

Reisetidsregistrering av sykkeltrafikk

Halvor Grønlund

Sivert Bø Overå

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Eirin Olaussen Ryeng, BAT

Medveileder: Torbjørn Haugen, Statens Vegvesen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel: Reisetidsregistrering av sykkeltrafikk	Dato: 10. juni 2014		
	Antall sider (inkl. bilag): 214		
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave
Navn: Halvor Grønland og Sivert Bø Overå			
Faglærer/veileder: Eirin Ryeng			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Torbjørn Haugen, Statens vegvesen Vegdirektoratet			

Ekstrakt:

Behovet for kunnskap om sykkeltrafikk er økende, og kvaliteten til dataene som samles inn fra sykkeltrafikk i Norge i dag er ikke tilfredsstillende. Statens vegvesen uttrykker behov for å øke datakvaliteten og for å finne andre metoder til å registrere data fra sykklister.

Denne oppgaven undersøker om WiFi- og blåtannteknologi kan brukes til å registrere reisetider og strekningshastigheter fra sykkeltrafikk. Det vil også bli undersøkt hvilken effekt stigning har på sykkelhastighet.

En litteraturundersøkelse har blitt utført for å gi en generell oversikt over forskning knyttet til både innsamlingsmetoder for strekningshastigheter og hvilke faktorer som virker inn på sykklisters hastighetsnivå. Forskningen viser at WiFi og blåtann gir representative gjennomsnittlige reisetider for biltrafikk. Studier viser også at vind, stigning og kurver kan få betydelige utslag på en sykklists hastighet.

En pilotstudie ble gjennomført for å teste hvorvidt sensoren BlipTrack fra BLIP Systems representerer reisetider for sykkeltrafikk på en pålitelig måte. Testen er gjort ved å studere BlipTracks penetrasjonsrate og nøyaktighet i reisetidsregistreringer og ved å sammenlikne resultatene med manuelle reisetidsregistreringer. Resultatene viste at BlipTrack registrerte reisetidsdata fra ca. 20 % av alle passerende sykklister. Videre viste samlede reisetidsverdier et avvik lavere enn 5 % fra manuelle registreringer dersom antall registreringer oversteg 20 stykk.

For å finne hvilken effekt stigning har på sykklisters hastighet ble det registrert reisetider med BlipTrack ved 7 strekninger med ulik stigning. Resultatene fra registreringene konstaterer at stigning påvirker sykklisters hastighetsnivå. For tilnærmede flate sykkeltraseer ligger hastighetsnivået mellom 21 og 23 km/t. For brattere sykkelveger med eksempelvis 9.2 % kan en ut ifra våre resultater forvente et hastighetsnivå på ca. 9 km/t i oppoverbakke og like over 30 km/t i nedoverbakke.

Sensorer basert på WiFi- og blåtannteknologi kan anbefales som metode til å registrere reisetider fra sykkeltrafikk basert på resultatene fra denne rapporten. Teknologiene har vist seg å gi nøyaktighet som tilfredsstiller de fleste formål knyttet til reisetidsdata fra sykkeltrafikk. En viktig forutsetning er likevel at sensorenes plassering er nøye gjennomtenkt og at riktig filtrering blir brukt, slik at en er sikre på at fotgjengere og bilister ikke blir registrert. Viktige forhold som også må være til stede for å oppnå nøyaktige resultater er: riktig avstand mellom sensorer, mange nok registreringer og god plassering av sensorene.

Stikkord:

- | |
|--------------------|
| 1. Sykkelhastighet |
| 2. Blåtann og WiFi |
| 3. Reisetid |
| 4. Stigning |

Forord

Denne rapporten er et resultat av vårt arbeid med den avsluttende masteroppgaven ved masterprogrammet Bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Masteroppgaven er gjennomført ved Institutt for bygg, anlegg og transport, og inngår i fagretningen Transport i faggruppen Veg, transport og geomatikk. Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng, og er utført i samarbeid med Statens vegvesen Vegdirektoratet våren 2014.

Masteroppgaven har omfattet arbeid i felt, trafikkregistreringer, kartgenerering, analyse av data, innhenting av litteratur og rapportskrivning. Mye av tiden har blitt brukt til montering og flytting av sensorer langs veg. Sensorer, utstyr og verktøy som har blitt brukt er lånt av Trafikkteknisk senter ved NTNU.

Vi har hatt to veiledere til gjennomføring av masteroppgaven. Førsteamanuensis Eirin Ryeng ved NTNU har vært hovedveileder mens sjefingeniør Torbjørn Haugen har bidratt som ekstern veileder fra Statens vegvesen, Vegdirektoratet.

Det rettes en stor takk til begge veilederne. De har gjennom regelmessige møter hjulpet oss med fremdrift, fokus og formelle krav til masteroppgaven. I tillegg har de også gitt gode tilbakemeldinger og svar på spørsmål som har blitt stilt underveis. Torbjørn har også fungert som et bindeledd mellom oss og andre ressurspersoner i Statens vegvesen ved å videreformidle faglige spørsmål. Videre har Torbjørn lånt ut sin private bilhenger ved flytting av sensorene. Vi har satt stor pris på dette og utnyttet tilbudet hyppig.

Det rettes også en takk til: Ivar Arne Devik fra Miljøpakken som ga oss en oversikt over sykkelnettverk i Trondheim, Yngve Frøyen fra NTNU som hjalp oss med tekniske utfordringer under kartproduksjon, Terje Giæver fra Statens Vegvesen for innspill og datamateriale og til sist BLIP Systems support som ga opplæring i bruk av sensorsystemet og hjalp oss med tekniske problemer med utstyret.

Trondheim, juni 2014

Sivert Bø Overå & Halvor Grønlund

Sammendrag

Behovet for kunnskap om sykkeltrafikk er økende, og kvaliteten til dataene som samles inn fra sykkeltrafikk i Norge i dag er ikke tilfredsstillende. Statens vegvesen uttrykker behov for å øke datakvaliteten og for å finne andre metoder som kan registrere data fra syklisters.

Denne oppgaven undersøker om WiFi- og blåtannsensorer kan brukes til å registrere reisetider og strekningshastigheter fra sykkeltrafikk. Det vil også bli undersøkt hvilken effekt stigning har på sykkelhastighet.

En litteraturundersøkelse har blitt utført for å gi en generell oversikt over forskning knyttet til både innsamlingsmetoder for strekningshastigheter og hvilke faktorer som virker inn på syklisters hastighetsnivå.

Forskningen har vist at WiFi og blåtann ikke har like god nøyaktighet som alternative teknologier (ANPR, RFID) for biltrafikk, men at en likevel får god nok pålitelighet til å gi representative gjennomsnittlige reisetider. Studier viser også at vind, stigning og kurver gir betydelige utslag på en syklists hastighet. Det ble også erfart at det ikke har vært et stort fokus på innsamlingsmetoder for syklisters strekningshastighet.

En pilotstudie ble gjennomført for å undersøke hvorvidt sensoren BlipTrack fra BLIP Systems representerer reisetider for sykkeltrafikk på en pålitelig måte. Dette ble gjort ved å studere BlipTracks penetrasjonsrate og nøyaktighet i reisetidsregistreringer sammenliknet med manuelle reisetidsregistreringer.

Resultatene fra pilotstudien viste at BlipTrack egnet seg til innsamling av reisetidsdata for syklisters. I gjennomsnitt registrerte BlipTrack reisetider fra ca. 20 % av alle passerende syklisters. Mellom 5 % og 10 % av de registrerte reisetidene kom fra enheter med blåtann, mens resten kom fra WiFi-enheter. I pilotstudien kom det fram at BlipTrack ga samlede reisetidsverdier med under 5 % avvik fra manuelle registreringer hvis antall registreringer var over 20.

Hvis en ser på BlipTracks nøyaktighet på hver enkelt registrering hadde registreringer med WiFi et gjennomsnittlig absolutt reisetidsavvik fra manuelle registreringer på 14,8 sekunder fra 16 registreringer. For blåtann var tilsvarende avvik på 4,3 sekunder fra 36 registreringer.

Resultatene tyder på at WiFi- og blåtannteknologier vil gi representative reisetidsregistreringer. WiFi vil registrere flere syklistere enn blåtann, og gir god nøyaktighet på median og gjennomsnittsverdier. Blåtann vil, i tillegg til dette, også gi god nøyaktighet på hver enkelt registrerte reisetid. Viktige forutsetninger som må være til stede for å oppnå nøyaktige resultater er tilstrekkelig avstand mellom sensorer, mange nok registreringer og god plassering av sensorene.

For å finne hvilken effekt stigning har på syklisters hastighet ble det registrert reisetider med BlipTrack fra 7 strekninger med ulik stigning. Resultatene fra registreringene viser at stigning vil påvirke sykkelhastigheten. For nærmest flate sykkelveger ligger hastighetsnivået på mellom 21 og 23 km/t. For bratte sykkelveger med eksempelvis 9.2 % stigning kan en ut ifra våre resultater forvente et hastighetsnivå på ca. 9 km/t i oppoverbakke og like over 30 km/t i nedoverbakke. Den høyeste gjennomsnittlige hastigheten som ble registrert var 36.5 km/t fra strekningen med 5.4 % nedoverbakke. Medianhastigheten fra samme strekning var 37.6 km/t.

For negativ stigning antyder resultatene at det finnes en stigningsgrad hvor syklistere ikke lenger øker hastigheten ved brattere bakker. En kan også se at hastighetenes spredning vil være mindre når stigningen blir brattere oppover. For bratte bakker vil også standardavviket være mindre i oppoverbakke enn i nedoverbakke.

Sensorer basert på WiFi- og blåtannteknologi kan anbefales som metode til å registrere reisetider fra sykkeltrafikk basert på resultatene fra denne rapporten. Teknologiene har vist seg å gi nøyaktighet som tilfredsstillende de fleste formål knyttet til reisetidsdata fra sykkeltrafikk. En viktig forutsetning er likevel at sensorenes plassering er nøye gjennomtenkt og at riktig filtrering blir brukt, slik at en er sikre på at fotgjengere og bilister ikke blir registrert.

Summary

The need for knowledge regarding bicycle traffic is increasing, and the quality of the data collected from bicycle traffic in Norway today is not satisfactory. The Norwegian Public Roads Administration (the NPRA) clearly expresses the need to improve data quality and to find other methods to register data from bicyclists.

This report examines whether sensors that utilize WiFi and Bluetooth technology can be used to register travel times and section speeds from bicycle traffic. The effect that different slopes are having for bicycling speed is also examined throughout this report.

A literature review has been conducted in order to provide both a general overview of research related to known methods for data collection of section speed, as well as known factors that may influence bicyclists speed level.

Research has shown that WiFi and Bluetooth don't provide as good accuracy as alternative technologies (such as ANPR and RFID) to vehicular traffic. It is also shown, however, that the data provided are within sufficient reliability levels in order to provide representable travel data for section speeds. Studies also show that wind, slope and curves provide significant impact on bicycle speeds. It was also found that very few studies have had a focus on finding methods to gather section speed data for bicyclist.

A couple of technical test was performed to examine whether the sensor BlipTrack from BLIP Systems could represent travel times for bicycle traffic in a reliable manner. This was done by, among other things, studying the penetration rate of the BlipTrack sensor and the accuracy of the travel registrations while comparing these figures with manually recorded travel time data.

The results from the preceding technical tests showed that BlipTrack was well suited for collecting travel time data for bicycles. On average it was observed that BlipTrack registered and calculated travel times for approximately 20 % of all passing bicycles. It was also seen that among the registrations taken, only about 5 % to 10 % of the registrations were taken using the Bluetooth technology. The remaining data was registered by detecting devices using WiFi technology. This is interesting as the Bluetooth share tend to be significantly higher

among road vehicles. The technical tests revealed that results for speed values produced by the BlipTrack sensor deviated less than 5 % off the results produced by the manual records, given that the number of registrations was based upon 20 or more registrations.

If looking at the accuracy of each registration from BlipTrack, it was found that registrations taken with WiFi were having a mean absolute deviation from manual results by 14.8 seconds based upon 16 registrations. Corresponding findings for Bluetooth registrations were found to deviate from the manual results by 4.3 seconds, based upon 36 registrations.

Results suggest that WiFi and Bluetooth sensors can provide representative travel times. While the registrations from WiFi are greater in numbers and give off representative average and median values, the results given by the Bluetooth sensor alone will be giving adequate accuracy for travel times from every registration taken. However, important conditions that must be met in order to achieve accurate results are given by important factors such as adequate distance between sensors, sufficient registrations and well thought through locations of the sensors.

To determine the effect that slope has on bicycle speed, travel times were collected with BlipTrack from 7 different sections with varying degree of slope. The results indicate that the slope clearly affects values of bicycle speed. For nearly flat bike paths, the average speed level is found to lie between 21 and 23 km/h. For steeper bike roads such as the section with a 9.2 % slope, results indicate speed levels at 9 km/h in the upward direction and barely 30 km/h in the downhill direction. The highest speed recorded was averagely 36.5 km/h from the stretch with 5.4 % downhill. The corresponding median value was 37.6 km/h.

For negative graded slopes, results suggest that there exists a critical gradient value where bicyclists no longer increase speeds. It is also observed that the dispersion of detected speeds is reduced when slopes increasingly becomes steeper in upward direction. The standard deviation becomes similarly reduced as a result of the reduced dispersion.

Sensors based on WiFi and Bluetooth technology can be recommended as a method to register travel times from bicycle traffic based upon this report. The technologies have proven to provide accuracies that satisfy many purposes regarding travel data for bicycles. Important prerequisites are still, however, that the sensor locations are carefully chosen, along with appropriate filtering of data to avoid inclusion of pedestrians and motorists in datasets.

Innhold

Forord	I
Sammendrag	III
Summary	V
Figurliste.....	XI
Tabelliste	XIII
Formelliste.....	XIII
Forkortelser og definisjoner	XIV
Forkortelser	XIV
Sykkelbegrep.....	XIV
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	3
1.3 Omfang og avgrensning.....	3
1.4 Oppbygging av rapporten	4
2 Metode.....	6
2.1 Litteraturundersøkelse og innhenting av teori	6
2.2 Pilotstudie	7
2.3 Datainnsamling.....	7
2.4 Bearbeiding og analyse av data	8
3 Teoretisk grunnlag.....	9
3.1 Trafikkdata.....	9
3.2 BlipTrack	12
3.3 Blåtann.....	16
3.3.1 Teknologiske kjennetegn for blåtann	16
3.3.2 Kommunikasjon mellom blåtannenheter	18
3.3.3 Blåtann i BlipTrack	21
3.3.4 Fremtidig bruk av blåtann for registrering	22
3.4 WiFi.....	22
3.4.1 Teknologiske kjennetegn for WiFi.....	23
3.4.2 Kommunikasjon mellom WiFi-enheter.....	24
3.4.3 WiFi i BlipTrack	25
3.4.4 Fremtidig bruk av WiFi for registrering.....	26

4	Litteraturundersøkelse	28
4.1	Erfaringer med innsamling av fartsdata generelt.....	28
4.1.1	Gjenkjenning av bilskilt (ANPR).....	29
4.1.2	Magnetisk gjenkjenning	30
4.1.3	AutoPASS-brikker (RFID).....	30
4.1.4	Kommunikasjonsteknologi i standardenheter	31
4.2	Erfaringer med innsamling av fartsdata fra sykkeltrafikk	34
4.2.1	Blåtann	34
4.2.2	GPS.....	35
4.3	Ulike faktorerers innvirkning på syklisters fartsnivå.....	36
4.3.1	Fysiske betraktninger	36
4.3.2	Sykelstudier.....	39
4.4	Oppsummering	47
5	Pilotstudie.....	49
5.1	Formål.....	49
5.2	Planlegging	49
5.2.1	Kontrollert test.....	49
5.2.2	Åpen test.....	50
5.2.3	Teststrekning	50
5.2.4	Oppsett av utstyret.....	52
5.3	Kontrollert test.....	53
5.3.1	Gjennomføring	53
5.3.2	Resultater.....	54
5.4	Åpen test.....	58
5.4.1	Gjennomføring	58
5.4.2	Resultater.....	58
5.5	Diskusjon.....	64
5.5.1	Oppdagelse og penetrasjonsrate	64
5.5.2	Hastigheter og reisetid.....	65
5.5.3	Avvik mellom BlipTrack og manuelle registreringer	67
5.5.4	Andre bemerkninger fra pilotstudien	68
5.6	Konklusjon.....	69
5.6.1	Påliteligheten til blåtann og WiFi i BlipTrack	69
5.6.2	Gjennomsnittsverdi og medianverdi	71
5.6.3	Sluttvurdering.....	71
6	Syklisters fartsnivå i stigninger	72

6.1	Observasjoner	72
6.1.1	Planlegging	72
6.1.2	Praktisk bruk av BlipTrack i masteroppgaven	77
6.1.3	Gjennomføring av registrering	78
6.2	Resultater	88
6.2.1	Stigning	88
6.2.2	Andre faktorer	95
6.3	Diskusjon	96
6.3.1	Stigning	96
6.3.2	Andre faktorer	103
6.4	Konklusjon.....	104
6.4.1	Syklisters hastighet i stigning.....	104
6.4.2	Registreringer av syklist i stigning.....	105
7	Samlet oppsummering og konklusjon	107
7.1	BlipTracks pålitelighet	107
7.2	Syklisters hastighet i stigning	107
7.3	Våre anbefalinger til fremtidig registrering av sykkeltrafikk med WiFi og blåtann	108
7.4	Egne erfaringer	110
7.5	Videre arbeid	111
	Referanser.....	112
	Vedlegg	117

Figurliste

<i>Figur 1 – Fire grunnleggende prosesser for reisetidsregistreringer ved bruk av BlipTrack</i>	13
<i>Figur 2 - Eksempel på klyngefiltrering</i>	15
<i>Figur 3 - Frekvensfordeling av blåttann hvor hver blå rubrikk representerer bruk av 1 MHz av det tilgjengelige frekvensspekteret</i>	18
<i>Figur 4 - Oppdagelse av enheter basert på søketid</i>	19
<i>Figur 5 – Fordeling av registreringer foretatt i Danmark med to BlipTrack sensorer (Araghi et al., 2013)</i>	20
<i>Figur 6 - Fordeling av registreringer foretatt med én blåttannsensor (Araghi et al., 2013)</i>	21
<i>Figur 7 – Konfigurering av blåttannantennene i BlipTrack (BLIP Systems, 2014)</i>	22
<i>Figur 8 – Kommunikasjonskanaler for WiFi. utsnitt fra frekvensbåndet rundt 5 GHz (CISCO, 2014a)</i>	24
<i>Figur 9 - Konfigurering av WiFi i en sekundær utstyrsboks for BlipTrack-systemet. Retningsantennene på hver sin side av boksen justeres etter ønske (BLIP Systems, 2014)</i>	26
<i>Figur 10 - Sammenheng mellom fart og effekt ved forskjellige dragkoeffisienter (Wilson et al., 2004)</i>	37
<i>Figur 11 - Sammenheng mellom fart og effekt ved forskjellige vindhastigheter (Wilson et al., 2004)</i>	37
<i>Figur 12 – Sammenheng mellom fart og effekt ved forskjellig stigningsmotstand (Wilson et al., 2004)</i>	38
<i>Figur 13 - Studier som viser hvor lenge syklister kan sykle ved gitte effekter</i>	39
<i>Figur 14 – En generalisert logitmodell for sykkelhastigheter (El-Geneidy et al., 2007)</i>	40
<i>Figur 15 - Forhold mellom hastighet [mph] og tetthet [syklister/kvadratfot] (Smith, 1977)</i>	42
<i>Figur 16 - Forhold mellom hastighet og tetthet (Zhang et al., 2013)</i>	43
<i>Figur 17 – Sammenheng mellom kurveradius og hastighet (Navin, 1994)</i>	44
<i>Figur 18 - Sammenheng mellom stigning og sykkelhastighet (Navin, 1994)</i>	45
<i>Figur 19 - Fartsnivå for syklister i forskjellige stigninger (SINTEF, 2011)</i>	46
<i>Figur 20 - Kartutsnitt fra hovednett for sykkel i Trondheim 2025 (Trondheim kommune, 2013)</i>	51
<i>Figur 21 - Oversikt over teststrekning. Kartgrunnlag: Norge i bilder (2014)</i>	52
<i>Figur 22 - Sensor øst for Stavne bru</i>	52
<i>Figur 23 - Registrerte reisetider i kontrollert test</i>	56
<i>Figur 24- Fordeling av avvik mellom registreringene ved passering av sensor vest</i>	57
<i>Figur 25 - Fordeling av avvik mellom registreringene ved passering av sensor øst</i>	57
<i>Figur 26 – Absolutt prosentavvik mellom gjennomsnittsverdier registrert av BlipTrack og manuelt registrerte gjennomsnittsverdier, sortert på antall registreringer</i>	63
<i>Figur 27 - Absolutt prosentavvik mellom medianverdier registrert av BlipTrack og manuelt registrerte medianverdier, sortert på antall registreringer</i>	63
<i>Figur 28 – Sykkelvegnettet i Trondheim inndelt etter ulike stigningsintervaller</i>	75
<i>Figur 29 - Kart og eksempelbilde fra strekning 1 Teknobyen</i>	80
<i>Figur 30 - Kart og eksempelbilde fra strekning 2 Finalebanen</i>	81
<i>Figur 31 - Kart og eksempelbilde fra strekning 3 Tempevegen</i>	82

<i>Figur 32 - Kart og eksempelbilde fra strekning 4 og 5 Bjørndalen</i>	<i>83</i>
<i>Figur 33 – Kart og eksempelbilde fra strekning 6 Byåsveien</i>	<i>84</i>
<i>Figur 34 – Kart og eksempelbilde fra strekning 7 Breidablikkveien.....</i>	<i>86</i>
<i>Figur 35 – Hastigheter basert på gjennomsnittsverdier i positiv stigning</i>	<i>90</i>
<i>Figur 36 - Hastigheter basert på medianverdier i positiv stigning</i>	<i>90</i>
<i>Figur 37 - Hastigheter basert på gjennomsnittsverdier i negativ stigning</i>	<i>91</i>
<i>Figur 38 - Hastigheter basert på medianverdier i negativ stigning.....</i>	<i>91</i>
<i>Figur 39 - Fordeling av fart i positiv stigning ved bruk av kumulative hastighetsnivåer</i>	<i>92</i>
<i>Figur 40 - Fordeling av fart i negativ stigning ved bruk av kumulative hastighetsnivåer</i>	<i>93</i>
<i>Figur 41 – Andel registreringer foretatt ved bruk av blåtann i begge kjøreretninger</i>	<i>94</i>
<i>Figur 42 - Egne resultatets effektnivå. Originalt diagram: (Wilson et al. (2004)).....</i>	<i>102</i>

Tabelliste

<i>Tabell 1 - Oppdagelse av enheter basert på søketid (Peterson et al., 2006).....</i>	<i>19</i>
<i>Tabell 2 - Gjennomsnittlig sykkelhastighet (Smith, 1977).....</i>	<i>41</i>
<i>Tabell 3 - Oversikt over faktorerens innvirkning på syklisters fartsnivå.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabell 4 - Enheter benyttet i kontrollert test.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabell 5 - Oversikt over antall registrerte turer.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabell 6 - Gjennomsnittlig reisetid med P-verdi fra hypotesetest.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabell 7 - Registrerte turer fra åpen test ved bruk av BlipTrack og manuelle registreringer.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabell 8 - Penetrasjonsrate for syklist og fotgjengere ved bruk av BlipTrack.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabell 9 - Registrerte turer med BlipTrack fordelt på WiFi og blåttann i åpen test.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabell 10 - Registrerte turer med BlipTrack fordelt på WiFi og blåttann.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabell 11 – Reisetider for sykler under åpen test fra BlipTrack og manuelle registreringer.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabell 12 - Prosentvis avvik mellom BlipTrack og manuelle registreringer for sykkelhastigheter og penetrasjonsrate for sykler.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabell 13 - Aktuelle strekninger samt endelig bestemt observasjonsstrekning for hver enkelt stigning.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabell 14 – Strekningskarakteristikk for strekning 1 Teknobyen.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabell 15 - Strekningskarakteristikk for strekning 2 Finalebanen.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabell 16 - Strekningskarakteristikk for strekning 3 Tempevegen.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabell 17 - Strekningskarakteristikk for strekning 4 og 5 Bjørndalen.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabell 18 – Strekningskarakteristikk for strekning 6 Byåsveien.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabell 19 - Strekningskarakteristikk for strekning 7 Breidablikkveien.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabell 20 - Oppsummering av karakteristikk for registreringslokasjoner.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabell 21 - Gjennomførte registreringer i ulike stigninger.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabell 22 - Sammenlikning av gjennomsnittlig reisetid fra to dager med forskjellig værforhold.....</i>	<i>95</i>

Formelliste

<i>Formel 1 – Gjennomsnittlig strekningshastighet.....</i>	<i>9</i>
<i>Formel 2 – Varians.....</i>	<i>10</i>
<i>Formel 3 – STD-avvik.....</i>	<i>10</i>
<i>Formel 4 - MAD.....</i>	<i>11</i>
<i>Formel 5 - MPE.....</i>	<i>11</i>
<i>Formel 6 - MAPE.....</i>	<i>11</i>
<i>Formel 7 - Effekt.....</i>	<i>36</i>

Forkortelser og definisjoner

Forkortelser

WiFi: Uoffisielt kjent som «Wireless Fidelity». Trådløs radiooverføringsprotokoll.

FHSS: Frequency Hop Spread Spectrum. Frekvenshoppemetode som blåtann benytter seg av.

NFC: Near field communication. Trådløs radiooverføringsprotokoll.

AP: Access Point. Tilknytningsportaler WiFi benytter seg av.

ANPR: Automatic number plate recognition. Automatisk skiltgjenkjenning.

RFID: Radio Frequency Identification. Radiofrekvensidentifikasjon.

GPS: Global Positioning System. Et satellittbasert radionavigasjonssystem.

LAN: Local area network. Lokalt datanett.

MAC: Media Access Control. Kontrolladresse for nettverkstilgang.

ÅDT: Årsdøgntrafikk. Summen av antall kjøretøy på en strekning gjennom et helt år delt på antall dager i året.

GIS: Geografisk informasjonssystem.

FKB: Felles kartdatabase.

Sykkelbegrep

Sykkelvegnett: Et nettverk av sykkelruter/sykkeltraséer.

Gang- og sykkelveg (GS-veg): En veg for fotgjengere og syklister separert fra bilveg.

Sykkelveg: En veg for syklister separert fra både fotgjengere og bilveg. En sykkelveg har sykkeltrafikk i begge retninger.

Sykkelveg med fortau: En sykkelveg med parallelt fortau til fotgjengere inntil sykkelvegen. Fortauet og sykkelvegen separeres ofte med oppmerking eller kantstein.

Sykkelfelt: Et eget kjørefelt for syklister i bilvegen. Et sykkelfelt er beregnet på trafikk i bare en retning, og er skilt fra bilenes kjørebane med oppmerking.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Reisevaneundersøkelser fra 2009 viser en sykkelandel i Norge på 4 %. Fram mot 2023 er det foreslått et nasjonalt mål om at sykkelandelen skal øke til 8 %. Styrking av arbeidet med sykkeltellinger nevnes som en viktig faktor for å nå dette målet (Samferdselsdepartementet, 2013). For å nå målet er det beregnet at sykkeltrafikken minst bør dobles i byer og tettsteder. Dette er på grunn av at det totale antall reiser også kommer til å øke. Sykkelandelen i Norge er lavere enn i Sverige og Danmark som har en sykkelandel på henholdsvis 9 % (i 2005) og 16 % (i 2009) (Statens vegvesen, 2012b).

