

---

# Simulering - Trafik - Temporary

---

Project Report  
Group A319

Aalborg University  
Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet  
Strandvejen 12-14  
DK-9000 Aalborg



**AALBORG UNIVERSITY**  
STUDENT REPORT

**Det Teknisk-Naturvidenskabelige  
Fakultet AAU**  
Strandvejen 12-14  
DK-9000 Aalborg  
<http://cs.aau.dk>

**Title:**

Simulering - Trafik - Temporary

**Theme:**

Simulering

**Project Period:**

2. Semester 2016, P2

**Project Group:**

A319

**Participant(s):**

Benjamin Jhaf Madsen  
Jacob Sloth Thomsen  
Alexander Umnus  
Kim Larsen  
Lasse Fisker Olesen  
Niclas Struntze Bach  
Rasmus Thomsen

**Supervisor(s):**

Anders Mariegaard

**Copies:** 5

**Page Numbers:** 43

**Date of Completion:**

March 29, 2016

**Abstract:**

Pasta ipsum dolor sit amet rotini  
pasta al ceppo lagane spaghetti  
penne lisce tagliatelle conchiglie.  
Stringozzi ricciutelle capellini lasag-  
nette pennoni lasagnette trenette  
croxetti capelli d'angelo mafalde  
farfalle ziti strozzapreti rotini. Tagli-  
atelle sacchetti pasta al ceppo  
spaghetti foglie d'ulivo capunti  
tortiglioni vermicelloni fettuccine.  
Penne zita gnocchi manicotti sac-  
chetti fiorentine corzetti pasta al  
ceppo stringozzi vermicelli fusilli  
lanterne sacchetti fettucelle. Fiori  
tuffoli fiori tuffoli capelli d'angelo  
sagnarelli chifferi tuffoli ricciolini  
cavatappi.

---

Benjamin Jhaf Madsen  
<bjma15@student.aau.dk>

---

Kim Larsen  
<klars15@student.aau.dk>

---

Jacob Sloth Thomsen  
<jsth15@student.aau.dk>

---

Lasse Fisker Olesen  
<lolese15@student.aau.dk>

---

Alexander Umnus  
<aumnus14@student.aau.dk>

---

Niclas Struntze Bach  
<nbach14@student.aau.dk>

---

Rasmus Thomsen  
<rkth15@student.aau.dk>

**Forord**

**Læsevejledning**

**Terminologi**

## Contents

<b>Preface</b>	<b>iii</b>
<b>1 Indledning</b>	<b>1</b>
1.1 Problemets Relevans . . . . .	1
1.2 Initierende problemstilling . . . . .	2
<b>2 Simulering</b>	<b>3</b>
<b>3 Metode</b>	<b>6</b>
3.1 Problemområde . . . . .	6
3.2 Fremgangsmåde . . . . .	7
3.2.1 Emperiske-induktive-metode . . . . .	8
3.2.2 Andre metoder . . . . .	8
3.2.3 Prøve-fejl-metoden . . . . .	8
3.3 Kildekritik . . . . .	8
<b>I Problemanalyse</b>	<b>9</b>
<b>4 Ændring af Konteksten</b>	<b>10</b>
4.1 Transportmiddelvalg . . . . .	11
4.2 Eksisterende Modeller . . . . .	11
<b>5 Teknologianalyse</b>	<b>13</b>
5.1 VisSim . . . . .	13
5.1.1 Hvordan virker VisSim? . . . . .	13
5.1.2 VisSim - Bilen . . . . .	14
5.1.3 VisSim - Netværket . . . . .	14
5.1.4 Analyse af acceleration og deceleration . . . . .	15
5.1.5 Vedligeholdelse af VisSim . . . . .	16
5.2 Altrans . . . . .	16
5.2.1 Geografisk model . . . . .	16

5.2.2	Adfærds model . . . . .	17
5.2.3	Emissions model . . . . .	18
5.3	Vurdering . . . . .	19
<b>6</b>	<b>Interessantanalyse</b>	<b>20</b>
6.1	Transport- og Bygningsministeriets (TRM) - Vejdirektoratet . . .	20
6.2	Den Kommunale Sektor . . . . .	21
6.2.1	Sim Firmaer . . . . .	21
6.3	Uddannelsessektoren . . . . .	21
6.4	Specificering af målgruppe . . . . .	22
<b>7</b>	<b>Problemformulering</b>	<b>23</b>
7.1	Lasse . . . . .	23
<b>II</b>	<b>Problemløsning</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>Teori</b>	<b>25</b>
8.1	Trafik Model . . . . .	25
8.1.1	Trafik Flow . . . . .	25
8.1.2	Flow . . . . .	26
8.2	INTRO TIL TEORI, SKAL SÆTTES I LØSNINGSAFSNIT . .	27
8.3	A* Algoritmen . . . . .	27
8.4	Dijkstras Algoritme . . . . .	30
<b>9</b>	<b>Kravspecifikationer</b>	<b>33</b>
9.0.1	Succeskriterier . . . . .	34
9.0.2	• . . . . .	34
<b>10</b>	<b>Black Box Test - Unit Test</b>	<b>35</b>
<b>11</b>	<b>Implementation</b>	<b>37</b>
<b>12</b>	<b>Diskussion</b>	<b>38</b>
<b>13</b>	<b>Konklusion</b>	<b>39</b>
<b>14</b>	<b>Perspektivering</b>	<b>40</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>41</b>
<b>A</b>	<b>Appendix</b>	<b>43</b>

Trafiksystemet i Danmark undergår ofte udbygninger og ændringer, hvilket kan påvirke nærliggende vejnet. Det kan være svært at se hvordan disse ændringer vil påvirke trafikken, og derfor er der blevet opstillet forskellige modeller til at forudsige hvordan trafikken på vejnettet i fremtiden vil afvikle sig. Disse trafikmodeller bliver ofte opbygget med et konkret formål i fokus, og bliver derfor svære at vedligeholde i fremtiden i de tilfælde hvor konteksten ændrer sig. Konsekvensen af dette er at under en tredjedel af modellerne er blevet vedligeholdt, og at der ikke længere findes en model der dækker hele Danmark [14, s. 1-2].

## 1.1 Problemets Relevans

Formålet med trafikmodellerne er at forhindre trafikpropper og at sænke rejsetiderne. Uden modellerne er det besværligt at bestemme hvor der er problemer i vejnettet, og hvilken effekt nye veje vil have på trafikstrømmen. Trafikpropper har en effekt på landets økonomiske vækst, forurening, livskvalitet og tiden det tager for beredskaber og politi at nå frem.

Er man uheldig, kan man risikere at sidde fast i trafikken på vej til arbejdet. For at finde ud af hvilken effekt denne spildtid har på Danmarks økonomi, har Michael Knørr Skov og Karsten Sten Pedersen, der arbejder for konsulent firmaet COWI, analyseret 3 vejprojekter [9]. Vejprojekterne inkluderer en tredje Limfjordsforbindelse, en ny motorvejsstrækning ved København, og en Forbindelse mellem Fyn og Als. Udfra COWI's beregninger vil disse tilføjelser spare danskere 25 tusinde timer dagligt, hvilket svarer omtrent til en værdi på 2500 millioner kroner årligt. Antager man at en fjerde del af denne tid bliver brugt på arbejde vil man opleve en BNP-vækst på 0,035%. Et velfungerende vejnet er dermed et vigtigt aspekt i forhold til at forbedre Danmarks økonomiske vækst.

Billister er en af de største kilder af CO<sub>2</sub> forurening. Mængden af CO<sub>2</sub> der bliver udsluppet, afhænger af hastigheden billisterne kører. Ved en lav hastighed

kan CO<sub>2</sub> udslippet per kilomet blive fordoblet, i forhold til at køre en stabil 50-130 km/t. I den anden ende, hvis man kører over de 130 km/t vil udslippet igen øges, da bilen er mindre effektiv i udnyttelsen af brændstoffet [8, s. 5-6].

En undersøgelse har vist at der er en sammenhæng mellem trafik densiteten, og stress niveauet på en individ der befærder sig i denne trafik. Udover at det kan være ubehageligt under kørslen, bliver stressen også ført med videre på arbejdet og til hjemmet. Stressen kan også føre til aggressiv kørsel og i værste tilfælde ender det med en ulykke [7, s. 2-3].

For den almindelige bilist, så kan trafikpropper være irriterende at skulle igennem, da det er tidskrævende. Men når det kommer til ambulancernes udrykning, og det kan have fatale konsekvenser for nogle patienter. Falck har oplyst at det koster ambulancerne 1-2 minutter i udrykningstid, når der er trafikprop. Konsekvenserne kan variere alt efter hvor alvorligt syg patienten er, og i værste tilfælde så er konsekvensen menneskeliv [10].

