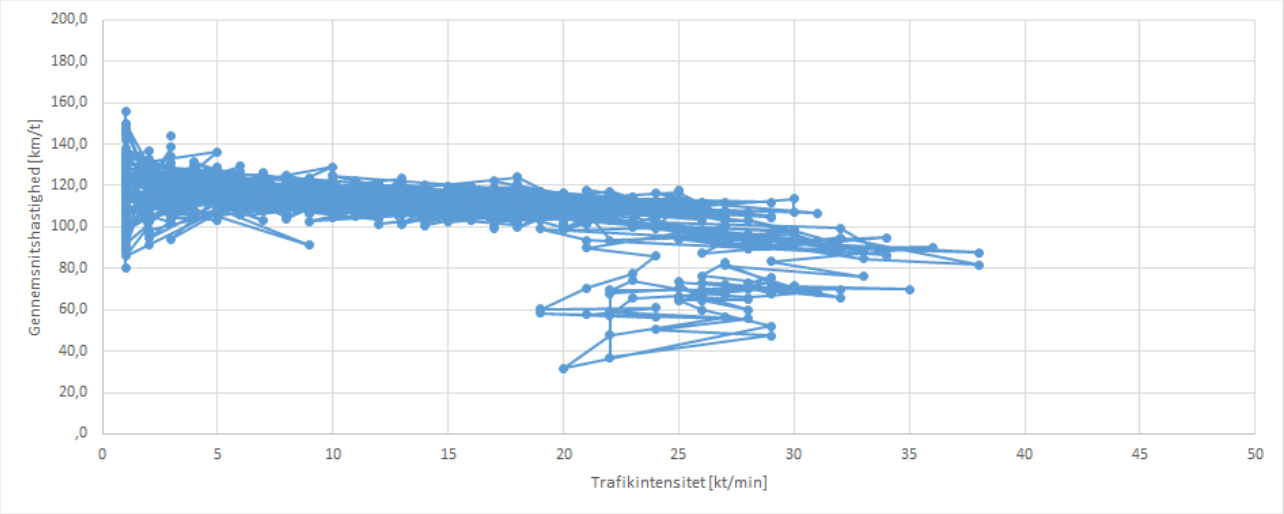
Figur 7.7. Speed/flow diagram fra spor 2 ved M90 d. 04.09.2018.

På figur 7.6 og 7.7 kan det tydeligt ses, at der har været to faseskift i løbet døgnet. Dette betyder at der har været et faseskift fra frit flow til trængel, hvor hastigheden faldt, og senere har det været et faseskift fra trængsel til frit flow, hvor hastigheden steg igen. Ud fra figurene ses det, at trafikanterne i spor 1 har haft en højere hastighed end trafikanterne i spor 2. Spor 2 har både haft en lavere hastighed og trafikintensitet i trængselsfasen end spor 1.

TSA 21



Figur 7.8. Speed/flow diagram fra spor 1 ved TSA 21 d. 04.09.2018.

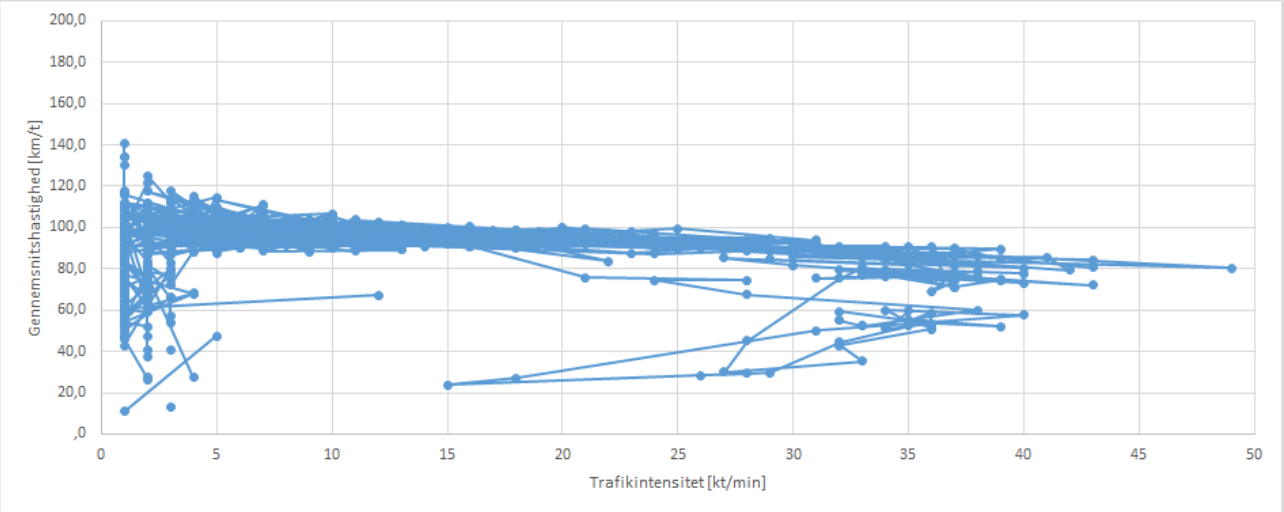


Figur 7.9. Speed/flow diagram fra spor 2 ved TSA 21 d. 04.09.2018.

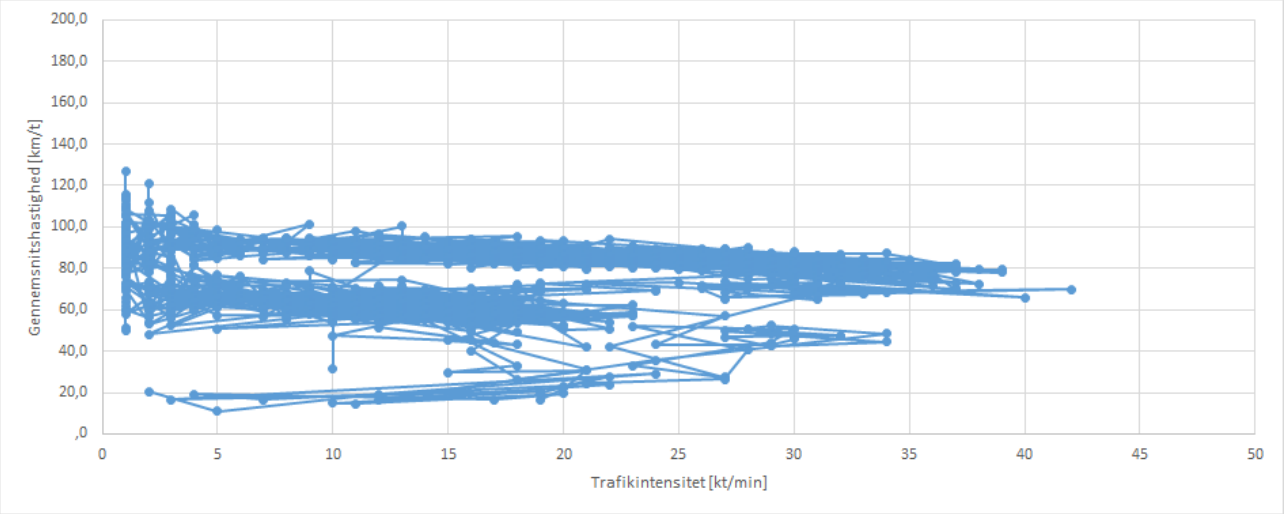
På figur 7.8 og 7.9 har der været to faseskift mellem frit flow og trængsel. Spor 2 har en høj trafikintensitet i trængselsfasen som er på niveau med trafikintensiteten i frit flow. Spor 1 har tilnærmelsesvis samme tendens som spor 2, men der er dog nogle enkelte punkter i trængselsfasen, hvor trafikintensiteten har været lav.

Gennemsnitshastigheden og trafikintensiteten ved TSA 21 er generelt højere i trængselsfasen end ved M90, hvilket tyder på, at trafikken er blevet afviklet bedre ved TSA 21 end ved M90. Dette skyldes, at mellem M90 og TSA 21 er sammenfletningen ved Motorvejskryds Vendsyssel, hvor fem spor skal sammenflette til tre spor på en relativ kort afstand, som kan skabe trængsel opstrøms, men ikke nedstrøms.

TSA 22



Figur 7.10. Speed/flow diagram fra spor 1 ved TSA 22 d. 04.09.2018.

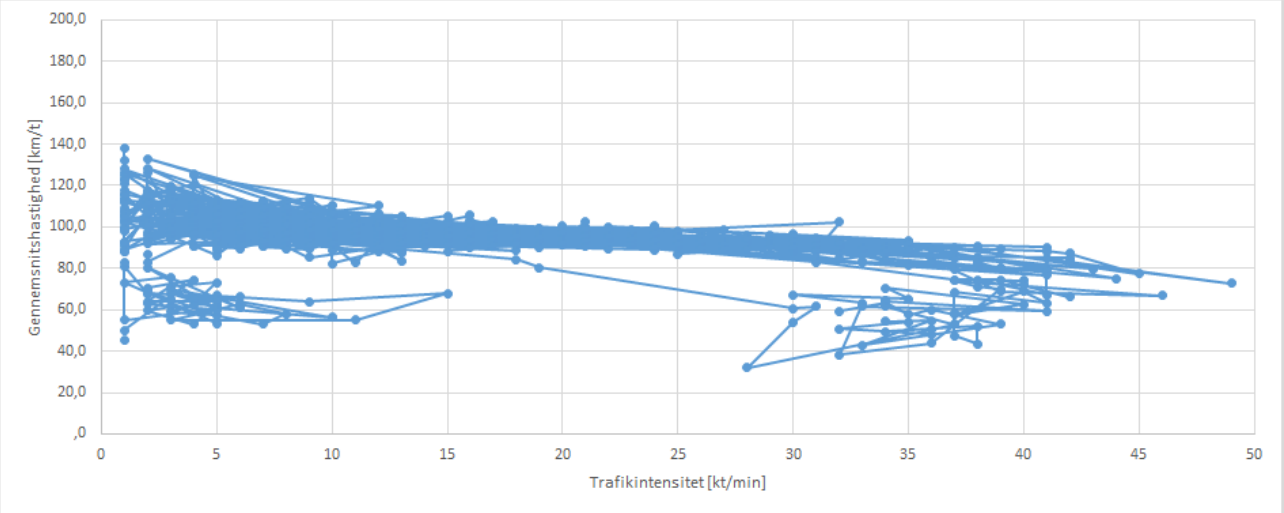


Figur 7.11. Speed/flow diagram fra spor 2 ved TSA 22 d. 04.09.2018.

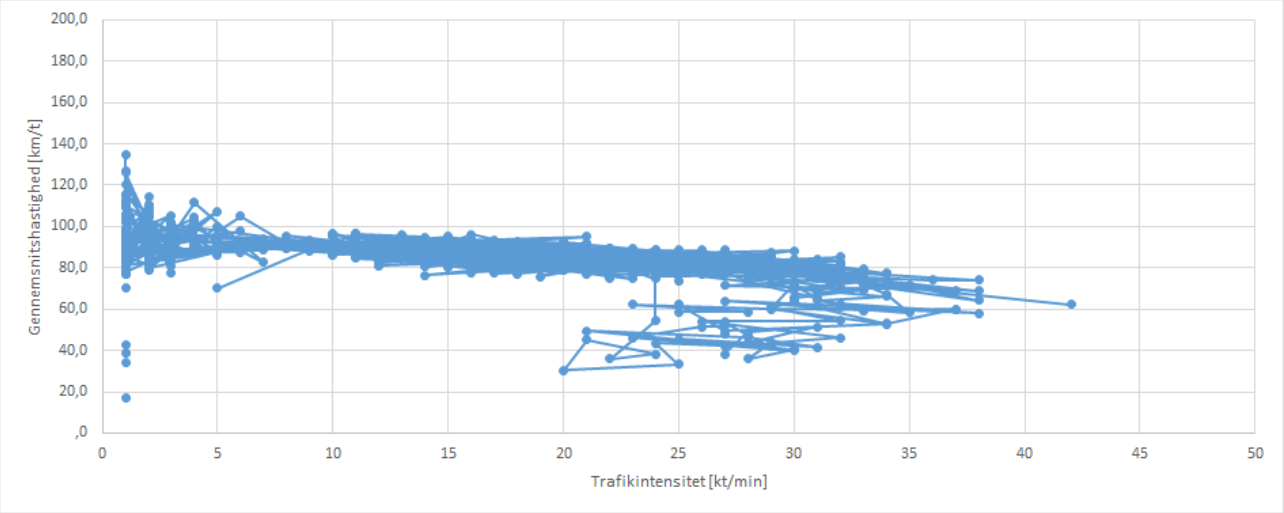
På figur 7.10 og 7.11 kan det ses, at der er stor forskel på trafikken i de to spor. I spor 1 har trafikintensiteten været meget varierende, hvorimod gennemsnitshastigheden ved en trafikintensitet på mere end fem køretøjer i minuttet stort set har været konstant. Der er en lille undtagelse, idet der er sket trafiksammenbrud, hvor hastigheden var lavere.

I spor 2 er både trafikintensiteten og hastigheden meget varierende. Der er flere af punkterne som ligger omkring 60 km/t, og idet TSA 22 ligger lige før Limfjordstunnelen, kunne dette tyde på, at det ene tunnelrør har været lukket i løbet af døgnet, da hastighedsgrænsen i disse tilfælde er sat til 50 km/t. Dermed vil der være en del lavere målinger. Ud fra figur 7.11 er det ikke til at se, hvor mange faseskift der har været, men det tyder på, at der er sket ét trafiksammenbrud, hvor både hastighed og trafikintensiteten har været lav.

Limfjordstunnel



Figur 7.12. Speed/flow diagram fra spor 1 ved Limfjordstunnelen d. 04.09.2018.



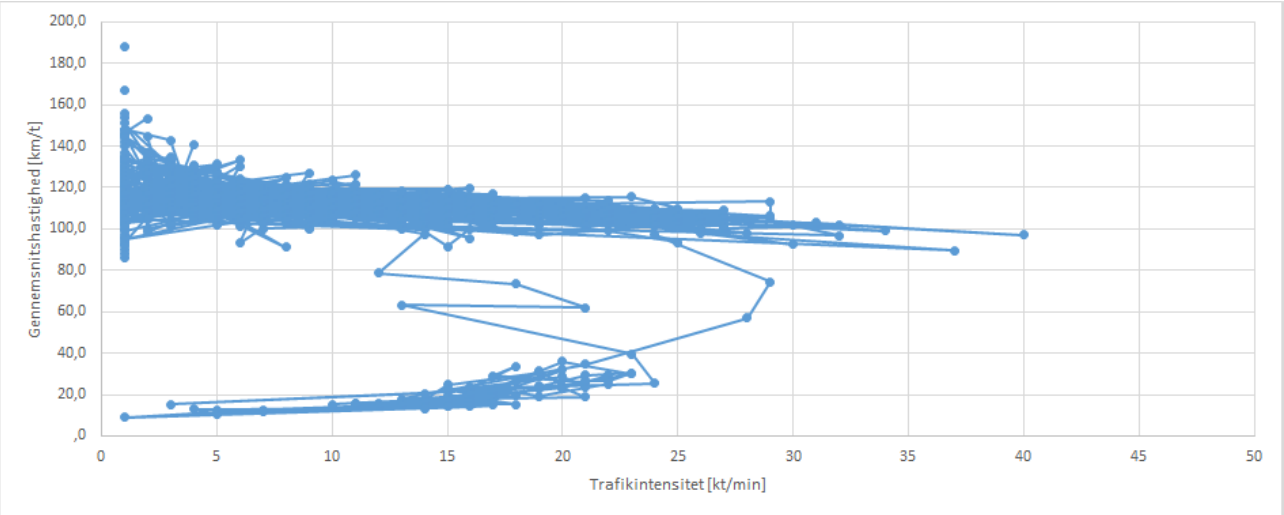
Figur 7.13. Speed/flow diagram fra spor 2 ved Limfjordstunnelen d. 04.09.2018.

På figurene 7.12 og 7.13 kan det ligesom ved de tidligere grafer ses, at der er sket trafiksammenbrud. Hastigheden og trafikintensiteten har generelt været højere i spor 1 end i spor 2. I trængselsfasen har der været en høj trafikintensitet, og der har ikke været et særlig stort hastighedsdrop mellem frit flow og trængsel. Hastigheden i trængselsfasen var højere ved Limfjordstunnelen end ved de andre spolestationer, og det tyder på, at trafikken har været mere over i den del af trængslen som kaldes synkroniseret flow end i den bevægelig kø. Dermed har trafikken bevæget sig med et bedre flow. Dette hænger sammen med, at der ikke er sket trafiksammenbrud eller har været trængsel når trafikanterne kom til den næste spolestation TSA 24.

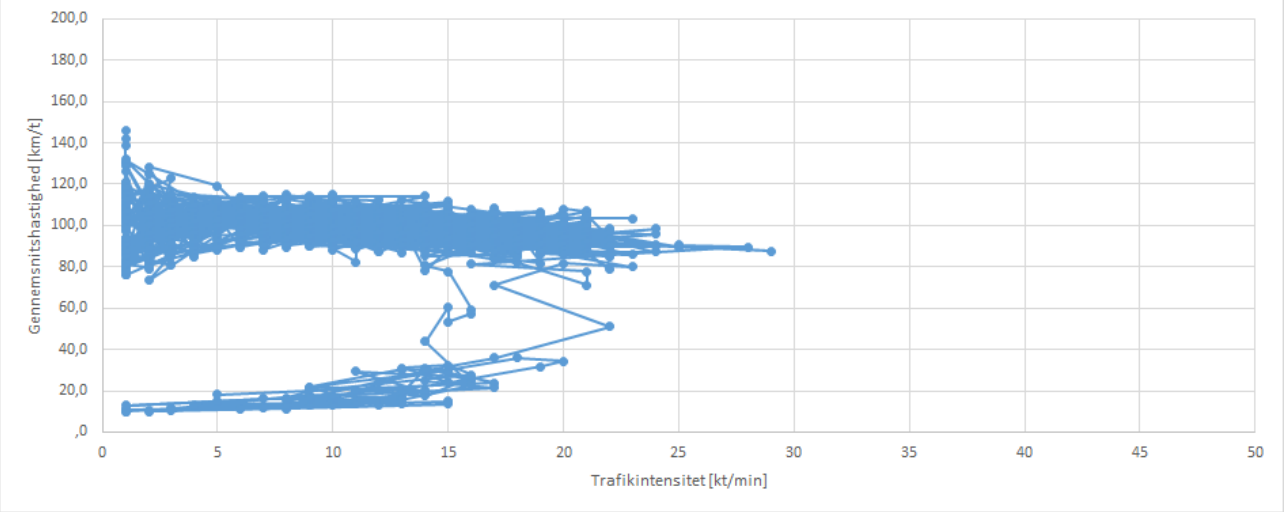
7.2.2 Speed/flow diagrammer for nordgående trafik

På figurene 7.14-7.19 ses speed/flow diagrammer for den nordgående trafik for TSA 25, TSA 24 og Limfjordstunnelen. Diagrammerne er ligesom ved den sydgående trafik opdelt efter analysested, og analystederne kommer i den retning trafikken bevæger sig.

TSA 25



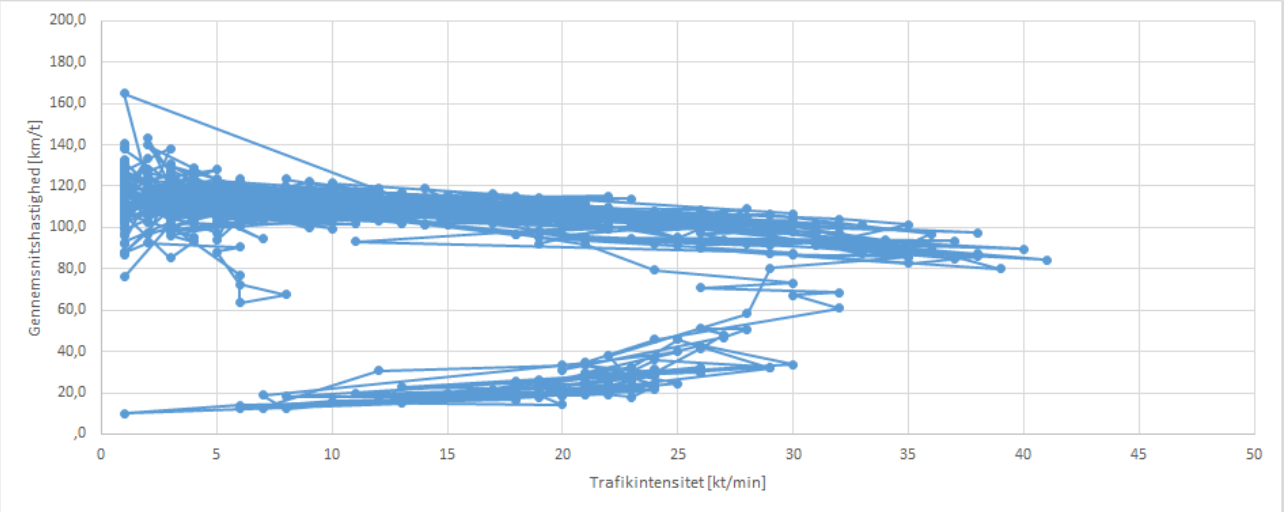
Figur 7.14. Speed/flow diagram fra spor 1 ved TSA 25 d. 04.09.2018.



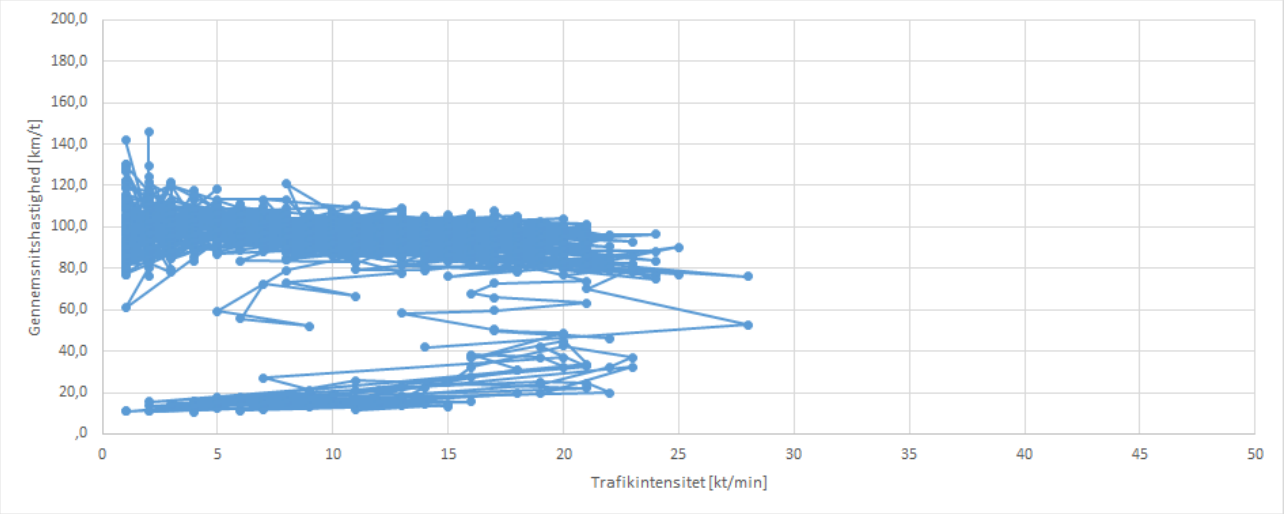
Figur 7.15. Speed/flow diagram fra spor 2 ved TSA 25 d. 04.09.2018.

På figur 7.14 og 7.15 ses speed/flow diagrammerne for TSA 25. Disse diagrammer har samme form som diagrammerne for M90 i sydgående retning (figur 7.6 og 7.7), hvor det tydeligt ses, at der har været to faseskift. Et faseskift fra frit flow til trængsel, hvor hastigheden faldt, og senere et faseskift fra trængsel til frit flow, hvor hastigheden steg igen. Trafikintesiteten i både frit flow og trængsel var højere i spor 1 end i spor 2, men begge spor har haft den samme lave hastighed i trængselsfasen.

TSA 24



Figur 7.16. Speed/flow diagram fra spor 1 ved TSA 24 d. 04.09.2018.

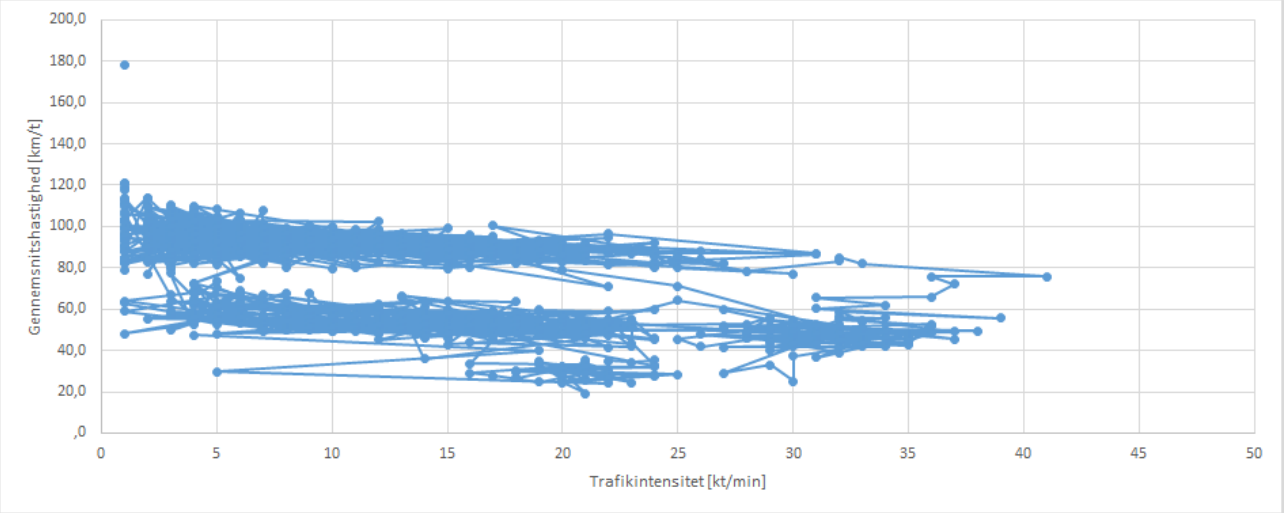


Figur 7.17. Speed/flow diagram fra spor 2 ved TSA 24 d. 04.09.2018.

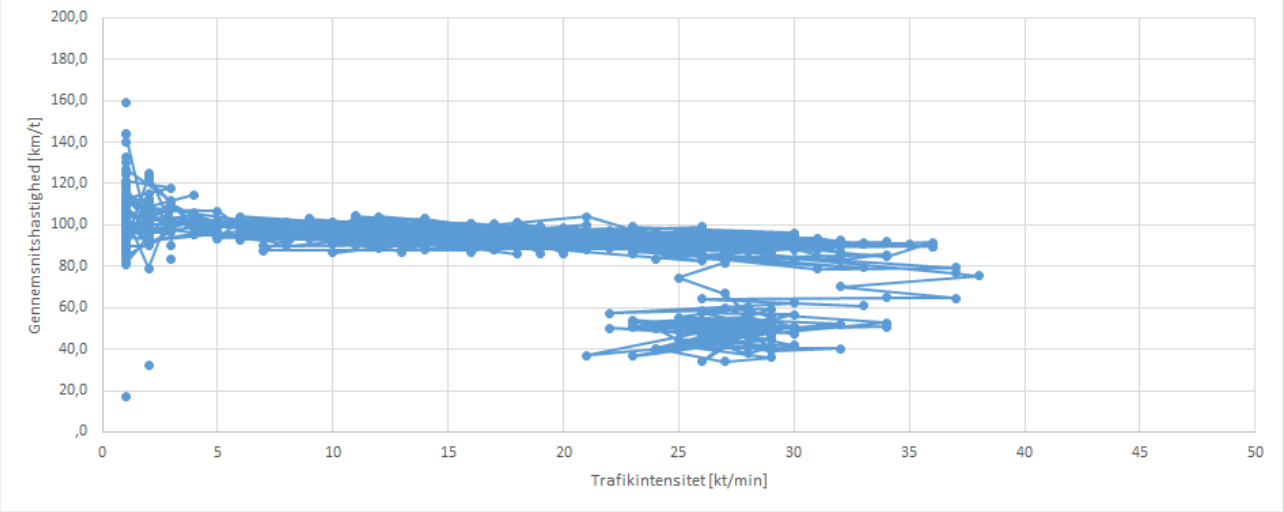
På figur 7.16 og 7.17 er det svært at se, hvornår der har været faseskift, men ligesom ved TSA 25 har der været to faseskift i løbet af døgnet. Trafikintensiteten i spor 1 har været en del større end trafikintensiteten i spor 2, hvilket tyder på, at spor 1 har kunne afvikle en større mængde trafik uden der er sket trafiksammenbrud. Hastighederne i trængselsfasen har været meget lave ligesom ved TSA 25, men trafikintensiteten i trængselsfasen er steget sammenlignet med TSA 25.

I spor 1 og spor 2 er der nogle enkelte punkter, hvor hastigheden faldt under den normale hastighed, men det har ikke været en del af det store trafiksammenbrud. Dette betyder, at der på et andet tidspunkt af døgnet, har været chance for et trafiksammenbrud, men idet hastigheden hurtigt er kommet op, er trafiksammenbruddet blevet forhindret. En af de faktorer der kan have været med til at forhindre sammenbruddet er trafikintensiteten, idet den har været lavere ved disse punkter end ved faseskiftene ved det reelle sammenbrud.

Limfjordstunnel



Figur 7.18. Speed/flow diagram fra spor 1 ved Limfjordstunnelen d. 04.09.2018.



Figur 7.19. Speed/flow diagram fra spor 2 ved Limfjordstunnelen d. 04.09.2018.

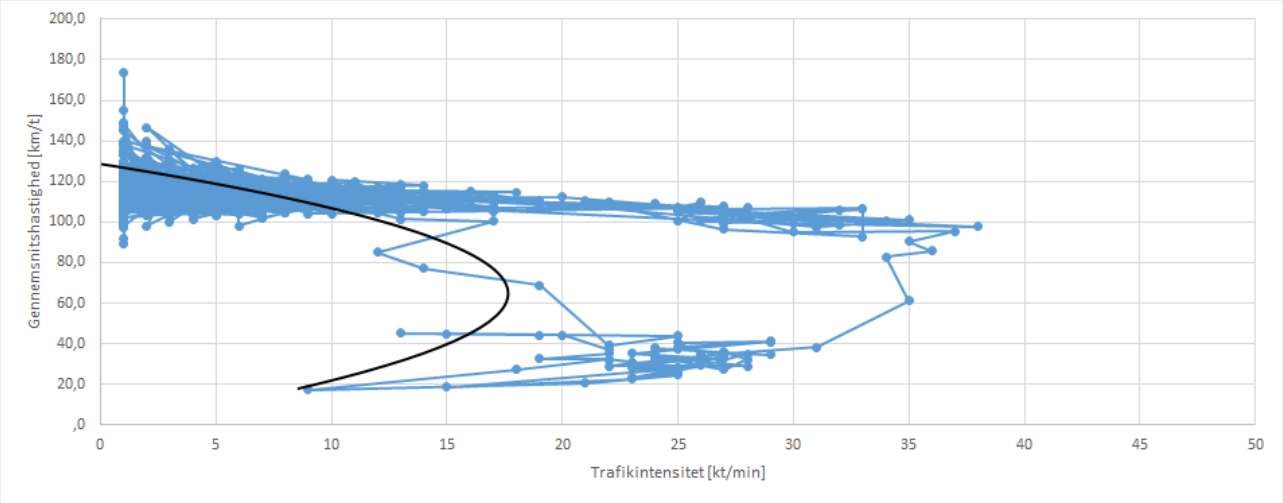
På figur 7.18 har der været fire faseskift i løbet af døgnet, mens der på figur 7.19 kun har været to faseskift. Ved faseskiftet i spor 2 har der ikke været den store hastighedsændring og trafikintensiteten faldt ikke meget.

I spor 1 er der en del punkter der har haft en gennemsnitshastighed på 60 km/t eller derunder, hvilket tyder på, at hastigheden har været sat ned i Limfjordstunnelen i løbet af døgnet. Dette stemmer overens med trafikbilledet ved TSA 22 i sydgående retning, figur 7.11, hvor det antages, at det ene tunnelrør har været lukket, og trafikken fra begge retninger er blevet ført gennem det samme rør. Dermed giver det mening, at der har været en lavere gennemsnitshastighed. Det er svært at se om der er sket trafiksammenbrud i spor 1 pga. dette, men det er tydeligt, at der er sket trafiksammenbrud i spor 2. Ligesom ved Limfjordstunnelen i sydgående retning var hastigheden i trængselsfasen større end ved de tidligere lokaliteter, som betyder at trafikken er blevet afviklet mere glidende. Dette stemmer overens med, at der ikke er sket trafiksammenbrud efter trafikanterne har passeret tunnelen.

7.2.3 Gennemsnitlig kritisk hastighed

Ud fra speed/flow diagrammerne er de kritiske hastigheder for hver hverdag blevet bestemt for alle analysepunkterne. Dette er gjort ved at forbinde punkterne og tilføje en parabolsk tendenslinje, som

har skæring i (0,0). Et eksempel på denne tendenslinje kan ses på figur 7.20.



Figur 7.20. Speed/flow diagram med tendenslinje fra spor 1 ved M90 d. 04.09.2018.

Det ønskes dog at finde en gennemsnitlig kritisk hastighed for hvert analysepunkt, og dette er gjort ved at bestemme medianen af de kritiske hastigheder ved hvert punkt. Det er valgt at anvende medianen i stedet for det aritmetiske gennemsnit, da medianen er mere stabil overfor ekstreme værdier. Den gennemsnitlige kritiske hastighed for hvert analysepunkt kan ses i tabel 7.2, mens de kritiske hastigheder for alle hverdagene i hvert analysepunkt kan findes i bilag B.

Tabel 7.2. Gennemsnitlige kritiske hastigheder for hvert analysepunkt.

Kritiske hastigheder [km/t]	**Spor 1**	**Spor 2**
M90	64,0	62,2
TSA 21	68,6	67,9
TSA 22	57,4	61,1
Limfjordstunnel, syd	59,5	54,7
TSA 25	67,4	67,8
TSA 24	63,8	63,3
Limfjordstunnel, nord	54,1	58,6

I tabel 7.2 er de kritiske hastigeder meget varierende, hvilket bl.a. skyldes de varierende hastighedsgrænser på projektlokaliteten, jf. figur 7.1. De laveste værdier findes ved TSA 22 og Limfjordstunnelen i begge retninger, som er de eneste steder, hvor hastighedsgrænsen er 90 km/t. De andre analysesteder er hastighedsgrænsen 110 km/t. De højeste kritiske hastigheder findes i sydgående retning ved TSA 21 og i nordgående retning ved TSA 25. Dette betyder at trafikanterne ved disse to analysesteder kører med en gennemsnitlig højere hastighed end ved de andre analysesteder. Det betyder dog ikke at trængselsfasen er mindre eller større ved disse to analysesteder.

Idet de kritiske hastigheder kendes er det muligt at bestemme, hvornår der er sket trafiksammenbrud ved analysestederne. Dette gøres ud fra de aggregerede enkeltkøretøjs rapporter.

