

Student Øydis Rabbås Holsdal

Trafikkavvikling og atferd i signalregulerte gangfelt på strekning

Trondheim, 18. desember 2009

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

Institutt for bygg, anlegg og transport





Oppgavens tittel: Trafikkavvikling og atferd i signalregulerte gangfelt på strekning	Dato: 18.desember 2009		
	Antall sider (inkl. bilag): 58		
	Masteroppgave	Prosjektoppgave	X
Navn: Stud.techn. Øydis Rabbås Holsdal			
Faglærer/veileder: Professor Stein Johannessen			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Victor Jenssen og Kristin Kråkenes, Statens vegvesen Region midt Amanuensis Arvid Aakre, NTNU			

<p>Ekstrakt:</p> <p>I signalregulerte gangfelt på strekninger i Norge benyttes i dag et system med forhåndsinnstilte fasetider for fotgjengere, der grønn mann gir mulighet til å krysse gangfeltet, samtidig som rødt lys gir bilistene stopplikt.</p> <p>Formålet med denne prosjektoppgaven har vært å se på hvordan dagens signalregulerte gangfelt på strekning fungerer i praksis, samt hvilke nye former for regulering som kan være aktuelle å innføre for å oppnå en forbedring. For å finne et svar på dette er et litteraturstudie gjennomført, der reguleringssystemer som brukes i enkelte andre land er kartlagt. Det er lagt størst vekt på PELICAN og PUFFIN, som er to systemer for signalanlegg som benyttes i Storbritannia. PELICAN er til en viss grad likt dagens norske signalanlegg, men skiller seg ut ved at det benyttes kombinert blinkende grønn mann for fotgjengere og blinkende gult for kjøretøy på slutten av fotgjengerfasen. PUFFIN er et nytt konsept som benytter detektering av fotgjengere til å beregne nødvendig varighet av fotgjengerfasen.</p> <p>Som utgangspunkt for en vurdering av dagens system, er feltstudier gjennomført på to utvalgte steder i Trondheim. Der ble det lagt vekt på å kartlegge fotgjengernes atferd, trafikkavvikling og forsinkelser for biltrafikken. I etterarbeidet er simuleringsprogrammet SIDRA TRIP benyttet for å beregne utslipp fra kjøretøy som følge av stopp ved signalanlegg. Akselerering etter å ha bremsset ned til lav fart gir de største utslippsmengdene, mens tiden kjøretøyet står på tomgang ved rødt lys ikke har så mye å si for det totale utslippet. Reduksjon av situasjoner som gir behov for slik akselerering er dermed et viktig tiltak for å redusere utslipp grunnet signalanlegg.</p> <p>Ved en sammenligning av dagens system, PELICAN og PUFFIN, er det konkludert med at innføring av et av de britiske reguleringsanleggene vil kunne forbedre situasjonen i signalregulerte gangfelt i form av hensyn til fotgjengernes kryssetid, redusert forsinkelse for kjøretøy, forbedret trafikkavvikling og reduserte utslipp.</p>

Stikkord:

1. Signalregulerte gangfelt på strekning
2. Fotgjengeratferd
3. Forsinkelse for kjøretøy i signalanlegg
4. Utslipp fra kjøretøy, simulering med SIDRA TRIP

(sign.)

Forord

Denne rapporten er et resultat av et fordypningsprosjekt skrevet av student Øydis Rabbås Holsdal for Institutt for bygg, anlegg og transport ved NTNU høsten 2009. Oppgaven tar for seg trafikkavvikling og atferd i signalregulerte gangfelt på strekninger.

Høsten 2008 deltok jeg i faget TBA 4285 Trafikkregulering, hvor det blant annet ble undervist om trafikkavvikling og signalregulering. Jeg fattet interesse for disse temaene, og fikk lyst til å lære mer om dette. I ettertid har jeg flere ganger gjort meg tanker om reguleringen i ulike signalanlegg, enten mens jeg har ventet på grønt lys for kjøretøy, eller som fotgjenger har ventet på grønn mann. Å skrive en prosjektoppgave om signalregulerte gangfelt, hvor det også ble sett på muligheter for innføring av nye reguleringssystemer, så jeg derfor på som svært interessant. Etter å ha tatt kontakt med Stein Johannessen kom han med forslag til tema og oppgaveformulering som resulterte i denne prosjektoppgaven.

Hovedveileder for prosjektet har vært Professor Stein Johannessen ved faggruppe Veg og samferdsel på Institutt for bygg, anlegg og transport ved NTNU. I tillegg har Førsteamanuensis Arvid Aakre ved NTNU fungert som veileder ved bruk av SIDRA TRIP. Eksterne kontakter i forbindelse med prosjektet har vært Victor Jenssen og Kristin Kråkenes fra Statens vegvesen, Region midt. Disse har bidratt med informasjon i forbindelse med de to registreringspunktene brukt i feltstudiene.



Faggruppe: Veg og samferdsel

Postadresse

Høgskoleringen 7A

7491 Trondheim

Telefon 73 59 46 40

Telefax 73 59 70 21

FORDYPNINGSPROSJEKTOPPGAVE

HØSTEN 2009

for

Stud techn. Øydis Rabbås Holsdal

Trafikkavvikling og atferd i signalregulerte gangfelt på strekning

Bakgrunn

Tema for oppgaven er frittstående signalregulerte gangfelt på strekning, utenfor det sentrale byområdet. Slike anlegg reguleres på ulike måter i ulike land. F eks benyttes i Storbritannia (UK) en løsning (Pelican) med overgang til blinkende grønn mann og, på samme tid, blinkende gult for bilistene, slik at de kan kjøre hvis det er klart, samt en nyere løsning (Puffin), som både skal sikre fotgjengerne god fremkommelighet og sikkerhet, samtidig som unødvendig venting unngår for bilistene. Det er derfor interessant å vurdere hvordan de norske anleggene fungerer i dag, og å vurdere hvordan alternative løsninger kunne tenkes å innvirke på avvikling, sikkerhet og miljø.

Oppgaven

Første del av oppgaven vil være å gjennomføre en begrenset litteraturoversikt over hvordan slike gangfelt reguleres i Norge, UK og evt andre nordiske/europeiske land.

Med dette som utgangspunkt skal det gjennomføres feltstudier av hvordan dagens system fungerer på noen få utvalgte steder i Trondheim. Disse feltstudiene skal i første omgang danne grunnlag for en vurdering av:

- hvordan disse anleggene benyttes av fotgjengerne i dag,
- hvilke forsinkelser som påføres biltrafikken (med aktuell trafikkmengde)
- et grovt anslag på hvilke utslipp som er forbundet med disse forsinkelsene (f eks knyttet til vurdering av kjøreprofilen med oppbremsing, tid i kø og aksellerasjon til normal fart)

Deretter ønskes en vurdering av hvordan en evt endring av dagens system i retning av praksis i UK vil kunne antas å virke inn på trafikkavvikling, forsinkelser og utslipp på de aktuelle observasjonsstedene. Denne vurderingen foreslås i hovedsak knyttet til Pelican-systemet, men det er også ønskelig med en noe enklere vurdering av eventuell bruk av Puffin-systemet i Norge.

Som avslutning ønskes en mer overordnet vurdering der også forhold knyttet til eventuell innføring av slike nye systemer på nasjonal basis, herunder fotgjengernes forståelse, trygghet og sikkerhet, trekkes inn i vurderingene.

Generelt

Ovenstående tekst er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil, om nødvendig, kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Evt. justeringer må skje i samråd med veileder og faglærer ved instituttet.

Normert arbeidsbelastning for prosjektoppgaven er 7,5 studiepoeng som tilsvarer 12 ukebelastingstimer, dvs tilsvarende ca. 192 arbeidstimer pr student.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundigheten i bearbeidingen, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal ha sammendrag, innholdsfortegnelse (med fortegnelse over evt. vedlegg og bilag) og komplett paginering. Alt kildemateriale som ikke er av generell karakter, skal angis slik at man uten problemer kan finne tilbake til kilden. Dette gjelder også opplysninger og informasjon som er gitt muntlig.

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskriving ved prosjektarbeid og hovedoppgave ved Institutt for bygg- og anleggsteknikk». Dette er retningslinjer for det gamle BA-instituttet, men de gjelder også for Institutt for bygg, anlegg og transport.

(<http://www.ivt.ntnu.no/bat/undervisning/rapportveiledning.pdf>)

Instituttet vil ha full rett til å bruke resultatene av arbeidet, som om det var utført av en ansatt under den ordinære arbeidsbelastning. Bruk av resultatene til publisering etc. kan bare skje i samarbeid med og etter avtale med faglærer og student (og eventuelt ekstern samarbeidspartner).

Innleveringsfrist:

Oppgavebesvarelsen i original (uinnbundet) samt to kopier skal leveres til instituttet innen

Fredag 18. desember 2009 kl 1500.

I tillegg skal en elektronisk versjon av oppgavebesvarelsen leveres/sendes til faglæreren.

Veileder: Professor Stein Johannessen

Eksterne kontakter: Victor Jenssen og Kristin Kråkenes, Statens vegvesen, Region midt

Institutt for bygg, anlegg og transport

Dato: 1. september 2009



Faglærer

Sammendrag

Formålet med denne prosjektoppgaven har vært å se på hvordan dagens signalregulerte gangfelt på strekning fungerer i praksis, samt hvilke nye former for regulering som kan være aktuelle å innføre for å oppnå en forbedring. For å finne et svar på dette, er det først gjennomført et litteraturstudie for å få en oversikt over hvordan signalregulerte gangfelt reguleres i Norge og andre land. Det er lagt størst vekt på beskrivelse av PELICAN og PUFFIN, som er to systemer for signalanlegg som benyttes i Storbritannia. PELICAN er til en viss grad likt dagens norske signalanlegg, men skiller seg ut ved at det benyttes kombinert blinkende grønn mann for fotgjengere og blinkende gult for kjøretøy på slutten av fotgjengerfasen. PUFFIN er et nytt konsept som benytter detektering av fotgjengere til å beregne nødvendig varighet av fotgjengerfasen. De to formene for regulering gir mulighet for redusert forsinkelse for biltrafikken, og bedre tilpasning av kryssetid for fotgjengere.

Som utgangspunkt for en vurdering av dagens system, er feltstudier gjennomført på to utvalgte steder i Trondheim. Der ble det lagt vekt på å kartlegge fotgjengernes atferd, trafikkavvikling og forsinkelser for biltrafikken. Registreringene viste at dagens signalanlegg medfører mye unødvendig stopp og forsinkelser, da det ofte kun er fotgjengere i gangfeltet under første del av fotgjengerfasen, mens bilene likevel må vente til hele fasen er ferdig før de kan kjøre videre. Slike stopp kan medføre kødannelse, og har negativ innvirkning på trafikkavviklingen. I etterarbeidet er simuleringsprogrammet SIDRA TRIP benyttet for å beregne utslipp fra kjøretøy som følge av stopp ved signalanlegg. Simuleringene i SIDRA TRIP viste at de største utslippene i forbindelse med signalanleggene kommer under akselereringen til normalhastighet etter at kjøretøyet har senket farten eller stått stille. Tiden kjøretøyet står på tomgang på grunn av rødt lys har ikke så stor betydning for det totale utslippet. For å redusere utslippene grunnet signalanlegg, vil det derfor være av størst hensikt å gjennomføre tiltak som går på å redusere behovet for bremsing og akselerasjon.

Avslutningsvis er det sett nærmere på PELICAN og PUFFIN, og hvordan disse systemene vil kunne tenkes å fungere som erstatning for dagens system både i de to gangfeltene fra feltstudiene og på et nasjonalt nivå. For å gjøre en god sammenligning ble det er beregnet fasetider tilpasset de to gangfeltene fra feltstudiene, og for den ene løsningen (PELICAN) ble i tillegg SIDRA TRIP benyttet for å beregne utslipp. Innføring av et nytt system vil kunne redusere utslippene, da de nye systemene gir mulighet for at færre kjøretøy må stoppe. Et signalanlegg som tilpasser seg ulike situasjoner vil også føre til bedre trafikkavvikling og mindre forsinkelser for biltrafikken, samt reduserte utslipp som følge av dette. Av disse årsakene konkluderes det med at det kan anbefales å innføre en ny type regulering av signalregulerte gangfelt i Norge.

Innholdsfortegnelse

Tittelside.....	1
Forord.....	3
Oppgavetekst.....	5
Sammendrag	7
Tabelliste	10
Figurliste	10
Innledning.....	12
1 Regulering av signalregulerte gangfelt.....	13
1.1 Signalregulerte gangfelt i Norge.....	13
1.1.1 Beskrivelse av utstyr og tidsstyring	13
1.1.2 Faseinndeling.....	14
1.1.3 Planlegging av gangfelt og tidssetting	15
1.2 Eksempler på andre reguleringsystemer	16
1.2.1 PELICAN	16
1.2.2 PUFFIN	17
1.2.3 Signalregulerte gangfelt i Sverige	19
1.2.4 Nedtelling i signalanlegg.....	19
2 Registrering på utvalgte signalanlegg.....	20
2.1 Beskrivelse av registreringsmetode og gjennomføring.....	20
2.2 Resultater fra feltstudiene	21
2.2.1 Presentasjon av registreringspunktene.....	21
2.2.2 Resultater fotgjengere.....	24
2.2.3 Resultater kjøretøy.....	26
2.3 Vurderinger og videre analyse av resultatene	27
2.3.1 Fotgjengeratferd.....	28
2.3.2 Kjøretøyatferd	28
2.3.3 Kryssetid og forsinkelse	28
2.3.4 Beregning av utslipp fra ventende kjøretøy.....	29
3 Innføring av nytt reguleringsystem for signalregulerte gangfelt.....	40
3.1 PELICAN	40
3.1.1 Fasetid tilpasset gangfelt 6 og 10 meter	40
3.1.2 Beregning av utslipp	41
3.2 PUFFIN	43

3.2.1	Fasetid tilpasset gangfelt 6 og 10 meter	43
3.3	Sammenligning og vurderinger	43
3.3.1	Sammenligning av dagens signalanlegg, PELICAN og PUFFIN	44
3.3.2	Sammenligning av utslipp med dagens system og PELICAN	46
3.3.3	Forhold knyttet til innføring av nytt system på nasjonal basis	47
4	Konklusjon	47
	Referanseliste	49
	VEDLEGG A: Oversiktskart med registreringspunktene	51
	VEDLEGG B: Registreringsskjema	53
	VEDLEGG C: Beregning av stopptider, excel-ark	57

Tabelliste

Tabell 1	Fasetider signalregulert gangfelt	14
Tabell 2	Fasetider PELICAN	16
Tabell 3	Fasetider PUFFIN	18
Tabell 4	ÅDT for registreringspunkt	20
Tabell 5	Generell informasjon fra signalanleggene	21
Tabell 6	Signalvekslingstider Odd Husbys veg	22
Tabell 7	Signalvekslingstider Stadsingeniør Dahls gate	24
Tabell 8	Inndeling av kjøretøytyper	31
Tabell 9	Utslippetsandeler for utvalgte kjøretøytyper	32
Tabell 10	Kjøretøyparametere for personbil	32
Tabell 11	Standardparametere for estimering av drivstoff-forbruk og utslipp	33
Tabell 12	Verdier for kjøreprofiler, Odd Husbys veg	36
Tabell 13	Stopptider for kjøreprofiler, Odd Husbys veg	37
Tabell 14	Verdier for kjøreprofiler, Stadsingeniør Dahls gate	37
Tabell 15	Stopptider for kjøreprofiler, Stadsingeniør Dahls gate	37
Tabell 16	Resultater Odd Husbys veg	38
Tabell 17	Resultater Stadsingeniør Dahls gate	38
Tabell 18	Tilpasset faseinnstilling PELICAN	40
Tabell 19	Kjøreprofiler med bruk av PELICAN	41
Tabell 20	Resultater 6 meter kryssingslengde	42
Tabell 21	Resultater 10 meter kryssingslengde	42
Tabell 22	Tilpasset faseinnstilling PUFFIN	43
Tabell 23	Sammenligning ulike systemer	44
Tabell 24	Sammenstilling av utslipp for ulike signalanlegg og kryssingslengder	46

Figurliste

Figur 1	Faseinndeling	14
Figur 2	Beregning av gultid	15
Figur 3	Trykknappenheter, PUFFIN	17

Figur 4 Prinsipp for detektering av fotgjengere	17
Figur 5 Trykknappenhet, Nederland.....	19
Figur 6 Signalanlegget i Odd Husbys veg sett fra sør mot nord	22
Figur 7 Signalanlegget i Stadsingeniør Dahls gate sett fra sør mot nord	23
Figur 8 Registrert fotgjengeratferd	25
Figur 9 Fordeling ulike aldersgrupper, Odd Husbys veg.....	26
Figur 10 Fordeling ulike aldersgrupper, Stadsingeniør Dahls gate.....	26
Figur 11 Gjennomsnittlig stopptid.....	27
Figur 12 Utslipp av karbondioksid	30
Figur 13 Utslipp av nitrogenoksider	30
Figur 14 Eksempel på kjøreprofiler	33

Innledning

Temaet for denne prosjektoppgaven er trafikkavvikling og atferd i signalregulerte gangfelt på strekning. I henhold til Statens vegevesens håndbok 270 *Gangfeltkriterier* (SVV, 2007a) kan signalregulerte gangfelt på strekninger benyttes dersom et visst antall fotgjengere krysser i makstimen, samtidig som ÅDT på strekningen er større enn 2000 kjt/d og fartsgrensen er minst 40 km/t. I signalregulerte gangfelt i Norge benyttes i dag et system med forhåndsinnstilte fasetider for fotgjengere, der grønn mann og blinkende grønn mann gir mulighet til å krysse gangfeltet samtidig som kjøretøy har stopplikt for rødt lys.

PELICAN og PUFFIN er to systemer for signalanlegg som benyttes i Storbritannia. PELICAN tilhører den eldre typen signalanlegg, og er til en viss grad likt det norske systemet. Anlegget skiller seg ut ved at det benyttes en felles fase med blinkende grønn mann for fotgjengere og blinkende gult for kjøretøy på slutten av fotgjengerfasen. PUFFIN er et nyere konsept som benytter detektering av fotgjengere til å beregne nødvendig varighet av fotgjengerfasen. De to formene for regulering gir mulighet til redusert forsinkelse for biltrafikken, og bedre tilpasning av krysstid for fotgjengere. Et pilotprosjekt med PUFFIN-konseptet ble gjennomført i Oslo i 2004.