## 1.2 Initierende problemstilling

**Danske trafik modeller bliver ofte opbygget med et konkret formål i fokus og bliver svære at vedligeholde i fremtiden i de tilfælde hvor konteksten ændrer sig.**

### *Arbejdsspørgsmål*

- *Hvilke variabler bruges til at simulere trafik?*
- *Hvem har gavn af disse trafikmodellerings simulatorer?*
- *Hvordan fungerer de forskellige eksisterende software, trafik modellerings simulatorer?*



Simuleringsmodellering og analyse er en del af processen, når man skal programmere et matematisk model af et fysisk system. Et system er defineret som en samling af dele/komponenter som modtager en form for input og så giver output. Dette output kan så bruges til forskellige formål. Normalt vil ved hjælp af dataene til at kunne analysere nogle forskellige problemer i virkeligheden for at kunne foretage sig vigtige valg inden for drift- eller politiske ressource beslutninger. Man kan også benytte simuleringsmodel til at træne folk i at tage bedre beslutninger eller forbedre ens egen ydeevne inden for et område. [2, s. 16-20]

En anden form for computer simulation er computer simulator. Simulatorer er også baseret på eksisterende eller foreslået system, ligesom simulationsmodel. I modsætning til simulationsmodel, hvor man laver valgene på forhånd, så laver man valgene imens simulatoren er i gang. Meningen med simulatoren er ikke at lave en beslutning, men at udsætte nogle personer for et system og træne deres evne til at lave gode beslutninger. Disse simulatorer er ofte kaldt træningssimulator. Meningen bag modellering og analyse af forskellige typer af systemer er:

- Få indblik i hvordan systemet fungerer
- Udvikling af drift og ressource beslutninger til at forbedre systemet ydeevne
- Afprøvning af nye koncepter eller systemer før implementering
- Opnå information uden at påvirke det rigtige system

Fordelene ved at benytte simulering kan være:

- Hurtig resultater i simulation fremfor i virkeligheden
- Det er blevet lettere at analyse et system
- Nemt at demonstrere hvordan modellen fungerer

**Hurtigere resultater i simulation fremfor i virkeligheden** Igennem simulering af et system kan man bestemme nogle variabler, det kan være sådan noget som tiden som simulationen skal vare over. Dette betyder at man hurtigere kan få resultater fra simuleringen, og så kan man lave flere gentagelser for at kunne komme frem til den bedste metode. Da før i tiden, var det ikke muligt at lave analyse på nogle systemer som varede over langt tid.

**Det er blevet lettere at analyse et system** Før man kunne benytte computeren til at lave en simulation over et system, så krævede det mange ressourcer at kunne analyse et problem. Hvis man skulle have en meget kompleks system analyseret, så skulle man kontakte matematikere eller forsknings analytikere. Nu hvor man kan lave en simulering over computeren, så er der flere personer der kan få analyseret noget, da kravene er blevet reduceret.

**Nemt at demonstrere hvordan modellen fungerer** De fleste simuleringssoftware har den egenskab, at kunne animere model grafisk. Animationen er både brugbart for at kunne debugge modellen for at finde fejl, men også for at kunne demonstrere hvordan modellen fungerer. Animationen kan også hjælpe med at se hvordan systemet opfører sig i løbet af processen. Uden muligheden for animation, så ville simulation analyse havde været begrænset til mindre effektive tekstuelle og tal baseret præsentationer og dokumentation.

Ulemperne ved at benytte simulering kan være:

- Simulering kan ikke give et præcist resultat, hvis input data ikke er præcise
- Simulation kan ikke give simple svar på komplekse problemer
- Simulation alene kan ikke løse problemer

**Simulering kan ikke give et præcist resultat, hvis input data ikke er præcise** Uanset hvor god modellen er, så er det ikke muligt at forvente et præcis svar, hvis man benytter upræcise svar. Man kan omskrive det til "Garbage in, garbage out". Desværre er opsamling af data set som den sværeste del i processen i at lave en simulering. Nogle som står bag simulering af et system har accepteret at nogle gange er man nødt til at bruge historisk data på trods af tvivlsom kvalitet for at spare dataindsamling tid. Hvilket kan føre hen til en mislykket simuleringsprojekt.

**Simulation kan ikke give simple svar på komplekse problemer** Nogle analytikere kan tro på at simuleringsanalyse vil give give simple svar på komplekse problemer. Men det er et faktum, at når man har med komplekse problemer at gøre, så får man komplekse svar. Det er muligt at simplegøre resultaterne, men det kan risikere at undlade nogle parametre som gør projektet mindre effektiv.

**Simulation alene kan ikke løse problemer** Nogle ledere der står bag et projekt, kan tro at alene at gennemføre simuleringsmodel og analyseprojekt kan føre til at kunne løse et problem. Men simulering af et problem, kan føre til

mulige løsninger til et problem. Det er op til dem der står bag problemet om de så vil benytte nogle af de løsninger de er kommet frem til. Ofte så de løsninger man kommer frem til bliver aldrig eller dårligt brugt, på grund af organisatorisk passivitet eller politisk overvejelser.

Dette afsnit vil beskrive de anvendte metoder til udarbejdelsen af denne rapport. Hvorfor disse metoder er blevet anvendt og hvilket formål de har haft vil blive beskrevet, samt hvilke tanker der har lagt til grund for dette igennem problemanalysen og problemløsningsafsnittet. Læseren kan med fordel se tilbage til dette afsnit, for at forstå hvordan der er blevet arbejdet igennem forløbet, skulle der opstå tvivl over hvordan vi er nået frem til vores deduktioner og resultater.

### **3.1 Problemområde**

Problemområdet er det som danner grundlaget for projektet. Det har til formål at give et overblik over hvilke aspekter det valgte problem belyser, ud fra den initierende problem. Det klarelægger hvem problemet påvirker og hvem det vil gavne såfremt en løsning på problemet kan opnås til at analysere både problemets relevans og samt om det har nogle interessenter. Ud fra det initierende problem er der blevet stillet følgende hv-spørgsmål til at afgrænse problemets omfang;



Figure 3.1: Problemtræ over trafiksimulering

- Hvorfor: Hvad er årsagerne til problemet?
- Hvad: Hvem bliver ramt af problemet?
- Interessenter: Hvem er interessenterne - hvem har en interesse i en løsning på problemet?
- Hvor: Hvor findes problemet?
- Hvem: Hvem er hovedpersonerne i problemet?
- Hvordan: Hvordan kan problemet løses?

men også for at finde ud af at hvorvidt det opstillet problem har nogen relevans for at blive afviklet. Problemområdet er således blevet benyttet til at isolere alle de relevante aspekter af problemet, hvorefter det er blevet sat sammen i en større sammenhæng for at give et klart og tydeligt billede af hvor det præcise problem befinder sig til at udarbejde en problemformulering.

## 3.2 Fremgangsmåde

Under udarbejdelse af projektet er der blevet benyttet flere forskellige fremgangsmåder, alt efter hvad der er blevet arbejdet med under problemanalysen.

Fremgangsmåden under udarbejdelsen af rapporten er foregået ved at opstille relevante hypoteser, som enten kunne be- eller afkræftes ved at researche sig frem til eller ved hjælp af en prøve-fejl-metode.

### 3.2.1 Emperiske-induktive-metode

Under problemanalysen er den emperiske-induktive-metode blevet anvendt til at sikre os, at den information der er blevet indsamlet har statistisk belæg for deres udsagn eller er matematisk bevist. Dette gøre det muligt at udlede logiske slutninger til at underbygge rapportens argumentation, og sikre at troværdigheden i det som er blevet formidlet.

### 3.2.2 Andre metoder

Her tilføjes det hvis vi i løbet af rapporten anvender andre metoder.

### 3.2.3 Prøve-fejl-metoden

Under programmeringsfasen er der hovedsageligt blevet anvendt prøve-fejl-metoden, eftersom det har været den mest effektive metode til at opnå den ønskede effekt i programmet. Dette er blevet gjort ved at lave metoder, med et specifikt mål i tankerne til at udføre bestemte dele. Hvis metoden ikke opførte sig som forventede blev den omprogrammeret, indtil den bestemte metode udførte den ønskede effekt i programmet.

## 3.3 Kildekritik

For at finde frem til relevant information, er der blevet taget udgangspunkt i kilder med ophav fra statslige instanser eller anerkendte virksomheder og organisationer, for at sikre informationernes gyldighed og troværdighed. Dette vil det også være muligt at kunne kontakte kilderne for uddybende spørgsmål, skulle der opstå tvivl om dele af informationen eller indsamlet data i det anvendte information. Ydermere er der blevet forsøgt at finde den nyeste tilgængelige information, for at sikre at den indsamlede data stadigvæk er brugbart og gyldigt. Fordi flere af de anvendte kilder kunne have en tendens, er den præsenteret information blevet kritisk overvejet efter hvorvidt det forholder sig objektivt eller om det er blevet fremstillet til at opnå noget for egen vinding eller et specielt mål.

Den anvendte information er så vidt muligt også forsøgt at krydsrefereret med andre tilsvarende kilder, for at øge troværdigheden ved at undersøge om andre er nået frem til tilsvarende konklusioner og data.

**Part I**

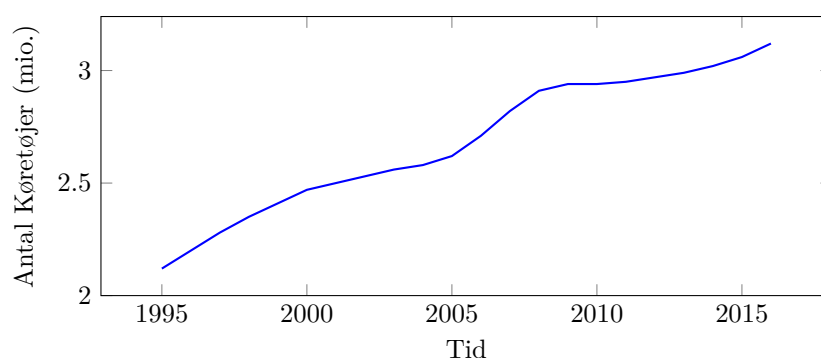
**Problemanalyse**

## Ændring af Konteksten

Som der beskrives i den initierende problemstilling, er det vanskeligt at vedligeholde trafikmodeller, på grund de ændringer der sker i konteksten. Disse ændringer er fundet til at være en vækst i bestanden af køretøjer, og et skift i hvilke transportmidler der bliver benyttet af Danskere.