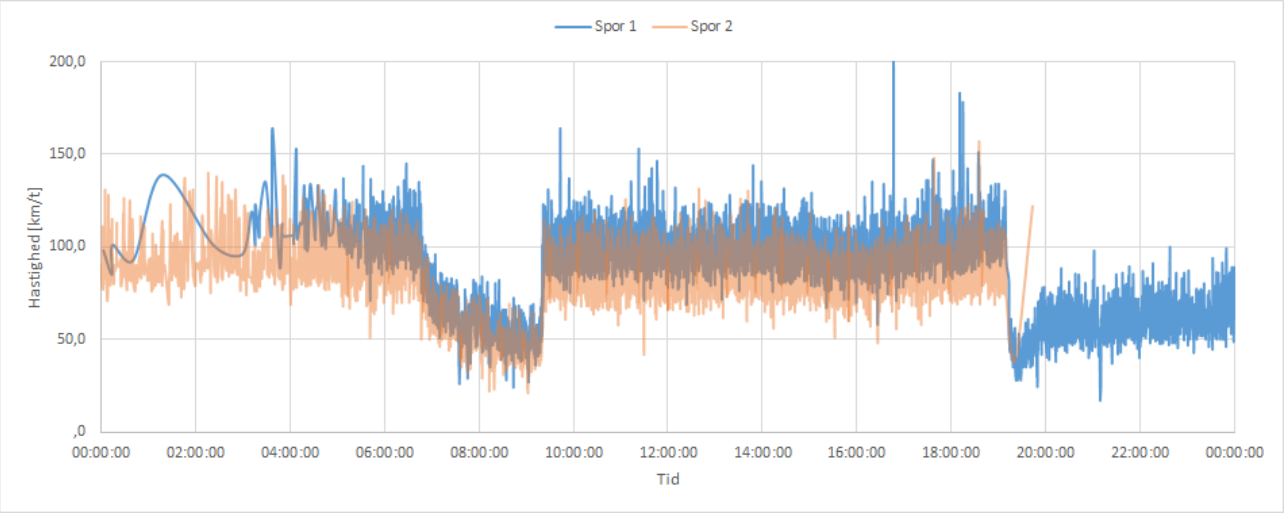
7.3 Trafiksammenbrud og resulterende trængsel

I Tre-Fase Trafik Teorien [Kerner, 2009] sker der trafiksammenbrud når den gennemsnitlige hastighed er enten lig med eller lavere end den kritiske hastighed, jf. formel 5.7, mens trængsel opstår når den gennemsnitlige hastighed er mindre end minimum gennemsnitshastigheden som er mulig i frit flow (forkortes minimum gennemsnitshastighed) [Kerner, 2017]. Minimum gennemsnitshastigheden

skal ifølge teorien fastsættes ud fra trafikvariabler som er målt i nærheden af flaskehalsen [Kerner, 2017]. Idet der er flaskehalse på hele projektlokaliteten er det ikke muligt at bestemme minimum gennemsnitshastigheden. Derfor bliver trængselsperioderne vurderet ud fra grafer og hvornår der sker trafiksammenbrud. Der er lavet grafer for hvert hverdagsdøgn ved hvert analysested, hvor begge spor indgår, således hastighedsforskellene i sporene kan ses. Alle graferne er tilgængelig i det elektroniske bilag "6 - Hastighedhedsgrafer_hverdage".

Før der bestemmes de perioder, hvor der har været trafiksammenbrud med resulterende trængsel, er der blevet undersøgt, om der er sket nogle uheld på projektlokaliteten i perioden. Uheld gør at trafikken ikke afvikles som normalt, og kan skabe større trængselsperioder. I løbet af de fire uger er der i alt sket to uheld. Det første skete mandag d. 03/09 kl. 05:07 lige før tunnelen i sydgående retning, mens det andet skete mandag d. 24/09 kl. 10:00 ved tunneludmundningen i sydgående retning [Vejdirektoratet, n.d.[b]].

Derudover kan der ud fra graferne ved Limfjordstunnelen i begge retninger og TSA 22 ses, at det ene tunnelrør har været lukket flere af aftnerne i perioden. Det kan ses ud fra, at hastigheden er faldet i det ene spor, mens der ikke har været nogen køretøjer registreret i det andet spor. En af graferne som viser dette kan ses på figur 7.21.



Figur 7.21. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen d. 03.09.2018. På grafen ses det, at efter kl. 19 er hastigheden i spor 2 faldet, mens der ikke har været nogen køretøjer i spor 1.

Ud fra graferne har det ene rør i Limfjordstunnelen været lukket 14 ud af 20 hverdagsaftener. Disse tidspunkter er ikke medtaget som trafiksammenbrud selvom hastigheden ligger under den kritiske hastighed, da hastigheden bliver skiltet ned til 50 km/t når trafikanterne ledes igennem det samme tunnelrør. Dette kan desuden påvirke trafikken ved TSA 24. Hvis der er sket trafiksammenbrud ved TSA 24 de aftener, hvor det ene tunnelrør har været lukket, er disse tidspunkter ligeledes ikke medtaget som trafiksammenbrud.

For hvert analysepunkt er der blevet bestemt de perioder, hvor der er sket trafiksammenbrud med resulterende trængsel for hver hverdag, hvilket kan ses i bilag C. I tabel 7.3 kan ses en opsummering over de tidsrum, hvornår trafiksammenbruddet generelt er startet og sluttet på det pågældende analysested. I tabellen er medtaget de tidsrum, hvor der er sket trafiksammenbrud stort set hver dag, og det er derfor ikke alle de tidsrum, hvor der er sket trafiksammenbrud i løbet af september måned som er medtaget. I sydgående retning er ikke medtaget det tidsrum, hvor der er sket trafiksammenbrud d. 03/09 pga. uheld. I nordgående retning sker der trafiksammenbrud tidligere nogle af fredagene (07/09, 14/09, 21/09 og 24/09), og derfor er der taget udgangspunkt i de andre hverdage for, hvornår sammenbruddet startede.

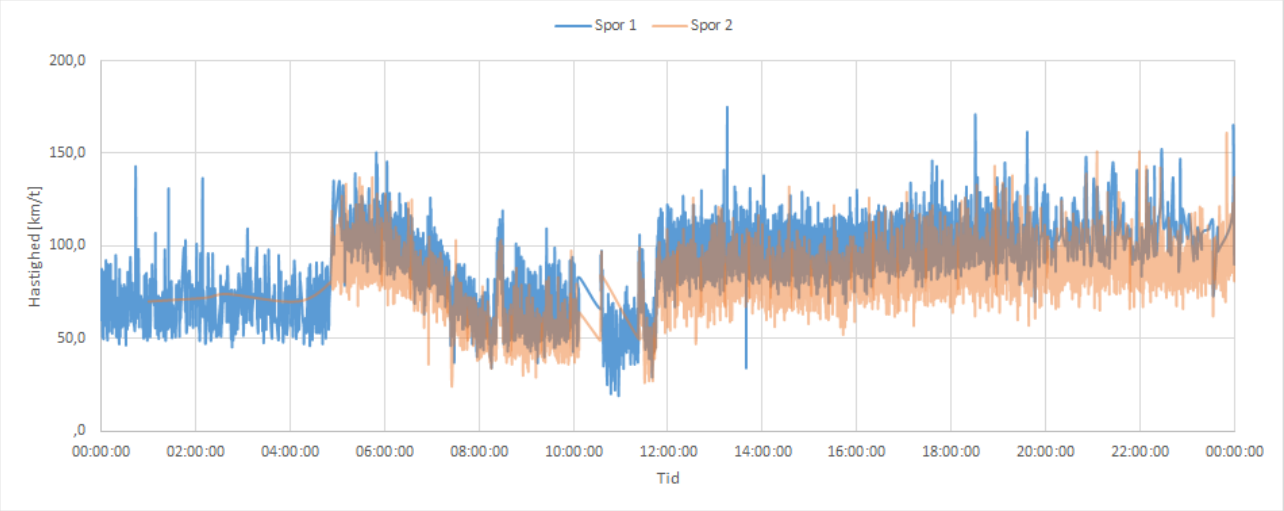
Tabel 7.3. De generelle tidsrum for hvornår trafiksammenbruddet henholdsvis er startet og sluttet ved analysestederne. Hvis der er enkelte dage, hvor der er sket trafiksammenbrud udenfor disse tidsrum er de ikke medtaget i tabellen. Her henvises til bilag C.

Analysested	**Tidsrum for hvornår trafiksammenbrud startede**	**Tidsrum for hvornår trafiksammenbrud sluttede**
M90	06:43-06:47 07:11-07:25	07:56-08:35
TSA 21	07:08-07:57	07:58-08:36
TSA 22	07:08-07:57	07:45-08:45
Limfjordstunnel, syd	07:00-07:57	07:51-08:47
TSA 25	15:16-15:46	15:56-16:57
TSA 24	15:11-15:27	15:49-16:48
Limfjordstunnel, nord	15:07-15:20	16:00-16:51

Ud fra tabellen kan det ses, at i sydgående retning er trafiksammenbruddet sket i morgentimerne, mens i nordgående retning er trafiksammenbruddet sket i eftermiddagstimerne. Der er op til fem dage ved hvert analysested, hvor der er sket trafiksammenbrud udenfor tidsrummene i tabellen. Disse tidsrum er tilfældige og varierer over måneden, og enkelte af dem beskrives nærmere i de efterfølgende afsnit.

7.3.1 Trafiksammenbrud i sydgående retning

I sydgående retning har der været trafikssammenbrud, udover dem vist i tabel 7.3, fredag d. 21/09 i formiddagstimerne. Ud fra bilag C varer sammenbruddet fra ca. kl. 08:30-11:45 og starter ved Limfjordstunnelen, hvor det spreder sig opstrøms til M90. Det er dog først kl. 10:00, at sammenbruddet påvirker TSA 22. På figur 7.22 kan køretøjshastighederne for d. 21/09 ses.



Figur 7.22. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen fredag d. 21.09.2018.

På figuren kan det ses, at i tidsrummet fra kl. 08:00-10:00 ligger hastigheden under den normale hastighed på lokaliteten. Hastigheden varierer dog med at være over og under den kritiske hastighed, som er 59,5 km/t for spor 1 og 54,7 km/t for spor 2. Dette kan være grunden til at sammenbruddet først sker kl. 10:00 ved TSA 22. Udover d. 21/09 har der været et sammenbrud d. 12/09 i tidsrummet 15:11-15:48 ved TSA 22 og Limfjordstunnelen.

Over september måned har længden af trafiksammenbruddet med resulterende trængsel være varierende. Størstedelen af dagene er trafiksammenbruddet startet ved M90, som også er dette sted, hvor trængselsperioden er størst. De andre tre analysesteder ligger trængselsfasen indenfor samme

tidsrum, og det er meget varierende ved hvilket af disse analysesteder der først er sket trafiksammenbrud og hvornår det først ophører.

Ved M90 er der to tidsrum for hvornår trafiksammenbruddet er startet, enten omkring kl. 06:45 eller 07:15. Der er i alt syv dage, hvor trafikssammenbruddet er sket omkring kl. 06:45 i mindst et af sporene. Overordnet set er trafiksammenbruddet sket inden for et kvarter hver dag, og derfor er det en meget konstant start på sammenbruddet. Længden af trængselsfasen er dog mere varierende for dag til dag, da trængslen varierer mellem 1 og 1,5 time(r). Hver enkelt dag er tidsrummet for trafiksammenbruddet sket samtidig eller indenfor to minutter i spor 1 og spor 2.

Ved TSA 21, TSA 22 og Limfjordstunnelen er trafiksammenbruddet oftest startet i spor 2, medmindre sammenbruddet er sket samtidig i de to spor. Alle tre analysesteder er det varierende fra dag til dag, hvornår trafiksammenbruddet ophører, hvilket var samme tendens ved M90. Ved TSA 21 er der op til 30 minutters forskel på hvornår sammenbruddet er startet i spor 2 i forhold til spor 1, dog er det samme klokkeslæt sammenbruddet ophører hver enkelt dag i de to spor. Forskellen på hvornår sammenbruddet er startet i sporene ved TSA 22 ligger indenfor fem minutter, og det er stort set samme klokkeslæt sammenbruddet ophører hver enkelt dag i de to spor. Ved både TSA 21 og TSA 22 er trafiksammenbruddet oftest startet indenfor tidsrummet 07:30-07:45 i spor 1, mens ved spor 2 er det startet mellem 07:20 og 07:45.

Ved Limfjordstunnelen er trængselsperioden ikke konstant. Det er varierende, hvornår der er sket trafiksammenbrud, og længden af trængselsfasen skifter ligeledes fra dag til dag. Desuden varierer trængslen og tidspunktet for trafiksammenbrud også mellem de to spor på selve analysestedet.

7.3.2 Trafiksammenbrud i nordgående retning

Som beskrevet tidligere er trafiksammenbruddet sket tidligere nogle af fredagene end på de andre hverdage. På de andre dage er trafiksammenbruddet sket efter kl. 15:00, mens om fredagene er det startet mellem kl. 14:00 og 15:00. Ved TSA 25 og TSA 24 er det ikke sket sammenbrud fredag d. 21/09, hvilket også er tilfældet onsdag d. 26/09 ved TSA 25. Torsdag d. 27/09 er der udover tidsrummet anført i tabel 7.3 sket trafiksammenbrud fra kl. 13:35-13:49. Sammenbruddet er startet i spor 1 ved Limfjordstunnelen og har spredt sig opstrøms til begge spor ved TSA 24, hvor det efterfølgende har spredt sig opstrøms til spor 2 ved TSA 25.

Tidsrummene for hvornår trafiksammenbruddet er startet i nordgående retning er mere konstant end i sydgående retning, hvilket kan ses ud fra tabel 7.3. Ved alle tre analysesteder er størstedelen af trafiksammenbruddene sket indenfor 20 minutter, hvorimod sluttidspunktet er meget varierende. Alle dage er sammenbruddet startet ved Limfjordstunnelen og efterfølgende spredt sig opstrøms til TSA 25, med få undtagelser. Sammenbruddet er startet i enten spor 2 eller samtidig i begge i spor.

7.3.3 Opsamling på trafiksammenbrud

Ud fra tidsrummene for hvornår der er sket trafiksammenbrud med resulterende trængsel, er trængselsperioderne ikke konstante på projektlokaliteten. De mønstre der går igen over september måned er, at i sydgående retning har trafiksammenbruddet lagt i tidsrummet kl. 06-09, mens det i nordgående retning har lagt i tidsrummet kl. 14-17. Derudover er det ved M90 i sydgående retning, hvor sammenbruddet har varet i længst tid. I nordgående retning har trafiksammenbruddet varet den samme tid ved hvert analysested fra dag til dag, men sammenbruddet er hovedsageligt startet ved Limfjordstunnelen og derefter spredt sig nedstrøms til TSA 25. Hvis der kun sammenlignes to uger af gangen er der nogle flere mønstre der går igen f.eks. er trafiksammenbruddet startet tidligere om mandagen i sydgående retning samt tidligere om fredagen i nordgående retning. I nordgående retning

er starttidspunktet for trafiksammenbrud forholdsvis konstant over måneden, da det størstedelen af dagene er sket indenfor 20 minutter. I sydgående retning er sammenbruddet startet indenfor 50 minutter over måneden, og derfor antages dette ikke som konstant. Sluttidspunktet for sammenbruddet er forskelligt fra dag til dag i begge retninger, og trængselsperioderne kan derfor være meget varierende. Trafiksammenbruddet har varet fra omkring et kvarter og helt op til to timer nogle dage, mens der har været enkelte dage i nordgående retning, hvor der ikke har været trafiksammenbrud.

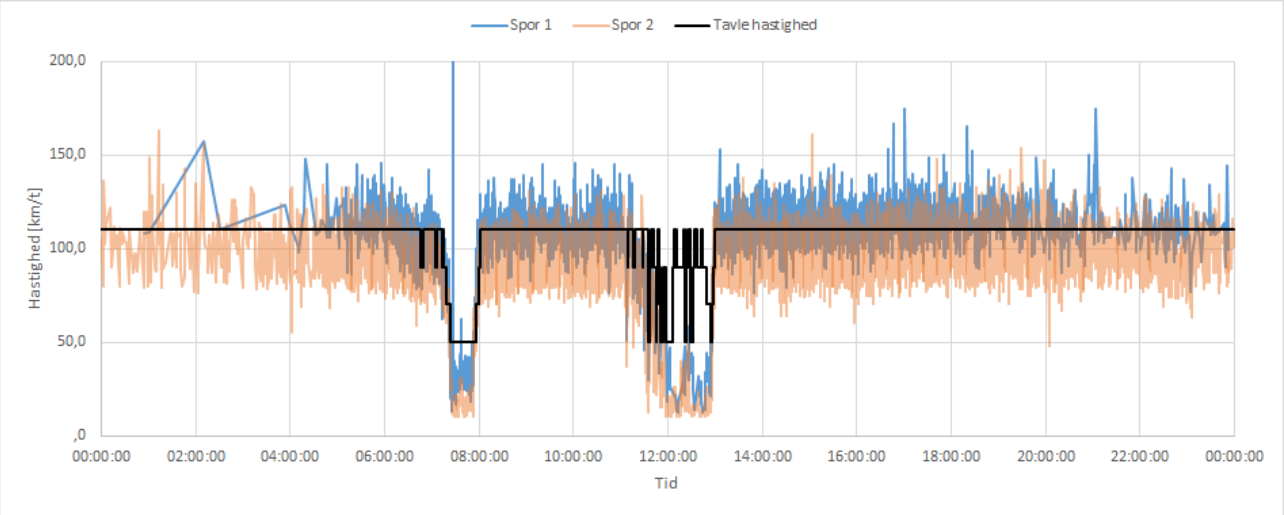
7.4 Betydning af de variable hastighedstavler

De variable hastighedstavler på lokaliteten bruges til at ændre hastigheden når trafikken kører med en lavere hastighed end normalt. Hypotesen er, at de variable hastighedstavler ikke når at blive sat ned inden trafiksammenbruddet indtræffer. Hvis de når at sætte hastigheden ned inden trafiksammenbruddet finder sted er tanken, at trafikken bliver afviklet med en højere hastighed i trængselsfasen samt at trængselsfasen bliver kortere.

Det er valgt kun at undersøge hypotesen i ugen d. 10.-14. september. Grunden til det er denne uge som der tages udgangspunkt i, er pga. at der ikke har været uheld eller dage, hvor der ikke har været trafiksammenbrud. Hypotesen bliver undersøgt for de samme syv analysesteder som spolestationerne, og analysestederne kan ses i tabel 7.1. Hypotesen testet ved de variable hastighedstavler som står nærmest de syv spolestationer, som kan ses på figur 7.23.

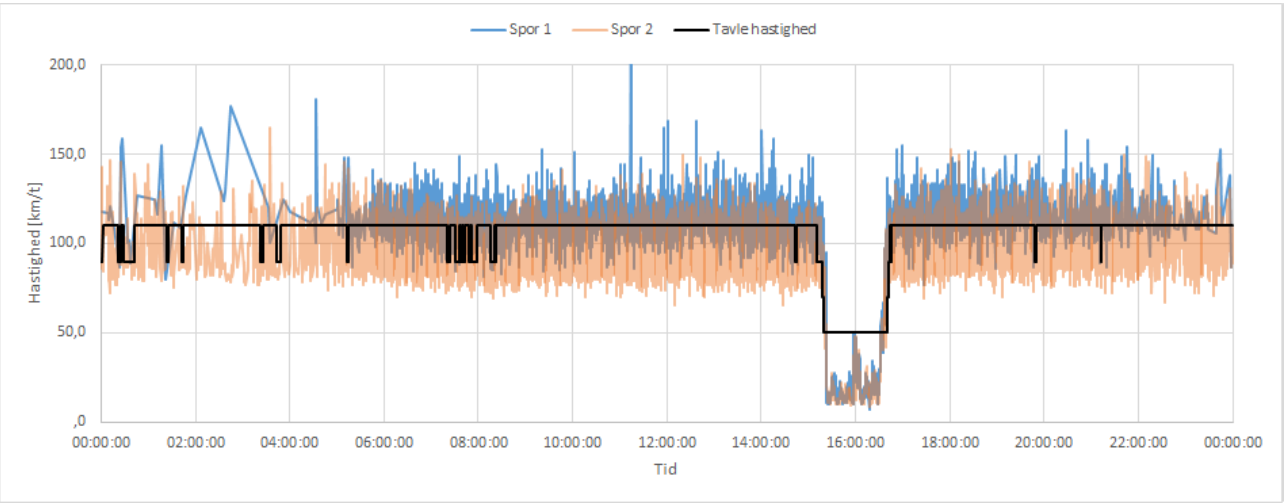
Figur 7.23. Variable hastighedstavler (VMS), hvor hypotesen testes samt spolestationerne. Retningen på hastighedstavlerne er angivet i navnet, hvor der inden selve tallet enten er angivet S for syd eller N for nord.

For at kunne sammenligne hastigheden fra de variable hastighedstavler med de tidsrum, hvor der sker trafiksammenbrud, sammenlignes dataene fra spoledetektornes enkeltkøretøjs rapporter med dataene fra de variable hastighedstavler. I bilag D kan alle graferne for ugen d. 10.-14. september for analysestederne ses, mens enkelte af graferne desuden medtages i analysen. Ud fra figurerne i bilaget kan det ses, at i de tidsrum, hvor der er sket trafiksammenbrud blev hastigheden på tavlerne sat ned, og hastigheden blev først sat op da trafikken skiftede fra trængsel til frit flow. Dette er dog ikke tilfældet ved M90 d. 14/09, som kan ses på figur 7.24.



Figur 7.24. Den sydgående trafik ved M90 fredag d. 14.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

På grafen kan det ses, at den viste hastighed følger den kørte hastighed ved trafiksammenbruddet, der indtraf mellem kl. 08 og 09, men at den viste hastighed var varierende ved sammenbruddet der skete mellem kl. 11 og kl. 13. I tidsrummet 11 til 13 ligger den kørte hastighed størstedelen af tiden under 50 km/t, hvorimod hastighedsvisningen har variereret mellem at være 50 og 110 km/t. Idet at køretøjernes kørte hastighed i tidsrummet sjældent har været over 50 km/t burde tavlerne kun vise 50 km/t og ikke 110 km/t. Tendensen med varierende hastighedsvisning kan ligeledes ses i nattetimerne ved den nordgående trafik, hvilket bl.a. kan ses på figur 7.25.

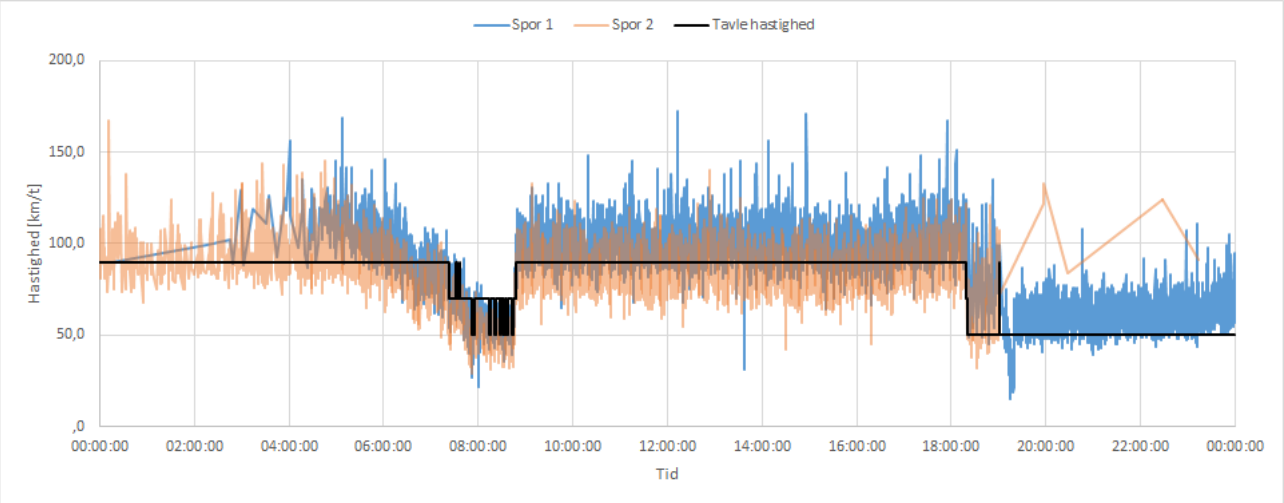


Figur 7.25. Den nordgående trafik ved TSA 25 onsdag d. 12.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

Ud fra grafen burde de variable hastighedstavler i nattetimerne ikke vise en lavere hastighed end den normale hastighedsbegrænsning, idet den kørte hastighed har lagt i samme interval. Det at

hastighedstavlerne har sat hastigheden ned om natten kan skyldes hastighedsharmonisering og at tavlerne ikke afhænger af antallet af køretøjer. Ved hastighedsharmonisering er formålet at ensarte hastigheden, og hvis der har været flere køretøjer, som har kørt med en lavere hastighed end hastighedsbegrænsningen vil hastighedstavlerne sætte hastigheden ned for at ensarte trafikkens hastighed. Dette kan dog være et problem om natten, hvor trafikintensiteten er lav, og hvor trafikanterne har mulighed for at køre med den normale tilladte hastighedsbegrænsning, idet det ikke er sikkert at trafikanterne overholder den viste hastighed.

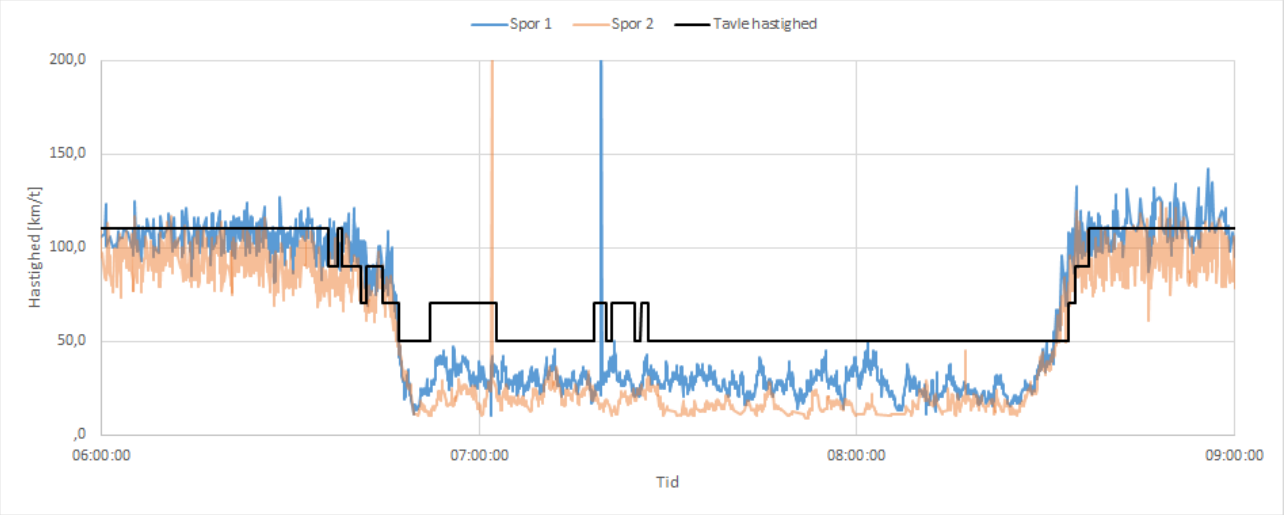
De variable hastighedstavler verificere desuden, at det ene tunnelrør har været lukket flere af aften- og nattetimerne, da hastigheden i tunnelen har været sat ned til 50 km/t, hvilket bl.a. kan ses på figur 7.26.



Figur 7.26. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen mandag d. 10.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

7.4.1 Myldretidstrafikken

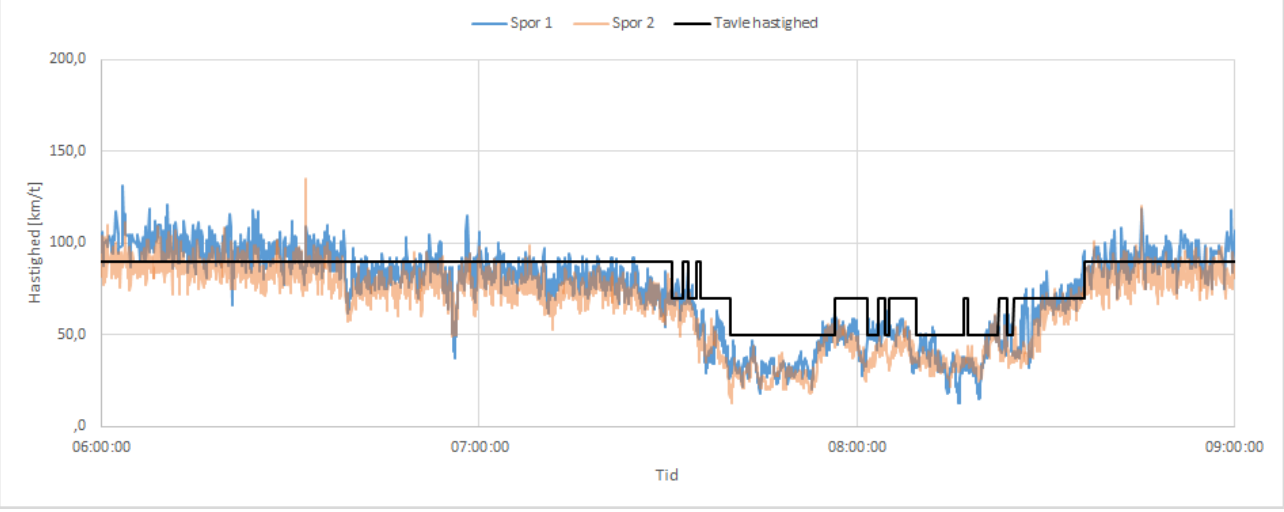
Ud fra alle graferne i bilag D kan det ses at hastigheden bliver sat ned trinvis, men det er forskelligt fra analysested til analysested, hvor hurtigt dette sker. For bedre at kunne vurdere dette og samtidig se om den kørte hastighed og de variable hastighedstavler reelt set følges ad, er der lavet grafer for tidsrummene kl. 06-09 i sydgående retning og kl. 13-17 i nordgående retning som alle findes i bilag E. Ved spidstimerne er det mere varierende fra analysested til analysested samt fra dag til dag, hvorledes den viste hastighed stemmer overens med den kørte hastighed. I sydgående retning sættes de variable hastighedstavler ned enten samtidig som trafikanternes hastighed falder eller efter trafikanternes hastighed er sat ned, som skyldes flaskehalsene. Det at den viste hastighed på tavlerne følger trafikanternes kørte hastighed er dog et problem de steder, hvor trafiksammenbruddet sker på kort tid, som ved figur 7.27.



Figur 7.27. Den sydgående trafik ved M90 mandag d. 10.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

Her burde den viste hastighed været sat ned inden trafiksammenbruddet skete for at undgå et drastisk hastighedsdrop. På grafen kan det desuden ses, at den viste hastighed har været sat op til 70 km/t, hvor trafikanterne har kørt under 50 km/t. Dette kan skyldes at tavlen registrerede, at der skete en hastighedsøgning, men ikke at hastigheden stadig forblev under 50 km/t i begge spor.

Et af de tidspunkter, hvor den viste hastighed først sættes ned efter sammenbruddet er ved TSA 22 d. 12/09 som kan ses på figur 7.28.

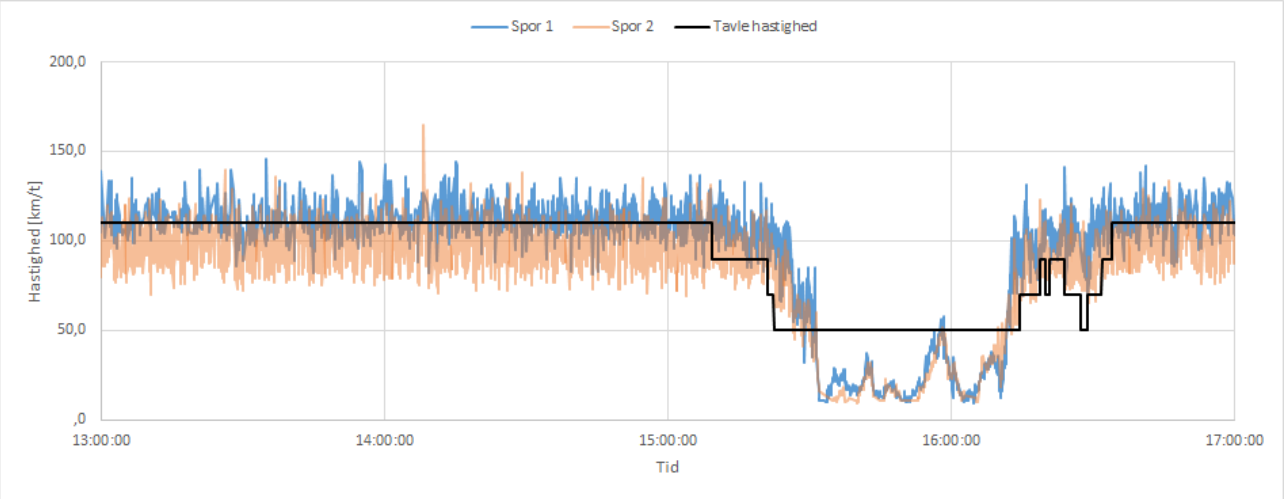


Figur 7.28. Den sydgående trafik ved TSA 22 onsdag d. 12.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

Den viste hastighed er først blevet sat ned fra 70 km/t til 50 km/t det tidspunkt, hvor alle køretøjer kørte under 50 km/t. Her burde den viste hastighed haft vist 50 km/t tidligere, for eksempel da gennemsnitshastighed var nede omkring 50 km/t eller det tidspunkt, hvor den viste hastighed første gang blev øget til 90 km/t.

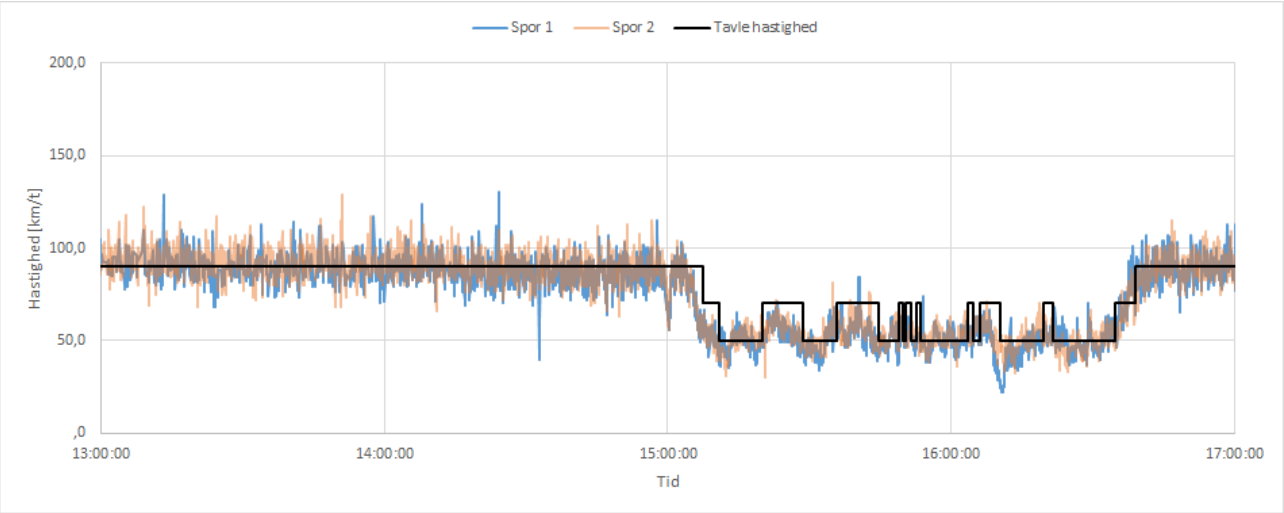
Ved Limfjordstunnelen følges den kørte hastighed og den viste hastighed bedst, men det er også her, hvor der har været det mindste hastighedsdrop i forbindelse med trafiksammenbrud. Ved M90 har der været de største hastighedsdrop, og her bør den viste hastighed været sat ned inden køretøjernes kørte hastighed faldt for at undgå de store hastighedsdrop.

I nordgående retning er det, ligesom i sydgående retning, varierende fra analysested til analysested, hvornår den viste hastighed blev sat ned i forhold til den kørte hastighed. Ved TSA 25 har der været en stabil hastighedsnedtrapning fra 110 til 50 km/t før trafiksammenbruddet er sket, hvilken kan ses på figur 7.29.



Figur 7.29. Den nordgående trafik ved TSA 25 mandag d. 10.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

Ud fra grafen kan det ses, at hypotesen dermed ikke passer ved TSA 25, idet den viste hastighed er sat ned inden sammenbruddet. Ved TSA 24 følger den viste hastighed den kørte hastighed alle dage med undtagelse af om fredagen, hvor tavlevisningen blev nedtrappet lidt før sammenbruddet. Limfjordstunnelen ser dog anderledes ud, da den viste hastighed oftest først er sat ned efter trafikanterne har nedsat hastigheden, hvilket kan ses på figur 7.30.



Figur 7.30. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen tirsdag d. 11.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

Ud fra grafen er der dog ikke de store hastighedsdrop, som der var ved TSA 25 og TSA 24. Her kan den normale hastighedsbegrænsning dog være en faktor, da den ved Limfjordstunnelen er 20 km/t lavere end ved de to andre analysesteder.

Overordnet set følger den viste hastighed den kørte hastighed ved analysterne i begge retninger, hvilket dog kan være et problem de steder, hvor der ved trafiksammenbruddet er sket et større hastighedsdrop. Selvom at hypotesen lød på at tavlerne først blev sat ned efter trafiksammenbruddet, er

det et lige så stort dilemma, at den viste hastighed følger den kørte hastighed ved større hastighedsdrop. Det eneste analysested, hvor hypotesen ikke passer er ved TSA 25, hvor hastighedstavlerne har sat hastigheden ned inden sammenbruddet. Generelt har den viste hastighed været meget omskiftelig inden for korte tidsrum, hvilket kan skabe forvirring for trafikanterne samt en større variation i den hastighed trafikanterne kører. Efter der er sket trafiksammenbrud bør den viste hastighed først øges når der har været kørt en konstant hastighed over en bestemt tidsperiode. Et eksempel på dette er, at når trafikanternes gennemsnitshastighed på 5 minutter er over 45 km/t så sættes hastighedstavlen til 70 km/t, og når gennemsnitshastigheden er over 65 km/t sættes tavlen til 90 km/t. Der er ikke blevet analyseret på, hvordan den viste hastighed øges i forbindelse med faseskift fra trængsel til frit flow, idet dette som oftest er sket ved at trafikintensiteten mindskes.