Sykkelandelen i Trondheim var i 2009 på 7 % i følge den nasjonale reisevaneundersøkelsen (Trondheim kommune, 2013b). Andel reiser gjennomført med kollektivtransport var 9 %, mens andel bilførere var 42 %. Disse tallene inkluderer den store andelen borteboende studenter i Trondheim. Gjennom utbyggingsplanen «Miljøpakken», som er et samarbeid mellom Trondheim kommune, Statens vegvesen og Sør-Trøndelag fylkeskommune, er det satt et mål om at andel reiser gjennomført med miljøvennlige transportmidler skal være minst 50 % innen 2018.

Nasjonal sykkelstrategi (Statens vegvesen, 2012b) har som mål å bedre tilretteleggingen for sykkel som transportmiddel. Den beskriver blant annet utfordringer med dagens sykkeltransport, samt effektive virkemidler som vil føre til at flere velger sykkel som reisemiddel. Kunnskapsbasert utvikling blir nevnt som en viktig del av strategien for økt tilrettelegging for sykkel. Behovet for kunnskap om sykkel som transportmiddel er stort, og sykkeltrafikkens utvikling og fordeling nevnes i den nasjonale strategien som viktige kunnskapsområder.

I dag blir kvantitative data fra sykkeltransport samlet inn gjennom reisevaneundersøkelser og snittellinger. Data fra den nasjonale reisevaneundersøkelsen brukes ifølge Håndbok 233, Sykkelhåndboka (Statens vegvesen, 2013), for å kartlegge sykkeltrafikkens utvikling. Likevel sies det i håndboka at det er behov for supplerende data om når og hvor folk sykler. Slik data må derfor innhentes på andre måter, som for eksempel gjennom snittellinger av sykkeltrafikken.

I følge Statens vegvesen sin Handlingsplan for trafikkdata var bare 25 av Statens vegvesens 90 etablerte faste registreringssnitt for telling av sykler som ga tilfredsstillende datakvalitet i 2011 (Statens vegvesen, 2012a). Handlingsplanen uttrykker som følge av dette et behov for en forbedring av datakvalitet og antall registreringssnitt for sykler. Disse ønskede registreringspunktene vil danne en struktur for systematisk registrering av sykkeltrafikk. En slik struktur vil bidra til å kartlegge trafikkmengder og utvikling av trafikk på kommunenivå, i tillegg til at en nasjonal sykkelindeks vil kunne utarbeides. I handlingsplanen går det tydelig fram at innhenting av data fra sykkeltrafikk er blant fokusområdene i planperioden fra 2013 - 2018.

Statens vegvesen har per februar 2014, 7 operative registreringspunkt i Trondheim som helt eller periodevis registrerer syklistene (NorTraf, 2014). Disse punktene, sammen med flere induktive sløyfer som Trondheim kommune har installert, har indikert en økning i antall sykkelturer siden de ble satt opp (Statens vegvesen, 2010). Manuelle registreringer utført gjennom Miljøpakken i Trondheim, september 2013, viser også at antall sykkelturer har økt med omtrent 20 % siden 2010 (Miljøpakken, 2013). Likevel sier ikke dette nødvendigvis noe om sykkelandelen, da det totale antall turer kan ha økt.

Ifølge Nasjonal sykkelstrategi (Statens vegvesen, 2012b) er dagens datagrunnlag om sykkeltrafikk ikke godt nok til å kunne beregne effekten av ulike tiltak rettet mot sykkel. Det påpekes derfor at en utvikling av verktøy for innsamling av data er viktig for å bedre kunnskapen rundt sykkeltrafikk. Videreutvikling av transportmodeller og beregningsmodeller ses også på som et viktig argument for å øke kunnskapen om sykkeltrafikk. For at modellene skal bli bedre trengs et bedre datagrunnlag enn det som finnes i dag. En rapport om den Regionale persontransportmodell, versjon 3 (Tørset et al., 2013), forklarer at sykkelturer blir fordelt i vegnettet basert på minste reisetid uavhengig av kapasiteten på vegen. Syklistenes reisetid blir for øvrig også beregnet i modellene ved bruk av en konstant hastighetsprofil, hvilket trolig sjelden avspeiler en normal reise.

Når en ny sykkelinfrastruktur skal prosjekteres brukes farten til de raskeste syklistene som dimensjonerende for utformingsparametere som blant annet siktbehov (Statens vegvesen, 2013). Videre brukes også syklistenes hastighet som input i tilgjengelighets- og framkommelighetsstudier, som for eksempel i den norske ATP-modellen.

I Norge er dagens registreringspunkter for sykkeltransport basert på punktregistreringer. Det er hovedsakelig antall passerende syklistene som registreres. Teknologien som benyttes er for

det meste induktive enkeltsløyfer. Denne sensortypen er typisk ikke i stand til å gjenkjenne syklist fra punkt til punkt, slik at strekningshastigheter ikke registreres. Med dagens registreringspunkter kan man dermed hverken registrere eller estimere strekningshastighet for sykkel. Det er derfor behov for andre metoder som kan registrere reisetider og strekningshastigheter fra sykkeltrafikk.

Statens vegvesen har i lengre tid brukt bompengebrikker (AutoPASS) til å samle inn reisetid for biltrafikk. På grunn av høye installasjonskostnader knyttet til dette systemet har blåttansensorer i det siste blitt testet som en alternativ løsning for å registrere reisetider fra biltrafikk.

Nå ønsker en også å teste om blåttansensorer og WiFi-sensorer kan brukes til å samle inn reisetider fra sykkeltrafikk på grunn av behovet for mer kunnskap, og på grunn av manglende metoder for å registrere syklisters hastigheter.

1.2 Problemstilling

Denne masteroppgaven er todelt. Den første delen går ut på å teste om WiFi og blåttansensorer egner seg til innsamling av fartsdata fra sykkeltrafikk. For å gjøre dette benyttes sensorer fra BLIP Systems kalt BlipTrack.

Den andre delen går ut på å gjennomføre innsamling av fartsdata fra syklistere på strekninger med ulike stigningsforhold.

Oppgaven tar derfor utgangspunkt i følgende overordnede problemstillinger:

- 1: Egner WiFi og blåttansensorer seg til innsamling av reisetidsdata for syklistere?
- 2: Hvilken innvirkning har stigning på syklisters fartsnivå?

1.3 Omfang og avgrensning

For å få et større bilde over hvilke teknologiske løsninger som finnes for innsamling av hastigheter, ble det foretatt en litteraturundersøkelse. I denne ble omfanget av registreringsløsninger avgrenset til strekningsbaserte teknologier.

Begrepet syklisters fartsnivå er i denne oppgaven avgrenset til gjennomsnittlig hastighet basert på tidsbruk over en strekning. En har ikke sett på hvordan syklisters hastighet endrer seg over strekningen.

Testing av blåtann og WiFi har foregått med sensoren BlipTrack fra BLIP Systems. Det finnes flere tilbydere av liknende sensorer, men disse er ikke testet i denne masteroppgaven.

Antall stigninger som det har blitt samlet inn fartsdata fra er begrenset av masteroppgavens tidshorisont på 20 uker.

Oppgaveteksten i vedlegg A, sier også at en skal, om mulig inkludere andre forhold enn stigning som kan virke inn på syklisters fartsnivå. Det har ikke blitt fokusert på å redegjøre for andre faktorer fra de innsamlede datasettene, både av praktiske og tidsbegrensende årsaker. Det var tidsmessig kun anledning til å utføre en enkel analyse for hvordan ulike værforhold kan innvirke på sykkelhastighet. Oppgaven fokuserer likevel først og fremst på å utføre grundige analyser knyttet til stigning som påvirkende faktor for hastighet.

1.4 Oppbygging av rapporten

Denne masteroppgaven består av 7 kapitler.

Kapittel 2 beskriver de ulike metodene som er benyttet i oppgaven.

Kapittel 3 gir tar kort for seg grunnleggende begreper om trafikk- og hastighetsdata. Videre beskrives BlipTrack, og det blir også gitt en detaljert innføring i blåtann- og WiFi-teknologi.

I kapittel 4 presenteres en litteraturstudie som tar for seg både erfaringer knyttet til innsamling av fartsdata og hvilke faktorer som spiller inn på sykkelhastighet.

Kapittel 5 beskriver en pilotstudie som tester hvorvidt BlipTrack egner seg til innsamling av reisetidsdata for sykkeltrafikk.

I kapittel 6 beskrives hvordan datainnsamlingen har blitt planlagt og gjennomført. Resultatene fra datainnsamlingen presenteres og diskuteres, og det blir konkludert med hvordan stigning virker inn på syklisters hastighetsnivå.

Kapittel 7 gir en oppsummerende konklusjon fra både pilotstudien og egne observasjoner. Det gis også anbefalinger knyttet til fremtidig bruk av WiFi og blåtann til innsamling av fartsdata

for sykklister. Egne erfaringer med gjennomføringen av masteroppgaven samt forslag for videre arbeid med fagemnet blir også presentert.

2 Metode

Dette kapitlet presenterer hvilke metoder som er benyttet i masteroppgaven. Metodene vil bli forklart, begrunnet og vurdert, slik at oppgaven og resultatene, hvis ønskelig, kan etterprøves eller reproduseres.

2.1 Litteraturundersøkelse og innhenting av teori

En stor del av forberedelsene til masteroppgaven gikk ut på å tilegne seg teori og fakta om teknologien i sensorene som skulle bli brukt. Det ble lagt mye vekt på dette fordi det ville gi et bedre grunnlag til både å håndtere utstyret, planlegge observasjoner og tolke dataene som sensorene registrerer. Det ble foretatt søk på internett via Google og Google Scholar. Kunnskapen ble tilegnet gjennom vitenskapelige artikler, brukermanualer og tekniske spesifikasjoner. I tillegg ble det også foretatt et besøk hos leverandøren av utstyret, BLIP Systems i København, hvor en innføring og opplæring i utstyret ble gitt.

Søk etter litteratur ble hovedsakelig gjort gjennom den akademiske søkemotoren Google Scholar, men også gjennom Universitetsbibliotekets system, BIBSYS Ask. Vitenskapelige journaler ble også undersøkt gjennom Elseviers ScienceDirect. Noen av søkeordene som ble brukt for å finne litteratur som tok for seg faktorer som spiller inn på sykkelhastighet var: *bicycle travel time*, *bicycle speed*, *bicycle facilities*, *factors affecting bicycling* osv. I tillegg ble det søkt etter forskjellige faktorer spesielt, sammen med søkeordet *bicycle*.

For å finne erfaringer med innsamling av fartsdata ble følgende søkeord brukt: *travel time estimation*, *methods for travel time registrations*, *speed estimating technology*, osv. Det ble spesielt fokusert på forskjellige innsamlingsmetoder for fartsdata. Noen av kildene ble også funnet gjennom litteraturlister til andre rapporter og vitenskapelige artikler.

Litteraturundersøkelsen ble gjennomført for å gi et større bilde over hvilke teknologiske løsninger som finnes for innsamling av strekningshastigheter, og erfaringer knyttet til denne innsamlingen. Videre var det viktig å se hvilken forskning som har blitt gjort rundt sykkelhastigheter og faktorer som spiller inn på disse. Litteraturen ble også brukt til å sette egne resultater fra masteroppgaven i en større sammenheng.

2.2 Pilotstudie

En pilotstudie ble gjennomført for å teste hvordan sensorene fungerte og om BlipTrack egnert seg til innsamling av reisetidsdata for syklistere. Det ble først foretatt en lukket test på natten hvor egne enheter ble syklet fram og tilbake mellom to BlipTrack-sensorer på en teststrekning på Stavne bru i Trondheim. Egne reisetider ble så sammenliknet med reisetider registrert av BlipTrack.

Pilotstudien fortsatte videre ved å teste BlipTrack på et større reelt sykkelvolum. Det ble derfor foretatt manuelle registreringer av syklisters reisetid over Stavne bru i Trondheim. Registreringene ble gjennomført ved at to observatører stilte seg ved hvert sitt sensorpunkt på hver sin side av observasjonsstrekningen. Syklistenes passeringstidspunkt og kjennetegn ble notert, og senere ble notatene sammenstilt og reisetid beregnet. Observasjonene ble utført i rushtidene kl. 07.00-09.00 og kl. 15.00-17.00 tirsdag 1.april 2014. Reisetidene fra de manuelle observasjonene ble deretter sammenliknet med BlipTracks registrerte reisetider.

Manuelle registreringer ved bruk av observatører gir ikke muligheten til å gå tilbake til observasjonene for å etterregistrere eller finne eventuelle feil, slik som er mulig ved bruk av videoopptak, som også var en alternativ metode. Videoopptak er for øvrig også en mer nøyaktig innsamlingsmetode. Likevel ble manuelle registreringer valgt med bakgrunn i at det kreves mindre bearbeiding av data i etterkant av enn ved bruk av videoopptak. Videre ble nøyaktigheten på manuelle registreringer også vurdert som tilfredsstillende for pilotstudiens formål.

2.3 Datainnsamling

For å samle inn fartsdata fra syklistere i forskjellige stigninger, ble ulike observasjonsstrekninger nøye vurdert før endelige strekninger ble valgt. Først ble kartdata fra sykkelvegnettet i Trondheim brukt som grunnlag for å utarbeide egne kart over sykkelveggers stigninger. Programvaren ArcGIS ble benyttet til å behandle alle kartdata. Med utgangspunkt i de utarbeidede kartene ble aktuelle strekninger befart og kontrollert med GPS-målinger for å anskaffe nøyaktige signingsverdier. Utvelgelse av strekninger ble så gjort med bakgrunn i befaringsene. På denne måten kunne en vurdere flere strekninger opp mot hverandre, og velge de som passet best i forhold til sensorene og andre preferanser.

Selve datainnsamlingen ble gjort av BlipTrack-sensorene som ble flyttet med jevne mellomrom mellom observasjonsstrekningene. Supplerende manuelle registreringer ble benyttet ved to anledninger for å kontrollere registreringene foretatt av BlipTrack og ved en anledning hvor BlipTrack ikke kunne benyttes på grunn av utfordringer knyttet til hastighetsfiltreringer.

2.4 Bearbeiding og analyse av data

BlipTrack sitt brukergrensesnitt for presentasjon av data, ble ikke benyttet i noen særlig grad. I stedet ble ubehandlede reisetidsdata eksportert ut fra nettsiden og bearbeidet på egen hånd. BlipTracks innebygde metoder for filtrering av uønskede registreringer ble heller ikke benyttet. Filtrering av data ble dermed utført ved bruk av egne metoder. Fartsfiltrering og lokasjonsfiltrering ble primært brukt i denne prosessen. Det ble også brukt en kontrollsjekk av filtreringene ved å studere andel registreringer foretatt med bruk av blåtannteknologi. Analysen av data fra både pilotstudien og hastighetsundersøkelsene ble gjennomført i *Microsoft Excel*.

Statistisk testing har blitt gjennomført for å vurdere resultatenes statistiske signifikans for pilotstudien og for en mindre analyse av værrets påvirkning. F-test (varianstest) og tosidig Student t-test ble benyttet på datasett fra forskjellige observasjonsserier. Signifikansnivå på 5 % ble valgt etter anbefaling fra Blakstad (1995). Testene ble gjennomført i *Microsoft Excel* sitt dataanalyseverktøy for statistiske tester.

3 Teoretisk grunnlag

Dette kapitlet tar kort for seg grunnleggende begreper om trafikk- og hastighetsdata. Videre beskrives sensorløsningen BlipTrack, og det blir også gitt en detaljert innføring i blåtann- og WiFi-teknologi.

3.1 Trafikkdata

Trafikkdata kan enten registreres som punktdata eller strekningsdata. Punktdata er data som registreres i et punkt eller over en kort strekning. Typiske data som registreres kan være antall kjøretøy, avstand mellom kjøretøy og punkthastighet. Induktive sløyfer, radar og trykkfølsomme kabler er de mest brukte sensorene for registrering av punktdata i Norge.

Data som gir informasjon over en gitt strekning blir kalt strekningsdata. Eksempler på strekningsdata kan være reisetid, strekningshastighet eller forsinkelse. Strekningsdata kan enten bli innsamlet ved at kjøretøy blir gjenkjent og registrert i to eller flere punkt med utstyr som kan gjenkjenne kjøretøy, eller er i stand til å loggføre kontinuerlig datasignaler. Logging av GPS-signaler er en typisk metode for å samle inn kontinuerlig data for strekninger. Metoder for gjenkjenning av kjøretøy i flere punkt er blant annet brikke-teknologi, nummerplategjenkjenning, manuelle metoder og blåtann.

Hastighet kan enten representeres som strekningshastighet eller punkthastighet. **Punkthastighet** er hastigheten som registreres i et punkt. Gjennomsnittlig punkthastighet til en større mengde kjøretøy, vil bli gitt av det aritmetiske gjennomsnittet for alle punkthastighetsregistreringene.

Strekningshastighet registreres over en lengre strekning, og er definert som strekningens lengde dividert på kjøretøyets tidsbruk over strekningen. Gjennomsnittlig strekningshastighet beregnes ved å dividere strekningens lengde på det aritmetiske gjennomsnittet av alle kjøretøys tidsforbruk. Dette vises i formel 1.

$$\bar{x} = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i}$$

FORMEL 1 – GJENNOMSNIITTLIG
STREKNINGSHASTIGHET

hvor L er lengden av strekningen, t_i er reisetid for kjøretøy nr. i og n er antall kjøretøy.

Gjennomsnittlig strekningshastighet vil alltid være mindre eller lik punkthastigheten hvis konstante hastigheter forutsettes. Kjøretøy med lave hastigheter har større betydning ved beregning av strekningshastighet fordi de holder hastigheten i lengre tid enn kjøretøy som holder høyere hastigheter (Wahl and Haugen, 2005).

Hastigheter kan også oppgis med medianverdier. Medianen er den registrerte hastigheten som representerer en midtverdi i et datasett sortert etter hastighet.

Standardavvik og varians brukes ofte til å indikere spredning i et datasett. Standardavviket sier noe om hvor mye observasjoner avviker fra gjennomsnittlig hastighet. Varians og standardavvik beregnes slik:

$$Var = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad \text{FORMEL 2 – VARIANS}$$

$$STD - avvik = \sqrt{Var} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{FORMEL 3 – STD-AVVIK}$$

hvor x_i er hastigheten for kjøretøy i , \bar{x} er gjennomsnittlig strekningshastighet og n er antall kjøretøy.

En annen størrelse som ofte blir benyttet i trafikken er **reisetid**. Reisetid defineres som tiden en bruker mellom to punkter. Reisetid er dermed også, i liket med hastighet, et begrep som sier noe om hvor fort folk og kjøretøy forflytter seg. Det er vanlig å beregne gjennomsnittlig reisetid for bestemte tidsintervaller, som for eksempel 5-min. intervaller eller timesintervaller.

Registrering, estimering og prediksjon er begreper som blir benyttet når en snakker om reisetid (Wahl and Haugen, 2005). Med registrering av reisetid menes den reisetiden som faktisk er registrert eller målt mellom to punkter. Estimering av reisetid vil si at reisetiden er basert på andre registrerte data, som for eksempel hastigheter. Slike metoder kan vurderes der strekningsdata er vanskelig til å samle inn, ved at for eksempel utstyr for å registrere reisetider er utilgjengelig. Reisetider kan eksempelvis estimeres fra gjennomsnittshastigheter i punkt, eller fra kjente hastighetsbestemmelser fra vegdatabanker. Mens estimering beskriver fortidens eller nåtidens reisetid, er prediksjon en prognose for fremtidig reisetid. Prediksjonene kan være basert på blant annet på historiske data og trender fra aktuell reisetid i nåtidspunktet.

Penetrasjonsrate er et begrep som benyttes for å si noe om hvor høy andel av alle kjøretøy som blir registrert ved bruk av en spesifikk registreringsmetode langs en strekning.

Penetrasjonsraten beregnes ved å dividere registrerte kjøretøy på det totale antall forbipasserende kjøretøy.

Når en sammenlikner sann reisetid med reisetid registrert fra sensorer og utstyr, benyttes ofte ulike nøyaktighetsmål til å presentere avviket fra sensorens registreringer (Y. Wang et al., 2014). Tre vanlige uttrykk for å beskrive avviket er:

Gjennomsnittlig absolutt avvik (*MAD: Mean absolute deviation*): Dette er enkeltavvikenes gjennomsnitt, og uttrykkes slik:

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\hat{T} - T_i| \quad \text{FORMEL 4 - MAD}$$

Hvor N er antall observasjoner, T_i er den ekvivalente reelle reisetiden og \hat{T} er reisetiden registrert av en sensor.

Gjennomsnittlig prosentavvik (*MPE: Mean percent error*): Representerer gjennomsnittlig prosentvis forskjell, både positiv og negativ, mellom registrerte reisetider og reelle reisetider. MPE uttrykkes slik:

$$MPE = 100 * \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(\hat{T} - T_i)}{T_i} \quad \text{FORMEL 5 - MPE}$$

Gjennomsnittlig absolutt prosentavvik (*MAPE: Mean absolute percent error*): Viser gjennomsnittlig prosentvis forskjell mellom registrerte reisetider og reelle reisetider med utgangspunkt i absolutt avvik. MAPE uttrykkes slik:

$$MAPE = 100 * \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|\hat{T} - T_i|}{T_i} \quad \text{FORMEL 6 - MAPE}$$

3.2 BlipTrack

BlipTrack er en sensor som registrerer trafikanter og er utviklet av det danske firmaet BLIP Systems. Med BlipTrack medfølger også et webbasert grensesnitt som utfører beregning, analyse og presentasjon av registreringene som blir foretatt. Sensoren henter inn data ved å fange opp trådløse signaler fra forbigående enheter som benytter WiFi- eller blåttantenneteknologi. Dette er teknologi som benytter seg av radiobølger til utveksling av informasjon. Typiske enheter kan være mobiltelefoner, handsfree-tilbehør eller kommunikasjonsenheter i kjøretøy.

Selv om det finnes mange muligheter ved bruk av BlipTrack, har sensorer som baserer seg på registreringer ved bruk av trådløs teknologi også visse begrensninger. Tradisjonelle sensor-teknologier har til en viss grad muligheten til å differensiere mellom ulike kjøretøytyper, enten ved hjelp av lengdekategorisering, eller også noen ganger ved hjelp av tyngde. En slik differensiering mangler sensorer basert på trådløs teknologi i praksis. BlipTrack har i teorien nemlig muligheten til å differensiere og identifisere hva slags type enhet som registreres. Det kan skilles mellom kjøretøy, handsfree-tilbehør og mobiltelefoner basert på enhetenes ID. I praksis fungerer likevel ikke denne kategoriseringen like godt som i teorien. Dette skyldes i stor grad at produsentene av blåttann- og WiFi-enheter foreløpig bare har delvis implementert denne informasjonen i signalene som enhetene sender til omverdenen. Sensoren kan derfor bare i begrenset grad kategorisere kjøretøy som observeres.

BlipTrack opererer med fire grunnleggende prosesser i sin reisetidsregistrering: montering, registrering, behandling og presentasjon. Beskrivelsen av prosessene er basert på informasjonen fra BLIP systems nettsider, og disse er også illustrert i figur 1 (BLIP Systems, 2014).

Den første prosessen består av monteringen av sensorer langs vegen. Som et minstekrav kreves det normalt to sensorer i to ulike punkter for å kunne måle reisetiden mellom disse. Ellers trenger sensorene en strømforsyning for å operere og en nettverkstilkobling for å kunne videresende registrerte data til datasentralen.



FIGUR 1 – FIRE GRUNNLEGGENDE PROSESSER FOR REISETIDSREGISTRERINGER VED BRUK AV BLIPTRACK (BLIP SYSTEMS, 2014)

I den andre grunnleggende prosessen inngår selve registreringen av trådløse enheter. Sensorene registrerer enhetenes ID og hvilket tidspunkt enhetene passerer sensorene. Enhetenes ID er i form av krypterte MAC-adresser. Alle enheter som kan kobles til trådløse teknologier har en unik MAC-adresse, hvilket kan leses av BlipTrack-sensorene. Ofte blir passerende enheter registrert flere enn én gang mens den befinner seg innenfor sensorens rekkevidde. BlipTrack har 3 grunnleggende, men forskjellige metoder for hvilke registreringer som vil bli benyttet til reisetidsberegning dersom enheter har blitt registrert flere enn én gang: *førsteregistreringer*, *sterkeste signalstyrke* eller *sisteregistreringer*. *Førsteregistreringer* benytter tidspunktet hvor sensorene først oppdager enheten. *Sterkeste signalstyrke* benytter tidspunktet hvor sensorene har registrert det sterkeste signalet fra enheten, mens *sisteregistreringer* benytter tidspunktet til sensorenes siste registrering av enheten. BlipTrack bruker *sterkeste signalstyrke* som standard registreringsmetode, men denne kan endres etter brukerens behov.

Den tredje prosessen omhandler behandling av innsamlet data og beregning av reisetider og hastigheter basert på disse dataene. Forskjellige algoritmer i denne prosessen avgjør hvordan eventuelle uønskede data filtreres bort og hvordan beregning av resultatene skal utføres. Uønskede data kan for eksempel være kjøretøy som har fått unormale reisetider gjennom feilregistreringer, ved at kjøretøy stoppet mellom sensorene. Filtreringsalgoritmer er forhåndsinnstilt av BLIP Systems, men kan delvis endres etter ønske av brukeren ved forespørsel.

Den fjerde og siste prosessen i BlipTrack består av et brukergrensesnitt som kan åpnes i en nettleser hvor resultatene presenteres på en oversiktlig måte. I dette brukergrensesnittet kan resultater også lastes ned i form av regneark eller genererte ferdigrapporter. Rapportene kan lastes ned med forskjellige innstillinger, og kan delvis modifiseres i brukergrensesnittet etter

rapportens formål. Det finnes også mulighet til å skaffe rådata fra sensorene uten noen form for filtrering eller bearbeiding.

Baksystemet i BlipTrack gir mange muligheter til å presentere reisetidsdata. Blant annet kan det vises grafer over strekningene med innhold etter behov. Oversiktskart kan også vise historiske reisetider eller reisetider i sanntid. Grafer og kart kan både være interaktive, hvor informasjonen man vil se kan slås av eller på, eller de kan være en del av statisk genererte ferdigrapporter. Informasjon om reisetid kan også gjøres offentlig via nettsiden slik at dataene kan deles på internett eller på tavler med sanntidsinformasjon.

Detaljert informasjon om hvordan baksystemet til BlipTrack fungerer er i liten, eller ingen grad tilgjengelig for brukere av systemet. Dette skyldes hovedsakelig at BLIP Systems ønsker å holde metoder og teknikker hemmelige da de anser denne delen av systemet som et viktig konkurransefortrinn i markedet.

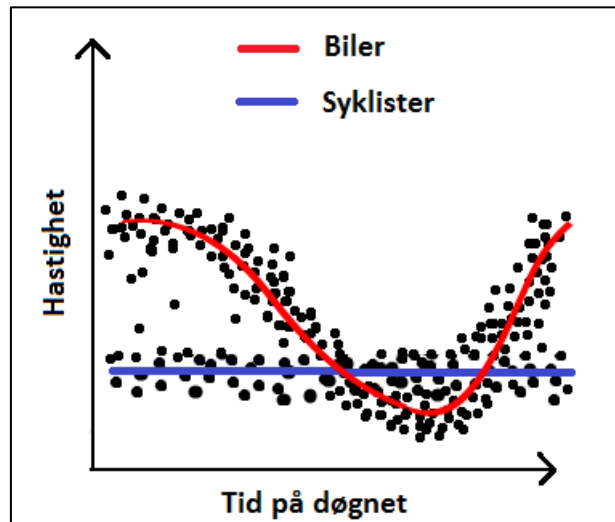
BlipTrack hemmeligholder oppbyggingstrinnene for en rekke filtreringsalgoritmer som systembrukere kan benytte, men samtidig uten å bli forklart hvordan de fungerer. I tillegg til enkelte standardfiltreringer kan følgende filtreringsmetoder brukes i systemet til BlipTrack til å filtrere ut enkelte typer trafikk fra øvrig trafikk: fartsfiltrering, lokasjonsfiltrering og klyngefiltrering. Disse filtreringsmetodene forklares nedenfor ved å anta at det ønskes å filtrere bort øvrig trafikk fra sykkeltrafikk.