Data fra Danmarks Statistik viser en vækst i bestanden af køretøjer som ses på figur 4.1. I tilfælder hvor en trafikmodel ikke tager denne vækst med i overvejelserne, kan det føre til et urealistisk billede af virkeligheden, i det at der sandsynligvis vil være mindre stress på vejnettet.

Hvis man sammenligning antallet af køretøjer med befolkningsantallet, vil man se en stigning i køretøjer per borger. I 1995 var der et køretøj til 41% af borgerne, og i 2016 er dette steget til et køretøj til 55% af borgerne. For trafikmodeller der kun undersøger afviklingen af biltrafik vil dette ikke have nogen påvirkning, men for modeller der inddrager andre transportmidler vil dette skift skulle tages med i beregningerne, hvis der bliver kigget på fremtiden.



**Figure 4.1:** Væksten i bestanden af køretøjer



## 4.1 Transportmiddelvalg

Det kan argumenteres, baseret på vedligeholdelsesparametre angivet heri at baggrunden for en trafikmodel der kan være fremtidigt brugbar afhænger af andre tilfælde end lige netop befolkningsantal. Det kan også anskues at andre herunder givne parametre kunne gøre simulering af disse trafikmodeller en vanskelighed, hvori en drastisk ændring kunne medføre grunde til fejlkilder ved vedligeholdelse af de førhen nævnte modeller.

- Transportmidlers popularitet
- Ny teknologi
- Adfærd

Under disse parametre kan der uddrages en række kategorier af transportmidler der er gældende for trafikmodellerne, dette kan også forstås som alle nuværende relevante transportmidler for persontransport. Disse kan lægges under kategorierne kollektiv transport (busser, toge mm.) og personlig transport (personbiler, cykler mm.)

Transportmidlers popularitet kunne indebære en stigning i behovet for at benytte cykler eller lignende. Denne parameterændring ville være et essentielt eksempel at bearbejde til at videregive en bedre vedligeholdelsesstandard, antaget at der findes grundlag for dette.

Ny teknologi indebærer forbedringer til nuværende transportmuligheder og integration med nuværende orientingsværktøjer som f.eks. applikationer. Simulering af denne parameterændring er uforudsigelig i bedste tilfælde, dog kan undersøgelser henlægge til mulig nye teknologier der kunne have relevans.

Adfærdsmønstre er lige så uforudsigelige hvis ikke mere end nye teknologier. Heri består samfundsændringer der afgør landskabet som trafikmodellerne håndterer osv.

Ud fra disse kategorier er der udvalgt en række transportmidler. Transportmidlerne er baseret på kategoriernes prioritet i forhold til relevans for løsningsmodellen. Kollektive og personlige transportmidler kan stilles op foran hinanden og argumenteres på baggrund af forudsigelige ændringer i parametre. Herunder grundlaget beliggende i væksten af priser mellem de forskellige transportmuligheder og parameterændringer for på et samfundsmæssigt og teknologisk grundlag.

## 4.2 Eksisterende Modeller

De modeller der er vedligeholdet og stadig bliver brugt i dag, er meget forskellige i deres fokus. Der findes modeller som Senex, der analyserer godstrafikken mellem Danmark og Tyskland, der er en meget avanceret model til trafikafviklingen i hovedstadsområdet, og en masse mindre regionale og kommunale modeller [14, s. 2]. Forskellen på modellerne kan ses på detaljeringsgraden og hvor langt

modellen kigger ud i fremtiden, hvor de mindre modeller har flere detaljer, men kun kigger få år ud i fremtiden, og vice versa for de større modeller. Trafikmodellerne er derfor delt op i 3 niveauer; makro-, meso- og mikroniveau.

**Makroniveau** På makroskopiske niveau er de anvendte modeller langsigtede, men med færre detaljer. Manglen på detaljer er påkrævet, da det ellers vil blive for svært at anskaffe data'en, der skal bruges til at specificere alle forudsætningerne for de anvendte modellers forudsigelser [14, s. 1]. Modeller på makroniveau danner et billede over den internationale situation [14, s. 9]. En af de anvendte modelmetoder på dette niveau er prognosemodeller, disse benyttes til at beregne fremtidens trafik behov, således at der kan planlægges hvordan ressourcerne kan anvendes.(kilde speciale.)

**Mesoniveau** På det mesoskopiske niveau er detaljerings graden højere i forhold til makroniveau. De anvendte modeller på dette niveau er 4-trinsmodeller. Disse modeller bliver anvendt til at forudse trafikens bevægelsesmønster.(speciale) De bruges også til at finde ud af hvilke veje der er belastede eller hvor lang tid en rejse vil tage. Disse modeller bliver brugt til at vise udviklingen i både internationale, nationale og regionale situationer [14, s. 9].

**Mikroniveau** På det mikroskopiske niveau er det kortsigtede modeller der bliver anvendt. Det område man undersøger er meget afgrænset. Fordelen ved disse modeller er at den høje detaljerings grad kan give et mere præcist billede over situationen, dog kræver det at der skal bruges en masse data for at resultatet bliver realistisk [14, s. 1]. En af de anvendte modelleringsmetoder er den empiriske metode, som bygger på observationer. Her er det enkeltstående situationer der bliver observeret, for at se hvilket udfald simuleringen har. På det mikroskopiske niveau kan det evt. være rundkørsler, lyskryds, eller en enkel vej der bliver analyseret.(speciale)

Gennem problemanalysen vil en af de vedligeholdte modeller og en af de ikke vedligeholdte modeller blive undersøgt ved hjælp af en teknologianalysen, for at finde ud af hvilke elementer er vigtige. Informationen fra teknologianalysen kan derefter bruges til at lave en trafikmodel der er nem at vedligeholde.

I dette kapitel vil der blive gennemgået en analyse af simulationsprogrammerne VisSim og Altrans. En mangel på informationer om andre programmer har i en stor grad påvirket valget af VisSim og Altrans, derudover er de to programmer forskellige i deres formål, hvor Altrans har et specifikt formål, og VisSim er beregnet til at kunne løse flere forskellige formål. Altrans bliver ikke længere vedligeholdt, mens VisSim stadig bliver brugt i dag. Begge programmer vil blive vurderet i forhold til de aspekter der gør dem nemme at vedligeholde.

## 5.1 VisSim

VisSim er et mikrosimuleringsprogram, som bliver anendt i Danmark. VisSim udgør en stor del af beslutningsgrundlaget for udvidelsen i trafikken i dag. Programmet bruges til at konstruere og simulere større dynamiske systemer. VisSim er et diskret simuleringsprogram som modellerer adfærden for den enkle billist. VisSim benyttes for general modellering, simulation og designe simulations applikationer, dvs. at VisSim ikke nødvendigvis bruges til trafik simulering. VisSim er programmeret i ANSI C, og under processen af et VisSim projekt kan projektet kompiles.

VisSim benytter sig af psyko fysisk model, som benytter en regelbaseret algoritme ved bevægelser på tværs af banerne. Den psykologiske del bliver brugt til bilistens ønske om aggressivitet, hastighed, reaktionsevne og generelt menneskelige forhold til trafikken. Den fysiske del bruges til bilens adfærd, så som bilens hastighed, størrelse, position.

### 5.1.1 Hvordan virker VisSim?

På figur 5.1 se at VisSim består af en værktøjslinje, som repræsenterer kommandoer og blokke. Disse blokke og diagrammer bruges til at forme simuleringen. Det er et blokprogrammerings sprog, man programmerer ved brug af blokke og diagrammer. På figur 5.1 kan man se at VisSim består af forskellige blokke, disse blokke er forskellige parametre og variabler, som udformer det kørende program [16].

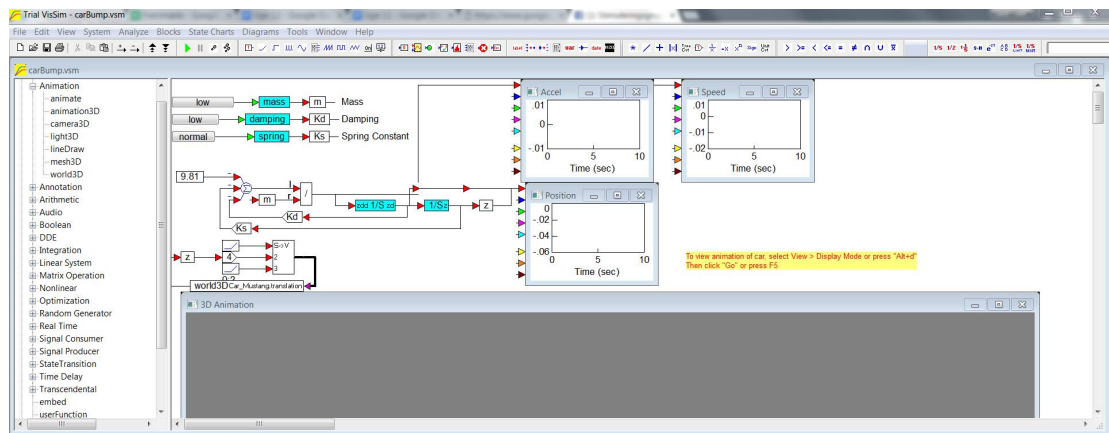


Figure 5.1: Værktøjer i VisSim

### 5.1.2 VisSim - Bilen

Den enkle bil spiller også en stor rolle i VisSim, bilen er bestående af forskellige parametre, og det er ofte disse parametre der bliver anvendt. Denne rapport vurderer nogle af VisSims parametre, da det ikke er muligt for os at vurdere alle parametrene, fordi rapporten også fokuserer på andre aspekter end VisSim. Der vil også vurderes vedligeholdelsen af VisSim. Bilens parametre i VisSim er beskrevet nedenfor.

