

Trafikkavvikling med selvkjørende biler i blandet trafikk

Eivind Myklebust Lindseth

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2017

Hovedveileder: Eirin Olaussen Ryeng, IBM

Medveileder: Torbjørn Haugen, Statens Vegvesen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Oppgavens tittel: Trafikkavvikling med selvkjørende biler i blandet trafikk	Dato: 11.06.2017		
	Antall sider (inkl. bilag): 71		
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave
Navn: Stud.techn. Eivind Myklebust Lindseth			
Faglærer/veileder: Eirin Olaussen Ryeng			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Torbjørn Haugen, Statens Vegvesen			

Ekstrakt:

Selvkjørende biler vil sannsynligvis være en del av trafikkbildet i flere land innen noen få år. Vil de bidra til bedre trafikkavvikling i trafikk blandet med konvensjonelle biler? Selvkjørende biler vil benytte adaptiv cruisekontroll eller lignende teknologi for å justere avstanden til bilen foran. Mange av dagens biler med ACC har ulike sikkerhetsinnstillinger for følgetiden som føreren selv kan velge mellom.

Denne oppgaven prøver å svare på hvordan selvkjørende biler vil påvirke trafikkavviklingen i blandet trafikk og hvilken påvirkning ulike sikkerhetsinnstillinger for følgetid vil ha. For å gjøre dette har det blitt gjennomført et kvantitativt feltforsøk med registrering av metningsvolum i et signalregulert kryss. Forsøket ble gjort i reel rushtidstrafikk der fem forsøksbiler med ACC skulle etterligne selvkjørende biler. Halvparten av forsøket ble utført med største sikkerhetsavstand i innstillingene til forsøksbilenes ACC, mens den andre halvparten ble utført med minste sikkerhetsavstand.

Resultatene fra forsøkene viser at forsøkskjøretøyene bidrar til dårligere trafikkavvikling med stor sikkerhetsavstand. For liten sikkerhetsavstand viser resultatene at de ikke bidrar til verken bedre eller dårligere trafikkavvikling.

Stikkord:

1. Selvkjørende biler
2. ACC
3. Autonome kjøretøy
4. Metningsvolum

(sign.)

Forord

Denne rapporten er et resultat av arbeidet med masteroppgaven ved instituttet for Bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige Universitet, NTNU. Arbeidet har foregått over 20 uker i løpet av vårsemesteret 2017 og tilsvarer 30 studiepoeng.

Arbeidet med oppgaven begynte høsten 2016 med prosjektoppgave som var forprosjekt for masteroppgaven. Oppgaven er en rapport fra et feltforsøk med registrering av metningsvolum i et signalregulert kryss.

Takk rettes til hovedveileder Eirin Ryeng og ekstern veileder Torbjørn Haugen for gode råd gjennom hele prosessen. Fra definering av problemstilling, valg av metode og tilbakemeldinger før innlevering. Videre rettes det takk til sjåførene som var med under gjennomføringen av forsøket i oppgaven og til Sixt Bilutleie i Trondheim og BMW-forhandler Sulland for hjelp med biler. Jeg vil også takke Statens Vegvesen for å ha dekket utgifter tilknyttet forsket.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til medstudenter jeg har delt kontor med og til studiegruppa Troll-ing. for et godt sosialt miljø og hjelp underveis.

Trondheim, juni 2017

Eivind Myklebust Lindseth

Sammendrag

Selvkjørende biler vil sannsynligvis være en del av trafikkbildet i flere land innen noen få år. Vil de bidra til bedre trafikkavvikling i trafikk blandet med konvensjonelle biler? Størstedelen av forskning om trafikkavvikling om selvkjørende biler er basert på datasimuleringer og ser ut til å være enig om at i trafikk med kun selvkjørende biler vil trafikkflyten bli bedre og trafikkvolumene vil bli høyere. Det er mer usikkert hvordan påvirkningen vil være i blandet trafikk, som ser ut til å være det mest realistiske scenarioet i nær fremtid.

Selvkjørende biler vil benytte adaptiv cruisekontroll (ACC) eller lignende teknologi for å justere avstanden til bilen foran. Mange av dagens biler med ACC har ulike sikkerhetsinnstillinger for følgetiden som føreren selv kan velge mellom. Hvilken innstilling som velges har betydning for hvordan bilene påvirker trafikkavviklingen.

Denne oppgaven prøver å svare på hvordan selvkjørende biler vil påvirke trafikkavviklingen i blandet trafikk og hvilken påvirkning ulike sikkerhetsinnstillinger for følgetid vil ha. For å gjøre dette har det blitt gjennomført et kvantitativt feltforsøk med registrering av metningsvolum i et signalregulert kryss. Forsøket ble gjort i reel rushtidstrafikk der fem forsøksbiler med ACC skulle etterligne selvkjørende biler. Forsøksbilene kjørte gjennom krysset som en del av trafikkstrømmen og hvor stor andel av strømmen som var forsøksbiler med ACC varierte. Halvparten av forsøket ble utført med største sikkerhetsavstand i innstillingene til forsøksbilenes ACC, mens den andre halvparten ble utført med minste sikkerhetsavstand.

Resultatene fra forsøkene viser at forsøkskjøretøyene bidrar til dårligere trafikkavvikling med stor sikkerhetsavstand. For liten sikkerhetsavstand viser resultatene at de ikke bidrar til verken bedre eller dårligere trafikkavvikling.

Sensorene og programvaren i forsøkskjøretøyene er ikke like avanserte som i selvkjørende biler. Med teknologisk utvikling kan sikkerhetsmarginene justeres ned, og dermed vil trolig selvkjørende biler bidra til bedre trafikkavvikling enn bilene som skulle etterligne dem i forsøket. Likevel ser det ikke ut til at bedre trafikkavvikling er et fokusområde for bilprodusentene, noe som gjør at resultatene for forsøket kan være realistiske. Det er vanskelig å forutsi hvordan utviklingen videre blir for selvkjørende biler. Hvor mye det fokuseres på trafikkavvikling i denne utviklingen kan være det som avgjør om selvkjørende biler vil bidra til bedre eller dårligere trafikkavvikling i blandet trafikk.

Abstract

Self-driving cars will probably be a part of normal traffic in most countries within few years. Will their introduction contribute to better traffic flow when mixed into traffic with conventional vehicles? Researchers seems to agree that traffic with autonomous vehicles only will flow better, and that traffic volumes will be higher than today. It is discussed how the impact will be in mixed traffic, which seems to be the most realistic scenario for near future.

Self-driving cars will use adaptive cruise control (ACC) or similar technology to adjust headway. Most of cars with ACC today have different safety settings for headway that the driver can choose from. Which option is chosen affects how the cars affect traffic flow.

This thesis tries to answer how self-driving cars will affect traffic flow in mixed traffic and what impact different safety settings for headway will have. This have been done with a quantitative field study that measure saturation flow rate in a signalized intersection. The study was done in a real-life traffic situation, where five test cars with ACC were to mimic self-driving cars. The test cars drove through the intersection as part of the normal traffic. The share of test cars with ACC varied. One half of the study where done with the ACC-setting for maximum safety distance, while the other half were done with the minimum safety distance.

The results of the study show that for maximum safety distance the test cars contribute to lower saturation flow rate. For minimum safety distance the results show no positive or negative contribution to the saturation flow rate.

The sensors and software in the test vehicles are not as advanced as in self-driving cars. With technological development, safety margins can be adjusted down, and therefore self-driving cars will contribute to better traffic flow than the cars that would imitate them in the experiment. Nevertheless, better traffic flow does not seem to be a focus area for car manufacturers, which means that the results of the experiment can be realistic. It is hard to predict how further development for self-driving cars will be. The prioritising of traffic flow in this development may be what determines whether self-driving cars will contribute to better or worse traffic flow in mixed traffic.

Innhold

Forord.....	i
Sammendrag.....	iii
Abstract.....	v
Innhold.....	vii
Figurliste.....	ix
Tabelliste.....	xi
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemstilling og avgrensning.....	2
1.3 Oppbygning.....	3
2 Teori.....	5
2.1 Oversikt.....	5
2.2 Metode for litteratursøk.....	5
2.3 ACC.....	5
2.4 Selvkjørende biler.....	8
2.5 Teknologier.....	10
2.5.1 Kamera.....	10
2.5.2 Lidar.....	11
2.5.3 Radar og ultralyd.....	11
2.5.4 Kart.....	11
2.5.5 Programvare.....	12
2.6 Metningsvolum.....	12
3 Metode.....	15
3.1 Generelt.....	15
3.2 Planlegging og gjennomføring.....	15
3.3 Sted og tid.....	17
3.4 Utstyr.....	18
3.5 Beskrivelse av forsøk.....	20
3.7 Behandling av data.....	22
3.8 Styrker og svakheter.....	22
4 Resultater.....	23
4.1 Oversikt og referanse.....	23

4.2 Stor sikkerhetsavstand	25
4.3 Liten sikkerhetsavstand	27
4.4 Standardavvik	29
4.5 Hypotesetest	30
4.6 Antall luker i hvert omløp	30
4.7 Egne observasjoner	31
5 Diskusjon	35
6 Konklusjon	39
7 Videre arbeid	41
Bibliografi	43
Vedlegg	47
Vedlegg 1 – Datasett for stor sikkerhetsavstand	49
Vedlegg 2 – Datasett for liten sikkerhetsavstand	51
Vedlegg 3 – Datasett for referanse	53

Figurliste

Figur 1: Illustrasjon av Mitsubishi sitt Preview Distance Control system (Mitsubishi Motors, n.d.).	6
Figur 2: Google har siden 2008 satset på prosjektet Waymo, som skal utvikle selvkjørende biler (Google, 2017).	9
Figur 3: Teslas autopilot bruker ulike sensorer (Tesla Motors, 2016)	10
Figur 4: Fordeling av trafikkvolum over grøntida i et omløp (Haugen, 2016).	13
Figur 5: Grøntiden deles inn i tre intervaller.	14
Figur 6: Kartutsnitt viser hvor forsøket ble gjennomført. Krysset som er ringet rundt ble brukt. Pilen i ringen viser hvilken retning strømmen som ble observert kjørte i.	17
Figur 7: Viser ruta som ble kjørt. 1 – samlingspunkt. 2 – krysset. 3 – snu i rundkjøring for å komme tilbake til 1.	18
Figur 8: Bilde fra video som ble brukt til registrering.	19
Figur 9: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler med stor sikkerhetsavstand. Den oransje linja er referanseverdien.	25
Figur 10: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler med stor sikkerhetsavstand med lineær trendlinje.	26
Figur 11: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler stor sikkerhetsavstand med lineær trendlinje som tvinges gjennom punktet (0,1476), referanseverdien.	26
Figur 12: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler med liten sikkerhetsavstand. Den oransje linja er referanseverdien.	27
Figur 13: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler med liten sikkerhetsavstand med lineær trendlinje.	28
Figur 14: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler med liten sikkerhetsavstand med lineær trendlinje som tvinges gjennom punktet (0,1476), referanseverdien.	29
Figur 15: Plott med metningsvolum mot antall luker som inngår i resultatet med lineær trendlinje.	31
Figur 16: Transport av løsmasser gjennom krysset.	33

Tabelliste

Tabell 1: Kjøretøy klassifiseres etter graden av autonomi (Administration and others, 2013)	8
Tabell 2: Oversikt over bilene som ble brukt i forsøket.	19
Tabell 3: Oversikt over resultatene. De ulike datasettene; referansesettet, stor sikkerhetsavstand og liten sikkerhetsavstand. I tillegg er settene med ACC i strømmen delt opp i to etter andel biler med ACC i strømmen. Her vises antall observasjoner, gjennomsnittlig metningsvolum, standardavvik, minimumsverdi, maksimumsverdi og p-verdi fra Student t-test for hvert datasett.....	24

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Det har blitt snakket om selvkjørende biler i mange år, men det har blitt sett på som en utopisk transportløsning som ligger langt frem i tid. Nå ser det ut som selvkjørende biler ikke er langt unna. De ledene aktørene, som Tesla og Google, hevder at teknologien er klar og at det kun er lovverket som hindrer deres biler å kjøre fullt autonomt på vegene.

De fleste nye biler i dag er til en viss grad autonome. For å skille de ulike typene autonome kjøretøy har National Highway Traffic Safety Administration delt inn i fire nivåer av autonomi (Administration and others, 2013). Nivå 1 er biler der enkelte funksjoner er automatisert, som elektronisk stabilitetskontroll eller automatisk oppbremsing. Ved nivå 2 kan minst to automatiserte funksjoner operere samtidig, som adaptiv cruisekontroll og kjørefeltassistanse. Biler på nivå 3 kan kjøre selv under visse forhold, men sier ifra når føreren må overta kontrollen. Ved nivå 4 utfører kjøretøyet alle handlinger på egenhånd. I tillegg har de definert vanlige, førerstyrte kjøretøy som nivå null. I tillegg til denne nivåinndelingen skilles det på om kjøretøyene kommuniserer eller ikke. Kommunikasjon mellom ulike kjøretøy og mellom kjøretøy og infrastruktur kalles kooperativ ITS (C-ITS). ITS er en forkortelse for intelligente transport systemer og er et vidt begrep som kan brukes om all intelligent teknologi innen transport, mens C-ITS kun handler om kjøretøy. C-ITS er et satsningsområde i Europa, og det planlegges bred kommersiell utrulling av C-ITS i EU fra 2019 (Samferdselsdepartementet, 2016). Et system med selvkjørende biler vil antageligvis ikke kunne utnytte sitt potensiale før bilene kan kommunisere ved hjelp av C-ITS.

Selvkjørende biler med nivå 3 av autonomi har blitt testet på vegene i California i USA (Schoettle and Sivak, 2015) og alle nye biler fra Tesla tilbys med autopilot-funksjon (Tesla, 2016). En spådom for fremtiden er at alle bilene på vegen er selvkjørende, noe som trolig vil gi både god trafiksikkerhet og effektiv trafikkavvikling fordi de selvkjørende bilene vil kunne kommunisere med hverandre og infrastrukturen ved hjelp av C-ITS. Dette scenarioet der alle bilene er selvkjørende vil trolig ikke være tilfellet på lang tid, men det kan være kort tid til selvkjørende biler blir en del av trafikkbildet. I trafikk som er en blanding av konvensjonelle biler og selvkjørende biler, blandet trafikk, er effektene mer usikre.

I dag kan mange nyere biler leveres med førerstøttesystemet adaptiv cruisekontroll (ACC). Dette er en avansert versjon av ordinær cruisekontroll der bilen selv følger bilen foran om den

kjører saktere enn valgt hastighet. Teslas autopilot bruker deres versjon av ACC for å justere fart (Tesla, 2016) og trolig vil selvkjørende biler bruke samme teknologi. Teslas ACC har sju ulike innstillinger for sikkerhetsavstand til bilen foran (Jen, 2015). Det er brukeren som velger hvilken innstilling som skal brukes og de ulike innstillingene gir ulik effekt på trafikkavviklingen. Flere andre bilprodusenter, som Mercedes (Says, 2015), Audi (Audi, 2016) og Volvo (Volvo, 2016) har også ACC der føreren velger hvilken avstand bilen skal holde til bilen foran.