Formålet med prosjektoppgaven er å se på hvordan dagens system for signalregulerte gangfelt fungerer i praksis, samt hvilke mulige løsninger som kan være aktuelle å innføre i stedet. For å finne et svar på dette, er først et litteraturstudie blitt gjennomført for å kartlegge hvilke reguleringssystemer som benyttes i enkelte andre land, med hovedfokus på løsningene i Storbritannia. Som utgangspunkt for en vurdering av dagens system, er feltstudier gjennomført på to utvalgte steder i Trondheim, og datagrunnlaget fra disse blir benyttet til videre vurderinger. I feltstudiene er det lagt vekt på å kartlegge fotgjengernes atferd, trafikkavvikling og forsinkelser for biltrafikken. I tillegg er programmet SIDRA TRIP benyttet i ettertid for å beregne utslipp fra kjøretøy som følge av stopp ved signalanlegg. Resultater fra feltstudiene er til slutt sammenlignet med informasjon fra litteraturstudiet og resultatene fra simuleringene i SIDRA TRIP. I den endelige sammenligningen er det lagt vekt på trafikanters sikkerhet og opplevelse av signalregulert gangfelt, forsinkelse for bilister, trafikkavvikling og muligheter for å redusere utslipp fra kjøretøy.

Oppgaven er begrenset til å se på sammenligninger med systemene PELICAN og PUFFIN, med hovedvekt på PELICAN. Simuleringene i SIDRA TRIP er gjort med forenklete inndata, da hovedmålet kun har vært å se på hvilke resultater og muligheter programmet gir med tanke på vurdering av utslipp.

I kapittel 1 blir resultatene fra litteraturstudiet presentert, med fokus på hvordan ulike signalregulerte gangfelt reguleres både i Norge og andre land. Kapittel 2 beskriver registreringene gjort under feltstudiene og analyse av resultatene i etterkant, og kapittel 3 tar for seg sammenligninger og vurderinger med tanke på innføring av nytt reguleringssystem.

1 Regulering av signalregulerte gangfelt

I dette kapittelet blir det gjort kort rede for ulike systemer for signalregulerte gangfelt. Det er først sett på hvilket system som i dag benyttes i Norge. Deretter er eksempler på andre systemer beskrevet, med størst vekt på PELICAN og PUFFIN fra Storbritannia.

1.1 Signalregulerte gangfelt i Norge

Dagens system for signalregulerte gangfelt består av trelyssignal og fotgjengersignal, trykknapp for gående og akustiske signalgivere. Videre informasjon om dette er gitt i delkapittel 1.1.1 og 1.1.2, og er hentet fra Statens vegvesens håndbok 048 *Trafikksignalanlegg: tekniske bestemmelser og retningslinjer for anvendelse og utforming* (SVV, 2007c) når ikke annet er oppgitt.

1.1.1 Beskrivelse av utstyr og tidsstyring

I Skiltforchriften fastsatt av Samferdselsdepartementet (SD, 2005) er det oppgitt følgende regler for de to signaltypene som benyttes i signalregulerte gangfelt:



Signal 1080 - Trelyssignal

Ved rødt lys må kjørende ikke passere signal eller stopplinje. Gående må ikke begynne kryssing av kjørebanelen hvis dette vil være til hinder for kjørende, eller innebære fare. Rødt lys sammen med gult lys varsler at veksling til grønt lys vil skje straks. Ved grønt lys kan kjørende passere signal eller stopplinje dersom vegen er fri. Gående kan krysse kjørebanelen. Gult lys alene varsler at veksling til rødt lys vil skje straks, og at kjørende skal stanse. Kjørende kan likevel passere signalet eller stopplinjen hvis kjøretøyet er nådd så langt fram at stans ikke kan skje uten fare.



Signal 1086 – Fotgjengersignal

Rødt signal betyr at gående ikke må begynne kryssing av kjørebanelen hvis dette vil være til hinder for kjørende, eller innebære fare. Gående som allerede er kommet ut i kjørebanelen, kan fortsette kryssingen. Grønt signal betyr at gående kan krysse kjørebanelen. Blinkende, grønt signal varsler at signalet om kort tid vil skifte til rødt, og har samme betydning som rødt signal.

Trykknappene som brukes skal ha taktil pil som viser retning på gangfeltet, og bør ha taktilt kart som viser vegarmen gangfeltet krysser.

Akustiske signalgivere skal gi et pulssignal på grønt lys.

Fotgjengersignalet skal plasseres i hver ende av fotgjengerfeltet, med trykknapp i en naturlig høyde til å trykke på. Dersom gangfeltet krysser trafikkøy, og det ikke er lang nok grønntid til å krysse hele vegen på en periode, brukes sideforskyvning (saksing) av gangfeltet.

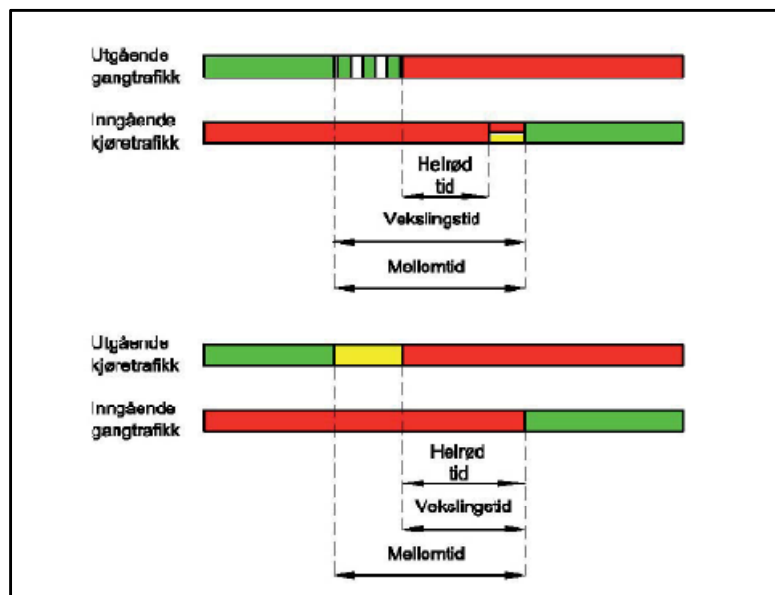
Trelyssignalet viser grønt for kjøretøy så lenge ingen gående trykker på trykknappen. Når en fotgjenger trykker på trykknappen, følger fasetider som vist i tabell 1.

Tabell 1 Fasetider signalregulert gangfelt

Periode	Signal		Tidsinnstilling (sek)
	Fotgjengersignal	Kjøretøy	
A	Rød mann	Grønt lys	Varierer
B	Rød mann	Gult lys	3
C	Rød mann	Rødt lys	Varierer avhengig av kjøretøyhastighet og tømningsslengde. Minste verdi= 1
D	Grønn mann, evt. med tilhørende akustisk/taktilt signal	Rødt lys	Varierer $G_{\text{Min}} = \frac{t_t}{2} + 2$ der t_t = tømningstid for gående
E	Blinkende grønn mann	Rødt lys	3 -8(halve tømningstiden eller lengre) 0 dersom tømningstiden < 6 sek
F	Rød mann	Rødt lys	Varierer avhengig av tømningstid for gående.
G	Rød mann	Rødt/gult lys	1

1.1.2 Faseinndeling

Det bør tilstrebes å ha så kort omløpstid som mulig i signalanlegg med fotgjengere, slik at fotgjengerne slipper lang ventetid, og stopptiden for kjøretøy ikke blir så lang. Et signalregulert gangfelt består av faseinndelinger som vist i figur 1.



Figur 1 Faseinndeling

Tillatt fart (km/t)	≤ 50	60
Fast gultid (sek)	3,0	4,0
Variabel gultid (sek) *	2,0→4,0	3,0→5,0

Figur 2 Beregning av gultid

Mellomtid er tiden der det skjer noe mellom konflikterende signalgrupper, og fastsettelse av den er derfor viktig for trafikkikkerheten. Mellomtiden består av gultid (eventuelt grønnblink for fotgjengere), helrød tid og rød/gul tid. **Gultiden** fastlegges på grunnlag av tillatt fart, som vist i figur 2. **Rød/gul tid** skal være 1,0 sekund.

Tømmingstid er tiden fotgjenger eller kjøretøy bruker på å passere gangfeltet dersom de ankommer i det signalet skifter til rødt lys/rød mann. Tømmingstiden for gående beregnes ut fra en ganghastighet på 1,2 m/s, og regnes fra kantstein til kantstein. For kjøretøy er tømmingstiden minimum 1 sekund, avhengig av hastighet og tømmingslengde.

Innkjøringstid er tiden fotgjenger eller kjøretøy bruker på å komme ut i gangfeltet. For gående er denne tiden lik 0 sekund. For kjørende skal innkjøringstiden beregnes for den situasjonen at kjøretøy passerer stopplinjen under fart i det øyeblikket signalet skifter fra rød/gult til grønt.

Vekslingstid er tiden fra en signalgruppe skifter til rødt (evt. blinkende grønt for fotgjengere) til et konflikterende signal skifter til grønt. Hensikten med vekslingstiden er at den skal være lang nok til at det ikke oppstår konflikter mellom konflikterende trafikkstrømmer.

Vekslingstid: $t_v = t_t - t_i$ (tømmingstid – innkjøringstid)

Minimum **grønntid** med grønn mann for gående skal være lik halve tømmingstiden (for gående) med et tillegg på 2 sekunder. **Grønn blinkende mann** vises som en del av tømmingstiden, og skal normal utgjøre halve tømmingstiden dersom den er 6 sekunder eller lengre. Ved kortere tømmingstid skal hele tømmingen vises som rødt. Grønt blinkende lys skal vare i maksimalt 8 sekunder.

1.1.3 Planlegging av gangfelt og tidssetting

Informasjon om planlegging og tidssetting av signalanlegg er hentet fra kapittel 2.3 i Statens vegvesens håndbok 142 *Trafikksignalanlegg: Planlegging, drift og vedlikehold*. (SVV, 2007b)

Kapasiteten i et gangfelt kan påvirkes ved å regulere bredde og størrelse på venteareal og gangfelt, eller forlenge grønntidsandelen. Det kan også benyttes ulike styringsformer avhengig av ønsket virkning.

Ved bruk av tidsstyring er det ingen detektering av verken kjøretøy eller fotgjengere. Slik styring er særlig aktuelt i bysenter, der mange fotgjengere skal over et kryss samtidig og det er ønskelig med kortest mulig omløpstid for å redusere ventetiden for fotgjengere.

Trafikkstyring består av detektering kun av fotgjengere (ved bruk av trykknapp), eller detektering både av fotgjengere og kjøretøy. Full detektering mest normalt. Luketidskrav til kjøretøydetektorene fører til forlengelse av grønntiden, og dermed kan minimumstiden for kjøretøy settes lav.

Hvilefase er den fasen signalanlegget veksler til og hviler i når det ikke er noen anrop. Det finnes tre ulike alternativer for hvilefaser. Ett av dem er grønt for kjøretøygruppene, der fotgjengere må benytte trykknapp for å endre fase. Dette blir benyttet ved signalregulerte gangfelt på strekninger.

1.2 Eksempler på andre reguleringsystemer

Det er mange ulike reguleringsystemer i bruk rundt i ulike land, og det er av interesse å se nærmere på enkelte av disse for å gjøre vurderinger i forhold til dagens system i Norge. I den følgende teksten er det gitt en beskrivelse av noen av systemene som anses å kunne passe norske forhold.

1.2.1 PELICAN

Dette systemet er beskrevet i notatet *The design of pedestrian crossings* utgitt av Department of Transport i London (DoT, 1995). PELICAN står for Pedestrian Light Controlled crossing, og minner mye om signalregulerte gangfelt på strekninger i Norge. Systemet består av et trehodesignal for kjøretøy og fotgjengersignal plassert ved gangfeltet på hver side av vegen. Signalet for fotgjengere har en forhåndsbestemt varighet, og settes i gang ved å trykke på trykknappen. PELICAN skiller seg ut fra det norske systemet ved at deler av fotgjengerfasen består av kombinert blinkende grønn mann og blinkende gult for kjøretøy. I denne felles fasen har fotgjengere fortsatt førsteprioritet, men kjøretøy har i tillegg tillatelse til å kjøre dersom det ikke er noen fotgjengere til stede.

I hviletiden viser fotgjengersignalene og trehodesignalene henholdsvis rød mann og grønt lys. Når noen trykker på trykknappen går kjøretøysignalet via gult og over til rødt lys. Det vises rødt for kjøretøy i noen sekunder før fotgjengeren får grønn mann, eventuelt med tilhørende akustisk signal. Dette varer kun en bestemt periode før signalet går over til blinkende grønn mann. Samtidig får kjøretøyene vist gult blinkende lys. Dette gir dem beskjed om at fotgjengere har førsteprioritet til å krysse, men at det er lov å kjøre dersom ingen fotgjenger krysser. Det blinkende gule lyset varer et par sekunder etter at fotgjengersignalet skifter til rød mann, og går deretter over til normal grønt.

PELICAN- systemet tar hensyn til at fotgjengernes grøntid ikke alltid blir fullt utnyttet, og gir kjøretøyene mulighet til å unngå unødvendig stopp dersom fotgjengersignalet ikke blir benyttet ut tiden med grønn mann. Tabell 2 viser hvordan de ulike fasetidene i et PELICAN- styrt signalanlegg er inndelt.

Tabell 2 Fasetider PELICAN

Periode	Signal		Tidsinnstilling (sek)
	Fotgjengersignal	Kjøretøy	
A	Rød mann (vent)	Grønt lys (kjør hvis klart)	20-60 (fast) 6-60 (variert)
B	Rød mann	Gult lys (stopp så lenge det er trygt)	3
C	Rød mann	Rødt lys (stopp og vent bak stopplinje)	1-3 ($V_{85} > 35 \text{ km/t} \rightarrow 3 \text{ sek}$)
D	Grønn mann, evt. med tilhørende akustisk signal	Rødt lys	4-7 ($L < 7,5 \text{ m} \rightarrow 4 \text{ sek}$) ($L = 7,5-10,5 \text{ m} \rightarrow 5 \text{ sek}$)
E	Blinkende grønn mann (ikke begynn kryssing her)	Rødt lys	0/2 (avhenger av kapasitet (0) eller pågående biltrafikk (2))
F	Blinkende grønn mann	Blinkende gult lys (ta hensyn til fotgjengere i gangfeltet, de har førsteprioritet)	6-18 (6 sek + 1 sek for hver 1,2 m ved kryssing > 6 m)
G	Rød mann	Blinkende gult lys	1 (for kryssing opp til 10,5 m. >10,5 m $\rightarrow 2 \text{ sek}$)

1.2.2 PUFFIN

PUFFIN-systemet er en nyinnført type signalanlegg i Storbritannia, og en beskrivelse av systemet er gitt i teksten *PUFFIN Crossings, Good Practice Guide* som er utgitt av Department for Transport og County Surveyors' Society (DfT og CSS, 2006).

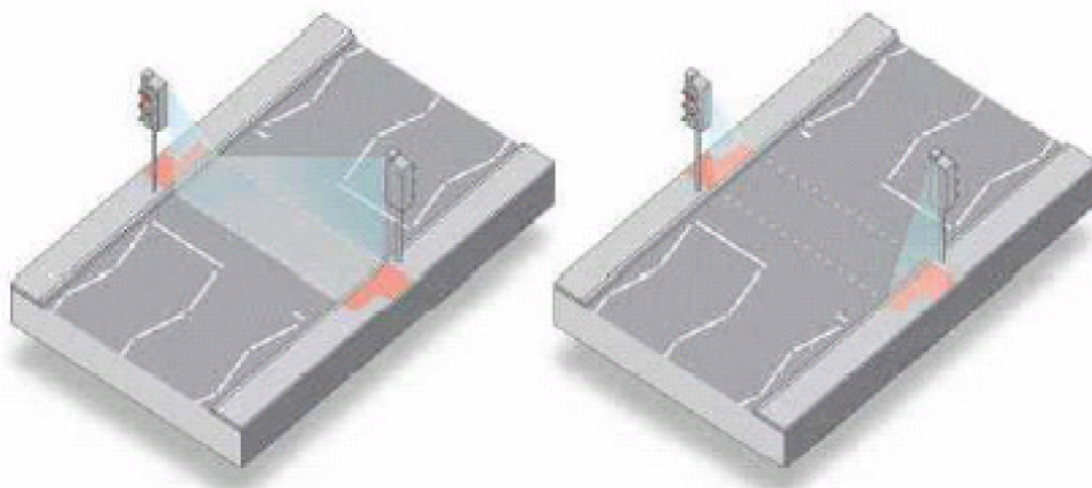
PUFFIN står for *Pedestrian User-Friendly Intelligent crossing*, og er et brukervennlig konsept for fotgjengeres kryssing av veg. Signalanlegget varierer automatisk grøntiden for fotgjengere slik at de får den tiden de trenger for å krysse vegen. Samtidig bidrar systemet til å unngå problemet med at kjøretøy må stoppe for gangfeltet uten at det er fotgjengere som skal krysse.

Systemet består av fotgjengerdetektorer ute i gangfeltet og i ventearealet ved vegen. Prinsippet for detektering er vist i figur 4. Det brukes ingen blinkende lys, verken for kjøretøy eller fotgjengere.



Figur 3
Trykknappenehet,
PUFFIN

Når en fotgjenger trykker på trykknappen søker detektoren på ventearealet etter ventende personer. Dersom noen har trykket og gått, eller står utenfor ventearealet, blir anropet om grønn mann tilbakekalt automatisk. Dersom detektoren oppdager ventende person, vil signalet gå over til grønn mann og eventuelt akustisk og/eller taktilt signal der det passer. Alle beskjeder til fotgjengerne, inkludert grønn/rød mann, blir gitt via trykknappeneheten (figur 3). Dette fører til at den ventende kan stå og se i samme retning som trafikken kommer fra, samtidig som det er mulig å legge merke til grønn mann. Når fotgjengeren så begynner å krysse, vil detektorene ute i vegen registrere hvor langt han eller hun har kommet, og beregne grøntid lang nok til at fotgjengeren rekker å krysse ferdig. Etter at fotgjengeren har krysset vegen, og grønn mann har skiftet til rødt, fortsetter fotgjengerprioriteringen med rødt for kjøretøy fram til detektorene har klarert fotgjengerfeltet. Ved rødt mann har ikke fotgjengere rett til å starte kryssing, da det ikke kan garanteres at resterende tid før det blir grønt for kjøretøy er tilstrekkelig. Maksimal forlengelse av rødtiden er 25 sekunder ($F + G$ i tabell 3). Dersom denne tiden overskrides, kan en tilleggsperiode på 3 sekunder legges til før signalet for kjøretøy skifter til grønt (H i tabell 3). Når fotgjengerprioriteringen er over, går signalet for kjøretøy fra rødt via rødt/gult til grønt. Det er satt en minimum grøntidsperiode for kjøretøyene. Dersom en fotgjenger ankommer fotgjengerfeltet i denne tiden vil ikke signalet gå over til grønn mann før kjøretøyenes minimumstid er over.



Figur 4 Prinsipp for detektering av fotgjengere (Gran, 2005)

Eksempel på fasetider og bestemmelse av disse er vist i tabell 3. Tabellen er hentet fra notatet *The design of pedestrian crossings* (DoT, 1995).