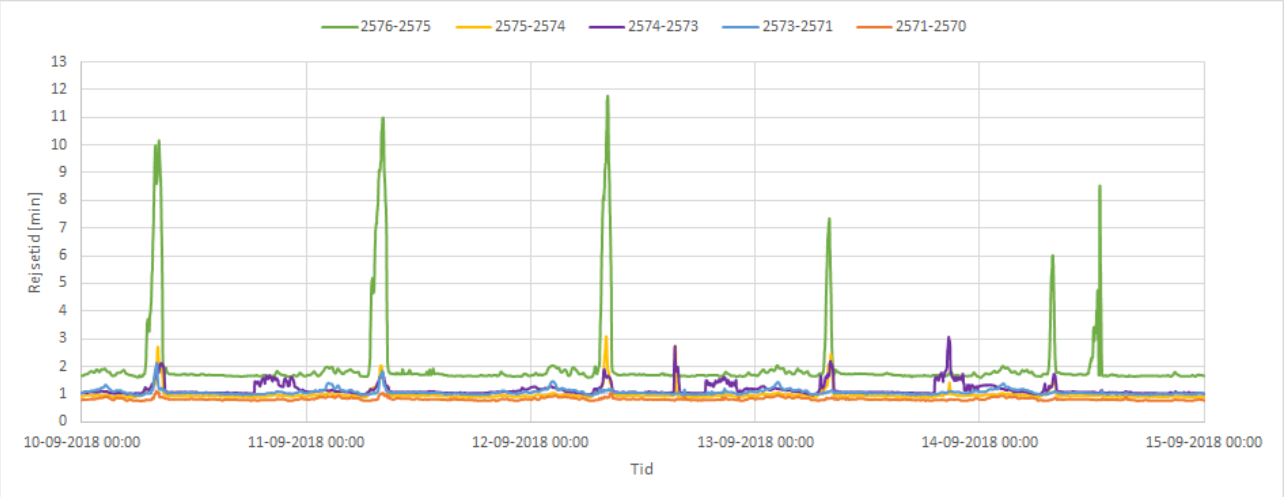
7.5 Rejsetider og forsinkelse fra BlipTrack

Idet tidsrummene for hvornår der sker trafiksammenbrud kendes kan disse sammenlignes med rejsetiderne fra BlipTracks data. Ligesom med de variable hastighedstavler analyseres der kun på en uge, som igen er d. 10.-14. september 2018. Der anvendes alle seks Bluetooth målestationer (BlipTrack) i analysen, jf. figur 6.3 i kaptitel 6 Dataindsamling. I tabel 7.4 kan ses hvilke områder der ligger mellem de forskellige BlipTrack målestationer.

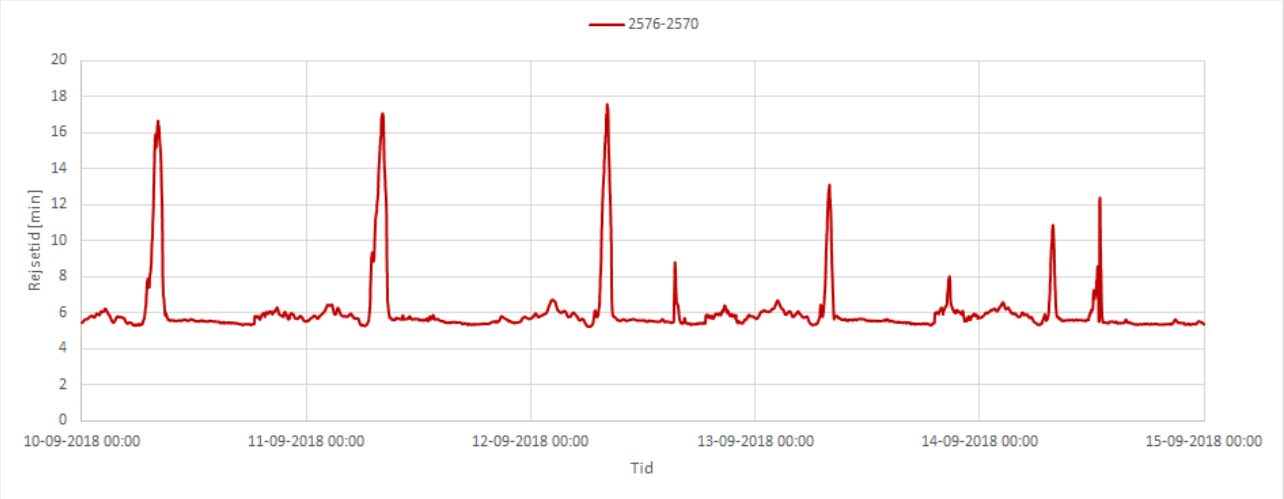
Tabel 7.4. Afkørsler og områder som ligger mellem de pågældende BlipTrack målestationer.

Målestationområder	**Afkørsel/område**
2576-2575 og 2575-2576	Afkørsel 20 Bouet Motorvejskryds Vendsyssel
2575-2574 og 2574-2575	Afkørsel 21 Nørresundby N
2574-2573 og 2573-2574	Afkørsel 22 Nørresundby C Limfjordstunnelen
2573-2571 og 2571-2573	Kridtsvinget Afkørsel 24 Øster Uttrup Vej
2571-2570 og 2570-2571	Afkørsel 25 Humlebakken

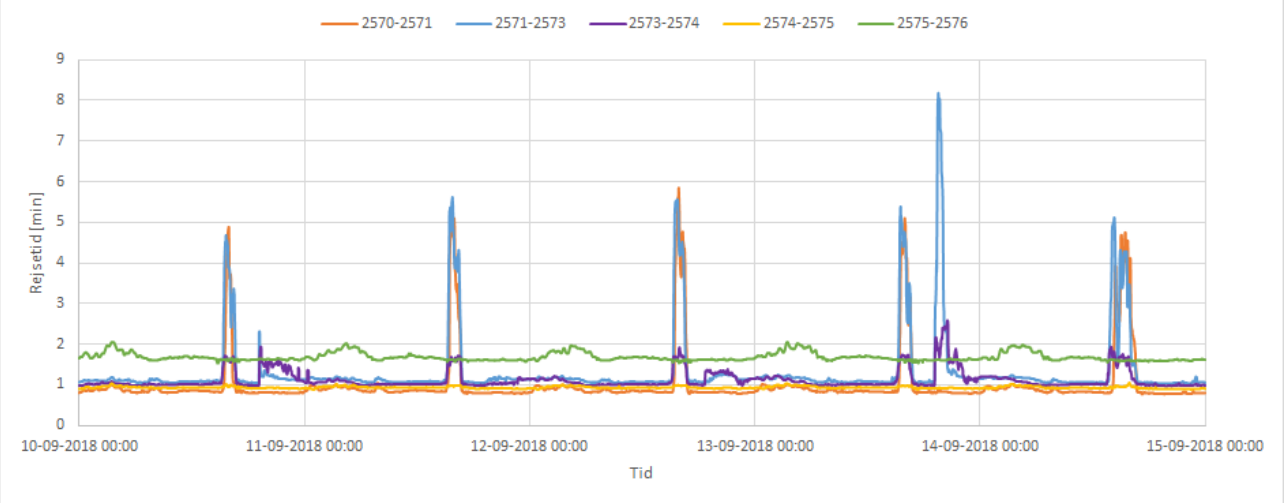
På figur 7.31 og 7.32 ses henholdsvis rejsetids variationen over ugen mellem de forskellige målestationer og den samlede rejsetid mellem de to yderste målestationer i sydgående retning, mens rejsetiden for nordgående retning kan ses på figur 7.33 og 7.34.



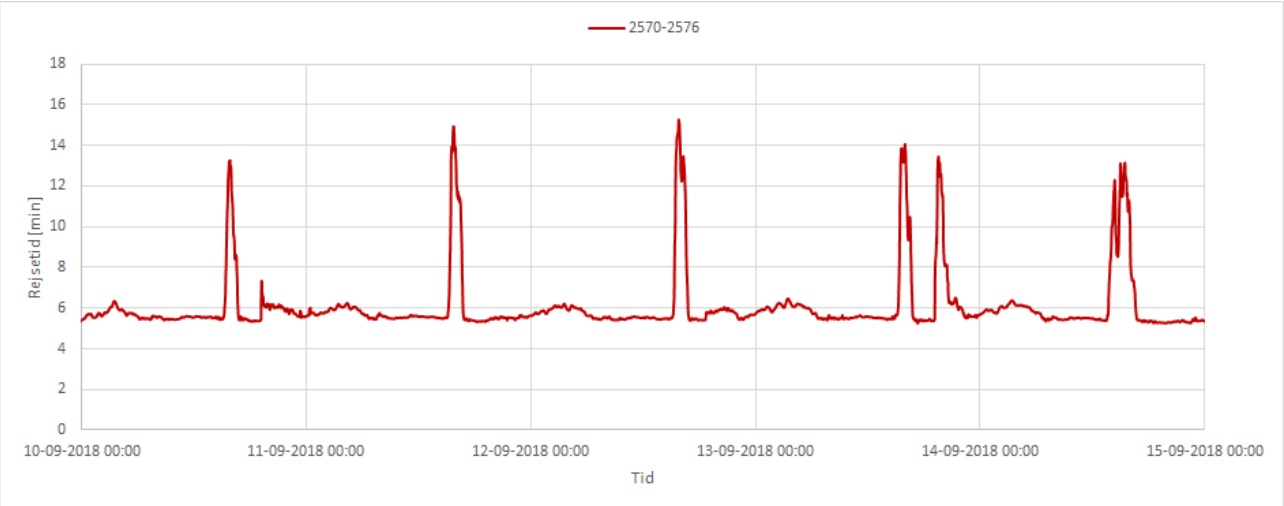
Figur 7.31. Rejsetiden for den sydgående trafik over ugen d. 10.-14. september 2018 mellem de forskellige målestationer.



Figur 7.32. Den samlede rejsetid for den sydgående trafik over ugen d. 10.-14. september 2018.



Figur 7.33. Rejsetiden for den nordgående trafik over ugen d. 10.-14. september 2018 mellem de forskellige målestationer.



Figur 7.34. Den samlede rejsetid for den nordgående trafik over ugen d. 10.-14. september 2018.

Ud fra figurene kan det ses, at rejsetiden viser samme tendens som spoledataene, da det hovedsageligt kun er én gang i døgnet, at rejsetiden er forøget. I sydgående retning er den maksimale samlede rejsetid ensartet de første tre dage, hvorimod den de sidste to dage er lavere. For nordgående retning

er den maksimale samlede rejsetid mere ensartet over ugen i forhold til den sydgående trafik. Den gennemsnitlige maksimale samlede rejsetid er for den sydgående trafik 15 minutter og 22 sekunder, mens den for den nordgående trafik er 14 minutter og 8 sekunder. Den samlede rejsetid fra målestation 2570-2576 udenfor de tidsrum, hvor der sker trafiksammenbrud, er både i sydgående og nordgående retning lige under seks minutter.

På figur 7.31 kan det ses, at det kun er mellem tre målestationer i sydgående retning, hvor der er udslag i rejsetiden, mens på figur 7.33 ses det, at er udslag i rejsetiden mellem fire af målestationerne i nordgående retning.

Der er ud fra BlipTrack muligt at bestemme den gennemsnitlige maksimale rejsetid, den gennemsnitlige rejsetid udenfor tidsrummet, hvor der er trafiksammenbrud, samt forsinkelsestiden mellem målestationerne. Idet at afstanden mellem målestationerne ikke er den samme, ønskes det ligeledes at bestemme forsinkelsestiden pr. kilometer mellem hver målestation. Afstandende mellem målestationerne kan ses i tabel 7.5.

Tabel 7.5. Afstanden mellem målestationerne.

Målestationsområde	Afstand
2576-2575 og 2575-2576	2,84 km.
2575-2574 og 2574-2575	1,48 km.
2574-2573 og 2573-2574	1,57 km.
2573-2571 og 2571-2573	1,69 km.
2571-2570 og 2570-2571	1,42 km.

De forskellige rejsetider og forsinkelsestider ønskes bestemt for at kunne sammenligne disse mellem hver målestation. Rejsetiderne og forsinkelsestiderne kan ses i tabel 7.6 for den sydgående trafik og i tabel 7.7 for den nordgående trafik.

Tabel 7.6. Gennemsnitsværdier for dagene d. 10.-14. september mellem de seks BlipTrack målestationer i sydgående retning.

Målestations-område	Gennemsnitlig maks. rejsetid	Gennemsnitlig rejsetid	Gennemsnitlig maks. forsinkelsestid	Gennemsnitlig maks. forsinkelsestid pr. km.
2576-2575	586 sek.	101 sek.	485 sek.	171 sek.
2575-2574	143 sek.	56 sek.	87 sek.	59 sek.
2574-2573	136 sek.	73 sek.	63 sek.	40 sek.
2573-2571	99 sek.	62 sek.	37 sek.	22 sek.
2571-2570	61 sek.	47 sek.	14 sek.	10 sek.

Tabel 7.7. Gennemsnitsværdier for dagene d. 10.-14. september mellem de seks BlipTrack målestationer i nordgående retning.

Målestationsområde	Gennemsnitlig maksimal rejsetid	Gennemsnitlig rejsetid	Gennemsnitlig forsinkelsestid	Gennemsnitlig forsinkelsestid pr. km.
2570-2571	310 sek.	53 sek.	257 sek.	181 sek.
2571-2573	350 sek.	67 sek.	283 sek.	168 sek.
2573-2574	121 sek.	63 sek.	58 sek.	37 sek.
2574-2575	62 sek.	57 sek.	5 sek.	3 sek.
2575-2576	121 sek.	104 sek.	17 sek.	6 sek.

I sydgående retning er den største maksimale rejsetid og den største forsinkelse mellem målestationerne 2576 og 2575, hvor Motorvejskryds Vendsyssel ligger lige imellem. Både den maksimale rejsetid og forsinkelsestiden bliver mindre for hver målestationsområde i forhold til trafikkens retning. Ved den nordgående trafik findes den største maksimale rejsetid og den største forsinkelse mellem

målestationerne 2571 og 2573, hvor både Kridtsvinget og afkørsel 24 *Øster Uttrup Vej* ligger imellem, men den største forsinkelsestid pr. kilometer findes mellem målestationerne 2570 og 2571, som er ved Humlebakken. Både rejsetiden og forsinkelsen falder drastisk når trafikanterne kommer til Limfjordstunnelen. De mindste rejsetider og forsinkelsestider findes efter trafikanterne har passeret tunnelen og gælder for begge retninger.

For både den sydgående og nordgående trafik viser tabellerne, at forsinkelsen gennem Limfjordstunnelen er større end ved målestationsområderne efter tunnelen. Det er dog inden tunnelen, at de største forsinkelsestider findes, og i sydgående retning tyder det på, at trafikanterne har en større forsinkelse ved at passere Motorvejskryds Vendsyssel end ved at passere Limfjordstunnelen. I nordgående retning har trafikanterne en større forsinkelse pr. kilometer før tunnelen end trafikanterne i sydgående retning. Forsinkelsestiderne viser desuden, at det står meget værre til ved Motorvejskryds Vendsyssel end spoledataene viser. Ved spoledataene er der ikke den store forskel på længden af trafiksammenbruddet fra analysested til analysested, hvorimod forsinkelsestiderne viser, at trafikanterne har næsten tre gange længere forsinkelse ved passering af Motorvejskryds Vendsyssel end ved det næst største målestationsområde. Denne forskel skyldes, at Tre-Fase Trafik Teorien kun ser på ved hvilken hastighed der sker trafiksammenbrud ved, og dermed ikke nuancere de hastigheder der ligger indenfor perioden med trafiksammenbrud. Der er for eksempel stor forskel på om trafikanterne kører med 10 km/t eller 40 km/t, selvom begge hastigheder er defineret som trafiksammenbrud, og derfor er det blevet bestemt rejsetider og forsinkelsestider ud fra spoledataene.

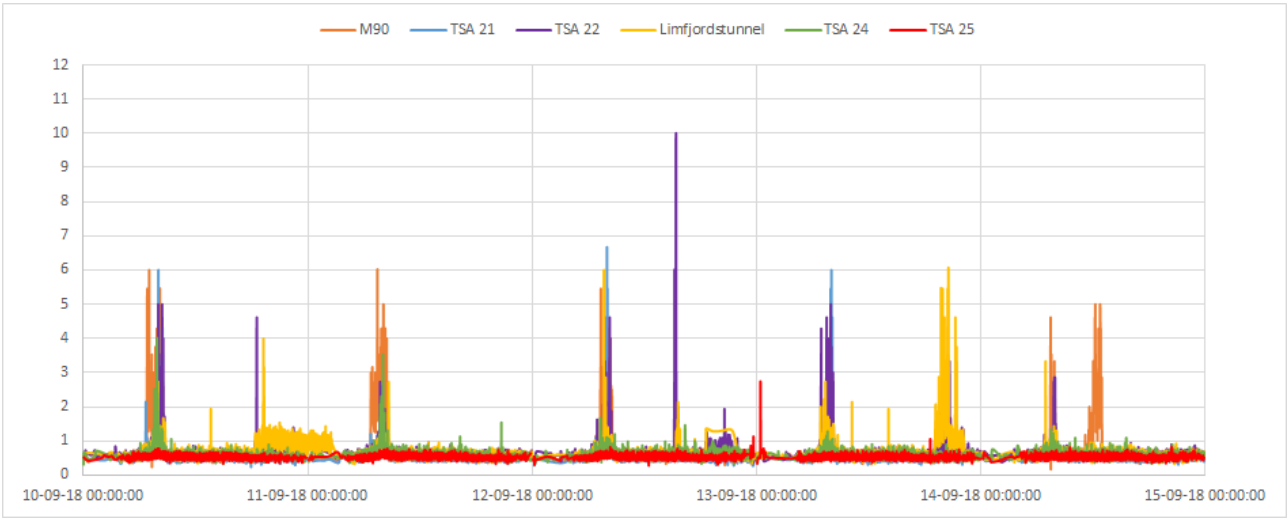
7.6 Rejsetider og forsinkelse fra spoledata

For at kunne bestemme rejsetider og forsinkelsestider skal der bruges to målepunkter, men da spoledataene er målt i et punkt, er der blevet angivet flere fikspunkter, således rejsetiden og forsinkelsestiden kan bestemmes. Fikspunkterne ligger midt mellem hver spolestation og ud fra fikspunkterne er der blevet bestemt den afstand hver spolestation dækker over. Dermed er der antaget, at køretøjerne har kørt med den hastighed som er målt ved spolestationen over den pågældende afstand, som kan ses i tabel 7.8.

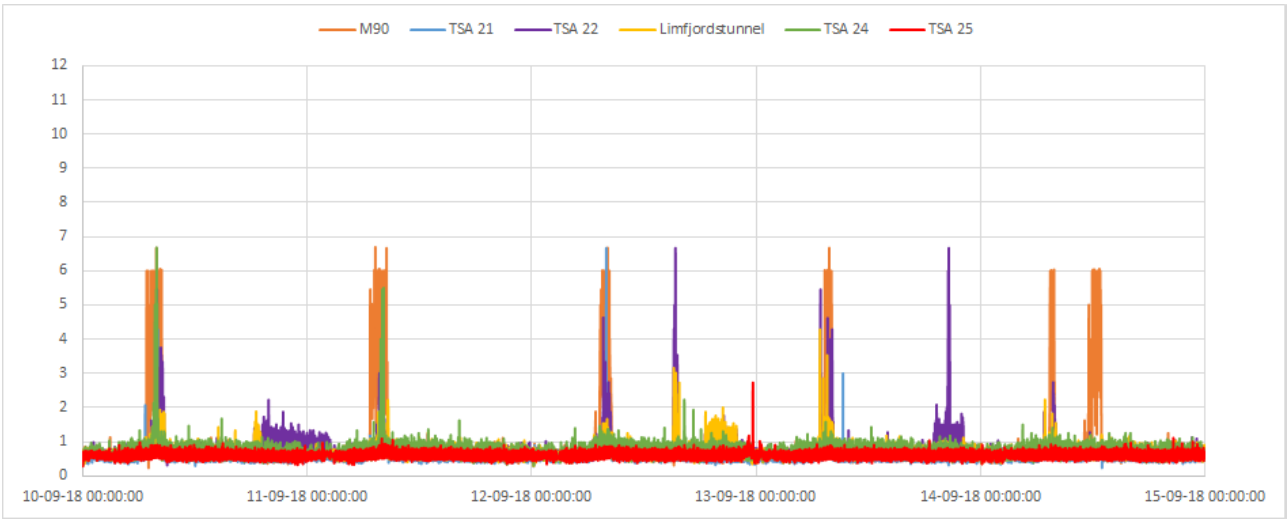
Tabel 7.8. Afstandene som spolestationerne dækker over.

Spolestation	Afstand
M90	1,305 km.
TSA 21	1,308 km.
TSA 22	1,098 km.
Limfjordstunnel	1,266 km.
TSA 24	1,575 km.
TSA 25	1,502 km.

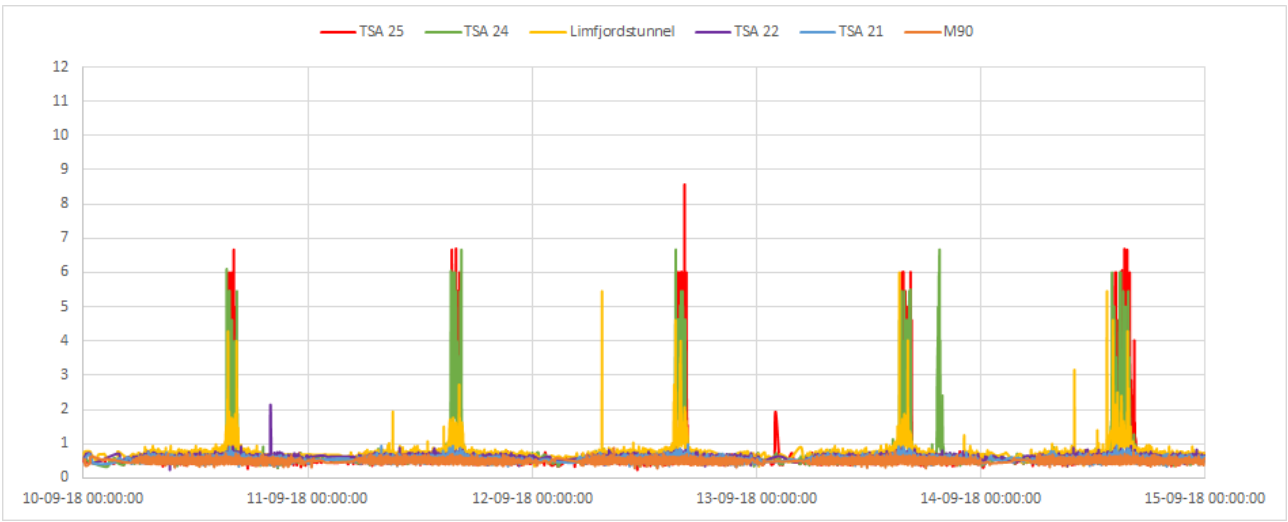
For at kunne sammenligne spolestationerne rejsetider med BlipTracks rejsetider er analysen foretaget i samme uge, d. 10.-14. september. Analysen er foretaget ud fra enkeltkøretøjs rapporterne separat for spor 1 og spor 2, da den gennemsnitlige hastighed varierer mellem sporene. På figur 7.35 og 7.36 ses hvert enkelt køretøjs rejsetid pr. kilometer for hver spolestationsområde for hvert spor i sydgående retning mens rejsetiderne for de to spor nordgående retning kan ses på figur 7.37 og 7.38.



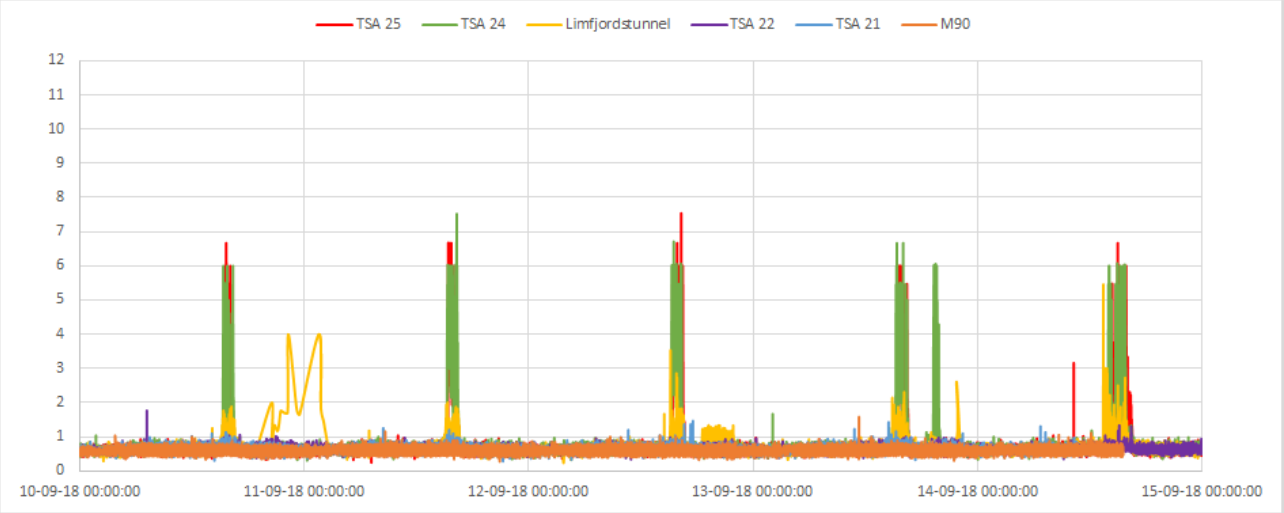
Figur 7.35. Rejsetiden pr. kilometer for enkeltkøretøjerne i spor 1 i sydgående retning for ugen d. 10.-14. september 2018.



Figur 7.36. Rejsetiden pr. kilometer for enkeltkøretøjerne i spor 2 i sydgående retning for ugen d. 10.-14. september 2018.



Figur 7.37. Rejsetiden pr. kilometer for enkeltkøretøjerne i spor 1 i nordgående retning for ugen d. 10.-14. september 2018.



Figur 7.38. Rejsetiden pr. kilometer for enkeltkøretøjerne i spor 2 i nordgående retning for ugen d. 10.-14. september 2018.

I sydgående retning har rejsetiden ved M90 næsten været konstant mellem 5 og 6 minutter, hvorimod ved de andre spolestationer er rejsetiden varierende fra dag til dag, men også mellem de to spor. Graferne viser tydeligt, at der ikke er forøgelse i rejsetiden ved TSA 24 og TSA 25, som også var disse steder, hvor der ikke var sket trafiksammenbrud. I nordgående retning har rejsetiden været forholdsvis konstant mellem de spor og er stort set identisk ved TSA 25 og TSA 24, hvor rejsetiden har været omkring 6 minutter. Der er ingen forøgelse i rejsetid ved TSA 22, TSA 21 og M90, som var de steder i nordgående retning, hvor der ikke var sket trafiksammenbrud. For både den sydgående og nordgående trafik er det ikke muligt ud fra disse grafer at bedømme, om der er forskel på rejsetiderne, og dermed hastighederne, ved de steder der sker trafiksammenbrud.

Det ønskes at nuancere de hastigheder køretøjerne har kørt med under trafiksammenbrud og trængselsfasen, og dette gøres dermed ved at bestemme forsinkelsestiderne for de spolestationer, hvor der er sket gentagende trafiksammenbrud. I sydgående retning dækker det M90, TSA 21, TSA 22 og Limfjordstunnelen, mens det for nordgående dækker TSA 25, TSA 24 og Limfjordstunnelen. Der er blevet bestemt den samlede forsinkelse pr. kilometer som køretøjerne har haft under trafiksammenbruddet, antallet af køretøjer der har passeret igennem trafiksammenbruddet samt forsinkelsen for det enkelte køretøj pr. kilometer. Forsinkelserne for den sydgående trafik kan ses i tabel 7.9 og 7.10, mens forsinkelserne for den nordgående trafik kan ses i tabel 7.11 og 7.12.

Tabel 7.9. Gennemsnitlige forsinkelser for dagene d. 10.-14. september 2018 i sydgående retning for spor 1.

Spor 1	Gennemsnitlig samlede forsinkelse pr. km.	Gennemsnitlig antal køretøjer	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj pr. km.
M90	42,9 t.	1780	83 sek.
TSA 21	8,0 t.	947	31 sek.
TSA 22	19,4 t.	1374	51 sek.
Limfjordstunnel	6,2 t.	1271	18 sek.

Tabel 7.10. Gennemsnitlige forsinkelser for dagene d. 10.-14. september 2018 i sydgående retning for spor 2.

Spor 2	Gennemsnitlig samlede forsinkelse pr. km.	Gennemsnitlig antal køretøjer	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj pr. km.
M90	62,4 t.	1133	199 sek.
TSA 21	15,3 t.	1377	40 sek.
TSA 22	24,4 t.	1447	60 sek.
Limfjordstunnel	14,3 t.	1362	36 sek.

Tabel 7.11. Gennemsnitlige forsinkelser for dagene d. 10.-14. september 2018 i nordgående retning for spor 1.

Spor 1	Gennemsnitlig samlede forsinkelse pr. km.	Gennemsnitlig antal køretøjer	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj pr. km.
TSA 25	41,0 t.	1.391	109 sek.
TSA 24	41,5 t.	1.856	82 sek.
Limfjordstunnel	23,2 t.	2.797	30 sek.

Tabel 7.12. Gennemsnitlige forsinkelser for dagene d. 10.-14. september 2018 i nordgående retning for spor 2.

Spor 2	Gennemsnitlig samlede forsinkelse pr. km.	Gennemsnitlig antal køretøjer	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj pr. km.
TSA 25	45,7 t.	1.007	168 sek.
TSA 24	56,9 t.	1.307	165 sek.
Limfjordstunnel	35,8 t.	2.758	46 sek.

I sydgående retning er det tydeligt, at der ligesom ud fra BlipTracks data, er en større forsinkelse ved Motorvejskryds Vendsyssel, som ligger ved M90, end ved de andre områder. Det er især i spor 2, hvor de høje forsinkelser findes, hvor forsinkelsen er over tre gange større end ved TSA 22. I spor 1 er der dog under en fordobling af rejsetiden fra TSA 22 til M90, hvilket betyder, at det er i spor 2, at de største forsinkelser opstår. Dette stemmer overens med, at det er i spor 2, hvor trafikken fra E45 og E39 skal sammenflette. I nordgående retning er forsinkelsen ved TSA 25 og TSA 24 tilnærmelsesvis ens i spor 2, mens i spor 1 er forsinkelsen større ved TSA 25. Dette betyder at under trafiksammenbruddet har køretøjerne kørt med de samme hastigheder i spor 2, men i spor 1 har køretøjerne ved TSA 25 kørt langsommere end køretøjerne ved TSA 24. Dette kan dog skyldes, at køretøjerne kører op af bakke ved TSA 25 og ned ad bakke ved TSA 24.

Generelt er forsinkelsen under trafiksammenbruddet og trængselsfasen mindre i spor 1 end spor 2, som betyder, at spor 1 kører med en højere hastighed. Det er tydeligt, at når trængselsfasen undersøges nærmere, er der en større variation i den kørte hastighed, idet der er forskel på forsinkelsestiderne pr. kilometer. Dermed bør man efter trafiksammenbrud og trængselsfasen er bestemt, undersøge hvilken hastighed der køres med under trængselsperioden.

Diskussion 8

8.1 Løsninger på trængselsproblemet

Motorvejen omkring Limfjordstunnelen oplever på daglig basis trængsel, som skaber kø og forsinkelser for trafikanterne. En af løsningerne på dette problem er den 3. Limfjordsforbindelse, men da denne stadig ligger på det politiske bord [Regeringen og Dansk Folkeparti, 2019], skal der fokuseres på andre tiltag indtil forbindelsen bliver en realitet. Limfjordstunnelen har allerede overskredet sin kapacitetsgrænse på hverdagsdøgn [Region Nordjylland, 2016], og det er i spidstimerne trængselsproblemerne finder sted. Dette skaber et ønske om at kunne få trafikanterne til at ændre adfærd og kører på andre tidspunkter end i de belastede spidstimer eller at køre en anden rute. Dilemmaet med at vælge en anden rute er, at der kun er to faste vejforbindelser over Limfjorden ved Aalborg og ingen faste forbindelser øst fra Aalborg, jf. figur 1.1 i kapitel 1. Dermed har trafikanterne, der skal krydse Limfjorden, kun to mulige ruter, enten via Limfjordsbroen eller Limfjordstunnelen. Limfjordsbroen har, ligesom tunnelen, overskredet sin kapacitetsgrænse [Region Nordjylland, 2016], og da den fører trafikken til og fra Aalborg midtby, anses det ikke som en alternativ rute for trafikanterne der benytter Limfjordstunnelen. Når trafikanterne ikke har mulighed for at vælge en anden rute skal de kører på andre tidspunkter ellers skal der fokuseres på tiltag som kan hjælpe med at afvikle trafikken bedre i trængselsperioderne.

Ifølge analysen af trafiksammenbrud og resulterende trængsel varer trafiksammenbruddene på projektlokaliteten mellem et kvarter og to timer, og oftest omkring en time. Det kan dermed diskuteres om det er muligt at få trafikanterne til at køre på andre tidspunkter, da de fleste møder og får fri i samme tidsrum. Hvis trafiksammenbruddet kun varer et kvarter er det sandsynligt, at nogle trafikanter vil køre et kvarter tidligere/senere for at undgå at holde i kø, men der er dog en risiko for, at hvis flere trafikanter vælger at gøre dette starter trafiksammenbruddet før/senere. Hovedsaligt varer trafiksammenbruddet omkring en time, og dette gør, at det ikke vil være muligt at få trafikanterne til at køre på andre tidspunkter. For at dette skulle kunne lade sig gøre skal der laves om på de generelle mødetidspunkter på arbejdspladser, skoler m.m. således trafikken kan blive fordelt ud over døgnet og ikke samlet i to tidsrum. Dette kræver en omstrukturering af hele samfundet, og derfor vil det være bedre at anvende løsninger, som kan afvikle trafikken bedre i trængselsperioden og undgå at trafikken går i stå.

Idet trængselsperioden og trafiksammenbrud ikke kan undgås omkring Limfjordstunnelen, og trafikken dermed ikke kan køre i frit flow, skal fokuset være på at få trafikken til at køre i synkroniseret flow frem for den bevægelige kø. Begge faser er trængsel, men ved synkroniseret flow bevæger trafikken sig hele tiden, hvorimod i den bevægelig kø, kan trafikken holde stille. Ved at få trafikken til at blive i synkroniseret flow og ikke ned i den bevægelig kø, vil trafikken blive afviklet hurtigere og med en bedre fremkommelighed. ITS-løsninger kan være en mulig løsning til at få trafikanterne til at køre i synkroniseret flow, men trafikanternes adfærd vil dog også have en betydning. For at trafikken skal køre uden betydelige stop bør det undersøges om trafikanterne ligger sig i det rigtige spor, foretager korrekt vognbaneskifte (hvis nødvendigt) og sammenfletter korrekt ved tilkørslerne.

8.2 Den kritiske hastighed

Til at bestemme, hvornår der er sket trafiksammenbrud over september måned 2018 på de forskellige analysesteder, er der blevet beregnet kritiske hastigheder. De kritiske hastigheder er bestemt matematisk ud fra speed/flow diagrammer, hvor det kan diskuteres om de burde været bestemt ved aflæsning af speed/flow diagrammerne. Ved den matematiske metode indsættes en parabolsk tendenslinje som skærer igennem (0;0), hvor den kritiske hastighed bestemmes ud fra parabelens toppunkt. Denne metode afhænger af, hvor datapunkterne ligger, men ser ikke på, hvornår der sker faseskift mellem frit flow og trængsel. Ved aflæsning af diagrammerne vil det være faseskiftene, der bestemmer den kritiske hastighed, men da faseskiftet til trængsel oftest sker ved hastigheder tæt på hastighedsgrænsen, vil det betyde, at den kritiske hastighed vil ligge meget tæt på den kørte hastighed. Dette betyder, at der ikke skal være stor variation i den kørte hastighed før det angives som trafiksammenbrud, selvom trafikanterne ikke vil opleve det som et trafiksammenbrud. Der vil næsten altid være nogle trafikanter som bevidst kører langsommere end hastighedgrænsen på motorvejen, og det bør undgås at kategorisere disse trafikanter som kørende i trængselsfasen, hvis de har mulighed for at køre i frit flow. Det kan diskuteres om der burde findes en anden metode til at bestemme den kritiske hastighed eller om det egentlig er hastigheden man bør bedømme trafiksammenbrud ud fra. I teorien kan trafiksammenbrud bestemmes ud fra køretøjstætheden, som kan være en mere korrekt faktor at anvende. Tætheden er dog i praksis svære at bestemme end hastigheden, og ud fra dataene der er anvendt i specialet har det ikke været muligt at bestemme tætheden. For at bestemme tætheden bør man have to målestationer, hvor der er en lukket strækning mellem dem, således trafikanterne ikke har mulighed for at forlade vejen, f.eks. mellem en tilkørsel og en frakørsel.