Et viktig begrep innen trafikkteori er tidsluke (headway), som defineres som avstanden i tid fra en bil passerer et snitt av vegen til neste bil passerer dette snittet (Haight, 1963). I denne oppgaven vil bakerste del av bilen brukes som referanse ved beregning av tidsluker. Antall biler som passerer gjennom et snitt per tid har direkte sammenheng med gjennomsnittet av tidslukene mellom bilene. Hvor stor avstand selvkjørende biler vil holde til kjøretøyet foran vil derfor være viktig for hvilken effekt de vil ha på trafikkavviklingen.

Når man tillater selvkjørende biler på vegene vil de til å begynne med være en del av blandet trafikk der størstedelen av bilene er konvensjonelle biler. Dermed vil antakelig ikke eventuell C-ITS-teknologi kunne kommunisere med bilene rundt. Da må bilen ta avgjørelser basert på informasjon fra sensorene i bilen. Størstedelen av litteratur om hvordan selvkjørende biler vil påvirke trafikkavviklingen er basert på datasimuleringer, noe som også er tilfellet i litteratur om ACC. Dette gjelder både for blandet trafikk og for scenarioer med kun selvkjørende biler. Det finnes ikke mye litteratur på trafikkavvikling med selvkjørende biler som baserer seg på feltforsøk og trafikkregistreringer. Derfor vil det i denne oppgaven bli sett på trafikkavvikling med selvkjørende biler basert på feltforsøk med biler med ACC.

1.2 Problemstilling og avgrensning

Problemstillingen for oppgaven er:

«Hvordan vil selvkjørende biler påvirke trafikkavviklingen i blandet trafikk og hvilken påvirkning har ulike sikkerhetsinnstillinger for følgetid?»

For å svare på problemstillingen har det blitt utført feltforsøk med registreringer av trafikk. Forsøket har blitt utført i et signalregulert kryss og metningsvolumet har blitt registrert (mer om metningsvolum i kapittel 2.6). I forsøket har biler med ACC blitt brukt for å etterligne selvkjørende biler.

Nullhypotese:

«Metningsvolumet i en normal trafikkstrøm vil være likt med metningsvolumet i en trafikkstrøm der en del av kjøretøyene er selvkjørende.»

Som mål på trafikkavvikling brukes metningsvolum i forsøket. Dette er bare en av mange måter å måle trafikkavvikling på, og måler bare en liten del av trafikkavviklingen. Det blir derfor feil å konkludere med at trafikkavviklingen blir bedre eller dårligere selv om det målte metningsvolumet blir det.

Forsøket oppgaven beskriver ser bort ifra C-ITS. Det er forventet at trafikkavviklingen med autonome kjøretøy vil bedres med C-ITS, men hvor stor effekten vil være i blandet trafikk er usikkert.

Interaksjonen mellom førere og autonome kjøretøy, som ved flaskehals, vil være viktig for trafikkavviklingen i blandet trafikk, men tas ikke med i denne oppgaven.

1.3 Oppbygning

I kapittel 2 blir det teoretiske grunnlaget for oppgaven presentert. Her forklares selvkjørende biler, ACC, relevant teknologi, samt metoder for å beregne metningsvolum i signalregulert kryss. For å forklare ytterligere om hvert av disse feltene vil det bli referert til relevant litteratur og hva disse har kommet frem til.

Kapittel 3 beskriver forsøket som ble utført i forbindelse med oppgaven. Her beskrives prosessen med forsøkene, plassering og gjennomføring.

Det fjerde kapittelet tar for seg resultatene fra forsøkene. Resultatene er presentert med figurer og grafer for å få et enkelt inntrykk. Datasettene som utgjør grunnlaget for figurene og grafene er vist i vedlegg 1, 2 og 3.

De tre siste kapitlene inneholder drøfting av ulike momenter rundt oppgaven. Her diskuteres både resultatene og generelle observasjoner i forbindelse med oppgaven. Her vil også en konklusjon trekkes og det pekes på hvordan arbeidet kan videreføres.

2 Teori

2.1 Oversikt

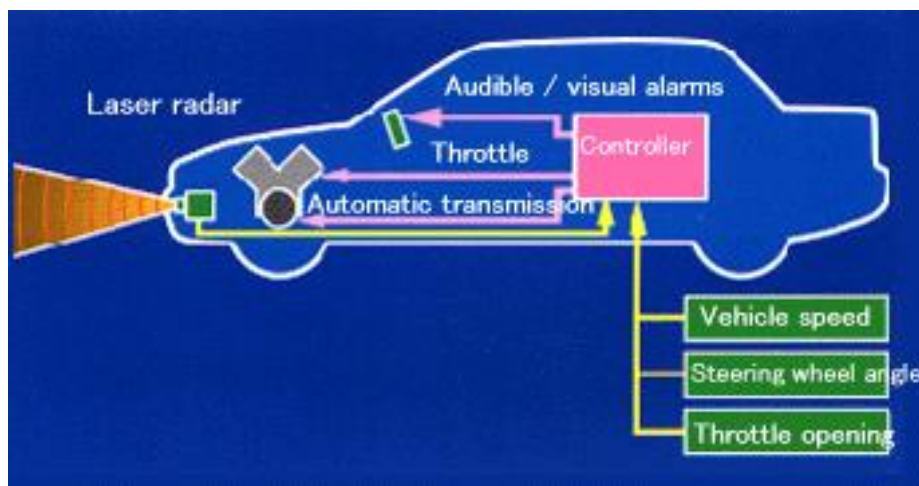
Dette kapitlet inneholder beskrivelse teori som er relevant for problemstillingen i denne oppgaven. Det tar for seg eksisterende litteratur og gir en kort innføring i relevante konsepter og hvordan de fungerer. Først vil det beskrives hvordan litteratur er funnet. Deretter tar det for seg temaene ACC, selvkjørende biler, teknologier og metningsvolum.

2.2 Metode for litteratursøk

Litteraturen er for det meste funnet via NTNUs litteratursøkemotor, ORIA, og Google Scholar. Disse søkemotorene har blitt brukt om hverandre og i omtrent like stor grad. Søkord som har blitt brukt enten alene eller i kombinasjon er «ACC», «Adaptive cruise control», «Autonomous vehicles», «Autonomuos cars», «Traffic flow», «Saturation flow», «Congestion», «Headway», «Time gap», og «Field study». Artikler har også blitt funnet fra referanselistene til andre artikler. En av artiklene som har blitt brukt i litteratursøket ble tilsendt fra veileder (Schoettle and Sivak, 2015).

2.3 ACC

Adaptiv cruise kontroll er et førerstøttesystem som først ble utviklet på 90-tallet. Blant de første til å innføre dette systemet var Mitsubishi Motors som i 1995 lanserte et system som ble kalt Preview Distance Control (Mitsubishi Motors, n.d.). Dette var basert på lasersensorer og justerte avstanden til detekterte objekter. Systemet var ikke tilkoblet bilens bremses, så avstand ble kun justert ved hjelp av gassregulering og nedgiring. Illustrasjon av systemet i figur 1. Senere har de fleste bilprodusenter laget sitt eget system for dette. Systemene kan være bygd opp på ulik måte og bruke ulike typer sensorer. Dette fører til ulik prestasjon og ulike avstander til forankjørende bil. Likevel bruker vi fellesbetegnelsen ACC for alle sammen.



Figur 1: Illustrasjon av Mitsubishi sitt Preview Distance Control system (Mitsubishi Motors, n.d.).

Når man skal studere ACC vil det være naturlig å se på hensikten med ACC fra bilprodusentenes perspektiv. Det virker som om bilprodusentene, de som prøver å selge ACC, ikke fokuserer på trafikkavvikling, men heller på enklere kjøreopplevelse, drivstofføkonomi og sikkerhet. Manualen til Volvo V40 for 2015 sier at bilens ACC hjelper med å holde en sikker avstand til bilen foran og at den bidrar til en mer avslappet kjøreopplevelse på lengre kjøreturer (Volvo, 2014). Audi skriver på sin nettside at ACC bidrar til bedre drivstofføkonomi ved å minimere akselerasjoner og nedbremsinger, men skriver ingenting om trafikkavvikling (Audi, 2016). Volkswagen (Volkswagen, 2013) sier i sin video at ACC bidrar til mindre stressende og mer komfortabel kjøring. Ingen av dem sier noe om hvor effektivt deres ACC vil kjøre med tanke på trafikkavvikling.

Det har blitt gjort en rekke simuleringer med trafikk som er en blanding av manuelle biler og biler med ACC. Resultatene viser stort sett at trafikkavviklingen blir bedre om man legger inn biler med ACC i simuleringene. Treiber og Helbing (Treiber and Helbing, 2001) simulerte detaljert en del av Autobahn i Tyskland og kom frem til at om 20% av bilene var utstyrt med ACC ville man nesten fjerne all kø. Med 10% ville tapt tid på grunn av kø være redusert med 80%. Bose og Ioannou (Bose and Ioannou, 2003) sine simuleringer gir kun en minimal nedgang i tapt tid ved blandingstrafikk der halvparten av bilene er delvis automatisert og halvparten er normale biler, men i stop-kjør situasjoner viser de at delvis automatiserte biler gir mindre tapt tid enn konvensjonelle biler. Kikuchi, Uno, og Tanaka (Kikuchi et al., 2003) fant i sine simuleringer at biler med ACC bidrar til jevnere flyt i trafikken i en køsituasjon. Vander Werf (Vander Werf et al., 2002) simulerte trafikk på motorveg og fant kun marginal økning i

kapasiteten med ACC. Davies (Davis, 2004) skriver med grunnlag i simuleringer at ACC gjør at det skal mer til før kødannelse oppstår. Det har også blitt gjennomført simuleringer med kjøretøy med ACC som kan kommunisere med hverandre ved hjelp av C-ITS (Van Arem et al., 2003) som gir bedre trafikkavvikling enn for kun ACC. Varetos (Varotto et al., 2015) simuleringer sier seg enig med tidligere studier i at ACC har en positiv effekt på trafikkavviklingen. Makromodeller har blitt lagd for å simulere ACC og ACC med C-ITS der resultatene viser at avviklingen blir noe bedre med ACC og en del bedre med ACC med C-ITS (Delis et al., 2015). Ntousakis (Ntousakis et al., 2015) skriver om modellering og simulering av ACC og konkluderer med at det er vanskelig å si om trafikkavviklingen blir bedre med ACC fordi det kun avhenger av hvilken verdi for følgetid man gir bilene med ACC i modellen sammenlignet med andre biler. Om følgetiden settes lavere blir avviklingen bedre, men om den settes høyere blir avviklingen dårligere.

Gorter (Gorter, 2015) gjennomførte et praktisk forsøk der åtte forsøkspersoner kjørte med ACC på veg i til sammen omtrent 48 timer mens kameraer registrerte tidsluker til bilene rundt. Resultatet viser at bilene med ACC bidrar til mindre variasjon i hastigheter i trafikkstrømmen fordi de kjørte jevnere enn bilene rundt, men tidsluken til bilen foran var langt større enn gjennomsnittet. De skriver også at ved å utvikle teknologien så den kan få med seg mer enn bilen foran vil sikkerhetsavstanden kunne reduseres. Større tidsluker bryter med resultatene fra simuleringene.

Det er sannsynlig at det har blitt gjennomført studier av effekten de ulike innstillingene for følgetid i biler med ACC har på trafikkavviklingen, men har ikke funnet noen artikler som handler om dette temaet.

2.4 Selvkjørende biler

Det finnes ulike nivåer av kjøretøyautonomi, og for å kunne skille dette har amerikanske myndigheter, ved The National Highway Traffic Safety Administration, delt inn i fire nivåer. Dette har blitt standard når man snakker om grad av autonomi i kjøretøy. Oversikten over de ulike nivåene kan sees i tabell 1.

Tabell 1: Kjøretøy klassifiseres etter graden av autonomi (Administration and others, 2013)

Nivå	Beskrivelse
0	Føreren har alltid full kontroll over kjøretøyet.
1	Enkelte funksjoner er automatisert, som elektronisk stabilitetskontroll og automatisk oppbremsing.
2	Minst to automatiserte funksjoner kan operere samtidig, som adaptiv cruisekontroll i kombinasjon med kjørefelt-assistanse.
3	Under enkelte forhold kan kjøretøyet kjøre på egenhånd. Kjøretøyet vil si ifra når det kreves at føreren tar kontrollen tilbake.
4	Kjøretøyet utfører alle handlinger på egenhånd.

De fleste nye biler i dag ligger på nivå en eller to. Noen funksjoner er automatisert mens andre kan føreren skru av eller på etter eget ønske. Selv om selvkjørende biler har kommet langt, og antageligvis ikke er så langt unna, har ingen bilprodusenter masseprodusert biler som er høyere en nivå 2 enda. Tesla sin autopilotfunksjon er en kombinasjon av «Lane following»-teknologi og ACC, noe som gjør at bilen kjører av seg selv, men ikke klarer å gjennomføre en hel kjøretur på egenhånd. Det er også føreren som er ansvarlig for alt som skjer under kjøring, så om autopilotfunksjonen er innblandet i en ulykke er føreren like ansvarlig som om autopiloten ikke var skrudd på.

Flere selskaper har utviklet prototyper på selvkjørende biler. Google har hatt et prosjekt ved navn Waymo gående siden 2008 (Google, 2017). Prosjektet prøver å lage en selvkjørende bil på nivå fire. Til nå har googles prototyper kjørt over 1,5 millioner km med nivå tre. Google har laget prototyper hvor ratt og pedaler er fjernet og en lidar-sensor (se kapittel 2.5.2 for beskrivelse av lidar) er plassert på taket for optimal sikt. Bilen bruker også GPS, kart, kameraer, radar og laser for å kunne kjøre på egenhånd. De siste prototypene beveger seg over til nivå fire, men disse bilene kan ikke masseproduseres enda på grunn av dyr finmotorikk i flere av sensorene, og har ikke lov til å kjøre på norske veier. Bilde av bilen i figur 2.