I fartsfiltrering velges en nedre og øvre hastighetsverdi som syklistene havner innenfor. Denne filtreringen kan benyttes på steder hvor det er forskjell i hastighet til biler, syklistene og fotgjengere.

Lokasjonsfiltrering er en type filtrering som gjøres ved nøye gjennomtenkt plassering av sensorene. Alle sensorene kan plasseres på en dedikert sykkelveg. Alternativt kan 2 sensorer plasseres som vanlig på ønsket strekning mens 1 sensor blir plassert på en isolert sykkelveg der bilister ikke kan ferdes. Det velges deretter at registrerte reisetider bare må komme fra enheter som har passert isoleringssensoren. Denne metoden forårsaker en del frafall av registreringer, slik at det dermed må sikres at et tilstrekkelig sykkelvolum passerer alle sensorene.

Klyngefiltrering er en filtrering som kan se tendenser i hastighetsnivået for de forskjellige reisemidlene. Eksempelvis kan motoriserte kjøretøy tidvis bli påvirket av rushtrafikken og få betydelig lengre reisetid enn hva de gjør ellers i døgnet. Samtidig kan det være at

sykkeltrafikken holder en jevn hastighet til alle tider av døgnet og dermed kan skilles fra biltrafikken med hjelp av klyngefiltrering. BlipTrack kan da plukke ut de riktige reisetidene som tilhører syklistene. En enkel illustrasjon på klyngefiltrering vises i figur 2.



FIGUR 2 - EKSEMPEL PÅ KLYNGEFILTRERING

Det kan også velges at enheter som registreres som syklistene én gang lagres med denne klassifikasjonen for en angitt periode. På denne måten kan en enhet enklere skilles ut som en syklist i framtidige registreringer av enheten.

BlipTrack er en innovativ og kostnadseffektiv sensorløsning som opprinnelig benyttet blåtannteknologi til å registrere reisetider i sanntid. Årsaken til at BLIP Systems tidlig tilpasset sensoren med blåtannteknologi var at blåtannteknologi tidlig ble en utbredt teknologi for intern kommunikasjon i kjøretøy, blant annet på grunn av blåtanns lave strømforbruk. Det er først i det siste at BLIP Systems har valgt å implementere deteksjon av WiFi-signaler i BlipTrack. Smarttelefoner kan være vanskelig å registrere med bruk av blåtannteknologi, blant annet på grunn av at enkelte telefoner ikke automatisk er synlig for andre enheter selv om blåtannteknologifunksjonen er påskrudd. Antall brukere som har blåtannteknologi påslått er også færre enn antall brukere som har WiFi påslått. Mulighetene til å kunne registrere flere smarttelefoner fremstår derfor som viktigste hensikt for å implementere WiFi-modulen. Tidligere har registreringer ved bruk av WiFi blitt sett på som mindre interessant, da evnen til å registrere kjøretøy i høye hastigheter har vært langt mindre effektivt med WiFi enn med blåtannteknologi. En økende interesse for å registrere kjøretøy med lavere hastigheter samt myke trafikanter har imidlertid bidratt til ny tro på registreringer ved hjelp av WiFi-teknologi.

I delkapittel 3.3 og 3.4 beskrives viktige egenskaper til blåtann og WiFi. Selv om det finnes mange likheter mellom blåtann og WiFi så er forskjellene også mange. Som følge av forskjellene vil registreringer fra hver av teknologiene variere i både nøyaktighet og i antall registrerte enheter blant trafikantene. Dersom resultatene skal kunne evalueres i etterkant vil en innsikt i teknologiene være gunstig. Hensikten med de påfølgende delkapitlene er å kartlegge de viktigste egenskapene fra hver enkelt teknologi for å kunne forstå sammenhenger mellom registreringer og resultat.

3.3 Blåtann

Blåtann ble først utviklet av Ericsson på 90-tallet for å minimalisere behovet for datakabler. Blåtann benytter seg av radiobølger for å overføre data mellom trådløse enheter. Først i 1998 ble navnet «blåtann» tatt i bruk etter at et felles råd av store IT-aktører gikk sammen for å videreutvikle teknologien (Bisdikian, 2001). Siden den første versjonen av blåtann kom ut har det blitt videreutviklet forbedringer og oppgraderinger av teknologien. Den nyeste versjonen, blåtann 4.0 som ble lansert i 2010, støttet datahastigheter opp mot 2 Mb/s (Texas Instruments, 2013).

Selv om blåtanns dataoverføringshastighet er betydelig lavere enn for eksempel WiFi, er det likevel andre kvaliteter som gjør blåtann til en mye brukt radiooverføringsprotokoll.

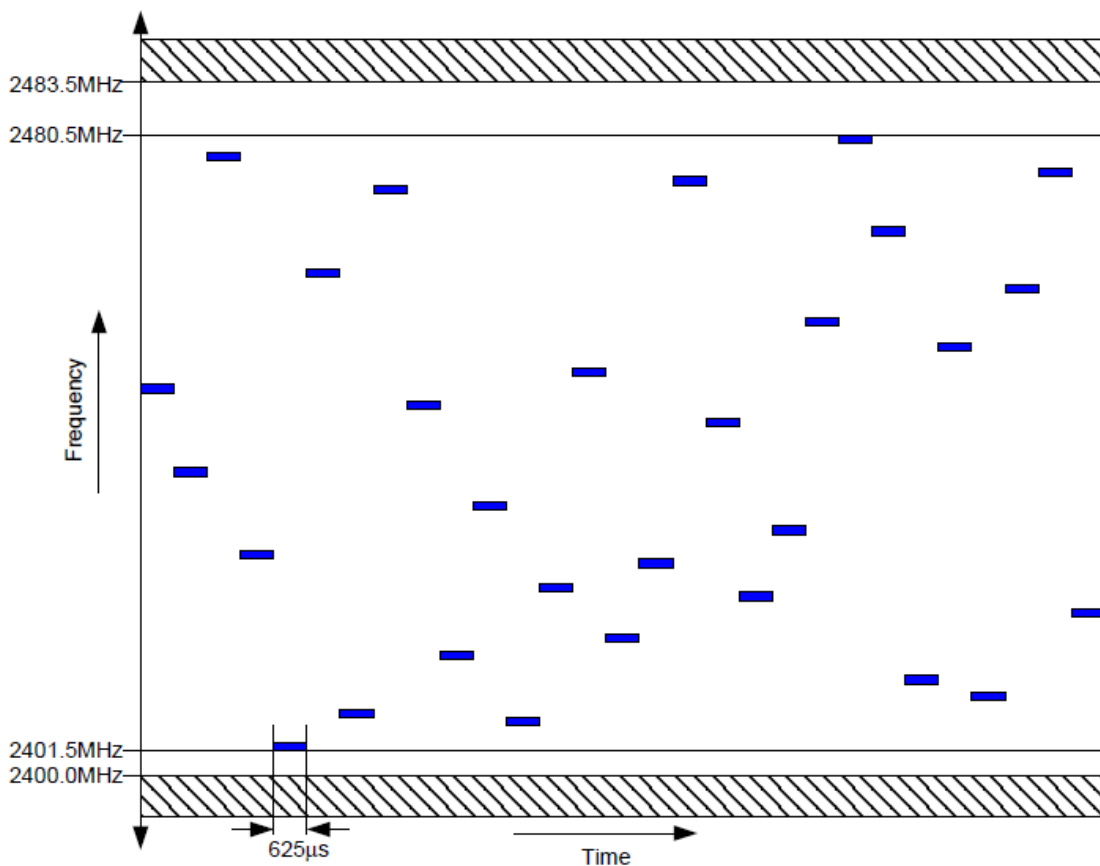
3.3.1 Teknologiske kjennetegn for blåtann

Blåtann benytter i likhet med mange andre kortbølgede teknologier radiokommunikasjonsbåndet i frekvensintervallet 2.400-2.483 GHz. Andre trådløse teknologier som benytter dette frekvensbåndet er for eksempel WiFi, fasttelefoner, RFID (brukt av blant annet AutoPASS) og den kommende NFC-teknologien (Multi-link inc., 2011). Med det høye antallet av teknologier som benytter dette frekvensintervallet oppstår spesielt utfordringer forbundet med interferens når mange teknologiske enheter befinner seg på samme plass.

Blåtann skiller seg ut fra andre trådløse teknologier ved at den har et betydelig lavere strømforbruk (Balani, 2007). WiFi, har ofte større rekkevidde og opererer som regel med en langt tyngre sikkerhetsprotokoll enn blåtann under selve datautvekslingen (Hallberg and Nilsson, 2002). Blåtanns strømforbruk avhenger av hvilken strømklasser som benyttes. Den laveste forbruksklassen bruker 0.1 mW (strømklasser 3) og gir typisk en rekkevidde mellom 1-

10 meter. Blåtann har også strømklasser som bruker mer energi slik at signalene da teoretisk har en rekkevidde på opp til 100 meter. For å oppnå denne rekkevidden brukes høyeste godkjente strømklasser (strømklasse 1) med forbruk på 100 mW (Hallberg and Nilsson, 2002).

En vesentlig forskjell mellom blåtann og WiFi-teknologi er at blåtann benytter frekvensene annerledes. For blåtann deles frekvensintervallet opp i 79 kanaler mens spekteret kun deles opp i 14 ulike kanaler for WiFi. Et høyt antall kanaler bidrar til at interferens mellom enheter minimeres (Shoemake, 2001). Videre unngår blåtann interferens med andre enheter ved å *hoppe* mellom de ulike kanalene opp til 1600 ganger i sekundet ved hjelp av såkalt FHSS-metode (Frequency Hop Spread Spectrum). Bruken av denne hoppe-metoden gjør at enheter kommuniserer mellom hverandre relativt stabilt selv om mange av frekvensene er i bruk av andre teknologier til samme tid. Figur 3 viser hvordan en spredd frekvensfordeling fra blåtannenheter minimaliserer muligheten for interferens av signaler ved aldri å oppta mer enn 1 MHz av gangen. Likevel dekkes hele frekvensspekteret på meget kort tid. I tillegg vil den raske hoppingen mellom ulike frekvenser åpne muligheten for å oppdage andre enheter på forskjellige frekvenser raskere (Shoemake, 2001). Dersom søkemodusen etter andre enheter er aktivert, sendes det kontinuerlig ut et 48 bit signal med ID-data slik at enheten kan oppdages til enhver tid. Dette gjøres selv om enheten allerede kommuniserer med annen enhet fra før av. ID-en sendes i form av MAC-adresser som er faste unike adresser knyttet til hver enkelt enhet.



FIGUR 3 - FREKVENSFORDELING AV BLÅTANN HVOR HVER BLÅ RUBRIKK REPRESENTERER BRUK AV 1 MHz AV DET TILGJENGELIGE FREKVENSSPEKTERET (SHOEMAKE, 2001)

3.3.2 Kommunikasjon mellom blåtannheter

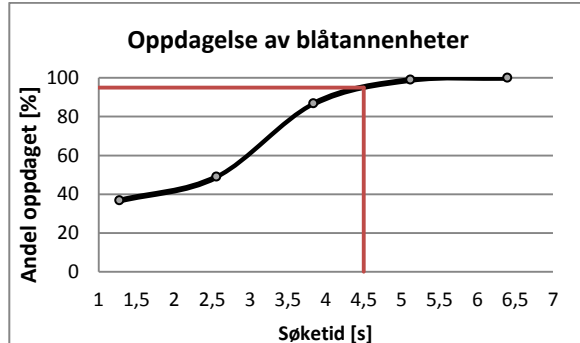
Blåtannheter kan befinne seg i forskjellige tilstander. Disse tilstandene baserer seg hovedsakelig på to fundamentalt ulike roller: *master-rolle* eller *slave-rolle*. Kommunikasjon mellom tilstedeværende enheter er avhengig av den tilstand enhetene befinner seg i sammen med et etablert regelsett for kommunikasjon i form av såkalte *protokoller*. Det vil si oppskrifter for hvordan enheter oppfører seg og kommuniserer med andre i en gitt situasjon. Generelt er det *master*-enheten som styrer kommunikasjonen og etterspør informasjon fra *slave*-enheten eller eventuelt får den til å utføre handlinger. Et viktig element for kommunikasjonen er formidlingen av hvilken frekvens *master*-enheten hopper til ved neste hopp, slik at *slave*-enhetene til enhver tid vet hvor kommunikasjonen fortsetter. Informasjonen og handlingene en *master*-enhet kan gi eller få utført av en *slave*-enhet er begrenset av sikkerhetslementer som klareringsbehov og tidligere kommunikasjon mellom enhetene. En sensor langs en veg vil typisk ta på seg *master*-rollen mens enheter som har aktivert søkemode i forbikjørende enheter normalt påtar seg *slave*-rollen. Enhetene vil

midlertidig ikke forsøke å tilkople sensoren av seg selv. Uten sikkerhetsklareringer er informasjonsutvekslingen begrenset mellom sensoren og enhetene, da de ikke formidler frekvenshopping. I midlertidig er MAC-adressene, en av data-attributtene som uansett utveksles mellom blåtannhetene, når søkmodus er aktivert. Med hensyn til personvern velger flere tilbydere av blåtannsensorer å kryptere MAC-adressene som mottas på en måte slik at de ikke kan spores tilbake til enhetene og eierne.

Den gjennomsnittlige tiden det tar en enhet (master) å oppdage andre enheter med aktivisert søkmodus (slave) varierer med antall enheter som er til stede. Basert på FHSS-metoden vil gjennomsnittlig tid for å oppdage én tilfeldig enhet være kortere dersom det befinner seg 10 enheter innenfor et dekningsområde, enn om det kun befinner én enhet i søkeområdet. Sannsynligheten for at enheter oppdager hverandre er proporsjonal med tiden, hvor sannsynlighet for oppdagelse grenser mot 100 % med økt tid. Det er matematisk forklart at for 1600 hoppinger i sekundet er sjansen for å oppdage ~100 % av alle enheter først mulig etter at en enhet har oppholdt seg 6,4 sekunder i søkeområdet (Peterson et al., 2006). Forholdet mellom søketid og sannsynlighet for oppdagelse kan observeres i tabell 1 og figur 4.

TABELL 1 - OPPDAGELSE AV ENHETER BASERT PÅ SØKETID (PETERSON ET AL., 2006)

Inquiry_Length	Inquiry Duration	% Discovered
1	1.28 s	36.71
2	2.56 s	48.96
3	3.84 s	86.71
4	5.12 s	98.95
5	6.4 s	99.98



FIGUR 4 - OPPDAGELSE AV ENHETER BASERT PÅ SØKETID

Det er gitt at et lengre søkeområde vil gi enheter lengre oppholdstid innenfor sensorens rekkevidde og dekningsområde. Dette betyr at rekkevidden innvirker direkte på sannsynligheten for oppdagelse av enheter. Et teoretisk eksempel kan illustrere betydningen av rekkevidden.

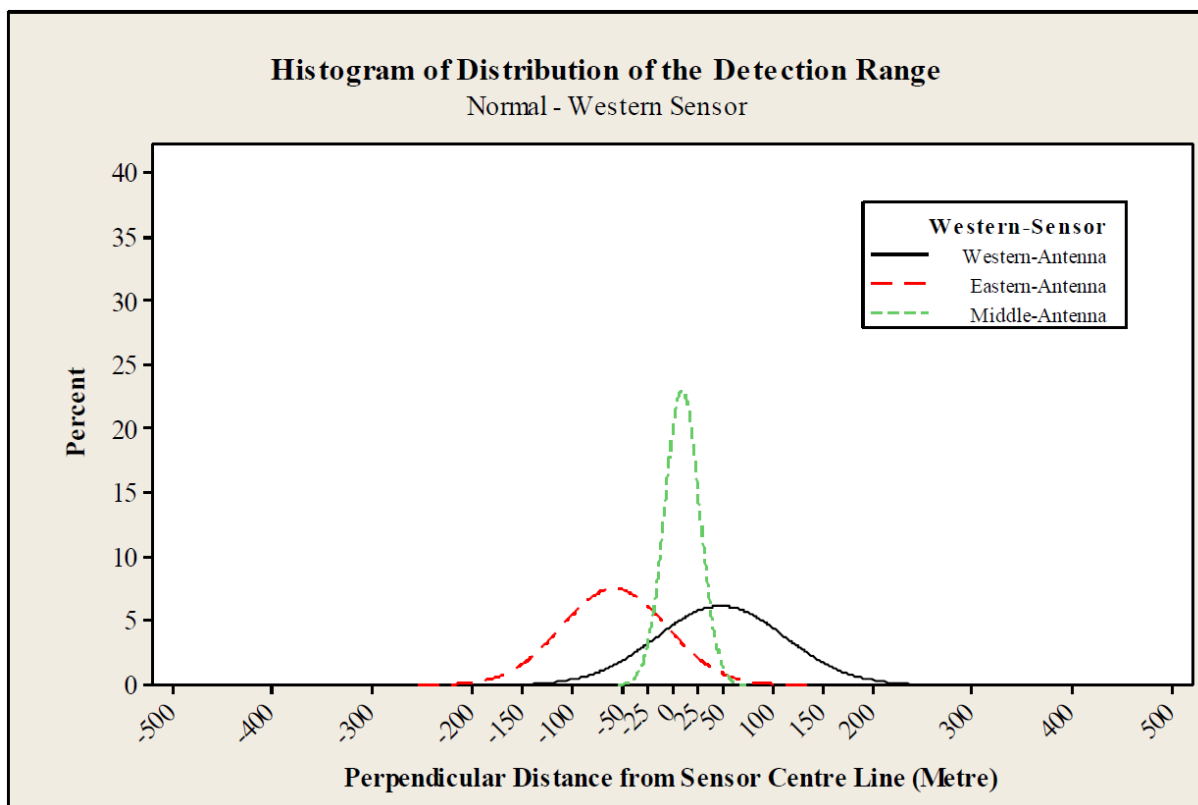
En sensor med strømklasse 1 med 100 meter rekkevidde som peker langs kjøreretningen på en veg. Vegen har fartsgrense 80 km/t og det antas at alle kjøretøy forholder seg til denne farten. 80 km/t tilsvarer 22.2 m/s. Enheter vil dermed tilbakelegge 4.5 sekunder innenfor sensorens

søkeområde. Interpolering mellom 3.84 og 5.12 sekunder i figur 4 gir ca. 95 % sannsynlighet for at blåtannheter som passerer oppdages.

En må være oppmerksom på at disse tallene utgjør teorien og gjelder ideelle omstendigheter uten hindringer som interferens av andre strålingskilder eller materielle obstruksjoner. Slike hindringer er vanlige, og den virkelige sannsynligheten for oppdagelse er derfor noe lavere. I følge en dansk studie ble kun 80 % av enheter med aktiverte søkemode oppdaget når to antenner av klasse 1 var rettet hver sin veg på en sensor, tilsvarende 200 meter rekkevidde totalt (Araghi et al., 2013). Mest nøyaktige gjennomsnittsverdier fås når registreringene er fordelt jevnt mellom antennene. Når mange registreringer gjøres av begge antennene, vil den gjennomsnittlige passeringen ledes nærmere den fysiske plasseringen av sensoren. Dette fører til at problemer knyttet til tidlige eller sene registreringer minimeres ved økende antall registreringer. Araghi et al. (2013) undersøkte fordelingen av registreringer ved å kumulere oppdagelsene gjort innenfor henholdsvis 25, 50 og 100 meter. Det ble her funnet at registreringer fulgte en normalfordeling med økende sannsynlighet for å bli registrert mot sentrum av dekningsfeltet. Dette er vist i figur 5 og figur 6. Figur 6 viser også fordelingen av antall registreringer foretatt av én blåtanssensor med 3 antenner.



FIGUR 5 – FORDELING AV REGISTRERINGER FORETATT I DANMARK MED TO BLIPTRACK SENSORER (ARAGHI ET AL., 2013)

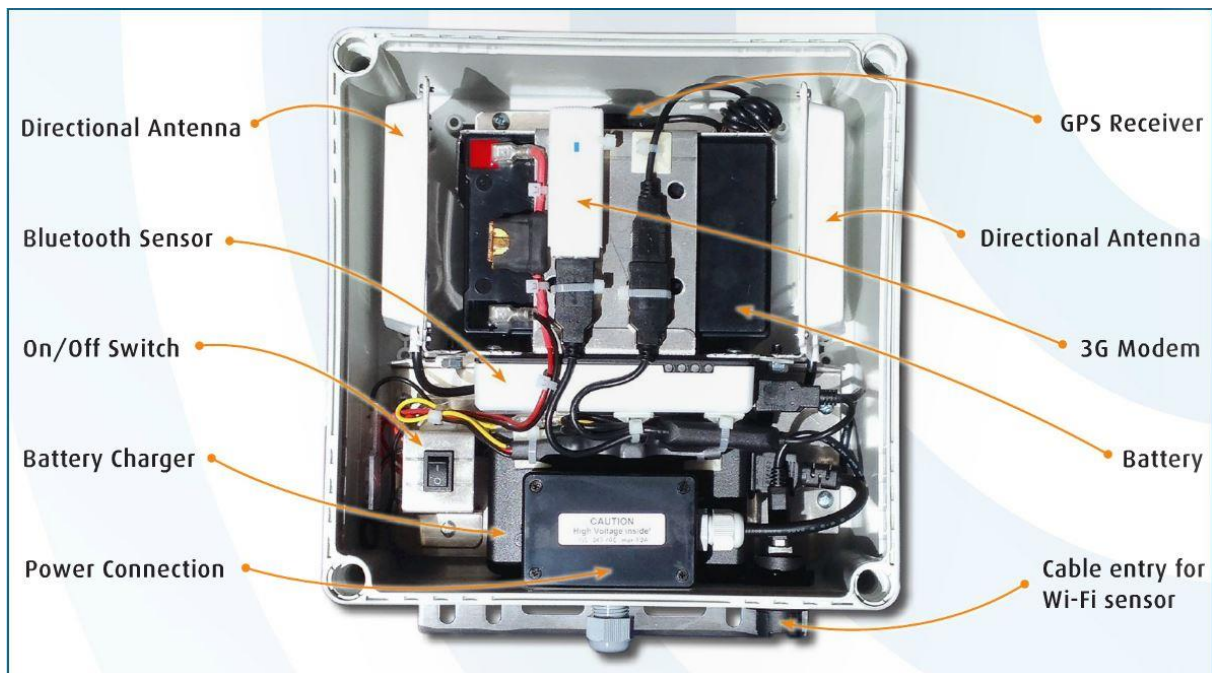


FIGUR 6 - FORDELING AV REGISTERINGER FORETATT MED ÉN BLÅTANNSENSOR (ARAGHI ET AL., 2013)

Registreringene er gjort ved bruk av blåtann. En tilsvarende fordeling kan også forventes ved bruk av WiFi. Uavhengig av teknologitype er det viktigste at to antenner benyttes i hver sin retning og at begge antenner har like forutsetninger for å registrere forbigående. En slik montering av antenner vil teoretisk føre til normalfordelte registreringer. Som det går fram av figur 6 vil gjennomsnittsverdien være brukbar ved tilstrekkelig mange enkeltregistreringer. Ser en på enkeltregistreringer hver for seg vil disse være mer usikre. Spesielt ved korte strekninger har dette betydning

3.3.3 Blåtann i BlipTrack

Standardkonfigurasjonen for blåtann i BlipTrack-sensoren består av tre antenner. To av antennene har en rekkevidde på 100 meter og peker hver sin retning langs vegen. Den tredje antennen har kun rekkevidde på 10-20 meter, men er samtidig rundtvirkende og registrerer i alle retninger. I figur 7 kan den fysiske konfigurasjonen av blåtann-modulen observeres. Retningsantennene peker hver sin vei på sidene mens den rundtvirkende sensoren er plassert i midten



FIGUR 7 – KONFIGURERING AV BLÅTANNANTENNER I BLIPTRACK (BLIP SYSTEMS, 2014)

3.3.4 Fremtidig bruk av blåttann for registrering

Blåttannteknologi for reisetidsregistreringer har tilegnet seg økt popularitet spesielt på grunn av relativt lave kostnader ved kjøp og drift av utstyr. I tillegg har interessen økt på grunn av en stadig økende bruk av teknologien i kjøretøy og andre tekniske innretninger. I 2010 ble det gjennom en rapport av den internasjonale organisasjonen *Strategy Analytics* hevdet at 85 % av alle nye kjøretøy i 2015 vil benytte blåttannteknologi, og over 90 % tilsvarende i 2016 (Baker, 2010). Selv om det ikke er slik at alle enhetene som benytter blåttann kan oppdages så er oppdagbare enheter trolig også økende, som følge av den generelle økningen av blåttannenheter. Den største bekymring for blåttannteknologien er nemlig ikke forbundet med bruk av teknologien, men at *andelen oppdagbare* enheter vil reduseres (Baker, 2010). Så selv om teknologien skulle være voksende, vil fremtiden for bruk av blåttann fortsatt avgjøres av om enheter forblir registrerbare.

3.4 WiFi

WiFi er en trådløs teknologi som mange omgir seg med hver dag. Teknologien benytter radiobølger for å overføre data mellom forskjellige elektroniske enheter. Navnet WiFi stammer fra utbedringen av en teknologi kalt *802.11 nettverksteknologi*, høsten 1999 (O'Hara, 2004). Første versjon av teknologien ble lansert i 1997, men oppnådde liten popularitet. For å

øke interessen for den nye versjonen av teknologien ble et mer folkelig navn enn 802.11b opprettet – WiFi. I dag blir WiFi ofte forbundet med uttrykket Wireless Fidelity, men forkortelsen har egentlig sitt utspring fra det populære navnet Hi-Fi som brukes for høyttaleranlegg (Gast, 2006).

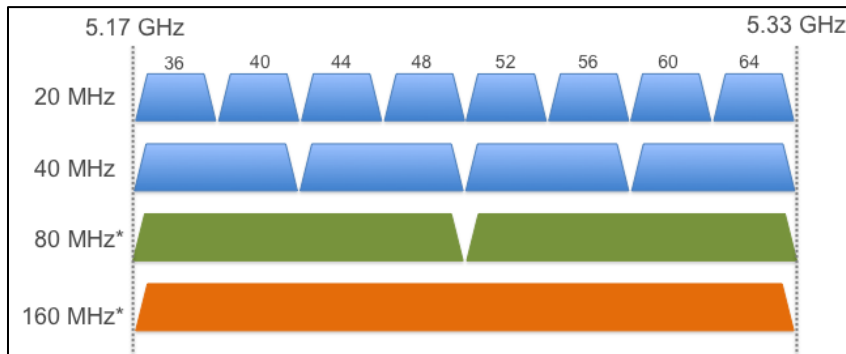
Bruk av WiFi har økt voldsomt etter navneskiftet og senere vokst til den teknologien en kjenner i dag. Mens navnet WiFi har blitt værende så har likevel versjonene av 802.11 vært utsatt for stadig endring. Eksempelvis tok 802.11n-versjonen over som ledende standard for noen få år siden, og kunne blant annet tilby forbedret sikkerhet fra tidligere versjoner og 54 Mbit hastighet. Innen et par år vil n-versjonen likevel trolig bli tatt over av 802.11ac-versjonen som blant annet vil kunne tilby 1.2 Gbit hastighet (Watson, 2012). Dette eksempelet illustrerer hvor fort WiFi videreutvikles. Mens en slik utvikling oppfattes som en stor utvikling av enkelte, så vil majoriteten kun legge merke til at WiFi forblir en del av våre moderne liv. Teknologien ser ut til å kunne bli værende også en god stund fremover.