Tabell 3 Fasetider PUFFIN

Periode	Signal		Tidsinnstilling (sek)
	Fotgjengersignal	Kjøretøy	
A	Rød mann	Grønt lys	20-60 (fast) 6-60 (variert)
B	Rød mann	Gult lys	3
C	Rød mann	Rødt lys	1-3 ($V_{85} > 35 \text{ km/t} \rightarrow 3$)
D	Grønn mann, evt. med tilhørende akustisk signal	Rødt lys	4-5 (lett til moderat belastning) 6-9 (spesielle grunner/ $L > 11\text{m}$)
E	Rød mann	Rødt lys	1-5
F	Rød mann	Rødt lys	0-22* (forlenget fotgjengerperiode)
G	Rød mann	Rødt lys	0-3* (forlengelse kun hvis fotgjenger i gangfeltet)
H	Rød mann	Rødt lys	0-3 (forlengelse kun hvis fotgjenger i gangfeltet og maksimal rødtidforlengelse ikke er nådd i løpet av periode G)
I	Rød mann	Rødt og gult	2

*) $\text{Maksimal tid for } F + G = 5 + 1,67(\text{kryssingslengde} - 3 \text{ meter})$

Fordelen med PUFFIN-systemet er at fotgjengerne føler seg tryggere og mindre stresset ved kryssing. De slipper å være opptatt av å rekke å krysse ferdig mens det er blinkende grønn mann, og trenger heller ikke bekymre seg for kjøretøy som kan komme på blinkende gult lys som i PELICAN-styrte signalanlegg. I tillegg fører systemet til mindre unødvendig forsinkelse for kjøretøy, da det kun blir rødt lys for dersom det faktisk er fotgjengere som skal krysse. Rødtiden for kjøretøy kan også bli redusert, avhengig av hvor raskt fotgjengerne krysser.

PUFFIN ble i 2004 prøvd ut på et signalregulert gangfelt i Bærumsvegen ved Lysakerelven t-banestasjon i Oslo. Prosjektet ble utført av SWECO GRØNER på oppdrag for Statens vegvesen, og resultatene fra prosjektet er beskrevet i rapporten *Utprøving av PUFFIN-konseptet* (Gran, 2005). På teststedet i Bærumsvegen ble detektorer for detektering av fotgjengere på fortau og i gangfeltet installert. Det ble benyttet normal trykknapp som ved dagens anlegg, og montert anropslys på samme signalstolpe som trykknappen. Det ble gjennomført før- og etterundersøkelser i forbindelse med prosjektet, og resultatene fra disse viste at PUFFIN-konseptet fungerte bra. Konseptet førte til en liten bedring i fotgjengernes trygghetsfølelse, i tillegg til en reduksjon i forsinkelse for bilistene på omtrent 9 %. Under prøveperioden fungerte ikke detekteringen av ventende fotgjengere, og dette kan ha gitt et noe galt resultat med tanke på at kansellering av falske anrop ikke ble gjennomført. Andre bemerkninger var at vanlig trykknapp er dårlig egnet for bruk i PUFFIN-konseptet, og det bør ved et eventuelt senere bruk bli

benyttet trykknapp integrert i lyshodet slik de bruker i England. Det kunne også vært ønskelig med akustisk signal for fotgjengerne også i den røde kryssetiden.

1.2.3 Signalregulerte gangfelt i Sverige

I Sverige benyttes i dag signalanlegg som er tilnærmet like de vi bruker i Norge. I mange av trafikksignalene benyttes i tillegg moderne trafikkstyring ved bruk av LHOVRA-teknikken. LHOVRA registrerer kjøretøy på vei inn i krysset, og regulerer overgangen til rødt lys slik at det unngås at bilistene må kjøre over på rødt fordi de ikke rekker å stoppe. Bruk av LHOVRA reduserer ulykkene med omtrent en tredjedel (Vägverket, 2002). På enkelte gangfelt, blant annet i Stockholm, har et nytt system med variabel fotgjengergrønntid blitt testet. Dette systemet er inspirert av PUFFIN-systemet som benyttes i England, med detektering og grønntid avhengig av fotgjengerens ganghastighet, men er ikke fullt ut det samme (Davidsson et al., 2008). Systemet med variabel fotgjengergrønntid benytter ikke kansellering av falske trykksignal, og det blir brukt forlenget grønntid i stedet for forlenget rødtid for fotgjengerne (Kronborg, 2007).

1.2.4 Nedtelling i signalanlegg

Det finnes flere former for nedtelling i signalanlegg. I Nederland benyttes et nedtellingssystem som viser hvor lang tid det er igjen før signalet skifter til grønn mann. Nedtellingen vises blant annet ved bruk av gule blinkende lys på trykknappen, som vist på bildet i figur 5. (AASHTO, 2004)



Figur 5 Trykknappenhet, Nederland

2 Registrering på utvalgte signalanlegg

I forbindelse med prosjektoppgaven er det gjennomført feltstudier av to signalregulerte gangfelt i Trondheim. Hensikten med dette har vært å se på hvordan fotgjengere bruker dagens signalanlegg, og hvilke forsinkelser signalanlegget påfører biltrafikken. I etterkant er fotgjengeratferd og trafikantatferd nærmere vurdert, og det er sett på utslipp fra biltrafikken som følge av nedbremsing, stopp og akselerasjon ved signalanlegget.

2.1 Beskrivelse av registreringsmetode og gjennomføring

Registreringene ble gjennomført 4. og 6. november 2009 ved to signalanlegg i Trondheim i perioder med høy trafikk, og ved like vær- og føreforhold. I forkant av registreringene var egne registreringsskjema laget og testet ut. I utgangspunktet var det planlagt å registrere kjøretøy i begge kjøreretninger forbi signalanleggene, men dette viste seg å være vanskelig dersom alle registreringene skulle gjøres av en person alene. Registreringene ble dermed redusert til kun å gjelde kjørefelt og biltrafikk i en retning, i tillegg registrering av all fotgjengertrafikk. Følgende data ble samlet inn:

- Fotgjengere
 - 4 kategorier for atferd: "Trykker og venter på grønn mann", "Ankommer på grønn mann og krysser", "Trykker og går hvis ingen trafikk", "Krysser uten å trykke først".
 - 3 aldersgrupper: 0-15 år, 16-60 år, >60 år.
- Kjøretøy
 - Telling av lette kjøretøy, tunge kjøretøy og buss.
 - Ankomst etter start rødt lys for kjøretøy som må stoppe foran signalanlegget (kan senere regnes om til stopptid).

Registreringen ble gjort ved bruk av registreringsskjema, stoppeklokke og manuell håndteller. All registrering ble gjort i intervaller på 15 minutt, med eget skjema for hvert intervall. I ettertid er alle tall samlet i et felles skjema som vist i vedlegg B. For å ha minst mulig innvirkning på atferden til trafikanter og fotgjengere, ble ingen form for markering (gul vest eller lignende) benyttet.

De to signalregulerte gangfeltene som inngikk i feltstudiene står ved kryss 406 Stadsingeniør Dahls gate/Ibsens gate på Rosenborg, og kryss 724 Odd Husbys veg/Granlivegen på Dalgård. Kart som viser beliggenheten er vedlagt i vedlegg A. Ved begge signalanleggene ble kjøretøy i kjøreretning mot sørvest registrert. ÅDT for begge strekningene er vist i tabell 4, med verdier gitt fra Trondheim kommune. (Trondheim kommune, 2009)

Tabell 4 ÅDT for registreringspunkt

Tellepunkt	ÅDT
Stadsingeniør Dahls gate/Ibsens gate	6300 (tall fra 2008)
Odd Husbys veg/Granlivegen	5970 (tall fra 2007)

Fotgjengeratferd og alder ble registrert etter beste skjønn. I de tilfellene der en person trykket på trykknappen for å krysse, og det ankom flere etter hvert som også ventet på grønn mann, ble den som trykket på først registrert for å trykke. De andre ble registrert som "ankommer på grønt lys".

2.2 Resultater fra feltstudiene

Diagrammer og opplysninger som brukes i presentasjonen av resultatene er funnet ved å bruke opplysninger fra registreringskjemaene.

Opplysninger om minimum grøntid for kjøretøy, samt hvor i grøntiden systemet hviler, er mottatt fra Kristin Kråkenes i Statens vegvesen Region midt (Kråkenes, melding 11.12.09). Ut fra opplysningene de sitter med i Statens vegvesen, ble det oppgitt en minimum grøntid på 5 sekunder i Stadsingeniør Dahls gate, og 10 sekunder i Odd Husbys veg. Det tas forbehold om at disse verdiene er noe usikre, grunnet mangel på oppdatert oversikt over alle signalanleggene i Trondheim, og at enkelte anlegg benytter gammelt styringsutstyr som det kan være vanskelig å hente ut data fra. Det antas at hvilepunktet i begge signalanleggene ligger ca. 10 sekunder før maksgrønttiden når det er trafikk på stedet. De to signalanleggene i feltstudiene blir ikke fast overvåket, og feil med eller for korte detektorer kan føre til feil i forhold til hviletiden, slik at fotgjengere får raskt grønt. Øvrige signalvekslingstider i signalanleggene er registrert med stoppeklokke under befaringen.

2.2.1 Presentasjon av registreringspunktene

Tabell 5 viser generell data for de to signalanleggene i feltstudiene. Det kan være verdt å merke seg at fartsgrensene på de to stedene er ulike. I tillegg har Odd Husbys veg høy kjøretøyandel og lav fotgjengerandel, mens det er motsatt i Stadsingeniør Dahls gate. Dette kan skyldes at skolebarn, som antas å utgjøre en stor andel av fotgjengerne i Odd Husbys veg, bruker signalanlegget tidligere på dagen enn da registreringene ble gjort.

Tabell 5 Generell informasjon fra signalanleggene

	Odd Husbys veg	Stadsingeniør Dahls gate	
Registreringsdato	04.11.09	06.11.09	
Tidspunkt for registrering	14.45-16.15	14.30-16.00	
Fartsgrense	40 km/t	50 km/t	
Fasiliteter i området	Bunnpris, kiosk, Rimi, tannlege, barneskole, barnehage, bussholdeplass.	Rema 1000, barne- og ungdomsskole.	
Antall registrerte kjøretøy	557	361	
Andel			
	<i>Lette</i>	95 %	98,1 %
	<i>Tunge</i>	0,9 %	0,6 %
	<i>Buss</i>	2,5 %	1,1 %
	<i>Moped</i>	1,6 %	0,3 %
Antall registrerte fotgjengere	98	203	

Odd Husbys veg

Signalanlegget ligger oversiktlig til på en rett strekning. Den registrerte kjøreretningen kommer inn mot signalanlegget i slak nedoverbakke. Det kommer et par sideveger ut på hovedvegen like før og etter gangfeltet, i tillegg til at det ligger en bussholdeplass like ved signalanlegget. Videre sørover går vegen over en slak bakketopp. Et oversiktbilde av signalanlegget er vist i figur 6, der det venstre kjørefeltet er det som inngikk i registreringen.



Figur 6 Signalanlegget i Odd Husbys veg sett fra sør mot nord (Foto: Øydis Holsdal)

En stor andel av de som benyttet seg av gangfeltet var barn og unge på vei hjem fra skole eller SFO. Det så ut til at en større andel av de som handlet på dagligvareforretningene i nærheten benyttet seg av bil og tok handleturen på vei hjem fra jobb. Dermed var andelen voksne fotgjengere i gangfeltet noe lavere enn den kanskje ville vært på sommerstid når flere sykler og går.

95 % av kjøretøyene var lette kjøretøy, mens 2,5 % var busser. Det går fast bussrute forbi signalanlegget, i tillegg til en del turbusser i forbindelse med skolen i nærheten.

Trafikkmengden var til tider stor, og det oppstod lett litt kø da flere biler skulle kjøre av/på Odd Husbys veg fra Dalgårdsvegen. Signalanlegget førte også til noe kø enkelte ganger, men ofte var det få kjøretøy på strekningen akkurat de tidene signalet for kjøretøy ble rødt. Dette var nok bare tilfeldig.

Tabell 6 viser signalvekslingstidene for signalanlegget. Hviletiden i systemet antas å ligge 10 sekunder før utløp av rødtidfasen for kjøretøy.

Tabell 6 Signalvekslingstider Odd Husbys veg

SIGNALVEKSLINGSTIDER - ODD HUSBYS VEG			
Periode	Signal		Tidsinnstilling (sek)
	Fotgjengersignal	Kjøretøy	
A	Rød mann	Grønt lys	Min. 10, maks. varierer
B	Rød mann	Gult lys	3
C	Rød mann	Rødt lys	1
D	Grønn mann med tilhørende akustisk signal	Rødt lys	10
E	Blinkende grønn mann	Rødt lys	3
F	Rød mann	Rødt lys	4
G	Rød mann	Rødt/gult lys	1

Signalet skiftet raskt over til fotgjengerfase når ble trykket på trykknappen. Dette kan skyldes at fotgjengerne kom ganske spredt samtidig som det kom få kjøretøy, slik at det systemet ikke måtte vente en hel omløpstid for å kunne skifte til grønn mann. Som nevnt tidligere kan det også skyldes feil eller mangler med detektorene, slik at hviletiden før fotgjengerfasen blir forkortet.

Stadsingeniør Dahls gate

Signalanlegget ligger på en rett strekning, med slak nedoverbakke inn mot signalanlegget for den registrerte kjøreretningen. Området er oversiktlig både for fotgjengere og kjøretøy. Det er sykkelfelt langs vegen i begge retninger, men det så ut til å være begrenset bruk av disse. Under registreringen var det noe anleggsarbeid på sørsiden av gangfeltet, noe som førte til at vegen ble innsnevret like før signalanlegget. Dette utgjorde imidlertid ikke noe stort problem, da bilistene i motsatt kjørefelt tok i bruk sykkelfeltet, og det dermed ble opprettholdt god vegbredde. Et bilde av signalanlegget er vist i figur 7. Venstre kjørefelt på bildet ble registrert i feltstudiet. Anleggsarbeidet var ferdig da dette bildet ble tatt, men foregikk der lastebilen på bildet står parkert.



Figur 7 Signalanlegget i Stadsingeniør Dahls gate sett fra sør mot nord (Foto: Øydis Holsdal)

Det ble registrert omtrent dobbelt så mange fotgjengere i dette gangfeltet som i Odd Husbys veg, og de fleste av dem var ungdommer og voksne. De fleste av fotgjengerne så ut til å ha Rema 1000 som mål. Det var en del barn som krysset vegen, men mange av disse gikk i følge med voksne.

98 % av kjøretøyene var lette kjøretøy, og da det ikke går noen fast bussrute på strekningen var andelen tunge kjøretøy lav.

I kort avstand fra signalanlegget er en avkjørsel til et parkeringshus tilhørende dagligvarebutikken Rema 1000. Det var noe inn- og utkjøring i forbindelse med dette, og det førte i noen tilfeller til kø langs hovedvegen. Da det kun er plass til en bil i bredden i innkjøringen til parkeringshuset, må innkommende kjøretøy stå og vente langs hovedvegen på å få kjøre inn.

I ett tilfelle ble det registrert at to kjøretøy kjørte på rødt signal i det signalet skulle skifte til fotgjengerfase, samtidig som en fotgjenger stod klar til å krysse gangfeltet.

Tabell 7 viser signalvekslingstidene for signalanlegget. Også for dette anlegget antas det at hviletiden ligger 10 sekunder før maksimal rødtid.

Tabell 7 Signalvekslingstider Stadsingeniør Dahls gate

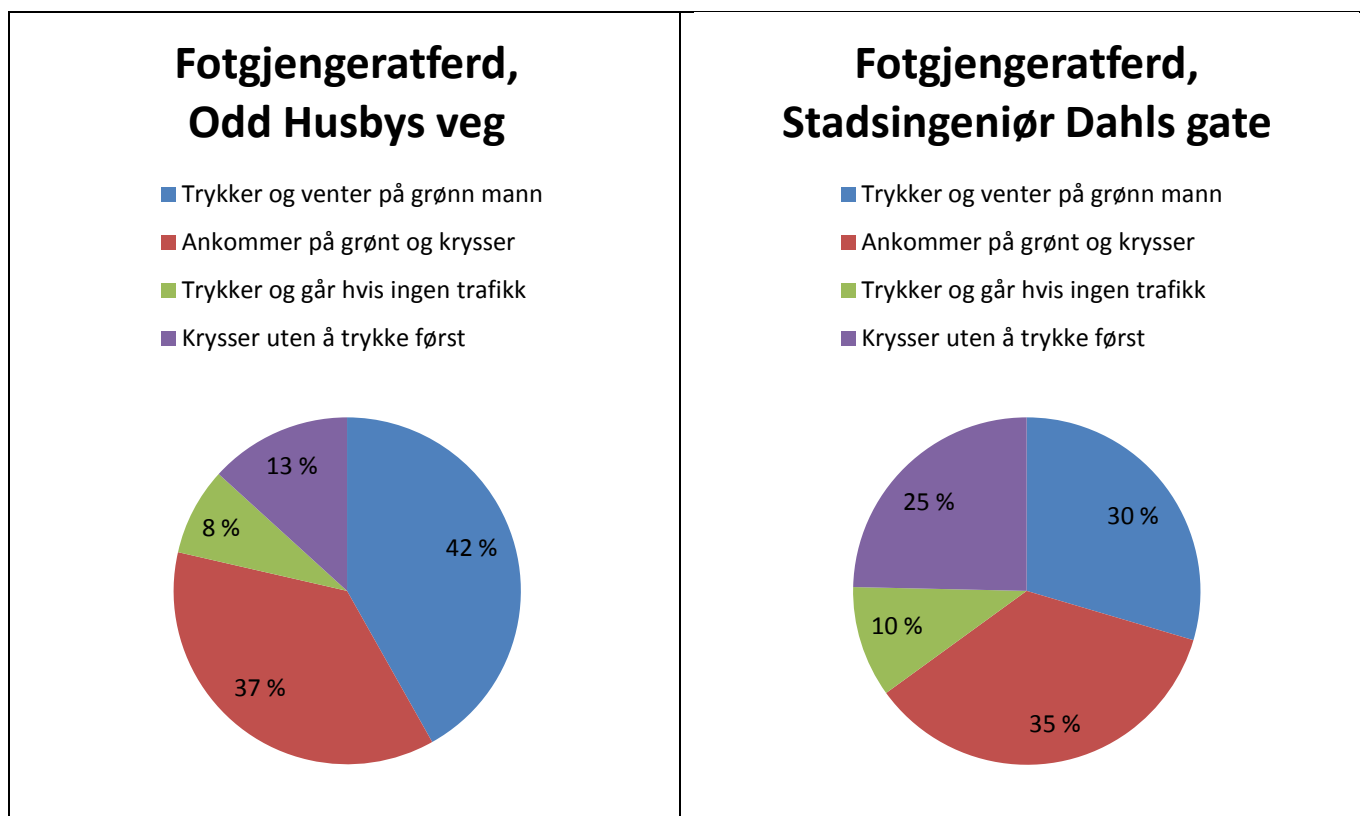
SIGNALVEKSLINGSTIDER - STADSINGENIØR DAHLS GATE			
Periode	Signal		Tidsinnstilling (sek)
	Fotgjengersignal	Kjøretøy	
A	Rød mann	Grønt lys	Min. 5, maks. varierer
B	Rød mann	Gult lys	3
C	Rød mann	Rødt lys	1
D	Grønn mann, med tilhørende akustisk signal	Rødt lys	10
E	Blinkende grønn mann	Rødt lys	3
F	Rød mann	Rødt lys	4
G	Rød mann	Rødt/gult lys	1

Enkelte ganger var det lang ventetid før det ble grønn mann i signalanlegget, noe som førte til at fotgjengere krysset vegen på rød mann dersom det ikke kom noen kjøretøy. Årsaken til den lange ventetiden kan være at en jevn frekvens av fotgjengere som brukte gangfeltet medførte at nye ankomne fotgjengere måtte vente gjennom en hel omløpstid av systemet før det ble grønn mann igjen. Mye tyder også på at den minimale rødtiden for kjøretøy er lenger enn 5 sekunder, eller blir forlenget ved høy trafikk.