Figur 2: Google har siden 2008 satset på prosjektet Waymo, som skal utvikle selvkjørende biler (Google, 2017)

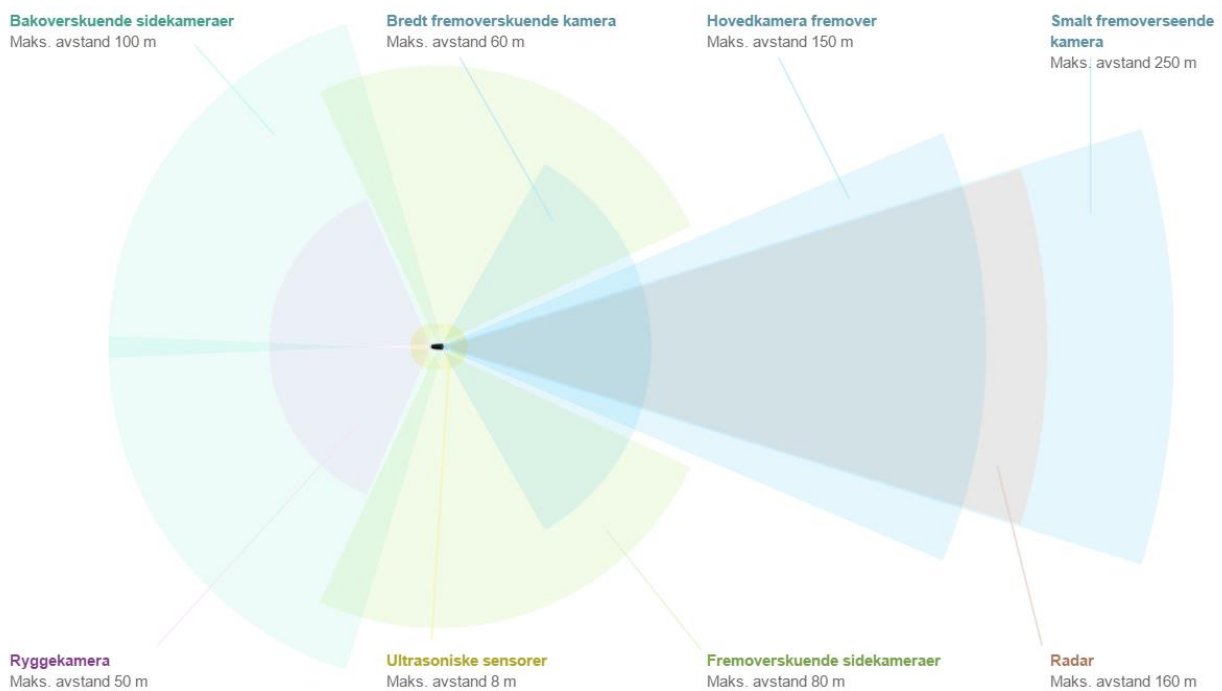
Litteratur funnet om trafikkavvikling med selvkjørende biler viser stort sett at effektiviteten øker. Det meste er simuleringer og ligner på resultatene fra simuleringer med ACC. Simulering gjort av Talebpour og Mahmassani (2016) viser de samme effektene for selvkjørende biler som tidligere har blitt vist i simuleringer for ACC. Det fokuseres også på at trafikkavviklingen blir bedre om C-ITS inkluderes. Olia (Olia et al., 2015) gjennomførte simuleringer av selvkjørende biler både i en egen fil med C-ITS og i blandet trafikk. Modellen ble også testet i et enkelt case-studie på en trefelts motorveg. Resultatet ble trafikkvolum på 4400 biler i timen i den egne fila for selvkjørende biler. Dette er mye høyere enn normale trafikkvolum for konvensjonelle biler som sjelden er høyere enn 1800 biler i timen. Trafikkvolumet for blandet trafikk var noe høyere enn normal trafikk, men forskjellen var liten. Karpilow og Winston (Karpilow and Winston, 2016) skriver om hvilke økonomiske effekter selvkjørende biler vil ha for samfunnet som følge av mindre kø. De mener at det vil ha en stor betydning for økonomisk vekst i California, som var området de så på. Grunnen til dette var mindre tapt tid på grunn av bedre trafikkavvikling.

Bilprodusentene ønsker ikke å dele all informasjon om sine systemer og teknologi. For å finne ut hvordan systemene i en Tesla Model S og en Tesla Model X virker gjennomførte Ingle og Phute (2016) en gjennomgang av systemene. De skriver blant annet om hvordan en ny Tesla gjenkjenner og stedfester andre kjøretøy. Teslas TACC, som brukes i biler som leveres med autopilot, fremstår som en avansert versjon av vanlig ACC. I artikkelen diskuteres også sikkerhet. De referer til en nettside som hevder at Teslas systemer har en farlig blindsoner (Torchinsky, 2016). Grunnlegger av Tesla, Elon Musk, hevder at Teslas autopilot versjon 8 potensielt vil være tre ganger så sikkert som manuell kjøring (Teknisk Ukeblad, 2016). Det kommer rett etter en dødsulykke forårsaket av en feil gjort av autopiloten i en Tesla (Yadron and Tynan, 2016). Schoettle og Sivak (Schoettle and Sivak, 2015) finner i sin analyse av

ulykkesdata for selvkjørende biler med nivå 3 av autonomi, som har blitt testet på vegene i California, at selvkjørende biler var involvert i flere ulykker per distanse kjørt enn manuelle biler, men de autonome bilene var ikke skyld i noen av ulykkene.

2.5 Teknologier

For at bilen skal få nok informasjon til å kunne kjøre på egenhånd trengs det en del ulike typer sensorer. Disse sensorene prøver sammen å skape et bilde av alt som foregår rundt bilen. Dette oppdateres kontinuerlig så bilen hele tiden skal kunne reagere på omgivelsene. Disse dataene tolkes av en datamaskin som basert på observasjonene avgjør om bilen skal akselerere, bremse eller svinge. Figur 3 viser hvilke sensorer som brukes i en Tesla med autopilot-funksjon.



Figur 3: Teslas autopilot bruker ulike sensorer (Tesla Motors, 2016)

2.5.1 Kamera

Kameraer er kanskje den viktigste av sensorene for dagens teknologi. Tesla baserer sin autopilot på åtte ulike kameraer som skal gi 360 graders sikt rundt bilen (se figur 3). Sammenlignet med de andre sensorene som brukes i utviklingen av selvkjørende biler er kameraene billige. Det gjør at de prioriteres i masseproduserte biler, som for eksempel Teslas modeller. De fleste ACC

systemer bruker kun kamera som sensor for å justere avstanden til kjøretøyet foran. For å kunne bruke kameraene må en datamaskin tolke bildene. Utviklingen i bildegjenkjenningsteknologi er like viktig som utviklingen av selve kameraene. Her har det vært stor fremgang de siste årene.

2.5.2 Lidar

Google sin selvkjørende bil har en roterende 360 graders sensor på taket (se figur 2). Det er en lidar (light detection and ranging) som brukes til å måle avstanden til alle fysiske objekter i nærheten av bilen. Den sender ut lys og måler refleksjonen av lyset og hvor lang tid dette tar. På den måten kan den danne et tredimensjonalt bilde av omgivelsene som inneholder avstanden til alle objekter. I ulike prototyper av selvkjørende biler som testes i dag er det vanlig å ha en roterende Lidar på taket, men dette er finmotorikk som ifølge Wei og hans samarbeidspartnere antagelig blir for dyrt til å masseproduseres (Wei et al., 2013). De har plassert flere mindre lidar-sensorer rundt en bil som til sammen skal gi et tilsvarende bilde som en roterende lidar på taket vil gi, men dette vil bli billigere å masseprodusere. Fremtidens selvkjørende biler vil antagelig bruke lidar-teknologi, om det blir på den ene eller andre måten.

2.5.3 Radar og ultralyd

Sensorer med radar og ultralyd brukes også. Disse fungerer omtrent som lidar-teknologien. Radiobølger eller ultralyd sendes ut og ekkoet måles. Disse brukes også til å måle avstand til objekter rundt bilen, men har mindre rekkevidde enn lidar fordi bølgene ikke beveger seg like raskt som lyset i en lidar. Fordelen med radar og ultralyd er at det fungerer i alle værforhold, selv når en sjåfør ikke ville hatt noe sikt. Tesla har utstyrt sine modeller med ultralydsensorer rundt hele bilen. Disse har omtrent fem meters rekkevidde (Tesla Motors, 2016).

2.5.4 Kart

For en selvkjørende bil holder det ikke med vanlig kart. Ubers selvkjørende biler som de tester i Pittsburgh i USA har spesiallagede kart over området de kjører i (Uber, 2017). Disse kartene er svært detaljerte, og til tross for alle sensorene i bilene klarer de ikke å kjøre selv utenfor området kartene dekker. Kartene kobles opp mot GPS for navigasjon. GPS-signalene kan være dårlige, noe som gjør at de må komplimenteres med andre sensorer som gyroskop, høyde- og hastighetsmåler.

2.5.5 Programvare

Avanserte sensorer er ikke nok, for at bilene skal ha noen grad av autonomi trenger den programvare som tar inn data fra sensorene, tolker disse og handler deretter. Med økt grad av autonomi kreves det mer av programvaren. I et autonomt kjøretøy må programvaren kunne forutse situasjoner som er i ferd med å oppstå, som for eksempel at en fotgjenger krysser vegen foran bilen. Mange av avgjørelsene man tar når man kjører bil er vurderinger som gjør at man må bryte trafikkreglene. Som for eksempel å krysse heltrukken sperrelinje om det er en hindring foran deg i vegbanen. Programvaren i et autonomt kjøretøy må kunne ta disse vurderingene. Det har blitt snakket om etiske dilemmaer i forbindelse med programmering av selvkjørende biler, men det vil ikke bli diskutert i denne oppgaven.

2.6 Metningsvolum

I denne oppgaven er det gjennomført forsøk for å måle trafikkavviklingen. Det forsøket måler er metningsvolum, som er et mål på trafikkavvikling i signalregulerte kryss. Metningsvolum er definert som det maksimale trafikkvolumet som kan passere gjennom et snitt av vegen i løpet av effektiv grøntid i et signalregulert kryss (Arasan and Vedagiri, 2006).

Metningsvolum er et spesialtilfelle av trafikkvolum, som er en grunnleggende enhet innenfor trafikkavvikling. Trafikkvolum defineres som antall biler som kan passere gjennom et snitt av vegen per time og regnes ut ved å dividere antall sekunder per time med gjennomsnittlig tidsluke [1].

$$q = \frac{3600}{\bar{t}}$$

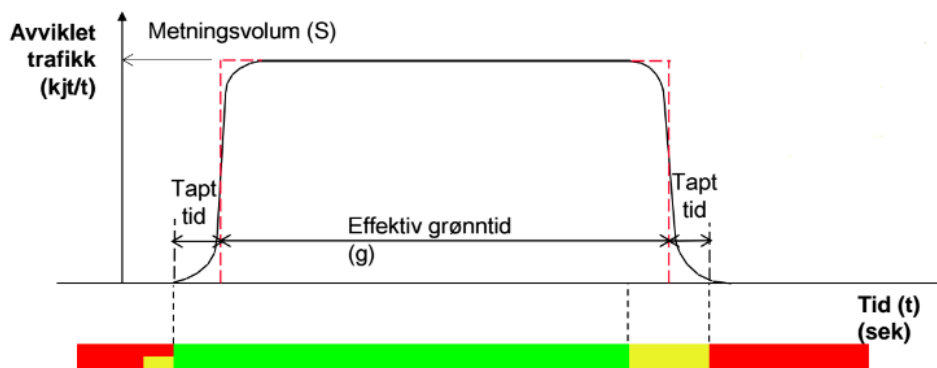
[1] Formel for trafikkvolum. q er trafikkvolum og \bar{t} er gjennomsnittlig tidsluke.

I en mettet trafikkstrøm uten kødannelse vil metningsvolumet være det samme som trafikkvolumet. I tradisjonell formel for utregning av metningsvolum er da gjennomsnittlig tidsluke byttet ut med gjennomsnittlig tidsluke i mettet strøm, t_s , som vist formel [2].

$$S = \frac{3600}{\bar{t}_s}$$

[2] *Generell formel for metningsvolum. S er metningsvolum og \bar{t}_s er gjennomsnittlig tidsluke i mettet strøm.*

I et signalregulert kryss blir ofte stopplinja brukt som referanse ved utregning av tidsluker og metningsvolum. I en trafikkstrøm gjennom krysset vil bilene lenger bak ha fått større fart innen de når stopplinja enn bilene som står lengst frem. Det gjør at tidsluken for de første bilene som kjører ut fra krysset er større enn gjennomsnittet. Tidslukene til disse bilene inngår ikke i det man definerer som metningsvolumet, S, men brukes til å regne ut tapt tid (Se figur 4). Vanlige verdier for metningsvolum er 1700-1900 kjøretøy per time for en trafikkstrøm som kjører rett frem, 1600-1800 kjøretøy per time for en trafikkstrøm som svinger til høyre og 1500-1700 kjøretøy per time for en trafikkstrøm som svinger til venstre (Haugen, 2016).

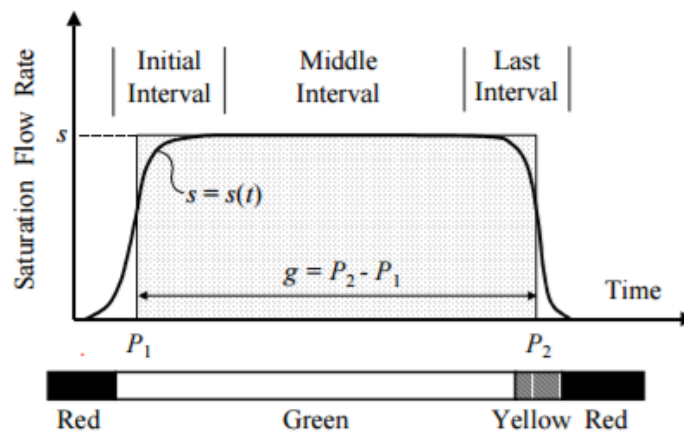


Figur 4: Fordeling av trafikkvolum over grøntida i et omløp (Haugen, 2016).

Det finnes ulike måter å finne metningsvolumet i et signalregulert kryss. Den enkleste og mest brukte er «Headway method» beskrevet av (Greenshields, B.D et al., 1947). Det går ut på å estimere gjennomsnittlig tidsluke i en strøm når den passerer stopplinja. De første bilene er utelatt fra beregningen. Johannesen og Skjetne (1979) har beskrevet metoden og hvordan den kan utføres for norske forhold. De foreslår å utelate de fire første tidslukene fra beregningene, starte en klokke i det bakerste del av bil nummer fem passerer stopplinja og stoppe den når siste bil som del av mettet strøm passerer. Hva som er mettet strøm kan observatør vurdere underveis i forsøket, og velger hvilken bil som er siste i mettet strøm, bil n, og stopper klokken idet den

passerer stopplinja. Med tiden og antall biler finner man gjennomsnittlig tidsluke i mettet strøm som inngår i den generelle formelen for metningsvolum [2].

En annen metode er «TRL-metoden» presentert av (Transport and Road Research Laboratory, 1963) der grøntiden blir delt inn i tre intervaller. Metningsvolumet blir regnet ut ved å se på antall biler i «middle interval» (se figur 5) og tiden dette intervallet tar. Metoden ligner på «Headway method», men bruker kun omløp der hele strømmen er mettet og ser da kun på biler i midtre del av strømmen.



Figur 5: Grøntiden deles inn i tre intervaller.

(Luo et al., 2017) lanserer en mer avansert versjon av Headway method som de mener gir mer riktige resultat. Det gjøres ved å luke ut alle ekstremverdier ved beregning av metningsvolum.

(Tarko and Tracz, 2000) skriver at tunge kjøretøy påvirker metningsvolum negativt både ved selv å ha lengre tidsluker enn gjennomsnittet og ved at bilene bak vil holde lenger avstand enn de ville gjort til en personbil.

3 Metode

3.1 Generelt

Dette kapittelet beskriver metoden som ble brukt under forsøket og hvilke andre metoder som ble vurdert brukt. Forsøket er kvantitative registreringer i et signalregulert kryss. Som mål på trafikkavviklingen brukes metningsvolum for trafikkstrømmen som kjører rett frem i et omløp av gangen. Biler med ACC skal i forsøket etterligne selvkjørende biler. Oppgavens nullhypotese vil bli testet for to ulike sikkerhetsinnstillinger for følgetid, den største og den minste sikkerhetsinnstillingen.