8.3 Trafiksammenbrud og rejsetid

I teorien sker der trafiksammenbrud ved en bestemt hastighed, men der bliver ikke set nærmere på, hvilken hastighed trafikanterne kører med efter trafiksammenbruddet er sket, dvs. i den såkaldte trængselsfase. Der kan være stor forskel på om trafikanterne har kørt med 10 km/t eller 50 km/t i forhold til fremkommeligheden. Teoretisk bliver trængselsfasen opdelt i synkroniseret flow og bevægelig kø, hvor hastigheden bl.a. har en betydning. Problemet er, at det ikke er muligt ud fra rådata at bestemme, hvilken af faserne trafikanterne kører i. Ud fra analysen af trafiksammenbrud og trængsel ved de forskellige analysesteder har der ikke været den store forskel på varigheden af trængselsperioderne fra dag til dag, men hvis det sammenlignes med forsinkelsestiderne pr. kilometer ud fra BlipTracks data er der stor forskel fra analysested til analysested. Hvis hastigheden under trafiksammenbruddet medtages kan der dog godt være en forskel. Dette var grunden til, at der efterfølgende blev bestemt rejsetider og forsinkelsestider ud fra spoledataene. Disse data viste, at der var forskel på, hvilken hastighed køretøjerne havde kørt med under trængselsfasen, og dermed bør rejsetiderne tages i med i undersøgelser af trafiksammenbrud og resulterende trængsel.

8.4 Trængsel

I teorien opstår trængsel når gennemsnitshastigheden er mindre ens minimum gennemsnitshastigheden som er mulig i frit flow. I analysen er denne minimum gennemsnitshastighed ikke blevet anvendt til at bestemme trængselsperioderne, da denne skal bestemmes i nærheden af flaskehalsen. Da projektlokaliteten består af mange afkørsler med kort afstand imellem, samt forskellige hastighedsbegrænsninger er det ikke muligt at bestemme minimum gennemsnitshastigheden. Det kan dog diskuteres om denne kunne være bestemt ud fra weekend data på de forskellige lokaliteter. Der står dog i teorien at den skal bestemmes ud fra observationer over et længere tidsinterval, og dermed er det antaget, at fire weekender ikke er et langt nok tidsinterval til at bestemme dette. Det kan diskuteres

om der havde været muligt at bestemme den ud fra andre studier omkring hastigheder på motorveje, men det bør være på strækninger som minder om projektlokaliteten.

Trængselsfasen er i Tre-Fase Trafik Teorien opdelt i de to faser synkroniseret flow og bevægelig kø, hvor synkroniseret flow er et kontinuert flow uden betydelige stop, mens den bevægelig kø ikke er et kontinuert flow, hvor gennemsnitshastigheden er meget lav. På projektlokaliteten er trængsel uundgåeligt, og det optimale vil være at trængslen afvikles i fasen synkroniseret flow. Hvis trængsel ikke kan undgås er det vigtigt at få afviklet trængslen med den bedst mulige fremkommelighed, og dermed skal trafikken hele tiden være i bevægelse. Hvis trafikanterne kan vælge mellem to forskellige ruter som har samme rejsetid og længde, vil de med stor sandsynlighed vælge den rute, hvor der er færre stop, da dette giver en bedre fremkommelighed. Derfor skal fokuset være på at få trafikken til køre i synkroniseret flow og undgå at de kommer ned i den bevægelig kø.

8.5 Variable hastighedstavler og deres algoritme

I dag anvendes antallet af køretøjer ikke til at bestemme hastigheden på de variable hastighedstavler [Vejdirektoratet, 2018a], og det kan diskuteres om det ikke er en faktor der burde være en del af tavlernes algoritme. Vejdirektoratet har dog været i gang med at teste nye algoritmer til de variable hastighedstavler, som forventes implementeret i sommeren 2019, hvor antallet af køretøjer medtages [Gautier, 2018; Lauritzen, 2019]. Det kan derfor diskuteres hvor relevant det har været at medtage de variable hastighedstavler i analysen. Analysen kan dog bruges til sammenligning med en eventuel ny analyse, når de nye algoritmer tages i brug, for at vurdere om den nye algoritme får afviklet trafikken bedre end den gamle algoritme.

Ud fra analysen vurderes det, at udover at antallet af køretøjer bør spille en faktor, bør køretøjernes tæthed også spille en faktor. Som tidligere beskrevet kan trafiksammenbrud bestemmes ud fra en kritisk tæthed, og dermed vil det også give mening at tætheden tages i betragtning i algoritmen til hastighedstavlerne. Spørgsmålet er om det er muligt at anvende tætheden i algoritmen, da tætheden kræver, at antallet af køretøjer er målt over en bestemt strækning. Analysen viste, at det især var ved større hastighedsdrop, at tavlerne bør blive sat ned inden trafiksammenbrud, og derudfra vurderes det, at det mest optimale vil være hvis tavlerne afhang af køretøjstætheden når den viste hastighed skal sættes ned, og af køretøjernes hastighed og tæthed når den viste hastighed skal øges.

Konklusion 9

Trængslen på de danske motorveje er steget, og vil ifølge trafikprognoser blive ved med at stige således, at flere motorvejsstrækninger vil nå deres kapacitetsgrænse i 2030. Limfjordstunnelen er en af de motorvejsforbindelser, som allerede har overskredet sin kapacitetsgrænse, og da det er den eneste motorvejsforbindelse over Limfjorden skal der fokuseres på at finde en løsning til trængselsproblemerne. Den 3. Limfjordsforbindelse er allerede planlagt, men da den stadig ligger på det politiske bord, skal der fokuseres på en anden løsning ved Limfjordstunnelen indtil videre. Dette speciale har fokuseret på trængselsproblemerne omkring Limfjordstunnelen, og hvilken betydning de variable hastighedstavler spiller på dette. Projektlokaliteten har været mellem afkørsel 20 *Bouet* og afkørsel 25 *Humlebakken*, hvor trængslen er blevet undersøgt og analyseret for både den sydgående og nordgående trafik. Analysen har taget udgangspunkt i data fra september 2018.

Først er der blevet analyseret på Vejdirektoratets spoledata for at bestemme, hvilke dage og hvor der er sket gentagende trafiksammenbrud med resulterende trængsel. Det kan konkluderes, at trafiksammenbruddet kun fandt sted i hverdagene, og at det kun var ved lokaliteterne før og i tunnelen. Dermed er der ikke sket trafiksammenbrud med resulterende trængsel, i hverken sydgående eller nordgående retning, så snart trafikanterne har passeret Limfjordstunnelen. Efterfølgende blev den kritiske hastighed for hver lokalitet beregnet, for at bestemme, hvornår der er sket trafiksammenbrud. De kritiske hastigheder har været varierende og har svinget mellem 54,1 og 68,6 km/t. En af grundene til at de har svinget en del, skyldes at den normale hastighedsbegrænsning varierer mellem 90 og 110 km/t. Ud fra de kritiske hastigheder kan det konkluderes, at trafiksammenbruddet fandt sted i morgenspidstimerne fra kl. 06-09 i sydgående retning og i eftermiddagsspidstimerne fra kl. 14-17 i nordgående retning med enkelte undtagelser i begge retninger. Samlet set over september måned har trafiksammenbruddet været meget varierende indenfor spidstimerne og har varet fra 15 minutter og op til to timer, mens der har været enkelte dage i nordgående retning, hvor der ikke har været sammenbrud. Det kan dermed konkluderes at trængselsperioden indenfor spidstimerne varierer over tid. Spoledataene har desuden ikke vist den store forskel i trængsel mellem analysestederne.

Der er i specialet arbejdet med en hypotese om, at de variable hastighedstavler først sætter hastigheden ned efter trafiksammenbruddet er indtruffet, og derfor er der foretaget en sammenligning af den kørte hastighed fra spoledataene med den viste hastighed fra de variable hastighedstavler i ugen d. 10.-14. september. Når der ses på data fra hele døgnet kan det konkluderes, at den viste hastighed følger den kørte hastighed med enkelte undtagelser. I nattetimerne i nordgående retning har der været flere udsving i den viste hastighed end i den kørte hastighed. Dette skyldes, at hastighedstavlernes algoritme ikke medtager antallet af køretøjer, samtidig med at algoritmen forsøger at ensarte hastigheden ved køretøjerne. Der er for spidstimerne blevet undersøgt nærmere om hypotesen skal bekræftes eller afkræftes. Det har vist sig at være varierende fra analysested til analysested, hvornår den viste hastighed er blevet sat ned i forhold til den kørte hastighed. Hovedsageligt har hastighederne fulgt hinanden, men dette er dog et problem de steder, hvor trafiksammenbruddet har medført et større hastighedsdrop. Her bør den viste hastighed være sat ned inden for at undgå et stort hastighedsdrop, og derfor er dette et ligeså stort dilemma, som hvis hastighedstavlerne bliver sat ned efter sammenbrud. Dermed kan hypotesen om hastighedstavlerne afkræftes, men der er stadig problemer med hvornår

hastighedstavlerne bliver sat ned.

Til sidst er der blevet undersøgt rejsetider og forsinkelser ud fra både BlipTrack- og spoledata i ugen d. 10.-14. september. BlipTrack dataene viste, at den samlede rejsetid fra projeklokaliteten normalt var omkring seks minutter, mens den maksimale rejsetid i ugen var 15 minutter og 22 sekunder for den sydgående trafik og 14 minutter og 8 sekunder for den nordgående trafik. I sydgående retning var den største maksimale forsinkelse pr. kilometer ved Motorvejskryds Vendsyssel, som var næsten tre gange større end den næste forsinkelsestid. I nordgående retning var den største maksimale forsinkelse pr. kilometer næsten identisk ved TSA 25 og TSA 24 og fire-fem gange større end gennem Limfjordstunnelen. Efter tunnelen var der stadig lidt forsinkelse i sydgående retning, men stort set ingen forsinkelse i nordgående retning.

Spoledataene blev brugt til at bestemme den gennemsnitlige forsinkelse hvert køretøj har haft efter trafiksammenbruddet under trængselsperioden. Dette blev gjort, da analysen af trafiksammenbrud med resulterende trængsel viste at der ikke var forskel i længden af trængselsperioden fra analysested til analysested, men der kunne være en forskel i den hastighed køretøjerne havde kørt med under trængselsperioden. Det kan konkluderes, at når der undersøges nærmere på køretøjernes hastighed under trængselsperioden, så er der forskel på de forskellige analysesteder. I spor 2 i sydgående retning har M90 en langt større forsinkelse end de resterende analysesteder, mens i spor 2 i nordgående retning er forsinkelsen størst ved TSA 25 og TSA 24. Ved spor 1 er der forskel på forsinkelserne i begge retninger, men der er en mindre variation end i spor 2.

Litteraturliste

3. Limfjordsforbindelse NU!, 2018, *3. Limfjordsforbindelse - En sikker investering*. Set: 21-02-2019. URL: http://static.3limfjordsforbindelse.nu/upload/dokumenter/3_Limfjordsforbindelse_En_sikker_investering_september2018.pdf.

Als, Per, 2011, „Trængsel og tidsspilde skal forebygges". I: *Trafik & Veje* 02. Set: 21-02-2019, s. 48–50. URL: http://asp.vejtid.dk/Artikler/2011/02/5965.pdf.

Clausen, Emil Færch, 2015, *Nu er der bedre plads ved Limfjordstunnelen*. Set: 25-02-2019. URL: https://nordjyske.dk/nyheder/nu-er-der-bedre-plads-ved-limfjordstunnelen/55d624e2-27d2-4547-b75c-bfada35b0c2a.

Falcocchio, John C. og Herbert S. Levinson, 2015, *Road Traffic Congestion: A Concise Guide*. Bd. 7. Springer Tracts on Transportation and Traffic. Springer. ISBN: 978-3-319-15165-6.

Gautier, Eric, 2016, „Et århundrede med trafikstyring". I: *Trafik & Veje* 08. Set: 09-04-2019, s. 55–57. URL: http://asp.vejtid.dk/Artikler/2016/08/8476.pdf.

— , 2018, „SLM - Forslag til ny funktionalitet 2018".

Google Maps, n.d., *Google Maps - Street View*. URL: https://www.google.com/maps.

Jensen, Thomas Klose, 2017, *Kø og forsinkelser på motorvejene: Der er kommet 25 pct. flere biler på syv år*. Set: 18-02-2019. URL: https://www.dr.dk/nyheder/penge/koe-og-forsinkelser-paa-motorvejene-der-er-kommet-25-pct-flere-biler-paa-syv-aar.

Kerner, Boris S., 2009, *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control*. Springer. ISBN: 978-3-642-02604-1.

— , 2017, *Breakdown in Traffic Networks*. Springer. ISBN: 978-3-662-54473-0.

Knudsen, Peter og Lars Tørholm, 2010, „Ny teknologi til måling af køretider". I: *Trafik & Veje* 05. Set: 10-04-2019, s. 54–55. URL: http://asp.vejtid.dk/Artikler/2010/05/5773.pdf.

Kortforsyningen, n.d., *Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering*. URL: https://kortforsyningen.dk/.

Lauritzen, Steen Merlach, 2015, *Styringsfunktioner og -algoritmer*. PowerPoint præsentation modtaget af Thomas Westring Roslyng fra Vejdirektoratet d. 12-04-2019 via email.

— , 2019, *Mailkorrespondance i perioden marts - maj 2019*.

Olesen, Jonas og Peter Knudsen, 2013, „Dagens bedste kompromis: Rejsetidsmålinger med Bluetooth". I: *Trafik & Veje* 01. Set: 10-04-2019, s. 10–12. URL: http://asp.vejtid.dk/Artikler/2013/01/6496.pdf.

Pedersen, Karsten Sten og Erik Basse Kristensen, 2013, „Mere mobilitet". I: *Trafik & Veje* 01. Set: 21-02-2019, s. 55–57. URL: http://asp.vejtid.dk/Artikler/2013/01/6491.pdf.

Regeringen og Dansk Folkeparti, 2019, *Aftale om et sammenhængende Danmark: Investeringsplan 2030*. URL: https://www.regeringen.dk/nyheder/saadan-skal-infrastrukturen-udvikles-frem-mod-2030/.

Region Nordjylland, 2016, *Ny måling tegner dystert billede af trafikken i Limfjordstunnelen*. Set: 18. februar 2019. URL: https://rn.dk/service/nyhedsbase-rn/2016/11/ny-maaling-tegner-dystert-billede-af-trafikken-i-limfjordstunnelen.

Saphe, n.d., *Om Saphe*. Set: 19-03-2019. URL: https://saphe.dk/om-saphe/.

Sørensen, Anders Bak, 2011, „Ny ITS på Aalborgs motorveje". I: *Trafik & Veje* 1. Set: 25-02-2019, s. 16–17. URL: http://asp.vejtid.dk/Artikler/2011/01/5936.pdf.

Studstrup, Frank, 1994, „Limfjordsforbindelserne ved Aalborg". I: *Dansk Vejtidsskrift* 6-7. Set: 21-02-2019, s. 30–35. URL: http://asp.vejtid.dk/Artikler/1994/06-07/6918.pdf.

Systems, BLIP, n.d., *BlipTrack - Login*. URL: https://trafficdemo.bliptrack.net/blipzones/login.seam.

Vejdirektorat Aalborg, 2019, *Personligt møde med Ivar Sande, Mogens Feddern og Kenn Mørk fra Planlægning og Myndighed*. Mødedato var d. 26. marts 2019.

Vejdirektoratet, 2012, *Detektorer for trafikregistrering*. Tek. rap. URL: http://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?q=Detektorer+for+trafikregistrering&docId=vd-anlaeg-detektorer2-full.

— , 2014, *Hastighedstilpasning i åbent land*. Tek. rap. URL: http://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?q=hastighedstilpasning&docId=vd-2014-0059-full#pkt8.1.

— , 2018a, *ITS-M70N-3-E5 Sign Logic Module*. Tek. rap.

— , 2018b, *Trafikken på motorvejen vokser stadig markant*. Set: 18-02-2019. URL: http://www.vejdirektoratet.dk/DA/om-os/nyheder-og-presse/pressemeddelelser/Sider/Trafikken-p%C3%A5-motorvejene-vokser-stadig-markant.aspx.

— , 2019, *Mastra*. Set: 23-04-2019. URL: http://www.vejdirektoratet.dk/DA/vejsektor/ydelser/programmer/Sider/Mastra.aspx.

— , n.d.(a), *iMastra*. URL: https://mastra.vd.dk/mastra/nytui/main/mastra.html?v=124.

— , n.d.(b), *Vejman.dk*. URL: http://www.vejman.dk/da/Sider/default.aspx.

Wang, Laura Friis, 2018, *Trængslen på vejene stiger: Fire løsninger på fremtidens trafikproblemer*. Set: 19-02-2019. URL: https://www.dr.dk/nyheder/indland/traengslen-paa-vejene-stiger-fire-loesninger-paa-fremtidens-trafikproblemer.

Spor afgrænsning A

Tabel A.1. Antal af køretøjer i begge retninger tirsdag d. 04.09.2018. I tabellen ses både antallet af køretøjer for hele døgnet og i de respektive myldretidsperioder for hver retning.

TSA 21	Spor 1	Spor 2	Spor 3
Sydgående, 24 timer	10.031	16.695	12.702
Nordgående, 24 timer	7.327	19.504	12.823
Sygående, kl. 06-09	4.455	4.281	3.690
Nordgående, kl. 14-17	3.563	5.777	3.674

TSA 22	Spor 1	Spor 2	Spor 3
Sydgående, 24 timer	10.260	21.134	10.254
Nordgående, 24 timer	7.546	16.534	15.924
Sygående, kl. 06-09	4.490	4.759	3.530
Nordgående, kl. 14-17	3.954	5.218	3.539

Limfjordstunnel	Spor 1	Spor 2	Spor 3
Sydgående, 24 timer	12.020	17.663	11.087
Nordgående, 24 timer	13.232	15.302	18.618
Sygående, kl. 06-09	4.939	4.720	3.922
Nordgående, kl. 14-17	4.607	4.761	4.072

Kritisk hastighed B

Tabel B.1. Kritiske hastigheder for M90

M90	**Kritisk hastighed, spor 1 [km/t]**	**Kritisk hastighed, spor 2 [km/t]**
03.09.18	64,0	62,2
04.09.18	64,4	62,1
05.09.18	64,7	63,2
06.09.18	65,4	63,9
07.09.18	64,7	62,1
10.09.18	64,1	60,6
11.09.18	62,6	61,9
12.09.18	64,1	64,0
13.09.18	63,0	63,1
14.09.18	65,6	62,3
17.09.18	63,0	61,3
18.09.18	63,2	64,2
19.09.18	64,1	63,9
20.09.18	63,6	61,1
21.09.18	64,1	63,6
24.09.18	63,6	61,7
25.09.18	62,4	61,2
26.09.18	62,7	63,7
27.09.18	63,5	61,3
28.09.18	65,3	62,7
Median	**64,0**	**62,2**

Tabel B.2. Kritiske hastigheder for TSA 21

TSA 21	**Kritisk hastighed, spor 1 [km/t]**	**Kritisk hastighed, spor 2 [km/t]**
03.09.18	69,5	68,6
04.09.18	68,5	66,6
05.09.18	69,1	68,6
06.09.18	70,6	68,6
07.09.18	69,0	68,1
10.09.18	68,5	67,8
11.09.18	67,7	67,3
12.09.18	68,3	68,4
13.09.18	68,0	69,1
14.09.18	68,2	68,1
17.09.18	68,3	67,9
18.09.18	68,6	66,8
19.09.18	68,0	68,4
20.09.18	69,2	67,3
21.09.18	69,7	66,6
24.09.18	68,6	67,9
25.09.18	67,7	67,4
26.09.18	67,9	66,4
27.09.18	69,0	70,3
28.09.18	70,3	67,1
Median	**68,6**	**67,9**

Tabel B.3. Kritiske hastigheder for TSA 22

TSA 22	**Kritisk hastighed, spor 1 [km/t]**	**Kritisk hastighed, spor 2 [km/t]**
03.09.18	56,7	58,4
04.09.18	58,9	65,1
05.09.18	56,6	56,3
06.09.18	59,1	60,1
07.09.18	55,6	54,6
10.09.18	56,8	62,0
11.09.18	55,1	57,6
12.09.18	58,5	56,9
13.09.18	59,7	57,8
14.09.18	55,7	53,7
17.09.18	57,3	63,3
18.09.18	57,0	105,1
19.09.18	57,7	139,9
20.09.18	58,6	71,3
21.09.18	56,4	63,4
24.09.18	58,9	69,1
25.09.18	59,5	82,8
26.09.18	56,6	81,4
27.09.18	58,6	56,9
28.09.18	57,4	53,4
Median	**57,4**	**61,1**

Tabel B.4. Kritiske hastigheder for Limfjordstunnelen i sydgående retning

Limfjordstunnel, sydgående	**Kritisk hastighed, spor 1 [km/t]**	**Kritisk hastighed, spor 2 [km/t]**
03.09.18	59,9	55,6
04.09.18	58,8	53,5
05.09.18	61,4	55,1
06.09.18	58,7	58,5
07.09.18	58,6	52,5
10.09.18	61,7	56,1
11.09.18	62,6	52,5
12.09.18	57,2	57,0
13.09.18	58,0	53,8
14.09.18	60,6	55,3
17.09.18	58,6	54,8
18.09.18	60,8	54,7
19.09.18	64,7	53,9
20.09.18	59,2	55,7
21.09.18	67,3	54,2
24.09.18	59,1	60,8
25.09.18	58,1	54,7
26.09.18	59,8	53,9
27.09.18	59,2	54,1
28.09.18	60,9	52,4
Median	**59,5**	**54,7**

Tabel B.5. Kritiske hastigheder for TSA 25

TSA 25	**Kritisk hastighed, spor 1 [km/t]**	**Kritisk hastighed, spor 2 [km/t]**
03.09.18	69,0	66,1
04.09.18	66,9	67,6
05.09.18	68,2	69,7
06.09.18	66,1	67,9
07.09.18	66,5	63,9
10.09.18	66,8	67,0
11.09.18	65,1	66,0
12.09.18	67,3	67,6
13.09.18	66,3	69,0
14.09.18	67,0	64,5
17.09.18	66,7	66,9
18.09.18	70,1	66,5
19.09.18	71,8	71,0
20.09.18	67,6	76,4
21.09.18	70,7	76,9
24.09.18	67,1	65,0
25.09.18	69,0	70,0
26.09.18	68,8	69,1
27.09.18	68,1	70,7
28.09.18	67,5	68,0
Median	**67,4**	**67,8**

Tabel B.6. Kritiske hastigheder for TSA 24

TSA 24	**Kritisk hastighed, spor 1 [km/t]**	**Kritisk hastighed, spor 2 [km/t]**
03.09.18	64,5	64,6
04.09.18	62,3	62,8
05.09.18	64,5	63,7
06.09.18	67,7	64,5
07.09.18	63,0	61,5
10.09.18	65,1	62,2
11.09.18	61,5	62,4
12.09.18	63,7	62,2
13.09.18	63,2	63,8
14.09.18	63,1	60,5
17.09.18	63,4	60,6
18.09.18	64,0	61,6
19.09.18	65,8	64,8
20.09.18	83,7	78,3
21.09.18	74,2	87,3
24.09.18	62,6	60,7
25.09.18	65,9	66,7
26.09.18	62,6	63,9
27.09.18	67,7	64,1
28.09.18	63,5	61,7
Median	**63,8**	**63,3**

Tabel B.7. Kritiske hastigheder for Limfjordstunnelen i nordgående retning

Limfjordstunnel, nordgående	**Kritisk hastighed, spor 1 [km/t]**	**Kritisk hastighed, spor 2 [km/t]**
03.09.18	51,2	60,9
04.09.18	54,6	58,4
05.09.18	53,8	59,7
06.09.18	53,8	59,4
07.09.18	54,2	57,0
10.09.18	51,9	58,7
11.09.18	51,6	58,0
12.09.18	52,8	61,1
13.09.18	53,6	58,3
14.09.18	53,2	56,1
17.09.18	55,0	60,2
18.09.18	57,2	58,4
19.09.18	54,4	57,7
20.09.18	56,3	60,0
21.09.18	52,9	54,4
24.09.18	55,8	59,0
25.09.18	57,5	56,8
26.09.18	58,6	59,2
27.09.18	54,5	59,0
28.09.18	54,0	57,1
Median	**54,1**	**58,6**

Trafiksammenbrud med resulterende trængsel

C

Tabel C.1. Tidsrum for trafiksammenbrud med resulterende trængsel ved M90.

M90	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 1 (v≤64,0)**	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 2 (v≤62,2)**
03/09	06:24-09:07	06:24-09:09
04/09	07:17-08:11	07:18-08:12
05/09	07:18-08:09	07:18-08:10
06/09	07:18-08:33	07:18-08:34
07/09	07:17-08:05	07:17-08:06
10/09	06:47-08:32	06:47-08:33
11/09	06:43-08:35	06:43-08:35
12/09	07:15-08:32	06:46-06:51 07:15-08:34
13/09	07:18-08:05	07:17-08:06
14/09	07:22-07:56 11:34-12:56	07:22-07:56 11:32-12:57
17/09	06:46-08:20	06:45-08:21
18/09	06:43-07:00 07:19-08:13	06:41-07:02 07:19-08:14
19/09	07:14-08:06	07:12-08:07
20/09	06:46-07:04 07:12-08:11	06:48-07:04 07:11-08:12
21/09	07:25-08:14 11:12-11:35	07:25-08:14 11:11-11:37
24/09	07:19-08:15	07:18-08:16
25/09	07:17-08:16	07:15-08:17
26/09	07:13-08:22	06:44-06:50 07:13-08:23
27/09	07:18-08:04	07:18-08:05
28/09	07:19-08:01	07:20-08:01

Tabel C.2. Tidsrum for trafiksammenbrud med resulterende trængsel ved TSA 21.

TSA 21	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 1 (v≤68,6)**	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 2 (v≤67,9)**
03/09	06:16-09:11	06:16-09:13
04/09	07:43-08:13	07:43-08:13
05/09	07:45-08:09	07:45-08:12
06/09	07:31-08:35	07:24-08:36
07/09	07:41-08:05	07:39-08:07
10/09	07:57-08:33	07:28-08:34
11/09	07:34-08:03 08:22-08:27	07:08-08:36
12/09	07:50-08:31	07:31-08:32
13/09	07:44-08:07	07:33-08:09
14/09	07:21-07:58	07:20-07:58
17/09	07:41-08:22	07:40-08:24
18/09	07:34-08:16	07:31-08:16
19/09	07:41-08:10	07:42-08:11
20/09	06:41-06:47 07:12-08:11	06:40-06:47 07:12-08:13
21/09	07:33-08:13 10:24-11:31	07:25-08:14 10:19-11:35
24/09	07:34-08:19	07:26-08:20
25/09	07:31-08:16	07:28-08:17
26/09	07:42-08:23	07:24-08:24
27/09	07:49-08:02	07:47-08:06
28/09	07:42-08:03	07:18-08:04

Tabel C.3. Tidsrum for trafiksammenbrud med resulterende trængsel ved TSA 22.

TSA 22	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 1 (v≤57,4)**	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 2 (v≤61,1)**
03/09	05:15-09:17	05:14-09:18
04/09	07:44-08:12	07:44-08:13
05/09	07:42-08:17	07:42-08:18
06/09	07:21-08:43	07:20-08:44
07/09	06:44-06:54 07:33-08:09	06:45-06:54 07:33-08:12 14:18-14:37
10/09	07:44-08:41	07:34-08:43
11/09	07:41-08:15	07:26-08:25
12/09	07:34-08:28 15:11-15:38	07:34-08:30 15:10-15:40
13/09	06:52-06:57 07:28-08:13	06:52-06:59 07:28-08:16
14/09	07:45-08:00	07:44-08:02
17/09	07:37-08:25	07:35-08:27
18/09	07:30-08:19	07:26-08:20
19/09	07:42-08:11	07:36-08:11
20/09	07:08-08:07	07:08-08:12
21/09	07:28-08:16 10:07-11:40	07:26-08:19 10:00-11:42
24/09	07:34-08:21	07:34-08:23
25/09	07:35-08:22	07:34-08:23
26/09	07:38-07:45	07:34-08:16
27/09	07:56-08:08	07:49-08:08
28/09	07:57-08:06	07:55-08:07

Tabel C.4. Tidsrum for trafiksammenbrud med resulterende trængsel ved Limfjordstunnelen i sydgående retning.

Limfjordstunnel	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 1 (v≤59,5)**	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 2 (v≤54,7)**
03/09	07:33-09:19	07:34-09:20
04/09	07:40-08:16	07:40-08:19
05/09	07:39-08:19	07:38-08:21
06/09	07:22-08:46	07:17-08:47
07/09	07:45-08:11	07:29-08:13
10/09	07:42-08:45	07:42-08:46
11/09	08:38-08:41	07:36-07:52 08:05-08:17 08:38-08:41
12/09	07:39-07:56 15:23-15:46	07:38-07:53 15:11-15:48
13/09	07:09-08:14	06:49-06:53 07:09-08:15
14/09	07:40-07:54	06:53-06:56 07:40-08:04
17/09	07:29-08:22	07:29-08:24
18/09	07:41-07:46	07:39-07:58
19/09	07:40-08:12	07:39-08:12
20/09	07:03-07:44 08:02-08:19	07:00-08:19
21/09	07:57-08:22 08:31-11:45	07:24-07:29 07:57-08:22 08:31-11:45
24/09	07:29-07:51	07:28-07:57 08:13-08:18
25/09	07:32-08:13	07:47-08:13
26/09	Intet sammenbrud	07:51-08:11
27/09	07:53-08:10	07:51-08:11
28/09	07:50-07:58	07:50-08:02

Tabel C.5. Tidsrum for trafiksammenbrud med resulterende trængsel ved TSA 25.

TSA 25	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 1 (v≤67,4)**	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 2 (v≤67,8)**
03/09	15:19-16:49	15:18-16:51
04/09	15:19-16:49	15:19-16:51
05/09	15:19-16:00	15:18-16:03
06/09	15:19-16:48	15:19-16:51
07/09	14:19-16:13	14:13-16:15
10/09	15:27-16:12	15:26-16:15
11/09	15:17-16:24	15:16-16:32
12/09	15:21-16:36	15:21-16:39
13/09	15:19-16:35	15:19-16:37
14/09	14:12-16:30	14:07-16:33
17/09	15:18-16:07	15:18-16:11
18/09	15:37-16:17	15:29-16:32 16:48-16:57
19/09	15:46-16:01	15:36-16:03
20/09	15:17-15:32 15:43-16:04	15:16-16:04
21/09	Intet sammenbrud	Intet sammenbrud
24/09	15:26-16:31	15:19-16:42
25/09	15:36-16:04	15:30-16:06
26/09	Intet sammenbrud	Intet sammenbrud
27/09	15:38-15:54	13:41-13:49 15:32-15:56
28/09	15:23-16:07	15:22-16:09

Tabel C.6. Tidsrum for trafiksammenbrud med resulterende trængsel ved TSA 24.

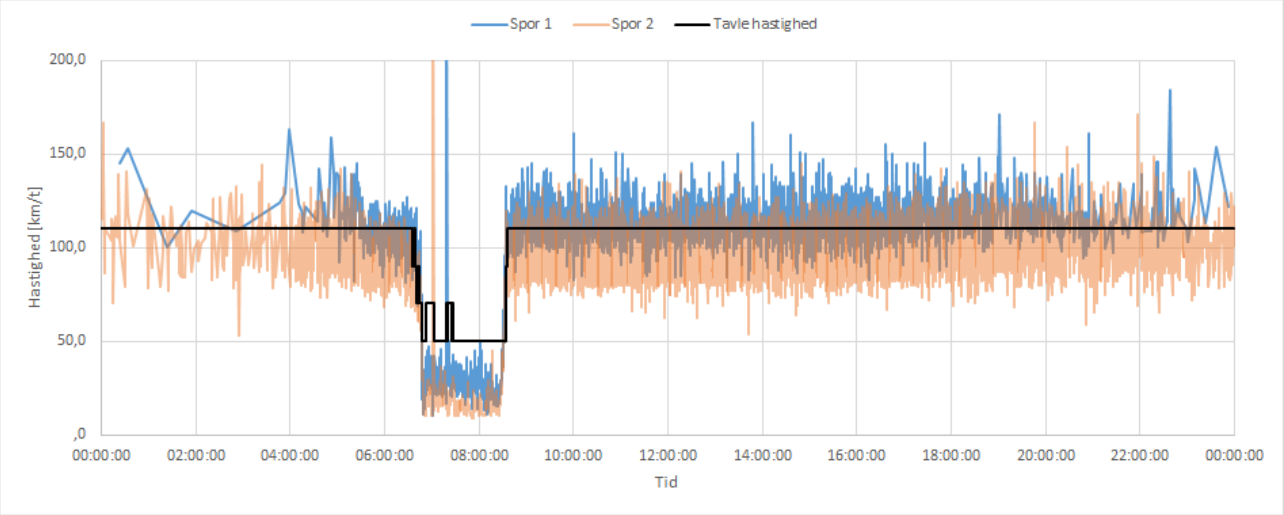
TSA 24	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 1 (v≤63,8)**	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 2 (v≤63,3)**
03/09	15:19-16:41	15:18-16:45
04/09	15:15-16:47	15:15-16:48
05/09	15:15-16:30	15:15-16:34
06/09	15:13-16:46	15:13-16:47
07/09	14:30-16:13	14:16-16:15
10/09	15:17-16:29	15:17-16:31
11/09	15:15-16:31	15:11-16:34
12/09	15:16-16:29	15:15-16:33
13/09	15:15-16:36	15:14-16:38
14/09	13:56-15:57	13:52-16:22
17/09	15:13-16:25	15:13-16:27
18/09	15:19-16:31	15:19-16:32
19/09	15:21-16:06	15:21-16:06
20/09	15:27-16:07	15:25-16:09
21/09	Intet sammenbrud	Intet sammenbrud
24/09	15:15-16:45	15:15-16:46
25/09	15:20-16:12	15:19-16:12
26/09	15:22-15:55	15:23-15:56
27/09	13:30-13:45 15:19-15:49	13:29-13:45 15:19-15:50
28/09	14:49-14:59 15:15-15:54	14:49-15:00 15:14-15:55

Tabel C.7. Tidsrum for trafiksammenbrud med resulterende trængsel ved Limfjordstunnelen i nordgående retning.