3.4.1 Teknologiske kjennetegn for WiFi

Dataoverføring med WiFi opererte i utgangspunktet kun innenfor frekvensbåndet 2.400 - 2.483 GHz, som er de samme frekvensene som blir brukt av blåtann. Nyere versjoner av 802.11-standarden har i midlertidig også tatt i bruk frekvensbåndet i området 4.915 - 5.825 GHz for å utvide bruksområdene til teknologien. Dette minimerer problemer med interferens, da stadig flere enheter okkuperer frekvensområdene. Frekvensrommet rundt 5 GHz har også mulighet til å overføre data raskere enn før, slik som 802.11n og 802.11ac gjør, selv om rekkevidden er noe kortere (Doppler et al., 2011).

Enheter som bruker WiFi tar kontakt med andre enheter ved å annonsere seg selv som passivt søkende eller aktivt søkende. Når enheten befinner seg i scanne-modus veksles søk mellom frekvensbåndene 2.4 GHz og 5 GHz slik at andre enheter og AP-er (Access Points) som benytter forskjellige frekvenser kan oppdages. Access Points er en betegnelse for ulike tilknytningsportaler gjennom WiFi. I motsetning til søketeknikken som blåtann benytter, ved å hoppe mellom mange frekvenser, så forholder WiFi-søking seg til et mindre sett overlappende kanaler fordelt på størrelsene 20, 40, 80 eller 160 MHz (CISCO, 2014b). Desto større kanalen er, desto raskere dataoverføring kan også oppnås. Figur 8 illustrerer frekvensenes plassbruk ved ulike kommunikasjonskanaler. Kommunikasjonen til WiFi holder seg til de spesifiserte kanalene og endres ikke for å forhindre interferens. Størrelsen på

kanalene vil i midlertidig oppdeles i flere mindre kanaler dersom andre WiFi-enheter i nærheten ønsker å benytte de samme frekvenskanalene (CISCO, 2014b).



FIGUR 8 – KOMMUNIKASJONSKANALER FOR WIFI. UTSNITT FRA FREKVENSBÅNDET RUNDT 5 GHZ (CISCO, 2014A)

Rekkevidden til WiFi er veldig varierende med de ulike utgivelsene av 802.11-teknologien. Kvaliteten på kommunikasjonen er alltid avtagende med avstanden mellom WiFi-enhetene. Likevel kan signalstyrken justeres med å heve effekten av signalet, og dermed strømforbruket. I tillegg til avstanden er rekkevidden til WiFi begrenset av to andre faktorer: Fysiske hindringer og annen trådløs teknologi i nærheten. Fysiske hindringer svekker signalet, mens annen teknologi som bruker samme frekvensbånd som de kommuniserende WiFi-enhetene vil skape interferens (Flickenger et al., 2008).

WiFi-nettverk med rundtvirkende antenner kan normalt oppnå rekkevidder på 100-200 meter. WiFi kan også benytte retningsbestemte antenner og på den måten kringkaste flere kilometer om ønskelig (Flickenger et al., 2008). Likevel er bruk av slike rekkevidder svært uvanlig, da kommunikasjonen må fungere gjensidig i begge retninger. Lange rekkevidder er derfor gjerne begrenset av rekkevidden til de mobile WiFi-enhetene som nettverket er beregnet for, og slike rekkevidder vil variere fra enhet til enhet.

3.4.2 Kommunikasjon mellom WiFi-enheter

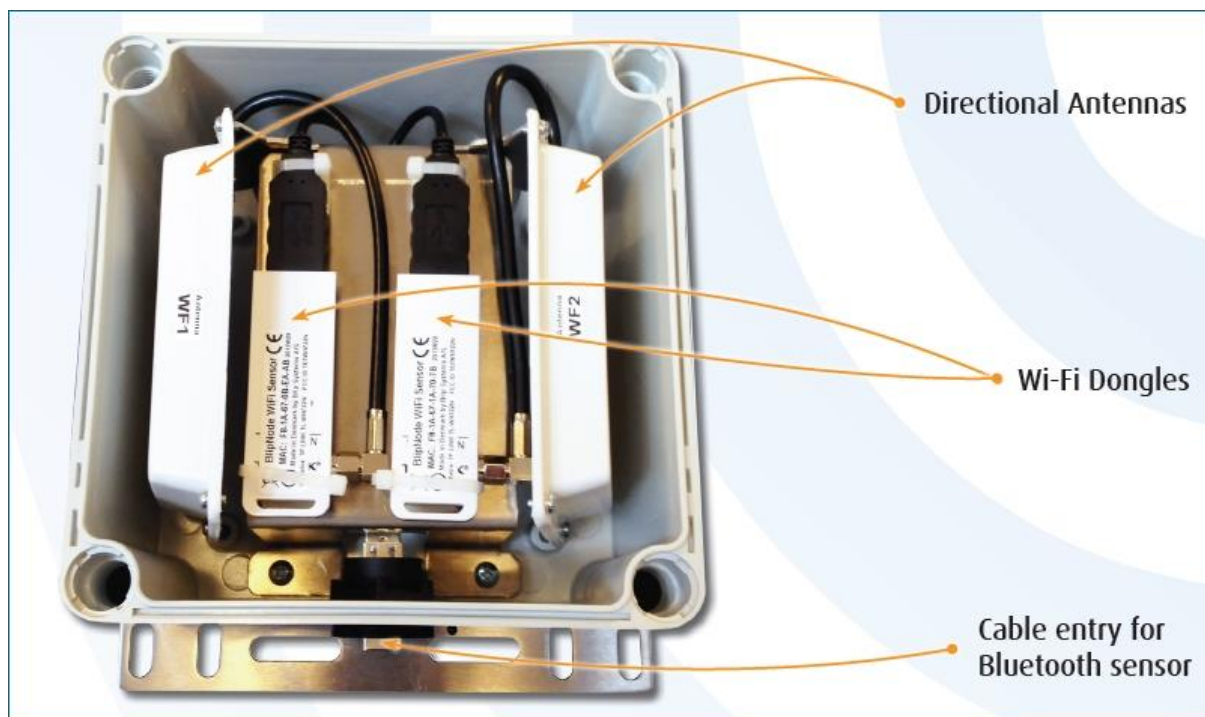
For at WiFi-enheter skal kunne kommunisere må de først tilknyttes gjennom en tilkoplingsprosess. Tilknytningspunktene for WiFi, AP-enhetene, er stasjonære enheter som regelmessig sender informasjon om sin egen tilstedeværelse over et sett frekvenskanaler. Denne prosessen kalles «*beacon messaging*» (Microsoft, 2003) og sendes vanligvis med 100 ms mellomrom, men dette kan modifiseres. WiFi-enheter sender samtidig i sin tur ut etterspørsler om informasjon fra eventuelle AP-er til stede. Dersom WiFi-enheten benytter aktiv-søkemodus skannes mulige kanaler hyppig med kun 10-20 ms per kanal. De fleste

mobile enheter som på normalt basis benytter internett anvender også aktiv-søkemodus som standard, selv om mobilen ikke er i aktiv bruk (Musa and Eriksson, 2012). Med maksimalt 10-15 antall kanaler å gjennomføre, tar det sjeldent over 300 ms før alle tilgjengelige kanaler er sjekket for AP-nettverk (Doppler et al., 2011). Allerede ved denne første kommunikasjonsformidlingen deles en del informasjon mellom AP-nettverket og WiFi-enheten som MAC-adresser og enhetsnavn (Musa and Eriksson, 2012). Når det så ønskes å tilkoples til det identifiserte AP-nettverket må først eventuelle passord forveksles samt annen informasjon for autorisering utveksles før konstant kommunikasjon opprettes. Denne tilkoplingstiden vil variere fra enhet til enhet.

3.4.3 WiFi i BlipTrack

WiFi-modulen plassert i en sekundær boks utenfor det originale utstyret i BlipTrack. Denne boksen inneholder utstyr for å registrere enheter med bruk av WiFi-signaler, men inneholder ikke lagrings- og kommunikasjonsenheter. WiFi-boksen må derfor kobles sammen med den originale enheten fra BlipTrack. Anbefalt avstand mellom de to boksene er 1 meter av produsenten (BLIP Systems, 2014).

Standardkonfigureringen til WiFi-modulen består av to antenner samt to tilhørende systemenheter, også kalt «*dongles*». Systemenheter administrerer kommunikasjonen som utføres av antennene og viderefremidler registreringene til en enhet som samler disse, før de så overføres til hovedenheten for BlipTrack-systemet. Figur 9 viser oppsett av hardware i WiFi-modulen i BlipTrack.



FIGUR 9 - KONFIGURERING AV WiFi I EN SEKUNDÆR UTSTYRSBOKS FOR BLIPTRACK-SYSTEMET. RETNINGSANTENNENE PÅ HVER SIN SIDE AV BOKSEN JUSTERES ETTER ØNSKE (BLIP SYSTEMS, 2014)

3.4.4 Fremtidig bruk av WiFi for registrering

WiFi-teknologien har siden lanseringen av 802.11 standarden i 1997 blitt en av de mest brukte radiobaserte teknologiene i det moderne samfunn. I følge en studie utført av den internasjonale forskningsinstitusjonen ABI Research, ble det i 2012 produsert 1.5 milliarder produkter til personlig bruk som benyttet WiFi-teknologi (ABI Research, 2012). I den samme rapporten ble det estimert at dette tallet vil øke til 3.2 milliarder produserte produkter innen 2015. WiFi har vokst stort som tilkoblingsmetode til Internett på bekostning av tilkoblinger med LAN-kabler i de senere årene. Likevel er det også andre tilkoblingsmetoder som blir stadig hyppigere brukt. Den mest fremtredende konkurrenten til WiFi er trolig internetttilgang ved bruk av mobildata. Selv om WiFi fortsatt fremstår som den suverene teknologien for internetttilgang, vil mobildata, med mulighetene for å kunne tilby langt bedre dekning enn WiFi, en gang i fremtiden kunne ta over som den mest populære tilknytningen til internett (CISCO, 2013). Et annet scenario kan være at WiFi-tjenester og mobildata en dag vil komplimentere hverandre i et felles system og ikke fremstå som konkurrerende kommunikasjonsportaler (Balasubramanian et al., 2010, Lehr and McKnight, 2003).

For å kunne benytte WiFi-sensorer til å registrere reisende, er en i likhet med blåtannregistreringer avhengig av at WiFi-enhetene faktisk lar seg oppdage. I dag er nesten alle

WiFi-enheter mulige å oppdage. Det er få som benytter seg av anonyme innstillinger for WiFi. Årsaken til at anonyme innstillinger brukes lite er at enheten da blir ute av stand til å oppdage tilgjengelige nettverk (IEEE Standard Association, 2012). MAC-identiteten som gis ved åpen søking er nødvendig for at den aktuelle WiFi-enheten skal kunne motta et svar fra AP-ene i nærheten. Dette blir ofte sett på som en svakhet for personvernet, selv om MAC-adresser ikke direkte kan spores tilbake til enkeltindivider (Cunche, 2013). Med bakgrunn i denne svakheten er det ikke helt utenkelig at fremtidens WiFi-enheter vil gi mulighet for større grad av anonymitet.

Den raskt voksende industrien for WiFi-teknologi lover godt for reisetidsregistrering ved bruk av tilsvarende teknologi. I motsetning til registreringer med bruk av blåttann er ikke registrering ved bruk av WiFi særlig utbredt i dag (Abbott-Jard et al., 2013). Hovedårsaken til dette er WiFi-sensorers manglende evne til å registrere med brukbare resultater ved hastigheter over 60 km/t, men trolig vil en kunne se en endring i årene fremover. En stadig økende interesse for å registrere reisetid ved lavere hastigheter i urbane strøk, samt reisetidsdata og reisemønster for både syklistene og fotgjengere, vil trolig kunne etablere mange nye bruksområder for WiFi-sensorer. Et interessant tema kan bli bruken av tilgjengelige WiFi-hotspots i bysentra og på kjøpesentre for å registrere ulike reisemønstre.

4 Litteraturundersøkelse

Delkapittel 4.1 tar for seg forskjellige teknologiske løsninger for innsamling av fartsdata generelt, men også spesielt for sykkeltrafikk. De teknologiske løsningene presenteres kort og noen erfaringer fra tidligere studier som har brukt disse beskrives.

Delkapittel 4.3 tar for seg hvordan ulike faktorer virker inn på syklisters fartsnivå. Først behandles fysiske forutsetninger som kan spille inn på fartsnivået. Deretter beskrives studier som har gjort reelle forsøk med syklisters.

4.1 Erfaringer med innsamling av fartsdata generelt

I de siste årene har interessen for innsamling av fartsdata vært stor, blant annet gjennom testing av ulike registreringsmetoder. Innsamling av strekningshastighet og reisetidsdata tradisjonelt sett vært problematisk da det ofte har påkrevd manuelle registreringer. Utover ulempene med kostnadene for manuelle registreringer, er det heller ikke mulig å bruke disse til sanntidsdata. Mens de nye metodene for fartsmålinger er mange og forskjellene er store, så skilles metodene gjerne mellom de som registrerer punkthastigheter og de som registrerer strekningshastigheter. Metodene for strekningshastigheter anses som de mest interessante for mange formål, da slike metoder har muligheten til å formidle mer pålitelige reisetider og sanntidsdata.

Dagens mest aktuelle metoder for å registrere strekningshastigheter er: gjenkjenning av registreringsnummer (ANPR), mobildata med GPS, triangulering av telefonsignaler, magnetisk gjenkjenning, AutoPASS-brikker og nå også registreringer av enheter med teknologier blåtann, WiFi og mobildata kombinert med GPS. Andre metoder for strekningsdata som ikke vil kommenteres nærmere i dette dokumentet er for eksempel bildegjenkjenning og akustisk lydsignatur. Viktige metoder for innsamling av punktdata er eksempelvis doppler-radar, radar med mikrobølger, infrarød sensor, piezo-kabler, trykkfølsomme kabler, mikroslyfyer, og induktive sløyfer. Disse vil heller ikke beskrives nærmere. I dette delkapitlet fokuseres det på å gi en beskrivelse av de mest aktuelle metodene for strekningsdata sammen med erfaringer ved bruk av disse.

4.1.1 Gjenkjenning av bilskilt (ANPR)

Teknikken som brukes til å lese bilers registreringsnummer går under betegnelsen ANPR (Automatic Number Plate Recognition). ANPR består gjerne av avanserte kameraer, med eller uten infrarød belysning, og programvare som er designet til å tyde spesifikke tegn fra bilder. Registreringsnummers design og skrifttype varierer fra land til land, og programvaren må derfor tilpasses disse (Shan et al., 2013).

Når kjøretøy registreres et sted forsøkes det å gjenkjenne samme kjøretøy ved andre registreringspunkter. Dersom det samme registreringsnummeret blir registrert et annet sted på et senere tidspunkt kan reisetid og hastighet beregnes. For å få brukbare data fra ANPR-systemer er man avhengig av at programvaren klarer å gjenkjenne bilene som kjører forbi. For å optimalisere muligheten for gjenkjennelse må gode kameraer med høy oppløsning og gode lysforhold sikres. Erfaring viser at det ofte er vanskelig å sikre optimale forhold til enhver tid, slik at datakvaliteten ikke alltid er tilstrekkelig god (Shan et al., 2013). ANPR-systemer er også begrenset av videokameraets lukketid. Nye kameraer er kun i stand til å ta brukbare bilder av biler som beveger seg med 180-200 km/t som makshastighet (SIEMENS, 2014, AlertWatch, 2014).

I perfekte forhold gir ANPR meget gode resultater med hensyn til nøyaktighet av reisetid. I enkelte studier har nøyaktighet av reisetider og tall for andel registrerte ved bruk av ANPR blitt beskrevet som tilnærmet 100 % korrekt og blitt brukt til å indikere sanne reisetidsmålinger (Chang et al., 2004, Ozbay and Ercelebi, 2005, Y. Wang et al., 2014). Erfaringer fra NorSIKT, som er et nordisk prosjekt med fokus på klassifisering av kjøretøy, sier imidlertid at andel registrerte kjøretøy ligger på ca. 80 % ved bruk av ANRP. Skitne bilskilt, utenlandske kjøretøy og ulik plassering av registreringsnummer er typiske problemer som fører til feilregistreringer (T Haugen 2014, personlig kommunikasjon, 28. april).

Mens ANPR-sensorer er attraktive med hensyn på datakvalitet, så er arbeidet forbundet med drift og vedlikehold samt kostnader per sensor relativt stor i forhold til andre systemer (Singer et al., 2013).

4.1.2 Magnetisk gjenkjenning

Magnetiske sensorer registrerer små endringer i det magnetiske feltet i bakken. Når kjøretøy kjører over en magnetisk sensor måles det et signal som er unikt for det enkelte kjøretøyet. Dette signalet fungerer som en signatur basert på kjøretøyets tyngde og trykkoverflate (Bajwa et al., 2011). Et datasystem beregner strekningshastigheter ved hjelp av gjenkjennelse av den magnetiske signaturen i andre registreringspunkt med magnetiske sensorer.

En sensor som registrerer kjøretøy basert på magnetisme har i forbindelse med monteringsarbeid mange likheter med induktive sløyfer som brukes til å registrere punktdata. Begge sensorene legges under slitelaget hvor kjøretøyene passerer, mens i motsetning til de induktive sløyfene trenger ikke magnetsensorene ekstern strøm tilkople. Et lite batteri som varer rundt 10 år graves ofte ned sammen med sensoren (Bajwa et al., 2011). Sensoren er generelt mindre enn sløyfene til induksjonssensoren, men behovet for flere registreringspunkt enn bare ett gjør at monteringsarbeidet for magnetiske sensorer likevel blir omfattende. Fordelen med at en registrerer strekningsdata fremfor punktdata gjør likevel at noen velger å erstatte tradisjonelle sløyfer med magnetiske sensorer. Magnetiske sensorer har ellers utfordringer med dårlig vegkvalitet. Sprekker og slitasje i vegoverflaten kan føre til feillesing av det magnetiske feltet eller ødeleggelse av sensoren slik at det er nødvendig med jevnlig kontroll og vedlikehold (Bajwa et al., 2011).

Flere studier har konkludert med at registreringer med magnetisk signatur har gitt relativt gode resultater. En test utført i forbindelse med en doktoravhandling i California kom fram til at 97 % av 333 passerende kjøretøy ble registrert fra hvert enkelt punkt. Av disse var det 238 kjøretøy, eller 71 %, som ble gjenkjent mellom to forskjellige sensorer (Cheung and Varaiya, 2007). En annen studie som ble utført i California så på nøyaktigheten av den registrerte reisetiden. Resultatet av denne testen viste at av alle registrerte reiser mellom to tellepunkter, så var 90 % av hastighetene korrekte og 80 % av kjøretøyslengdene som ble brukt til å klassifisere kjøretøytype korrekte (Cheung et al., 2005).

4.1.3 AutoPASS-brikker (RFID)

En utbredt teknologisk enhet som stadig flere kjøretøy har installert er RFID-brikker (Radio Frequency Identification). Denne teknologien ble først utviklet for systemet AutoPASS som automatisk skulle innhente tollbetalinger ved tollstasjoner, basert på en ID innlagt i brikken. Etter hvert som andelen kjøretøy med installerte RFID-brikker har steget har også den samme

brikken blitt brukt til å måle strekningshastigheter. Selve dataene genereres av antenner i forskjellige registreringspunkt, hengende vertikalt over et kjørefelt, sammen med et datasystem som foretar gjenkjenningen av ID-en og beregning av hastighet. Brikker utstedt siden 2009 har i tillegg til den regulære betalingsinformasjonen blitt tildelt informasjon om kjøretøytype. I tiden fremover vil AutoPASS-systemer derfor kunne supplere mer data fra passeringene enn tidligere (Wahl et al., 2006).

Reiseregistreringer basert på RFID-brikker har vist seg å gi gode data til blant annet sanntidsinformasjon langs innfartsårer og andre større veger (Thorenfeldt et al., 2013). Kvaliteten på data er svært avhengig av lesekvaliteten på sensoren som registrerer kjøretøyene. Sensorene for AutoPASS har en meget høy leserate og leser mer enn 99.5 % av forbigående kjøretøy med installerte brikker (Triona AS, 2013). Til tross for høy leserate faller likevel en del reisetider bort, hovedsakelig på grunn av kjøretøy som velger avkjørsler plassert mellom sensorene. Det er derfor viktig at plassering av registreringspunktene er nøye planlagt. Andre reisetider filtreres bort av andre grunner som for eksempel på grunn av stans mellom sensorene som fører til urealistiske reisetider.

Kvaliteten på reisetidsdataene er avhengig av andelen kjøretøy som har RFID-brikker montert. Likevel konkluderte Sintef i sin rapport gjennom DynamIT-prosjektet i 2005 at selv de laveste andelen med brukbare reisedata, registrert i løpet av et døgn, fortsatt var gode nok for å gi tilstrekkelig gode registreringer (Wahl and Haugen, 2005). I og rundt de større byene i Norge er andel kjøretøy med brikker stor nok, mens i mindre byer og tettsteder er denne andelen er mindre. Eksempelvis hadde tilnærmet alle kjøretøy i Oslo-området en brikke montert allerede i 2005, mens på samme tid hadde 60 % av kjøretøyene i området rundt Larvik installert brikken (Haugen, 2005). Andelen kjøretøy med monterte brikker kan antas å være høyere på landsbasis enn disse nivåene nå i år 2014, 9 år senere. En generell vurdering av reisetider gitt av AutoPASS-systemet er at kvaliteten er god for de fleste steder, men særlig gjelder dette i og rundt de største byene.

4.1.4 Kommunikasjonsteknologi i standardenheter

De teknologiske enhetene som bæres av forbrukerne benytter stadig flere kommunikasjonsteknologier for å utføre arbeidsoppgaver. WiFi- og blåtannteknologi finnes i nesten alle mobiltelefoner i dag, og stadig flere får også tilgang til teknologier for høyhastighets mobildata (3G og 4G), samt mindre kjente teknologier som for eksempel NFC (*Near Field Communication*). Mobiltelefoner kommuniserer også med det regulære

telefonnettet. Mulighetene til å registrere de ulike teknologiene varierer med rekkevidden og hvor aktivt den brukes. WiFi-, NFC- og blåtannenheter som har begrensede rekkevidder kan bare registreres i enkeltpunkter, mens mobiltelefoner med påslått mobildata kan logges kontinuerlig grunnet lang rekkevidde og tilgjengelighet.

Blåtann og WiFi

Blant blåtann- og WiFi-sensorene på markedet, er sensoren BlipTrack fra BLIP Systems den som har blitt foretrukket i studier som har sammenliknet slike sensorer (Y. Wang et al., 2014, Grønlund, 2013). Det finnes dermed en del dokumenterte erfaringer ved registrering av blåtann- og WiFi-enheter med bruk av denne sensoren. I en studie fra Auckland, New Zealand hadde BlipTrack-sensorer med blåtann en penetrasjonsrate på 33.3 % over tre påfølgende dager. Det vil si at gjennomsnittlig 33.3 % av det passerende antall kjøretøy ble registrert. Studien konkluderte med at andelen var stor nok til å beregne tilnærmet like reisetider som ved bruk av manuelle GPS-målinger (Beca Infrastructure, 2011).

En annen studie fra Seattle, USA, sammenliknet ulikt utstyr for registrering av reisetid. BlipTrack-sensoren hadde en penetrasjonsrate i forhold til ANPR-sensorer på henholdsvis 27 %, 32 % og 26 % på tre forskjellige vegger. Reisetidene for disse registreringene hadde absolutte gjennomsnittlige prosentavvik på henholdsvis 20 %, 13 % og 16 %, eller om lag 16 % totalt sett (Y. Wang et al., 2014). Registreringsstrekningene hadde avstander på ca. 1.5, 2.2 og 1.6 km. I dette tilfellet ble registreringer fra både blåtann og WiFi benyttet. Flest registreringer ble foretatt av WiFi-enheter, likevel ga enkeltregistreringer med blåtann noe mindre feil enn de fra WiFi.

I en annen studie fra Ålborg, Danmark ble ulike metoder for når enhetenes sensorpassering ble registrert sammenliknet (Araghi et al., 2012). Metodene som ble testet var blant annet *sterkeste signalstyrke*, *førsteregistreringer* og *sisteregistreringer*. En kunne se at metodene beregnet forskjellige reisetider hvis enheter ble registrert flere ganger ved passering av en sensor. Dette er på grunn av at metodene beregner reisetid med utgangspunkt i forskjellig registrerings- og passeringstidspunkt.

De to mest nøyaktige metodene benyttet *sterkeste signalstyrke* fra hver sensor og *sisteregistreringer* fra hver sensor. Disse ga henholdsvis absolutt gjennomsnittlig prosentavvik for reisetidene på 14.13 % og 15.7 % sammenliknet med reisetidene fra et

videokamera. Avstanden mellom sensorene i denne studien var 550 meter (Araghi et al., 2012).

Rekkevidden for BlipTrack sine blåannregistreringer har vist seg å kunne variere mellom 70-200 meter til tross for den teoretiske rekkevidden på 100 meter. Studier har likevel vist at 80 % av registreringene blir registrert innenfor 100 meter og 60 % innenfor 50 meter. (Araghi et al., 2013).

Kontinuerlig posisjonering

Mobiltelefoner, eller andre liknende radiosendere, kan også registreres ved hjelp av teknikker med bruk av triangulering. For å triangulere mobiltelefoner kan eksempelvis det trådløse telefonnettet brukes. Kvaliteten på registreringer av denne typen avhenger av antall antenner og plasseringen av disse antennene. I motsetning til reisetider basert på registreringer fra punkter, så gir slike registreringer kontinuerlig oppdateringer om posisjon og en hastighetsprofil. Dermed kan problemer forbundet med tvil rundt reiseforløp reduseres.

I 1994 fant en test utført av Maryland University i USA nøyaktigheten av trianguleringsmetoder til å være omtrentlig 100 meter for et sted med gjennomsnittlig god dekning (Transportation Studies Center, 1997). Steenbruggen et al. (2011), sammenlikner ulike studier med fokus på både triangulering og posisjonering ved hjelp av signalstyrke, og konkluderer med at metodene må videreutvikles mer før de vil kunne levere data gode nok for vegmyndigheter.

Kontinuerlige data kan også oppnås på flere måter foruten trianguleringer av radiosendere. En elektronisk enhet med mobildataforbindelse og en GPS-mottaker er i stand til å kunne produsere kontinuerlig data med relativt høy kvalitet. Spesielt blant nyere mobiltelefoner og nettbrett er denne funksjonen nærmest en selvfølge i dag. Mulighetene som oppstår rundt slik datasanking er det flere tjenesteleverandører som nyttiggjør seg av. Mange populære mobilapplikasjoner samler i dag store mengder reiseinformasjon, selv om antallet som frigir data slik at den kan analysere er adskillig færre. Google og INRIX er noen av tjenesteleverandørene som tilbyr å samle inn kontinuerlige reisedata fra brukerne av Googles system. Brukere av systemet kan dermed få oppgitt reisetider for ønsket reiserute. (Leduc, 2008).