3.2 Planlegging og gjennomføring

Planen var originalt å ha to ulike forsøk, det ene forsøket skulle se på metningsvolum og gjennomføres på lukket bane på Lånke i Stjørdal. Det andre skulle se på gjennomsnittlig tidsluke over en strekning og gjennomføres på landeveg i utkanten av Trondheim. For begge disse forsøkene ville alle bilene som inngikk være kjørt av egne sjåførere. Det var også planlagt å bruke GPS-enheter til å loggføre posisjonen til alle de involverte kjøretøyene. I forsøket med metningsvolum skulle det registreres metningsvolum med ulik andel biler med ACC i trafikkstrømmen. Her kunne man ha variert andelen etter eget ønske. Det hadde vært en utfordring å få de konvensjonelle bilene i forsøket til å representere en gjennomsnittlig bil fordi sjåførene hadde utgjort et lite utvalg og det er stor variasjon blant ulike sjåførere. Det hadde også blitt dyrere da man måtte leid lukket bane. Det var vanskelig å forsvare det økonomiske fordi det ikke var nødvendig å måle metningsvolum på denne måten. Det andre forsøket skulle logge tidsluke mellom to biler over en strekning. Datasettet for hver gang strekningen ble kjørt ville blitt målinger av tidsluke per sekund over hele strekningen. Disse kunne blitt brukt til å registrere tidsluke for bilene med ACC og sammenligne tallene for ulike sikkerhetsinnstillinger med tidsluker i trafikken generelt. Totalt sett ville dette gitt en bredere testing av trafikkavvikling enn forsøket som ble gjennomført fordi det ville sett på både metningsvolum og tidsluke over strekning.

Etter en vurdering av mulige måter å gjennomføre et relevant forsøk ble det vurdert å heller gjennomføre forsøk med metningsvolum i normal rushtrafikk. Det ble sett på ulike kryss hvor dette kunne gjennomføres. Krysset måtte ha tilstrekkelig lange køer og det måtte være mulig å

kjøre tilbake til samme posisjon i krysset uten at det tok for lang tid. Etter observasjon i rushtida i noen aktuelle kryss endte et signalregulert kryss på Ladesletta opp som beste alternativ.

Det ble utført et pilotforsøk for å teste GPS-enheter og sjekke ut aktuelle steder å gjennomføre et forsøk med gjennomsnittlig tidsluke over en streking. På samme tur ble også krysset på Ladesletta observert ytterligere. Etter dette forsøket ble det konkludert med å gjennomføre forsøk med metningsstrøm i signalregulert kryss med normal trafikk. Grunnen til at dette ble valgt er fordi sammenligningsgrunnlaget med biler uten ACC ville bli riktigere når man kunne måle metningsvolumet i krysset med normal trafikk enn å satse på at sjåførene i et forsøk på lukket bane ville være et representativt utvalg. Krysset på Ladesletta ble valgt som sted for forsøket. Det kunne blitt registrert tidsluker for bilene med ACC og sammenlignet disse med gjennomsnittlig tidsluke for biler uten ACC gjennom det samme snittet av vegen. Dette ville gitt resultater for bilene med ACC alene. Da ville det blitt mindre usikkerhet i resultatene fordi man utelukker andre biler, med stor variasjon, fra forsøkene. Men det ville gitt større usikkerhet i målingene. Når man ser på passering av et snitt gir det en usikkerhet i start og stopp av registreringen. Når man registrerer tidsluker blir hele denne usikkerheten knyttet til kun en tidsluke. Ved registrering av metningsvolum vil usikkerheten fordeles på alle tidslukene som blir registrert i omløpet.

Krysset ble observert i tre dager for å finne ut når på dagen det var lange nok køer til å gjennomføre forsøket. Konklusjonen fra observasjonene ble at det, med noen unntak, var lange nok køer fra 10.00 til 17.00, som var hele det observerte tidsrommet. I forkant av forsøket ble trafikken filmet som om det skulle vært forsøk. Dette ble et slags pilotforsøk med test av kamera og posisjonering i forhold til krysset. Det ble ikke gjennomført noe pilotforsøk med biler fordi de måtte leies inn.

Det var planlagt to dager med forsøk og til sammen åtte timer kjøring på fire ulike sikkerhetsnivåer i bilene. Da første dag med kjøring skulle starte gikk det ikke som planlagt. En av bilene som skulle brukes kunne ikke hentes ut og to av bilene fungerte ikke som planlagt. Bilene hadde ACC, men den kunne ikke aktiveres før man kom opp i 40-50 km/t. De kunne da ikke brukes. Derfor ble forsøkene den første dagen avlyst. Til andre dag med forsøk hadde bilene blitt skiftet ut med biler med ACC som kunne aktiveres fra stoptilstand. Det ble kjørt i omtrent fire timer. På grunn av mindre tid ble det besluttet å kun teste for to ulike sikkerhetsinnstillinger for tidsluke, største og minste.

3.3 Sted og tid

Forsøket ble gjennomført i krysset ved Haakon VII gate 25 i Trondheim. Det er det siste signalregulerte krysset på Ladesletta når man kjører østover, og etter det er det omtrent 150m til en rundkjøring. Trafikkstrømmen som ble observert var den som kjørte rett frem mot rundkjøringa. Se figur 6.

Tidsrommet for forsøket var fredag 21.04.2017 klokka 11-15.



Figur 6: Kartutsnitt viser hvor forsøket ble gjennomført. Krysset som er ringet rundt ble brukt. Pilen i ringen viser hvilken retning strømmen som ble observert kjørte i.

Bilene brukt i forsøket kjørte en runde, der de skulle gjennom det aktuelle krysset, og så tilbake til krysset igjen så raskt som mulig. Runden som ble kjørt er markert med oransje i figur 7. I figur 7 er det også tre tall som markerer ulike deler av ruta. Ved punkt nummer 1 samlet bilene seg og kjørte samlet mot krysset. Ved nummer 2 er krysset hvor registreringene ble gjort. Krysset er markert med en rød ring. Etter krysset kjørte bilene rundt i rundkjøringen markert som nummer 3, og tilbake til punkt nummer 1.



Figur 7: Viser ruta som ble kjørt. 1 – samlingspunkt. 2 – krysset. 3 – snu i rundkjøring for å komme tilbake til 1.

3.4 Utstyr

Forsøket ble filmet med videokamera. I ettertid ble videoen gått gjennom for å manuelt registrere metningsvolumet. Kameraet sto med en vinkel, så den fikk med seg eventuell tilbakeføring av kø fra rundkjøringen i enden av Ladesletta. Bildene på videoen fikk ikke med seg lengden på køen da det skiftet til grønt lys. Antall biler i kø ble derfor sagt høyt hver gang det skiftet til grønt lys, så lydsporet på videoen fikk det med seg. Se figur 8 med bilde fra video for å se hva kameraet fikk med seg.



Figur 8: Bilde fra video som ble brukt til registrering.

Det ble brukt fem biler med sjåfør i forsøket. Bilene måtte ha ACC som kunne aktiveres i lav fart. Bilene var fire ulike modeller fra tre forskjellige bilprodusenter. Merke og fullt navn på modell for bilene som ble brukt i forsøket er listet opp i tabell 2.

Tabell 2: Oversikt over bilene som ble brukt i forsøket.

Bil nummer 1	BMW 530I XDRIVE 2017
Bil nummer 2	TESLA MOTORS MODEL S 2014
Bil nummer 3	BMW X3 XDRIVE20D 2015
Bil nummer 4	OPEL INSIGNIA SPORTS TOURER SW 2016
Bil nummer 5	OPEL INSIGNIA SPORTS TOURER SW 2016

Alle bilene ble merket for å gjøre de lettere å kjenne igjen på videoen. Dette ble gjort ved å feste gule papirlapper på en av vindusrutene vendt mot kameraet.

3.5 Beskrivelse av forsøk

Dette forsøket ønsker å registrere metningsvolumet ved et signalregulert kryss for trafikkstrømmen som kjører rett frem. Metoden som ble brukt er «Headway method» og følger oppskriften fra rapporten til Johannesen og Skjetne (1979).

Ved å ha biler med ACC som en del av trafikkstrømmen vil vi etterligne en situasjon med blandet trafikk. Bilene med ACC vil da etterligne selvkjørende biler, mens resten av trafikken vil være tilfeldige biler som kjørte gjennom krysset i det aktuelle tidsrommet. Sjåførene ble instruert om å la bilens ACC justere farten fra stopp i køen inn mot krysset og til de var på vei inn i rundkjøringen på andre siden. Bilenes ACC ble deaktivert ved stopp og måtte aktiveres igjen ved start, noe som gjorde at sjåførenes reaksjon og vurdering av starttidspunkt kan ha hatt noe å si for avstanden til bilen foran ved passering av stopplinja. I to av bilene, de to fra Opel, kunne ikke bilenes ACC aktiveres fra stopp, men måtte ha noe fart først. De ble aktivert rundt 10 km/t, noe som er så lavt at forskjellen ikke var merkbar.

Oppgavens problemstilling spør hvordan ulike sikkerhetsinnstillinger for følgetid vil påvirke trafikkavviklingen. For å teste dette varierte sikkerhetsinnstillingen for følgetid for bilene med ACC som inngår i forsøket. Halvparten av tiden var sikkerhetsinnstillingen i bilene med ACC i forsøket satt til å være så stor som mulig. Den andre halvparten av forsøket var den satt til å være så liten som mulig. Total tid brukt i forsøket var fire timer. Dette ble delt inn i fire bolker på en time hver. Den første og tredje bolken ble gjennomført med stor sikkerhetsavstand mens den andre og fjerde bolken ble gjennomført med liten sikkerhetsavstand. Det ble altså kjørt i to timer med hver innstilling.

For å beskrive gjennomføringen av forsøket er det naturlig å ta utgangspunkt i trafikkteori og teori for metningsvolum. De første bilene som passerer stopplinja vil ha lavere fart og ble derfor ikke tatt med i beregningen av metningsvolumet. I dette forsøket ser vi bort ifra de første fire tidslukene og bruker gjennomsnittlig tidsluke fra bil 5 til bil n, som er siste bil i køen. Dette er metoden for å beregne metningsvolum som beskrives av Johansen og Skjetne (1979). Det gir formel for å finne metningsvolum der gjennomsnittlig tidsluke i mettet strøm fra generell formel for metningsvolum [2] er byttet ut med gjennomsnittlig tidsluke fra bil 5 til bil n [3]. Det er kun bilene som sto i kø da det skiftet til grønt lys som tas med i forsøket. Det gjøres for å sikre at det er en mettet strøm vi evaluerer. (Stein Johannesen and Eirik Skjetne, 1979) skriver at hva som er mettet strøm kan vurderes av observatør, men under forsøket ble kun bilene som var i kø tatt med. Dette er en mer konservativ metode, brukt for å utelate skjønnsvurderinger fra observatør.

$$S = \frac{3600}{t_{5n}}$$

[3] Formel for metningsvolum som brukes i dette forsøket.

Hvert omløp gir da et volum, som brukes som et resultat. Resultatet vil være meningsvolumet for det aktuelle omløpet. Vi vil også se på andelen biler med ACC i strømmen dette omløpet. I forsøket vil da både andelen biler med ACC i strømmen og sikkerhetsinnstilling være variabler. Lengden på køene da det skiftet til grønt lys varierte, noe som ga ulikt antall biler bak hvert resultat for trafikkvolum. Resultatene plottes som likeverdige selv om antall biler varierte fra 2 til 16.

Som referanse vil metningsvolumet til alle omløp uten forsøkskjøretøy registreres. På forhånd kunne vi regne med at metningsvolumet her ville bli opp mot 1800 biler/time som er vanlig metningsvolum for en trafikkstrøm som kjører rett frem i et signalregulert kryss (Haugen, 2016).

Forsøket burde gjentas så mange ganger som mulig for å gjøre resultatene mer troverdige. Her avhenger det av tilgjengelig tid med biler og sjåfører hvor mange gjentakelser som kan gjennomføres. Ifølge Johannesen og Skjetne (1979) vil verdien for metningsvolum stabilisere seg etter 10-20 omløp. Omløpstiden i krysset ble observert til å være omtrent 60 sekunder. Bilene brukt i forsøket ble beregnet til å komme gjennom krysset hvert fjerde omløp. Det gir 30 passeringer på to timer. Flere av passeringene vil ikke kunne brukes i resultatene fordi bilene havner først i køen, fordi køen ikke er lang nok eller fordi det er tilbakeføring av kø fra rundkjøringen etter krysset. Om halvparten av passeringene ikke kan brukes vil det fremdeles være nok omløp med i beregningene til at metningsvolumet har stabilisert seg.

Å bruke fem biler er marginalt få for å få en stor nok andel biler med ACC. For å sørge for at det skulle være flest mulig omløp med en større andel biler med ACC stoppet bilene og ventet på hverandre før de kjørte inn i krysset. Se figur 7. Dette ga færre omløp med biler med ACC, men større andel for hvert omløp de var med i.

3.7 Behandling av data

Etter at forsøket var gjennomført ble videoene gått gjennom og metningsvolumet ble manuelt registrert i et regneark. For hvert omløp ble det notert tiden da bakenden av bil nummer fem passerte stopplinjen og tiden da bakenden av bil n, siste bil i mettet strøm, passerte stopplinjen. Dette ble brukt til å regne ut summen av luke 5 til luke n. Dette ble dividert med antall luker for å finne gjennomsnittlig tidsluke i mettet strøm. Dette kunne settes inn i generell formel for metningsvolum [2]. Antall biler med ACC i hvert omløp ble også notert ned for å finne andelen. Det ga to datasett med metningsvolum og andel biler med ACC. Det ene datasettet var for den halvdelen av forsøkt som ble utført med stor sikkerhetsavstand og det andre for halvdelen med liten sikkerhetsavstand. Datasettene ble sortert etter andel ACC i strømmen, og alle omløp fra begge datasettene der andelen var null ble kopiert til et tredje datasett. Dette tredje datasettet ble brukt for å finne referanseverdien, altså hvordan metningsvolumet er i krysset utenom forsøk. Deretter ble alle omløp med ACC plottet i et av to plott, et plott for liten sikkerhetsinnstilling og et for stor.

3.8 Styrker og svakheter

Dette forsøket bør være enkelt å etterprøve og har dermed høy reliabilitet. Det er vanlig for kvantitative forsøk og dette er ikke noe unntak. Det er variasjoner i metningsvolum i ulike kryss så om forsøket skal gjentas må man regne med andre resultater om det gjennomføres i et annet kryss.

Oppgavens problemstilling er hvordan selvkjørende biler påvirker trafikkavviklingen. Metningsvolum måler bare trafikkavvikling i signalregulert kryss og sier ingenting om hvordan trafikkavviklingen vil være ellers. Dette gjør validiteten til forsøket noe dårligere. Oppgaven tror at det er relevant å bruke ACC for å måle effekter på trafikkavvikling for autonome kjøretøy, men dette er en usikkerhet og det er vanskelig å si hvor lik dagens ACC teknologi vil være fremtidens selvkjørende biler. Validiteten til forsøkene bør likevel være nokså høy.

4 Resultater

Litteratursøket viser stort sett positive effekter av ACC for trafikkavviklingen ved simuleringer og negative ved praktisk forsøk på veg, men sier ikke noe om ulike sikkerhetsinnstillinger. Vil forvente at metningsvolumet vil bli lavere enn referanseverdien for lang sikkerhetsluke og hørere for kort sikkerhetsluke.

Først vil en alle resultatene presenteres i tabell x, deretter vil hver del av resultatene fra tabellen bli gått grundigere gjennom. Så vil det bli sett på plott av resultatene for hver av sikkerhetsinnstillingene og det blir brukt regresjonsanalyse for å se etter trender i plottene. Deretter vil hypotesetesting med student t-test bli gjennomført I resultatene vil hvert omløp telle som et resultat, dermed vil et omløp med mange biler teller like mye som et mad få biler. Setter også opp sammenheng mellom antall luker i omløpet og metningsvolum for å se om dette medfører en stor feilkilde eller ikke.