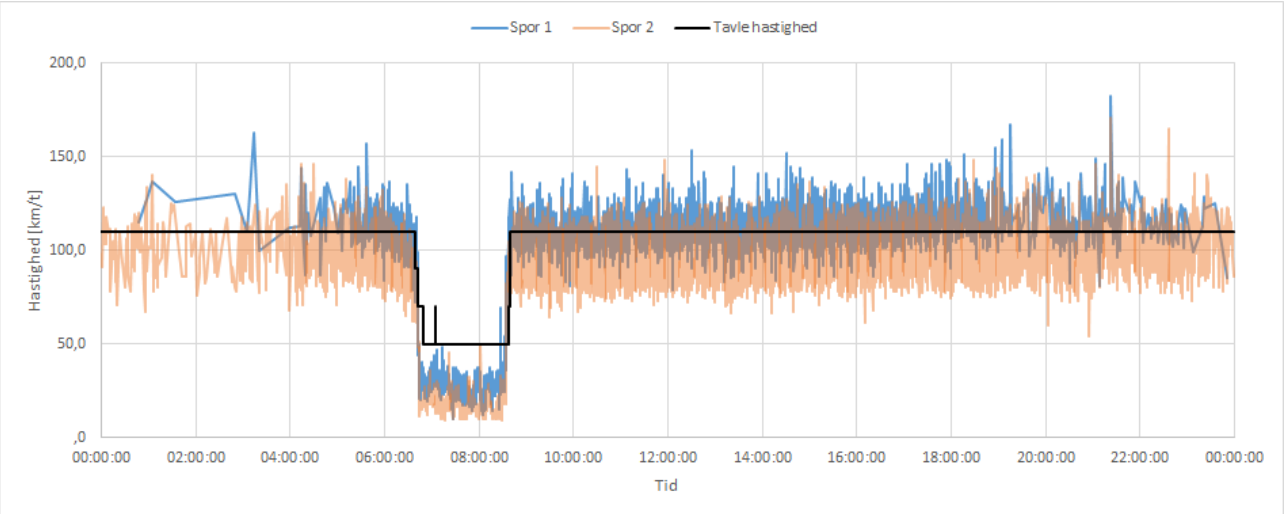
Limfjordstunnel	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 1 (v≤54,1)**	**Tidsrum for trafiksammenbrud Spor 2 (v≤58,4)**
03/09	15:10-16:44	15:12-16:49
04/09	15:18-16:51	15:13-16:51
05/09	15:14-16:30	15:13-16:33
06/09	15:10-16:45	15:09-16:48
07/09	14:32-14:47 15:11-16:00	14:19-14:50 15:08-16:00
10/09	15:14-16:33	15:13-16:34
11/09	15:08-16:33	15:07-16:36
12/09	15:07-16:35	15:09-16:37
13/09	15:12-16:24	15:12-16:31
14/09	13:26-15:49	13:26-15:58
17/09	11:25-12:01 15:12-16:36	11:16-12:01 15:12-16:36
18/09	15:11-16:36	15:12-16:37
19/09	15:14-16:08	15:14-16:11
20/09	15:20-16:09	15:20-16:11
21/09	14:50-14:57	14:49-14:57
24/09	10:10-11:00 15:07-16:08	10:10-11:01 15:07-16:10
25/09	15:15-16:15	15:12-16:16
26/09	15:15-16:02	15:25-16:04
27/09	13:25-13:42 15:15-15:28	15:14-15:38
28/09	14:42-16:00	14:41-16:01

Hastigheder over døgnet D

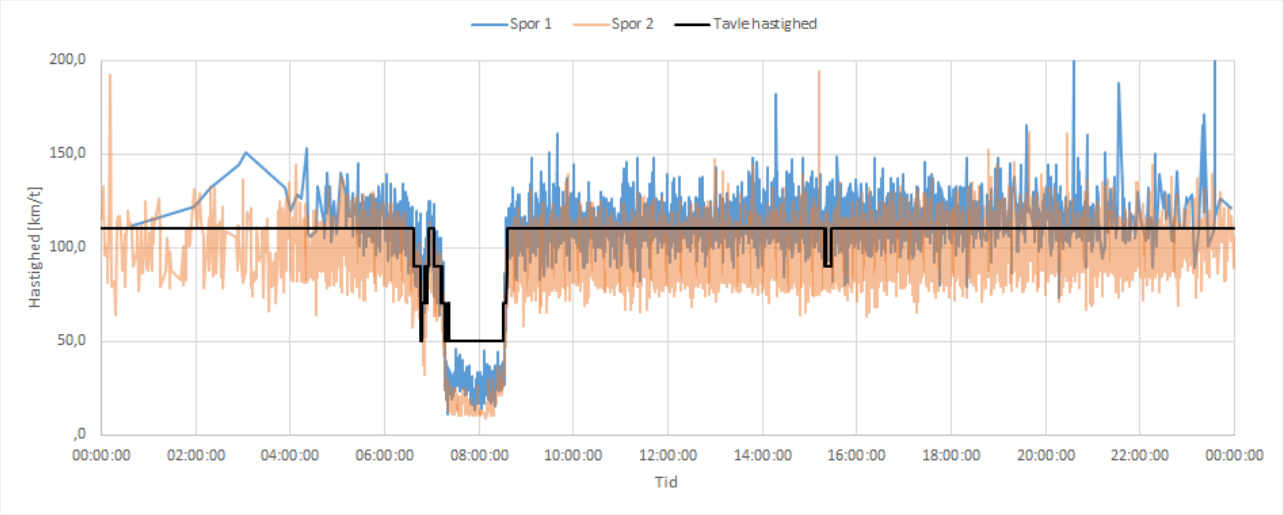
Grafer for M90



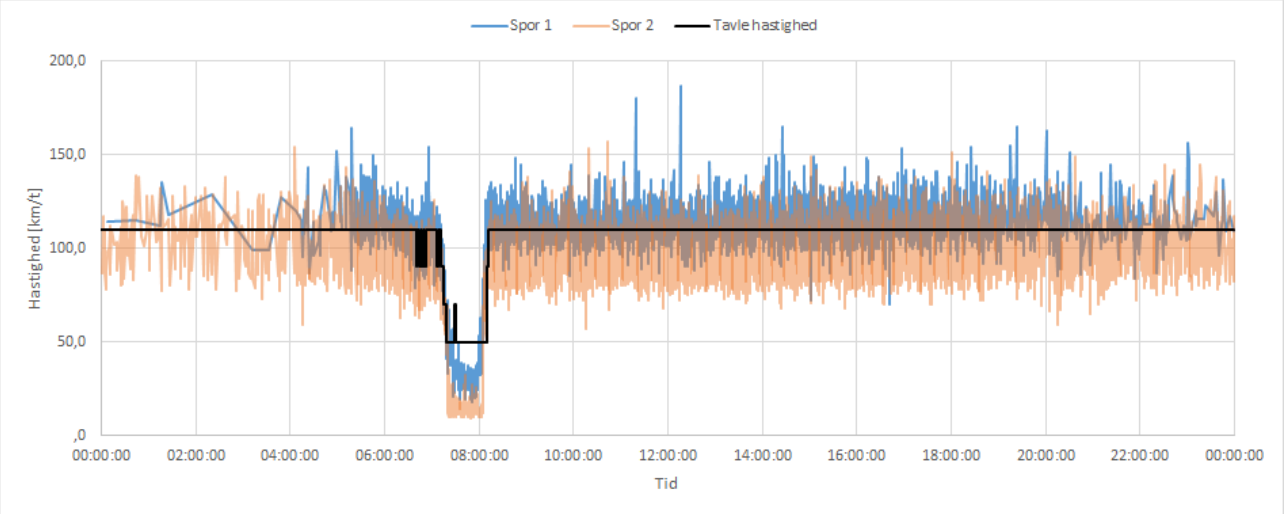
Figur D.1. Den sydgående trafik ved M90 mandag d. 10.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



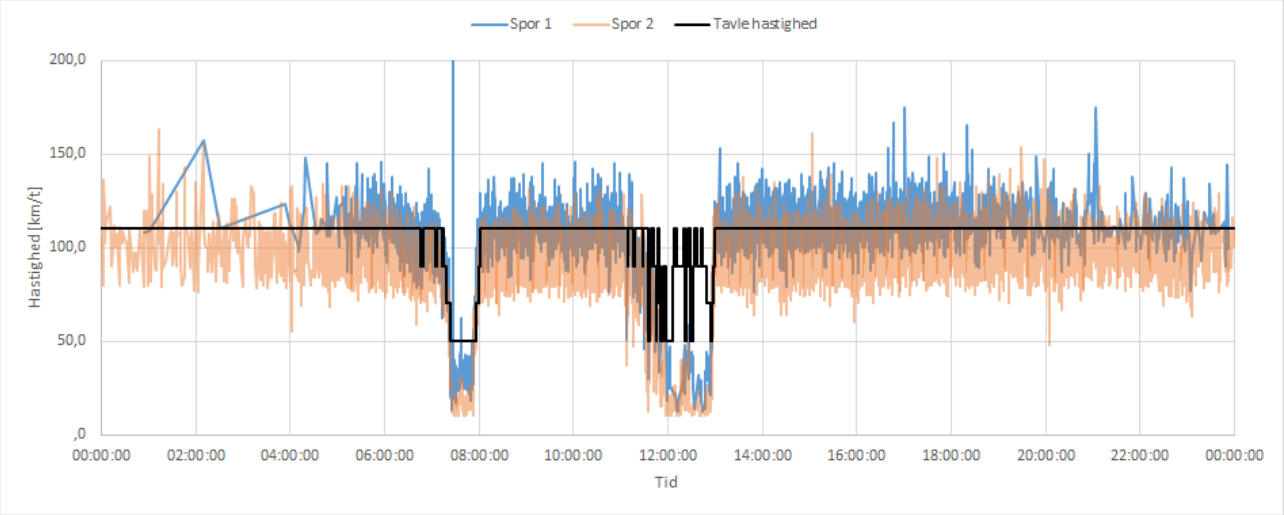
Figur D.2. Den sydgående trafik ved M90 tirsdag d. 11.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur D.3. Den sydgående trafik ved M90 onsdag d. 12.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

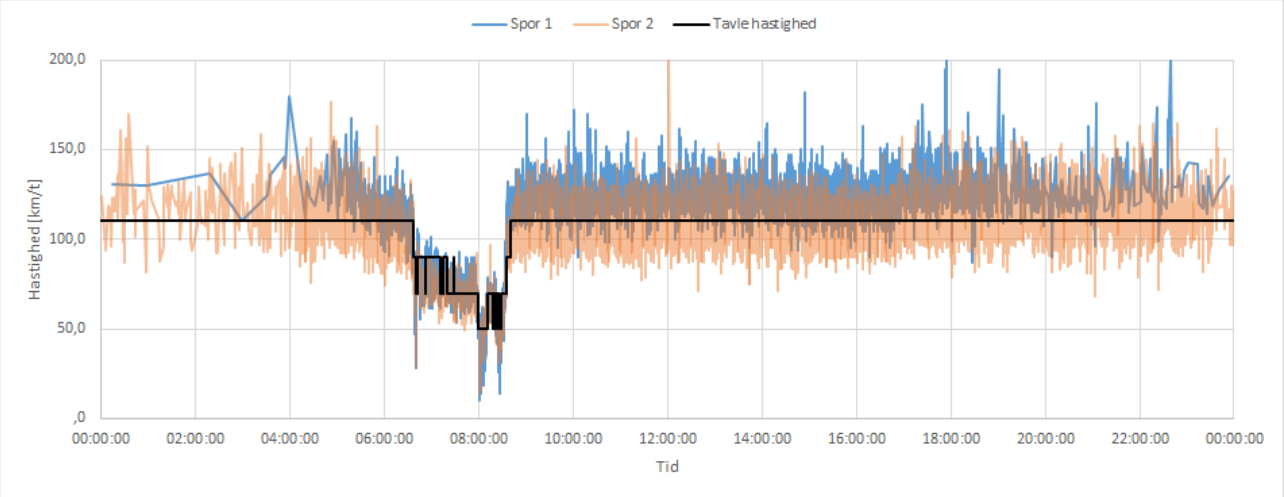


Figur D.4. Den sydgående trafik ved M90 torsdag d. 13.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

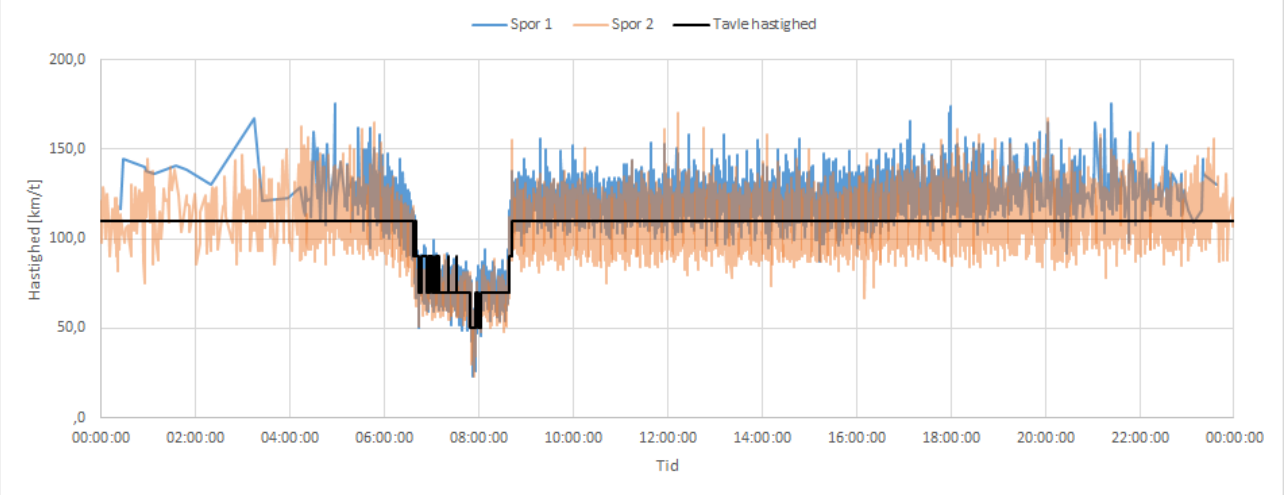


Figur D.5. Den sydgående trafik ved M90 fredag d. 14.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

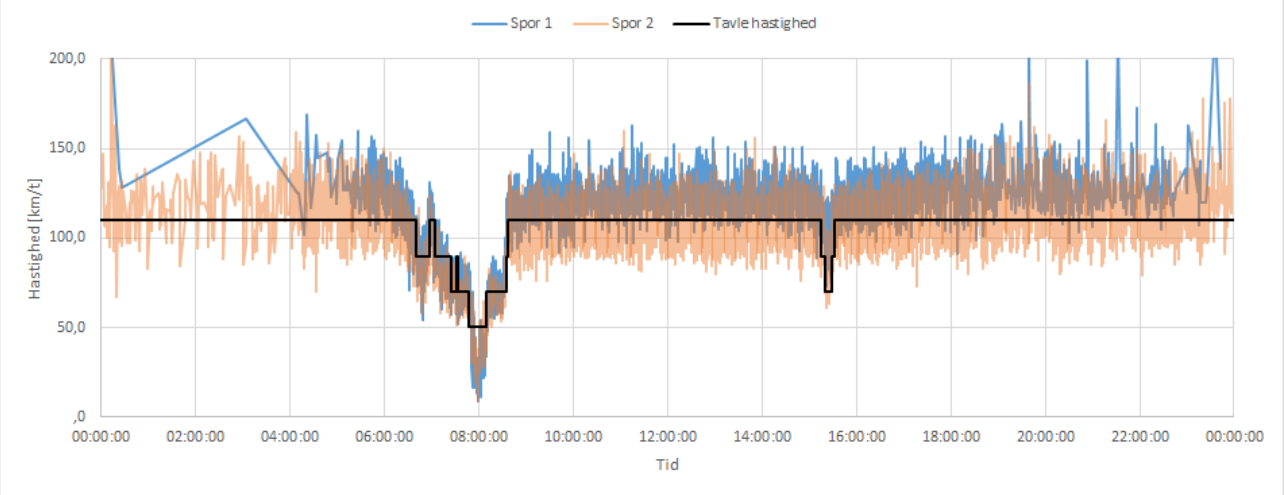
Grafer for TSA 21



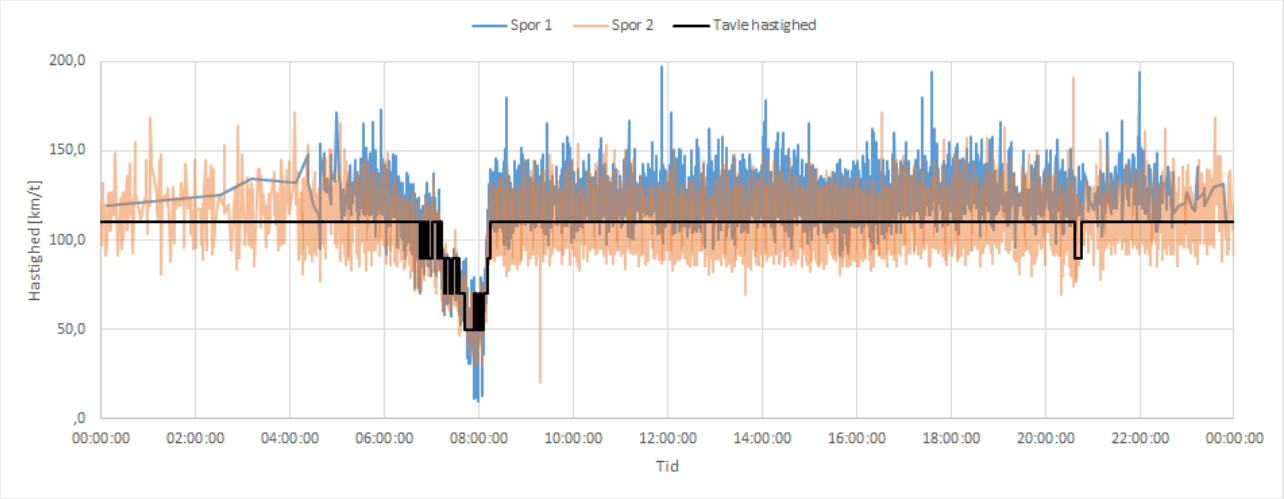
Figur D.6. Den sydgående trafik ved TSA 21 mandag d. 10.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



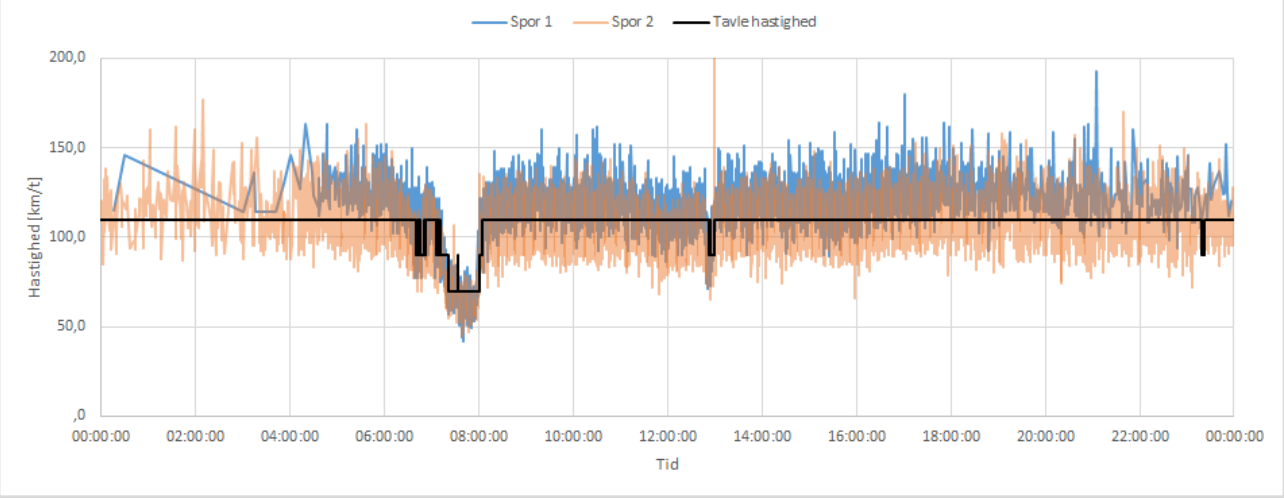
Figur D.7. Den sydgående trafik ved TSA 21 tirsdag d. 11.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur D.8. Den sydgående trafik ved TSA 21 onsdag d. 12.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

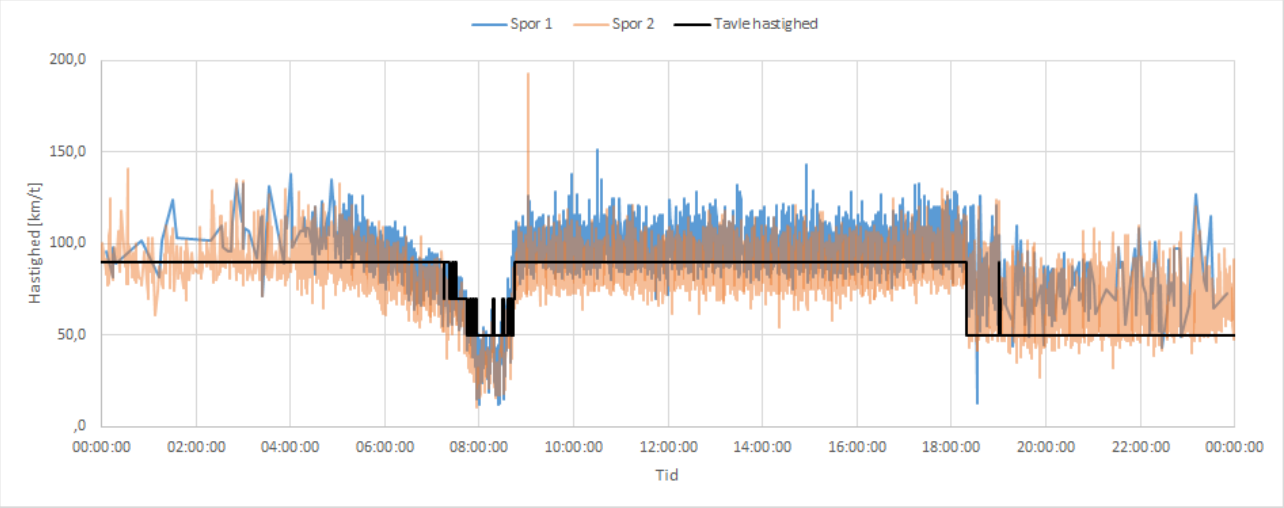


Figur D.9. Den sydgående trafik ved TSA 21 torsdag d. 13.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

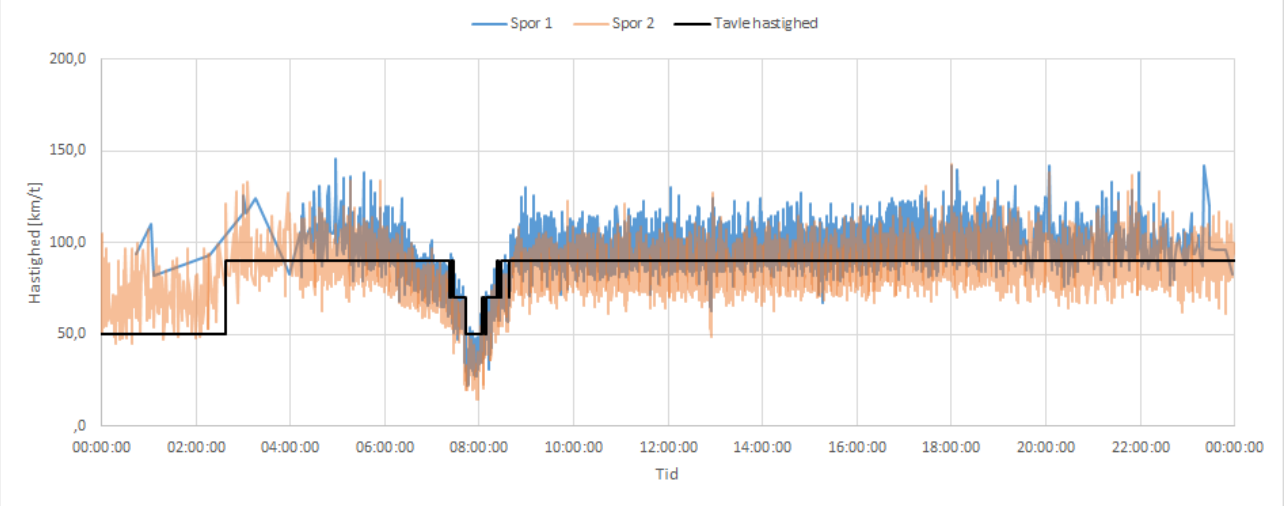


Figur D.10. Den sydgående trafik ved TSA 21 fredag d. 14.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

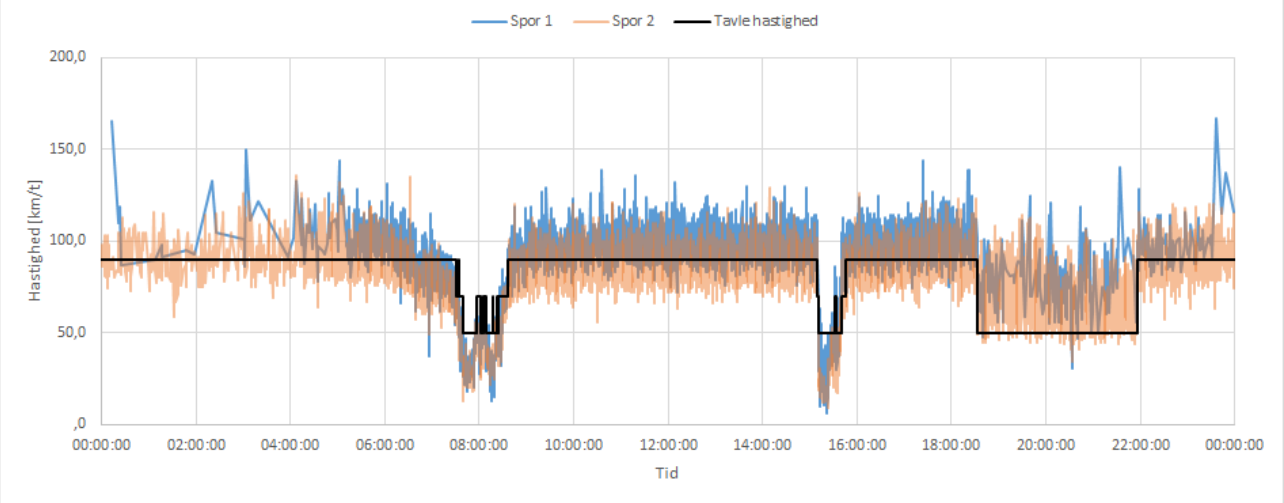
Grafer for TSA 22



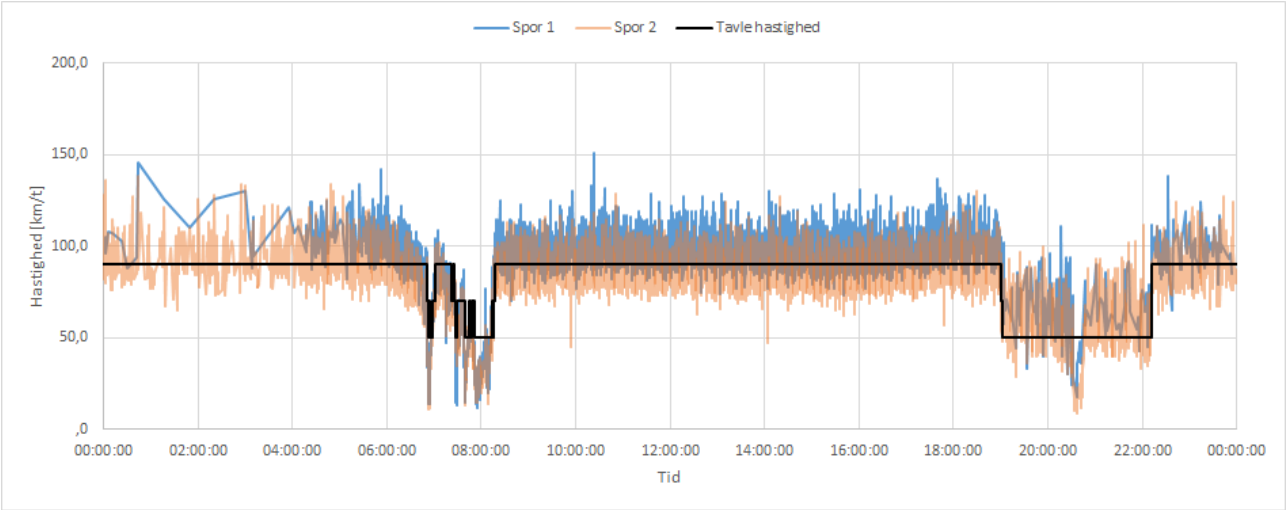
Figur D.11. Den sydgående trafik ved TSA 22 mandag d. 10.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



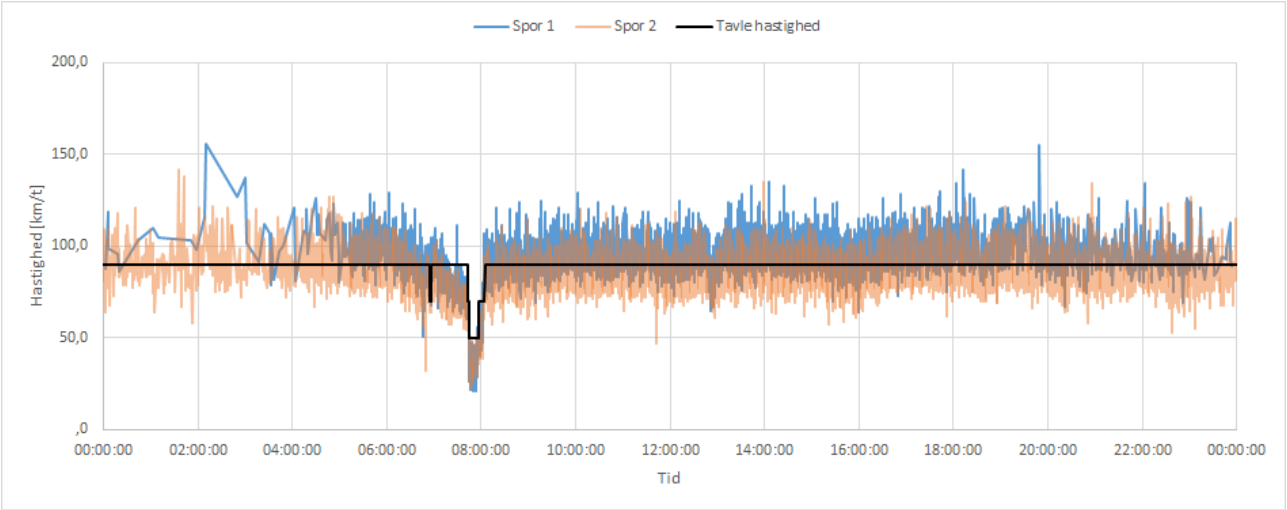
Figur D.12. Den sydgående trafik ved TSA 22 tirsdag d. 11.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur D.13. Den sydgående trafik ved TSA 22 onsdag d. 12.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

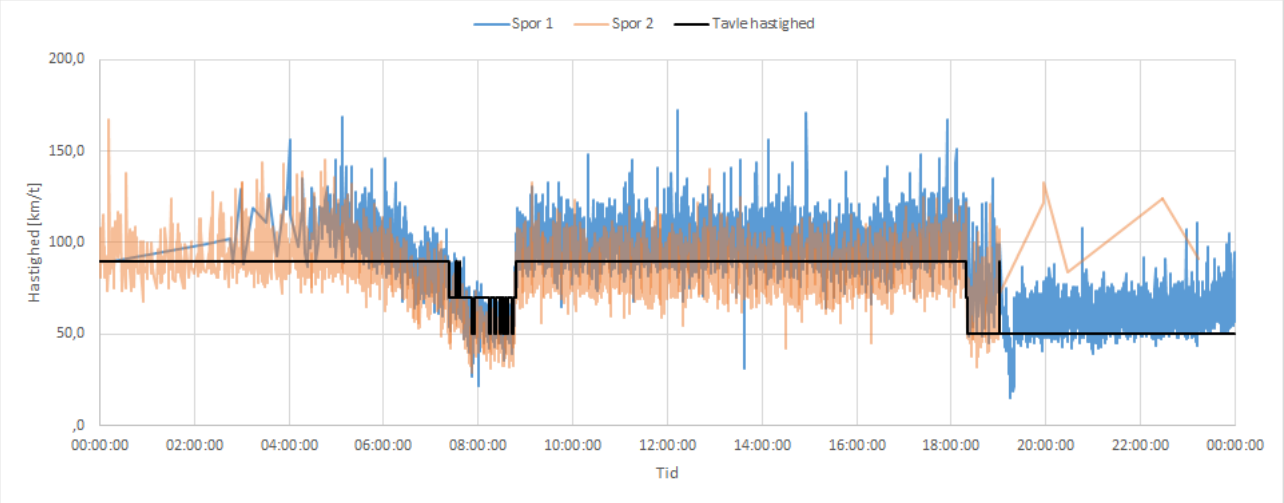


Figur D.14. Den sydgående trafik ved TSA 22 torsdag d. 13.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

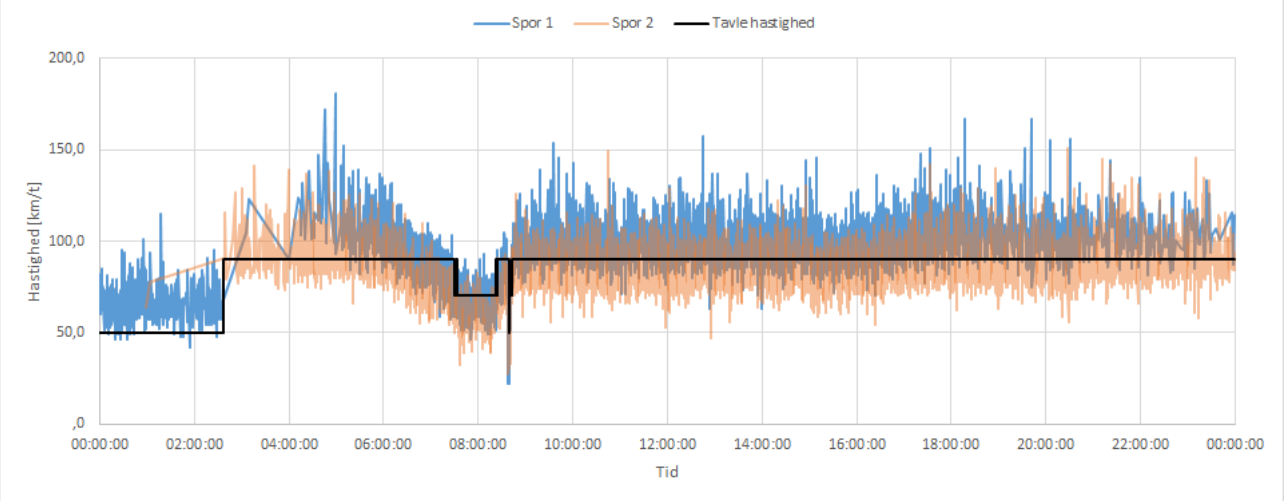


Figur D.15. Den sydgående trafik ved TSA 22 fredag d. 14.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

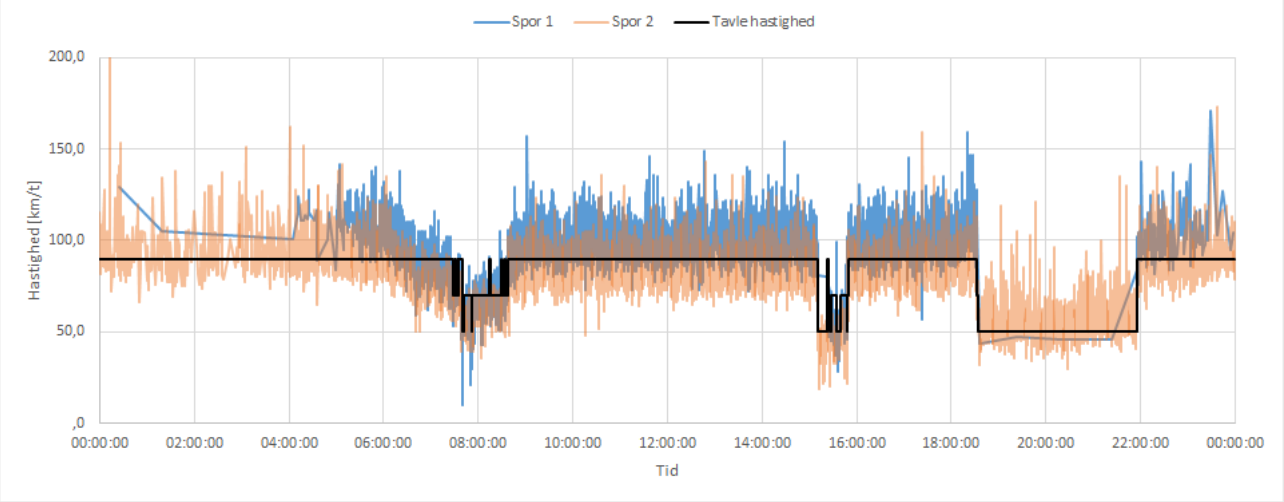
Grafer for Limfjordstunnelen, sydgående



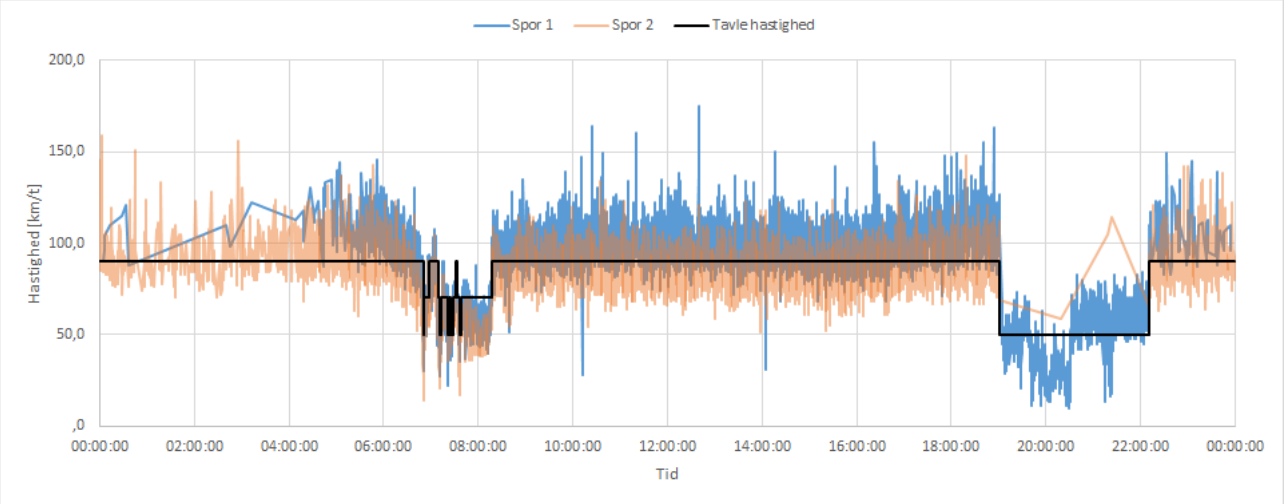
Figur D.16. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen mandag d. 10.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