- Ønsket acceleration.
- Deceleration.
- Acceleration
- Vægtfordeling.
- Hastighedsfordeling.
- Afstand mellem køretøjer.
- Størrelsen på køretøjet.

### 5.1.3 VisSim - Netværket

Netværket er bestående af de visuelle elementer, som har indflydelse på trafikafviklingen. Der er valgt at beskrive disse parametre, da det er disse der udgør største delen af VisSims parametre. Netværkets parametre er beskrevet nedenfor.

- Rundkørsler.
- Vigepligt.
- Lyskryds(signalregulering).
- Hastighedszone.

- Vejbredde.
- Vejlængde.

#### 5.1.4 Analyse af acceleration og deceleration

Ud fra en undersøgelse foretaget af Pihlkjær afgangsprøje Aalborg Universitet - Vej og Trafikteknik, viser det sig at nogle af VisSims accelerations og decelerations værdier kan være upræcise. Undersøgelsen er foretaget ved analysering af VisSim på de danske vej-netværk, hvor der sammenlignes med GPS acceleration og deceleration med VisSims data. Her er der blevet indsat GPS i 166 bilister som skal repræsentere acceleration og deceleration i Danmark.

På figur 5.2, kan man se at accelerations fordelingen for VisSim er markant højere end GPS daten. Dette viser sig, at være pga. VisSim er henvendt til de tyske-vejnetværk. I undersøgelsen beskriver de, at det skyldes de tyske biler er større og hurtigere. Det vurderes at VisSims data er upræcis, dette kan resultere i forkerte simuleringer, hvilket resultere i forkert planlægning af nye vejnetværk.

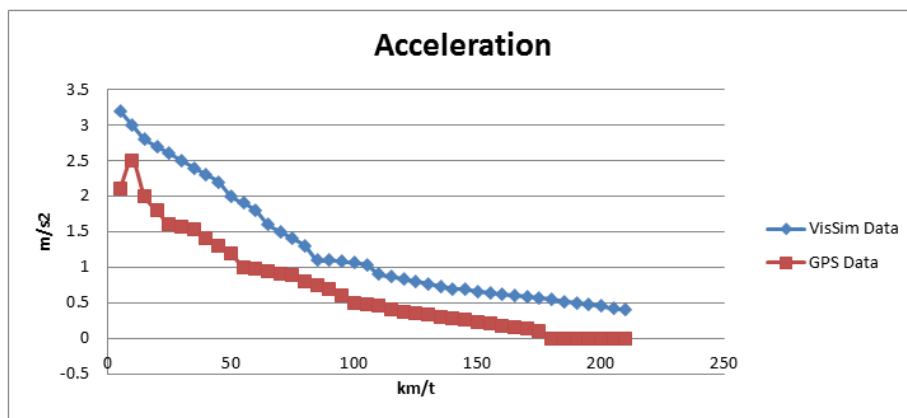


Figure 5.2: Visning af acceleration af VisSim og GPS data

Samtidig er der undersøgt af Pihlkjær afgangsprøje Aalborg Universitet - Vej og Trafikteknik om deceleration for bilister er præcise i VisSim, dette er også gjort ved sammenligning af VisSim data, med GPS data. På figur 5.3 kan man se, at VisSims deceleration er markant højere end GPS dataen, man ser også at VisSim er lineæret udspillet. Det vurderes at dette kan have betydning for udfaldet i simleringen, hvis VisSims data var nær GPS daten, så ville udfaldet blive mere præcist. Man ser også at VisSims data er konstant, dette betyder at programmet ikke varierer decelerationen i forhold til farten.

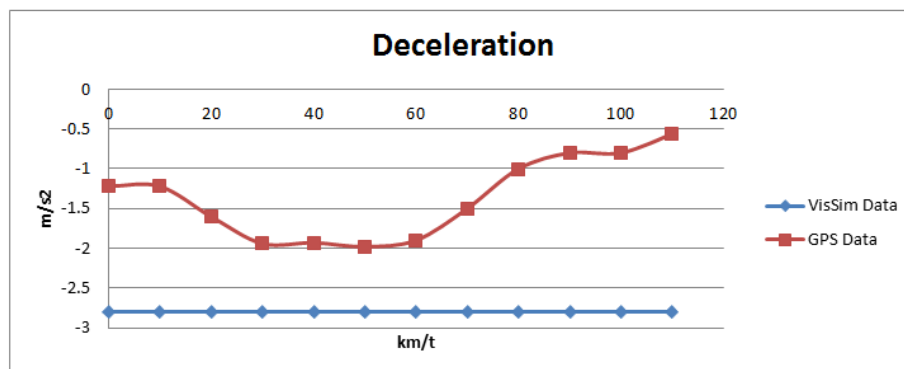


Figure 5.3: Visning af deceleration af VisSim og GPS data

### 5.1.5 Vedligeholdelse af VisSim

VisSim kan anvendes således, at det kan opstilles til hvilket som helst formål. Dette er en god detalje for VisSim, da brugeren selv kan opstille specifikke scenarier og simuleringer som ikke nødvendigvis er trafik relateret. Dette vurderes til at være godt for vedligeholdelsen, da brugeren selv har muligheden for at opstille scenarier. Dette gør VisSim fremtidssikret, således at udviklerne af VisSim ikke selv skal sørge for vedligeholdelsen.

VisSim er et stort program dette kræver viden omkring anvendelsen af VisSim for at brugeren kan benytte programmet til simulering af trafik. Da VisSim ikke kun er beregnet til trafik simulering, så kræver programmet mange detaljer og viden for brugeren, for at udføre en trafik simulering. Der vurderes at det vil være hjælpsomt for brugeren, hvis brugeren ikke skal anvende tid på at lære et nyt program, men i stedet anvende et program, som kun er egnet specifikt til simulering af trafik.

## 5.2 Altrans

Alternativ Transportsystemer (Altrans) er en trafikmodel, hvis formål er at belyse hvordan en øget brug af den kollektive transport vil påvirke miljøet [6, s. 14]. Trafikmodellen er blevet udviklet af Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) i 1994. Altrans består af 3 hovedmodeller: en geografisk model, en adfærds model og en emissions model [5, s. 14].

### 5.2.1 Geografisk model

Den geografiske model bruges til at beregne rejsetider, ventetider og skiftetider. For at udregne disse benyttes følgende undermodeller:

- Model af kollektiv transportnet
- Model af serviceniveau
- Model for bilrejser

- Model for attraktion til byfunktioner

Modellen for attraktion til byfunktioner består af information over antallet af beboere og arbejdspladser i forskellige områder, og benyttes mest i forbindelse med adfærds modellen. Derudover bruger den geografiske model et geografisk informations system (GIS) til opbevaring af data og udregning af rejsetiderne [6, s. 18-19].

For at lave realistiske simuleringer, bruger modellen for det kollektive trafik præcise data for ankomst- og afgangstider. Denne data kommer fra 11 trafik-selskaber der bruger køreplanssystemet TR-System, DSB's data kommer i et andet format der bliver brugt til DSB's egen rejseplanlægger. For at beregne rejsertiderne af kørestrækningerne, samt ankomst og afgangstiderne sat op i et tredimensionalt koordinatsystem, hvor tiden bliver indsat som den tredje akse Z. Stationernes placering bliver indsat som X og Y koordinaterne, og man kan dermed finde ud af hvilke ruter der kan rejses med ved en given station [6, s. 20-22].

Modellen af serviceniveau udregner serviceniveauet med variablene tid, omkostninger og tilgængelighed. Modellen undlader at inkludere variable som komfort, da DMU har lavet antagelsen, at komforten ikke ændre sig kraftigt over tid. Dette kan gøre prognoser der ser på den fjerne fremtid upræcise. Modellen spænder over både taktisk (meso) og operationel (mikro). På den taktiske plan kigger Altrans på buskilometer, afgangs frekvenser og tilgængelighed. På den operationelle plan kigges der på tiden man bruger i køretøjet, hvor lang tid man skal vente ved skift samt ventetiden i alt, og prisen på rejsen [5, s. 36-37].

Formålet med modellen for bilrejser er at udregne tiden det tager at rejse fra by til by. Dette gøres ved brug af vejnettet i GIS, og hastigheden bilen kører kommer an på vejtypen. Ruten der bliver kørt starter og slutter fra centrumet af byerne der bliver rejst mellem. Modellen tager ikke højde for anden trafik på vejene, så tiderne der udregnes vil være præcise hvis der ikke er andre biler på vejnettet [6, s. 25]. Hastighederne modellen bruger til de forskellige veje, kan ses på tabel 5.1.

Motorveje	110
Motortrafikveje	90
Hovedveje	80
Øvrige veje på landet	70
Veje i byer	40

**Table 5.1:** Hastigheder på forskellige vejtyper

## 5.2.2 Adfærds model

Adfærds modellens formål er at give et estimat på fordelingen af transportmiddelvalg, populariteten af destinationer, kørekort fordeling, og bilejerskab. For at udregne estimaterne, benytter adfærds modellen sig af 3 undermodeller [6, s. 25-26]:

- Model for valg af transportmiddel og destinationer
- Cohortmodel og model for kørekorthold
- Model for bilejerskab

Modellen for valg af transportmiddel og destinationer estimerer og simulerer antallet af kilometer der bliver rejst i de 4 transportmiddelkategorier: kollektiv trafik, bilfører, bilpassager og let trafik. Derudover estimeres de rejsenes destinationer, hvilket gør det muligt at finde ud af hvordan trafikken bliver fordelt på vejnettet, så trafikken påvirkning på miljøet kan analyseres. Hovedformålet med at finde destinationerne er dog at modellere indvider i samfundet. Modellen vægter nytten ved rejserne, for eksempel kan en rejse til den nærmest købmand være mere nyttig end en der ligger længere væk. For at finde ud af hvilket transportmiddel et individ vælger, kigges der på prisen og tiden af rejsen, samt individets socioøkonomiske baggrund [6, s. 26-27].