For tabell med alle resultatene se vedlegg 1, 2 og 3.

4.1 Oversikt og referanse

En oversikt over oppgavens resultater er presentert i tabell x. Standardavvik har blitt regnet ut med formel for standardavvik [4]. P-verdier fra hypotesetesting med Student T-test inngår i tabellen. For nærmere beskrivelse av hypotesetesting se kapittel 4.5.

$$\sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{(n - 1)}}$$

[4] Formel for Standardavvik

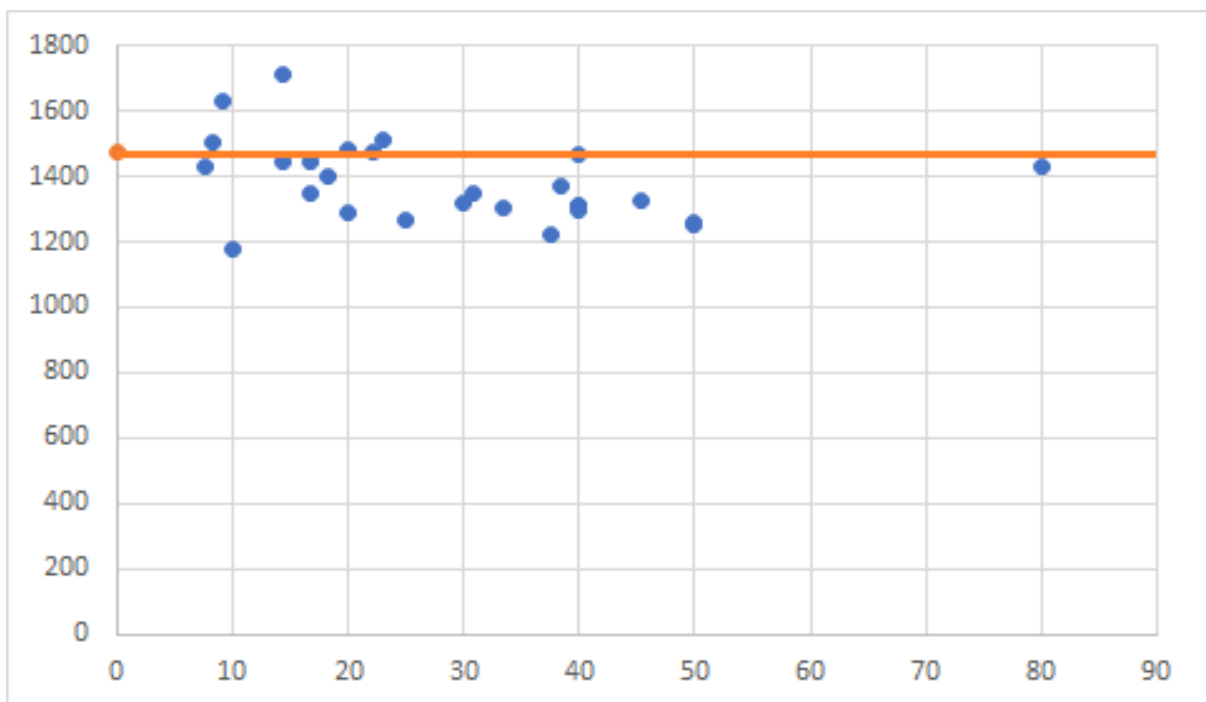
Tabell 3: Oversikt over resultatene. De ulike datasettene; referansesettet, stor sikkerhetsavstand og liten sikkerhetsavstand. I tillegg er settene med ACC i strømmen delt opp i to etter andel biler med ACC i strømmen. Her vises antall observasjoner, gjennomsnittlig metningsvolum, standardavvik, minimumsverdi, maksimumsverdi og p-verdi fra Student t-test for hvert datasett.

	Antall observasjoner	Gjennomsnittlig metningsvolum	Standard avvik	Min. verdi	Maks. verdi	P-verdi fra T-test mot referanse.
Referanse	96	1476	172	1076	1946	
Stor avstand Andel \leq 30%	15	1430	138	1180	1714	0,2560
Stor avstand Andel $>$ 30%	12	1325	71	1226	1469	0,0000039
Liten avstand Andel \leq 30%	10	1491	115	1266	1667	0,7178
Liten avstand Andel $>$ 30%	12	1476	94	1333	1612	0,9961
Stor avstand alle målinger	27	1383	123	1180	1714	0,002620
Liten avstand alle målinger	22	1483	102	1266	1667	0,8117

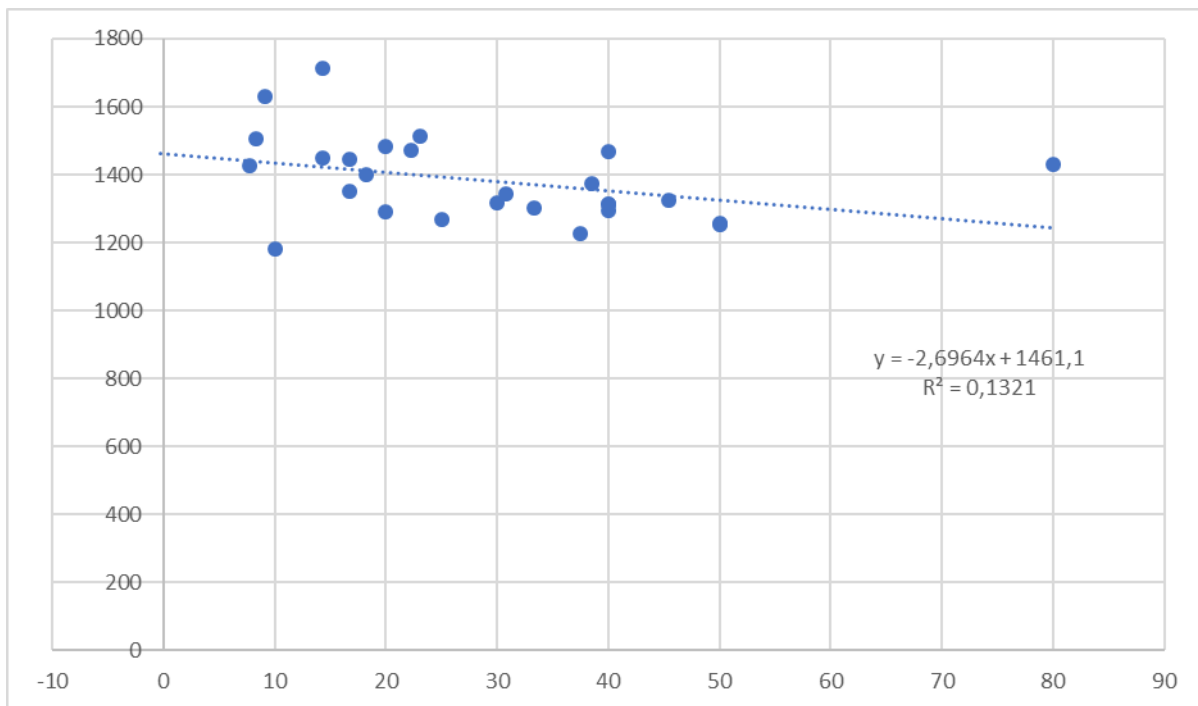
Ser på datasettet uten biler med ACC i strømmen, «referanse» fra tabell 3. Her er det totalt 96 omløp. Her er variasjonen stor, noe som ikke er overraskende fordi ulike sjåførere kjører svært forskjellig. Likevel er det såpass mange observasjoner at verdien burde ha liten usikkerhet. Johannesen og Skjetne (1979) skrev at gjennomsnittlig metningsvolum stabiliserte seg etter 10-20 omløp, langt mindre enn 96. Gjennomsnittlig metningsvolum for alle disse omløpene ble 1476, som blir referanseverdien som sammenlignes med omløpene der biler med ACC var med.

4.2 Stor sikkerhetsavstand

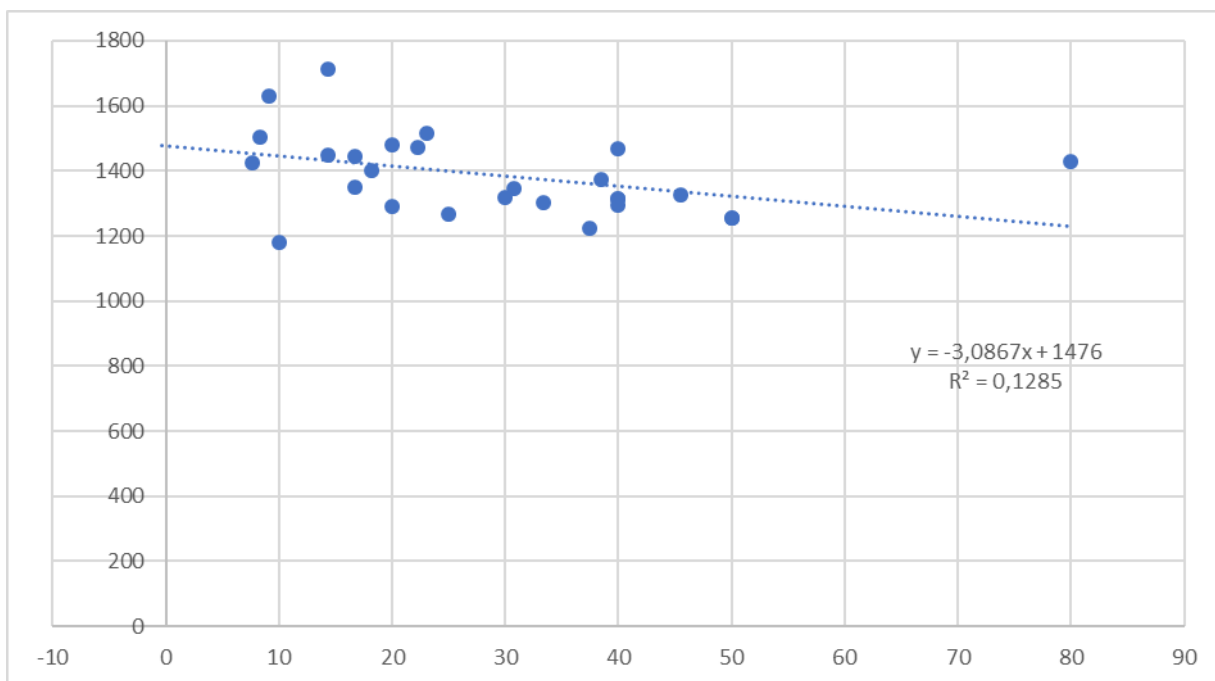
Det ble registrert 27 omløp der deler av trafikkstrømmen var biler med ACC der sikkerhetsinnstillingen var satt til å holde lengst mulig avstand til bilen foran. Som vi ser av tabell 3 er det gjennomsnittlige metningsvolumet for disse omløpene lavere enn referanseverdien. I figur 9 er alle disse 27 omløpene plottet og sammenlignet med referanseverdien. Det ser ut som om de fleste omløpene har en lavere verdi for metningsvolum enn referanseverdien. Det ser også ut til at det er en trend mot lavere metningsvolum ved høyere andel biler med ACC. For å se på denne trenden har det blitt gjort lineær regresjonsanalyse. Dette ble gjort på to ulike måter. Den første tar kun utgangspunkt i de 27 omløpene med biler med ACC med lang sikkerhetsavstand. Den andre tar også kun med de samme 27 omløpene, men regresjonslinja tvinges gjennom punktet med referanseverdien for metningsvolum fra omløpene uten ACC (0,1476). Regresjonsanalysene med trendlinje er illustrert i figur 10 og figur 11.



Figur 9: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler med stor sikkerhetsavstand. Den oransje linja er referanseverdien.



Figur 10: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler med stor sikkerhetsavstand med lineær trendlinje.

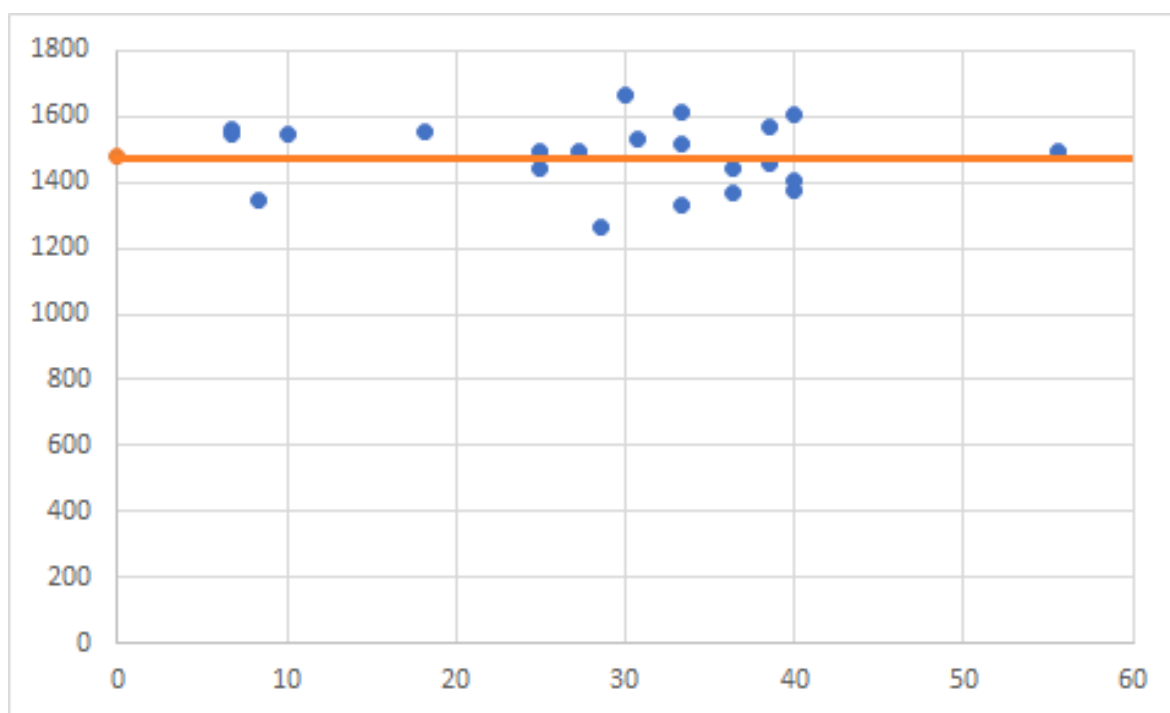


Figur 11: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler stor sikkerhetsavstand med lineær trendlinje som tvinges gjennom punktet (0,1476), referanseverdien.

De to trendlinjene er nokså like, men trendlinja uten tvang gjennom referanseverdien skjærer y-aksen ved en noe lavere verdi for metningsvolum og har litt høyere stigningstall. Stigningstallene er negative, så lavere tall gir brattere trendlinje. Det ser uansett ut til at metningsvolumet blir lavere med økt andel biler med ACC i disse omløpene. Det er også vist R^2 -verdier i figurene. Dette sier noe om hvor godt punktene følger linja. Om R^2 får verdien 1 følger punktene linja perfekt, mens med verdien 0 følger de ikke i det hele tatt. I begge plottene er R^2 -verdien lav, noe som ikke er overraskende da punktene ikke følger noen kurve, men har store avvik.