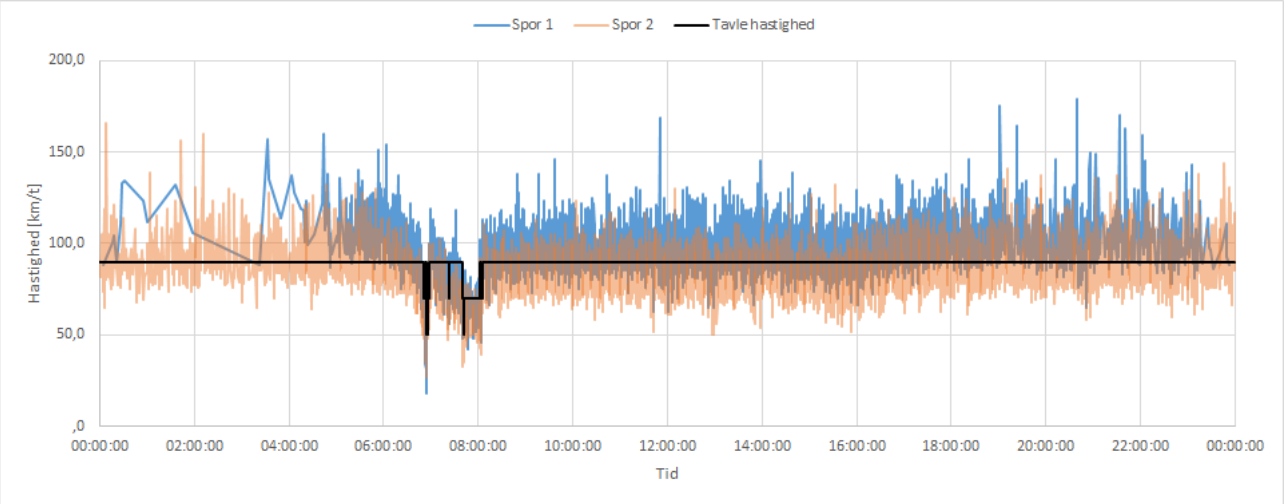
Figur D.17. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen tirsdag d. 11.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur D.18. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen onsdag d. 12.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

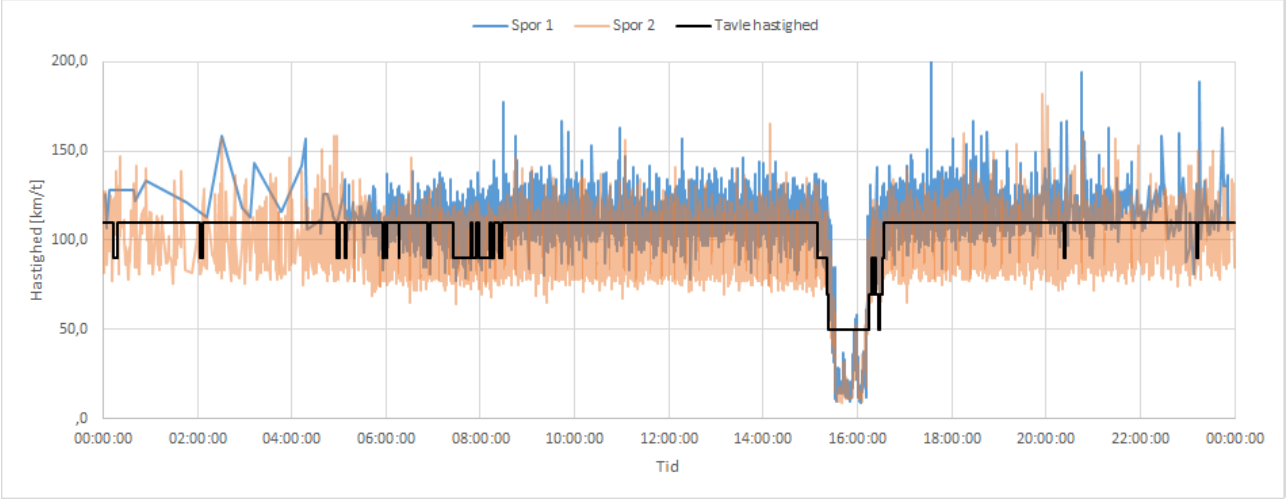


Figur D.19. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen torsdag d. 13.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

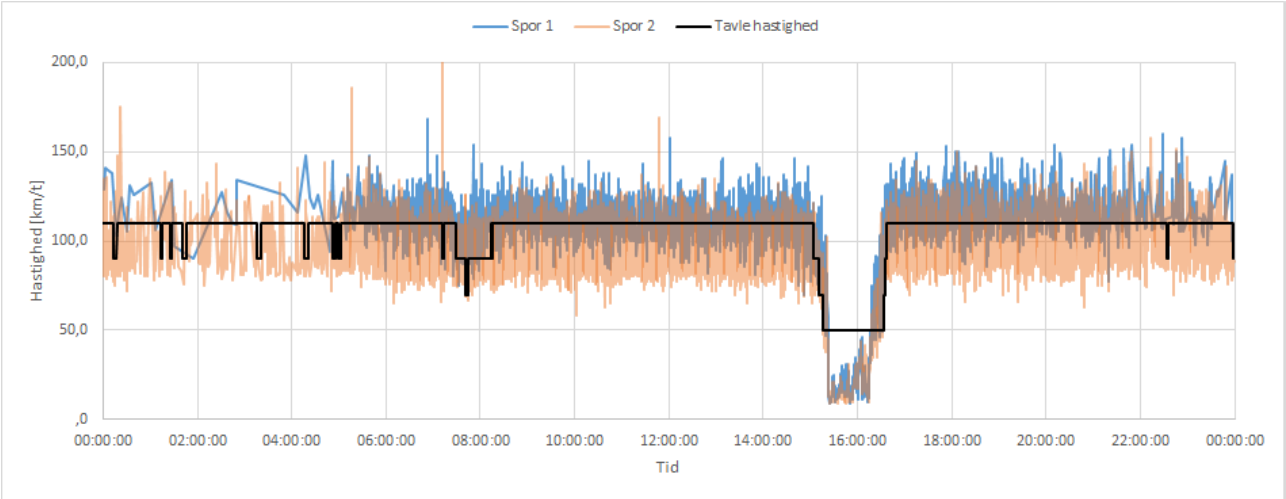


Figur D.20. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen fredag d. 14.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

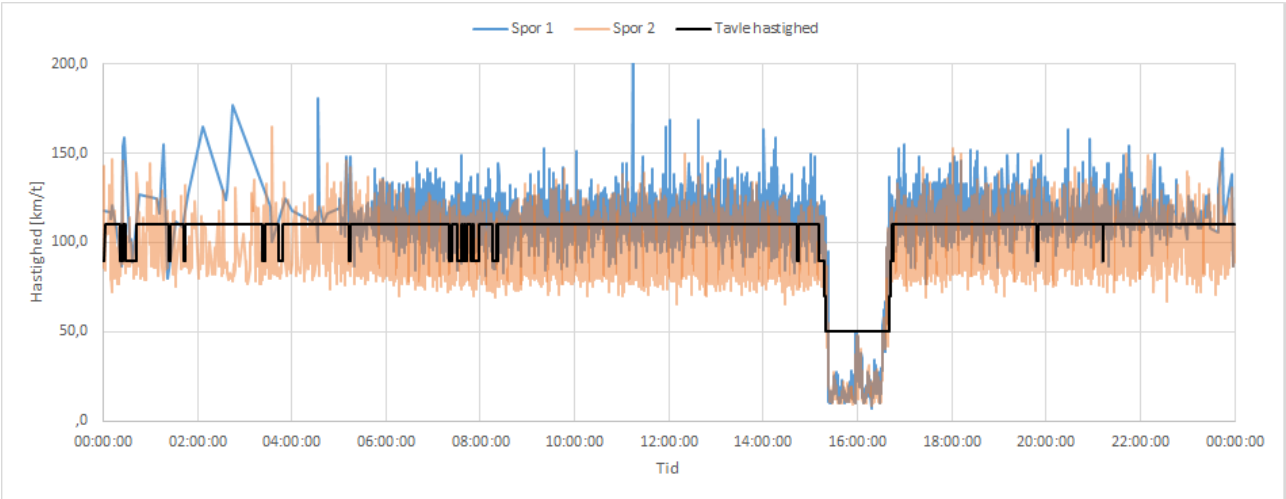
Grafer for TSA 25



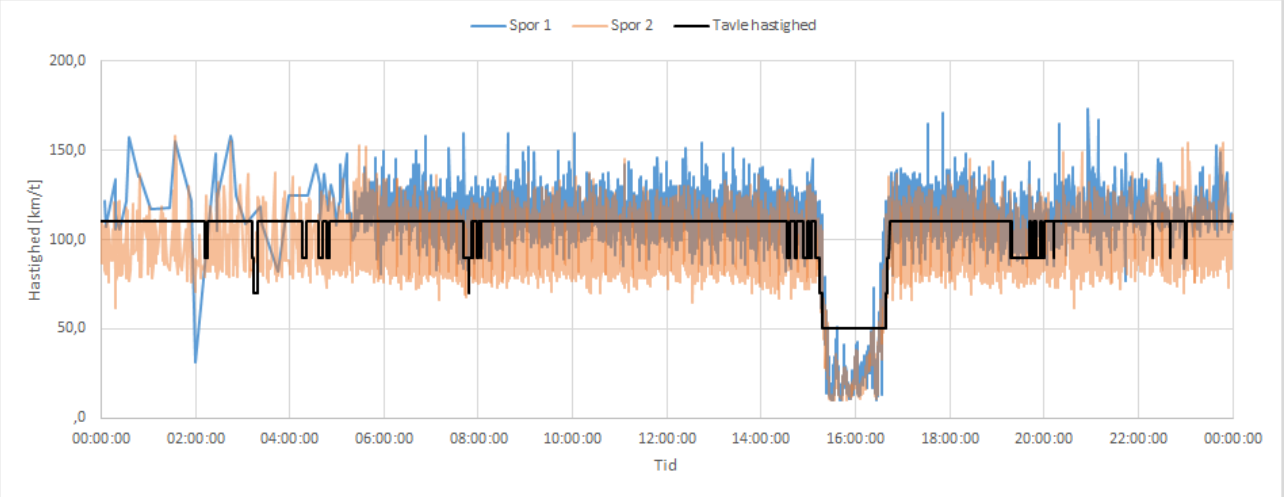
Figur D.21. Den nordgående trafik ved TSA 25 mandag d. 10.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



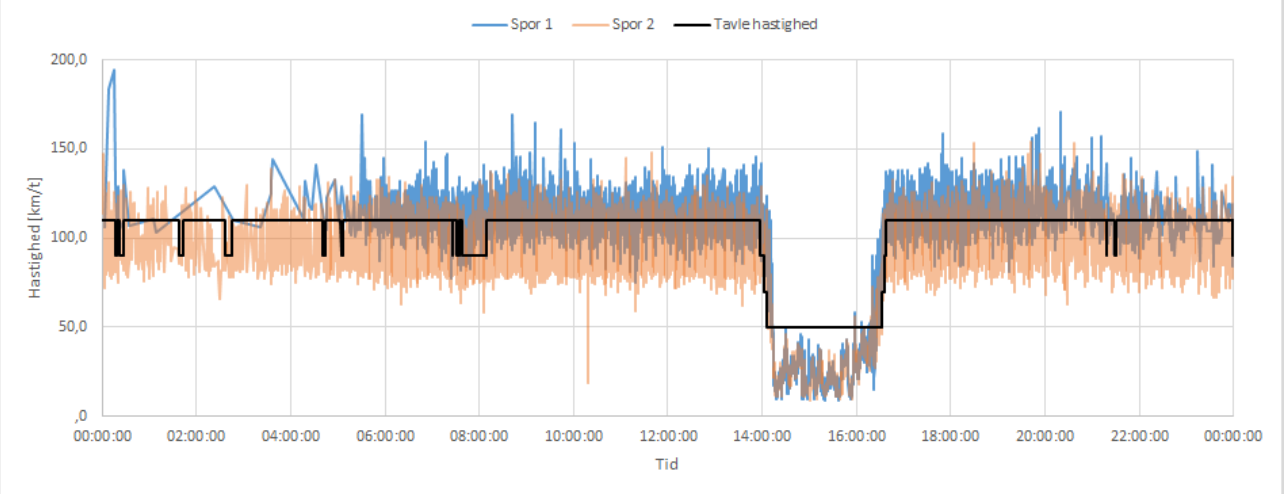
Figur D.22. Den nordgående trafik ved TSA 25 tirsdag d. 11.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur D.23. Den nordgående trafik ved TSA 25 onsdag d. 12.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

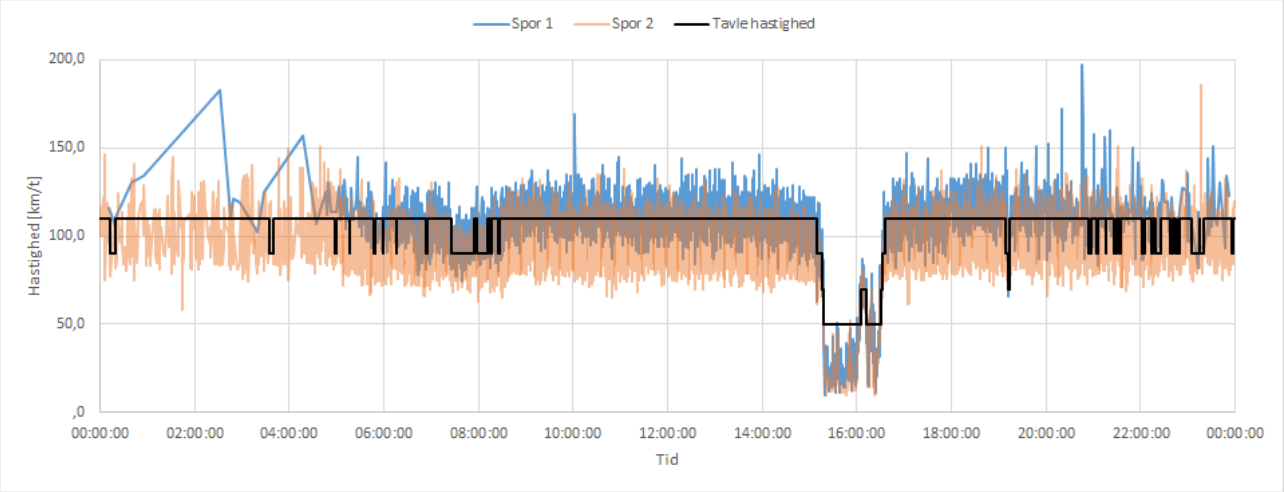


Figur D.24. Den nordgående trafik ved TSA 25 torsdag d. 13.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

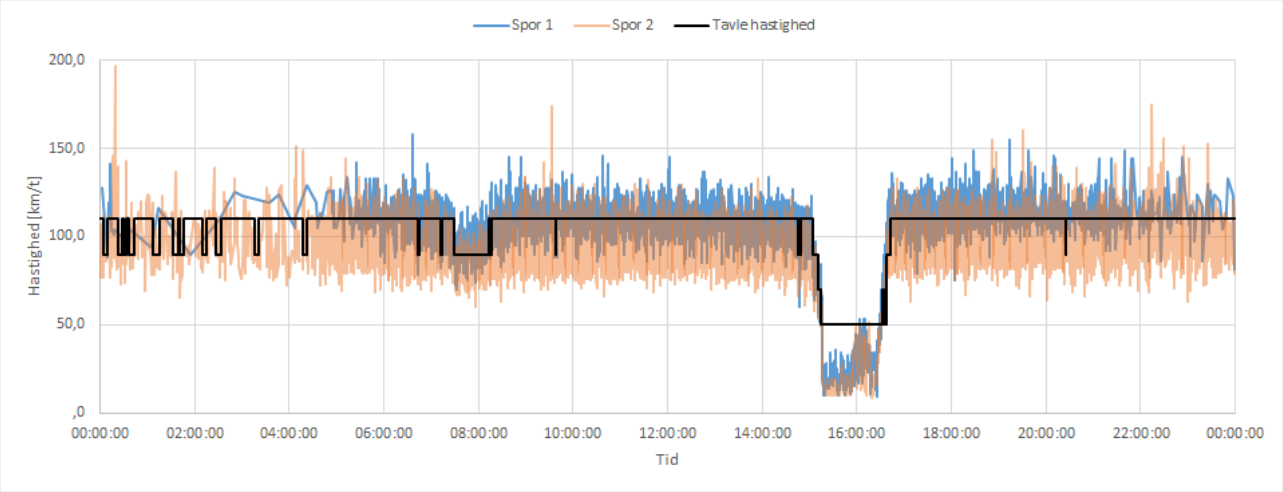


Figur D.25. Den nordgående trafik ved TSA 25 fredag d. 14.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

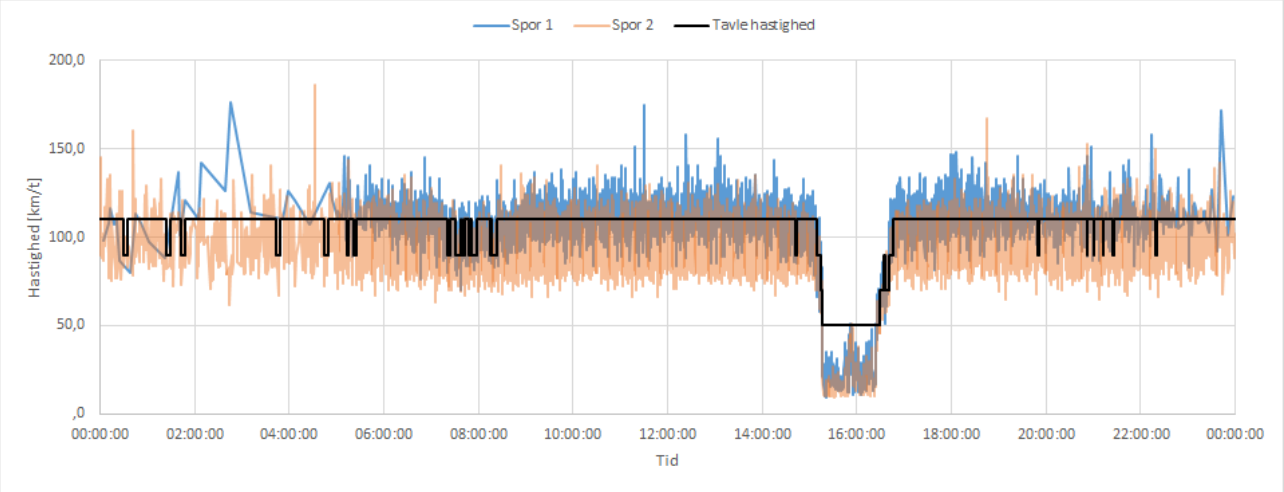
Grafer for TSA 24



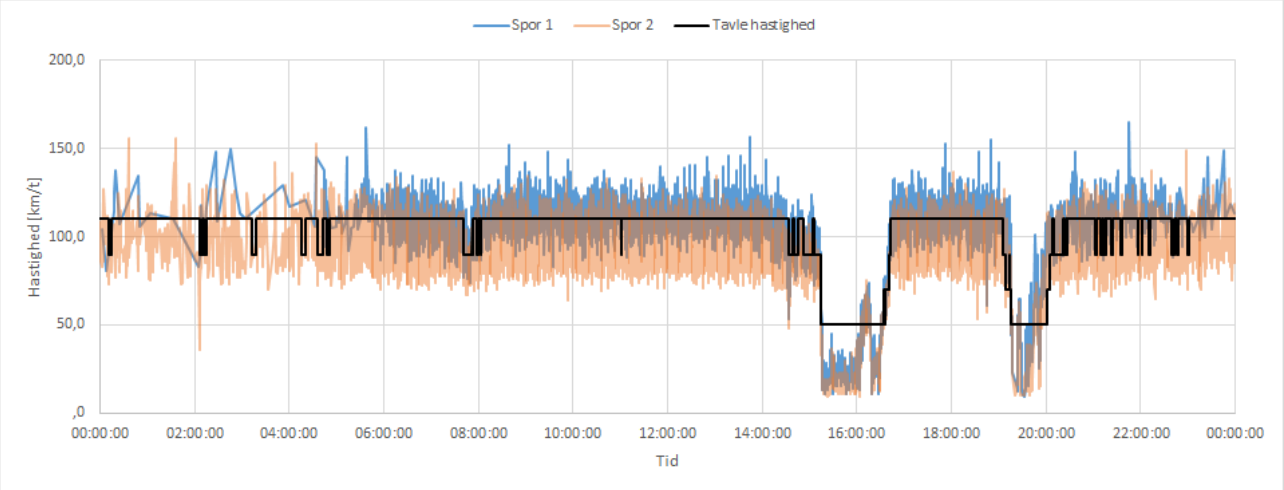
Figur D.26. Den nordgående trafik ved TSA 24 mandag d. 10.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



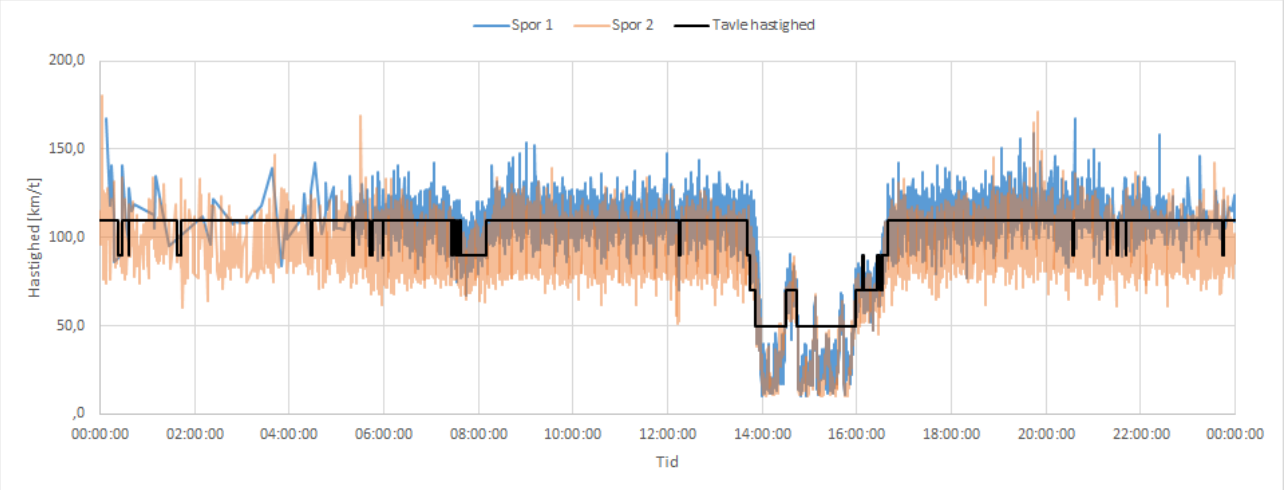
Figur D.27. Den nordgående trafik ved TSA 24 tirsdag d. 11.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur D.28. Den nordgående trafik ved TSA 24 onsdag d. 12.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

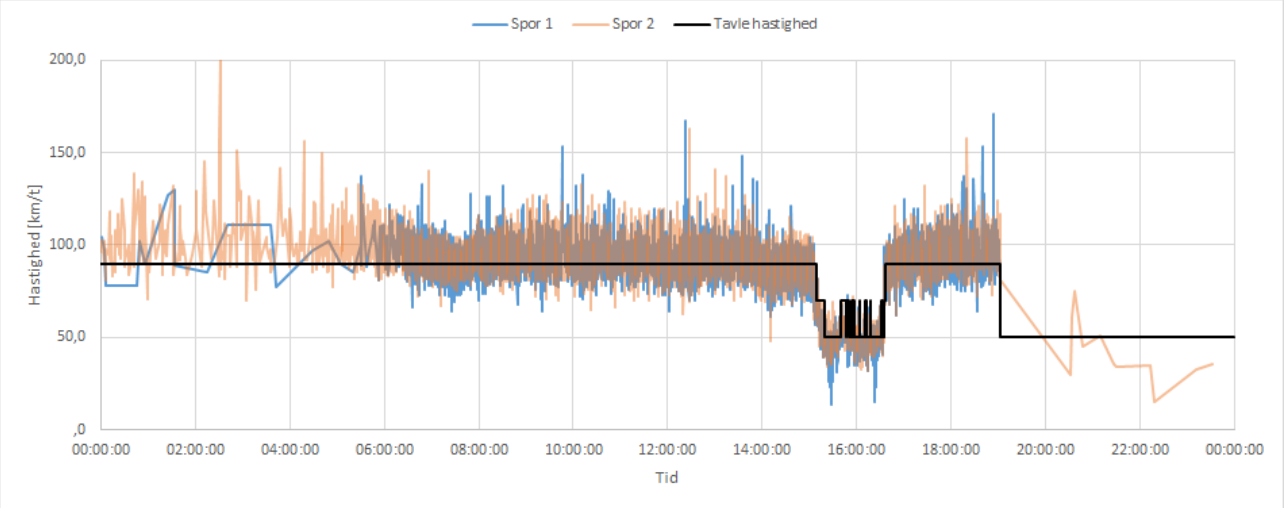


Figur D.29. Den nordgående trafik ved TSA 24 torsdag d. 13.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

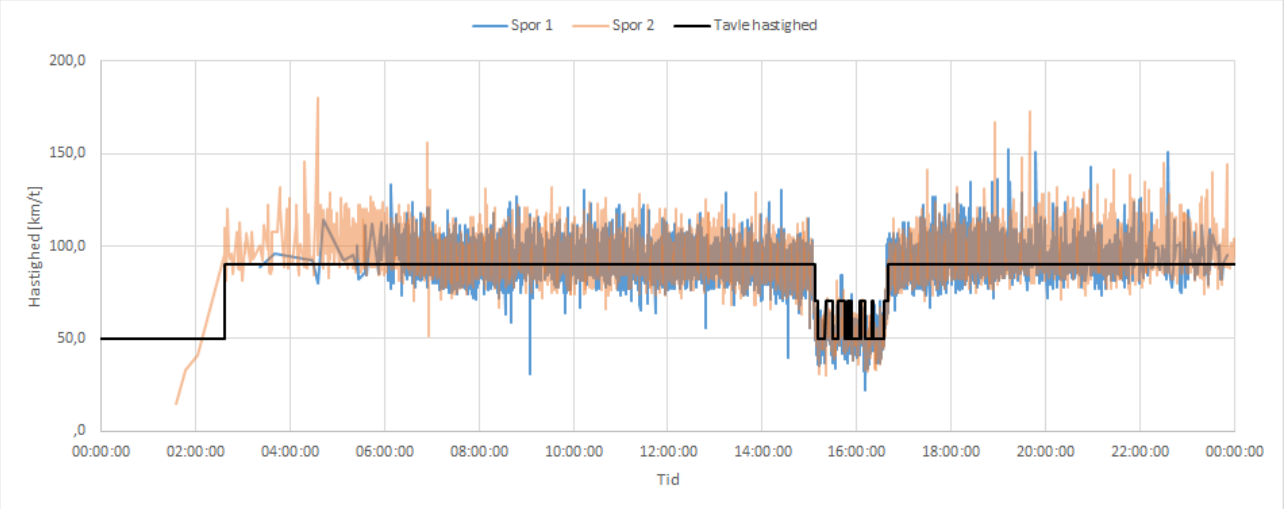


Figur D.30. Den nordgående trafik ved TSA 24 fredag d. 14.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

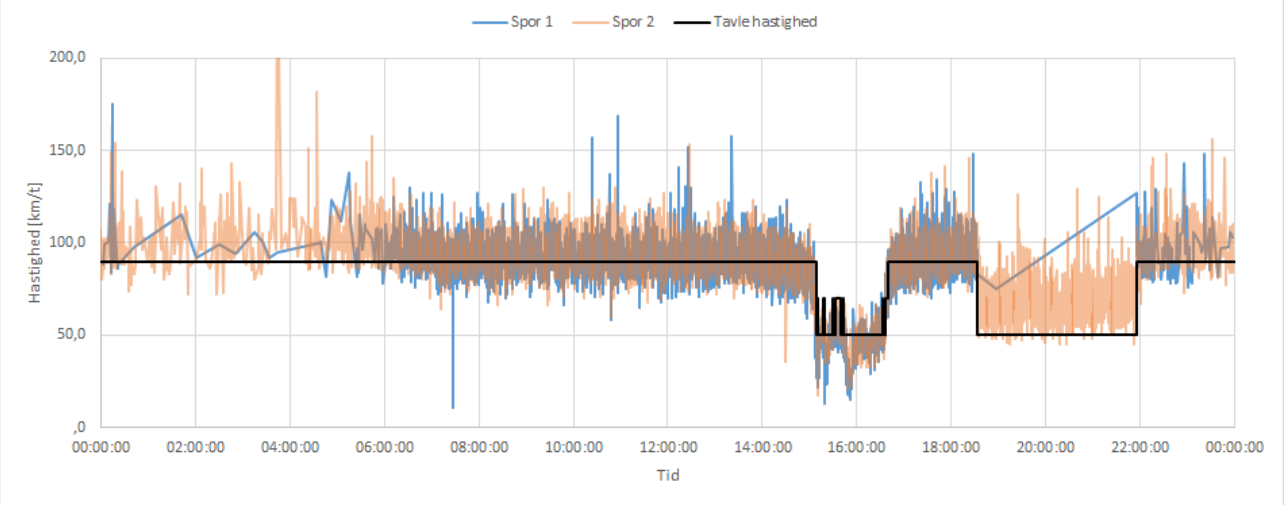
Grafer for Limfjordstunnelen, nordgående



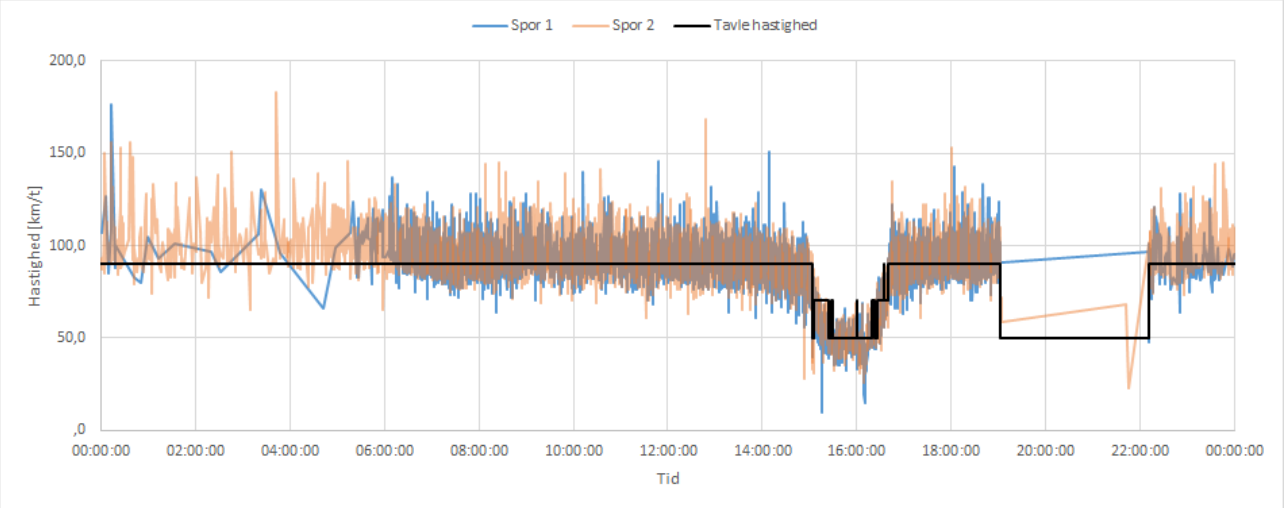
Figur D.31. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen mandag d. 10.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



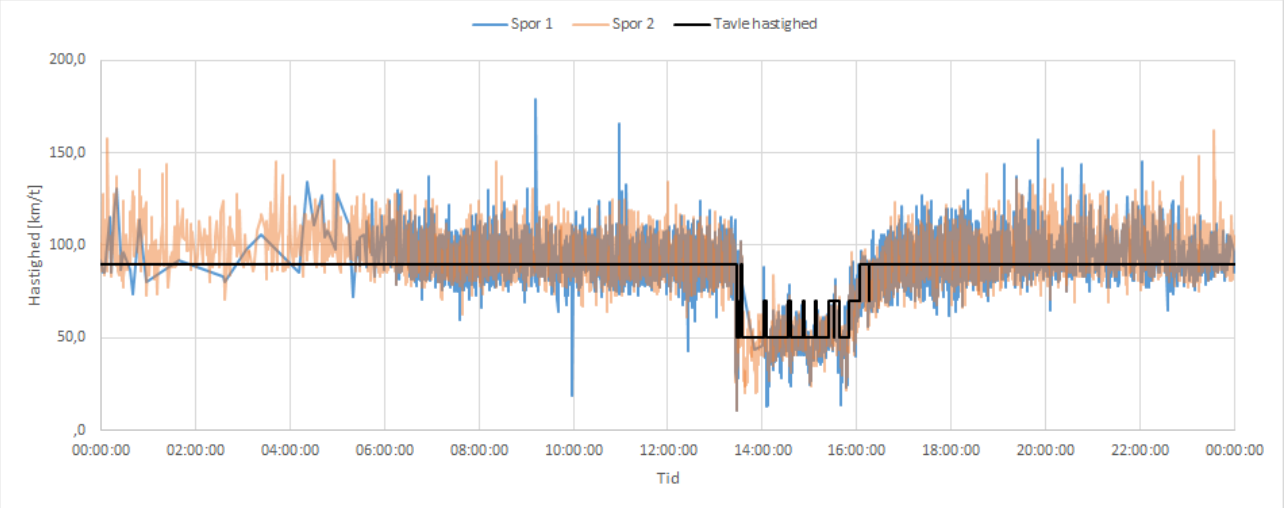
Figur D.32. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen tirsdag d. 11.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur D.33. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen onsdag d. 12.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



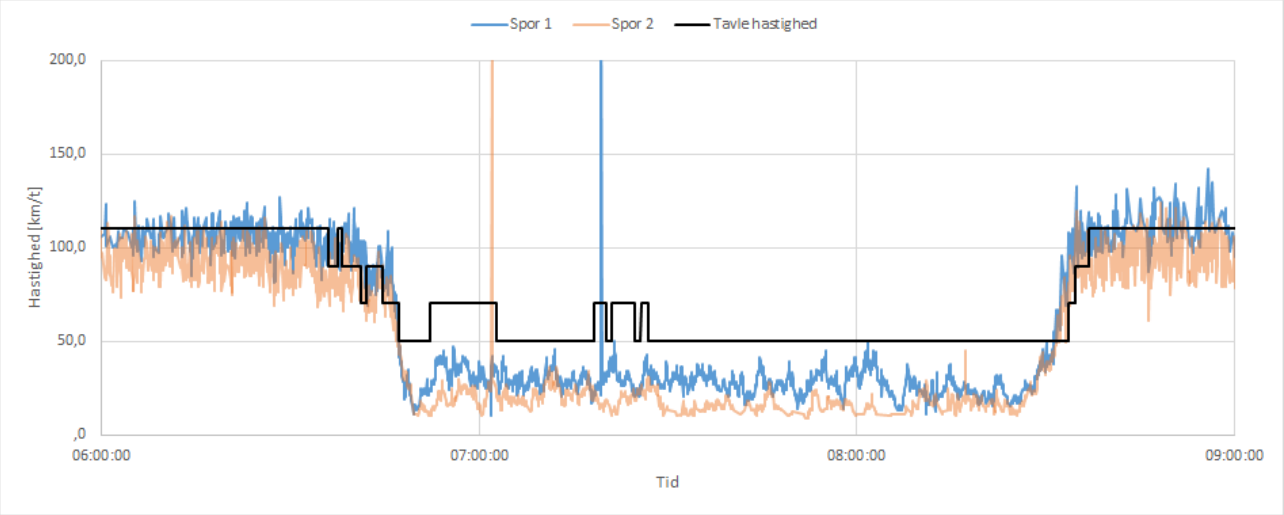
Figur D.34. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen torsdag d. 13.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