Modellen for kørekorthold er en prognosemodel. Sandsynligheden for at et individ har et kørekort, er udregnet ud fra kørekortfordelingen over alle individer og en logitmodel med variablerne køn, alder, indkomst, stilling og urbaniseringsgrad. Dette inddrages i cohortmodellen der simulerer om individet har et kørekort i det år der bliver beregnet på [6, s. 30].

Modellen for bilejerskab estimerer hvor mange biler en husstand har. Modellen består af en logitmodel der bestemmer hvor mange biler husstanden har, denne logitmodel er indlejret i anden logitmodel, der bestemmer hvorvidt husstanden har biler eller ej. Til at bestemme om husstanden har bil, kigges der på husstandens socioøkonomiske forhold, om individerne i husstanden har kørekort, og hvor individerne rejser til. Outputtet af denne model bruges efterfølgende i modellen for valg af transportmiddel [6, s. 29-30].

### 5.2.3 Emissions model

Man kan beregne emissioner af biltrafikken, dette gøres ved følgende: Der tages hensyn til og beregnes efter bilens tilstand, varm motor og koldstart. Det er en udregning der består ved at finde summen af en varstarts-emissionskoefficient gange trafikarbejdet og et koldstartstillæg for hver tur.

Disse faktorer er ikke selvstændige og bliver lavet per bilens årgang og dens størrelse/brændstoftype. Hastigheden af fartøjet determinere varmstarts-emissionskoefficienten. Der er sågar fortaget undersøgelser, såkaldte årskørsels undersøgelser af Vejdirektoratet hvorfra det er konkluderet at årskørsel forudsat er uafhængigt af bilens størrelse selvom at dette er set som urealistisk. Det estimeret trafikarbejde bliver udregnet ifølge en adfærdsmodel hvori man kigger på årskørsel pr bil i alle aldersgrupper. Der forøges eller reduceres med en faktor i selve fremskrivningsåret sådan at summen af antal biler i hver gruppe ganges deres gennemsnitlige årskørsel bliver lig det førnævnte trafikarbejde.



### 5.3 Vurdering

Når der i den Geografiske model bliver udregnet rejsetider for biler, bliver der ikke overvejet hvordan trafikken er på vejene. Rejsetiderne bliver udregnet ved at finde ruten gennem vejnettet og derefter gange delafstandene med hastighederne på figur 5.1. At udelade trafikdensiteten i udregningen kan dermed gøre bilrejser mere attraktive når et individ skal vælge transportmiddel, hvilket kan føre til et upræcist resultat. Ved simulering kan man selvfølgelig ikke lave en model der passer 100% på virkeligheden, men i dette tilfælde kunne modellerne muligvis have taget et andet avanceret simulerings program som for eksempel VisSim i brug til at udregne realistiske rejsetider. Et andet problem når der skal udregnes bilrejser, er at afstanden bliver udregnet fra centrum til centrum af byer. Dette kan give et urealistisk billede hvis individet egentlig kun skal fra udkanten af en zone til udkanten af en sidelæggende zone, specielt hvis rejsen foregår i kun et centrum, da modellen da vil tage gennemsnittet for rejser i det centrum. Derudover gør det, at individet bare skal køre til et centrum, at modellen ikke overvejer hvor langt individet skal gå fra en parkeringsplads til destinationen.

Adfærds modellen finder destinationen et individ rejser til, og hvilket transportmiddel der bliver valgt, men der bliver ikke overvejet om individet vil rejse eller ej. Det vil sige at alle individerne i simuleringen rejser på en beregnings tidspunktet. Dette kan gøre at både vejnettet og den kollektive trafik virker til at være mere belastet end de i virkeligheden vil være. I forhold til Altrans formål, at finde miljøpåvirkningen i skift fra bilrejser til kollektiv transport, vil dette ikke gøre at resultatet bliver upræcist, hvis man kigger på dataene procentvis, men det vil være svært at bruge Altrans resultater i sammenspil med andre simuleringsmodeller, der overvejer hvor mange individer der rejser på en dag.

I forhold til vedligeholdelse, har Altrans følgende ulemper. Vejnettet og destinationerne bliver indlæst i et GIS system fra Transportvaneundersøgelsens data, hvilket betyder at det ikke er muligt selv at styre hvordan vejnettet ser ud. Dette kan blive problematisk da disse undersøgelser bliver foretaget med et 3 års interval, og man kan dermed risikere at arbejde med forældet data. Derudover er det ikke muligt at specificere væksten af antallet af biler på vejnettet, da antallet afhænger af adfærdsmodellen. Det at man ikke kan definere denne vækst, kan være en af grundene til at modellen ikke længere bliver vedligeholdt, da den i fremtiden vil blive mere og mere upræcis. Generelt er Altrans meget fokuseret på hovedformålet, at finde ud af udviklingen i fordelingen af individer mellem den kollektive trafik og bilrejser. Hvis man skulle få brug for at vide hvordan denne fordeling påvirker vejnettet, kan man blive nødt til at bruge et andet simuleringsværktøj. Havde Altrans været mere fleksibel og spillet bedre sammen med andre simulerings modeller, vil der sandsynligvis være en større interesse i at vedligeholde den.

## Interessantanalyse

I følgende afsnit vil der redegøres for hvem vi mener har en interesse i, at der bliver udviklet en softwareløsning som kan simulere forskellige instancer af trafikhændelser og hvordan nogle kunne se en interesse i at sågar modarbejde sådan et produkt. Dette er essentielt til at kunne opstille krav for sådan en løsning da det vil have konsekvenser for udviklingen af løsningen. Interessenterne beskrevet i følgende afsnit vil altså blive afgrænset således at softwareløsningen er passet til denne bestemte målgruppe om man vil.

### 6.1 Transport- og Bygningsministeriets (TRM) - Vejdirektoratet

Transport- og Bygningsministeriet (TRM) er Danmarks øverste danske statslige myndighed på transportområdet og bygningsområdet. TRM's hovedopgave er at sikre sig at de forskellige love bliver overholdt, ved opførelse af fx. en motorvej. Da TRM er en sammensætning af mange underdelinger har vi valgt at fokusere på en af deres styrelser nemlig Vejdirektoratet.

Vejdirektoratet står bag statsvejnettet som primært består af motorveje, hovedlandeveje og mange af landets broer. Alt i alt dækker disse forskellige veje 3.801 km vej [15]. Dette udgør i alt 5% af det offentlige vejnet men på trods af dette så er disse veje samtidig de veje hvor godt 50% af alt danmarks trafik forgår på. Vi mener at Vejdirektoratet er en væsentlig interessant netop da de er ansvarlige for planlægning af vejnettet i Danmark. Da vi agter at skabe en løsning der har funktionaliteten til at planlægge disse veje og skabe forskellige trafik scenarier til at simulere potentielle alternativer til at opbygge sådan en vejnet.

Med en interessant som Vejdirektoratet skal kvaliteten af softwareløsningen møde en hvis standard da løsningen gerne skulle konkurrere med allerede eksisterende værktøjer der anvendes af Vejdirektoratet.

## 6.2 Den Kommunale Sektor

Kommunerne er ansvarlige for at vedligeholde og oprette veje i de dele af Danmark der nu en gang er afsat til dem. Kommunerne skal godkende oprettelse af nye veje i deres områder hvilket vil sige at der oftest er andre organisationer indblandet så som det førnævnte TRM. Planerne for disse veje er altså nogle som skal pitches til kommunen således man kan præsentere ens case for at der netop er brug for oprettelse af en vej. Til netop dette kunne kommunen have en interesse i at sådan en case bliver opstillet i et simuleringsprogram som vores hvori det vil fremgå hvordan ændringer/oprettelse af en vej ville udspille sig i teori.

Dette betyder at vi anser den kommunale sektor som en mulig interessant i den kontekst at informationen fra vores løsning ville kunne argumentere for en case om at nye veje skal oprettes. Dette betyder dog at den udviklede løsning skal kunne opnå en kvalitet hvori det bliver en anerkendt standard for præsenterbare, faktuelle simuleringer.

### 6.2.1 Sim Firmaer

Visual solution er et blandt andre firmaer der har lavet forskellige simuleringsværktøjer. VisSim er f.eks. et anerkendt værktøj som er anvendt af over 100.000 forskellige forskere verden rundt[3]. Vores simulerings program kan, med mere tid og udvikling potentielt blive en konkurrent til disse programmer og derfor menes det at disse firmaer er en modvirkende Interessant der kunne have en interesse i at modarbejde ideen.

Visual Solutions værktøj, VisSim, er en anerkendt standard for simuleringsværktøjer og deres værktøj, VisSim er derfor bl.a. Også blevet analyseret i denne rapports Teknologianalyse. Som interessant kunne Visual Solutions prøve at modvirke løsningen udarbejdet som en del af dette projekt, potentielt kunne denne løsning blive en mulig konkurrent til VisSim hvilket potentielt kunne lede til at firmaet, alt efter teknologien udarbejdet på længere sigt, til at søge om at tilegne softwareløsningen.