Signalvekslingstidene for begge signalanleggene gir kjøretøyene en maksimal rødtid på 18 sekunder. Fotgjengerne har totalt 13 sekunder til å krysse begge stedene. Dette regnes som litt unødvendig lang tid i Odd Husbys veg da kryssingslengden der kun er 6,1 meter, sammenlignet med 9,8 meter i Stadsingeniør Dahls gate. Det er mulig fotgjengerfasen er gjort ekstra lang for å ta hensyn til at det er mange skolebarn som bruker signalanlegget. I følge Kristin Kråkenes er det ikke sikkert alle tidene i signalanleggene i Trondheim følger håndbøkenes krav (Kråkenes, melding 17.11.09). Det brukes en blanding av nytt og gammelt styringsutstyr, og signalvekslingstidene blir ikke justert dersom gamle innstillinger ser ut til å fungere bra nok.

2.2.2 Resultater fotgjengere

Diagrammene i figur 8 viser fotgjengeratferden totalt for hver av de to registreringspunktene. I tillegg til de fire kategoriene for atferd, ble fotgjengerne også kategorisert etter alder i gruppene 0-15, 16-60 og >60 år.



Figur 8 Registrert fotgjengeratferd

Av registreringsresultatene kommer det fram at en stor andel av fotgjengerne krysser gangfeltet på grønn mann. 13-25 % krysser uten å trykke først, mens 8-10 % trykket først, og krysser hvis det ikke er noen biltrafikk.

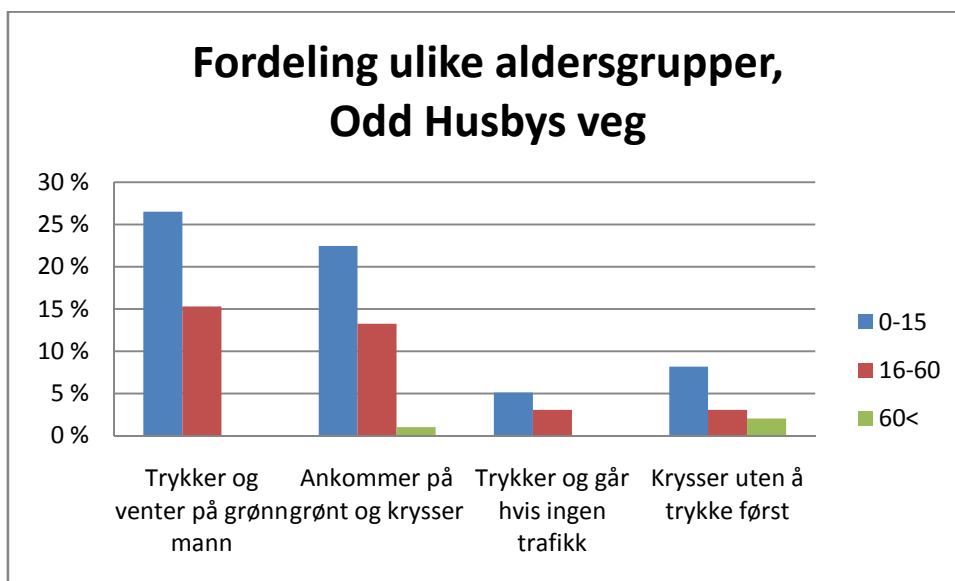
Hele 25 % av fotgjengerne i Stadsingeniør Dahls gate krysser vegen uten å benytte seg av signalanlegget. Dette kan skyldes at vegstrekningen er svært oversiktlig, og at biltrafikkandelen er noe lavere enn i Odd Husbys veg. I tillegg var ventetiden på grønn mann ofte ganske lang, noe som kan ha ført til utålmodige fotgjengere. I Odd Husbys veg skiftet signalet raskt over til grønn mann, noe som vises i form av en høyere andel kryssende fotgjengere på grønn mann, og færre som krysser uten å trykke først.

I Stadsingeniør Dahls gate hendte det ofte at flere fotgjengere ankom gangfeltet samtidig uavhengig av hverandre, og stod og ventet på grønn mann. I Odd Husbys veg ankom fotgjengerne mer spredt, men her var det også færre fotgjengere som brukte gangfeltet totalt.

Felles for begge signalanleggene er at de fleste fotgjengerne krysser under første del av grønttiden, noe som medførte en del unødvendig ventetid for biltrafikken. I Stadsingeniør Dahls gate var det imidlertid også enkelte tilfeller der det ankom fotgjengere som krysser vegen senere i fotgjengerfasen. For gangfeltet i Odd Husbys veg ble det lagt spesielt merke til at gutter (ca. 8-10 år) kunne være trege med å få krysset vegen. Guttene stod og pratet, og fikk ikke med seg at det ble grønn mann. Dermed endte de opp med å løpe over vegen på slutten av fotgjengerfasen. I det samme gangfeltet ble det i tillegg registrert at de fleste begynner å krysse vegen med en gang de ser at signalet skifter til rødt lys og at bilene stopper, men før det har rukket å bli grønn mann.

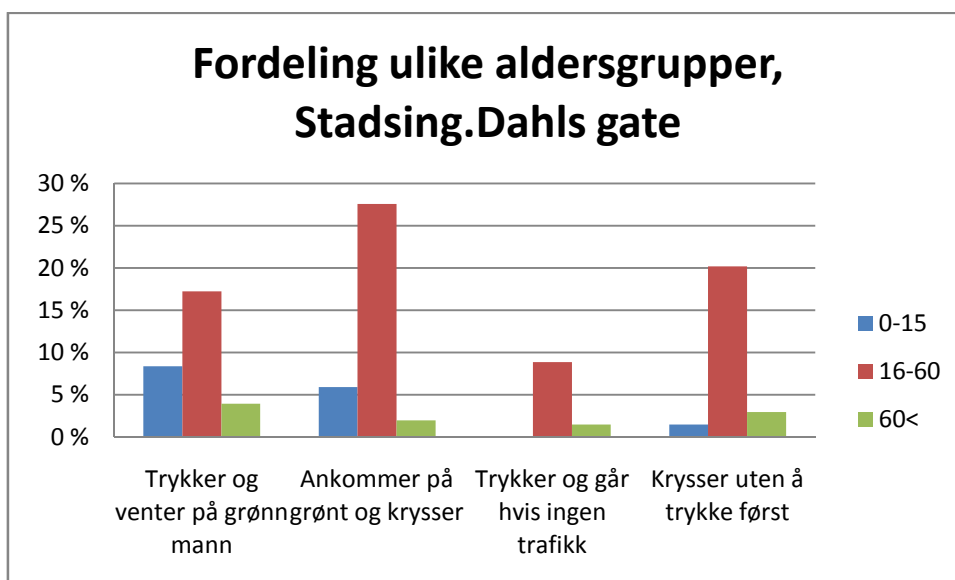
Figur 9 viser atferd for de ulike aldersgruppene i gangfeltet i Odd Husbys veg. Her kommer det tydelig fram at mer enn 60 % av de som krysser vegen i registreringstidspunktet var barn i alderen 0-15 år,

mens det bare var noen få over 60 år. De fleste krysset vegen mens signalet viste grønn mann, men det var også noen barn som krysset uten å trykke først.



Figur 9 Fordeling ulike aldersgrupper, Odd Husbys veg

I figur 10 er atferden for ulike aldersgrupper i signalanlegget i Stadsingeniør Dahls gate vist. Hovedgruppen av de som krysset vegen her var i alderen 16-60 år, mens kun en liten andel unge og eldre ble registrert. En stor andel av de voksne krysset over vegen i eller ved gangfeltet uten at det var grønn mann i signalanlegget. Små barn benyttet seg stort sett av signalanlegget, både med og uten følge av voksen.



Figur 10 Fordeling ulike aldersgrupper, Stadsingeniør Dahls gate

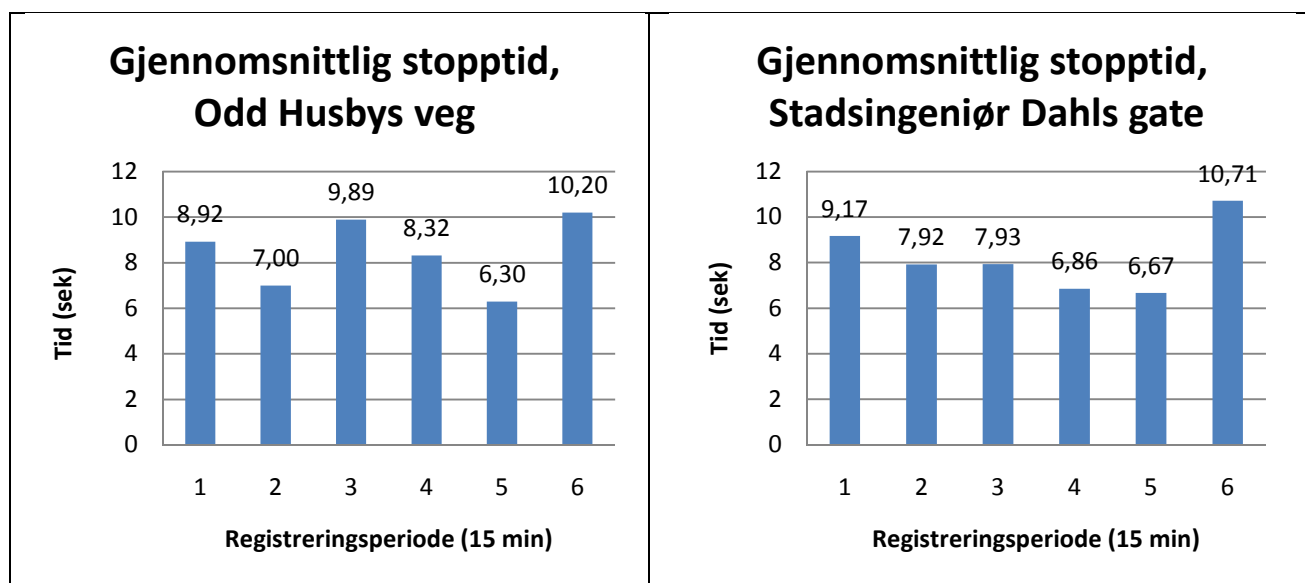
2.2.3 Resultater kjøretøy

Diagrammene i figur 11 viser gjennomsnittlig stopptid for kjøretøy på de to registreringspunktene. For hvert kjøretøy bakover i køen er det lagt til 2 sekunder på stopptiden i tillegg til kjøretøyet foran. Dette er gjort for å ta hensyn til forskyving av starttid bakover i køen etter at signalet skifter til grønt lys.

Stopptidene er vist med gjennomsnittlig stopptid for hvert registreringsintervall. Eksempel på beregning av stopptider er vist i vedlegg C.

Det ligger en viss tilfeldighet i hvor lang gjennomsnittlige stopptider for hvert intervall er. Hvor mange som stopper, og hvor lenge, kommer an på om signalene ofte skifter til fotgjengerfase samtidig som mange kjøretøy nærmer seg anlegget, eller når det er stor avstand mellom kjøretøyene slik at det kun ankommer kjøretøy på slutten av rødtiden.

Ut fra diagrammene ser det ut til at det er noe større spredning i verdiene for de ulike intervallene i Odd Husbys veg enn i Stadsingeniør Dahls gate. Dette stemmer godt overens med anmerkninger gjort under registreringen, da det ble lagt merke til at det var stor variasjon i stopptid og antall kjøretøy for hver fotgjengerfase i Odd Husbys veg.



Figur 11 Gjennomsnittlig stopptid

Totalt for hele registreringsperioden var det en gjennomsnittlig forsinkelse per kjøretøy på 8,44 sekunder i Odd Husbys veg, og 8,21 sekunder i Stadsingeniør Dahls gate. Til tross for ulik fotgjengerandel og kjøretøyandel, ser det ut til at de to signalanleggene påfører hvert enkelt kjøretøy omtrent lik forsinkelse i gjennomsnitt.

Trafikkavviklingen i de to signalanleggene var noe variert. Trafikkmengdene er ikke veldig store, og ved normal trafikk med grønt lys fløt trafikken bra. På grunn av avkjørselen til Dalgårdsvegen fra Odd Husbys veg, ble det litt dårlig avvikling når mange skulle av/på Odd Husbys veg samtidig som det var rødt lys i signalanlegget. Tilsvarende gjelder innkjørselen til parkeringshuset ved Rema 1000 i Stadsingeniør Dahls gate.

2.3 Vurderinger og videre analyse av resultatene

Resultatene fra feltstudiene gir et grunnlag til å vurdere hvordan dagens signalregulerte gangfelt fungerer, samt hva som eventuelt ser ut til å fungere dårlig. Dette vil bli vurdert nærmere her. I tillegg blir det sett nærmere på teoretiske ventetider og krystetider for gangfeltene. Ved bruk av programmet SIDRA TRIP er det til slutt sett på hvordan ulik regulering av signalanleggene påvirker utslipp av skadelige stoffer fra kjøretøy.

Det tas forbehold om at mulige svakheter med registreringsdataene og andre feilkilder kan føre til noe unøyaktige eller uriktige konklusjoner. Tidtaking av stopptiden for hvert kjøretøy kan ha blitt noe unøyaktig når flere kjøretøy ankom samtidig inn mot et signalanlegg. Målingene har likevel gitt et godt bilde på hvordan signalanleggene påvirker biltrafikken. Det kunne vært satt større fokus på fotgjengerne i registreringene, og flere opplysninger om alder og oppførsel kunne blitt registrert. På grunn av prosjektoppgavens avgrensning er det ikke blitt satt fokus på mer detaljerte opplysninger som dette. Registreringene ble gjennomført alene, og det er mulig at enkelte situasjoner har blitt oversett dersom mye skjedde på en gang ved signalanlegget.

2.3.1 Fotgjengeratferd

Dagens system er godt kjent blant fotgjengerne, og det er ikke noe problem å forstå hvordan det fungerer. En mulig ulempe med systemet er at blinkende grønn mann kan virke stressende på enkelte fotgjengere.

Gjennom registreringsarbeidet var det enkelte trekk ved fotgjengernes atferd som var spesielt framtrepende. Når ventetiden på grønn mann i Stadsingeniør Dahls gate var lang eller varierte, var det mange som krysset gangfeltet uten å trykke først, eller trykket og krysset vegen før det var klart. På begge registreringspunktene var det tydelig at de fleste fotgjengerne stod klare og krysset gangfeltet med en gang det ble grønn mann. Det var få som ankom gangfeltet på slutten av en fotgjengerperiode.

For barn kan det se ut til at bruken av signalanlegget er en selvfølge uansett trafikkmengde, mens voksne tilpasser bruken etter behov, og unngår å bruke anlegget dersom det ikke anses som nødvendig for å kunne krysse vegen.

Det er mulig at de som krysser vegen ofte er kjent med hvordan signalanlegget fungerer, og dermed ikke bruker det hvis de på forhånd er klar over at de risikerer å måtte stå en stund og vente på grønn mann.

2.3.2 Kjøretøyatferd

En stor andel av kjøretøyene ankom signalanlegget på slutten av en rødtid, etter at fotgjengerne var ferdige med å krysse. Dette kan virke som et irritasjonsmoment på bilistene, og gir i tillegg unødvendig stopptid. Det samme gjelder kjøretøy som ankommer tidlig i rødtiden og må stoppe uten at det er noen fotgjengere som krysser vegen.

Ved signalanlegget i Stadsingeniør Dahls gate ble det registrert at to kjøretøy kjørte på rødt lys. Dette kan være et resultat av at den lange stopptiden i signalanlegget oppfattes som unødvendig og er ønskelig å unngå. I det samme signalanlegget skjedde det ved to anledninger at signalet skiftet til grønn mann lenge etter at fotgjenger var ferdig med å krysse (trykket og krysset rett etterpå på grunn av lite trafikk), og det ankom et kjøretøy som måtte stoppe på grunn av dette. Slike tilfeller er en klar svakhet ved denne type signalanlegg med tanke på trafikkavvikling og trafikantenes forsinkelse.

I situasjoner med kødannelse i forbindelse med avkjørsler i nærheten av signalanleggene, bidrar rødt lys i anlegget til å redusere trafikkavviklingen ytterligere. Ofte er dette problemet unødvendig, siden kjøretøyene ved gangfeltet må stå ut rødtiden selv om det ikke er noen fotgjengere i nærheten.

2.3.3 Kryssetid og forsinkelse

I henhold til Statens vegvesens håndbok 048 (SVV, 2007c) kan det antas at fotgjengere har en ganghastighet på 1,2 m/s når de krysser et gangfelt, men ofte også raskere. Gjennom registreringene gjort på de to signalanleggene i Trondheim kom det fram at det var en tydelig tendens til at de fleste

som benyttet seg av gangfeltene krysset i løpet av første del av grøntida for fotgjengere. Ut fra dette er det videre gjort noen forenklete beregninger for å se på hvor stor andel av kjøretøyene som måtte stoppe ved signalanlegget uten at det oppholdt seg fotgjengere der. Verdiene gir kun en anslagsvis vurdering av forholdene, da det er antatt at alle fotgjengere er ferdige med å krysse etter en bestemt tid. Rødtiden for kjøretøy begynner 1 sekund før grønn mann, og denne tiden må legges til kryssetiden ved beregning av antall ventende etter at fotgjenger har krysset.

Odd Husbys veg

Gangfeltet i Odd Husbys veg har en lengde på ca. 6,1 meter. Omtrentlig tid for å krysse blir dermed:

$$\frac{6,1m}{1,2m/sek} = 5,1 \text{ sek}$$

Dette fører til en ekstra forsinkelse på $18 - (5,1 + 1) = 11,9$ sekunder for stoppende kjøretøy. Tall fra registreringskjemaet (vedlegg B) viser at hele **83 %** av kjøretøyene som måtte stoppe ved signalanlegget ankom senere enn 6 sekunder etter at det ble rødt lys.