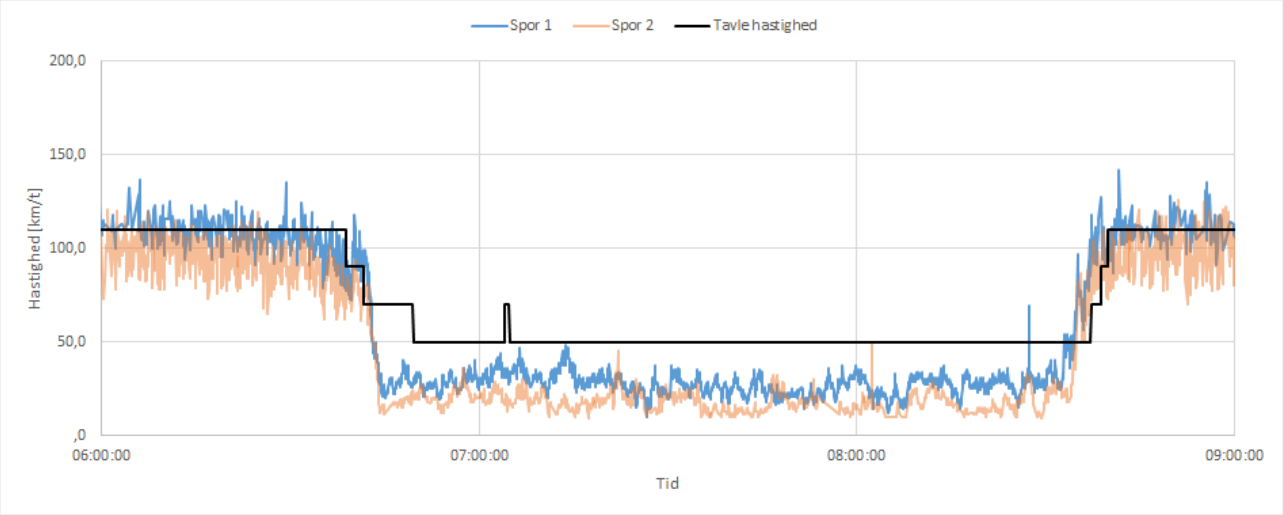
Figur D.35. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen fredag d. 14.09.2018. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

Hastigheder i spidstimerne E

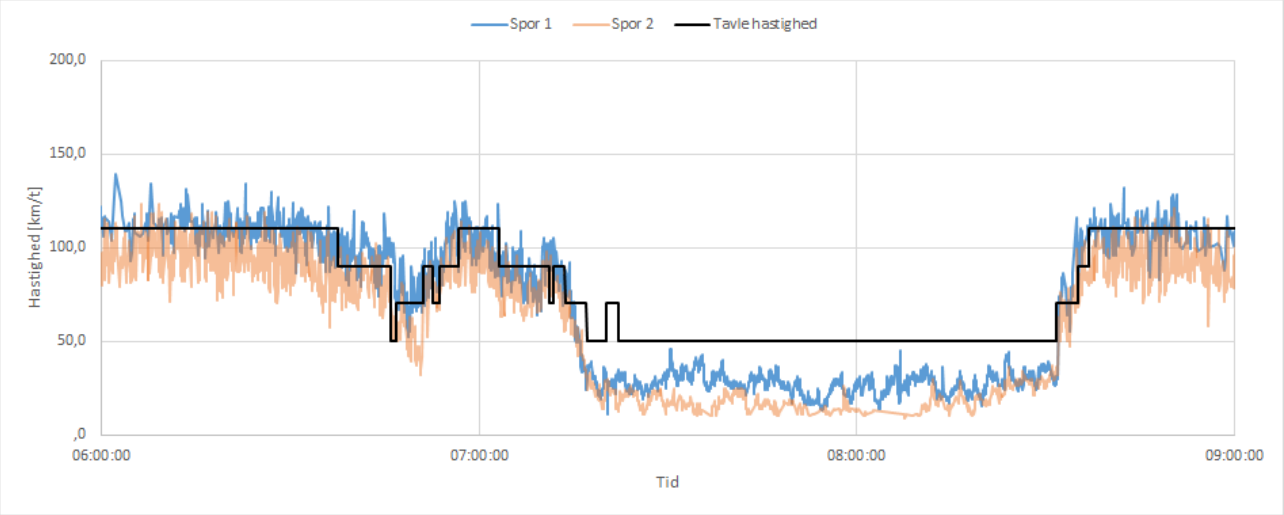
Grafer for M90



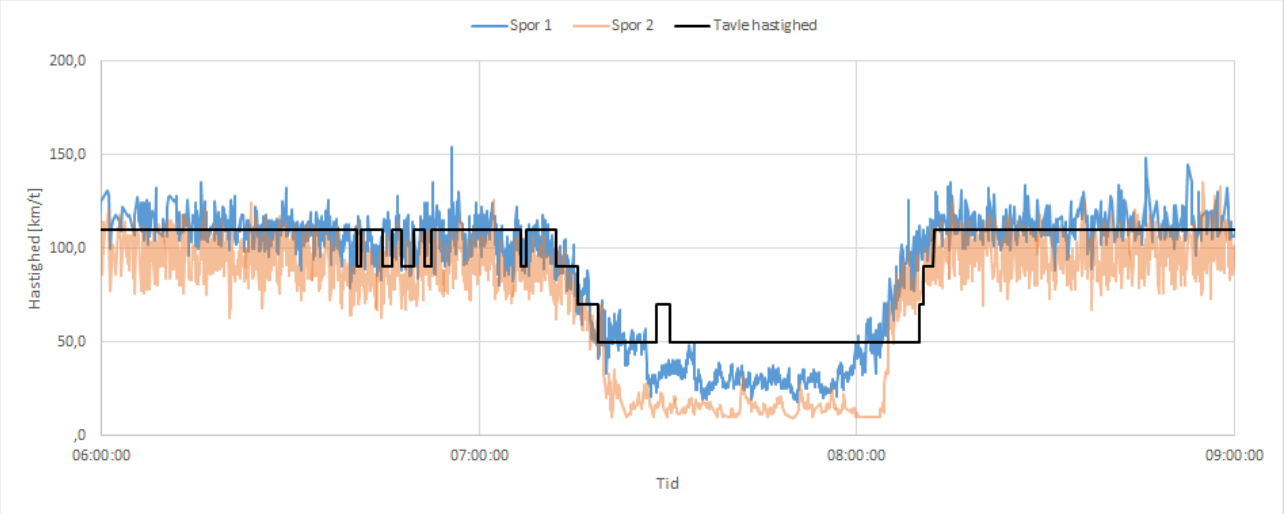
Figur E.1. Den sydgående trafik ved M90 mandag d. 10.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



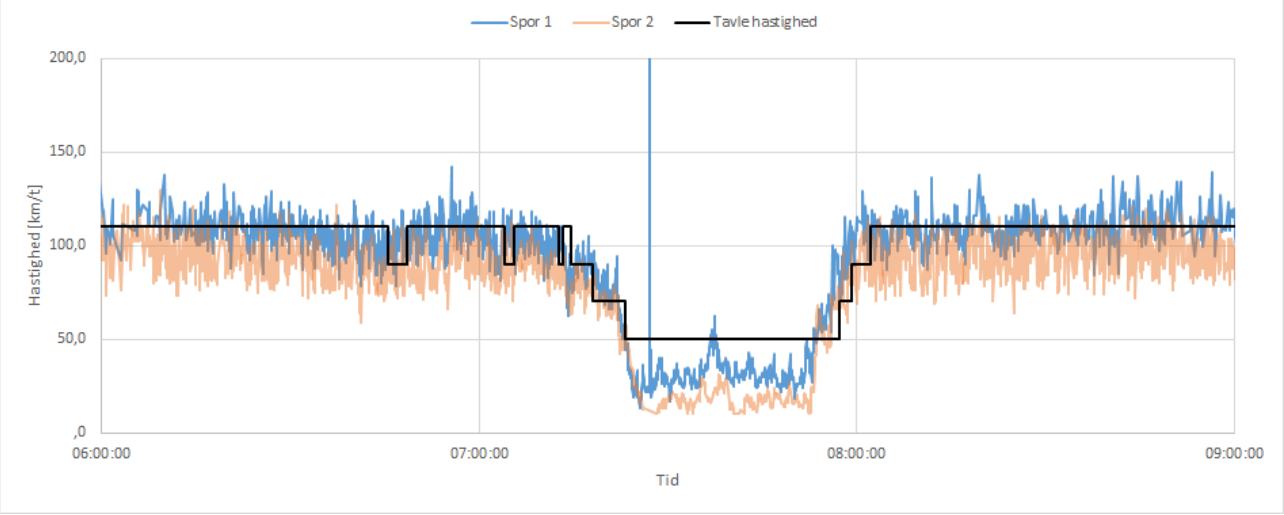
Figur E.2. Den sydgående trafik ved M90 tirsdag d. 11.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur E.3. Den sydgående trafik ved M90 onsdag d. 12.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

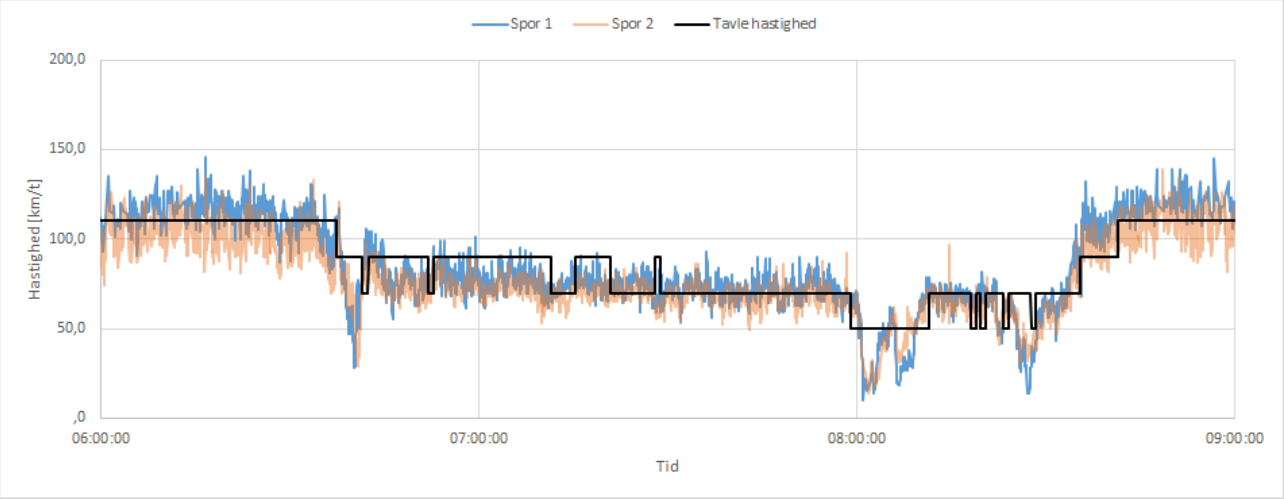


Figur E.4. Den sydgående trafik ved M90 torsdag d. 13.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

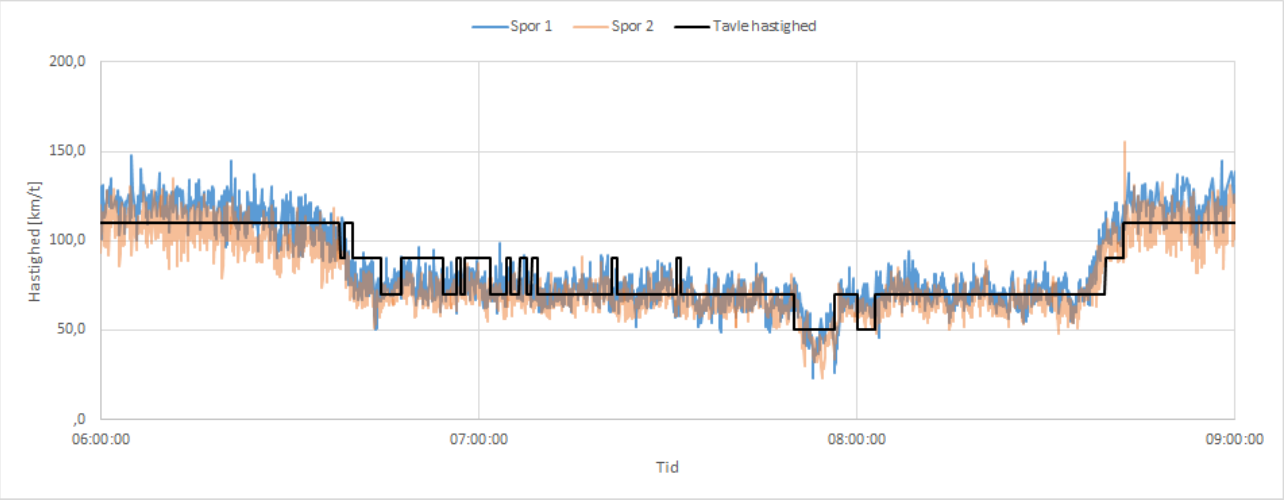


Figur E.5. Den sydgående trafik ved M90 fredag d. 14.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

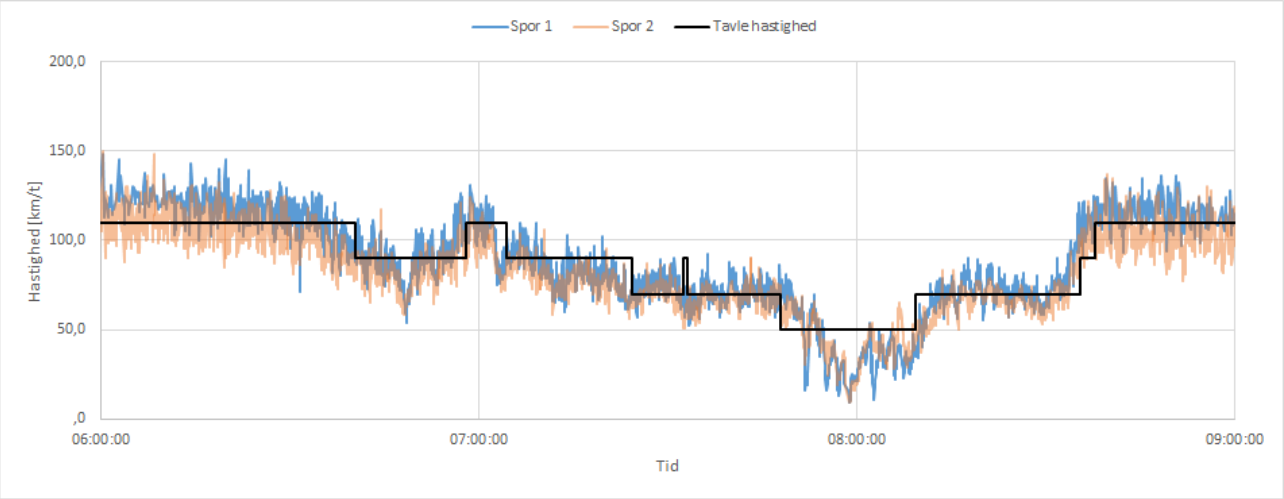
Grafer for TSA 21



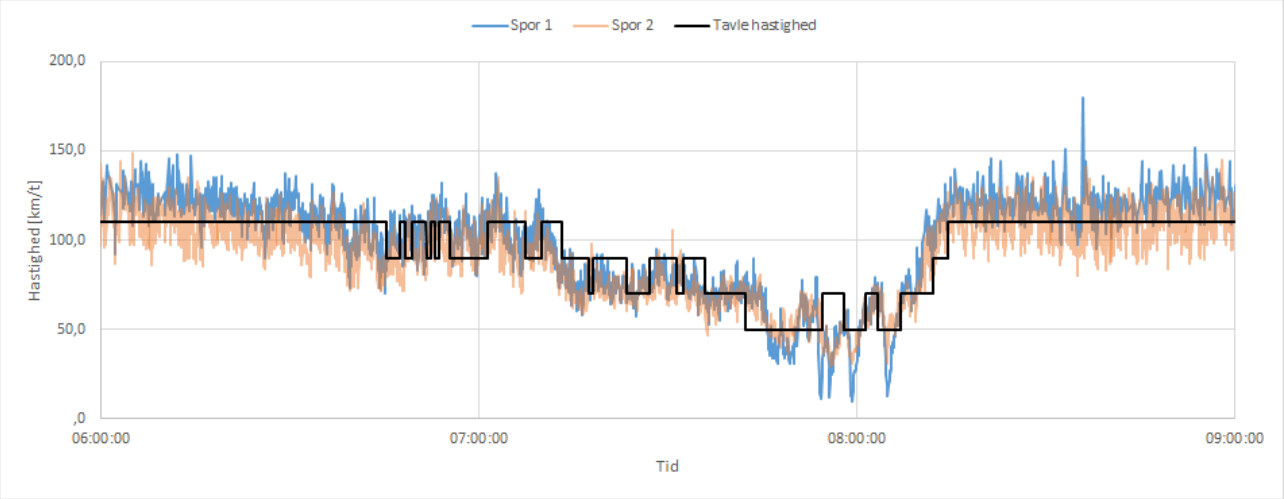
Figur E.6. Den sydgående trafik ved TSA 21 mandag d. 10.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



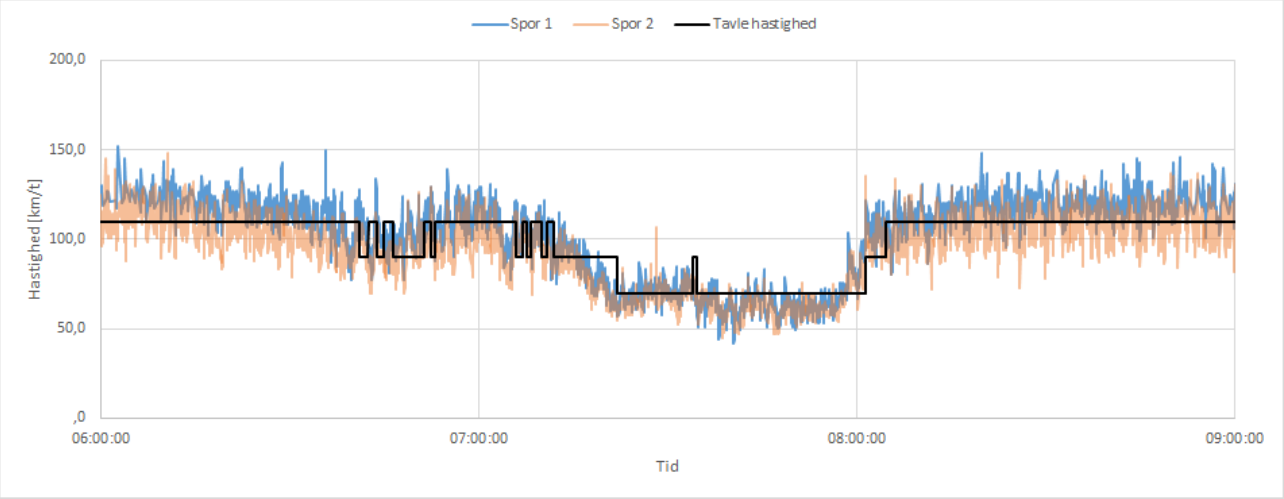
Figur E.7. Den sydgående trafik ved TSA 21 tirsdag d. 11.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur E.8. Den sydgående trafik ved TSA 21 onsdag d. 12.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

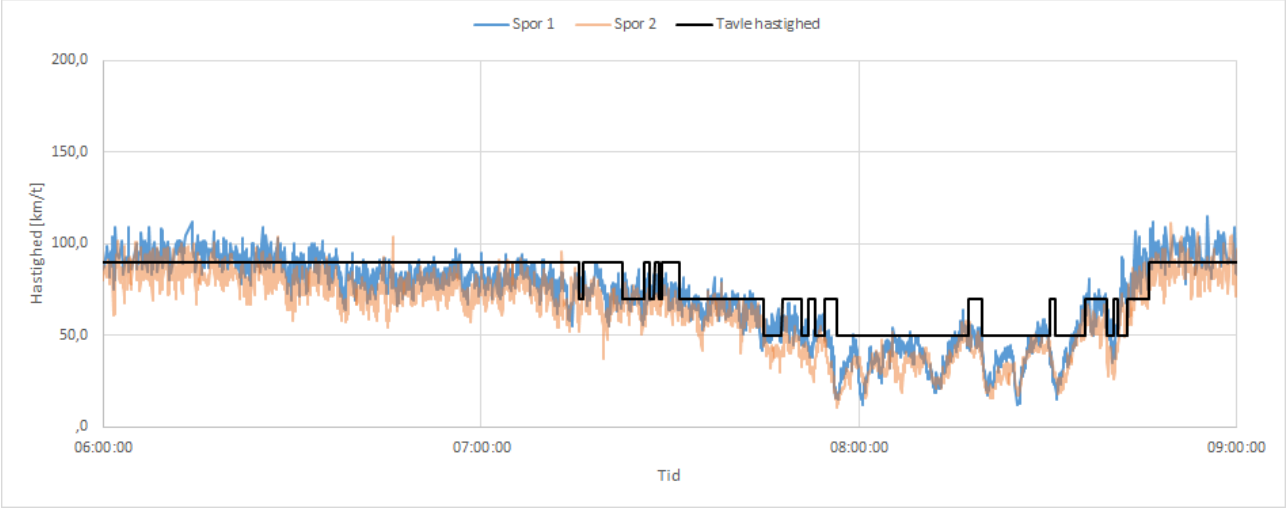


Figur E.9. Den sydgående trafik ved TSA 21 torsdag d. 13.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

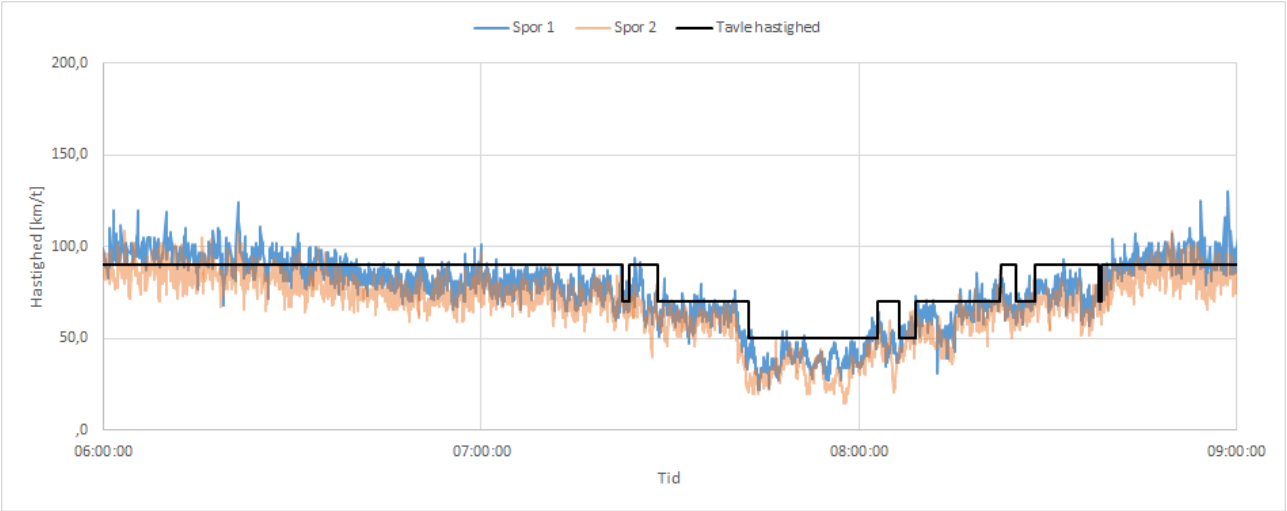


Figur E.10. Den sydgående trafik ved TSA 21 fredag d. 14.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

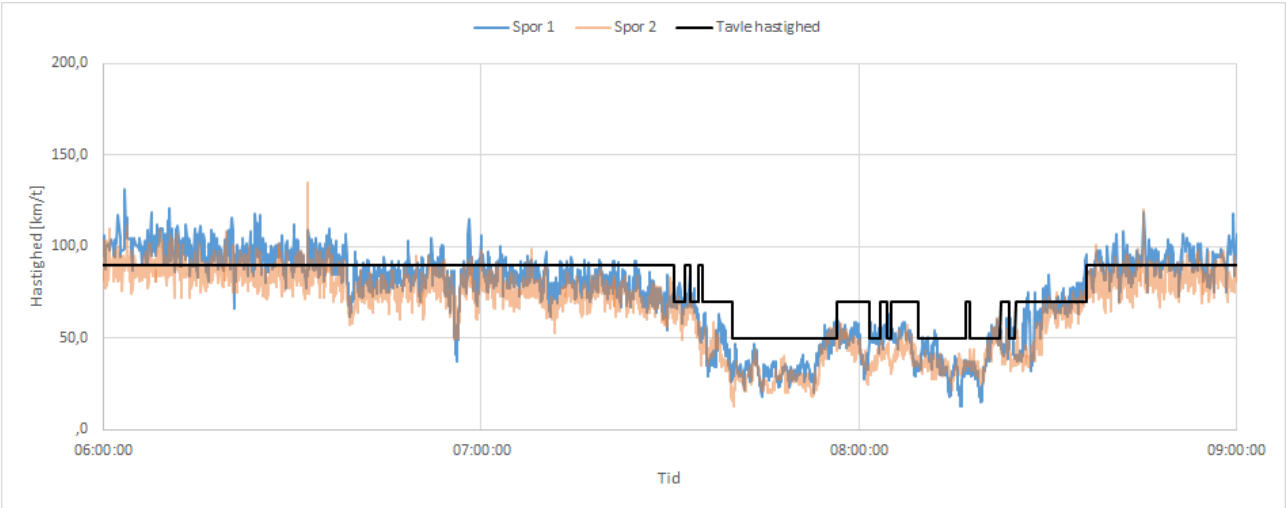
Grafer for TSA 22



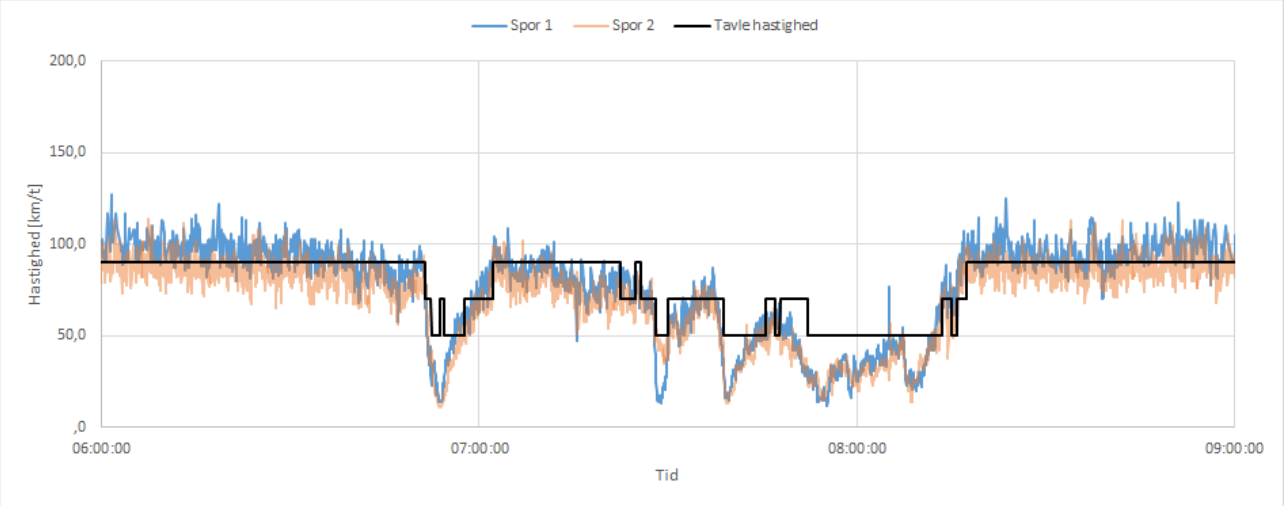
Figur E.11. Den sydgående trafik ved TSA 22 mandag d. 10.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



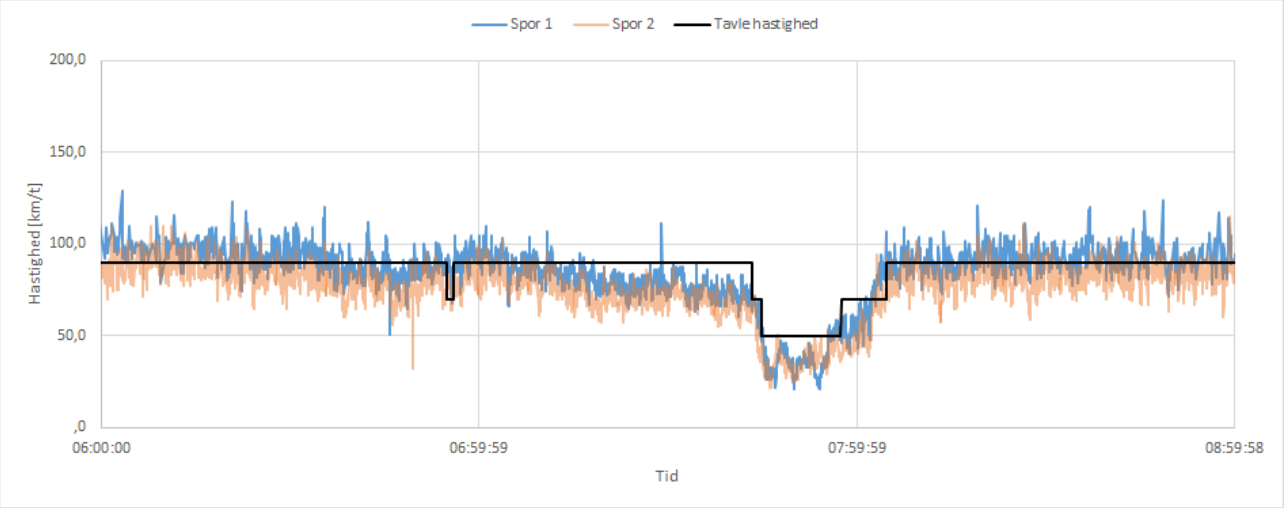
Figur E.12. Den sydgående trafik ved TSA 22 tirsdag d. 11.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur E.13. Den sydgående trafik ved TSA 22 onsdag d. 12.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

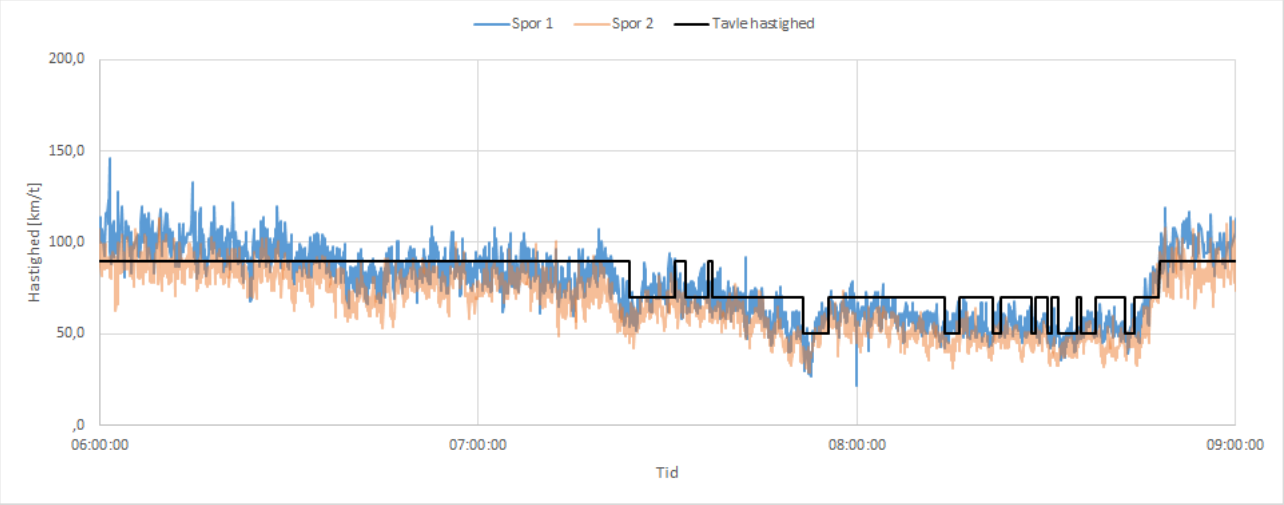


Figur E.14. Den sydgående trafik ved TSA 22 torsdag d. 13.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

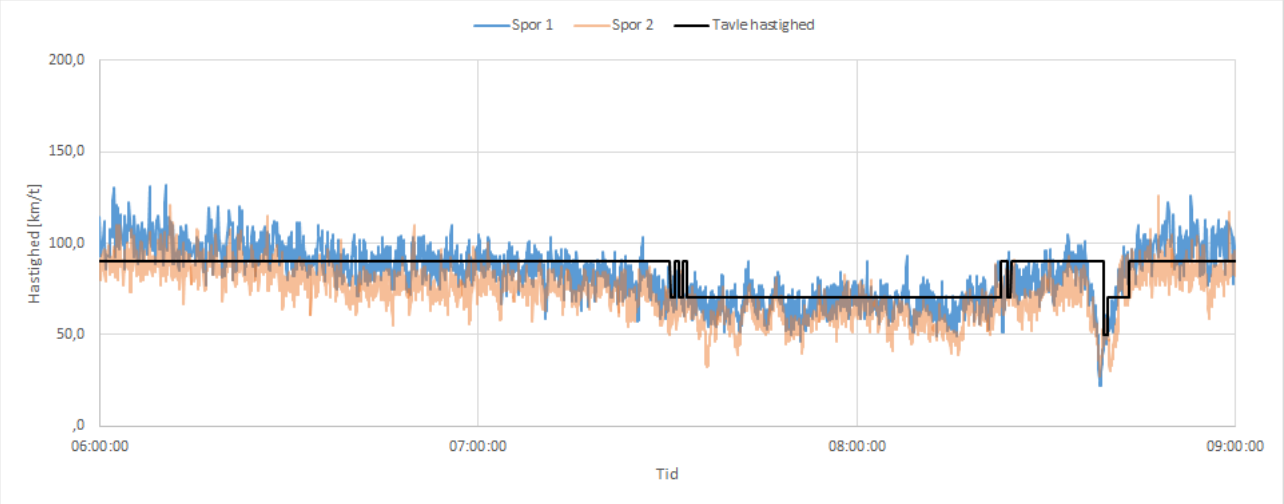


Figur E.15. Den sydgående trafik ved TSA 22 fredag d. 14.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