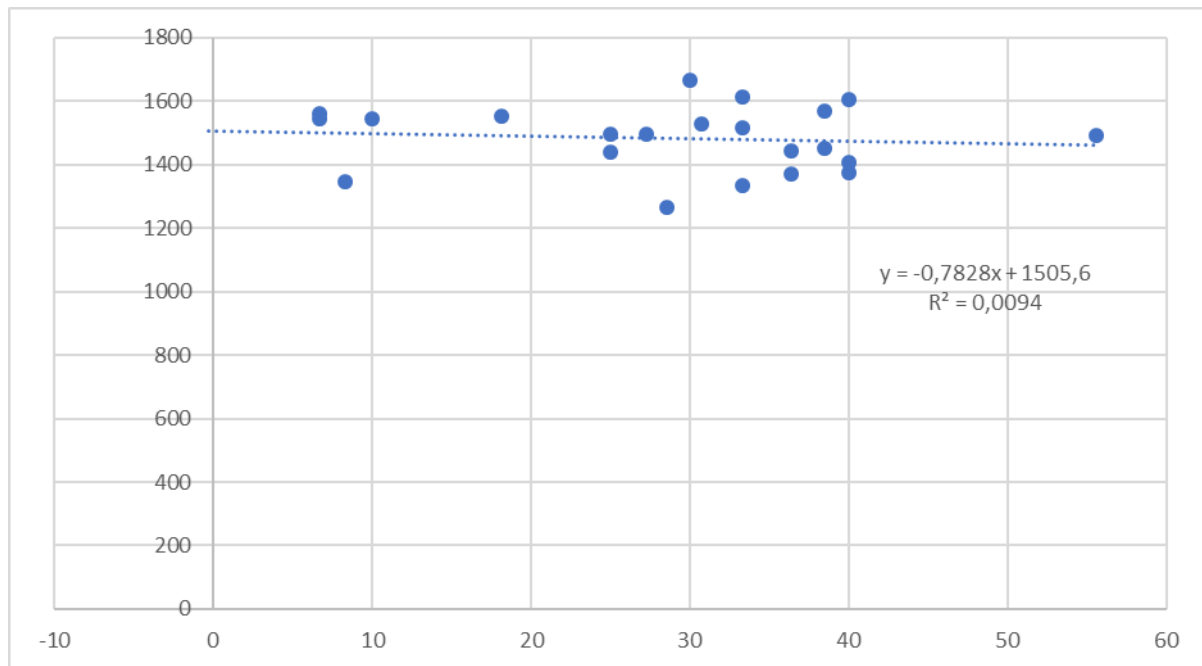
4.3 Liten sikkerhetsavstand

I den delen av forsøket der deler av trafikkstrømmen var biler med ACC der sikkerhetsinnstillingen var satt til å holde kortest mulig avstand til bilen foran ble det registrert 22 omløp. Som vi ser av tabell 3 er det gjennomsnittlige metningsvolumet for disse omløpene noe høyere enn referanseverdien. Som for lang sikkerhetsavstand er også her alle omløpene plottet og sammenlignet med referanseverdien. Dette er gjort i figur 12.

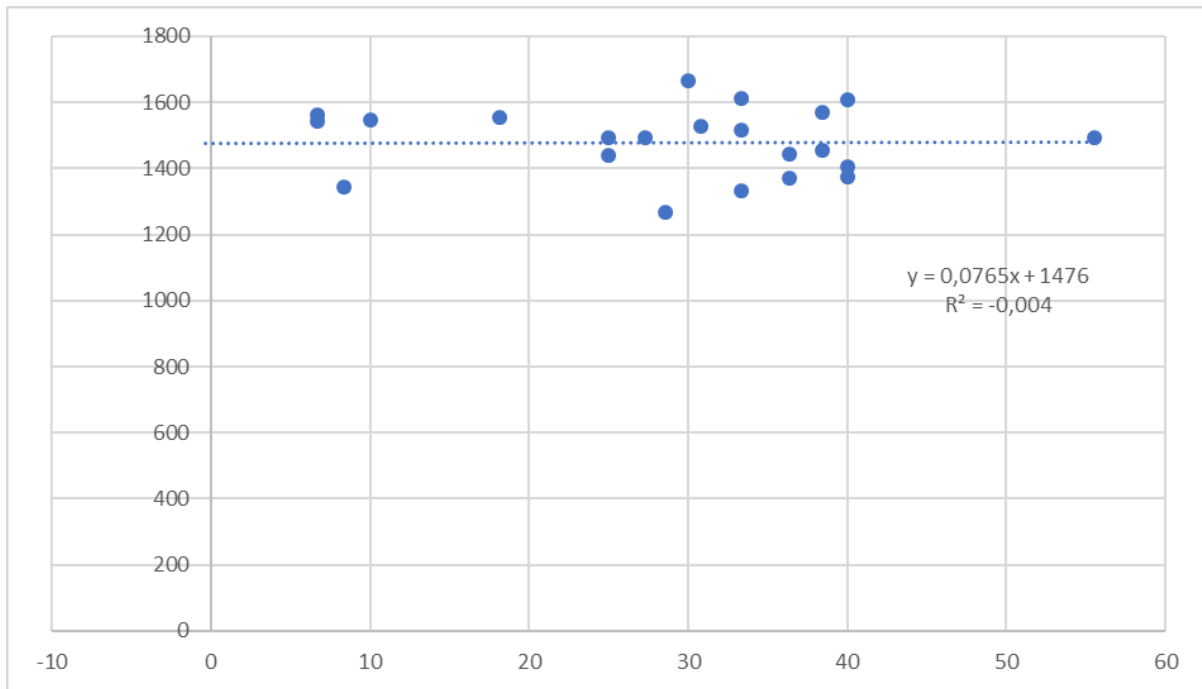


Figur 12: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler med liten sikkerhetsavstand. Den oransje linja er referanseverdien.

Her er det mye vanskeligere å se en trend. For å se om det er en trend der har det også her blitt gjort lineær regresjonsanalyse. Dette ble gjort på to ulike måter, som for stor sikkerhetsavstand. Regresjonsanalysene med trendlinje for liten sikkerhetsavstand er illustrert i figur 13 og figur 14.



Figur 13: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler med liten sikkerhetsavstand med lineær trendlinje.



Figur 14: Plott av metningsvolum mot andel biler med ACC i alle omløp med biler med liten sikkerhetsavstand med lineær trendlinje som tvinges gjennom punktet (0,1476), referanseverdien.

Her er det større forskjell mellom trendlinjene enn det var for kort sikkerhetsavstand. Begge trendlinjene har stigningstall nære null, noe som gjør at linja blir nesten helt flat. Det gjør at uansett hvilken analyse som velges er det ikke noen tydelig trend. Men for den ene analysen er stigningstallet positivt og for den andre er det negativt. Selv om det er liten forskjell i stigningstall vil dette likevel si at det avhenger av hvilken metode for regresjonsanalyse som velges om trenden blir at bilene med ACC bidrar til høyere eller lavere metningsvolum. For disse analysene er R^2 -verdiene nesten null, noe som viser at punktene ikke i det hele tatt følger trendlinjene. Det er forventet at R^2 vil være nære null fordi det er stor variasjon i resultatene.

4.4 Standardavvik

Fra tabell 3 ser man at standardavviket blir mindre med økt andel biler med ACC i strømmen. Begge datasettene med andel ACC mindre enn 30% har lavere standardavvik enn referansesettet og begge datasettene med andel ACC mer enn 30% er de med lavest standardavvik. Dette skyldes antageligvis at bilene med ACC kjørte med samme tidsluke hver gang og forskjellen mellom bilene var liten. Med økt andel biler med ACC ble da forskjellen på de ulike omløpene mindre.

4.5 Hypotesetest

For å vurdere hvor sannsynlig det er at bilene med ACC påvirker metningsvolumet vil det gjennomføres hypotesetesting med Student T-test. Ser da på nullhypotesen fra kapittel 1, H_0 , og setter opp en komplementær alternativ hypotese, H_1 . Det er vanskelig å forutsi om metningsvolumet vil bli større eller mindre enn referanseverdien når biler med ACC er en del av strømmen. Bruker derfor tosidig t-test med alternativ hypotese at metningsvolumet er ulikt, og ikke enten større eller mindre.

H_0 :

«Metningsvolumet i en normal trafikkstrøm vil være likt med metningsvolumet i en trafikkstrøm der en del av kjøretøyene er selvkjørende.»

H_1 :

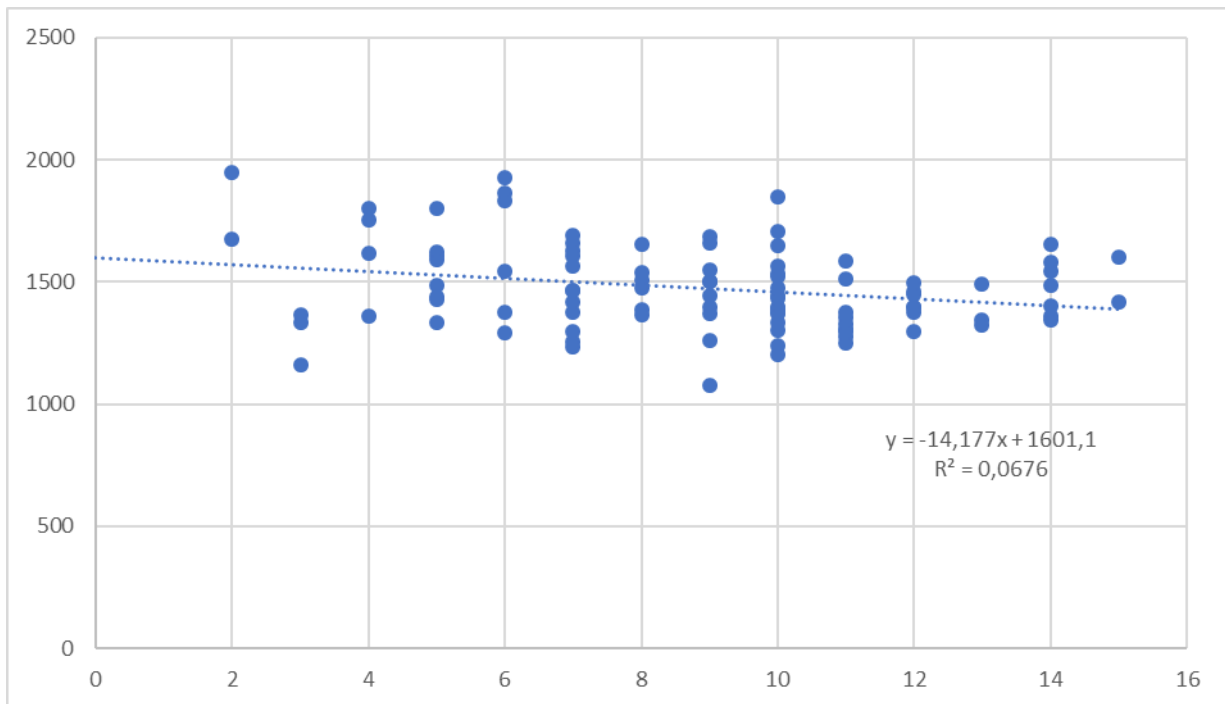
«Metningsvolumet i en normal trafikkstrøm vil være forskjellig fra metningsvolumet i en trafikkstrøm der en del av kjøretøyene er selvkjørende.»

Utrekningene av P-verdier for de ulike datasettene er gjort i regneark. P-verdiene fra testene er lagt til i tabell x. Disse gir oss grunnlaget for å vurdere om vi kan forkaste nullhypotesen eller ikke. Om vi velger et signifikansnivå på 0,05 ser vi at vi kan forkaste nullhypotesen for to av datasettene, stor sikkerhetsavstand med alle omløp og stor sikkerhetsavstand med andel biler med ACC over 30%.

4.6 Antall luker i hvert omløp

Resultatene presentert i dette kapittelet er registrert metningsvolum et og et omløp. Hvert punkt i plottene er fra metningsvolumet til et omløp, og hver registrering fra tabell 3 er resultatet fra et omløp. Antall tidsluker som er med i beregningen av metningsvolumet til hvert omløp avhenger av hvor lang kø det var da det skiftet til grønt lys, og varierer fra 2 til 16. Metningsvolumet til et omløp med 16 registrerte tidsluker vil ha mindre variasjon enn et omløp med 2 registrerte tidsluker fordi ekstremverdier for enkelt tidsluker vil jevnes ut når det er flere tidsluker med i registreringen. Det kan medføre en feilkilde å gjøre det på denne måten fordi metningsvolumet kan ha en sammenheng med antall biler i omløpet. Metningsvolumet for alle de 96 omløpene som ble brukt til å finne referanseverdien er plottet mot antall luker som var med i registreringen i figur 15. For å se etter en sammenheng mellom antall registrerte tidsluker

i omløpet og metningsvolum er det utført en lineær regresjonsanalyse. Lineær trendlinje fra denne analysen er lagt inn i plottet.



Figur 15: Plott med metningsvolum mot antall luker som inngår i resultatet med lineær trendlinje.

Fra figur 15 ser man tydelig at verdien for metningsvolum har mindre avvik med flere biler i køen, noe som ikke er overraskende. Trendlinja har nesten ingen stigning, så det ser ikke ut til å være noen tydelig sammenheng mellom antall tidsluker og metningsvolum, men noe sammenheng kan det likevel være.

4.7 Egne observasjoner

Etter å ha observert forsøkene og etter å ha gått gjennom video har det blitt gjort noen andre observasjoner som kan ha relevans til oppgaven. Dette er observasjoner som kunne vært registrert manuelt fra video og tallfestet på samme måte som metningsvolum, men dette har ikke blitt gjort.

Det så ut til at forsøksbilene med ACC brukte lang tid på å komme i gang fra full stopp. Det ble ofte stor avstand til bilen foran fra start, mens bilene så ut til å holde mindre avstand etter å ha kommet opp i fart. Grunnen kan være at bilene har dårligere reaksjonstid enn sjåfører fordi den først må registrere fartsendring i kjøretøyet foran før den selv kan starte. En sjåfør vil se at

bilene lenger frem i køen begynner å kjøre og gjøre seg klar tidligere. Det kunne vært registrert tapt tid for de første fem bilene i køen for å se om den ble større med økt andel biler med ACC blant disse bilene. Det så ut som om bilene var trege fra full stopp både når bilene sto først i køen og når de hadde biler foran seg. Det kan da virke som om det er et problem som ikke har noe med sensorene i bilenes ACC å gjøre, men heller treg automatisert start uavhengig av annen trafikk. Om dette er tilfellet ville det ikke vært like relevant for oppgaven å se på denne effekten.

Det så ut til at bilene med ACC hadde større tidsluke til bilen foran enn de fleste andre bilene. Det gjaldt både for stor og liten sikkerhetsavstand. Til tross for dette kan det stemme at tidslukene var omtrent som gjennomsnittet. Grunnen er at enkelte kjøretøy hadde mye større tidsluke enn gjennomsnittet. Disse dro snittet opp så mye at bilene med ACC ble omtrent gjennomsnittlige. Kjøretøyene som hadde størst tidsluker så ut til å oftest være tunge kjøretøy.

Det ble brukt fire ulike modeller fra tre forskjellige bilprodusenter. Forskjellen mellom disse testkjøretøyene så ut til å være liten både i kjørestil og tidsluker.