Stadsingeniør Dahls gate

Gangfeltet har en kryssingslengde på 9,8 meter, og omtrentlig tid for å krysse blir:

$$\frac{9,8m}{1,2m/sek} = 8,2 \text{ sek}$$

For stoppende kjøretøy kan dette gi en ekstra forsinkelse på $18 - (8,2 + 1) = 8,8$ sekunder. Andelen kjøretøy som ankom senere enn 9 sekunder etter at det ble rødt lys var **61 %**.

En av hovedgrunnene til at andelen kjøretøy med ekstra forsinkelse i Odd Husbys veg er en god del større enn i Stadsingeniør Dahls gate, er sannsynligvis en betydelig forskjell i kryssingslengde, og dermed kryssetid, i de to gangfeltene. Ved å se på andel ankomster etter at fotgjengere er antatt ferdig med å krysse, kommer det tydelig frem at dagens system medfører mye unødvendig forsinkelse for kjøretøyene. Innføring av et system med kortere rødtid for kjøretøy vil dermed kunne bidra positivt med tanke på trafikkavvikling, bilistenes forsinkelse og irritasjon, og utslipp grunnet stopp.

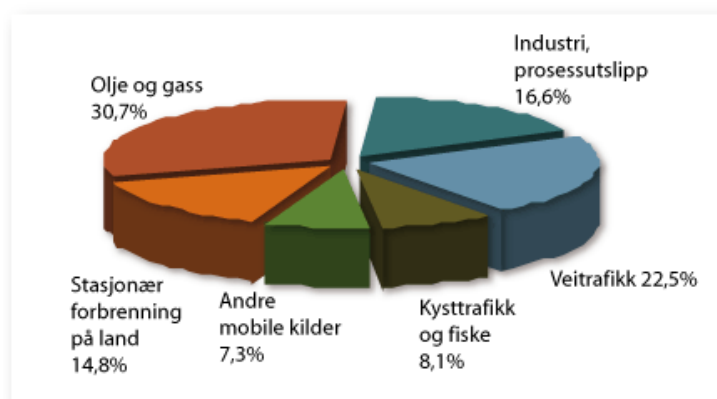
2.3.4 Beregning av utslipp fra ventende kjøretøy

Vår tids klimaproblematikk har ført til et stadig økende fokus på reduksjon av utslipp av skadelige stoffer blant annet fra vegtrafikk. Noen av de viktigste utslippene er CO₂, CO, NO_x og HC/PAH. Det vil her bli gitt en enkel oversikt over disse stoffene, og deretter blir det gått mer detaljert gjennom beregninger av utslipp. Informasjonen om utslippsstoffene er hentet fra nettstedet *Miljøstatus i Norge*, der Statens Forurensningstilsyn er ansvarlig redaktør (SFT, 2009a).

Karbondioksid (CO₂)

CO₂ er den klimagassen som bidrar mest til drivhuseffekten. Som det fremgår av figur 12 stod vegtrafikken for hele 22,5 % av utslippene av CO₂ i Norge i 2007. Det er derfor svært ønskelig å redusere CO₂-utslipp grunnet kjøretøy.

Utslipp av karbondioksid fordelt på kilde, 2007



Kilde: Statistisk sentralbyrå, Statens forurensningstilsyn, 2009
www.miljostatus.no

Figur 12 Utslipp av karbondioksid

I følge SFT er CO₂-utslippet for bensindrevne kjøretøy 2,316 kg/L, og 2,663 kg/L for dieselskjøretøy (SFT, 2009b).

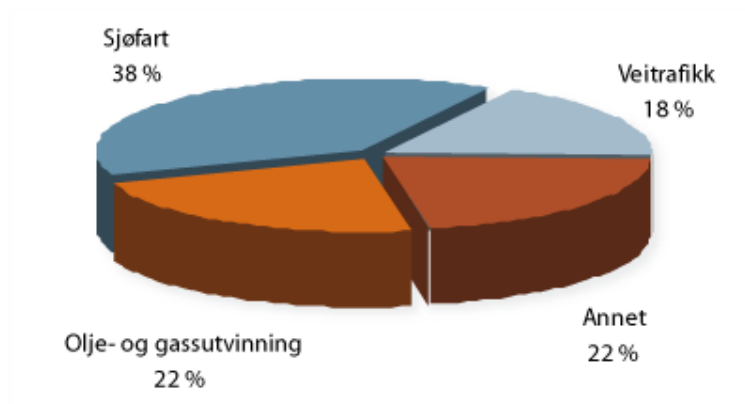
Karbonmonoksid (CO)

Biltrafikk er den største kilden til CO i luften i byer og tettsteder. CO omdannes etter hvert til CO₂, og bidrar dermed indirekte til økt drivhuseffekt. I tillegg reduserer CO menneskers oksygentransport, og kan gi hodepine, kvalme og svimmelhet, samt påvirke fostre og folk med hjertesykdommer.

Nitrogenoksid (NO_x)

NO_x er en nitrogenforbindelse som bidrar til forsuring og overgjødsling, samt lokale helseeffekter som luftveissykdommer. Som figur 13 viser, står sjøfart og petroleumsvirksomheten for hovedandelen av utslipp av NO_x, men vegtrafikk ligger også på topp. Utslippene grunnet vegtrafikk har imidlertid hatt en sterk nedgang på 54 % i perioden 1990-2006, noe som i hovedsak skyldes eksoskrav for lette kjøretøy/bensindrevne biler med katalysator.

Utslipp av nitrogenoksider fra ulike kilder, 2006



Kilde: Statistisk sentralbyrå, Statens forurensningstilsyn, 2008
www.miljostatus.no

Figur 13 Utslipp av nitrogenoksider

SFT har gjennomført en tiltaksanalyse for å redusere utslipp av NO_x. Denne analysen omfatter tiltak innen petroleumsvirksomheten, innenriks skipsfart og fastlandsindustrien. Vegtrafikken blir dermed ikke lenger sett på som den største trusselen i forbindelse med slike utslipp. Det er likevel grunn til å vente nye, skjerpede utslippskrav til biler, da økende antall dieslbiler igjen vil kunne føre til en økning av NO₂-utslippene.

Hydrokarboner (HC)/ Polyaromatiske hydrokarboner (PAH)

Stoffgruppen PAH består av mange forskjellige forbindelser med HC, og disse kan være giftige, arvestoffskadelige og kreftfremkallende. Det er anslått at veg- og båttrafikk stod for 4 % av PAH-utslippene i Norge i 2005. Redusering av PAH er prioritert av myndighetene. Blant annet stilles det krav om utslippsgrenser for biler.

De siste 20 årene har det skjedd en stor teknologisk utvikling med tanke på kjøretøyenes drivstoff-forbruk og utslipp av skadelige stoffer. Ved beregning av drivstoff-forbruk og utslipp fra kjøretøy bør det derfor tas hensyn til den norske bilparkens aldersfordeling og andel lette og tunge kjøretøy. I SINTEF-rapporten *Miljømessige konsekvenser av bedre veier* (Knudsen et al., 2007) er det foreslått en inndeling av kjøretøy i totalt 20 grupper, samt gjennomført simuleringer av utslipp fra disse. Andelen av hver kjøretøytype på en vanlig norsk veg er vist i tabell 8.

Tabell 8 Inndeling av kjøretøytyper

Alder	Personbiler			Tunge kjøretøy (diesel)				Sum alle
	Bensin	Diesel	Sum pers.biler	3,5-7,5 t	7,5-16 t	>16 t	Sum tunge	
1-5 år	16,0 %	7,2 %	23,2 %	2,2 %	0,6 %	1,7 %	4,5 %	27,7 %
6-10 år	24,6 %	3,6 %	28,1 %	1,8 %	0,4 %	1,2 %	3,5 %	31,6 %
11-15 år	16,2 %	1,7 %	17,9 %	0,8 %	0,2 %	0,4 %	1,3 %	19,2 %
>15 år	17,5 %	1,3 %	18,7 %	1,4 %	0,3 %	0,9 %	2,7 %	21,4 %
Sum	74,2 %	13,8 %	88,0 %	6,2 %	1,5 %	4,3 %	12,0 %	100,0 %

Totalt 88 % av alle kjøretøy utgjøres av personbiler, hvorav 74,2 % av disse er bensindrevne. Av tabellen kommer det også fram at hele 21,4 % av alle kjøretøy er over 15 år gamle, og det kan beregnes en gjennomsnittlig alder for personbiler på 9,8 år. Tunge kjøretøy utgjør 12 % av den totale trafikken, og har en gjennomsnittsalder på 11 år.

I SINTEF-rapporten blir det sett på hvordan drivstoff-forbruk og utslipp fra kjøretøy endres for tre prototypiske vegstrekninger for det norske vegnettet dersom de blir utbedret eller erstattet med nye vegger. Drivstoffmodellen som er omtalt og benyttet i simuleringen er tilpasset data fra SFT. Utslippsmodellen beskrives ved bruk av utslippskoeffisienter for hver av de 20 kjøretøygruppene, og det er antatt at hvert kjøretøy i de ulike gruppene tilfredsstilte EU-kravene som gjaldt da de var nye. Tabell 9 viser en sammenstilling av enkelte av resultatene simuleringen ga for utslipp fra ulike kjøretøygrupper.

Tabell 9 Utslippsandeler for utvalgte kjøretøytyper

	Kjøretøytype		
	Nye biler (1-5 år)	Eldre kjøretøy totalt (>15 år)	Tungtrafikk totalt
Andel av trafikken	27,7 %	21,4 %	12 %
Andel av totale utslipp			
CO	8 %	71 %	24 %
NO _x	10 %	53 %	89 %
CO ₂	25 %	24 %	39 %

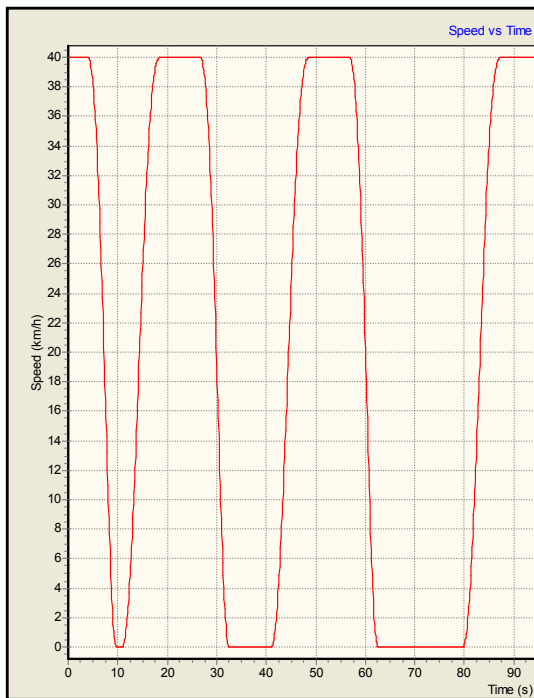
Av tabellen kommer det tydelig fram hvor mye utslippene kan variere for de ulike kjøretøyene, og at det derfor er et stort poeng å skille mellom disse ved beregninger. Med tanke på at 21,4 % av alle kjøretøy er over 15 år gamle, og at disse står for en svært stor andel av utslippene, vil dette ha stor innvirkning på resultatene ved vurderinger av totale utslipp. Trafikken ved de to signalregulerte gangfeltene fra feltstudiene består hovedsaklig av personbiler, og utslipp fra tungtrafikk vil dermed utgjøre en mindre andel for disse stedene enn det som kommer fram av tabellen.

Et av formålene med denne prosjektoppgaven er å se på hvordan signalregulerte gangfelt påvirker utslipp fra kjøretøyene. Det er flere måter å vurdere dette på. Metoden som er valgt i denne oppgaven, er bruk av det australske mikrosimuleringsprogrammet SIDRA TRIP. All informasjon om verdier og beregninger av ulike parametere i programmet, samt annen bruk av programmet, er hentet fra SIDRA TRIP User Guide (Akcelic and Associates, 2007).

SIDRA TRIP gir mulighet til å gjøre simuleringer med standard kjøretøyklasser for personbil, lette kjøretøy/varebil og tunge kjøretøy. I tillegg er det mulig å definere egne kjøretøy. Programmet har ingen inndeling etter alder på kjøretøy, men dette er noe det kan være mulig å korrigere for selv ved å legge inn tilpassede parametere for utslipp og kjøretøy. På grunn av prosjektoppgavens avgrensing av tema og størrelsesomfang, er det i de følgende beregningene ikke tatt hensyn til ulike kjøretøystyper eller aldersfordeling, men kun sett på personbiler med oppgitte standardverdier. Resultatene fra simuleringene bør derfor tolkes med tanke på at inndata til programmet ikke stemmer helt korrekt. Standardverdiene som gjelder for personbiler er vist i tabell 10.

Tabell 10 Kjøretøyparametere for personbil

Kjøretøyparameter	Verdi
Masse (kg)	1250
Maksimal effekt (kW)	80
Kjøretøylengde (m)	4,5



Figur 14 Eksempel på kjøreprofiler

Ved å legge inn kjøreprofiler for nedbremsing, stopptid på grunn av rødt lys, og akselerasjon opp til normal fart, beregner programmet blant annet drivstoff-forbruk, utslipp fra kjøretøy og kostnader for hvert enkelt kjøreprofil. Man kan også selv definere kjøreprofilen ved å legge inn verdier for varighet og hastighetsendring. Et eksempel på grafisk framstilling av slike kjøreprofiler er vist i figur 14, der grafen viser tre kjøreprofiler, med hastighet som funksjon av tid.

En noe mer praktisk bruk av programmet er å legge GPS-verdier fra en kjøretur direkte inn i programmet, og få beregninger gjort ut fra disse. Denne løsningen vil ikke bli gjennomgått nærmere i denne rapporten.

For alle kjøretøy beregnes utslipp av CO, HC og NO_x, i tillegg til CO₂-utslipp som beregnes fra drivstoff-forbruket og en omregningsfaktor. Standardparametere for estimering av drivstoff-forbruk og utslipp for personbiler er vist i tabell 11. Også her er det mulig å beregne og legge inn egne verdier i stedet for standardverdiene i programmet.

Tabell 11 Standardparametere for estimering av drivstoff-forbruk og utslipp

Param.	Forklaring	Enhet drivstoff	Enhet utslipp	Drivstoff	CO	HC	NO _x
f_i	Beskriver drivstoff-forbruk eller utslipp når kjøretøyet står på tomgang.	mL/h	g/h	1300	50	8	2
A	Faktor avhengig av rullemotstand.	mL/km	g/km	20	1	0	0
B	Faktor avhengig av luftmotstand.	(mL/km)/ (km/h) ²	(g/km)/ (km/h) ²	0,00500	0,00000	0,00002	0,00006
β₁	Virkningsgrad motor, drivstoff-forbruk/utslipp avhengig av brukt energi.	mL/kJ	g/kJ	0,090	0,015	0,000	0,001
β₂	Faktor som beskriver hvor mye som forbrukes/utslipp avhengig av akselerasjon og energibruk.	mL/(kJ.m/s ²)	g/(kJ.m/s ²)	0,0300	0,0250	0,0004	0,0002

Følgende beregninger ligger til grunn for parameterne i tabell 11:

1. Modell for drivstoff-forbruk

Aktuelt drivstoff-forbruk estimeres ved å se på forbruket per tidsenhet i et øyeblikk i løpet av en tur.

Følgende formler og parametere benyttes til å gjøre dette:

$$\begin{aligned} f_t &= \{ \alpha + \beta_1 R_T v + [\beta_2 M_v a^2 v / 1000]_{a > 0} \} && \text{for } R_T > 0 && [1] \\ &= \alpha && \text{for } R_T \leq 0 && \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_T &= \max(0, b_1 + b_2 v^2 + M_v a / 1000 + 9,81 M_v (G/100) / 1000) && \text{for } v > 0 && [2] \\ &= 0 && \text{for } v = 0 && \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_T &= R_T v && && [3] \\ &= \min [P_{\max}, \max(0, b_1 v + b_2 v^3 + M_v a v / 1000 + 9,81 M_v (G / 100) v / 1000)] \end{aligned}$$

der

f_t = Aktuelt drivstoff-forbruk (mL/s)

R_T = Total trekkraft (kN) nødvendig for å kjøre (sum av trekkraft grunnet luftmotstand, kraft p.g.a. masse på kjøretøy (= $M \cdot a$), og kraft ved kjøring i stigning/helning)

P_T = Totalt utnyttet effekt (kW)

G = Stigning/helning på veg (%)

M_v = Masse på kjøretøy (kg), inkludert passasjerer og annen last

v = Aktuell hastighet (m/s)

a = Aktuell akselerasjon (m/s^2)

α = Konstant drivstoff-forbruk når kjøretøy står på tomgang (mL/s):

$$\alpha = f_i / 3600$$

b_1, b_2 = Parametere relatert til rulle- og luftmotstand for kjøretøyet
(b_1 gir **A**, b_2 gir **B**)

b_1 er proporsjonal med kjøretøymassen

b_2 er proporsjonal med fronten på kjøretøyet

β_1 = Virkningsgrad, drivstoff-forbruk per energiforbruk i motoren (mL/kJ eller g/kJ)

β_2 = Virkningsgrad, drivstoff-forbruk under akselerasjon per tomgangsenergi og akselerasjon (mL/(kJ.m/s²) eller g/(kJ.m/s²))

2. Modell for utslipp av CO, HC, NO_x

For estimering av utslipp benyttes samme formler som for drivstoff-forbruk, men med andre parametere:

$$f_t = \text{Aktuelt utslipp (g/s)} \quad [4]$$

$$A \text{ (eller } f_i) = \text{Konstant utslipp ved tomgang (g/s eller g/h)} \quad [5]$$

$$\beta_1, \beta_2 = \text{Parametere for virkningsgrad (g/kJ og g/(kJ.m/s}^2)) \quad [6]$$

Defineringen av R_T som *total trekkraft* stemmer kun for estimeringen av drivstoff-forbruk (formel [1]), og bør ikke gis samme definisjon i forbindelse med modellen for utslipp. For ulike utslipp beregnes R_T ved bruk av egnede parametere.