GPS benytter posisjoneringsteknikker ved hjelp av triangulering. De viktigste forutsetninger for å kunne bruke GPS er like klokkeoppsett, et system av satellitter og tilstrekkelig gode

forhold for å oppnå kontakt med satellittene (Kaplan and Hegarty, 2005). Dekning av satellitter er i minkende grad et problem, etter hvert som samkjøring av ulike systemer for GPS etableres; som amerikanske NAVSTAR, russiske GLONASS og innen 2020 europeiske Galileo (Guerova, 2013). Problemer med bruk av GPS til reisetider er likevel forbundet med dårligere dekning i urbane områder med mange høye bygninger (Kaplan and Hegarty, 2005). Stopher and Speisser (2011) undersøkte GPS-signaler for flere ulike GPS-enheter i sentrum av storbyen Sydney for å se hvor påvirket signalet ble. Konklusjonen ble at Sydney ikke var *urban nok* for å få en merkbar påvirkning av satellittsignalet. Selv om GPS-data fremstår som en brukbar kilde for reisedata er tilgjengeligheten av data et problem da private personer eller tjenesteytere gjerne holder dataene for seg selv.

4.2 Erfaringer med innsamling av fartsdata fra sykkeltrafikk

Det er funnet få studier som har fokusert på innsamling av syklisters strekningshastighet. Flere studier har fokusert mindre på selve innsamling av fartsdata, men heller på det resultatmessige (Navin, 1994, Smith, 1977, El-Geneidy et al., 2007, Vansteenkiste et al., 2014). Disse studiene, som benytter seg av både punktbaserte og strekningsbaserte metoder, beskrives i delkapittel 4.3.

4.2.1 Blåtann

En studie som ble gjennomført i byen Hangzhou i Kina (Mei et al., 2012) undersøkte om blåtannteknologi kunne brukes til å registrere reisetider for sykkeltrafikk. Dette ble gjort med bakgrunn i behovet for lokalkunnskap om sykkelhastigheter og mangel på effektive metoder for reisetidsregistrering av sykkeltrafikk. Det nevnes i studien at en i 2010 fant at 2 – 3 % av alle syklistene i Hangzhou syklet med aktiv blåtann. Reisetidsregistreringene ble utført med hjelp av fire blåtannsensorer utplassert ved to utvalgte firefelts-veger med et sykkelfelt på hver side. Lengden på strekningene var henholdsvis 2.28 og 2.34 km, og sykkelvolumet var registrert til å være mellom 1100 og 1300 syklistene i timen på begge strekningene. Det ble foretatt observasjoner med videokamera på sykkelvegene slik at data fra blåtannsensorene kunne sammenliknes med nøyaktige reisetider fra videoopptak. Registreringene ble gjennomført over to døgn på hver veg.

Resultatene fra studien viste at blåtannsensorene registrerte totalt 124 og 148 reisetider fra syklistene på de aktuelle strekningene. Resultatene sier ikke noe om hvor mange syklistene som

faktisk syklet strekningene i perioden. De reelle gjennomsnittlige reisetidene fra observasjonsstrekningene var henholdsvis 22.7 og 23.0 minutter. Samtidig var reisetidene registrert fra blåtannsensorene 23.3 og 23.5 minutter. Gjennomsnittlig absolutt reisetidstidsavvik var 2.6 og 3.1 sekunder. Reisetidene fra blåtannsensorene ble ikke funnet statistisk signifikant forskjellige fra de reelle reisetidene, og studien konkluderte dermed med at kvaliteten på reisetidsdataene registrert med blåtannsensorer var gode (Mei et al., 2012).

4.2.2 GPS

Det er funnet flere studier som har brukt GPS som teknologisk løsning til å samle inn data fra sykkeltrafikk. Blant annet har PROSAM, som er et samarbeid mellom flere offentlige etater og bedrifter, brukt GPS i forbindelse med sine framkommelighetsundersøkelser for sykkel (PROSAM, 2012, PROSAM, 2011). Undersøkelsene fra 2011 og 2012 ble utført med henholdsvis 11 og 13 kjøring langs utvalgte ruter. Rutene ble kjørt av frivillige fra de forskjellige offentlige etatene i PROSAM. GPS-en logget kontinuerlig tid, lengde kjørt og høyde over havet. En kunne ut fra GPS-dataene finne reisetid, hastighet og antall stopp på hvilken som helst delstrekning på de forskjellige rutene. Dette ga blant annet muligheter for å generere hastighetsprofiler for ruten for å se hvor framkommeligheten var god eller dårlig. Det påpekes i rapportene at for å få et mer representativt grunnlag og statistisk sammenliknbare resultater mellom forskjellige ruter, må flere kjøring og et større datasett ligge til grunn. Rapportene nevner ingenting om kvaliteten på innsamlede data, men sier derimot at en «rydding» av start og slutt punkt i rådataene var nødvendig for å sikre riktige reiselengder.

En studie fra Sydney i Australia (Stopher and Speisser, 2011) gjennomførte tester og vurderte potensialet til GPS som et alternativ eller et tilskudd til reisevaneundersøkelser. Her ble GPS-enheter uten internettilknytning brukt da sanntidsdata var unødvendig for dette studiet. Testene ble gjennomført med flere typer fremkomstmidler, blant annet sykkel. GPS-enheter fordelt på 16 syklist samlet inn data fra en utvalgt rute, og kvaliteten på innsamlede data ble funnet til å være høy. Unøyaktigheten til syklistenes posisjon var aldri større enn 2 meter. Det ble også påpekt at ingen av GPS-enhetene mistet signalet i mer enn 2 minutter. Enhetene ble vurdert til å ha god pålitelighet. Studien konkluderte med at GPS-enheter er nøyaktige nok til at de med fordel kan brukes til selvrappertert data i spørreundersøkelser eller reisevaneundersøkelser.

4.3 Ulike faktorerers innvirkning på syklisters fartsnivå

4.3.1 Fysiske betraktninger

Dette delkapitlet baserer seg på Wilson et al. (2004) med mindre noe annet er angitt.

En sykkelens bevegelse er avhengig av å bli påført en kraft og et arbeid over en viss tid (effekt). Syklistens tilgjengelige effekt varierer ut fra hvilke fysiske forutsetninger syklisten har. En syklist som har gode fysiske forutsetninger kan generere en høyere effekt og dermed holde et høyere fartsnivå enn en som ikke har gode fysiske forutsetninger under ellers like betingelser. Hvordan syklistens innsats omdannes til bevegelsesenergi avhenger videre av sykkelen og hvordan den er bygd. Til slutt vil andre ytre fysiske faktorer som luftmotstand, stigning, rullemotstand og friksjon avgjøre hvilken hastighet syklisten vil oppnå med effekten som blir generert. Menneskelige forutsetninger og faktorer knyttet til sykkelen vil ikke bli nærmere forklart.

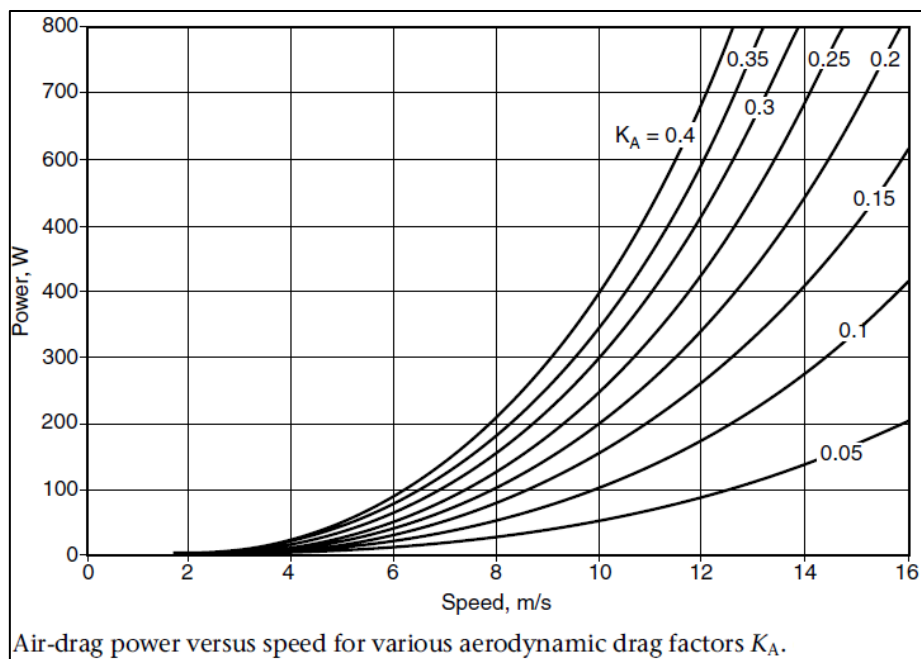
Luftmotstand er en viktig ytre faktor som spiller inn på hvilket fartsnivå en syklist kan holde. Luftmotstanden virker mot syklistens fartsretning og avhenger blant annet av lufttetthet, hastighet og syklistens frontareal. Ofte defineres en koeffisient for drag-krefter – *dragkoeffisienten*, som beskriver hvordan syklistene penetrerer luften de sykler gjennom. For syklistene varierer dragkoeffisienten fra omtrent 0.1 for små syklistene i lav lufttetthet, til 0.3 for store syklistene i oppreist posisjon i høy lufttetthet. Vind vil også spille inn på luftmotstanden ved at syklistens hastighet relativt til luften enten øker med motvind, eller reduseres med medvind.

Formel 7 viser sammenhengen mellom effekt W , dragkoeffisienten K_A , sykkelhastigheten V og vindhastigheten V_w .

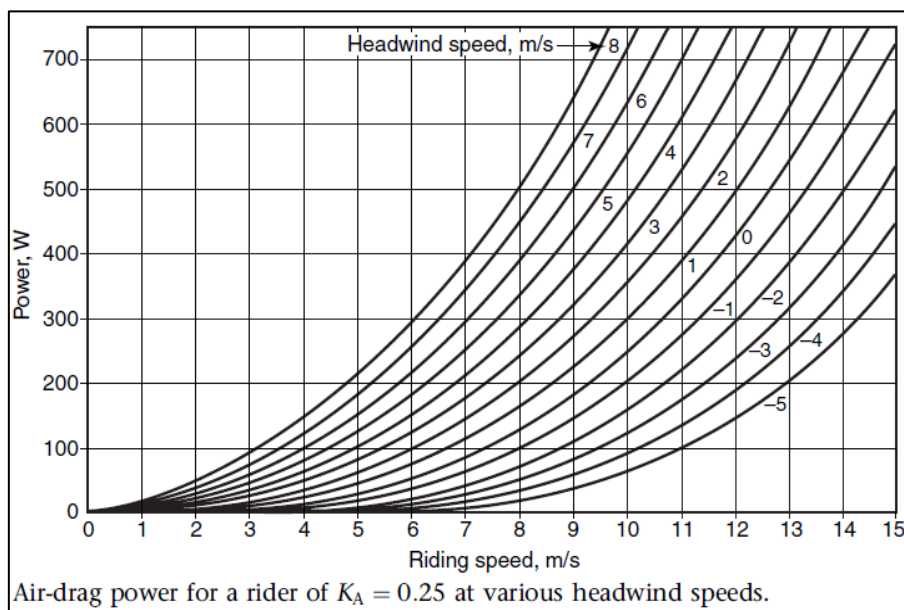
$$W = K_A * V * (V + V_w)^2 \quad \text{FORMEL 7 - EFFEKT}$$

Figur 10 viser sammenhengen mellom effekt og hastighet for ulike dragkoeffisienter.

Figur 11 viser hvilke hastigheter en kan holde ved gitt effekt og vindhastighet med dragkoeffisient på 0,25.



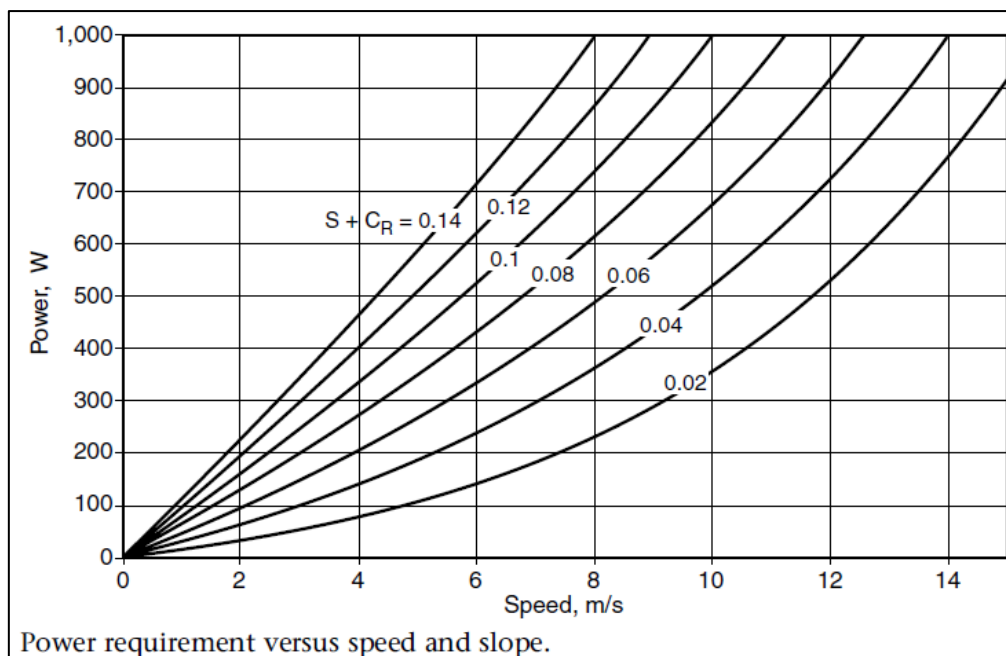
FIGUR 10 - SAMMENHENG MELLOM FART OG EFFEKT VED FORSKJELLIGE DRAGKOEFFISIENTER (WILSON ET AL., 2004)



FIGUR 11 - SAMMENHENG MELLOM FART OG EFFEKT VED FORSKJELLIGE VINDHASTIGHETER (WILSON ET AL., 2004)

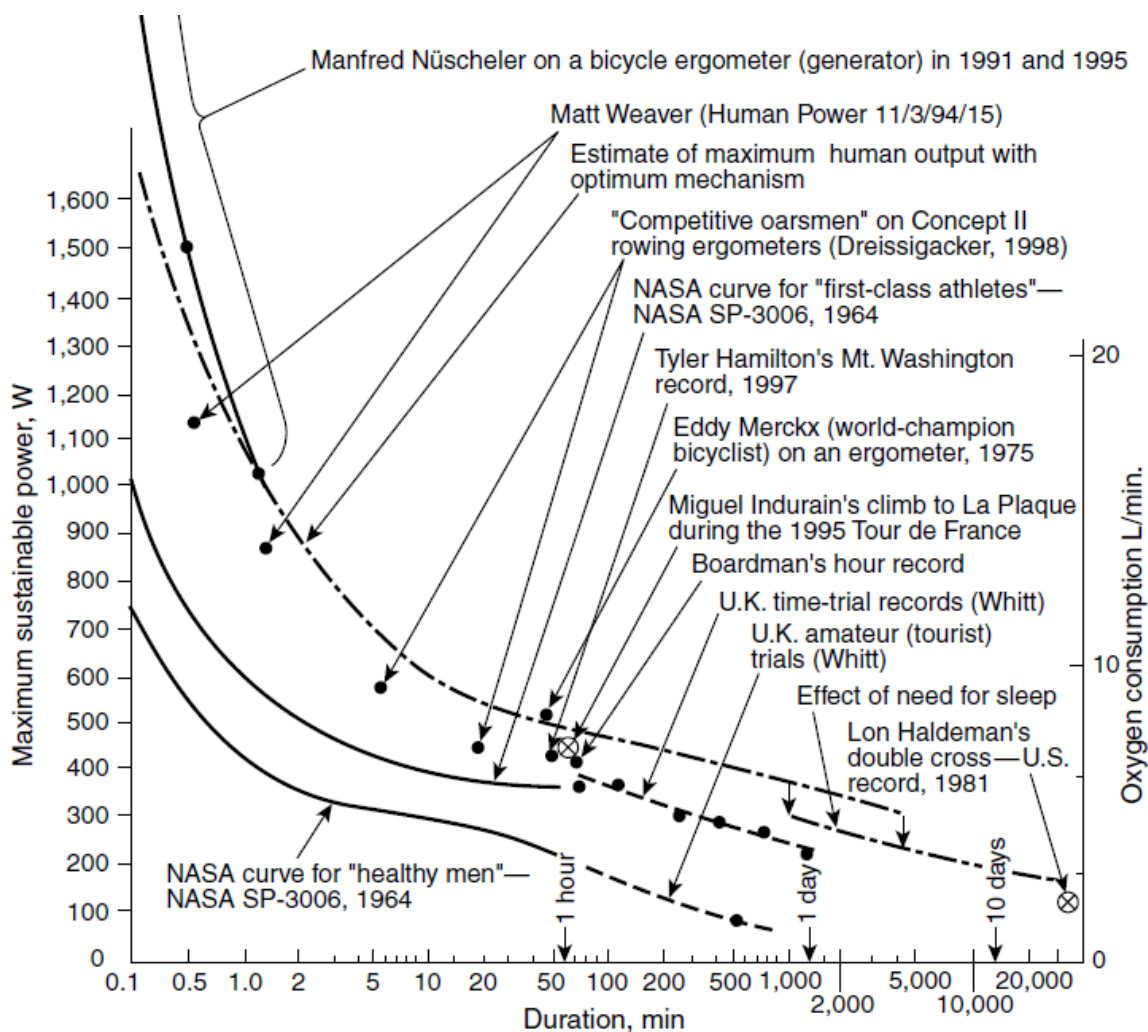
Når farten til syklistene er høy vil luftmotstand være den dominerende motstandsfaktoren. Ved sykling i stigning vil derimot luftmotstand ha lite å si på grunn av at en ikke klarer å holde høy hastighet i oppoverbakke. Motstanden en syklist møter i en stigning avhenger av syklstens masse, gravitasjonskraft og stigningens størrelse. Det er vanlig å angi stigningen i stigningsprosent, forkortet s .

Rulle­motstand som kommer fra friksjon og deformasjon av sykkelhjul og vegdekk vil sjeldent være stor. Bare ved lav hastighet og på veger uten stigning vil rulle­motstanden være betydelig i forhold til andre motstands­faktorer. Fra empiri defineres ofte en koeffisient for rulle­motstand, C_r . Denne koeffisienten kan variere fra 0,002 for gode dekk til 0,008 for dårlige dekk med lite luft. C_r blir ofte for enkelthets skyld antatt å bidra like mye til motstanden som stigning, og dermed kan stigning, s , og rulle­motstands­koeffisienten, C_r , slås sammen som vist i figur 12. Figuren viser hvilken effekt en må generere for å holde forskjellige hastigheter ved gitt stignings- og rulle­motstand. En kan se at sammenhengen mellom effekt og fart er lineær når stigningen er bratt eller farten er lav. Når farten blir høyere eller stigningen slak vil luft­motstanden være den dominerende motstanden, og sammenhengen mellom fart og effekt i en gitt stigning blir ikke-lineær.



FIGUR 12 – SAMMENHENG MELLOM FART OG EFFEKT VED FORSKJELLIG STIGNINGSMOTSTAND (WILSON ET AL., 2004)

Wilson et al. (2004) sier lite om hvilken effekt en gjennomsnittlig syklist genererer, fordi effekten varierer mye fra individ til individ. Likevel er det samlet ulike studier som forteller hvor lenge ulike syklister kan sykle med gitte effektverdier. Disse er vist i figur 13.



Human power output, principally by pedaling. Curves connect the terminations through exhaustion of *constant-power* tests. (Data collected by Dave Wilson added to an original NASA chart.)

FIGUR 13 - STUDIER SOM VISER HVOR LENGE SYKLISTER KAN SYKLE VED GITTE EFFEKTER

Fra figuren kan en blant annet se at gjennomsnittlige syklister sannsynligvis sjeldent vil generere effekter over 200 - 300 watt.

4.3.2 Sykkelstudier

En studie fra Gent i Belgia (Vansteenkiste et al., 2014) så på hvilken effekt sykkelvegens kvalitet hadde på syklisters hastighet og syklistenes mentale konsentrasjon. Studien ble utført ved at 10 syklister ble bedt om å sykle i foretrukket hastighet på to forskjellige sykkelveger. Den ene sykkelvegen var to meter bred og nylig rehabilitert, mens den andre var 1,5 meter bred og i dårlig stand. Sykkelvegene lå på hver sin side av en elv, og både de geometriske forholdene og sideområdet var omtrentlig like for begge strekningene. Syklistenes tidsbruk

sammen med oppmerksomhet i form av øyebevegelser ble registrert underveis. Resultatene fra studien viste at det ikke var forskjell i tidsbruk og gjennomsnittlig strekningshastighet på de to ulike sykkelvegene, noe som var motsatt av forventningene en hadde på forhånd. Resultatene forklares med at syklistene kompenserte for den dårlige vegkvaliteten ved å rette blikket mer ned mot vegen. På den måten kunne de velge optimal plassering i sykkelvegen for å opprettholde ønsket fart.

El-Geneidy et al. (2007) undersøkte i en annen hastighetsstudie flere ulike faktorer som syklisters hastighet varierte for samtidig. Hensikten med studien var å komme fram til en logitmodell som kunne estimere ulike syklisters hastighet på forskjellig infrastruktur for sykkel. Ved å utstyre 8 syklisters med GPS ble data fra sykkelreiser samlet inn over 3 uker, og ulike faktorer innvirkning på syklistenes fartsnivå kunne da studeres. Blant annet viste det seg at hastigheten på sykkelveger som var separert fra bilveg var statistisk signifikant høyere enn hastigheten der syklistene syklet i bilvegen. Gjennomsnittlig hastighet på sykkelveger separert fra bilvegen var 16.3 km/t, mens hastighet i sykkelfelt var 15.6 km/t. Figur 14 viser resultatet av studien i form av en hastighetsmodell. Modellen viser ved bruk av fortegn hvilke faktorer som har positiv eller negativ effekt på sykkelhastigheten.

	Coefficients	t-stat	Sig
Constant	6.48	4.65	0.00
On Street Facility (1 or zero)	-0.32	-0.84	0.40
Off Street Facility (1 or zero)	0.94	2.22	0.03
Distance Traveled To Segment (Miles)	-0.09	-1.31	0.19
Total Trip Length (Miles)	0.31	3.37	0.00
Segment Length (Miles)	0.23	1.85	0.07
Average Daily Traffic (Vehicles/ Day)	0.00	0.37	0.71
Number of Signalized Intersections	-0.01	-0.08	0.94
Morning Commute (1 or zero)	-0.33	-1.05	0.30
Age	0.01	0.66	0.51
Male	0.67	1.83	0.07
Comfort in traveling in light Traffic (1 or zero)	0.16	0.21	0.84
Comfort in traveling in heavy Traffic (1 or zero)	1.41	1.83	0.07
Adjusted R ² = 0.17			
N = 315			
Variables in bold significant at the 0.10 levels			

FIGUR 14 – EN GENERALISERT LOGITMODELL FOR SYKKELHASTIGHETER (EL-GENEIDY ET AL., 2007)

Som figuren viser kom studien fram til at reiselengde, kjønn og komfort også har statistisk signifikant betydning på fartsnivået. Menn ble registrert til å sykle i gjennomsnitt 1.07 km/t raskere enn kvinner. Det ble også funnet at syklisters som syklet lengre turer også holdt en

høyere gjennomsnittsfart enn andre, og at det var en tendens til at hastigheten ble redusert mot slutten av reisen.

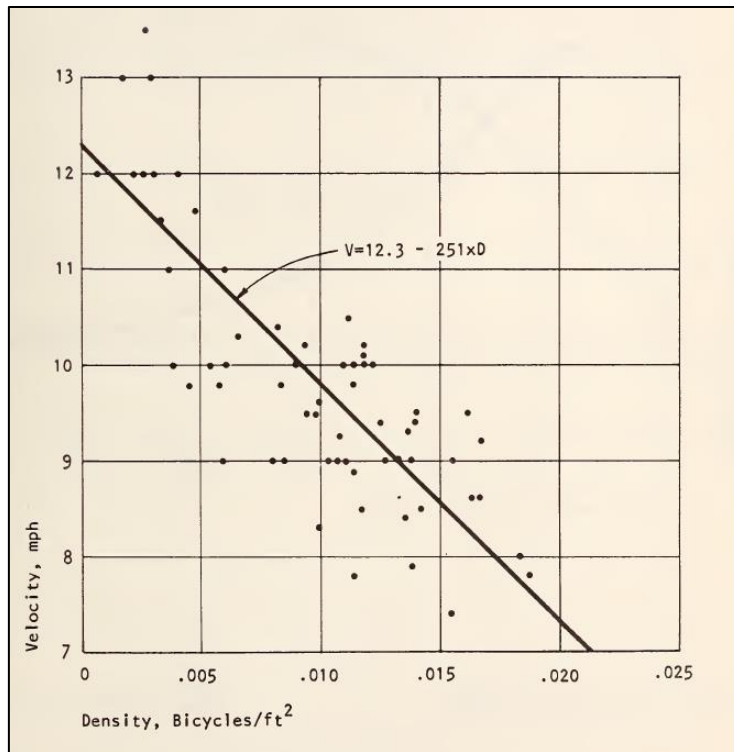
Som en del av et forskningsprosjekt i California i USA ble syklisters hastighet registrert med hjelp av radar (Smith, 1977). Punkthastighetsregistreringene motstrider funnene til El-Geneidy et al. (2007) om at syklist har en høyere hastighet på sykkelveg enn i sykkelfelt. Hensikten med studien var å finne krav og standarder for forskjellige typer sykkelveger. Det ble registrert hastigheter fra syklist på tre forskjellige typer sykkelinfrastruktur: sykkelfelt, sykkelveg preget av rekreasjon og sykkelveg preget av funksjonalitet. Resultatene fra fartsregistreringene er vist i tabell 2. Alle registreringene er gjort på steder uten stigning.

TABELL 2 - GJENNOMSNITTLIG SYKKELHASTIGHET (SMITH, 1977)

Type infrastruktur	Gjennomsnittshastighet	STD-avvik	Antall syklist
Sykelveg - rekreasjon	17,7	4,6	182
Sykelveg - funksjonalitet	19,0	2,9	136
Sykkelfelt	20,1	3,7	103

En kan se at syklistene i sykkelfelt holdt en høyere hastighet enn syklistene på sykkelvegene. Syklistene på sykkelvegen preget av rekreasjon holdt lavest hastighet og hadde størst spredning i fartsnivå. Det beskrives ikke hvilken utforming de forskjellige vegene hadde i form av bredder, fotgjengerseparering og kryssløsninger.

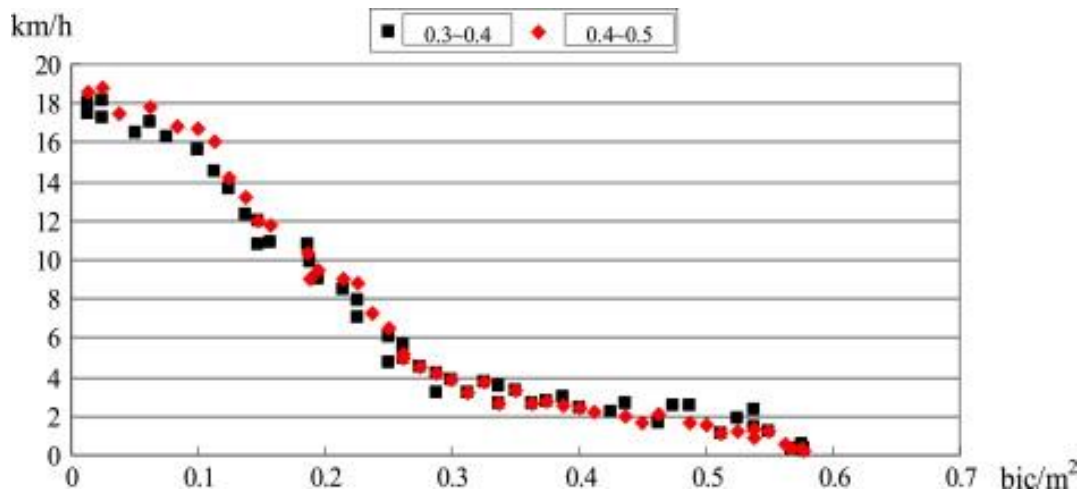
En annen del av forskningsprosjektet til Smith var å se på sammenhengen mellom observerte sykkelhastigheter og tilhørende trafikk tettheter. Dette ble gjort som en del av prosjektets mål om å definere standard breddekrav for sykkelveger ved forskjellige «*level of service*» kriterier. Høytrafikkerte sykkelveger med ulike bredder ble observert. På disse sykkelvegene ble antall syklist som passerte registrert sammen med deres tilhørende hastigheter. Resultatet fra observasjonene viser at det finnes en direkte sammenheng mellom syklistenes hastighet og trafikk tettheten på sykkelvegen. Sammenhengen som ble funnet er vist i figur 15.