## 6.3 Uddannelsessektoren

En løsning som den vi agter at lave i dette projekt kan også være et godt værktøj til uddannelse af folk der vil arbejde inde for trafik sektoren. Dette kunne bl.a. Være DTU Transport som forsker inde for transportområdet. DTU har før i tiden foretaget undersøgelse i sammenhæng med optimering af trængsel i trafik, miljøproblematikken og trafiksikkerhed[4]. I dette tilfælde ville værktøjet pivot[ordliste] mod en uddannelses kontekst hvilket på samme tid også kunne være en potentielt ide til videreudvikling. DTU er som sagt også ansvarlig for mange undersøgelser med anledning i trafik og kunne potentielt bidrage til udviklingen af softwareløsningen eller fremtidige iterationer af den.

Uddannelsessektoren tilbyder en interessant mulighed til at udarbejde projektet i en anden retning. Programmet skal i så fald være udarbejdet til at

passe til uddannelsesmiljøet hvilket vil sige at det skal kunne lære fra sig. Dette betyder at der skal laves undersøgelse i eksisterende uddannelses værktøjer.

## 6.4 Specificering af målgruppe

Ud fra interresantanalysen og teknologianalysen kan der delkonkluderes hvilken interessant der har størst interesse for vores projekt. Denne interessant er vurderet til at være kommunen baseret på at kommunerne står for størstedelene af vejnetværket i Danmark [1]. Derudover er den kommunale sektor anset for at være den mest realistiske interessant for gruppen at fokusere på iogmed at vi vil være i stand til at evt. kontakte en eller flere kommuner for at høre om hvad nogle krav kunne være til sådan en simulerings, software løsning. Det er blevet bestemt at et simulerings værktøj med netop dette fokus, ville gavne mest af at simulere i en mesoskopiske kontekst. Dette er yderlige uddybet i krav og specifikationer afsnittet i denne rapport.

## Problemformulering

I problemanalysen er der blevet foretaget teknologianalyser med fokus på vedligeholdelse af de undersøgte værktøjer, ydermere en analyse af forskellige interressanter har givet henblik på omfanget af løsningsmodellen. I teknologianalysen ses det at VisSim er ikke specifikt til trafiksimulering og er vanskeligt at opsætte for nyere brugere, derimod har Altrans ikke nok forskellige input til at kunne anvendes i flere kontekster. Samtidig er det blevet observeret, at VisSim er fleksibelt og tillader brugerne at specificere deres simulationer med deres egne parametre.

Altrans er modsat VisSim, opbygget til at finde fordelling af individer mellem den kollektive trafik og bilrejser, et specifikt formål. Der ses en mulighed for at lave en softwareløsning der har fleksibiliteten i stil med VisSim, men kun inde for et bestemt område, meso-trafik-simulering. Vores specificerede interessant, den kommunale sektor, lægger meget op til at opbygge netop et program med et meso omfang da der kan opsættes simulering af forskellige scenarier i netop dette mesosimulering. Vi formulere derfor følgende problemformulering:

*Nuværende simuleringsværktøjer til simulering af trafik er enten sværere for nye brugere at anvende eller mangler fleksibiliteten til at kunne tilpasse sig den kontekst brugeren ønsker at arbejde i. En ideal løsning er at udarbejde et mesosimuleringsværktøj som kan tilpasse sig efter brugerens behov i den givne kontekst.*

### 7.1 Lasse

Nuværende simuleringsværktøjer til simulering af trafik er enten sværere for nye brugere at anvende eller mangler fleksibiliteten til at kunne tilpasse sig den kontekst brugeren ønsker at arbejde i. Vil et mesosimuleringsværktøj, hvori brugeren gennem en brugerflade kan opstille et vejnet, samt indstille variabler som antallet af biler, hastigheder og adfærd, være en løsning der kan bruges i en længere periode, trods ændringerne i konteksten.

# **Part II**

## **Problemløsning**

## 8.1 Trafik Model

Til dette projekt har vi valgt at arbejde med emnet trafik og simulering, mere specifikt simulering af trafik. Vi agter altså at løse et problem inde for dette område hvor i vores fokus ligger på at lave en simulering der kan hjælpe med til at konstruere og udspille forskellige scenarier der kan udspille sig i trafikerede områder og på den måde også simulerer alternativer. Derfor har gruppen valgt at udarbejde en model der beskriver gruppens fælles definition på trafik. Formålet med dette er at have en model at arbejde med og inddrage i programmet der fungerer som produktet i dette projekt.

OBS: Dette afsnit er ikke færdigt og modellen kan og vil med høj sandsynlighed ændre sig igennem projektet af forskellige årsager!

### 8.1.1 Trafik Flow

Trafik fænomener har i langt tid ikke været nemt at regne på. En publikation fra 1988 af Paul Ross fra Traffic Systems Division beskriver trafik som at have en vis lighed med væsker som ikke kan komprimeres mere end en vis densitet [13]. Igennem tiden har der været nogle forskellige teorier om hvorvidt man måler på trafik og mange har forsøgt på forskellige måder.

Den generelle konsensus for trafik variabler er følgende: Trafik Densiteten,  $K$ , farten,  $v$ , og volume,  $Q$ , er passende og brugbare til formålet beskrevet herover. [Note: Cite Dr. Henry Lieu]

$$Q = Kv$$

(1)

hvor følgende er gældende:

$Q$  = trafik flow (Bil(er)/timen) forbi et punkt.  $K$  = vehicular densitet (bil(er)/km)  $v$  = (space-mean-speed) fart (km/t)

Densitet kan beskrives som antallet af fartøjer per længden af en enhed (i dette tilfælde km). De to vigtige former af densitet er kritisk densitet,  $K_c$  og

jam densitet,  $K_j$ .  $K_c$  er den maksimale densitet under free flow.  $k_j$  er den maksimale densitet under ophobning. Densitet udregnes som:

$$k = \frac{1}{s} \quad (2)$$

Hvor  $s$  er det inverse af densiteten, spacing, som er distancen fra midte til midte mellem fartøjer.

På en vej  $L$  vil densiteten  $K$ , på et bestemt tidspunkt  $t_1$ , være lig det inverse af spacing mellem  $n$  antal fartøjer.

$$K(L, t_1) = \frac{n}{L} = \frac{1}{\bar{s}(t_1)} \quad (3)$$

Space-mean-speed kan forklare som at være en udregning af fart hvori man tager et helt vejbane segment i betragtning. En serie af billeder eller video optager farten på individuelle fartøjer der køre på denne bane, ud fra dette er en gennemsnits fart udregnet. Denne type udregning anses for at være mere præcis end Time-mean-speed metoden som der ikke vil blive forklaret i dette afsnit. Udregningen for Space-mean-speed ser således ud:

$$v_t = n \left( \sum_{i=1}^n (1/v_i) \right)^{-1} \quad (4)$$

Hvor  $n$  er det antal af fartøjer der passere vejbane segmentet.

### 8.1.2 Flow

Flow er det antal at fartøjer som passere en form for reference punkt per enhed af tid, som fartøjer/timen. The inverse af flow er togfølge ( $h$ ) hvilket er den tid der går imellem fartøjer der passere det bestemte punkt og det forrige køretøj ( $i + 1$ ). Ved overbelastning på veje forbliver  $h$  constant. Ved en trafik prop vil  $h$  gå mod uendeligt.

$$q = 1/h \quad (5)$$

Flow ( $q$ ) der passere et bestemt punkt ( $x_1$ ) i et interval ( $T$ ) er lig det inverse af den gennemsnitlige togfølge af  $m$  køretøjer.

$$q(T, x_1) = \frac{m}{T} = \frac{1}{h(x_1)}$$



(6)

Lastbiler: Lastbiler og andre transport fartøjer er oftest skyld i at trafikken går langsommere eller i nogle tilfælde stopper helt op. Det er derfor at bl.a. transport af vindmølledele bliver igangsat sent om aften eller meget tidligt på morgenen således at de ikke skaber problemer for andre billister. Dette har altså en stor effekt på trafikken og kunne derfor være relevant at medtage i vores model, dette er dog ikke gruppens fokus da dette er et meget specifikt scenarie. NOTE: Kan ændres skulle vi have tid til at lave noget med denne type scenarie.

Tid på dagen / Rush Hour: Rush hour er det scenarie hvori der sker mest trafik i et land. Dette er typisk i de timer hvor de forskellige bilister skal på arbejde, køre børn til skole eller andre institutioner eller lignende og igen når disse samme individer skal hjem igen. Dette kan indskrives i programmet som en form for variable der ændre mængden af trafik ved bestemte tidspunkter. NOTE: Mangler kilde på dansk rush hour.

## 8.2 INTRO TIL TEORI, SKAL SÆTTES I LØSNINGS-AFSNIT

Til udformning af vores løsningsmodel bidrager dette afsnit en gennemgang af to algoritmer til ruteplanlægning og vejvisning. De er valgt på baggrund af deres udbredthed i industrien (KILDE). TEKNOLOGIANALYSEN anleder til at afgøre hvilke(n) algoritme(r) der er nødvendige til vores løsningsmodel. Der er blevet valgt to algoritmer til vejvisning som er A\* og Dijkstras Algoritme. Der vil først blive gennemgået deres generelle funktion og dernæst en sammenligning af de to og en videre afgrænsning til hvilken der vil blive benyttet til løsningsmodellen.

## 8.3 A\* Algoritmen

Primært når det kommer til belægning af en dynamisk rute, foregår det ved at en enhed fortsætter hen i mod et mål indtil den når en forhindring. Dette er et ekstremt simpelt bevægelsesmønster og indebærer in vis in-effektivitet. Rent retorisk kunne man stille spørgsmålet om det ikke ville være smartere at planlægge en rute før man overhovedet bevæger sig.