3. Modell for utslipp av CO₂

Verdier for utslipp av CO₂ estimeres fra det aktuelle drivstoff-forbruket, med følgende formel:

$$f_t(\text{CO}_2) = f_{\text{CO}_2} f_t(\text{drivstoff}) \quad (\text{g/s}) \quad [7]$$

der

$f_t(\text{drivstoff})$ = drivstoff-forbruk beregnet i [1] (mL/s)

f_{CO_2} = CO₂ per drivstoff-forbruk (kg/L, g/mL eller kg/L)

I SIDRA TRIP benyttes følgende standardverdier for CO₂- utslipp i forhold til drivstoff-forbruk:

- Passasjerbil og lette kjøretøy: 2,5 kg/L
- Tunge kjøretøy: 2,6 kg/L

4. Kalibrering av modellene

For egne beregninger av standardverdier eller inputverdier anbefales det å gjennomføre en kalibrering av verdiene i tabell 11. Dette gjøres ved først å finne f_i (drivstoff-forbruk eller utslipp på tomgang) ved å gjøre målinger på kjøretøy som står på tomgang i ca. 200 sekunder. Deretter bestemmes A og B ved bruk av regresjon av måledata (drivstoff-forbruk eller utslipp) fra kjøretøy med jevn hastighet mellom 15 og 120 km/t på en horisontal veg. Gjennom regresjonen finner man koeffisientene c_1 og c_2 . Parameterne β_1 og β_2 beregnes ved å bruke måledata for drivstoff-forbruk eller utslipp fra kjøreturer med en minimum varighet på 1000 sekunder. Ved bruk av iterasjon bestemmes endelige verdier for β_1 og β_2 . Til slutt kan parameterne A , B , b_1 og b_2 beregnes med følgende formler:

$$A = 1000 c_1$$

$$B = 1000 c_2 / 12,96$$

$$b_1 = c_1 / \beta_1$$

$$b_2 = c_2 / \beta_2$$

Hovedgrunnen til at SIDRA TRIP er benyttet i denne oppgaven, er å vise hvilke forskjeller ulike signalanlegg med varierte rødtider gir med tanke på utslipp og drivstoff-forbruk. Selv om resultatene ikke nødvendigvis stemmer fullt overens med faktiske utslipps- og forbruksmengder for de aktuelle gangfeltene, gir de en indikasjon på hvordan situasjonen er.

Simuleringer og resultater

For simuleringer av de to signalregulerte gangfeltene fra feltstudiene i SIDRA TRIP, er parameterverdiene som er oppgitt i tabell 10 og 11 benyttet. Resultater fra feltstudiene viste at det kun var noen få busser som stoppet foran signalanleggene, mens resten var lette kjøretøy. Det anses derfor som representabelt kun å se på personbiler i de følgende simuleringene. Standard CO₂- verdi for personbil fra brukermanualen er brukt, da det antas at denne er mer representativ for alle kjøretøy enn verdien for bensindrevne kjøretøy gitt av SFT. Kjørefeltene som ble registrert i feltstudiene hadde begge

en svak helning ned mot signalanlegget. For å gjøre enkle og sammenlignbare simuleringer er det ikke tatt spesielt hensyn til dette i simuleringen. Utslipp i forhold til ulik stigning/helning på veg er likevel noe som kan være interessant å studere nærmere i senere studier.

Det er ikke lagt inn spesifiserte verdier for kostnader, og resultatene av kostnadsberegninger i programmet vil ikke bli nærmere kommentert, da hovedmålet simuleringene er å se på utslipp.

I tillegg til standardverdier for kjøretøyegenskaper og parametere for utslipp fra personbil, er det valgt ulike kjøreprofiler for de to signalanleggene for bruk i simuleringen. Det er gjort beregninger for tre forskjellige kjøreprofiler (gruppe 1-3) for hvert av de to signalanleggene. Hvert kjøreprofil er inndelt i fem faser etter endringer i kjøremåte. Jevn hastighet før og etter stopp (fase 1 og 5), samt retardasjon og akselerasjon (fase 2 og 4) er like for alle profilene i et signalanlegg, mens stopptiden (fase 3, "Time"- "User") varierer. Verdiene som er brukt for kjøreprofilene er vist i tabell 12 og 14.

Felles for begge signalanleggene er varighet for retardasjon og akselerasjon, der det er lagt inn en jevn hastighet med varighet 4 sekunder. Hastigheten er imidlertid ulik for de to anleggene. Akselerasjonstiden etter stopp er satt til 5 sekunder.

For Odd Husbys veg er det lagt inn en ønsket hastighet på 40 km/t, da dette er fartsgrensen på stedet. Det er antatt en gjennomsnittlig retardasjonsstrekning på 35 meter før stopp ved signalanlegget. Denne verdien gir en retardasjon på $-1,88 \text{ m/s}^2$. Akselerasjonen etter signalanlegget er $1,42 \text{ m/s}^2$. Stopptider (fase 3) for de tre kjøreprofilene vises i tabell 13.

Tabell 12 Verdier for kjøreprofiler, Odd Husbys veg

Odd Husbys veg									
Enter Subtitle									
Event Characteristics									
			Speed		Time		Distance		Grade
Event			Initial	Final	User	Sim	User	Sim	
Grp	No.	Mode	km/h	km/h	s	s	m	m	%
1	1	Cruise	40.0	40.0	4.0	4.0	-	44.4	0.0
1	2	Deceleration	40.0	0.0	-	5.9	35.0	35.0	0.0
1	3	Idle	0.0	0.0	1.0	1.0	-	0.0	0.0
1	4	Acceleration	0.0	40.0	-	7.8	-	47.4	0.0
1	5	Cruise	40.0	40.0	4.0	4.0	-	44.4	0.0
2	1	Cruise	40.0	40.0	4.0	4.0	-	44.4	0.0
2	2	Deceleration	40.0	0.0	-	5.9	35.0	35.0	0.0
2	3	Idle	0.0	0.0	8.4	8.4	-	0.0	0.0
2	4	Acceleration	0.0	40.0	-	7.8	-	47.4	0.0
2	5	Cruise	40.0	40.0	4.0	4.0	-	44.4	0.0
3	1	Cruise	40.0	40.0	4.0	4.0	-	44.4	0.0
3	2	Deceleration	40.0	0.0	-	5.9	35.0	35.0	0.0
3	3	Idle	0.0	0.0	17.0	17.0	-	0.0	0.0
3	4	Acceleration	0.0	40.0	-	7.8	-	47.4	0.0
3	5	Cruise	40.0	40.0	4.0	4.0	-	44.4	0.0

Tabell 13 Stoptider for kjøreprofiler, Odd Husbys veg

Gruppe	Beskrivelse	Verdi
1	Minste stoptid registrert	1,0 sek
2	Gjennomsnittlig stoptid	8,4 sek
3	Maksimal stoptid registrert	17,0 sek

I Stadsingeniør Dahls gate er fartsgrensen 50 km/t, og denne verdien er derfor lagt inn som ønsket hastighet i simuleringen. Det er antatt en gjennomsnittlig retardasjonsstrekning på 50 meter før stopp ved signalanlegget, noe som resulterer i en retardasjon på $-2,1 \text{ m/s}^2$. Kjøretøy som kommer sørfra har god oversikt mot signalanlegget, og har dermed muligheten til å begynne nedbremsing tidlig. Enkelte vil holde høy hastighet inn mot signalanlegget og dermed få større retardasjon, mens andre begynner å bremse tidligere, og dermed får en lavere retardasjon enn den brukte verdien. Stoptider (fase 3) for de tre kjøreprofilene er vist i tabell 15.

Tabell 14 Verdier for kjøreprofiler, Stadsingeniør Dahls gate

Stadsingeniør Dahls gate									
Enter Subtitle									
Event Characteristics									
			Speed		Time		Distance		Grade
Event			Initial	Final	User	Sim	User	Sim	
Grp	No.	Mode	km/h	km/h	s	s	m	m	%
1	1	Cruise	50.0	50.0	4.0	4.0	-	55.6	0.0
1	2	Deceleration	50.0	0.0	-	6.6	50.0	50.0	0.0
1	3	Idle	0.0	0.0	1.0	1.0	-	0.0	0.0
1	4	Acceleration	0.0	50.0	-	9.4	-	74.0	0.0
1	5	Cruise	50.0	50.0	4.0	4.0	-	55.6	0.0
2	1	Cruise	50.0	50.0	4.0	4.0	-	55.6	0.0
2	2	Deceleration	50.0	0.0	-	6.6	50.0	50.0	0.0
2	3	Idle	0.0	0.0	8.2	8.2	-	0.0	0.0
2	4	Acceleration	0.0	50.0	-	9.4	-	74.0	0.0
2	5	Cruise	50.0	50.0	4.0	4.0	-	55.6	0.0
3	1	Cruise	50.0	50.0	4.0	4.0	-	55.6	0.0
3	2	Deceleration	50.0	0.0	-	6.6	50.0	50.0	0.0
3	3	Idle	0.0	0.0	17.0	17.0	-	0.0	0.0
3	4	Acceleration	0.0	50.0	-	9.4	-	74.0	0.0
3	5	Cruise	50.0	50.0	4.0	4.0	-	55.6	0.0

Tabell 15 Stoptider for kjøreprofiler, Stadsingeniør Dahls gate

Gruppe	Beskrivelse	Verdi
1	Minste stoptid registrert	1,0 sek
2	Gjennomsnittlig stoptid	8,2 sek
3	Maksimal stoptid registrert	17,0 sek

Resultater:

Tabell 16 og 17 viser resultatene fra simuleringene for utslipp i henholdsvis Odd Husbys veg og Stadsingeniør Dahls gate. Da innverdiene for fase 3 er tilnærmet like for de to signalanleggene, er det

store likheter mellom resultatene. Forskjellene ligger i endrede utslipp grunnet ulik hastighet. Den totale utslippsmengden for hvert kjøreprofil vil derfor bli større i Stadsingeniør Dahls gate, da hastigheten på kjøretøyene er høyest her. ÅDT registrert for de to signalanleggene er omtrent like, og dermed vil den største totale utslippsmengden kunne antas å være i Stadsingeniør Dahls gate.

Tabell 16 Resultater Odd Husbys veg

Cost, Fuel and Emissions								
Event			Cost	Fuel	CO2	CO	HC	NOx
Grp	No.	Mode	kr	mL	g	g	g	g
1	1	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
1	2	Deceleration	0.05	2.2	5.4	0.08	0.01	0.00
1	3	Idle	0.00	0.36	0.90	0.01	0.00	0.00
1	4	Acceleration	0.08	15.3	38.3	4.9	0.08	0.11
1	5	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
2	1	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
2	2	Deceleration	0.05	2.2	5.4	0.08	0.01	0.00
2	3	Idle	0.06	3.0	7.6	0.12	0.02	0.00
2	4	Acceleration	0.08	15.3	38.3	4.9	0.08	0.11
2	5	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
3	1	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
3	2	Deceleration	0.05	2.2	5.4	0.08	0.01	0.00
3	3	Idle	0.13	6.1	15.3	0.24	0.04	0.00
3	4	Acceleration	0.08	15.3	38.3	4.9	0.08	0.11
3	5	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00

Tabell 17 Resultater Stadsingeniør Dahls gate

Cost, Fuel and Emissions								
Event			Cost	Fuel	CO2	CO	HC	NOx
Grp	No.	Mode	kr	mL	g	g	g	g
1	1	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
1	2	Deceleration	0.05	2.5	6.2	0.09	0.01	0.00
1	3	Idle	0.00	0.36	0.90	0.01	0.00	0.00
1	4	Acceleration	0.11	23.4	58.4	7.8	0.11	0.18
1	5	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
2	1	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
2	2	Deceleration	0.05	2.5	6.2	0.09	0.01	0.00
2	3	Idle	0.06	3.0	7.4	0.11	0.02	0.00
2	4	Acceleration	0.11	23.4	58.4	7.8	0.11	0.18
2	5	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
3	1	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
3	2	Deceleration	0.05	2.5	6.2	0.09	0.01	0.00
3	3	Idle	0.13	6.1	15.3	0.24	0.04	0.00
3	4	Acceleration	0.11	23.4	58.4	7.8	0.11	0.18
3	5	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01

For alle kjøreprofilene med lik hastighet er utslippene like i fasene før og etter stopp. Av resultatene kommer det tydelig fram at det er akselerasjonen etter en stopp som fører til de største utslippene og det største drivstoff-forbruket. Deretter kommer jevn hastighet og retardasjon. Kjøretøyet har lavest utslipp den tiden det står på tomgang. Utslippsmengden i denne situasjonen avhenger av varigheten på stoppet, og vil ikke endres selv om resten av kjøreprofilen endres. Det kommer fram at maksimal stopptid gir høyere utslipp enn jevn hastighet og retardasjon. Ved korte stopp er ikke mengden utslipp

av stor betydning. Med hensyn til utslipp vil hovedmålet med en eventuell endring av reguleringen av signalanlegg ikke bare være å redusere stopptiden, men også unngå at kjøretøyene må bremse mye og deretter akselerere.

Utslipp av NO_x er tilnærmet lik null når kjøretøyene står på tomgang. Det er kun akselerasjon som fører til utslipp som er av betydning. Utslippsmengdene av HC er også lave, men lenger tid på tomgang medfører økt utslipp, også dersom det kun er noen sekunders forlengelse av tiden. Utslippene av CO fra kjøretøy på tomgang er svært lave sammenlignet med utslippene ved akselerasjon, og stopptiden må være svært lang før utslippsmengden kommer opp på samme nivå som ved akselerasjon. Verdiene for CO_2 -utslipp er beregnet ut fra drivstoff-forbruket, og her kommer det fram at mengden CO_2 kommer raskere opp på lignende nivå som for akselerasjon ved økt stopptid enn det gjør for andre typer utslipp.

Ved andre hastigheter enn det som er brukt i simuleringene vil retardasjons-/akselerasjonsprofilen se annerledes ut, og dermed også gi andre utslippsmengder. Dette kommer også fram ved sammenligning av resultatene for Odd Husbys veg ($v = 40 \text{ km/t}$) og Stadsingeniør Dahls gate ($v = 50 \text{ km/t}$). Høyere hastighet gir økt utslipp.

I tillegg til de tre kjøreprofilene som det her er gjort beregninger for, kunne det vært aktuelt å se på utslipp fra kjøretøy dersom de slipper å stoppe helt, eller med vilje heller kjører sakte inn mot signalanlegget slik at de ankommer innen det skifter til grønt lys igjen (lavere retardasjon). Et slikt kjøreprofil vil resultere i mindre hastighetsforskjeller og dermed kortere perioder med retardasjon/akselerasjon, noe som gir reduserte utslipp.

Det er viktig å huske at resultatene fra simuleringen kun gjelder for standard personbil gitt i SIDRA TRIP, og beregninger for andre kjøretøy vil kunne gi andre resultater. Dette avhenger blant annet av kjøretøytype og alder på kjøretøy, som nevnt tidligere.

3 Innføring av nytt reguleringsystem for signalregulerte gangfelt

For å se på virkningen av å innføre et nytt system for signalregulerte gangfelt i Norge, er det i dette kapittelet gjort en sammenligning av de to britiske løsningene PELICAN og PUFFIN med dagens system. PELICAN anses å være en enkel løsning å gå over til, da det har store likheter med dagens norske signalanlegg både i bruk og utforming. I den følgende sammenligningen er det lagt størst vekt på undersøkelser med tanke på overgang til et slikt system. Siden PUFFIN er et system som er i ferd med å ta over for PELICAN i Storbritannia, og som gir bedre tilpasning til hver enkelt fotgjenger, er det hensiktsmessig å ta med også dette i sammenligningen. Innføring av PUFFIN vil imidlertid kreve en del nytt utstyr, og dermed føre til et større kostnads- og arbeidsomfang enn en innføring av PELICAN. Av hensyn til hva som vil være mest aktuelt å innføre i Norge, er det derfor gjort en noe enklere sammenligning med PUFFIN.

For PELICAN og PUFFIN er det beregnet faseinnstillinger for to tilsvarende gangfelt som de det er gjennomført registreringer ved. For å forenkle noe, blir kryssingslengden for Odd Husbys veg avrundet til 6 meter, og Stadsingeniør Dahls gate til 10 meter. Ved fastsettelse av fasetidene er det antatt at hovedandelen av fotgjengerne som benytter gangfeltene ikke trenger noen spesiell tilrettelegging i form av ekstra lang tid til å krysse. Det er også antatt at det ikke er spesielle trafikkavviklingsproblemer ved signalanleggene.

For å kunne sammenligne de tre systemene, er tilpassede fasetider for PELICAN og PUFFIN funnet, og utslipp for PELICAN er simulert ved bruk av SIDRA TRIP. I sammenligningene er det sett på forhold som fotgjengers opplevelse, brukervennlighet, sikkerhet, opplevelse for bilister, trafikkavvikling, utslipp, fasetider og forsinkelse.

3.1 PELICAN

Innføring av PELICAN forventes å kunne redusere forsinkelsen for kjøretøy, samtidig som fotgjengere har nok tid til å krysse gangfeltet.

3.1.1 Fasetid tilpasset gangfelt 6 og 10 meter

Tabell 18 viser fasetider i PELICAN tilpasset to gangfelt med kryssingslengde 6 og 10 meter. Verdiene er beregnet ved bruk av informasjonen gitt i kapittel 1.2.1.

Tabell 18 Tilpasset faseinnstilling PELICAN

Periode	Signal		Tidsinnstilling (sek)	
	Fotgjengersignal	Kjøretøy	6 meter	10 meter
A	Rød mann	Grønt lys	6-60	6-60
B	Rød mann	Gult lys	3	3
C	Rød mann	Rødt lys	3	3
D	Grønn mann, evt. med tilhørende akustisk signal	Rødt lys	4	5
E	Blinkende grønn mann	Rødt lys	0	0
F	Blinkende grønn mann	Blinkende gult lys	6	11
G	Rød mann	Blinkende gult lys	1	1

Tiden med rødt lys for kjøretøy blir maksimalt 7 sekunder for det korteste gangfeltet, og 8 sekunder for gangfeltet på 10 meter. Den felles fasen med blinkende grønn mann og blinkende gult lys utgjør hoveddelen av kryssetiden for fotgjengere.

3.1.2 Beregning av utslipp

For beregning av utslipp er samme innstillinger brukt som i beregningene med SIDRA TRIP for de to signalanleggene fra feltstudiene. Det er antatt nye stopptider for tre mulige situasjoner i anleggene med overgang til PELICAN. Disse verdiene er beregnet ved bruk av tabell 18. Verdiene for de nye kjøreprofilene er forklart i tabell 19. Antall kjøreprofiler er begrenset til tre, og det er forsøkt å finne situasjoner som gir varierte verdier for stopptider. I tillegg til de tre valgte profilene vil også minimumssituasjonen med 1 sekunder stopp gjelde. Resultatene for en slik situasjon vil være like de som allerede er beregnet for dagens signalanlegg, og blir derfor ikke beregnet på nytt her. Gjennomsnittlig ankomst for kjøretøy i hvert av signalanleggene er regnet ut fra registrerte ankomster av kjøretøy i henholdsvis Odd Husbys veg og Stadsingeniør Dahls gate (se verdier i vedlegg B).