Det så ut til å være en del tungtransport gjennom krysset i løpet av forsøket. Dette er ikke uvanlig i dette krysset, og det var også tungtransport der da krysset ble observert i forkant av forsøket. Likevel virket det som om det var ekstra mye tungtransport i tidsperioden forsøket ble gjennomført. Det ble spesielt lagt merke til gjentatte passeringer av tunge kjøretøy som fraktet løsmasser. Disse kjørte saktere enn de andre kjøretøyene og det ble ofte lange luker frem til bilen foran. Bilene bak måtte kjøre i den samme lave hastigheten.



Figur 16: Transport av løsmasser gjennom krysset

5 Diskusjon

Hypotesetestingen i kapittel 4 sa at det kun var signifikant forskjell på datasettet med biler med ACC med stor sikkerhetsavstand og referansedatasettet. Trendlinjene fra dette datasettet i figur 10 og figur 11 har begge en tydelig negativ trend. Det betyr at økt andel biler med ACC ga lavere metningsvolum. Ut ifra dette kan vi si at bilene med ACC bidro til dårligere trafikkavvikling med stor sikkerhetsavstand.

Datasettet med biler med ACC med liten sikkerhetsavstand var langt ifra signifikant forskjellig fra referansedatasettet. Ut ifra dette ser det ut til at bilene med ACC ikke bidrar i hverken positiv eller negativ retning når de har minste sikkerhetsavstand. Ut ifra trendlinjene ser dette også ut til å stemme bra. Begge trendlinjene for dette datasettet, figur 13 og figur 14, er nesten helt flate. Den ene av trendlinjene gir positiv trend og den andre negativ trend, noe som underbygger påstanden om at resultatene ikke viser noen påvirkning.

I dagens biler med ACC har føreren fremdeles ansvaret ved en ulykke. ACC skal kun være en støttefunksjon, noe det ikke vil være i en selvkjørende bil. Dagens biler med ACC vil derfor ha stor nytte av ulike sikkerhetsinnstillinger, så føreren kan velge den sikkerhetsavstanden han er komfortabel med. Alle de ulike innstillingen skal være trygge, og selv om det ble store nyhetsoppslag da Teslas autopilot var skyld i en dødsulykke betyr ikke det at den ikke kan være åtte ganger så trygg som en gjennomsnittlig sjåfør, som Elon Musk har hevdet. I en selvkjørende bil vil bilen selv ha ansvaret ved en ulykke, noe som gjør at det ikke vil være behov for ulike sikkerhetsinnstillinger for følgetid på samme måte som i dag. Kanskje vil man som passasjer i en selvkjørende bil kunne velge mellom ulike innstillinger, men det kan da virke som om bilen ikke er trygg på alle innstillingene, noe som ikke vil være tilfellet. Hvilken sikkerhetsinnstilling fra bilene med ACC som er mest relevant for selvkjørende biler er vanskelig å si, men trolig vil den minste sikkerhetsavstanden velges om alle er trygge. I så fall vil datasettet med liten sikkerhetsavstand være mest relevant.

Det kan være aktuelt å ha ulike innstillinger for ulike forhold, men dette vil i så fall være en del av programmeringen i bilen. Alle resultatene i denne oppgaven er gjort i gode forhold, så det er ikke noe grunnlag for å diskutere hvordan selvkjørende biler vil påvirke trafikkavviklingen i dårlige forhold.

Metningsvolum for en trafikkstrøm som kjører rett frem pleier å være omtrent 1800 kjøretøy i timen. Referanseverdien i forsøket kun var på 1476 biler i timen, langt lavere enn 1800. Det kan være flere grunner til dette. Forskjellen er så stor at det også antageligvis har flere årsaker. Forsøket ville se på en trafikkstrøm som kjørt rett frem. De fleste bilene i strømmen som ble observert gjorde det, men ikke alle. Noen svingte også til høyre da høyresving var en del av samme kjørefelt. Ingen svingte til venstre da det var et eget kjørefelt for venstresving. Metningsvolum for en trafikkstrøm som svinger til høyre er forventet å være lavere enn en som kjører rett frem. Forventet metningsvolum for høyresving er omtrent 1700 biler i timen. Når noen biler svinger til høyre vil det bremse opp ved passering av stopplinja, og det blir mer ujevn kjøring for de som kommer bak. Tarko og Tracz (2000) skrev at tunge kjøretøy fører til lavere metningsvolum. Det ble observert en del tungtransport gjennom krysset i løpet av forsøket. De hadde ofte lange tidsluker og kjørte saktere enn resten av kjøretøyene. Om man hadde brukt (Luo et al., 2017) sin metode for å finne metningsvolum ville antageligvis omløpene som ble sterkt påvirket av disse kjøretøyene tatt ut av beregningene. Dette kunne gjort at forskjellene på biler med og uten ACC kom tydeligere frem av resultatene. Men om man hadde brukt denne metoden ville man hatt færre registreringer med i beregningene, noe som hadde gjort resultatene svakere fordi det allerede er nokså få målinger. En tredje forklaring på lavt metningsvolum kan være at rundkjøringen etter krysset kommer så tett på at det ikke er fri flyt ut av krysset og at dette har påvirket metningsvolumet. Det kan ha ført til både lavere hastighet og mindre fokus på effektiv kjøring fordi oppmerksomheten var rettet mot neste situasjon.

Med metningsvolum langt lavere enn normalt kan referanseverdien være dårlig sammenligningsgrunnlag. Trenden for stor sikkerhetsavstand var uansett at bilene med ACC bidro til lavere metningsvolum. For liten sikkerhetsavstand var trendlinjene flate, noe som vil si at bilene med ACC bidro til et metningsvolum omtrent som referanseverdien. Fra dette kan det konkluderes med at bilene med ACC ikke bidrar i hverken positiv eller negativ retning med minste sikkerhetsavstand. Men dette gjelder kun når referanseverdien er så lav. Om bilene med ACC med liten sikkerhetsavstand bidrar til at metningsvolumet nærmer seg 1476 biler i timen vil de ved normalt metningsvolum på 1800 biler i timen påvirke metningsvolumet negativt.

I denne oppgaven har det blitt fokusert på metningsvolum og tidsluker. Metningsvolum er en god måte å måle trafikkavviklingen gjennom et signalregulert kryss, men det er bare en liten del av den totale trafikkavviklingen. Oppgavens problemstilling spør hvordan selvkjørende biler vil påvirke trafikkavviklingen. For å svare skikkelig på dette må det utføres flere forsøk som tester andre aspekter ved trafikkavvikling. Dette vil medføre en svakhet i oppgaven.

Likevel vil det i urbane strøk ofte være i signalregulerte kryss trafikken stopper opp, og antall biler som kommer gjennom krysset på en grønn tid er avgjørende for kapasiteten i systemet. Dermed vil et godt mål på trafikkavviklingen gjennom disse kryssene være et godt mål på trafikkavvikling i urbane strøk. I landlige strøk og på motorveger er det få signalregulerte kryss, dermed blir metningsvolum et dårlig mål på trafikkavviklingen her. Resultatene fra oppgaven svarer altså kun delvis på problemstillingen. Denne avgrensningen er viktig å få med seg om man skal bruke resultatene i videre arbeid.

Oppgavens problemstilling spør hvordan selvkjørende biler vil påvirke trafikkavviklingen. Av litteratur er det vanskelig å finne noe som sarer på dette ved hjelp av praktiske forsøk. I stedet for å gjennomføre simuleringer med biler som har de egenskapene en selvkjørende bil trolig vil ha har det blitt gjennomført praktisk forsøk med biler som bruker eldre og mindre presis sensortechnologi for å etterligne selvkjørende biler. Bilene fulgte etter bilen foran som planlagt og det var bilene selv som justerte farten gjennom krysset. Likevel blir ikke dette det samme som om forsøket hadde blitt gjennomført med biler med nivå 3 eller nivå 4 av autonomi. ACC-funksjonen til bilene brukt i forsøket bruker kamera og bildegjenkjenning for å tilpasse farten mens fremtidens selvkjørende biler trolig vil basere sine avgjørelser på informasjon fra en rekke ulike typer sensorer. Med færre og dårligere sensorer må bilene brukt i forsøket ha større sikkerhetsmarginer, noe som fører til at tidslukene blir større og de bidrar til et høyere metningsvolum. Med utvikling av de forskjellige teknologiene beskrevet i kapittel 2.5 vil selvkjørende biler kontinuerlig kunne danne et tredimensjonalt bilde rundt bilen med avstand til alle nærliggende objekter. Dette vil gi mulighet for å kutte i sikkerhetsmarginene.

Bilprodusentenes interessegruppe er først og fremst bilkjøpere. Bilkjøpere er interessert i systemer som bidrar til en enklere kjøreopplevelse, komfort og sikkerhet. De er ikke like opptatt av hvilken effekt bilen har på trafikken som et system. Det kan virke som om det gjør at bilprodusentenes fokus når de utvikler førerassistansesystemer ikke er trafikkavvikling. Når de lar føreren velge tidsluke til bilen foran ved bruk av ACC lar de også føreren velge hvor effektiv bilen skal være for den totale trafikkavviklingen. Fra hvert enkelt lands trafikkmyndigheters perspektiv burde trafikkavvikling for hele systemet være et fokusområde. For å sikre at ikke hver enkelt bilfører avgjør hvor effektivt systemet er med økt grad av biler med ACC og autonome kjøretøy kan myndighetene regulere i hvor stor grad førerne kan styre tidsluken. Hvis myndighetene skal oppå mer effektiv trafikkavvikling kan det være en dårlig strategi å overlate utviklingen til bilprodusentene uten klare føringer. Om bilprodusentene får styre utviklingen er det ikke sikkert sikkerhetsmarginene for selvkjørende biler vil bli noe mindre enn for dagen

ACC-teknologi til tross for flere og bedre sensorer. Det er usikkert hvor mye de tør å kutte i sikkerhetsmarginene da det blir store medieoppslag om en selvkjørende bil er skyld i en alvorlig ulykke. Dette svekker folk flest sin tiltro til produsentens selvkjørende biler og selvkjørende biler generelt. Som da Teslas autopilot var skyld i en dødsulykke (Yadron and Tynan, 2016).

Fra kapittel 2 har vi at simuleringer viser at trafikkavviklingen for autonome kjøretøy trolig vil bli bedre med større grad av kommunikasjon mellom kjøretøyene, men det er usikkert hvor stor effekten er i blandingstrafikk. Med større grad av kommunikasjon vil man ha mindre behov for sikkerhetsmargin til bilen foran, og tidsluken kan bli mindre. Dette viser simuleringene også ved at den totale trafikkavviklingen blir bedre. I en situasjon med blandingstrafikk vil det kun være når bilen kan kommunisere med bilen foran at denne effekten vil inntreffe, noe som bare blir av og til. Dermed vil effekten av sikkerhetsinnstillingen trolig være større enn effekten av kommunikasjon inntil en stor nok del av bilene på vegen kan kommunisere med hverandre.

6 Konklusjon

Biler med ACC har blitt brukt for å etterligne selvkjørende biler i et feltforsøk der metningsvolum ble registrert. I forsøket ble to ulike sikkerhetsinnstillinger for følgetid brukt, stor og liten sikkerhetsavstand. Resultatene viser at bilene bidrar til dårligere trafikkavvikling med stor sikkerhetsavstand. For liten sikkerhetsavstand viser resultatene at de ikke bidrar til verken bedre eller dårligere trafikkavvikling. Under forsøket var det registrerte metningsvolumet i krysset en del lavere enn forventet uten forsøkskjøretøy i trafikkstrømmen. Dette fører til at bilene med ACC kan bidra til bedre trafikkavvikling i dette forsøket selv om de ville bidratt til dårligere trafikkavvikling om metningsvolumet hadde vært normalt. Om man tar høyde for dette viser resultatene fra forsøket at selvkjørende biler påvirker trafikkavviklingen negativt i blandet trafikk. Det er også tydelig forskjell på de ulike sikkerhetsinnstillingene for følgetid.

Bilene med ACC som ble brukt i forsøket har færre og dårligere sensorer enn selvkjørende biler. Med flere og bedre sensorer får de selvkjørende bilene mye mer informasjon om omgivelsene. Om bilprodusentene ønsker det kan da sikkerhetsmarginene justeres ned og følgetiden bli kortere uten at sikkerheten blir for dårlig. Dermed vil trolig selvkjørende biler bidra til bedre trafikkavvikling enn bilene som skulle etterligne dem i forsøket.

Det er vanskelig å forutsi hvordan utviklingen videre blir for selvkjørende biler. Om bedre trafikkavvikling er et fokusområde i denne utviklingen eller ikke kan være det som avgjør om de vil bidra til bedre eller dårligere trafikkavvikling i blandet trafikk.

7 Videre arbeid

For å komplimentere forsøket i denne oppgaven bør det gjennomføres forsøk som måler trafikkavviklingen for selvkjørende biler i landlige strøk og på motorveg. Da kan man registrere tidsluke mellom to biler kontinuerlig over en strekning, som det i utgangspunktet var planlagt at skulle gjøres i denne oppgaven. Videoene fra forsøket kan brukes til se på tapt tid og tidsluker. Stadig flere bilprodusenter kommer til å klare å lage biler med nivå 4 av autonomi. Det vil da bli lettere å gjennomføre feltforsøk med selvkjørende biler. Om forsøket hadde blitt gjennomført med biler med større grad av autonomi ville resultatene vært mer relevante.

Bibliografi

- Administration, N.H.T.S. and others (2013) Preliminary statement of policy concerning automated vehicles. *Washington, DC*, 1–14.
- Arasan, V.T. and Vedagiri, P. (2006) Estimation of saturation flow of heterogeneous traffic using computer simulation. *Indian Institute of Technology, Chennai*,.
- Audi (2016) *adaptive cruise control* > *Audi Hong Kong* Available from http://www.audi.com.hk/hk/brand/en/models/Efficiency/efficiency_technologies/assistance_systems/adaptive_cruise_control.html [accessed 19 December 2016].
- Bose, A. and Ioannou, P.A. (2003) Analysis of traffic flow with mixed manual and semiautomated vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 4(4) 173–188.
- Davis, L.C. (2004) Effect of adaptive cruise control systems on traffic flow. *Physical Review E*, 69(6) 66110.
- Delis, A.I., Nikolos, I.K. and Papageorgiou, M. (2015) Macroscopic traffic flow modeling with adaptive cruise control: Development and numerical solution. *Computers & Mathematics with Applications*, 70(8) 1921–1947.
- Google (2017) *Waymo* Available from <https://waymo.com/> [accessed 29 May 2017].
- Gorter, C.M. (2015) *Adaptive Cruise Control in Practice: A Field Study and Questionnaire into its influence on Driver, Traffic Flows and Safety*. TU Delft, Delft University of Technology.
- Greenshields, B.D, Shapiro, D. and Ericksen, E.L (1947) *Traffic Performance at Urban Intersections*.
- Haight (1963) *Mathematical theories of traffic flow*. Mathematics in Science and Engineering. Burlington: Elsevier Science.
- Haugen, T. (2016) *Signalregulering - presentasjon TT-4a*.
- Ingle, S. and Phute, M. (2016) *Tesla Autopilot: Semi Autonomous Driving, an Uptick for Future Autonomy*.
- Jen, E. (2015) What Should I Set My Tesla TACC Following Distance To? TESLARATI.com.
- Karpilow, Q. and Winston, C. (2016) A New Route to Increasing Economic Growth: Reducing Highway Congestion with with Autonomous Vehicles. *unpublished paper*,.
- Kikuchi, S., Uno, N. and Tanaka, M. (2003) Impacts of shorter perception-reaction time of adapted cruise controlled vehicles on traffic flow and safety. *Journal of transportation engineering*, 129(2) 146–154.
- Luo, W., Wu, Y., Yuan, J. and Lu, W. (2017) The Calculation Method with Grubbs Test for Real-Time Saturation Flow Rate at Signalized Intersection. In: *Proceedings of the Second International Conference on Intelligent Transportation*. 2017 Springer, 129–136.