A\* er en algoritme til at beregne den korteste rute baseret på en række heuristiske datasæt. A\* får input igennem en brugerlavet graf der indeholder en række datasæt for at algoritmen kan fungere. Først har vi distancen fra punkt til punkt, eksempelvis punkt 'A' til punkt 'B' som vi kalder for f.eks. **H** og dernæst har vi et datasæt **G** der indeholder bekostningen for at flytte fra en kant til en anden, denne variabel er bestemt på forhånd. Et virkelighedseksempel kunne være at man vil over på den anden side af en sø, så har man så muligheden for at svømme direkte eller gå uden om og det koster f.eks. 2 gange så meget at bevæge sig direkte igennem søen. Dette er givet ved **G**, hvor som sagt **H** er den ultimative korteste længde til det bestemte slutpunkt. **H** fungerer desuden

for hvilket som helst punkt i et system og angiver *altid* den korteste vej til slutpunktet uanset forhindringer. Det skal også nævnes at **H** ikke er påvirket af bevægelsesbekostningen, til at starte med, som **G** angiver, dette kommer først senere. Til sidst har vi **F** der er en sammenlagt værdi af både **H** og **G**. Dette gælder kun for hver kasse der flyttes til, hvori **H** er angivet ved kassen man flytter tils **H** værdi. Det kan vises således i formelen 8.1:

$$F(n) = G(n) + H(n) \quad (8.1)$$

En måde man kan visualisere  $A^*$  på er f.eks. med et gitter-system som set i figur 8.1. Her kan vi se at vi har et start punkt (grøn) og et slutpunkts (blå). De kasser vi ikke kan bevæge os igennem er de røde kasser. Figuren angiver ingen heuristiske datasæt endnu.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96

Figure 8.1:  $A^*$  gitter-system

Ud fra figuren kan vi begynde os at forestille hvordan  $A^*$  fungerer. Når man bevæger sig fra kasse til kasse laver man 2 lister til at holde styr på hvor brikken har været. En liste til at holde styr på hvilke kasser man ikke har besøgt endnu og en liste der holder styr på hvilke man **har** besøgt. Når man flytter brikken skal man derfor angive hvilken kasse der nu skal på *besøgt* listen. Derfor som nævnt skal vi bruge information om hvor meget **G** koster. Brikken skal nu til at flytte sig for at komme til slutpunktet. Dette kunne f.eks. være 10 point for at flytte sig i hvilken som helst retning, men man kunne også sagtens angive at diagonal bevægelse ville koste 12 point. Dvs. at ruten ændrer sig til måske ikke at være så direkte som den ellers kunne have været.

Der findes flere metoder man kan anvende A\* på og en af dem vises her. Det vises her i den lille bid af Python-kode i Listing 8.1:

```

1 frontier = Queue()
2 frontier.put(start)
3 visited = {}
4 visited[start] = True
5
6 while not frontier.empty():
7     current = frontier.get()
8     for next in graph.neighbors(current):
9         if next not in visited:
10             frontier.put(next)
11             visited[next] = True

```

**Listing 8.1:** A stjerne og pseudo-kode af brug af lister

[11]

Som set i figur 8.1 har vi vores liste givet ved kassernes nummerering. Nummereringen kører fra venstre mod højre én række ad gangen. Vi angiver at det tager 10 point at gå lodret og vandret én kasse ad gangen og 12 point at gå diagonalt. I figur 8.2 kan vi nu se de heuristiske datasæt angivet fra startpunktet (grøn). Hver enkel kasse omkringliggende startpunktet har deres **H** værdi angivet med lys-lilla tekst og bevægelsesomkostningen **G** fra startpunktet til kassen angivet i blå tekst.

1	12	2	10	3	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10		9		8										
13	10	14	0	15	10	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10		9		8										
25	12	26	10	27	12	28	29	30	31	32	33	34	35	36
10		9		8										
37		38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48		
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60			
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72			
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84			
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96			

**Figure 8.2:** A\* der viser bekostning af bevægelse fra startpunkt (grøn) til omkringliggende kasser (G) angivet med blå farve samt H angivet med lys-lilla

Nu udregnes **F** værdien så f.eks. hvis vi går fra kasse 14 (startpunktet) til 15 skal vi lægge 10 (**G**) og 8 (**H**) sammen. Dette gør vi så for alle omkringliggende kasser for startpunktet. Dernæst går man til den laveste **F** værdi og gør helt det

samme som før, derudover flyttes den nye kasse man står på til *besøgt* listen. Noget man skal være opmærksom på her er at man stadig skal sammenligne bevægelsesomkostningen fra den tidligere kasse til de kasser der også er relevante for den nye kasse man har flyttet sig til. For dermed at afgøre om man kunne have påført en smartere bevægelse. Det skal igen pointeres at  $A^*$  modtager data fra en graf og det her modelleres.

Denne fremgangsmåde er også bedre kendt som Breadth First Search, hvori en frontlinje bliver kontinuerligt fremskyndet baseret på omkostninger og heuristiske datasæt[11].  $A^*$  er en heuristisk fremgangsmåde afledt af Dijkstras generelle funktionalitet. Dijkstra og  $A^*$  vil altid give en kortest vej hen til målet.

## 8.4 Dijkstras Algoritme

Dijkstras algoritme er en algoritme til at finde den korteste vej fra et bestemt punkt til et andet punkt. Disse punkter kan blandt andet repræsentere den korteste vej mellem to forskellige byer. Dijkstra fungerer på nogenlunde samme måde som  $A^*$  i dens planlæggende fremgangsmåde ved at sammenligne punkter med hinanden. Dijkstras algoritme skanner også et område af kasser fra et startpunkt og fortsætter som eksemplificeret i figur 8.2. Dijkstra modtager dog ikke heuristiske datasæt Dijkstras er en grådig algoritme, da den finder den korteste længde først og fortsætter således.[12] Dette kaldes også Greedy Best First Search.

Dijkstras algoritme finder den korteste rute mellem 2 forskellige punkter i en simpel ikke-orienteret vægtet graf. Man kan se på figur 8.3 at der angives forskellige punkter A, B, C, D, E, Z. Hvis man skal fra punkt A til Z på figuren, så starter man ved A og derfor initialiseres A til at være 0, som man kan se på tabel 8.1. Algoritmen virker således, at alle punkter er uendeligt udover det punkt man befinder sig på som vist på tabel 8.1. Algoritmen tager punkt fra punkt, så den starter med at se de grene som A har. Disse er  $|AB| = 4$  og  $|AC| = 2$ . Her fra kan algoritmen ikke se videre end B og C. Den ser altid på det mindste tal, og derfor tager den længden fra A til B som er 4 og længden fra A til C som er 2, begge disse tal er mindre end uendeligt. Herefter ser den efter hvilket af de nuværende tal som er mindst, hvilket er 2. Så derfor vælger den C som sit næste punkt. Algoritmen finder nu de næst tætteste punkt, ved at addere alle de tidligere ruter, som har den korteste rute fra A til det næste sæt af punkter. Her ser algoritmen ud fra C og hvilke grene C har. Dette er længden til B, D og E, dog er længden altid fra A, så derfor er længden fra A til E 12 da  $2+10 = 12$ . Længden til B er nu blevet 3, da algoritmen ser på den korteste rute, så A til B er 3, da  $2+1 = 3$ . Således fortsætter algoritmen indtil den rammer Z.[12]

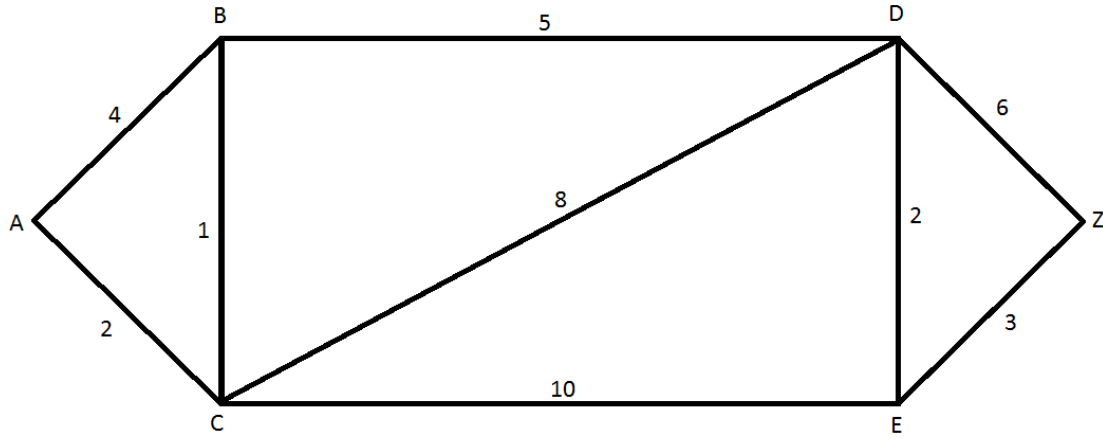


Figure 8.3: Graf til fremvisning af eksempel af Dijkstras algoritme i brug

	A	B	C	D	E	Z
	0	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
A	0	4	2	Inf	Inf	Inf
A, C	0	3	2	10	12	Inf
A, C, B	0	3	2	8	12	Inf
A, C, B, D	0	3	2	8	10	14
A, C, B, D, E	0	3	2	8	10	13
A, C, B, D, E, Z	0	3	2	8	10	13

Table 8.1: Dijkstra tabel

```

1  procedure Dijkstras(G: weighted connected simple graph, with ↵
    all weights positive)
2  {G has vertices a = V0, V1, ..... Vn = z and lengths w(Vi, Vj) ↵
    where w(Vi,Vj) = infinity if {Vi, Vj} is not an edge in G}
3  for (i = 1 to n)
4    L(Vi) = infinity
5  L(a) = 0
6  S = NULL
7  { the labels are now initialized so that the label of a is 0 and ↵
    all other labels are infinity, and S is the empty set }
8  while (z does not belong to S)
9    u = a vertex not in S with L(u) minimal
10   S = S U {u}
11   for (all vertices v not in S)
12     if (L(u) + w(u, v) < L(v) then L(v) = L(u) + L(u, v))
13     {this adds a vertex to S with minimal label and updates the ↵
    labels of vertices not in S}
14  return (L(z)) {L(z) = length of a shortest path from a to z}

```

---

**Listing 8.2:** Dijkstras angivet som eksempel i pseudo-kode

## Kravspecifikationer

### 1. Generelt

**Gem og Åben** For at brugeren ikke skal starte forfra ved genstart af programmet, skal der være mulighed for at gemme vejnettet i en fil, og åbne det igen på et senere tidspunkt.