Tabell 19 Kjøreprofiler med bruk av PELICAN

Gruppe	Beskrivelse	Verdi, 6m	Verdi, 10m
4	Maksimal stopptid dersom kjøretøy ankommer etter gjennomsnittlig ankomst for hvert av stedene, og må vente på gult blinklys mens fotgjengere krysser. (=Total stopptid - gj.snittlig ankomst)	14-12,9= 1,1 sek	20-13,8= 6,2 sek
5	Minimum stopptid dersom kjøretøy ankommer når rødt lys starter, og ingen flere fotgjengere skal krysse når det skifter til gult blinklys for kjøretøy.	3+4= 7 sek	3+5= 8 sek
6	Total stopptid dersom fotgjengere oppholder seg i gangfeltet ut tiden med gult blinklys.	3+4+6+1= 14 sek	3+5+11+1= 20 sek

Det antas at situasjonene som vil inntreffe oftest, er de som gir stopptider lignende de i gruppe 4. Stopptiden i denne gruppen representerer gjennomsnittlig ankomst for kjøretøy, og registreringene fra feltstudiene viste at de fleste kjøretøyene ankom i tider rundt gjennomsnittsverdien eller senere. Enkelte kjøretøy som ankom tidlig er grunnen til at verdien for gjennomsnittsankomsten ble trukket ned noe.

Gruppe 5 representerer hovedsaklig følgende 3 situasjoner:

- Fotgjenger har allerede krysset før det blir grønn mann.
- Fotgjenger begynner å krysse mens det fortsatt er rødt mann dersom kjøretøy inn mot gangfeltet har stoppet.
- Fotgjenger begynner å krysse når fasen med grønn mann begynner, og er ferdig med å krysse når signalet skifter til blinkende grønn mann. For det ene gangfeltet krever dette at fotgjengeren krysser 6 meter på 4 sekunder (1,5 m/s), noe som ikke er usannsynlig. For kryssing over 10 meter vil en ganghastighet på 2 m/s gi samme tilfelle, og også dette regnes som en mulig situasjon. Syklister vil rekke å krysse vegen i løpet av de aktuelle tidene for denne situasjonen.

De maksimale stopptidene er brukt i gruppe 6. Situasjoner som gir maksimal stopptid tenkes å kunne inntreffe i perioder med høy fotgjengerandel, eller dersom større grupper (for eksempel skoleklasser) eller personer med redusert framkommelighet krysser vegen.

Resultater:

Resultatene fra simuleringen for PELICAN-tilpassede gangfelt er vist i tabell 20 og 21. Det vil kun være utslippsverdiene for kjøretøy på tomgang som varierer fra resultatene fra feltstudiene, da resten av verdiene for inndata er uforandret. Kommentarene gitt for resultatene for feltstudiene vil derfor også gjelde her.

Tabell 20 Resultater 6 meter kryssingslengde

4	1	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
4	2	Deceleration	0.05	2.2	5.4	0.08	0.01	0.00
4	3	Idle	0.00	0.40	0.99	0.02	0.00	0.00
4	4	Acceleration	0.08	15.3	38.3	4.9	0.08	0.11
4	5	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
5	1	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
5	2	Deceleration	0.05	2.2	5.4	0.08	0.01	0.00
5	3	Idle	0.05	2.5	6.3	0.10	0.02	0.00
5	4	Acceleration	0.08	15.3	38.3	4.9	0.08	0.11
5	5	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
6	1	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
6	2	Deceleration	0.05	2.2	5.4	0.08	0.01	0.00
6	3	Idle	0.11	5.1	12.6	0.19	0.03	0.00
6	4	Acceleration	0.08	15.3	38.3	4.9	0.08	0.11
6	5	Cruise	0.03	2.7	6.7	0.10	0.00	0.00
Trip (Total)			1.5	154.8	386.9	32.0	0.75	0.81

Tabell 21 Resultater 10 meter kryssingslengde

4	1	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
4	2	Deceleration	0.05	2.5	6.2	0.09	0.01	0.00
4	3	Idle	0.05	2.2	5.6	0.09	0.01	0.00
4	4	Acceleration	0.11	23.4	58.4	7.8	0.11	0.18
4	5	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
5	1	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
5	2	Deceleration	0.05	2.5	6.2	0.09	0.01	0.00
5	3	Idle	0.06	2.9	7.2	0.11	0.02	0.00
5	4	Acceleration	0.11	23.4	58.4	7.8	0.11	0.18
5	5	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
6	1	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
6	2	Deceleration	0.05	2.5	6.2	0.09	0.01	0.00
6	3	Idle	0.15	7.2	18.1	0.28	0.04	0.01
6	4	Acceleration	0.11	23.4	58.4	7.8	0.11	0.18
6	5	Cruise	0.03	3.3	8.1	0.11	0.00	0.01
Trip (Total)			1.8	215.7	539.3	49.8	1.0	1.3

Simuleringene som er gjennomført gir kun resultater for tre antatte situasjoner i to konkrete signalanlegg. I signalanlegg der fotgjengerandelen er mye større eller mindre enn det som her er antatt, vil det kunne være mer interessant å gjøre simuleringer for andre situasjoner enn de som her er valgt. Det samme gjelder ved økt eller redusert andel kjøretøy. Jo flere kjøretøy som må stoppe, desto større blir utslippene. Dette vil i liten grad påvirkes av om stopptiden er litt kort eller veldig kort, da

kjøretøyene uansett vil måtte akselerere etterpå, og det er denne handlingen som fører til de største utslippene.

3.2 PUFFIN

Et PUFFIN-anlegg vil være et større prosjekt å installere enn PELICAN, da det krever noe nytt utstyr. For å kunne gi en god tilpasning av fasetider for fotgjengere, er systemet avhengig av at detektorene i systemet til enhver tid virker.

3.2.1 Fasetid tilpasset gangfelt 6 og 10 meter

Tabell 22 viser fasetider i PELICAN tilpasset to gangfelt med krysslengde 6 og 10 meter. Verdiene er beregnet ved bruk av informasjonen gitt i kapittel 1.2.2.

Tabell 22 Tilpasset faseinnstilling PUFFIN

Periode	Signal		Tidsinnstilling (sek)	
	Fotgjengersignal	Kjøretøy	6 meter	10 meter
A	Rød mann (vent)	Grønt lys (kjør hvis klart)	6-60	6-60
B	Rød mann	Gult lys (stopp så lenge det er trygt)	3	3
C	Rød mann	Rødt lys	3	3
D	Grønn mann, evt. med tilhørende akustisk signal	Rødt lys	4	5
E	Rød mann	Rødt lys	2	2
F	Rød mann	Rødt lys	0-10 ¹⁾	0-17 ²⁾
G	Rød mann	Rødt lys	0-3 ¹⁾	0-3 ²⁾
H	Rød mann	Rødt lys	0-3 (Kan kun benyttes dersom F+G<10sek)	0-3 (Kan kun benyttes dersom F+G<17sek)
I	Rød mann	Rødt og gult	2	2

¹⁾ Max F+G: $5+1,67*3=10\text{sek}$

²⁾ Max F+G: $5+1,67*7=16,7\text{sek}$

Gangfeltet på 6 meter kan ha en maksimal rødtidforlengelse på 10 sekunder, noe som gir en maksimal kryssetid på 18 sekunder for fotgjengere. For gangfeltet på 10 meter er den maksimale rødtidforlengelsen 17 sekunder, og den maksimale kryssetiden blir da 26 sekunder.

3.3 Sammenligning og vurderinger

Ut fra opplysninger og beregninger som er omtalt tidligere i rapporten, er det i dette delkapitlet gjort en sammenligning av de tre reguleringsformene for signalanlegg som det er lagt mest vekt på. Målet er å finne svakheter og fordeler med dagens system, PELICAN og PUFFIN. Verdiene som er brukt i sammenligningen er tilpasset signalanleggene i Odd Husbys veg og Stadsingeniør Dahls gate eller tilsvarende gangfelt. Det er derfor ikke sikkert alle resultatene fra sammenligningen passer i en generell sammenligning som inkluderer andre typer situasjoner.

3.3.1 Sammenligning av dagens signalanlegg, PELICAN og PUFFIN

Resultater fra beregninger, samt informasjon om de tre signalsystemene, er samlet i tabell 23.

Tabell 23 Sammenligning ulike systemer

	Dagens signalanlegg		PELICAN		PUFFIN	
	6,1 meter	9,8 meter	6 meter	10 meter	6 meter	10 meter
Rødtid kjøretøy (sek)	18	18	7	8	11-21	12-29
Maks stopptid kjøretøy (sek)	18	18	14	20	21	29
Kryssetid fotgjengere (sek)	13	13	10	16	6-18	12-26
Forsinkelse for kjøretøy ved ankomst start rødtid.	Fast		Varierer		Varierer	
Brukervennlighet fotgjengere	Enkelt å bruke, lett å forstå.		Lett i bruk, ligner dagens system. Krever noe mer oppmerksomhet av fotgjenger ved kryssing under felles fase.		Tilpasset flere typer brukere. Oversiktlig og enkelt når man først vet hvordan det fungerer.	
Trygghet fotgjengere	Fotgjengere stoler på systemet og at kjøretøy stopper for rødt. Lang sikkerhetstid gir økt trygghet i form av redusert konflikt mellom fotgjenger og kjøretøy. Bestemt tid til å krysse kan føre til stress for de som beveger seg langsomt.		Det er mulig blinkende lys kan lede til økt usikkerhet og stress ved kryssing. Fotgjenger kan føle det noe utrygt at kjøretøy kjører dersom de ikke oppdager kryssende fotgjenger.		Fotgjengere slipper å skynde seg over vegen i løpet av en bestemt kryssetid. Det kan likevel føles noe stressende å krysse mens det vises rødt mann.	
Opplevelse kjøretøy/bilfører	Gir mye unødvendig stopping. Kan skape ekstra irritasjon og redusert respekt for rødt lys.		Fører må være oppmerksom, men kan unngå lang stopp dersom ingen fotgjengere skal krysse.		Kjøretøy får kjøre når systemet har beregnet at det er klart. Normal kryssetid for fotgjenger gir kort stopptid, mens langsomme fotgjengere fører til forlenget ventetid for kjøretøy.	
Sikkerhet	God sikkerhetstid før og etter grønn mann reduserer mulige konflikter mellom trafikantgruppene.		Usikkerhet forbundet med at kjøretøy kan kjøre samtidig som fotgjenger krysser. Krever ekstra oppmerksomhet både fra fotgjengers og bilførers side.		Dersom fotgjenger "lærer" seg systemet og krysser selv om det er rødt mann, kan det være svært uheldig hvis kryssingen startes for sent ut i fotgjengerfasen.	

Den maksimale rødtiden og maksimal stopptid for de ulike signalanleggene er varierte. Dagens system har en forholdsvis langvarig rødtid, som er den samme i alle situasjoner. PELICAN har svært korte rødtider, noe som kan regnes som positivt med tanke på bilførere, men noe stressende for fotgjengere. Fasen med blinkende gult lys gir bilførerene muligheten til å unngå maksimal stopptid dersom ingen

fotgjenger krysser gangfeltet. PUFFIN har stor variasjon i varighet på rødtiden, og den kan bli svært langvarig ved maksimal rødtidforlengelse. Ved å se på den store variasjonen i mulig kryssetid for fotgjengere, kommer det tydelig fram at de blir prioritert i et PUFFIN-anlegg, samtidig som kjøretøy opplever positive effekter i tilfeller der fotgjengere ikke krever lang kryssetid. Effekten av å bruke de ulike signalanleggene avhenger av hvilke typer fotgjengere som benytter anlegget mest, og hvordan trafikken i området er. Dersom man kan forvente at en stor andel av fotgjengerne behøver ekstra lang tid for å krysse en veg, vil dette ha ekstra negativ effekt på kjøretøyene ved bruk av PUFFIN/PELICAN. Det positive med disse løsningene er at signalanleggene lettere kan tilpasses hver enkelt situasjon, noe som dagens system ikke har mulighet til. Alle de tre signalanleggene gir i teorien vanlige fotgjengere god nok tid til å krysse vegen. Det som skiller dem fra hverandre, er hvordan fotgjengeren opplever denne tiden, og hvilke signaler som blir gitt underveis.

Når det gjelder brukervennlighet for fotgjengere i de tre signalanleggene, er det ingen store forskjeller på dette. Dagens anlegg og PELICAN er svært like i utforming, og enkle og tydelige i bruksmåte. PUFFIN skiller seg noe ut på grunn av annen design, noe som kan virke uvant i en innføringsfase. Det anses likevel ikke å være noe mindre brukervennlig enn de to andre signalanleggene når brukeren blir vant til hvordan det fungerer.

Blinkende grønn mann kan virke stressende på kryssende fotgjengere, og gi en følelse av redusert trygghet. Dette gjelder spesielt eldre, eller andre med redusert fremkommelighet, som trenger ekstra lang tid til å krysse vegen. Både dagens system og PELICAN bruker blinkende grønn mann i deler av fotgjengerfasen. Med PELICAN får kjøretøy samtidig blinkende gult lys. Dette kan bidra til å redusere tryggheten til fotgjengerne ytterligere, da de ikke kan være sikre på at alle kjøretøy stopper automatisk som med rødt lys. I et PUFFIN-anlegg foregår deler av kryssingen for fotgjenger mens anropslyset viser rødt mann. Rødt mann kan ha samme negative effekt som blinkende grønn mann når det gjelder trygghetsfølelse, men på grunn av anropslysets plassering i PUFFIN-anlegget vil ikke rødt man være like fremtredende som grønn mann i tradisjonelle anropslys som er godt synlige fra gangfeltet.

Dagens signalanlegg har vist seg å gi mye unødvendig forsinkelse for kjøretøy, da rødtiden er konstant uansett fotgjengersituasjon. Dette medfører lett irritasjon blant bilførerne over å måtte stoppe uten at det egentlig er noe behov for det, noe som igjen kan føre til at enkelte får mindre respekt for signalanlegget og likevel kjører. Med både PELICAN og PUFFIN blir det tatt hensyn til slike unødvendige forsinkelser, og bilførers opplevelse vil dermed bli mer positivt. Reduksjonen av forsinkelsen avhenger av fotgjengersituasjonen, og ventetiden kan dermed føles mer riktig ettersom man får kjøre videre når fotgjengeren har krysset. Kjøretøy som passerer PELICAN-styrte anlegg vil få et ekstra ansvar for å kontrollere at det ikke kommer noen kryssende fotgjengere før de kjører på blinkende gult lys. Tydelig utforming av gangfeltet og området rundt vil derfor være viktig både av hensyn til bilførers oversikt, og fotgjengers oversikt og sikkerhet.

Sikkerheten i dagens signalanlegg regnes som svært god. Det er lagt inn godt med sikkerhetstid mellom fotgjengerfasen og kjøretøyfasen, og dermed unngås konflikter mellom fotgjenger og kjøretøy. Et problem kan imidlertid være at en fotgjenger begynner å krysse vegen i sikkerhetstiden (før grønn mann vises), samtidig som et kjøretøy behøver sikkerhetstiden for å komme seg unna gangfeltet. Ved bruk av felles fase, som med PELICAN, reduseres sikkerheten noe siden systemet er avhengig av at både sjåfør og fotgjenger er ekstra oppmerksomme. Hvor stort problem dette utgjør, kan ha mye med vanen blant trafikantene å gjøre, og er noe som trolig vil reduseres med økt bruk og tilvenning. PUFFIN anses å være et sikkert system, da det ikke har felles faser for ulike trafikantgrupper. Et mulig problem kan være at

fortgjengere lærer seg hvordan systemet fungerer, og begynner å krysse også på rød mann. Dette kan føre til ulykker dersom fotgjenger begynner kryssing for sent ut i fotgjengerfasen.

3.3.2 Sammenligning av utslipp med dagens system og PELICAN

Tabell 24 viser en sammenstilling av resultatene fra simuleringene gjennomført i SIDRA TRIP for signalanleggene fra feltstudiene og en tenkt innføring av PELICAN i tilsvarende kryss.

Tabell 24 Sammenstilling av utslipp for ulike signalanlegg og kryssingslengder

Utslipp signalanlegg med kryssingslengde 6m					
		CO ₂	CO	HC	NO _x
Dagens signalanlegg					
	1,0 sek	0,90	0,01	0,00	0,00
	8,4 sek	7,60	0,12	0,02	0,00
	17,0 sek	15,30	0,24	0,04	0,00
PELICAN					
	1,1 sek	0,99	0,02	0,00	0,00
	7,0 sek	6,30	0,10	0,02	0,00
	14,0 sek	12,60	0,19	0,03	0,00
Utslipp signalanlegg med kryssingslengde 10m					
Dagens signalanlegg					
	1,0 sek	0,90	0,01	0,00	0,00
	8,2 sek	7,40	0,11	0,02	0,00
	17,0 sek	15,30	0,24	0,04	0,00
PELICAN					
	6,2 sek	5,60	0,09	0,01	0,00
	8,0 sek	7,20	0,11	0,02	0,00
	20,0 sek	18,10	0,28	0,04	0,01

Selve stopptidene brukt for de to signalsystemene er ganske like, men det er hvilke stopptider som inntreffer oftest som har noe å si i sammenligningen av utslippsmengde. Det kan antas at situasjonene som gir lavest stopptid for kjøretøy i et PELICAN-system også er de som inntreffer oftest. I signalanlegget i Odd Husbys veg er det situasjoner som gir omtrent gjennomsnittlig stopptid som antas å inntreffe oftest. For signalanlegg med kryssingslengde 6 meter vil bruk av PELICAN medføre lavere utslipp, da de mest aktuelle stopptidene (1,1 sekunder og 7 sekunder) er lavere enn gjennomsnittlig stopptid for dagens system. For en kryssingslengde på 10 meter derimot, ser det ut til at PELICAN-systemet ikke vil gi de helt store endringene. Stopptidene vil holde seg på tilnærmet samme nivå som tidligere, og dermed også utslippene. For maksimale stopptider ser tendensen ut til å være den samme; ved korte kryssingslengder gir stopptiden reduserte utslipp, mens lang kryssingslengde gir lengre stopptid, og dermed økte utslipp.

Konklusjonen som kan trekkes fra denne sammenligningen, er at PELICAN ser ut til å være et godt alternativ, spesielt for kortere kryssingslengder med hensyn til utslipp. Bruk av PELICAN vil også kunne

medføre at færre kjøretøy trenger å stoppe helt dersom de ankommer på gult blinklys og ingen fotgjengere krysser. Dette fører til at færre kjøretøy trenger å retardere og akselerere fullstendig ved signalanlegget, og dermed reduseres utslipp forbundet med slike kjøreprofiler.

3.3.3 Forhold knyttet til innføring av nytt system på nasjonal basis

Ved en nasjonal utskifting til PELICAN eller PUFFIN i alle signalanlegg, vil det kreves en tydelig informasjonskampanje både før og etter endringene. Systemene er enkle å forstå, men særlig for eldre kan overgang til noe nytt ses på som et problem. PUFFIN vil i tillegg medføre ny utforming, noe som kan skape forvirring til å begynne med.