- Mitsubishi Motors (n.d.) *Press Release | Mitsubishi Motors Corporation* Available from <http://www.mitsubishi-motors.com/en/corporate/pressrelease/corporate/detail429.html> [accessed 27 May 2017].
- Ntousakis, I.A., Nikolos, I.K. and Papageorgiou, M. (2015) On microscopic modelling of adaptive cruise control systems. *Transportation Research Procedia*, 6 111–127.
- Olia, A., Abdelgawad, H., Abdulhai, B. and Razavi, S.N. (2015) Traffic-Flow Characteristics of Cooperative vs. Autonomous Automated Vehicles. In: *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*. 2015.
- Samferdselsdepartementet (2016) *Ny transportteknologi: Europakommisjonen legger fram strategi for C-ITS (cooperative intelligent transport systems)* Available from <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-transportteknologi-europakommisjonen-legger-ram-strategi-for-c-its-cooperative-intelligent-transport-systems/id2522999/> [accessed 18 December 2016].
- Says, D.S. (2015) How to Use DISTRONIC PLUS Cruise Control in 2016 Mercedes-Benz. Mercedes-Benz of Scottsdale.
- Schoettle, B. and Sivak, M. (2015) *A Preliminary Analysis of Real-World Crashes Involving Self-Driving Vehicles*. Report No. UMTRI-2015-34, The University of Michigan, Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan, USA.
- Stein Johannessen and Eirik Skjetne (1979) *Trafikkteknisk etterkontroll i signalregulerte kryss*.
- Talebpour, A. and Mahmassani, H.S. (2016) Influence of connected and autonomous vehicles on traffic flow stability and throughput. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 71 143–163.
- Tarko, A.P. and Tracz, M. (2000) Uncertainty in saturation flow predictions. *Red*, 1 P2.
- Teknisk Ukeblad (2016) *Slik skal Tesla gjøre Autopilot tryggere* Available from <http://www.tu.no/artikler/slik-skal-tesla-gjore-autopilot-tryggere/351430> [accessed 19 December 2016].
- Tesla (2016) *Kjøp en ny Tesla i dag | Tesla Norge* Available from https://www.tesla.com/no_NO/new [accessed 17 December 2016].
- Tesla Motors (2016) *Autopilot* Available from <https://www.tesla.com/autopilot> [accessed 27 May 2017].
- Torchinsky, J. (2016) *Does Tesla's Autopilot Suffer From A Dangerous Blind Spot?* Available from <http://jalopnik.com/does-teslas-semi-autonomous-driving-system-suffer-from-1782935594> [accessed 19 December 2016].
- Transport and Road Research Laboratory (1963) *A Method of Measuring Saturation Flow at Traffic Signals*.
- Treiber, M. and Helbing, D. (2001) Microsimulations of freeway traffic including control measures. *at-Automatisierungstechnik Methoden und Anwendungen der Steuerungs-, Regelungs- und Informationstechnik*, 49(11/2001) 478.

- Uber (2017) *Self-Driving Cars | Explore Pittsburgh | Uber* Available from uber.com/cities/pittsburgh/self-driving-ubers/ [accessed 27 May 2017].
- Van Arem, B., Tampère, C.M.J. and Malone, K.M. (2003) Modelling traffic flows with intelligent cars and intelligent roads. In: *Intelligent Vehicles Symposium, 2003. Proceedings. IEEE*. 2003 IEEE, 456–461.
- Vander Werf, J., Shladover, S., Miller, M. and Kourjanskaia, N. (2002) Effects of adaptive cruise control systems on highway traffic flow capacity. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1800) 78–84.
- Varotto, S.F., Hoogendoorn, R.G., van Arem, B. and Hoogendoorn, S.P. (2015) Empirical Longitudinal Driving Behavior in Authority Transitions Between Adaptive Cruise Control and Manual Driving. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2489) 105–114.
- Volkswagen (2013) *De nieuwe Golf - Adaptive Cruise Control*.
- Volvo (2016) *Adaptiv cruisekontroll (ACC)** Available from <http://support.volvocars.com:80/no/cars/Pages/owners-manual.aspx?mc=Y556&my=2015&sw=14w20&article=b70df04ece9db94dc0a801e801071b76> [accessed 18 December 2016].
- Volvo (2014) *Volvo V40 Owners Manual*. In *Volvo (Ed.)*.
- Wei, J., Snider, J.M., Kim, J., Dolan, J.M., Rajkumar, R. and Litkouhi, B. (2013) Towards a viable autonomous driving research platform. In: *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE*. 2013 IEEE, 763–770.
- Yadron, D. and Tynan, D. (2016) Tesla driver dies in first fatal crash while using autopilot mode. *The Guardian*,.

Vedlegg

Vedlagt er de tre datasettene som resultatene i oppgaven er hentet fra.

- Vedlegg 1 – Datasett for stor sikkerhetsavstand
- Vedlegg 2 – Datasett for liten sikkerhetsavstand
- Vedlegg 3 – Datasett for referanse

Alle tre datasettene er satt opp på samme måte med sju kolonner. I vedlegg 1 og vedlegg 2 er datasettet sortert etter andel ACC, siste kolonne. I vedlegg tre en datasettet sortert etter omløp nummer, første kolonne.

Vedlegg 1 – Datasett for stor sikkerhetsavstand

Omløp nummer	Sum luke 5 til n	Antall luker (-4 første)	Gjennomsnittlig luke	Antall biler med ACC (-5 første)	Metning svolum	Andel ACC i prosent
13	12,6	5	2,52	4	1428,57 1429	80
42	28,7	10	2,87	5	1254,35 5401	50
69	17,2	6	2,8666666 67	3	1255,81 3953	50
28	29,9	11	2,7181818 18	5	1324,41 4716	45,454545 45
4	24,5	10	2,45	4	1469,38 7755	40
17	27,8	10	2,78	4	1294,96 4029	40
21	27,4	10	2,74	4	1313,86 8613	40
70	13,7	5	2,74	2	1313,86 8613	40
50	34,1	13	2,6230769 23	5	1372,43 4018	38,461538 46
37	23,5	8	2,9375	3	1225,53 1915	37,5
54	24,9	9	2,7666666 67	3	1301,20 4819	33,333333 33
32	34,8	13	2,6769230 77	4	1344,82 7586	30,769230 77
46	27,3	10	2,73	3	1318,68 1319	30
55	22,7	8	2,8375	2	1268,72 2467	25
35	30,9	13	2,3769230 77	3	1514,56 3107	23,076923 08
25	22	9	2,4444444 44	2	1472,72 7273	22,222222 22
26	27,9	10	2,79	2	1290,32 2581	20
38	24,3	10	2,43	2	1481,48 1481	20
60	28,3	11	2,5727272 73	2	1399,29 3286	18,181818 18
61	29,9	12	2,4916666 67	2	1444,81 6054	16,666666 67
65	32	12	2,6666666 67	2	1350	16,666666 67

45	14,7	7	2,1	1	1714,28 5714	14,285714 29
66	34,8	14	2,4857142 86	2	1448,27 5862	14,285714 29
22	30,5	10	3,05	1	1180,32 7869	10
5	24,3	11	2,2090909 09	1	1629,62 963	9,0909090 91
59	28,7	12	2,3916666 67	1	1505,22 6481	8,3333333 33
64	32,8	13	2,5230769 23	1	1426,82 9268	7,6923076 92

Vedlegg 2 – Datasett for liten sikkerhetsavstand

Omløp nummer	Sum luke 5 til n	Antall luker (-4 første)	Gjennomsnittlig luke	Antall biler med ACC (-5 første)	Metning svolum	Andel ACC i prosent
75	21,7	9	2,4111111111	5	1493,087558	55,55555556
6	11,2	5	2,24	2	1607,142857	40
45	26,2	10	2,62	4	1374,045802	40
71	25,6	10	2,56	4	1406,25	40
33	32,2	13	2,476923077	5	1453,416149	38,46153846
62	29,8	13	2,292307692	5	1570,469799	38,46153846
53	28,9	11	2,627272727	4	1370,242215	36,36363636
65	27,4	11	2,490909091	4	1445,255474	36,36363636
11	28,5	12	2,375	4	1515,789474	33,33333333
58	13,4	6	2,233333333	2	1611,940299	33,33333333
67	32,4	12	2,7	4	1333,333333	33,33333333
2	30,6	13	2,353846154	4	1529,411765	30,76923077
49	21,6	10	2,16	3	1666,666667	30
57	19,9	7	2,842857143	2	1266,331658	28,57142857
40	26,5	11	2,409090909	3	1494,339623	27,27272727
7	20	8	2,5	2	1440	25
35	28,9	12	2,408333333	3	1494,809689	25
38	25,5	11	2,318181818	2	1552,941176	18,18181818
12	23,3	10	2,33	1	1545,064378	10
54	32,1	12	2,675	1	1345,794393	8,333333333
59	35	15	2,333333333	1	1542,857143	6,666666667

68	34,6	15	2,3066666 67	1	1560,69 3642	6,6666666 67
----	------	----	-----------------	---	-----------------	-----------------

Vedlegg 3 – Datasett for referanse

Omløp nummer	Sum luke 5 til n	Antall luker (-4 første)	Gjennomsnittlig luke	Antall biler med ACC (-3 første)	Metning svolum	Andel ACC i prosent
1	16,1	7	2,3	0	1565,21 7391	0
2	23,2	9	2,57777777 78	0	1396,55 1724	0
3	11,2	5	2,24	0	1607,14 2857	0
4	10,6	4	2,65	0	1358,49 0566	0
5	14	6	2,33333333 33	0	1542,85 7143	0
6	15,7	6	2,61666666 67	0	1375,79 6178	0
7	15,7	7	2,2428571 43	0	1605,09 5541	0
8	24,4	10	2,44	0	1475,40 9836	0
9	19,1	8	2,3875	0	1507,85 3403	0
10	11,6	6	1,93333333 33	0	1862,06 8966	0
11	21,1	8	2,6375	0	1364,92 891	0
12	21,6	9	2,4	0	1500	0
13	26,2	10	2,62	0	1374,04 5802	0
14	37	14	2,6428571 43	0	1362,16 2162	0
15	37,5	14	2,6785714 29	0	1344	0
16	11,8	6	1,96666666 67	0	1830,50 8475	0
17	12,6	5	2,52	0	1428,57 1429	0
18	21,6	9	2,4	0	1500	0
19	25	11	2,2727272 73	0	1584	0
20	31	11	2,8181818 18	0	1277,41 9355	0
21	28,9	12	2,4083333 33	0	1494,80 9689	0

22	30,1	9	3,3444444 44	0	1076,41 196	0
23	36	14	2,5714285 71	0	1400	0
24	20,8	8	2,6	0	1384,61 5385	0
25	29,1	10	2,91	0	1237,11 3402	0
26	29,2	11	2,6545454 55	0	1356,16 4384	0
27	27,6	10	2,76	0	1304,34 7826	0
28	22,4	9	2,4888888 89	0	1446,42 8571	0
29	18,7	8	2,3375	0	1540,10 6952	0
30	12,5	5	2,5	0	1440	0
31	11,1	5	2,22	0	1621,62 1622	0
32	16,7	6	2,7833333 33	0	1293,41 3174	0
33	23,5	10	2,35	0	1531,91 4894	0
34	30,3	11	2,7545454 55	0	1306,93 0693	0
35	29,8	11	2,7090909 09	0	1328,85 906	0
36	19,5	10	1,95	0	1846,15 3846	0
37	28,8	11	2,6181818 18	0	1375	0
38	19,2	9	2,1333333 33	0	1687,5	0
39	25,7	9	2,8555555 56	0	1260,70 0389	0
40	38,1	15	2,54	0	1417,32 2835	0
41	27	10	2,7	0	1333,33 3333	0
42	34,8	13	2,6769230 77	0	1344,82 7586	0
43	33,7	15	2,2466666 67	0	1602,37 3887	0
44	24,9	10	2,49	0	1445,78 3133	0
45	33,9	14	2,4214285 71	0	1486,72 5664	0

46	31,9	14	2,2785714 29	0	1579,93 7304	0
47	20,9	9	2,3222222 22	0	1550,23 9234	0
48	23,6	9	2,6222222 22	0	1372,88 1356	0
49	25,1	10	2,51	0	1434,26 2948	0
50	23,6	10	2,36	0	1525,42 3729	0
51	21,8	10	2,18	0	1651,37 6147	0
52	31,4	12	2,6166666 67	0	1375,79 6178	0
53	33,3	12	2,775	0	1297,29 7297	0
54	15,2	7	2,1714285 71	0	1657,89 4737	0
55	11,3	5	2,26	0	1592,92 0354	0
56	19,5	8	2,4375	0	1476,92 3077	0
57	9,3	3	3,1	0	1161,29 0323	0
58	7,9	3	2,6333333 33	0	1367,08 8608	0
59	17,2	7	2,4571428 57	0	1465,11 6279	0
60	8	4	2	0	1800	0
61	8,9	4	2,225	0	1617,97 7528	0
62	15,5	7	2,2142857 14	0	1625,80 6452	0
63	4,3	2	2,15	0	1674,41 8605	0
64	11,2	6	1,8666666 67	0	1928,57 1429	0
65	8,1	3	2,7	0	1333,33 3333	0
66	19,4	7	2,7714285 71	0	1298,96 9072	0
67	20,4	7	2,9142857 14	0	1235,29 4118	0
68	23	10	2,3	0	1565,21 7391	0
69	29,9	10	2,99	0	1204,01 3378	0

70	13,5	5	2,7	0	1333,33 3333	0
71	3,7	2	1,85	0	1945,94 5946	0
72	17,2	7	2,4571428 57	0	1465,11 6279	0
73	12,1	5	2,42	0	1487,60 3306	0
74	17,8	7	2,5428571 43	0	1415,73 0337	0
75	8,2	4	2,05	0	1756,09 7561	0
76	17,4	8	2,175	0	1655,17 2414	0
77	25,8	10	2,58	0	1395,34 8837	0
78	30,5	14	2,1785714 29	0	1652,45 9016	0
79	26,2	11	2,3818181 82	0	1511,45 0382	0
80	31,4	13	2,4153846 15	0	1490,44 586	0
81	14,9	7	2,1285714 29	0	1691,27 5168	0
82	30,5	11	2,7727272 73	0	1298,36 0656	0
83	21,1	10	2,11	0	1706,16 1137	0
84	10	5	2	0	1800	0
85	25,9	10	2,59	0	1389,96 139	0
86	32,6	14	2,3285714 29	0	1546,01 227	0
87	31,7	11	2,8818181 82	0	1249,21 1356	0
88	30,9	12	2,575	0	1398,05 8252	0
89	26,3	10	2,63	0	1368,82 1293	0
90	30,9	12	2,575	0	1398,05 8252	0
91	29,6	12	2,4666666 67	0	1459,45 9459	0
92	29,8	12	2,4833333 33	0	1449,66 443	0
93	35,3	13	2,7153846 15	0	1325,77 9037	0

94	18,3	7	2,6142857 14	0	1377,04 918	0
95	19,5	9	2,1666666 67	0	1661,53 8462	0
96	20,1	7	2,8714285 71	0	1253,73 1343	0