### 2. Brugerflade

**Gitter** Ved indsætning af veje og elementer som lyskryds, vil man indsætte disse i et gitter system, der kan panoreres, forstørres og formindskes. Formålet med gitteret er at kunne opstille vejnettet på en systematisk måde.

**Knudepunkter** Bruges til at forbinde veje.

**Veje** Tegnes mellem knudepunkterne, og har en maksimal hastighed.

**Kryds** Man skal kunne indsætte komplekse elementer som eksempelvis kryds med signaler.

**Vigepligt** Brugeren skal være i stand til at specificere hvilke veje, der har vigepligt i et kryds.

**Huse** Huse indsættes og bruges som bilrejsernes startpunkt, og slutpunkt ved tilbage rejsen.

**Destinationer** Brugeren skal kunne opstille forskellige typer destinationer og indsætte disse i gitteret. Ved simuleringen af vejnettet, vil brugeren så være i stand til at bestemme hvor stor en procentdel af bilisterne der vælger en destination.

**Parkeringspladser** For at billisterne ikke bare parkerer på destinationen, vil der skulle indsættes parkeringspladser. Disse parkeringspladser vil være slutpunktet for rejsen fra billistens hus, hvor billisten søger efter den parkeringsplads der er nærmest destinationen.

### 3. Simulering

**Sammenligning** For at simulering kan bruges til at vurdere et system, skal man være i stand til at sammenligne resultaterne med en anden

simulation. Dette vil foregå ved at brugeren kan opstille særlige veje, der kun bliver medtaget i en af simulationerne, og brugeren vil derefter kunne sammenligne outputtet.

(a) Input

- i. Antallet af køretøjer
- ii. Gennemsnitshastighed for køretøjer
- iii. Destinationsvalg

(b) Output

- i. Procent af rejsetid brugt i kø
- ii. Procent af rejsetid brugt i en hastighed lavere end den ønskede hastighed.

### 9.0.1 Succeskriterier

### 9.0.2 •



## Black Box Test - Unit Test

**Black Box Test** Black box testing er en software metode som man benytter til at teste sit program for interne fejl. Denne metode er den måde de fleste tester deres program, og bliver brugt i størstedelen af det praktiske liv.

Denne metode er kaldt "Black Box", da man behandler den som en sort box, hvor man ikke kender det interne struktur af den software man vil teste. Når så man vil teste programmet, så gør man det fra kunders synspunkt. Når så man tester programmet, så kender kunden ikke til hvordan programmet virker, så han sidder med noget input som han vil putte ind i denne "Black Box", hvor outputtet er noget man forventer der har været igennem en proces i programmet og udarbejdet til noget man kan bruge[1]. Det vigtigste formål med dette er at kontrollere om softwaret arbejder som der forventes af det, altså det opfylder kravene som der er blevet sat og det opfylder kunders forventninger til det. Der er forskellige måder at teste der bliver benyttet i industrien. Hver testing måde har deres egen fordele og ulemper. De forskellige måder er:

- Boundary Value Analysis (BVA)
- Equivalence Class Partitioning
- Decision Table based testing
- Cause-Effect Graphing Technique
- Error Guessing

**Unit Test** En unit er det minste testdel af et program, altså det kan være funktioner, klasser, procedure eller interfaces. Unit testing er en metode man kan benytte når man vil teste hver individuel del af programmet virker og om de er egnede til brug. Unit tests er skrevet og benyttet af programmører, for at være sikker på at ens kode opfylder de krav som er forventet af det.

Formålet med denne test er at splitte programmet op i mindre dele, hvor derefter man tester en efter en at de forskellige dele fungerer optimalt og som de

skal. Det kan være en funktion, som man vil teste, hvor man har nogle input og derefter skulle funktionen have de rigtige output fra funktionen. På den måde kan man håndtere fejl når det forkerte input er givet[2].

Fordelene ved unit testing:

- Problemer/fejl findes tidligt, så det ikke påvirker senere kode.
- Unit testing hjælper med at vedligeholde og nemt kan ændre koden.
- Opdagelse af bugs tidligt, hvilket hjælper med at reducere omkostningerne når man skal fejlrette koden.
- Unit test hjælper med at forenkle debugging processen, så hvis der sker en test fejl, så er det kun de seneste rettelser der skal rettes.

# *11*

## **Implementation**

# 12

## Diskussion

*13*

**Konklusion**

*14*

**Perspektivering**

## Bibliography

- [1] Pshko Aziz. Aalborg kommune teknisk forvaltning, 2016.
- [2] Christopher A. Chung. *Simulation Handbook - A Prictical Approch*. CRC Press LLC, 2004.
- [3] Altair Engineering. About visual solutions, incorporated. <http://www.vissim.com/company.html>, 2016.
- [4] Carsten Broder Hansen. Dtu - forskning. <http://www.transport.dtu.dk/Forskning>, 2015.
- [5] Danmarks Miljøundersøgelser. Altrans - adfærdsmodel for persontrafik, faglig rapport fra dmua nr. 348. [http://www.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_fagrapporter/rapporter/fr348.pdf](http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/fr348.pdf), 2001.
- [6] Danmarks Miljøundersøgelser. Modelanalyser af mobilitet og miljø. slutrapport fra altrans og amor ii, faglig rapport fra dmua nr. 447. [http://www.dmu.dk/1\\_viden/2\\_publikationer/3\\_fagrapporter/rapporter/FR447.pdf](http://www.dmu.dk/1_viden/2_publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR447.pdf), 2003.
- [7] Dwight A Hennessy og David L Wiesenthal. Traffic congestion, driver stress, and driver aggression. [https://www.researchgate.net/profile/Dwight\\_Hennessy/publication/229863510\\_Traffic\\_congestion\\_driver\\_stress\\_and\\_driver\\_aggression/links/0deec53274dd4c9e88000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dwight_Hennessy/publication/229863510_Traffic_congestion_driver_stress_and_driver_aggression/links/0deec53274dd4c9e88000000.pdf), 1999.
- [8] Matthew Barth og Kanok Boriboonsomsin. Traffic congestion and greenhouse gases. <https://escholarship.org/uc/item/3vz7t3db>, 2009.
- [9] Michael Knørr Skov og Karsten Sten Pedersen. Trafikprop. flere veje vil skabe større vækst. [http://www.cowi.dk/menu/tema/infrastruktur-2030/cowi-i-medierne/Documents/Veje%20skaber%20v%C3%A6kst\\_Politiken%20analyse%2024052014.pdf](http://www.cowi.dk/menu/tema/infrastruktur-2030/cowi-i-medierne/Documents/Veje%20skaber%20v%C3%A6kst_Politiken%20analyse%2024052014.pdf), 2014.
- [10] Henrik Papsø. Trafikpropper kan koste menneskeliv. <http://www.tveast.dk/artikler/trafikpropper-kan-koste-menneskeliv>, 2007.

- 
- [11] Introduction to A\*. <http://www.redblobgames.com/pathfinding/a-star/introduction.html>, 2016. Accessed: 06/03/2016.
  - [12] Kenneth H. Rosen. *Discrete Mathematics and its Applications*. McGraw Hill, 7. global edition, 20113.
  - [13] Paul Ross. Traffic dynamics. Technical Report 6, Traffic Systems Division, Federal Highway Administration, August 1988.
  - [14] Danmarks TransportForskning. Trafikmodeller arbejdsnotat til infrastrukturkommissionen notat 3. [http://www.transport.dtu.dk/~media/Institutter/Transport/forskning/publikationer/publikationer%20dtf/2007/arbejdsnotat\\_om\\_trafikmodeller\\_160507.ashx?la=da](http://www.transport.dtu.dk/~media/Institutter/Transport/forskning/publikationer/publikationer%20dtf/2007/arbejdsnotat_om_trafikmodeller_160507.ashx?la=da), 2007.
  - [15] Vejdirektoratet. Længden af offentlige veje. [http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden\\_og\\_data/statistik/vejeneital/1%C3%A6ngdeoffentligeveje/Sider/default.aspx](http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/statistik/vejeneital/1%C3%A6ngdeoffentligeveje/Sider/default.aspx), 2016.
  - [16] Vissim.com. [http://www.vissim.com/downloads/doc/VisSim\\_UGv80.pdf](http://www.vissim.com/downloads/doc/VisSim_UGv80.pdf), 2015. Accessed: 17-03-2016.



*A*

**Appendix**