FIGUR 15 - FORHOLD MELLOM HASTIGHET [MPH] OG TETTHET [SYKLISTER/KVADRATFOT] (SMITH, 1977)

En kan se av figuren at ved liten trafikk tetthet vil hastigheten ligge på mellom 11 og 12 mph, tilsvarende 17,7 km/t – 19,3 km/t, og at hastigheten reduseres lineært ved høyere tetthet av sykler.

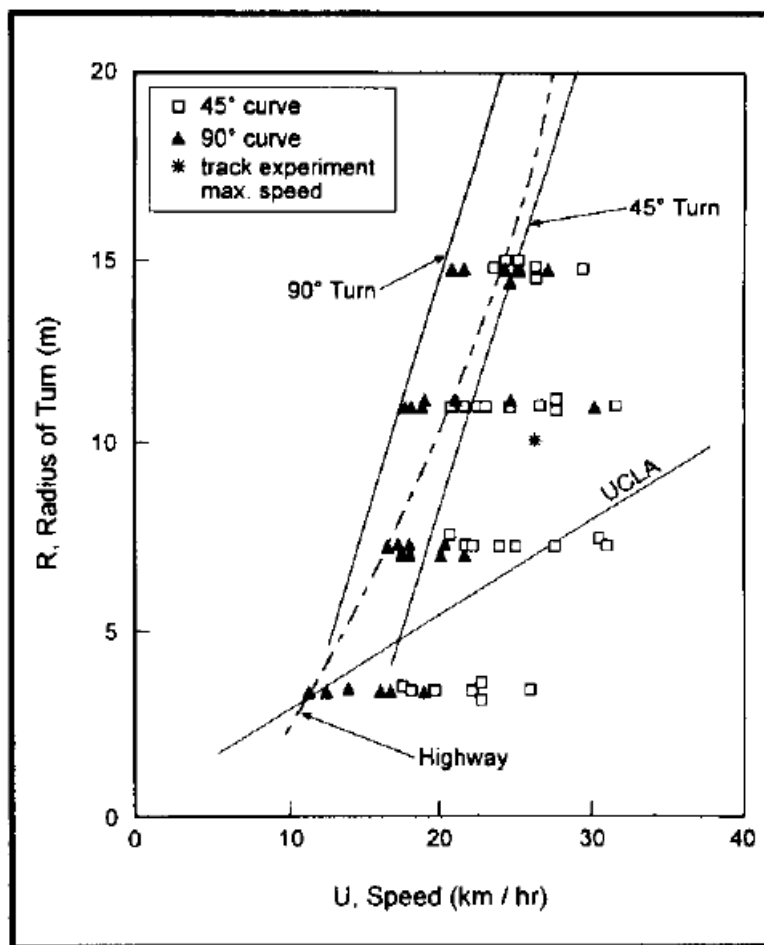
En tilsvarende sammenheng ble funnet av Zhang et al. (2013), og vises i figur 16. Figuren viser i motsetning til Smith sykkel tettheter så høye at det har blitt dannet kø og hastigheten har gått ned mot null. Den bekrefter også Smiths fri-flyt-hastighet på 19,3-17,7 km/t. Den observerte sykkeltrafikken inneholdt både el-sykler og vanlige sykler, og de røde og svarte punktene angir hvor stor andel el-sykler som ble observert.



FIGUR 16 - FORHOLD MELLOM HASTIGHET OG TETTHET (ZHANG ET AL., 2013)

Navin (1994) forsøkte å finne sammenhenger mellom syklisters hastighet og horisontalkurvatures radius. Han studerte tidligere studier som omhandlet det samme temaet og sammenliknet så sine resultater med disse studiene. Det ble utført en enkel test på et lukket område hvor 9 universitetsstudenter syklet gjennom kurver med forskjellige radier mens tidsbruken ble målt. Radiene til kurvene som ble syklet var henholdsvis 3 m, 7 m, 12 m og 16 m. Syklistene skulle sykle i kurvene på raskest mulig måte uten å føle seg utrygg eller ukomfortabel, samt uten å bruke bremsene. Tidsbruken ble målt både midtveis i svingen – 45 grader, og ved utgangen av svingen – 90 grader, for å se om farten endret seg underveis. En kunne ikke se at retningen på svingen hadde betydning for fartsnivået, så det ble ikke skilt på høyre- og venstrekurver.

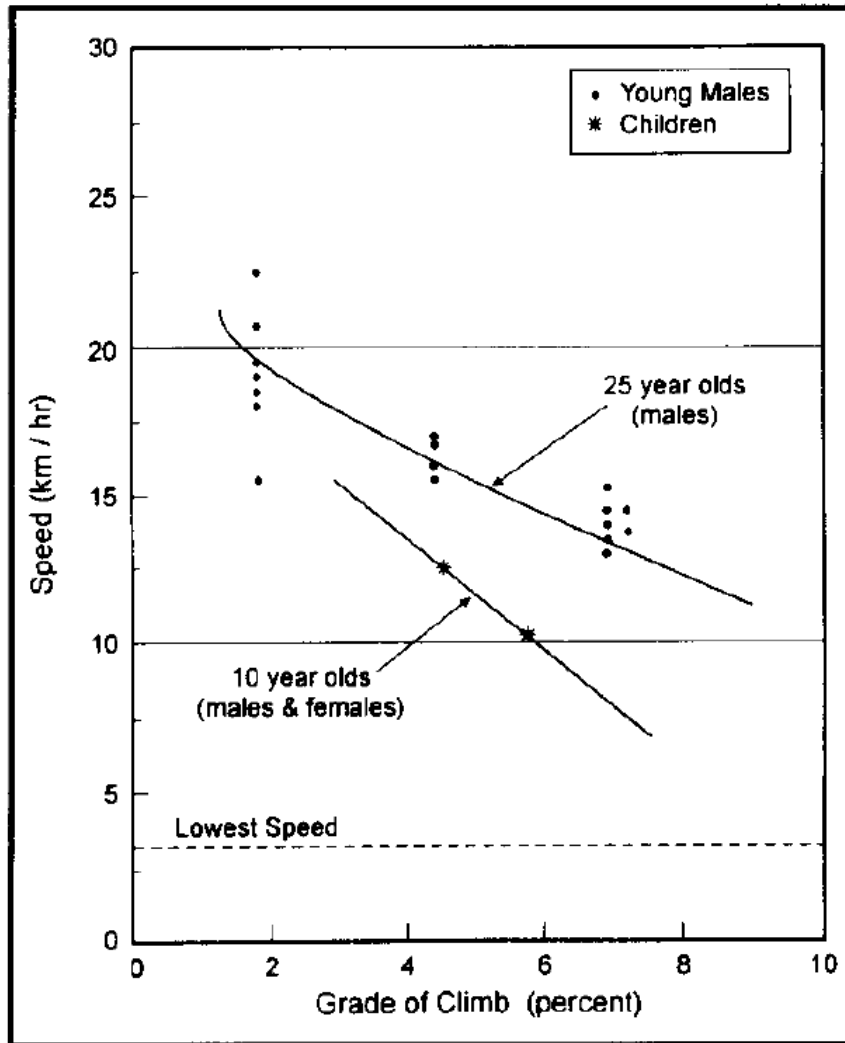
Resultatene fra kurveforsøket er vist i figur 17 som trekant- og firkantpunkt sammen med et liknende forsøk fra Universitetet i California- Los Angeles (UCLA) samt to teoretiske modeller for sammenhengen mellom radius og hastighet. De teoretiske verdiene er vist som lineære linjer både for kurver med 90 og 45 grader. Disse baserer seg på fysiske størrelser som sykkelvegens tverrfall, syklistens vinkel i forhold til bakken, hastighet og kurveradius. Den stiplede «Highway-linjen» viser kurven som ble brukt for planlegging av sykkelveger flere steder, blant annet i Canada og USA.



FIGUR 17 – SAMMENHENG MELLOM KURVERADIUS OG HASTIGHET (NAVIN, 1994)

En kan se at resultatene fra forsøket, gitt som firkant- og trekantpunkt i figuren, stemmer bedre overens med de teoretiske linjene enn forsøket gjort ved UCLA. Dette kan ha flere årsaker, men manglende informasjon om forsøket fra UCLA gjør det vanskelig å se nærmere på dette. Videre kan en se at ved store radier vil sykklistene i større grad holde jevn hastighet gjennom svingen enn ved mindre radier. Dette observeres ved at både firkantpunktene og trekantpunktene ligger lengre fra hverandre ved mindre radier. I tillegg viser det seg at sykklistene i forsøket kunne holde høyere hastighet enn den teoretiske anbefalingen på kurver med 45 grader, slik de hvite firkantpunktene indikerer.

Navin (1994) prøvde også å finne effekten stigning hadde på sykkelhastigheten. Det ble gjennomført et forsøk både med mannlige universitetsstudenter og barn i 10-årsalderen som skulle sykle i komfortabelt hverdagslig tempo opp utvalgte strekninger med konstante stigninger. Tidsbruken til sykklistene ble registrert langs strekningene. Figur 18 viser resultatet både for universitetsstudentene og for barna.

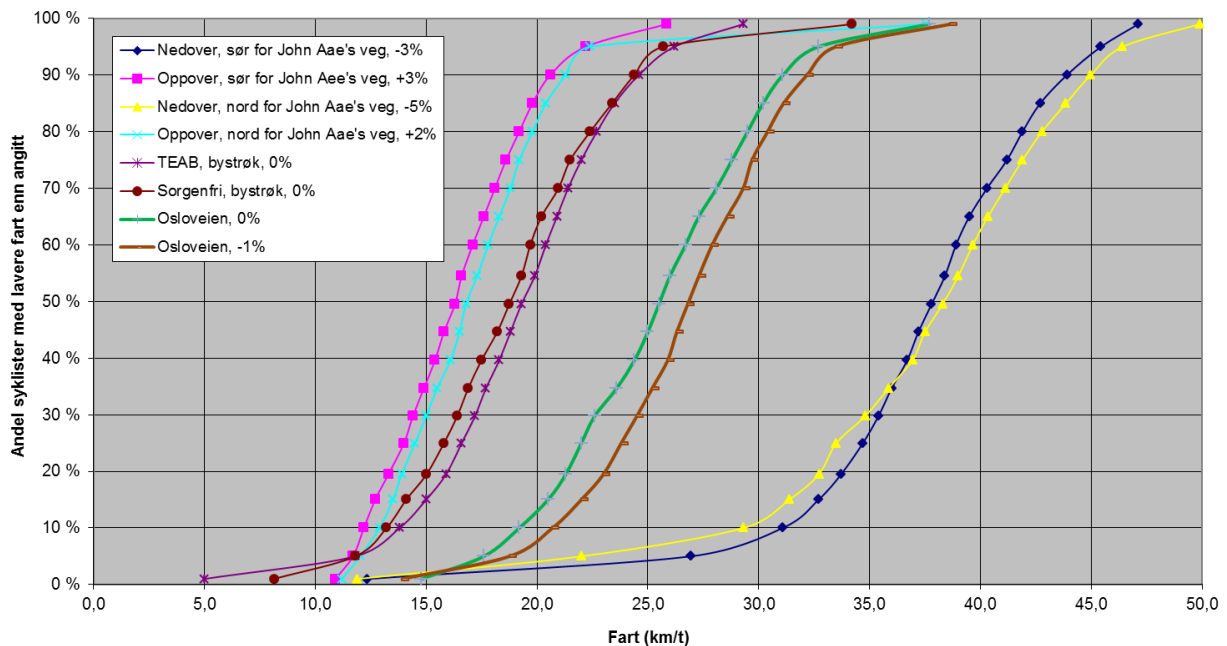


FIGUR 18 - SAMMENHENG MELLOM STIGNING OG SYKKELHASTIGHET (NAVIN, 1994)

En kan se at farten reduseres ved økende stigning. Barn holder generelt lavere hastighet enn 25-åringene, og samtidig kan det se ut til at barna blir mer påvirket av økende stigning.

Figur 19 viser resultater fra punkthastighetsregistreringer av syklistere ved forskjellige stigninger og fall gjennomført i Trondheim 2011 (SINTEF, 2011). Datasettet som figuren baserer seg på ble benyttet som grunnlag for bestemmelse av siktkrav i Håndbok 233, Sykkelhåndboka (Statens vegvesen, 2013). Figuren viser blant annet at stigninger på 2 % og 3 % vil gi hastigheter mellom ca. 10 km/t og 20 km/t i oppoverbakke og mellom 25 km/t og 45 km/t i nedoverbakke. En kan også se en tendens for at syklistere i bystrøk (TEAB og Sorgenfri) sykler saktere enn syklistere utenfor bystrøk (Osloveien).

Fartsnivå for syklister
Bjørndalen 23.-26. mai 2011, TEAB 1.-13. mai 2011, Sorgenfri 30. mai-1. juni, 8.-10. juni 2011,
Osloveien 20.-23. juni 2011



FIGUR 19 - FARTSNIVÅ FOR SYKLISTER I FORSKJELLIGE STIGNINGER (SINTEF, 2011)

I en prosjektoppgave gjennomført ved NTNU ved Institutt for bygg, anlegg og transport (Overå, 2013) ble effekten av gul midtlinje i sykkelveger studert. Det ble utført en før- og etterundersøkelse ved hvor blant annet fartsnivået til syklister ble observert gjennom videoopptak. Prosjektoppgavens resultater viser at syklisterenes gjennomsnittlige strekningshastighet over en 71 meter lang observasjonsstrekning økte fra 20,0 km/t til 21,2 etter oppmerking av midtlinje. Dette tilsvarer en økning på 6,1 %. Fartsmålingene er basert på registreringer fra 328 syklister før oppmerking og 353 syklister etter oppmerking. Oppgaven konkluderte også med at syklisterenes fremkommelighet hadde bedret seg etter oppmerking av midtlinje. Dette er indikasjoner på at infrastrukturens utforming har betydning på syklisterenes fartsnivå.

Det er et begrenset antall studier som ser på hvilken effekt været har på syklisteres fartsnivå. Det har blitt funnet en studie fra Lyon som sammenliknet syklisteres hastighet om sommeren og vinteren (Jensen et al., 2010). Hastighetsdataene kom fra 4000 bysykler, og ble samlet inn mellom mai 2005 og desember 2007. En kunne se at sykkelhastigheten i rushtrafikken ikke varierte med årstidene, men ellers på døgnet var hastighetene om vinteren høyere enn om sommeren. Hastighetene på kveldstid var 9 % høyere om vinteren enn om sommeren. Studien

oppga ikke hvilke temperaturer eller værforhold som var typiske i perioden, og resultatene kan dermed ikke direkte overføres til norske vinterforhold.

Flere studier har derimot sett på sammenhengen mellom været og antall syklende. Blant annet fant Nankervis (1999) at antall syklende reduseres om vinteren, og at både vind, regn og temperatur vil påvirke antall syklene fra dag til dag.

4.4 Oppsummering

Litteraturundersøkelsen har vist at det finnes mange metoder for innsamling av fartsdata, og at de blir brukt i varierende grad og med varierende nøyaktighet. WiFi- og blåtannteknologien fremstår som en aktuell løsning sammenliknet med alternativene, da stadig flere personer reiser med ulike standardenheter på seg. Selv om nøyaktigheten for registreringer tatt med kombinert WiFi- og blåtannteknologien ikke er like god som nøyaktigheten til ANPR-teknologien eller RFID-teknologien, så har erfaringene likevel vist at disse teknologiene har god nok pålitelighet til å gi representative gjennomsnittlige reisetider.

Gjennom litteraturstudien ble det også erfart at det ikke har vært et stort fokus på innsamlingsmetoder for syklisters strekningshastighet. Blåtannsensorer som registrerte sykkeltrafikk ble gjennom én studie funnet til å gi representative gjennomsnittsverdier for reisetid.

Flere faktorer har vist seg å virke inn på syklisters fartsnivå. I tabell 3 vises en oppsummering av disse faktorene. Funnene gir få gode svar på hvordan selve sykkelvegens kvalitet eller type sykkelanlegg spiller inn på syklisters hastighet, men det har vist seg at både vind, stigning og kurver gir betydelige utslag på hastigheten.

TABELL 3 - OVERSIKT OVER FAKTORERS INVIRKNING PÅ SYKLISTERS FARTSNIVÅ

Faktor		Innvirkning	Kilde
Luftmotstand		Betydelig innvirkning først ved høye hastigheter	Wilson et al. (2004)
Vind	Motvind	Lavere hastighet	Wilson et al. (2004)
	Medvind	Høyere hastighet	
Stigning	Oppover	Lavere hastighet	Wilson et al. (2004), Navin (1994), SINTEF (2011)
Rullemotstand		Liten innvirkning ved normale hastigheter	Wilson et al. (2004)
Sykkelvegens kvalitet	God/dårlig kvalitet	Ingen	Vansteenkiste et al. (2014)
Type sykkelanlegg	Midtlinje	Høyere hastighet	Overå (2013)
	Sykkelfelt/ sykkelveg	Tvetydig	El-Geneidy et al. (2007), Smith (1977)
Reiselengde	Lange reiser	Høyere hastighet	El-Geneidy et al. (2007)
Horisontalkurvatur	Krappe kurver	Lavere hastighet	Navin (1994)
Vinter		Høyere hastighet utenom rushtid	Jensen et al. (2010)
		Færre syklende	Nankervis (1999)
Vær	Regn, vind og lav temperatur	Færre syklende	Nankervis (1999)
Sykkeltetthet	Høy tetthet	Lavere hastighet	Zhang et al. (2013), Smith (1977)

5 Pilotstudie

Dette kapitlet beskriver hvordan pilotstudien ble planlagt og gjennomført. Resultatene fra studien presenteres og diskuteres med bakgrunn i litteraturundersøkelsen og teoridelen. Det vil også konkluderes med om WiFi- og blåtannsensorer egner seg til innsamling av fartsdata fra syklistene.

5.1 Formål

Målet med pilotstudien er å svare på spørsmålet om hvorvidt BlipTrack med blåtann- og WiFi-modul egner seg til innsamling av reisetidsdata for syklistene, samt om påliteligheten til de innsamlede data er god nok. Pilotstudien danner grunnlaget og gir føringer for videre utførelse av masteroppgaven.

I pilotstudien var det ønskelig å finne svar på følgende:

1. Gir BlipTrack pålitelige reisetider?
2. Hvor stor andel av syklistene registreres?
3. Hvilke forskjeller gir WiFi og blåtann med bakgrunn i pålitelighet og andel som registreres?

5.2 Planlegging

Det ble bestemt at pilotstudien skulle bestå av to deler. Den første delen skulle være en kontrollert test hvor egne reisetider ble registrert uten forstyrrelser fra andre syklistene. I andre del av pilotstudien skulle BlipTrack testes og kontrolleres mot reell sykkeltrafikk. Begge tester ble utført langs samme strekning.

5.2.1 Kontrollert test

Den første delen av pilotstudien ble gjennomført om natten slik at egne enheter kunne registreres uten forstyrrelser fra andre fotgjengere og syklistene. Hensikten med å gjennomføre

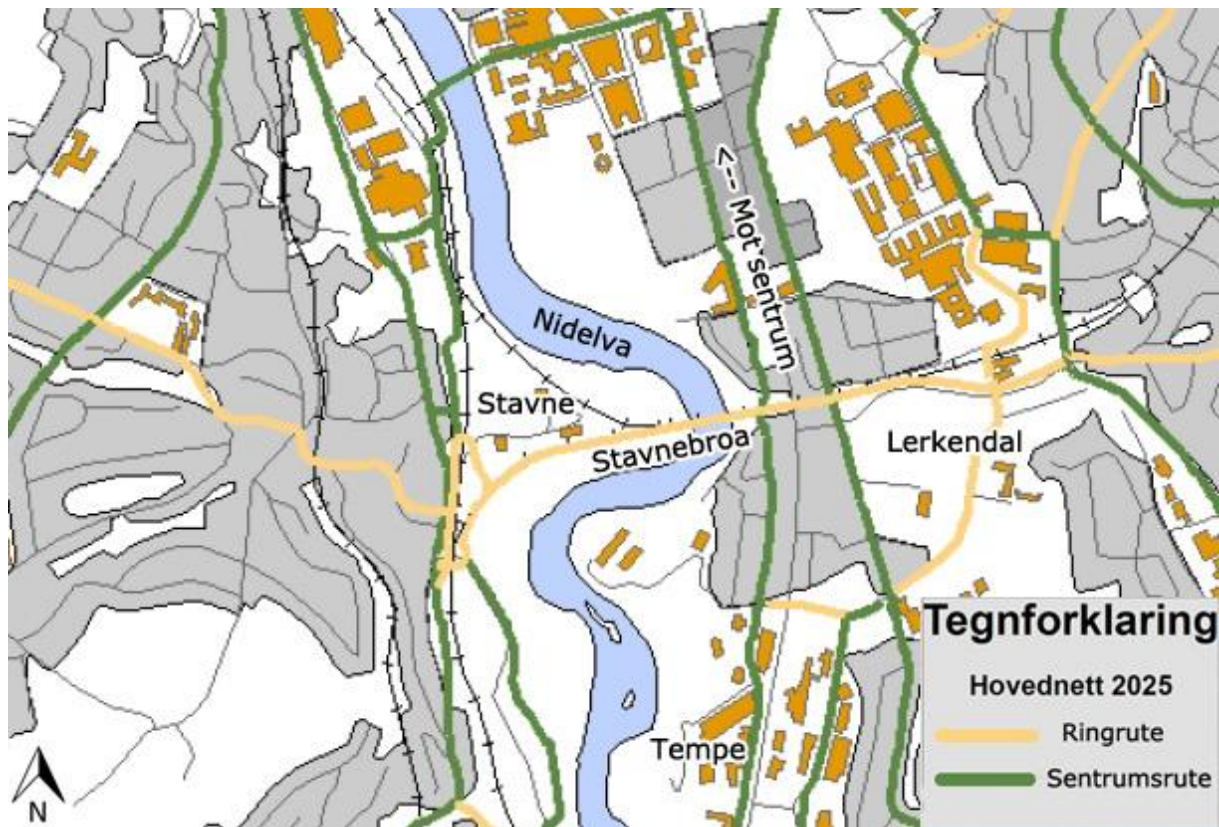
en isolert test før registreringer ble utført på en større trafikkmengde var blant annet å identifisere tekniske karakteristika som kunne føre til feilregistreringer. Den lukkede testen ble også sett på som fordelaktig da dette ville gi førstehånds erfaringer om hvordan sensorene faktisk registrerer enheter. Det var derfor ønskelig å sammenlikne registreringer fra BlipTrack med manuelle registreringer av reisetider. En slik egentesting kunne også gi kontroll over hvilke enheter som lettest ble registrert. Egentesting gir kjennskap til hvilke enheter som blir brukt, og en kan lettere luke bort faktorer som kanskje kan påvirke registreringene. Bruk av egne enheter gir også muligheten til å isolere resultatene fra blåttann og WiFi for å hver for seg kunne sammenlikne disse med egne registrerte reisetider.

5.2.2 Åpen test

Den andre delen av pilotstudien skulle gi et innblikk i hvordan sensorene taklet virkelige registreringer. Sensorene hadde før gjennomføring av pilotstudien vært plassert over en periode langs en sykkelveg. Det ble kjent fra denne periodens observasjoner at sensorene ofte registrerte med variabel datakvalitet for enkeltpasseringer. Eksempelvis ble noen reisetider observert til å være urealistisk korte eller lange. Samtidig ble det spekulert i om slike variable data ville kunne minimaliseres og utjevnes med hjelp av et større datagrunnlag. Det ville derfor være interessant å sammenlikne en reell trafikkmengdes reisetider med reisetider fra manuelle registreringer. Gjennom denne testen ville påliteligheten av BlipTrack-resultatene bli undersøkt, og den ville også gi svar på hvor stort et datagrunnlag burde være for å kunne produsere brukbare resultater.

5.2.3 Teststrekning

Gang- og sykkelvegen på Stavne bru i Trondheim ble valgt som teststrekning. Stavne bru er en jernbanebru over Nidelva som ikke er trafikkert av biler. Brua går fra Stavne i vest til Tempe og Lerkendal i øst. Gang- og sykkelvegen på Stavne bru inngår som en del av en ringrute i Trondheim kommunes plan for hovednettet til sykkelveger (Trondheim kommune, 2013), som vist i figur 20.



FIGUR 20 - KARTUTSNITT FRA HOVEDNETT FOR SYKKEL I TRONDHEIM 2025 (TRONDHEIM KOMMUNE, 2013)

En kan også se at den knytter sammen flere sentrumsruter på begge sider av Nidelva. Det ble derfor konkludert med at strekingen har et stort nok sykkelvolum til å gi representative reisetider under pilotstudien. Videre var det forventet at mye av sykkeltrafikken ville være reiser til og fra arbeid og studenter med tilknytning til områdene Trondheim vest og Trondheim sør.

5.2.4 Oppsett av utstyret

Figur 21 viser hvor sensorene ble plassert på hver sin side av Stavne bru med 550 meters mellomrom.



FIGUR 21 - OVERSIKT OVER TESTSTREKNING. KARTGRUNNLAG: NORGE I BILDER (2014)

Avstanden er i samme størrelsesorden som andre studier har brukt (Araghi et al., 2012), og er antatt å være tilstrekkelig for å unngå feilregistreringer med tanke på sensorenes teoretiske rekkevidde på 100 meter. Sensoren på østsiden av Stavne bru ble plassert slik at både syklister som fortsetter på ringruta vestover og syklister som tar av til tversgående sentrumsrute ble registrert.

Sensorene ble montert i henhold til leverandørens anbefalinger. Avstanden mellom WiFi-sensoren og blåtannsensoren var ca. 1 meter. Som strømkilde til sensorene ble det brukt 12-volts fritidsbatterier. Figur 22 viser sensoren på østsiden av Stavne bru.



FIGUR 22 - SENSOR ØST FOR STAVNE BRU

5.3 Kontrollert test

5.3.1 Gjennomføring

Testen ble gjennomført natt til 14. mars 2014 mellom klokken 01:15 og 03:05. To personer syklet strekningen fram og tilbake med ulike enheter medbrakt i bukse- og jakkelommer.

Enhetene som ble brukt og hvilken teknologi de inneholdt er beskrevet i tabell 4.

TABELL 4 - ENHETER BENYTTET I KONTROLLERT TEST

Enhet	Type	Modell	Operativsystem	Teknologi
1	Mobiltelefon	HTC 8x	Windows phone 8.0	WiFi og blåttann
2	Mobiltelefon	Samsung Galaxy S mini	Android 4.4	WiFi og blåttann
3	Kamera	GoPro Hero 3		WiFi
4	Fjernkontroll	GoPro Wi-Fi Remote		WiFi
5	Mobiltelefon	Nokia Lumia 800	Windows phone 7.8	WiFi og blåttann
6	Mobiltelefon	HTC Diamond 2	Windows mobile 6.5	WiFi og blåttann
7	Høytaler	Clas Ohlson blåttannhøytaler		Blåttann
8	PC-mus	Logitech M555b		Blåttann

Totalt ble det gjennomført 25 turer over Stavne bru med varierende antall aktive enheter. En oversikt over turene som ble gjennomført med tilhørende enheter og reisetider finnes i vedlegg B.