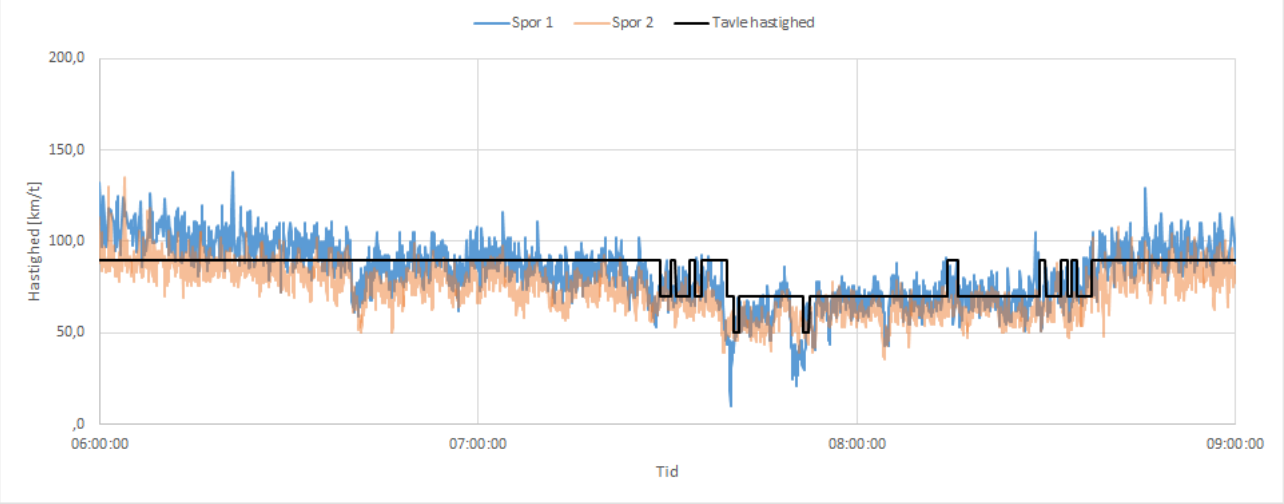
Grafer for Limfjordstunnelen, sydgående



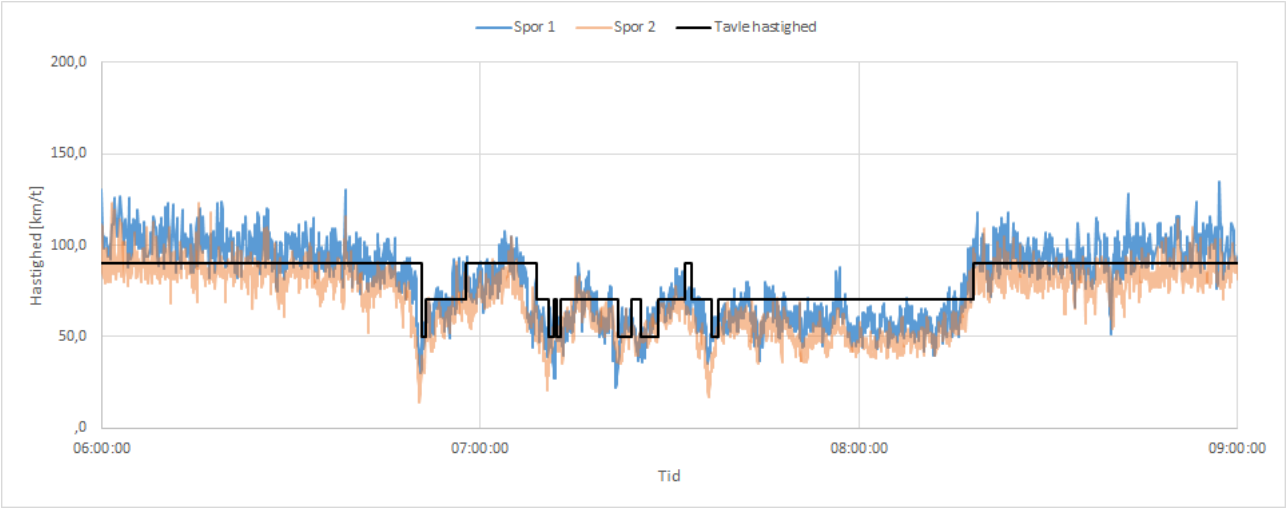
Figur E.16. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen mandag d. 10.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



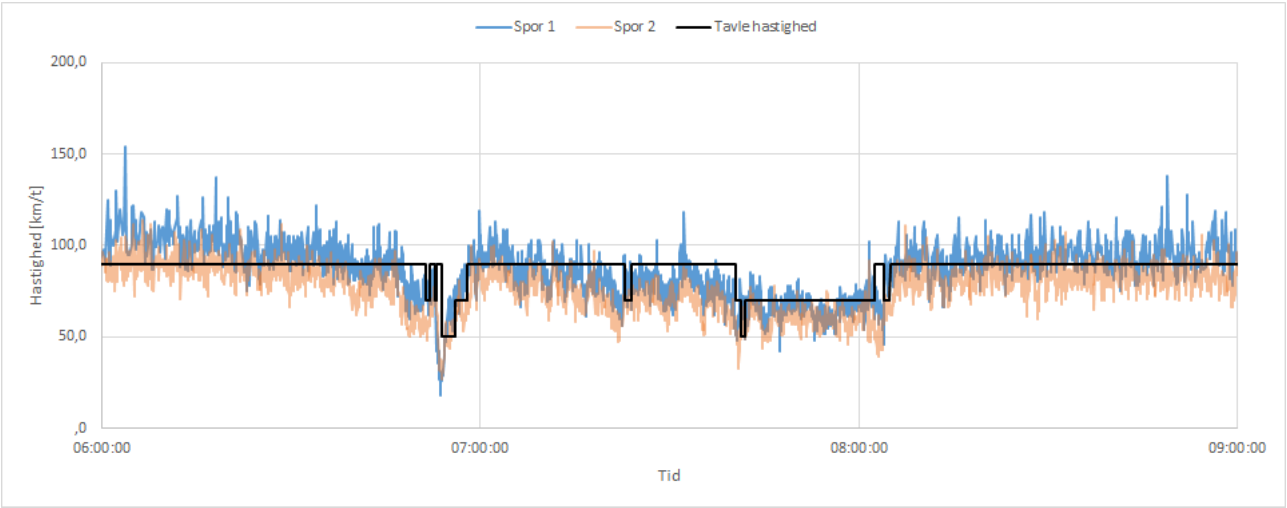
Figur E.17. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen tirsdag d. 11.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur E.18. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen onsdag d. 12.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

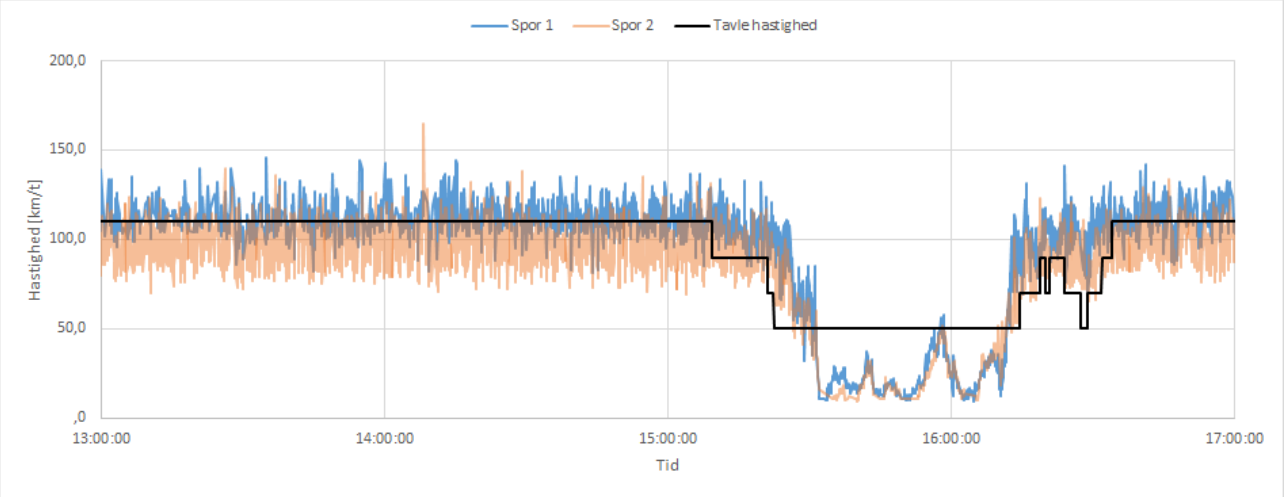


Figur E.19. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen torsdag d. 13.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

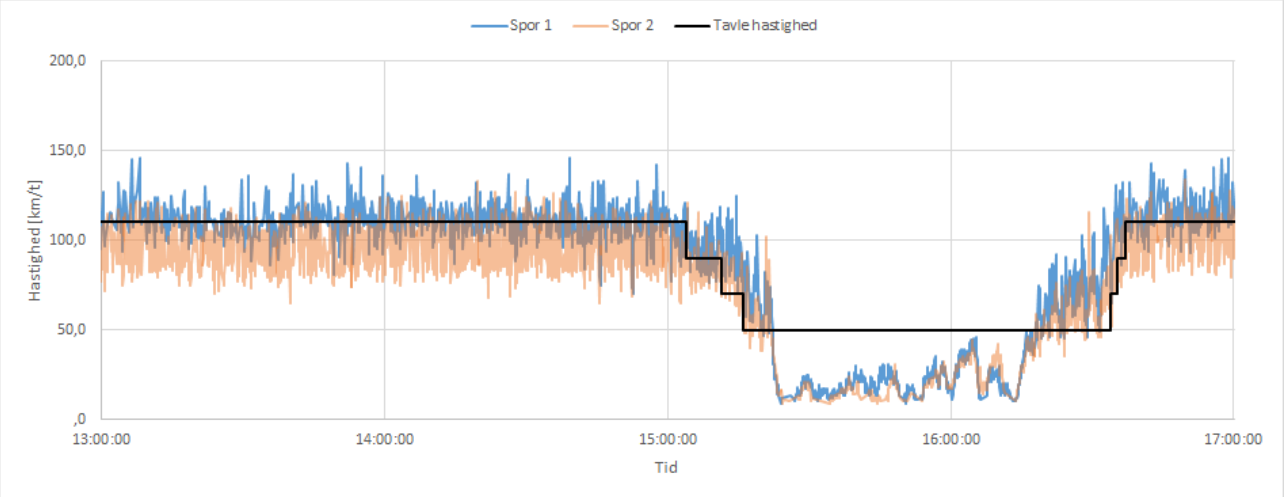


Figur E.20. Den sydgående trafik ved Limfjordstunnelen fredag d. 14.09.2018 kl. 06-09. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

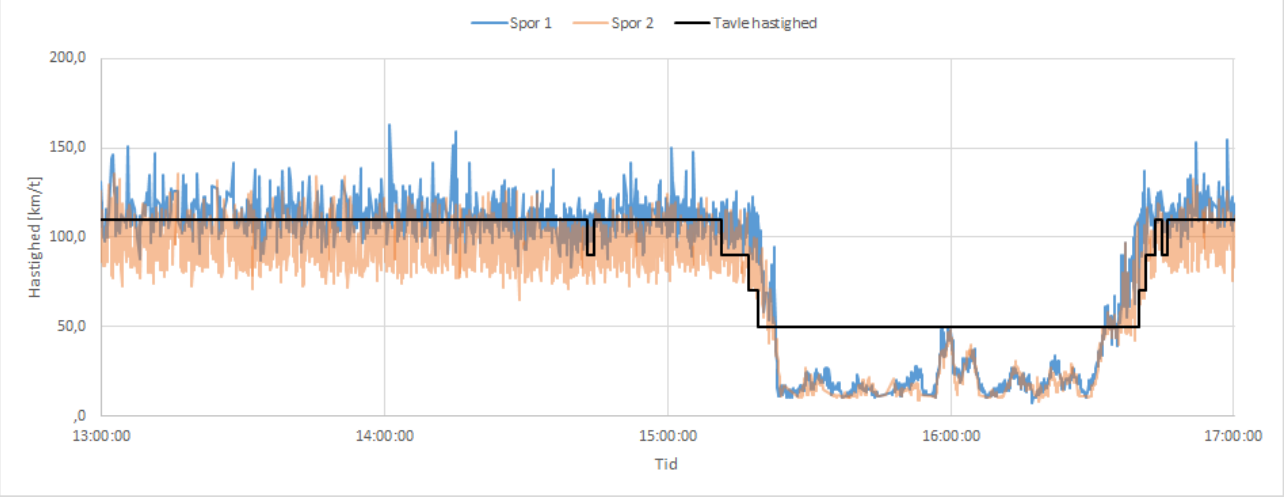
Grafer for TSA 25



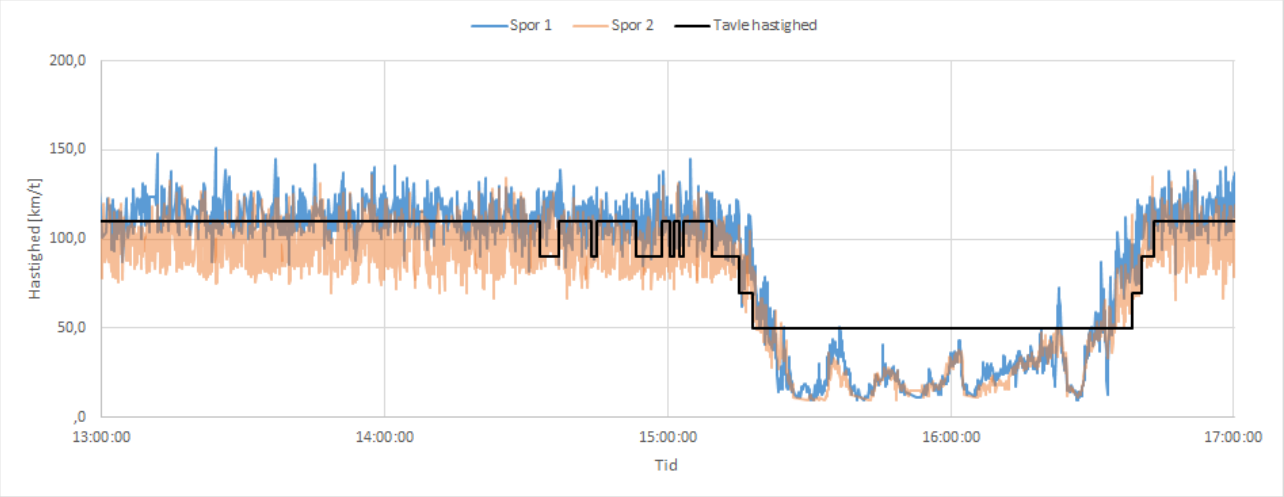
Figur E.21. Den nordgående trafik ved TSA 25 mandag d. 10.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



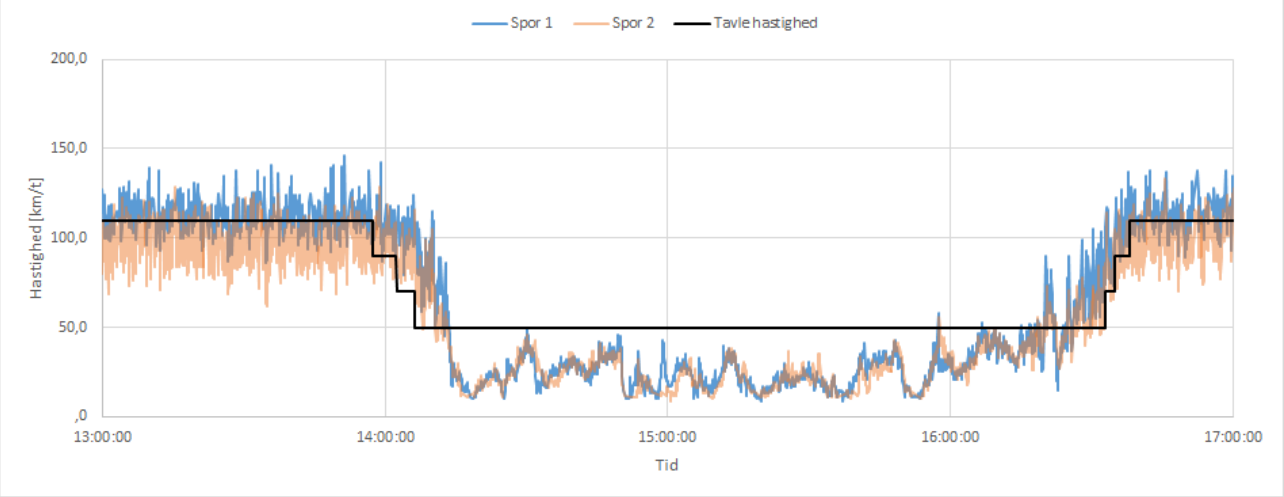
Figur E.22. Den nordgående trafik ved TSA 25 tirsdag d. 11.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur E.23. Den nordgående trafik ved TSA 25 onsdag d. 12.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

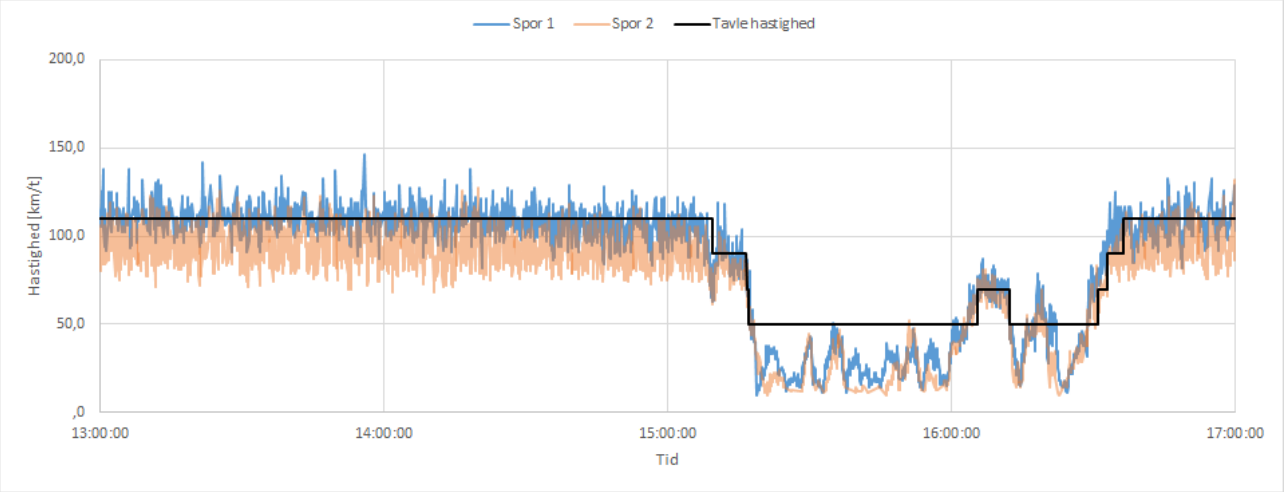


Figur E.24. Den nordgående trafik ved TSA 25 torsdag d. 13.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

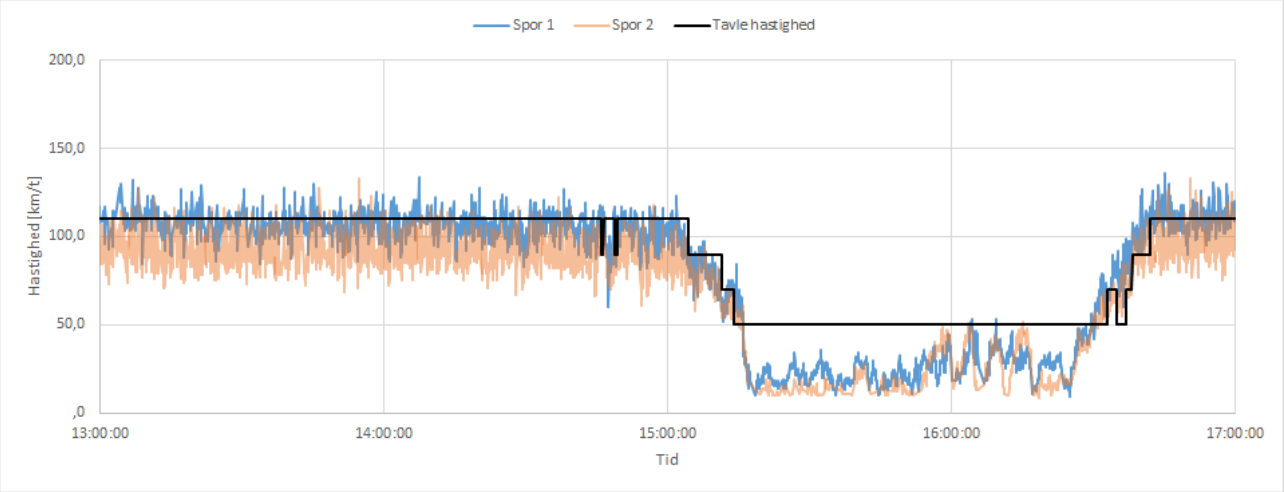


Figur E.25. Den nordgående trafik ved TSA 25 fredag d. 14.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

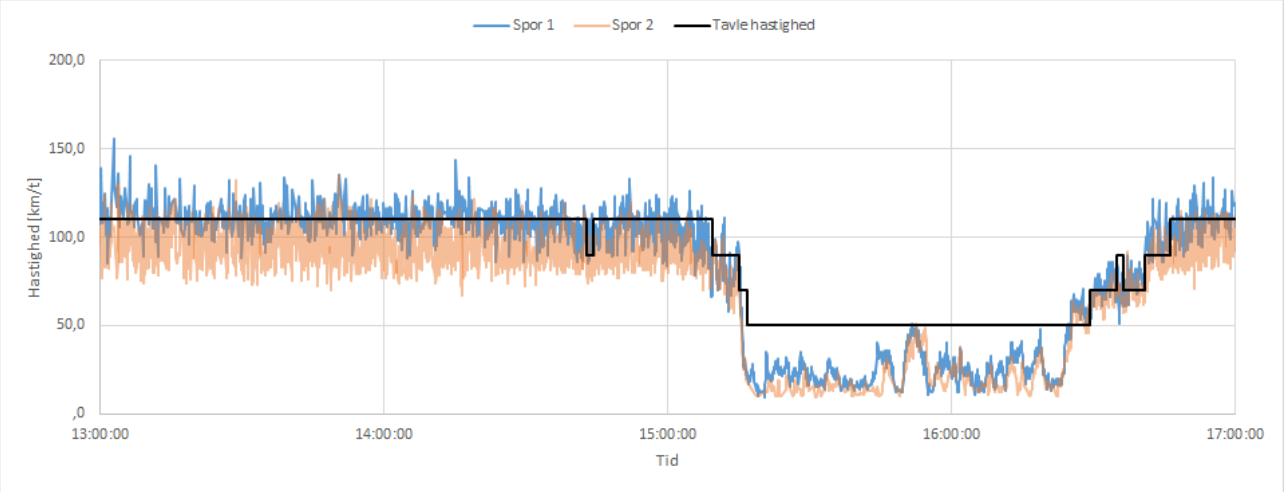
Grafer for TSA 24



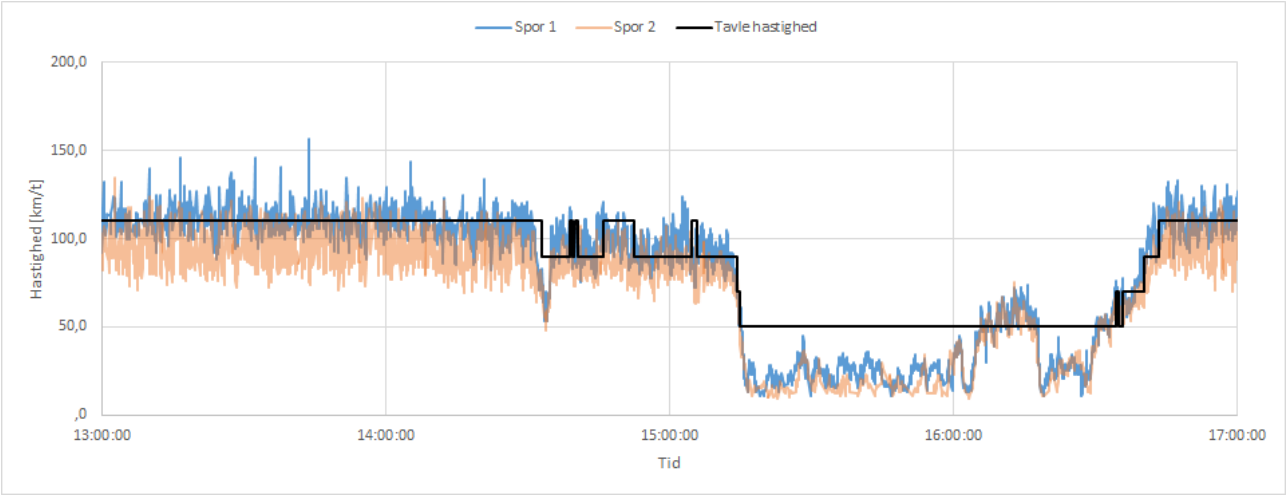
Figur E.26. Den nordgående trafik ved TSA 24 mandag d. 10.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



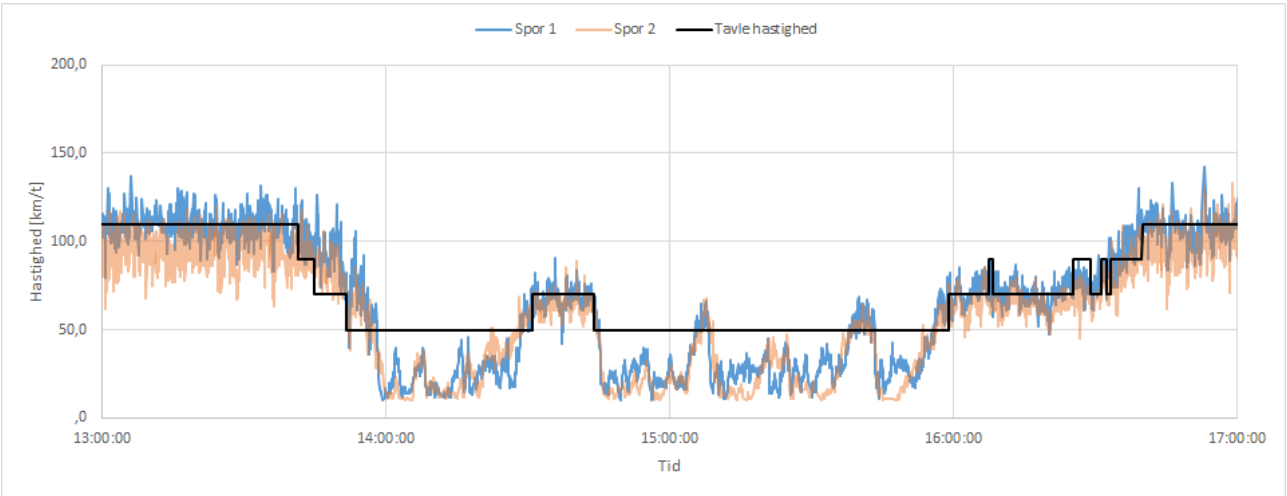
Figur E.27. Den nordgående trafik ved TSA 24 tirsdag d. 11.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur E.28. Den nordgående trafik ved TSA 24 onsdag d. 12.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

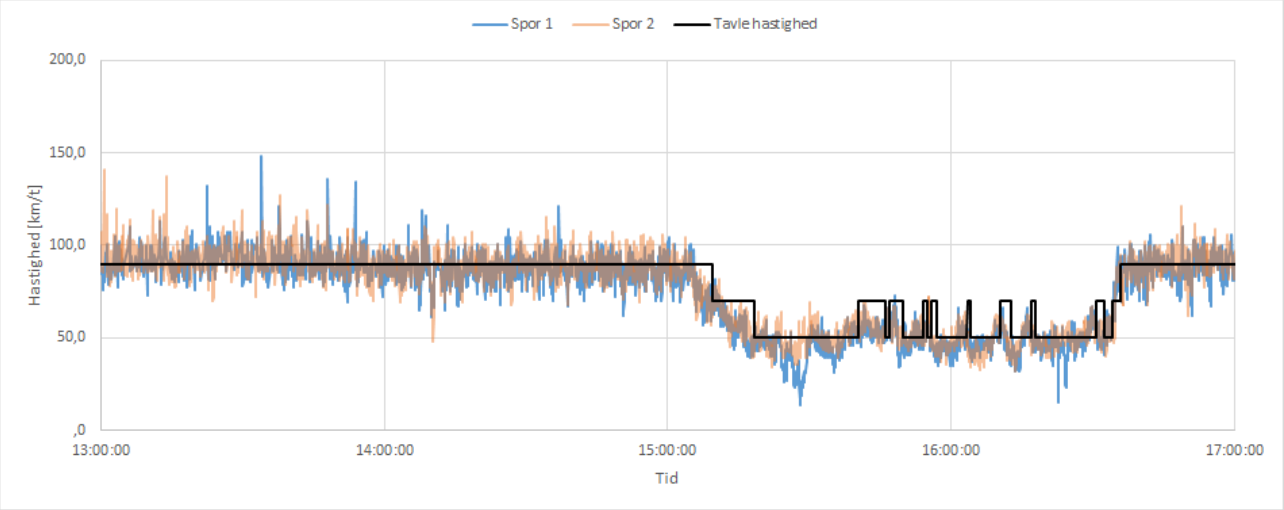


Figur E.29. Den nordgående trafik ved TSA 24 torsdag d. 13.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

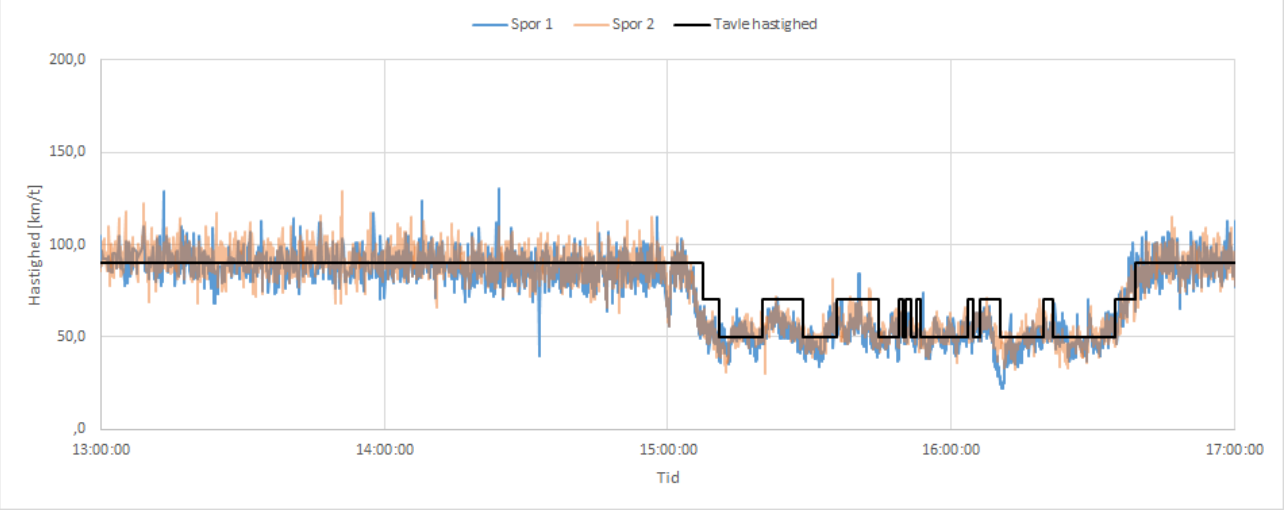


Figur E.30. Den nordgående trafik ved TSA 24 fredag d. 14.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.

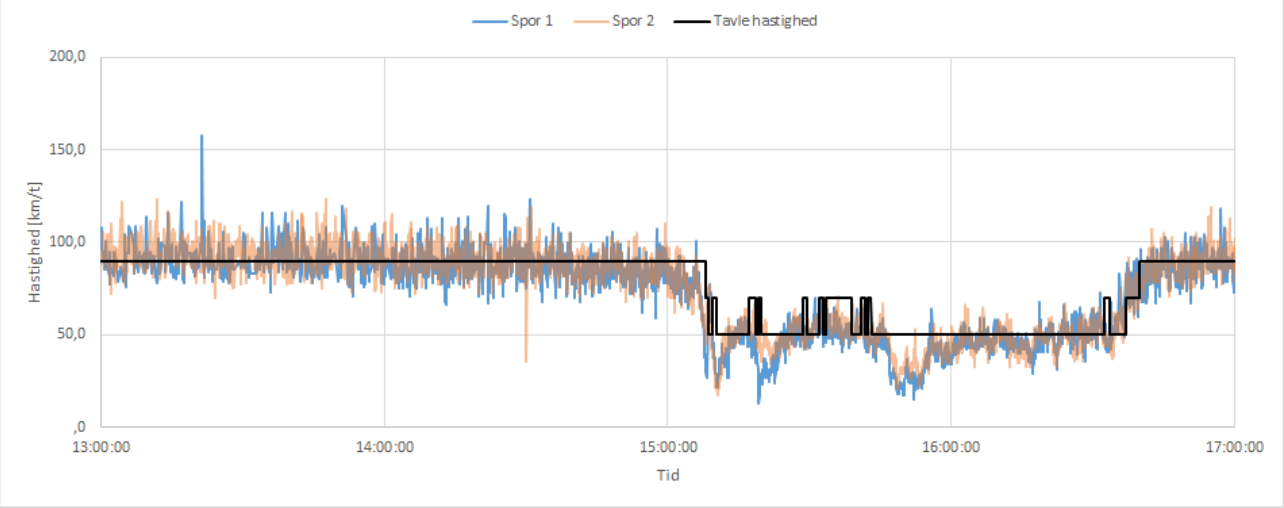
Grafer for Limfjordstunnelen, nordgående



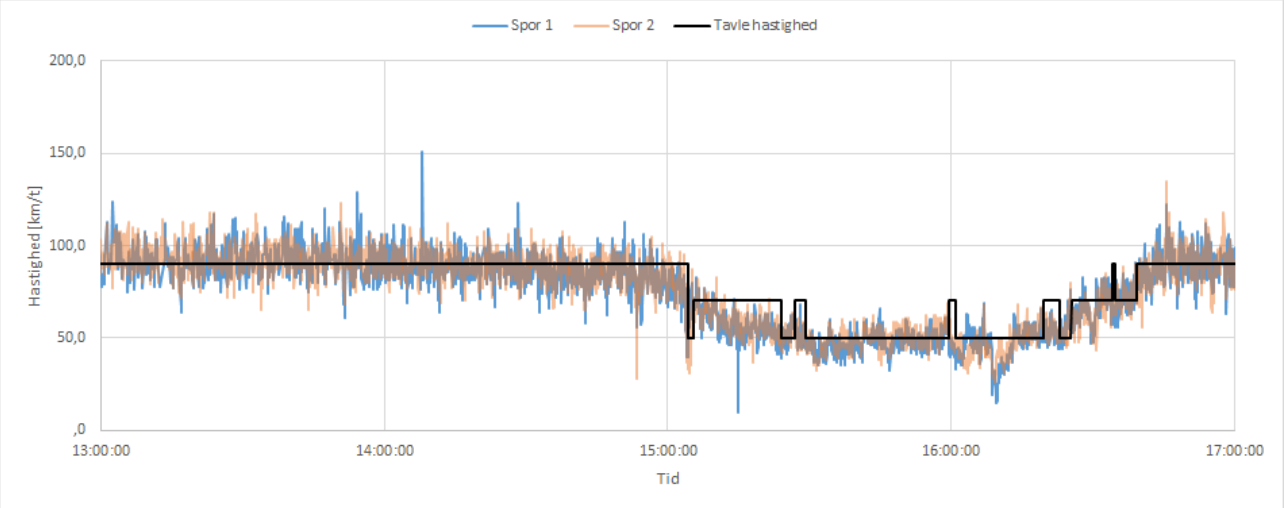
Figur E.31. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen mandag d. 10.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



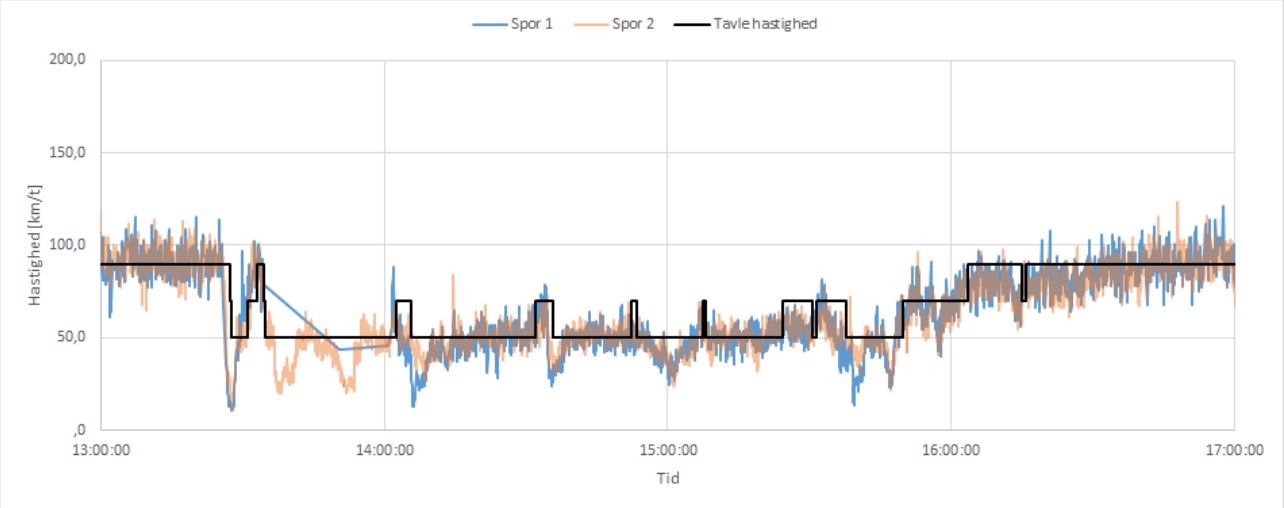
Figur E.32. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen tirsdag d. 11.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur E.33. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen onsdag d. 12.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur E.34. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen torsdag d. 13.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.



Figur E.35. Den nordgående trafik ved Limfjordstunnelen fredag d. 14.09.2018 kl. 13-17. Grafen viser den kørte hastighed i spor 1 og spor 2, samt den viste hastighed på den variable hastighedstavle.