Det er ofte slik at folk føler seg utrygge når de presenteres for endringer i godt etablerte vaner eller system, og dette er noe en må forvente dersom reguleringen av signalanlegg endres. PELICAN krever at både fotgjengere og bilførere er mer oppmerksomme enn med dagens system. Denne løsningen kan selvfølgelig medføre redusert følelse av trygghet hvis fotgjengere ikke stoler på at bilfører har full oversikt. Det er også mulig at risikoen for ulykker vil øke på grunn av en felles fase for fotgjenger og kjøretøy. PUFFIN vil antakeligvis oppfattes som tryggere, da dette er et system som registrerer hver enkelt fotgjenger, og beregner en lang nok kryssetid. Å krysse mens det vises rødt mann kan føles usikkert, men så lenge detektorene fungerer og signalanlegget brukes på rett måte, bør det ikke være noen grunn til å føle seg usikker.

Argumentet med at innføring av nytt system også vil bidra til at utslippene fra kjøretøy reduseres, vil kunne bidra til en positiv holdning hos mange. Bilister som er lei av unødvendig venting vil trolig ta godt i mot et signalanlegg som bidrar til å redusere forsinkelsen for kjøretøy og forbedrer trafikkavviklingen. En forbedring av trafikkavviklingen ved et signalregulert gangfelt kan også gi positive virkninger for andre deler av vegsystemet i samme område.

Som allerede nevnt, vil innføring av PELICAN være det mest økonomiske og minst omfattende alternativet, da det ikke krever store endringer fra dagens system. Behovet for vedlikehold vil også være minimalt sammenlignet med PUFFIN, som blant annet er avhengig av at detektorene til enhver tid er i god stand.

4 Konklusjon

Ved bestemmelse av regulering i et signalanlegg vil resultatet være avhengig av en avveining mellom prioritering av kjøretøy og fotgjengere, og gjerne også miljøhensyn. Fotgjengerne skal føle seg trygge og ha nok tid til å krysse, samtidig som det er ønskelig med en best mulig trafikkavvikling som gir lave utslippsmengder.

Feltstudiene av de to signalanleggene i Trondheim viste at innføring av en ny form for signalanlegg kan være aktuelt for å forbedre dagens situasjon. Slik det er i dag, oppstår unødvendige køer og forsinkelser for kjøretøy ved at de må stoppe for tomme gangfelt. Dette medfører ekstra utslipp av skadelige stoffer, hovedsaklig på grunn av akselerering etter å ha stått stille. Gjennom feltstudiene ble det også tydelig at den største andelen av fotgjengerne krysser i løpet av første del av fotgjengerfasen. Dette kan tyde på at bruk av nytt reguleringssystem med redusert kjøretøyforsinkelse kan ha stor positiv effekt på trafikkavviklingen, uten at det fører til store konsekvenser for fotgjengerne.

I **Odd Husbys veg** ble det registrert en høy kjøretøyandel (360 kjt/t), og noe lavere andel fotgjengere (65 fotgj. pr time) i den aktuelle registreringsperioden. Signalanlegget medfører mye unødvendig venting for

kjøretøyene (83 % ankommer senere enn 6 sekunder etter rødtid begynner), og ofte dannes kø bakover grunnet dette. Det er en stor andel unge fotgjengere som benytter gangfeltet, og få som har behov for ekstra lang kryssetid. Kryssingslengden er kun 6 meter, og signalanlegget ligger på en oversiktlig strekning med lav fartsgrense. Ut fra vurderinger av ulike reguleringer av signalanlegg gjort tidligere i rapporten, vurderes det slik at innføring av ny signalregulering i retning av PELICAN anses som et aktuelt tiltak her. Dette vil kreve at alle trafikanter informeres godt i en overgangsfase, slik at bilister og fotgjengere blir gjort oppmerksomme på sitt ansvar i fasen med blinkende gult lys og blinkende grønn mann. Innføring av signalanlegg basert på PUFFIN-konseptet kan også ha positiv effekt, men det vurderes å være et større tiltak enn nødvendig for å forbedre situasjonen i det aktuelle gangfeltet.

En overgang til PELICAN-styrt signalanlegg vil sannsynligvis føre til redusert forsinkelse for biltrafikken, og dermed bedre trafikkavvikling. På grunn av at færre kjøretøy vil måtte senke farten eller stoppe, vil resultatet bli lavere totale utslippsmengder. Fotgjengerne vil stort sett være ferdige med å krysse tidlig i den felles fasen, og dermed ikke påvirkes spesielt sammenlignet med dagens system. Dersom det oppholder seg fotgjengere i gangfeltet hele den felles fasen, vil den totale rødtiden for kjøretøy fortsatt reduseres i forhold til dagens situasjon.

Stadsingeniør Dahls gate hadde en lavere kjøretøyandel (240 kjt/t) i registreringsperioden enn Odd Husbys veg. Den registrerte fotgjengerandelen (135 fotgj. pr time) er stor i forhold til antall kjøretøy. Utgangspunktet for vurdering av nytt reguleringssystem er dermed noe annerledes for dette gangfeltet. Det at kryssingslengden er hele 10 meter er også vesentlig i en slik vurdering, da det krever lenger tid for kryssing. Noe av problemet med dette signalanlegget, er at den jevne strømmen med fotgjengere fører til lang ventetid på grønn mann, samtidig som kjøretøyene ofte må stoppe for rødt lys. Dette resulterer i noe dårlig trafikkavvikling i perioder med mye trafikk og mange fotgjengere. De fleste fotgjengerne ble ferdige med å krysse vegen tidlig i fotgjengerfasen, men i perioder med mange fotgjengere var det også en del som krysset senere i fotgjengerfasen. Registreringene gjort ved signalanlegget viser resultater for rushtid med stor trafikk. I perioder med noe lavere trafikk og færre fotgjengere vil innføring av PELICAN være hensiktsmessig for gangfeltet, da dette vil korte ned rødtiden for kjøretøy betraktelig. I perioder med mange fotgjengere er det litt mer usikkert hvor stor effekt innføring av PELICAN vil ha. Sannsynligheten for at fotgjengere kommer spredt gjennom hele fotgjengerfasen er da større, og den maksimale rødtiden vil dermed bli lenger enn med dagens system dersom kjøretøy ikke får utnyttet muligheten til å kjøre på blinkende gult lys. På grunn av høyere hastighet på den aktuelle strekningen i forhold til Odd Husbys veg, vil risikoen for alvorlige konsekvenser være større dersom en ulykke først skulle inntreffe i forbindelse med uoppmerksomhet i den felles fasen. Innføring av PUFFIN vil være en sikrere løsning med hensyn til dette, da det er detektorene i anlegget som observerer fotgjengerne, slik at kjøretøy får klar beskjed om å stoppe i form av rødt lys gjennom hele fotgjengerfasen.

Innføring av PELICAN anses å kunne gi gode effekter i forhold til forsinkelse, trafikkavvikling og utslipp i signalregulerte gangfelt. Effekten påvirkes imidlertid av andelen fotgjengere og kjøretøy, og vil derfor ikke være av stor betydning dersom systemets prinsipp med felles fase ikke kan utnyttes. Dette gjelder spesielt for gangfelt som i Stadsingeniør Dahls gate, med en jevn ankomst av fotgjenger. Bruk av PUFFIN vurderes også til å være en god erstatning for dagens system, og vil spesielt være et bra alternativ i gangfelt der fotgjengere skal gis størst prioritet. Med vanlig kryssetid for fotgjengere vil PUFFIN også gi samme, eller også bedre, effekter som PELICAN med tanke på biltrafikken og utslipp.

Referanseliste

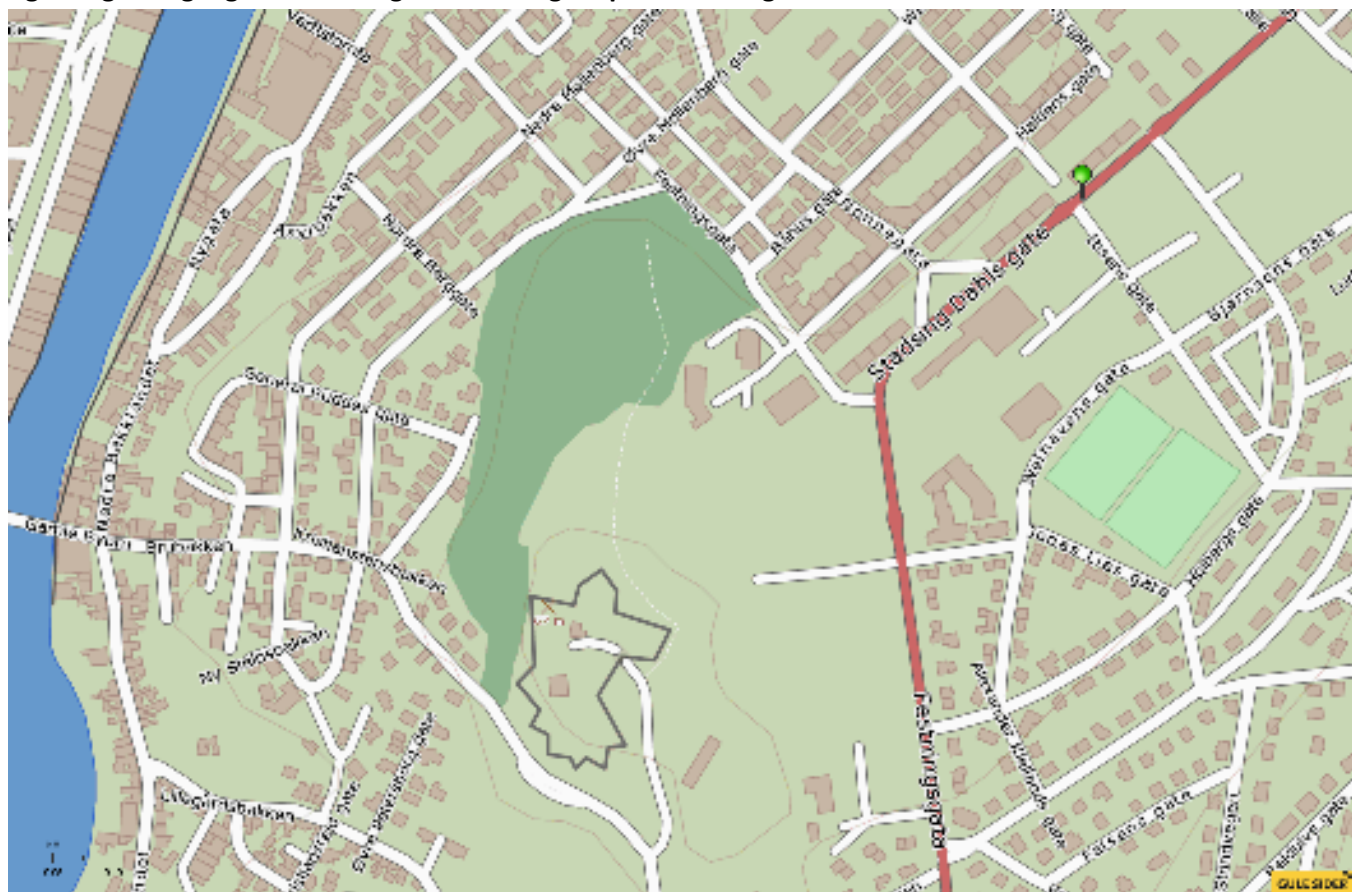
- AKCELIC & ASSOCIATES (2007) SIDRA TRIP User Guide. *Draft for TRIP 1.0 Beta Version*. Australia, Akcelic & Associates Pty Ltd (s. 2.12-2.19, 3.28-3.34).
- DAVIDSSON, F., KRONBORG, P. & LIND, G. (2008) PM - Trafikstyrning och tillgänglighet, Movea Trafikkonsult AB.
- DFT & CSS (2006) Puffin Crossings, Good Practice Guide - Release 1. England, Department for Transport & County Surveyors' Society.
- DOT (1995) The design of pedestrian crossings. *Local transport note 02/95*. London, Department of Transport.
- GRAN, K. (2005) Utprøving av PUFFIN-konsept, Lysaker, SWECO Grøner AS.
- KNUDSEN, T. & BANG, B. (2007) Miljømessige konsekvenser av bedre veier. Trondheim, SINTEF, Teknologi og samfunn, Veg- og transportplanlegging.
- KRONBORG, P. (2007) Fotgänger-vennlige trafikksignaler. *Publikasjon 2007:17*. Movea Trafikkonsult AB, Vägverket.
- SD (2005) Skiltforskriften, kapittel 12. *FOR 2005-10-07 nr 1219*. Samferdselsdepartementet (SD).
- SFT (2009a) Miljøstatus i Norge. *Luftforurensning*. Tilgjengelig fra: <http://miljostatus.no/Tema/Luftforurensning/> [Lastet ned 10.12.09]. Statens forurensningstilsyn.
- SFT (2009b) Utslipp fra kjøretøy. Tilgjengelig fra: <http://co2.sft.no/en/-HOVEDMENY-/Slik-beregnes-dine-utslipp/Kjoretoy/> [Lastet ned 10.12.09]. Statens forurensningstilsyn.
- SVV (2007a) Gangfeltkriterier. *Håndbok 270*. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (s.24).
- SVV (2007b) Trafikksignalanlegg: Planlegging, drift og vedlikehold. *Håndbok 142*. Oslo, Statens vegvesen, Vegdirektoratet (kap. 2.3).
- SVV (2007c) Trafikksignalanlegg: tekniske bestemmelser og retningslinjer for anvendelse og utforming (signalnormal). *Håndbok 048* Oslo, Statens vegvesen, Vegdirektoratet (kap.4).
- TRONDHEIM KOMMUNE (2009) Trafikktellinger. *Tabell med ÅDT-tall 2005-2008*. www.trondheim.kommune.no.
- VÄGVERKET (2002) Sverige beövar bättre trafikksignaler. *Publikasjon 2002:28*. Borlänge, Vägverket.
- AASHTO (2004) Implementation Guides, Signalized Intersections, Appendix 4. Tilgjengelig fra: http://safety.transportation.org/htmlguides/site_map/default.htm [Lastet ned 06.12.09]. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Personlige meldinger og e-poster:
- KRÅKENES, K. (2009): E-post-melding om signalvekslingstider, 11.12.09
- KRÅKENES, K. (2009): Muntlig meddelelse om signalanlegg i Trondheim, 17.11.09

VEDLEGG A: Oversiktskart med registreringspunktene

Signalregulert gangfelt i Odd Husbys veg på Dalgård:



Signalregulert gangfelt i Stadsingeniør Dahls gate på Rosenberg:



VEDLEGG B: Registreringskjema

Registreringer samlet Odd Husbys veg, 4.november 2009

Fotgjengeratferd		Aldersintervall																	
	Telleperiode Totalt	0-15						16-60						>60					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Trykker og venter på grønn mann	41	5	9	3	6	3		3	2	3	4		3						
Ankommer på grønt og krysser	36	7	4		9	2		2	3	4		1	3		1				
Trykker og går hvis ingen trafikk	8	3				1	1		1	2									
Krysser uten å trykke først	13	3		2	2	1				1		2			2				
Totalt	98	61						34						3					

Trafikk		Antall - Mot Stavset						
Trafikktelling, type kjøretøy		1	2	3	4	5	6	Totalt
	L	61	86	87	94	104	97	529
	T	2	0	0	0	2	1	5
	B	2	1	5	3	2	1	14
	Mop	2	3	0	3	0	1	9
Ventetid/kø biler	Perioder med grønn mann	Ankomsttid for biler som stanser i kø (sek etter start rødt) Mot Stavset						
		1	2	3	4	5	6	
	1	4, 6	17	13(B)	14, 16	11, 17	5, 9, 9, 12, 12, 14	
	2	16	10, 13, 15	5, 9, 13, 14	5, 11, 15	13, 14, 15, 16	12, 12, 15, 17	
	3	12	2	14	7, 15, 17	8, 16, 17	4(B), 13, 14	
	4	12, 15	14	4, 7	1, 7, 14(M)		14	
	5	6, 13	14	9	4, 10, 16, 17			
	6	7			15			
	7	7,10,14,18			5, 15(M)			
8				16				

(M)-moped

(B)- buss

Registreringer samlet Stadsingeniør Dahls gate, 6.november 2009

Fotgjengeratferd		Aldersintervall																	
	Telleperiode Totalt	0-15						16-60						>60					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Trykker og venter på grønn mann	60	4	2	4	1	4	2	7	5	4	7	5	7	2			2	1	3
Ankommer på grønt og krysser	72			3	6	2	1	6	3	8	1	1	1	2				1	1
Trykker og går hvis ingen trafikk	21							1	5	3	3	3	3	1		2			
Krysser uten å trykke først	50		1				2	1	2	6	7	7	7			3	1	1	1
Totalt	203	32						150						21					

Trafikk		Antall – Mot Festningen						
Trafikktelling, type kjøretøy		1	2	3	4	5	6	Totalt
	L	65	82	51	62	52	42	354
	T	1	1					2
	B	1		1		1	1	4
	Mop	1		1				1
Ventetid/kø biler	Perioder med grønn mann	Ankomsttid for biler som stanser i kø (sek etter start rødt) Mot Festningen						
		1	2	3	4	5	6	
	1	15	16	10	1, 11, 17	17	5, 6	
	2	2, 13	17	7, 11	16	10, 13	5, 8	
	3	3, 11	14	12(M), 14	18	8	13	
	4	2, 6	15	17(B), 18	13	6	17	
	5	12	6, 10	6	8	16	1	
	6	17	8 9, 10, 11, 18, 19	8, 14				
	7	5, 15		2, 6				
	8	13		12				
9			9, 17					

(M)-moped

(B)- buss

Rødt- stoppet uten fotgjenger i gangfelt i det hele tatt

VEDLEGG C: Beregning av stopptider, excel-ark

ANTALL.HVIS \times \checkmark f_x =22-D16							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Ankomst i sek etter start rødt lys (fra registrering)						
2	Periode nr.	Kjt 1	Kjt 2	Kjt 3	Kjt 4	Kjt 5	Kjt 6
3	1	15					
4	2	2	13				
5	3	3	11				
6	4	2	6				
7	5	12					
8	6	17					
9	7	5	15				
10	8	13					
11	9	16					
12	10	17					
13	11	14					
14	12	15					
15	13	6	10				
16	14	8	9	10	11	18	19
17							
18							
19	Stopptid pr kjøretøy i sek						
20	Periode nr.	Kjt 1(+18)	Kjt 2(+20)	Kjt 3(+22)	Kjt 4(+24)	Kjt 5(+26)	Kjt 6(+28)
21	1	3					
22	2	16	7				
23	3	15	9				
24	4	16	14				
25	5	6					
26	6	1					
27	7	13	5				
28	8	5					
29	9	2					
30	10	1					
31	11	4					
32	12	3					
33	13	12	10				
34	14	10	11	=22-D16	13	8	9
35							

Eksempel på beregning av stopptider for kjøretøy bakover i kø ved signalregulert gangfelt.