De to syklistenes hastighet ble variert fra lav til høy på de forskjellige turene over broa. For hver tur ble tidspunktet ved sensorpasseringen notert, sammen med informasjon om hvilke enheter som var aktive for den spesifikke turen. Egne reisetider ble så beregnet og sammenliknet med reisetidene fra BlipTrack.

Det viste seg at sensorene hadde et støyfilter som gjorde at enheter som passerte samme sensor flere ganger innen ti minutter, ble filtrert bort. Dette betydde at en ikke kunne eksportere reisetidene direkte fra BlipTrack til videre analyse da de ikke var registrert som gyldige reisetider. For å kunne sammenlikne BlipTracks registreringer med egne reisetider måtte en derfor hente ut alle enkeltpasseringene fra sensorenes systemrådata, og beregne reisetidene selv på bakgrunn av passeringene. Dette var en tidkrevende prosess.

5.3.2 Resultater

Registrerte turer

De 25 turene over Stavne bru ga, som tabell 5 viser, 42 enhetsturer med aktiv WiFi og 49 enhetsturer med aktiv blåtann. Enhet nummer 3 ble strøket fra testen fordi passeringene fra denne enheten ikke ble funnet igjen i rådataene. Det er derfor sannsynlig at denne enheten ikke var mulig å oppdage av BlipTrack. Tabellen viser videre at omtrent 40 % av turene med WiFi og 70 % av turene med blåtann ble registrert. Data fra BlipTrack viste at enheter med aktiv WiFi og blåtann samtidig kan bli registrert to ganger på grunn av at WiFi og blåtann sender ut to forskjellige MAC-adresser.

Antall tilfeller der enheter kun ble registrert av én sensor på en ende av Stavne bru var 12 for WiFi og ingen for blåtann. Disse tilfellene ga naturlig nok ikke grunnlag for å beregne reisetider siden en er avhengig av registrering ved begge sensorene for å beregne dette. Øvrige registrerte enheter ble registrert en eller flere ganger i hver sensor, og registreringene med sterkest signalstyrke ble valgt til å beregne reisetid.

TABELL 5 - OVERSIKT OVER ANTALL REGISTRERTE TURER

	Antall gjennomførte enhetsturer	Antall turer registrert av BlipTrack	Andel registrert av BlipTrack
WiFi	42	16	38.1 %
Blåtann	49	36	73.5 %

Reisetider

Tabell 6 viser gjennomsnittlige reisetider fra egne registreringer og fra BlipTrack. Gjennomsnittlig reisetid basert på blåtann og WiFi fra BlipTrack er beregnet både hver for seg og kombinert.

TABELL 6 - GJENNOMSNIITTLIG REISETID MED P-VERDI FRA HYPOTESETEST

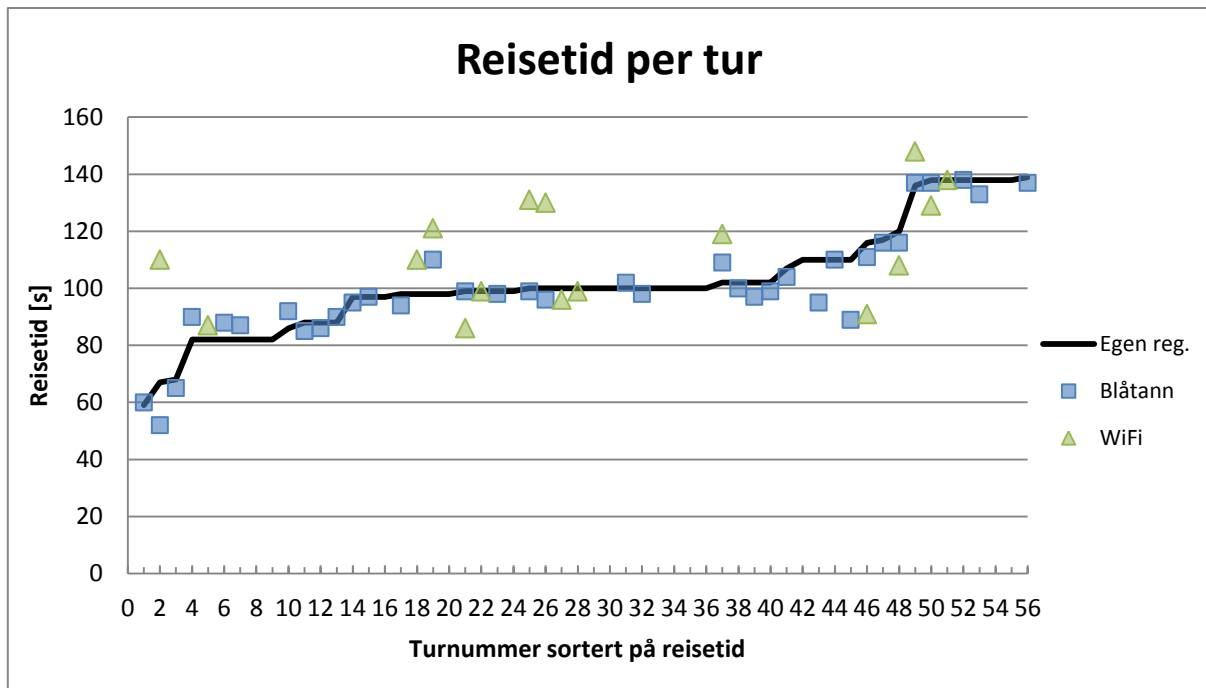
	Egen registrering	BlipTrack		
		Blåtann	WiFi	Blåtann+WiFi
Antall enhetsturer	56	36	16	52
Gjennomsnittlig reisetid \bar{x} [s]	102.3	100.3	112.6	104.1
STD-avvik [s]	18.6	20.0	19.0	20.3
Gjennomsnittlig hastighet [km/t]	19.4	19.7	17.6	19.0
Median hastighet [km/t]	19.8	20.2	18.0	20.0
P-verdi		0.623042	0.054179	0.635538
Forkaste H0 (P < 0.05)		Nei	Nei	Nei

En statistisk test ble utført for å finne ut om forskjellen mellom gjennomsnittlig reisetid fra egne målinger og BlipTrack var statistisk signifikant. Det ble tatt utgangspunkt i basishypotesen om at gjennomsnittlig reisetid fra egne målinger og reisetidene fra BlipTrack var like ($\bar{x}_{Egne} = \bar{x}_{BlipTrack}$). Tabell 6 viser at en ikke kan forkaste basishypotesen for hverken blåtann, WiFi eller teknologiene kombinert. Dette betyr at gjennomsnittlig reisetid fra BlipTrack ikke er signifikant forskjellig fra den reelle gjennomsnittlige reisetiden. I vedlegg C presenteres hele utførelsen av den statistiske testen.

Reisetidsavvik

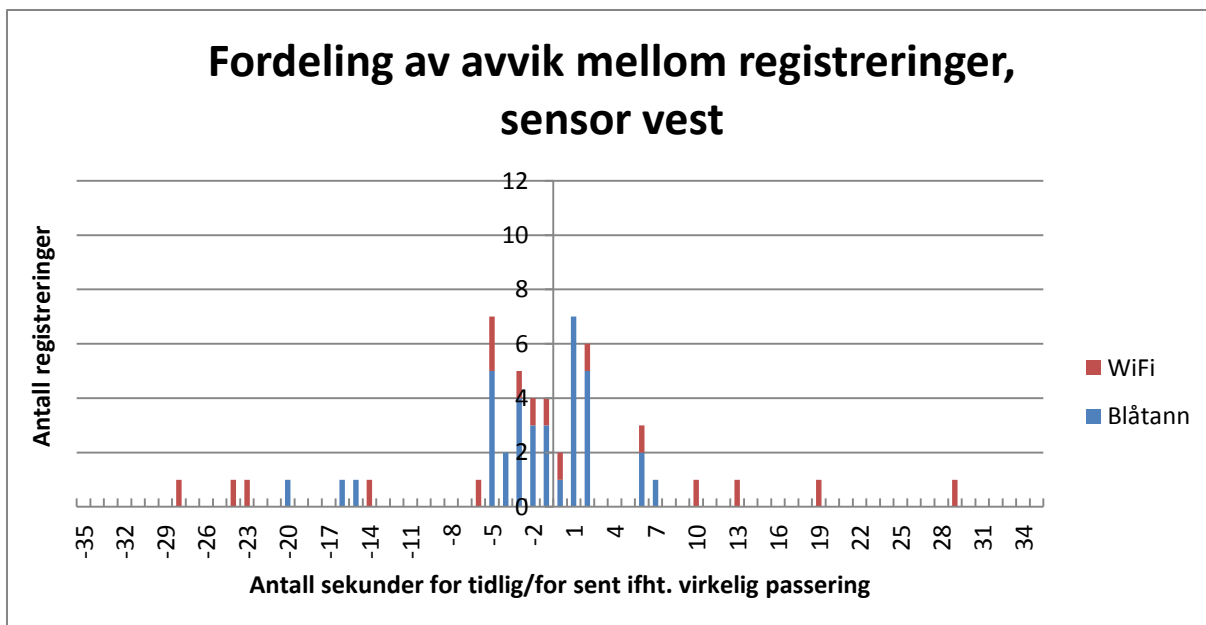
Mellom alle egne registreringer og registreringene fra BlipTrack var gjennomsnittlig absolutt reisetidsavvik pr tur 14.8 sekunder for registreringene med WiFi og 4.3 sekunder for blåtann. Dette dataavviket kan også presenteres i form av en gjennomsnittlig absolutt prosentavvik på henholdsvis 14.5 % og 4.2 %. Disse reisetidsavvikene baseres på forutsetningen om at egne registrerte reisetider er sanne.

Figur 23 viser registrerte reisetider for hver tur. Turene er sortert etter reisetid for å bedre lesbarheten. Den svarte linjen viser reisetiden fra egne registreringer, mens registrerte reisetider fra blåtann og WiFi vises som firkant- og trekantpunkter. En kan se at registreringene fra blåtann generelt sett ligger nærmere egne registreringer enn registreringer fra WiFi. Dette stemmer overens med forskjellen i gjennomsnittlig absolutt reisetidsavvik.

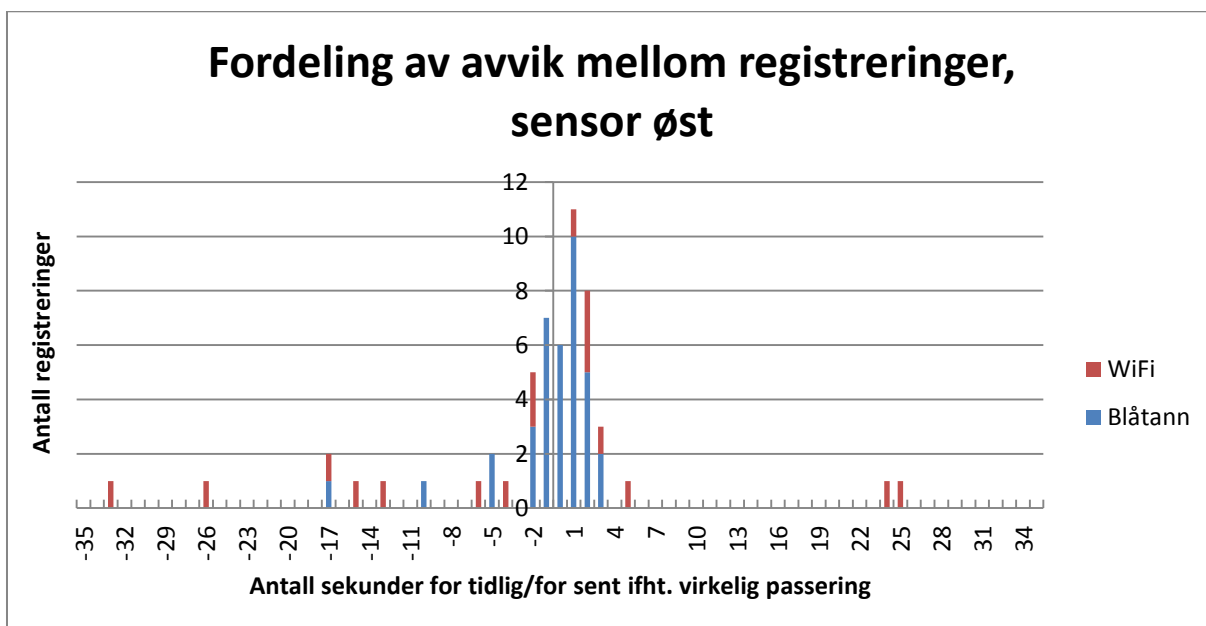


FIGUR 23 - REGISTRERTE REISETIDER I KONTROLLERT TEST

Figur 24 og figur 25 viser fordelingen av avvik mellom registreringene for passering av sensor vest og øst for Stavne bru. Avviket er vist som antall sekunder registrert tidligere eller senere enn det virkelige passeringstidspunktet. Denne tiden angir indirekte syklistens lengde fra sensoren på registreringstidspunktet. En kan se at WiFi har en større spredning i avvik mellom registreringene enn hva blåtann har. Omtrent 78 % av registrerte passeringer har et avvik på 7 sekunder eller mindre.



FIGUR 24- FORDELING AV AVVIK MELLOM REGISTRERINGENE VED PASSERING AV SENSOR VEST



FIGUR 25 - FORDELING AV AVVIK MELLOM REGISTRERINGENE VED PASSERING AV SENSOR ØST

5.4 Åpen test

5.4.1 Gjennomføring

Testen ble gjennomført under morgen- og ettermiddagsrushet, tirsdag 1. april 2014. Registreringene i morgenrushet foregikk mellom klokken 07.00 og 09.00, mens registreringene i ettermiddagsrushet ble foretatt mellom klokken 15.00 og 17.00. Testen innebar å manuelt registrere alle syklistene og beregne gjennomsnittlige og medianbaserte reisetider fra disse registreringene. De manuelt registrerte samlede reisetidene ble så sammenliknet med samlede reisetider fra BlipTrack. Kun én kjøreretning ble observert for hver rushperiode: østover i morgenrushet og vestover i ettermiddagsrushet. Dette ble gjort for å forenkle de manuelle observasjonene og fordi det ikke ble forventet stor sykkeltrafikk i motsatt retning.

Registreringene fra BlipTrack ble eksportert fra systemets webgrensesnitte og filtrert slik at registreringer med hastigheter under 13 km/t og over 40 km/t ble fjernet fra datasettet. Denne filtreringen ble gjort etter erfaringstall fra Overå (2013). De første registreringene fra BlipTrack var omtrent klokken 07.40. Sammenlikningsgrunnet fra første del av morgenrushet er derfor begrenset. Det ser ut til at årsaken var strømsvikt i sensoren på vestsiden av Stavne bru. Strømtilførselen ble gjenopprettet noen minutter før klokken 07.00, og dette burde ikke ha skapt et problem for registrering av data.

De manuelle registreringene ble gjort ved å sammenlikne spesifikke karakteristika til alle syklistene som passerte registreringspunktene. Ved begge registreringspunktene ble følgende registrert for å gjenkjenne syklistene: hjelmbruk, farge på hjelm/hodeplagg, farge på jakke, kjønn og tidspunkt for passering. I tillegg ble det notert ned spesiell oppførsel eller spesielt høye eller lave hastigheter. Registreringene fra hver sin side av Stavne bru ble senere matchet uten store problemer.

5.4.2 Resultater

Registrerte turer og reisefordeling

Som tidligere nevnt startet ikke BlipTrack å registrere før klokken 07.40. I tabell 7 nedenfor presenteres dermed tallene fra de manuelle registreringene fra både 07.00-09.00 og med tallene som kan sammenliknes med BlipTrack fra 07.40-09.00.

Antall manuelle registreringer som fremvises i tabell 7 er noe høyere enn antallet registreringer som blir brukt til statistiske tester og beregning av reisetider senere i dette kapitlet. Årsaken til denne differansen av 15 registreringer for morgenrushet og 20 registreringer for ettermiddagsrushet, skyldes at disse reisende ikke ble gjenidentifisert på begge sider av Stavne bru under manuelle observasjoner. Disse er sett bort i fra ved beregning av reisetider og hastigheter.

TABELL 7 - REGISTRERTE TURER FRA ÅPEN TEST VED BRUK AV BLIPTRACK OG MANUELLE REGISTRERINGER

Morgenrush (07.00-09.00)			
	BlipTrack	Manuelle registreringer	
Tid	07.40-09.00	07.00-09.00	07.40-09.00
Antall sykler	44	262	198
Antall fotgjengere	22	97	80
Andel sykler	66.7 %	70.2 %	71.4 %
Ettermiddagsrush (15.00-17.00)			
	BlipTrack	Manuelle registreringer	
Antall sykler	41	237	
Antall fotgjengere	32	80	
Andel sykler	56.2 %	69.5 %	

Ved å anta at de manuelle registreringene representerer sann trafikk, kan penetrasjonsraten til BlipTrack beregnes for sykklister og fotgjengere. Disse penetrasjonsratene presenteres i tabell 8. Det observeres at BlipTrack har lettere for å registrere fotgjengere fremfor sykklister. I tillegg kan en se en stor forskjell i penetrasjonsraten til fotgjengere fra morgenrush og ettermiddagsrush.

TABELL 8 - PENETRASJONSRATE FOR SYKLISTER OG FOTGJENGERE VED BRUK AV BLIPTRACK

	Morgenrush (07.40-09.00)	Ettermiddagsrush (15.00-17.00)	Totalt
Syklister	22.2 %	17.3 %	19.5 %
Fotgjengere	27.5 %	40.0 %	33.8 %

Tabell 9 viser at av 44 registrerte turer i morgenerushet kom ingen av registreringene fra blåtannenheter. I ettermiddagsrushet kom 1 av 40 registrerte turer fra en blåtannenheter.

TABELL 9 - REGISTRERTE TURER MED BLIPTRACK FORDELT PÅ WIFI OG BLÅTANN I ÅPEN TEST

	Morgenerush	Ettermiddagsrush
Antall registrerte turer med blåtann	0	1
Antall registrerte turer med WiFi	44	40
Sum (totalt antall registrerte turer)	44	41

Tabell 10 viser andel WiFi- og blåtannenheter av det totale antall enheter som ble registrert av BlipTrack fra to perioder før åpen test ble gjennomført. Sensorene var montert på samme strekning over Stavne bru. En kan se at blåtannandelen var høyere for disse periodene enn for rushtidene i åpen test.

TABELL 10 - REGISTRERTE TURER MED BLIPTRACK FORDELT PÅ WIFI OG BLÅTANN

		WiFi		Blåtann	
		Antall	Andel	Antall	Andel
24.feb-01.mar	Retning øst-vest	413	93.0 %	31	7.0 %
	Retning vest-øst	484	94.9 %	26	5.1 %
12.mar-17.mar	Retning øst-vest	258	90.2 %	28	9.8 %
	Retning vest-øst	333	92.0 %	29	8.0 %

Hastigheter

Det er beregnet hastighet med utgangspunkt i reisetidene fra de manuelle registreringene og registreringer fra BlipTrack. Hastighet i form av både gjennomsnittsverdier og medianverdier er beregnet for forskjellige intervaller: halvtimer, timer og for hele rushtider. Alle hastigheter og standardavvik vises for hver enkelt tidsperiode i tabell 11. En sammenlikning av avvik mellom manuelt registrerte reisetider og reisetider fra BlipTrack kan observeres i tabell 12.

TABELL 11 – REISETIDER FOR SYKLER UNDER ÅPEN TEST FRA BLIPTRACK OG MANUELLE REGISTRERINGER

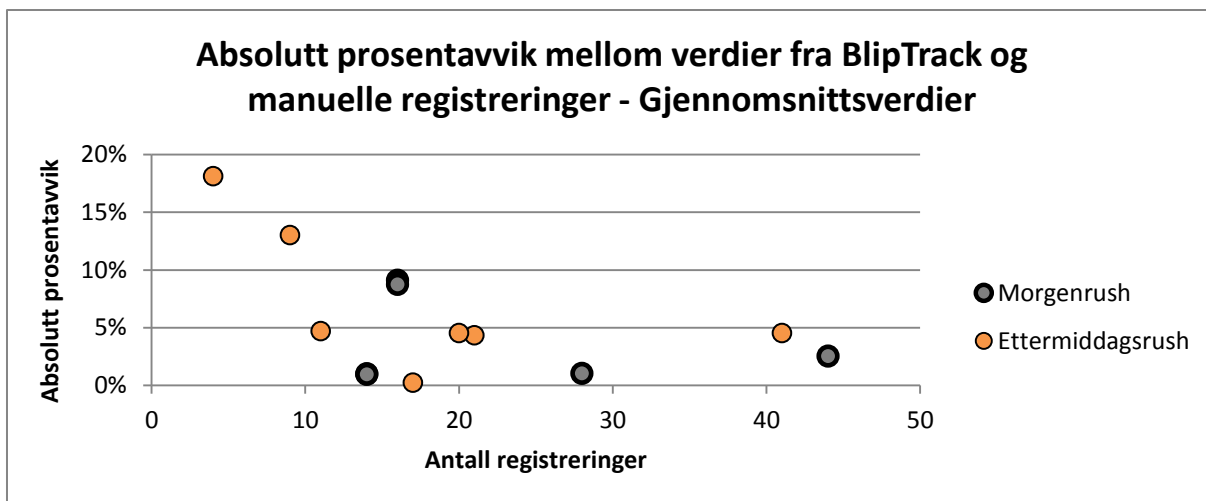
Morgenrush									
		BlipTrack				Manuelle registreringer			
Intervallstørrelse	Tid	Antall (N_{blip})	(μ) Gj. snitt	(\tilde{x}) Median	Std. avvik	Antall (N_{man.})	(μ) Gj. snitt	(\tilde{x}) Median	Std. avvik
Halvtimer	07.00-07.30		-	-	-	34	21.4	21.9	3,2
	07.30-08.00	16	23.1	21.8	6,4	93	21.2	21.5	3,3
	08.00-08.30	14	22.2	21.9	5,2	81	21.9	21.8	3,8
	08.30-09.00	14	20.5	21.6	5,2	39	20.7	21.5	3,8
Hele timer	07.00 (0740)-08.00	16	23.1	21.8	6,4	127	21.2	21.5	3,2
	08.00-09.00	28	21.3	21.8	5,1	120	21.5	21.8	3,9
2-timer	07.00 (0740)-09.00	44	21.9	21.8	5,7	247	21.4	21.8	3,6
Ettermiddagsrush									
		BlipTrack				Manuelle registreringer			
Intervallstørrelse	Tid	Antall (N_{blip})	(μ) Gj. snitt	(\tilde{x}) Median	Std. avvik	Antall (N_{man.})	(μ) Gj. snitt	(\tilde{x}) Median	Std. avvik
Halvtimer	15.00-15.30	4	20.1	19.6	9,5	37	24.6	24.4	5,4
	15.30-16.00	17	24.3	27.5	7,5	52	24.4	26.1	4,1
	16.00-16.30	9	21.7	21.8	6,0	82	25.0	25.5	4,4
	16.30-17.00	11	25.4	27.9	6,9	46	24.2	25.1	4,8
Hele timer	15.00-16.00	21	23.4	25.1	7,8	89	24.4	25.4	4,7
	16.00-17.00	20	23.6	26.4	6,7	128	24.7	25.4	4,5
2-timer	15.00-17.00	41	23.5	26.4	7,2	217	24.6	25.4	4,6

TABELL 12 - PROSENTVIS AVVIK MELLOM BLIPTRACK OG MANUELLE REGISTRERINGER FOR SYKKELHASTIGHETER OG PENETRASJONSRATE FOR SYKLER

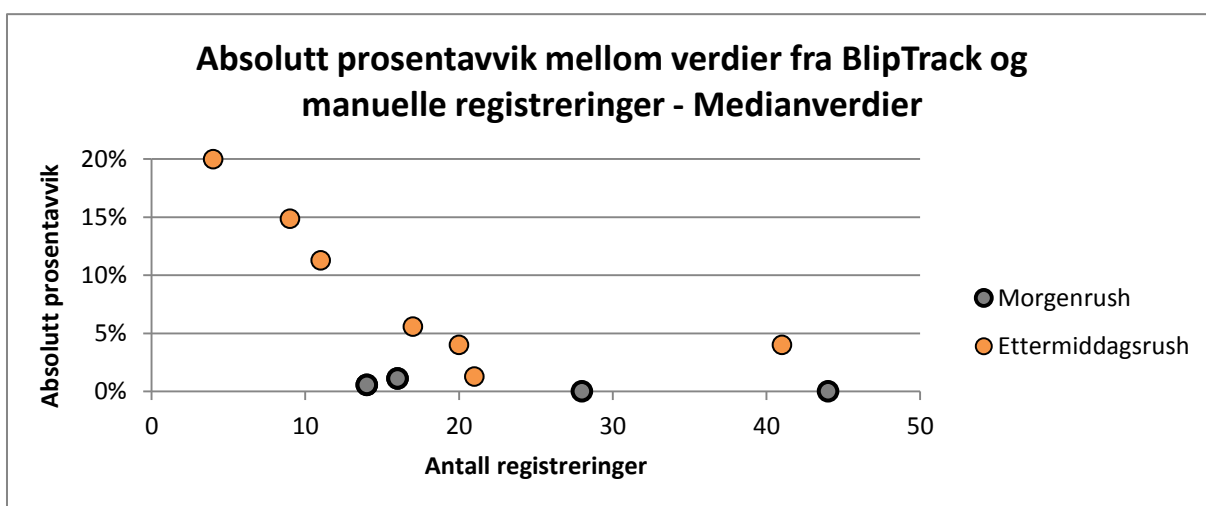
			Prosentvis avvik fra manuelle registreringer		
			Hastigheter		Penetrasjonsrate
Intervallstørrelse	Tid	Antall reg. fra BlipTrack	(\bar{x}) Gj. snitt	(\tilde{x}) Median	$\frac{\text{antall}_{Blip}}{\text{antall}_{Man.}}$
Halvtimer	07.00-07.30	0	-	-	-
	07.30-08.00	16	9.1 %	1.1 %	17 %
	08.00-08.30	14	1.0 %	0.6 %	17 %
	08.30-09.00	14	-1.0 %	0.6 %	36 %
	15.00-15.30	4	-18.1 %	-20.0 %	11 %
	15.30-16.00	17	-0.2 %	5.6 %	33 %
	16.00-16.30	9	-13.0 %	-14.8 %	11 %
	16.30-17.00	11	4.7 %	11.3 %	24 %
Timer	07.00(0740) - 08.00	16	8.8 %	1.1 %	13 %
	08.00-09.00	28	-1.1 %	0.0 %	23 %
	15.00-16.00	21	-4.3 %	-1.3 %	24 %
	16.00-17.00	20	-4.5 %	4.0 %	16 %
2-timer	07.00(0740) - 09.00	44	2.5 %	0.0 %	21 %
	15.00-17.00	41	-4.5 %	4.0 %	19 %

I denne tabellen er gjennomsnittlig hastighet fra egne registreringer og gjennomsnittlig hastighet fra BlipTrack sammenliknet. På samme måte er hastighetsmedian fra egne registreringer er sammenliknet med median fra BlipTrack. Negative prosentvise avvik vil si at BlipTrack har underestimert hastigheten, mens positive avvik tilsvarer overestimerte hastigheter.

Ved å sortere de ulike intervallene i tabell 12 etter antall registrerte reisetider, gir dette et bilde på sammenhengen mellom antall registreringer og det prosentvise avviket mellom BlipTrack og manuelle registreringer. En slik sortering vises både for gjennomsnittlige verdier og medianverdier i figur 26 og figur 27. Det bemerkes at det er benyttet absoluttverdier for avvikene fra tabell 12 for å bedre lesbarheten.



FIGUR 26 – ABSOLUTT PROSENTAVVIK MELLOM GJENNOMSNITTSVERDIER REGISTRERT AV BLIPTRACK OG MANUELT REGISTRERTE GJENNOMSNITTSVERDIER, SORTERT PÅ ANTALL REGISTRERINGER



FIGUR 27 - ABSOLUTT PROSENTAVVIK MELLOM MEDIANVERDIER REGISTRERT AV BLIPTRACK OG MANUELT REGISTRERTE MEDIANVERDIER, SORTERT PÅ ANTALL REGISTRERINGER

Gjennomsnittlig reisetid fra morgenrushet og ettermiddagsrushet ble testet med ulike statistiske tester for å undersøke om datasettene fra BlipTrack og manuelle registreringer var signifikant forskjellige. Det ble konkludert fra testene at gjennomsnittlig reisetid fra BlipTrack ikke var signifikant forskjellige fra den manuelt registrerte gjennomsnittlige reisetiden på et 5 % signifikansnivå. Dette medfører en ikke har statistisk grunnlag for å si at gjennomsnittlig reisetid fra BlipTrack er forskjellig fra virkeligheten. Dette tyder på at registreringer med BlipTrack gir tilfredsstillende datakvalitet og representative reisetider. I vedlegg D presenteres hele utførelsen av den statistiske testen.

5.5 Diskusjon

5.5.1 Oppdagelse og penetrasjonsrate

I den kontrollerte testen ble om lag 40 % av det totale antall WiFi-enheter registrert. Tilsvarende andel for blåtann var om lag 70 %. Det er som forventet at blåtannenheter ble registrert oftere enn WiFi på grunn av blåtanns raske søking av frekvenser med FHSS-metoden, som er beskrevet i delkapittel 3.3 om blåtannteknologi. Likevel må det kommenteres at det er usikkert om alle enhetene forble i aktiv søkemode under alle turene langs teststrekningen. Noen enheter er bare søkbare i en gitt tid etter at de er aktivert, og det er i den sammenhengen uvisst hvor lenge enkelte enheter forble søkbare. Andel registrerte blåtannenheter, av det totale antall aktive blåtannenheter i kontrollert test, er noe lavere enn funn fra Araghi et al. (2013) som registrerte tilsvarende andel på rundt 80 % for enheter i bil. Usikkerhetene rundt de benyttede enhetene betyr at andel registrerte enheter av det totale antall aktive enheter sannsynligvis kunne ha blitt større hvis alle enhetene hadde forblitt søkbare under kontrollert test. Andelene som er registrert i den kontrollerte testen er derfor vurdert som normale ut ifra de tekniske forutsetningene og erfaringer fra tidligere studier.

Resultatene fra den åpne pilottesten viser at BlipTracks penetrasjonsrate er omtrent 20 % for syklistene og like over 30 % for fotgjengere. Denne forskjellen kan enten forklares med at fotgjengere generelt har en lavere hastighet enn syklistene, eller alternativt med at fotgjengere generelt har mer teknologi påslått under reise. Penetrasjonsraten for fotgjengere er høyere i ettermiddagsrushet enn om morgenen. Dette kan skyldes at flere har aktivert WiFi- og blåtannfunksjoner i løpet av dagen på vei hjem fra skole og jobb. Likevel er denne antagelsen kun basert på registreringer fra rushtidene denne spesifikke dagen og bør undersøkes nærmere før påstanden kan aksepteres på en generell basis.

En penetrasjonsrate på 20 % betyr at en i snitt må ha 5 syklistene for å kunne registrere én enkelt reisetid. Sammenlikningen som ble gjort mellom reisetider fra BlipTrack og manuelle registreringer i åpen test viser at nøyaktigheten til BlipTrack varierer med antall registreringer. Reisetider i tidsperioder som hadde færre enn 10 registreringer ga mellom 10 % og 20 % avvik fra manuelt registrerte reisetider. Når antall registreringer var over 20 kunne en se at avviket stabiliserte seg like under 5 %. En kan ikke direkte ut fra sammenlikningene si at 40 eller flere registreringer ville gi bedre nøyaktighet enn 20. Uansett vil usikkerheter fra de manuelle registreringene gjøre det hensiktsløst å etterstrebe avvik

under 5 %. Dette er fordi det kan antas at presisjonsgraden for de manuelle registreringene også har mellom 1 % og 5 % fra sanne reisetider. Alt i alt viser dette at rundt 20 registrerte reisetider fra BlipTrack vil representere gjennomsnittsverdier og medianverdier av reisetider med god nøyaktighet.

Den kontrollerte testen viser at enheter som har aktivert både WiFi og blåttann samtidig kan bli registrert to ganger på grunn av at WiFi og blåttann sender ut to forskjellige, men nesten like, MAC-adresser. Dette vil føre til at reisetider fra syklistene med slike enheter vil vektes mer ved beregning av gjennomsnittsverdier. For et lite antall observasjoner eller i korte tidsintervaller kan dette ha betydning, men for større datagrunnlag blir dette ansett som et lite problem. BlipTrack har innebygde algoritmer som filtrerer bort dobbeltregistreringer, så dobbelttelling vil bare være et problem hvis en benytter seg av ufiltrerte reisetider.

5.5.2 Hastigheter og reisetid

Hastigheter er beregnet som medianverdier og gjennomsnittsverdier i den åpne testen. Det er ikke en del av denne oppgaven å si om en av metodene er bedre egnet enn den andre for å representere hastigheter og reisetider, men tabell 12 viser hvordan nøyaktigheten varierer med forskjellige tidsintervaller for begge metodene. For store datasett er det forventet at begge metodene vil gi tilnærmet like resultater.

Generelt, når ulikhetene mellom medianverdier og gjennomsnittsverdier blir store, skyldes dette sporadiske verdier som skiller seg ut fra hovedtyngden av observasjonene. Medianverdier overser sporadiske ekstremverdier i større grad enn gjennomsnittsverdier, da gjennomsnittsverdier baseres på vektstangsprinsippet. Når en beregner gjennomsnittsverdier må ekstremverdier filtreres bort før beregningene kan foretas. Problemer oppstår dersom syklistene holder samme hastighet som andre kjøretøy eller fotgjengere som en i utgangspunktet ikke vil registrere. I pilottesten ble det kun registrert syklistene og fotgjengere, slik at de raskeste registreringene garantert er syklistene. Hastighetsgrensen på 13 km/t ble valgt for å skille fotgjengere og syklistene. Dersom mange tall observeres rundt en slik grenseverdi, er det større usikkerhet knyttet til om det er ønsket reisemiddel som blir registrert.

I pilotstudien der kun et fåtall av registreringene lå i grensesjiktet på 13 km/t, er det lite sannsynlig at feilverdier har blitt inkludert i datagrunnlaget for hastighetsverdiene. Det er

likevel forventet at flere feilverdier blir registrert når sensoren er plassert langs sykkeltraseer tett inntil bilveger, eller i stigninger hvor syklistene og fotgjengere har lik hastighet.

De gjennomsnittlige reisetidene som er registrert av BlipTrack i kontrollert test ble ikke funnet statistisk signifikant forskjellig fra de virkelige reisetidene. De gjennomsnittlige reisetidene baserer seg på reisetider fra turer som hadde ulike antall enheter aktivert, og med ulik teknologi påslått. Denne sammenlikningen er gjort for å se om registreringene fra BlipTrack gir representative reisetider for alle turene, og ikke for å måle presisjonen til hver enkelt registrering. Selv om det kunne konkluderes med at datasettene *ikke* er statistisk signifikant *ulike*, så er dette resultatet med på å bygge opp under et faktum at BlipTrack gir representative gjennomsnittlige reisetider.

Reisetidene fra BlipTrack i kontrollerte testen baserer seg på egne reisetider fra 16 enhetsturer med WiFi og 36 enhetsturer med blåttann. En må ta i betraktning at andel enheter med blåttann i dette tilfellet er unormalt høyt sammenliknet med normale forhold. Registreringer fra åpen test viser at nær 100 % av registrerte reisetider kommer fra WiFi-enheter. Dette betyr at folks enheter sjelden har aktivert blåttann, og at en må forvente at reisetider blir beregnet med overvekt av WiFi-registreringer.

Blåttannandelen fra åpen test er lavere enn forventet. I Hangzhou hadde mellom 2 - 3 % av alle syklistene aktive blåttannenheter (Mei et al., 2012). I tillegg viste registreringer fra andre perioder hvor enhetene var operative, at blåttannandelen blant BlipTracks registrerte reisetider var mellom 5 % og 10 %. Hvis en legger til grunn penetrasjonsraten fra pilottesten på 20 %, vil dette antyde at mellom 1 % og 2 % av syklistene i Trondheim sykler med aktiv blåttann på sine enheter. Erfaringer fra litteraturstudien viser også at selv ved registrering av biler, som ofte har innebygde blåttannenheter og holder høyere hastighet enn syklistene, vil registreringer fra WiFi-enheter være i flertall (Y. Wang et al., 2014). Blåttannandelen vil likevel være hastighetsavhengig på grunn av at hastigheten påvirker antall registreringer av WiFi-enheter mer enn blåttannenheter. Dette er igjen på grunn av blåttanns frekvenshopping, som gjør blåttannenheter raskere å oppdage.

Det er grunn til å tro at kontrollert test kan ha gitt andre resultater enn det som kan forventes i virkelig sykkeltrafikk da andelen blåttannenheter trolig var høyere enn vanlig. I tillegg er antallet WiFi registreringer så lavt til at gjennomsnittsverdien fra disse registreringene er forbundet med stor usikkerhet.

5.5.3 Avvik mellom BlipTrack og manuelle registreringer

Forskjellen mellom registreringer foretatt med WiFi og blåttann i den kontrollerte testen ble presentert i figur 23 og i sensorenes fordeling av avvik mellom registreringer i figur 24 og figur 25. Avvikene fra registreringene gjort med WiFi er tydelig mer spredt enn avvikene gjort med blåttann. For blåttann kan det ses at de fleste passeringene blir registrert rundt få sekunders avvik fra virkelig passeringstidspunkt. 78 % av alle registrerte passeringer ble gjort innenfor 7 sekunders feilmargin. Dette samsvarer med funn i litteraturstudien hvor en kom fram til at 80 % av passeringsregistreringene ble gjort innenfor 100 meter av sensorene (Araghi et al., 2013). Ved et større datasett forventes det at avvikene fra WiFi-registreringene også fordeler seg med tyngdepunkt rundt få sekunders avvik, men antall registreringer fra den kontrollerte testen er for få for å kunne observere dette.

Det observeres en liten forskjell i fordelingene av avvik mellom sensorenes registreringer og manuelle registreringer av sensorpassering. Sensor øst ser ut til å ha flere registreringer med ingen eller ett sekunders avvik enn sensor vest. Dette kan være på grunn av plassering og forholdene rundt sensorene som kan forstyrre eller reflektere signaler. Blant annet står sensor vest i en slak sving, mens sensor øst står langs en rett strekning. Forskjellen kan også basere seg på tilfeldigheter på grunn av et lite datagrunnlag.

Standardavviket er større for BlipTracks registrerte reisetider enn for manuelt registrerte reisetider. Dette er antakeligvis forbundet med rekkevidden til BlipTrack på minst 100 meter for både WiFi og blåttann. Denne rekkevidden medfører at reisende blir registrert med en tilnærmet normalfordeling innenfor tiden det tar å sykle 100 meter. For blåttannregistreringer av kjøretøy fant Araghi et al. (2013) at rekkevidden noen ganger kunne være så lang som 200 meter. Samtidig ble det påvist at minst 80 % av alle registreringer ble foretatt innenfor 100 meter og 60 % innenfor 50 meter for blåttannfunksjonen til BlipTrack. For WiFi har ingen liknende studier blitt gjennomført for BlipTrack, men det bør kunne forventes større spredning blant reisetidene og større standardavvik for WiFi da denne teknologien som nevnt registrerer enheter saktere enn blåttann.

I rushperiodene fra den åpne testen hadde BlipTracks gjennomsnittlige og medianbaserte reisetider under 5 % avvik fra tilsvarende manuelt registrerte verdier. Dette avviket er mindre enn avvik fra studier som har registrert reisetider fra biltrafikk med WiFi (Y. Wang et al., 2014). Dette er som forventet da registrering av enheter er fartsavhengig, og biltrafikk har som regel en høyere hastighet enn sykkeltrafikk.

Gjennomsnittlig absolutt reisetidsavvik fra blåttannregistreringer i kontrollert test var 4.3 sekunder. Dette er i samme størrelsesorden som andre studier hvor blåttann er benyttet til å registrere reisetider fra syklistere (Mei et al., 2012). Mei et al. (2012) benyttet lengre observasjonstrekninger på over 2 km, slik at gjennomsnittlig absolutt prosentavvik ble mindre enn resultatene fra pilotstudien.

Den kontrollerte testen ga gjennomsnittlig absolutt prosentavvik på 14.5 % for registreringer fra WiFi og 4.2 % for registreringer fra blåttann. Forskjell i WiFi og blåttanns nøyaktighet bekreftes også i litteraturstudien (Y. Wang et al., 2014) og i teoridelen. Blåttann forventes å være mer nøyaktig enn WiFi fordi WiFi bruker lengre tid på å registrere enheter. Blåttannenheters posisjon blir normalt registrert flere ganger ved passering av en sensor, og de mest optimale posisjonene kan dermed benyttes ved utregning av reisetid. WiFi, som ofte bare registrerer enheters posisjon 1 eller 2 ganger i løpet av passering av sensor får naturlig nok ikke like god nøyaktighet på enkeltobservasjoner.

Strekningens lengden er et forhold som fort kan få innvirkning på resultatene. Teorien tilsier at jo lenger strekning man har mellom sensorene, jo mindre prosentvis avvik kan det forventes. Ved korte strekninger trenger en også flere registrerte reisetider enn på lange strekninger for å få et representativt gjennomsnitt. Avstanden som ble benyttet på 550 meter i pilotstudien var vesentlig kortere enn andre studier (Mei et al., 2012, Y. Wang et al., 2014), men samtidig har også noen studier brukt samme avstand (Araghi et al., 2012). Hvis en skal oppnå like resultater som en har oppnådd i pilotstudien er det viktig at strekningens lengden er like lang eller lengre. Med lengre strekning vil registreringsfeilen ha mindre betydning, og en kan forvente mindre prosentvis gjennomsnittlig avvik.

5.5.4 Andre bemerkninger fra pilotstudien

Filtreringshastigheten som ble benyttet i den åpne testen på 13 km/t, var basert på erfaringer fra Overå (2013) som blant annet studerte syklisters adferd langs en sykkelveg. I pilotstudien er denne grenseverdien antatt å være gyldig til tross for at teststrekningen benytter en annen trasé med noe ulike forhold. Det er liten grunn til å tro at denne filtreringshastigheten inkluderte fotgjengere. Likevel kan den ha inkludert noen av de få joggende som ble observert eller ekskludert syklende som har holdt lav fart eller tatt pauser på veien. Eventuelle feil som kan ha oppstått ved utvalg av denne grenseverdien antas å ikke kunne ha stor betydning for resultatene fra den åpne testen.

Mens de manuelle registreringene ble gjennomført under den åpne testen, var pågangen av syklistene enkelte ganger så stor at noe informasjon kan ha blitt utelatt fra de manuelle registreringene. Det er også en mulighet for at enkelte forbikjøringer kan ha forekommet uten at dette har blitt identifisert. Til tross for at noe informasjon og forbikjøringer kan ha blitt oversett oppfattes det at slike tilfeller kun vil kunne innvirke minimalt for det samlede resultatet, samt også lite for enkeltregistreringene.

Plasseringene av observatørene for den åpne testen ble valgt med et ønske om ikke å bli spesielt lagt merke til av forbi passerende. Årsaken til dette var at plasseringer som tiltrakk seg mye oppmerksomhet kunne påvirke syklistenes naturlige opptreden og hastighet. Til tross for ønsket om ikke å bli lagt merke til, ble plasseringen av observatør på østsiden av Stavne bru nære sykkeltraseen. Dette skyldte at det ikke fantes mange alternativer på denne siden av brua, da toglinje og gjerdekant var plassert tett inntil sykkeltraseen. På vestsiden ble observatør sittende 10-15 meter til siden for sykkelvegen og tiltrakk seg generelt lite oppmerksomhet. Unntatt et par tilfeller hvor enkeltreisende konfronterte observatøren på østsiden for å spørre om hva som foregikk, er det lite som tilsier at observatørene påvirket trafikken i vesentlig grad.

5.6 Konklusjon

Formålet med pilotstudien har vært å undersøke hvorvidt BlipTrack representerer reisetider for sykkeltrafikk på en pålitelig måte. Dette er gjort ved å studere BlipTracks penetrasjonsrate og nøyaktigheten til reisetidsregistreringer sammenliknet med manuelle reisetidsregistreringer. Videre er det undersøkt om reisetidene er like representative for WiFi-modulen som for blåtann-modulen av BlipTrack.

5.6.1 Påliteligheten til blåtann og WiFi i BlipTrack

Våre registreringer tyder på at BlipTrack gir tilfredsstillende resultater. Datagrunnlaget fra den åpne testen viste at med over 20 registreringer vil BlipTrack ha avvik på under 5 % for gjennomsnittlige og medianbaserte reisetider sammenliknet med virkelige reisetider. Med færre registreringer vil avviket bli større. Penetrasjonsraten for syklistene har vist seg å være rundt 20 % for syklistene. Det er viktig å påpeke at resultatene bare vil være fullt overførbare til andre lokasjoner hvis sensorene har like forutsetninger som i pilotstudien. Med like

forutsetninger menes distanse mellom sensorer, plassering langs vegkant og at antennene står i riktig retning.

I den kontrollerte testen ble det registrert et gjennomsnittlig absolutt reisetidsavvik fra manuelle registreringer på 14.8 sekunder for WiFi og 4.3 sekunder for blåtann med henholdsvis 16 og 36 registreringer. Dette stemmer godt med teorien om at presisjonen til blåtann er overlegen WiFi. Blåtannregistreringene hadde sjeldent store avvik, selv for enkeltregistreringer. Blåtann vil registrere færre syklistere enn WiFi, men de registreringene som blir foretatt vil ha små avvik fra syklistenes virkelige reisetid. Det konkluderes dermed med at blåtann generelt gir mer nøyaktige reisetider enn enkeltregistreringer med WiFi.

Fra den åpne testen ble det funnet at nærmest alle registrerte reisetider fra syklistere ble registrert med WiFi-modulen. Observasjoner fra andre registreringsperioder har vist blåtannandeler i BlipTrack på mellom 5 % og 10 % blant alle registrerte reisetider fra syklistere. Dette viser at WiFi er dominerende blant de to teknologiene når det kommer til å være påslått.

Som nevnt var avvikene mellom sann reisetid og registreringene fra BlipTracks WiFi-modul mindre hvis en ser på gjennomsnittlig reisetid for hele datagrunnlaget enn hvis en ser på gjennomsnittlig avvik for enkeltregistreringer. Dette samsvarer bra med teorien om at det oppstår en jevnere normalfordeling rundt den sanne gjennomsnittsverdien når antall registreringer øker. Samtidig viser dette hvor viktig det er å få mange nok registreringer.

Gjennomsnittlig reisetid registrert med BlipTrack i åpen test er ikke signifikant forskjellig fra manuelt registrert gjennomsnittlig reisetid. Sammen med vurderingene av observerte avvik, viser dette at WiFi-modulen også kan benyttes for å representere reisende med sykler på en pålitelig måte dersom tilstrekkelige mange reisende registreres. WiFi-modulen vil i mange tilfeller være høyst nødvendig for å få et tilstrekkelig antall registreringer blant syklistere, på grunn av den lave andelen av aktive blåtannenheter.

Resultatene tyder på at over 20 registrerte reisetider fra syklistere vil gi representative reisetider med avvik på under 5 %. Det vil likevel videre i masteroppgaven brukes krav om 40 registreringer på andre lokasjoner slik at en sikrer god nøyaktighet. På denne måten antas det at nøyaktigheten vil opprettholdes selv om det kan finnes andre lokasjonsspesifikke faktorer som kan virke negativt inn på nøyaktigheten.

Avvikene som en kunne se i åpen test på under 5 % ses på som små avvik som antas tålelig for de fleste formål ved registrering av syklist. Tidsintervallet det velges å se på vil være mindre vesentlig i denne sammenhengen gitt at det totale antall registreringer innenfor intervallet tilsvarer eller overstiger 20 registreringer. Eksempelvis kan trolig godt trafikkerte sykkeltraseer rapportere hastighetsnivå med timesintervaller for å kunne representere gjennomsnittshastigheter uten store feil. Samtidig bør kanskje mindre trafikkerte sykkeltraseer rapportere hastighetsnivåer så sjeldent som med 12-timers intervaller, eller 24-timers intervaller. I tillegg til antall syklist vil også lengden på traseen være viktig. På lange traseer har målefeilen mindre betydning, samtidig som reisetiden fra syklist til syklist vil variere mer. Derfor er det viktig å være klar over at spredningen om middelveiden antakeligvis vil være større på lange traseer.

5.6.2 Gjennomsnittsverdi og medianverdi

En kan ikke si noe om hvilken av disse verdiene som er best til å representere reisetider, fordi de er forskjellige størrelser. For å beregne gjennomsnittsverdier bør en først filtrere bort ekstremverdier som ikke er representative, mens medianverdier vil legge mindre vekt på slike ekstremverdier. For store datasett antas gjennomsnittlig reisetid og reisetidens median å være tilnærmet lik. Sammenliknet med reelle verdier gir BlipTrack god nøyaktighet for både medianverdier og gjennomsnittsverdier. Videre i masteroppgaven presenteres for øvrig både gjennomsnittsverdier og medianverdier for hastighet og reisetid.

5.6.3 Sluttvurdering

Alt i alt viser pilotstudien at BlipTrack vil gi pålitelige reisetider, og at sensorene er egnet til å registrere reisetider fra syklist. Kvaliteten på BlipTracks reisetidsregistreringer kan likevel variere fra lokasjon til lokasjon. Interferens, refleksjoner og hindringer kan også påvirke registreringene på hver sin måte. Så lenge sensorene plasseres på samme måte i oversiktlige punkter på andre lokasjoner antas det likevel at resultatene fra pilotstudien er overførbar. Teorien tilsier at det er mye som skal til før resultatene påvirkes negativt i stor grad, da dekningsgraden og rekkevidden til BlipTrack generelt anses som god. Vår vurdering er at så lenge sensorenes plassering er lik med tanke på oversikt, hindring og avstand, så vil systemet levere resultater med tilsvarende nøyaktighet eller bedre enn hva som er vist i pilotstudien. Dette forutsetter at et tilsvarende antall registreringer, eller flere, ligger til grunn for beregninger.

6 Syklisters fartsnivå i stigninger

For å undersøke hvordan stigning virker inn på syklisters hastighetsnivå ble tre WiFi- og blåtannsensorer brukt til innsamling av hastighetsdata. Dette kapitlet beskriver hvordan datainnsamlingen har blitt planlagt og gjennomført. Resultatene fra datainnsamlingen presenteres og diskuteres, og det blir konkludert med hvordan stigning virker inn på syklisters hastighetsnivå.

6.1 Observasjoner

6.1.1 Planlegging

I forkant av registreringene var det vesentlig å planlegge nøye hvor registreringene skulle foretas. I hovedsak gikk planleggingen ut på valg av lokasjoner for sensorene ved å vurdere ulike forhold. I det følgende kommenteres de forholdene som ble vurdert under planleggingen av registreringene.

Isolering og antakelser

Litteraturundersøkelsen viser at mange faktorer spiller inn på syklisters reisetid og hastighet. Disse faktorene har ulik innflytelse på hastigheten men opptrer gjerne i kombinasjon med hverandre. Det er derfor sjeldent at innflytelsen fra hver enkelt faktor kan studeres isolert fra andre faktorer. Videre varierer innflytelsen til de fleste faktorer mellom individer. De mest interessante faktorene er derfor de som påvirker flest mulig uavhengig av individuelle forutsetninger. Andre faktorer som påvirker sykkelhastighet, eksempelvis fysisk form og sykkelens kvalitet, er mindre interessante og vanskelig å ta hensyn til i en kvantitativ studie.

I denne oppgaven ser en på hvordan hastighet endrer seg for ulike stigninger. Stigning er interessant da det er en konkret faktor som enkelt kan observeres, samtidig som den naturlig nok har innflytelse på sykkelhastighet. Ved tilretteleggelse av sykkeltraseer har planleggere også en viss mulighet til å påvirke stigningsforløpet. Et resultat som viser sammenhengen mellom stigning og hastighet kan dermed få en direkte nytteverdi i prosjektering av sykkeltraseer.

Å studere helt isolerte faktorer er vanskelig, men trolig også unødvendig. Det antas at påvirkning av hastigheter er så komplekst sammensatt av ulike faktorer at å observere faktorer fullstendig isolert har liten praktisk nytteverdi utenom eventuelle laboratoriske forsøk. I praksis vil det optimale være å finne observasjonsstrekninger med så like forhold som mulig, med unntak stigning som en ønsker å studere effekten av. Samtidig er det nødvendig å identifisere de mest betydningsfulle faktorene som vanskelig kan isoleres vekk. På denne måten kan resultatene vurderes i lys av disse.

Stigning er en faktor de fleste som sykler i Norge har et forhold til. Alle syklistene vet at når man sykler i oppoverbakke bruker man mer energi og hastigheten blir lavere. I en nedoverbakke er forholdet motsatt ved at energiforbruket er lavere, noe som resulterer i at mange ofte sykler raskere. Dette er også forklart med bakgrunn i fysiske lover i delkapittel 4.3.1.

Det ønskes å undersøke om det finnes noen grenseverdier hvor hastigheter slutter å følge en generell trend. Det forventes eksempelvis å finne en slik grenseverdi i nedoverbakker når bakken blir tilstrekkelig bratt og tregere hastigheter blir valgt av sikkerhetsmessige årsaker. For oppoverbakker forventes det på samme måte at hastigheten til syklistene vil grense mot fotgjengerhastighet når bakkene blir tilstrekkelige bratte.

God kunnskap for hastigheter i ulik stigning kan hjelpe planleggere å tilrettelegge bedre sykkelveger der hvor stigning er uunngåelig. Dersom det eksempelvis oppdages at sykkelhastigheter over ulik stigning ikke er linjert, kan det godt hende at reisetider kan minimeres ved å bygge lengre, men slakere sykkelveger. En oversikt over sykkelhastigheter for ulik stigning vil dermed kunne brukes til å optimalisere stigningsforløpet i en bakke.

Ut fra disse forventningene planlegges det at syklisters hastigheter skal registreres både i nedoverbakker og oppoverbakker. Det ønskes primært å undersøke stigningsnivåene mellom 0 % - 5 %, fordi det antas at disse er mest vanlige i sykkelnettet i Norge. Likevel inkluderes hastigheter fra enkelte brattere strekninger for å se om grenseverdier for hastigheter kan identifiseres ved brattere stigninger.

Det ønskes primært å samle inn data fra ukedager, det vil si dagene fra mandag til fredag. Data fra helgedager vil ikke bli analysert fordi det antas at oppførselen i trafikken kan være annerledes i helgen enn i ukedagene. Blant annet forventes det en overvekt av rekreasjonsturer i helgen. Videre er det ønskelig å gjøre registreringer av sykkeltrafikken på

lik periode av året. Ved vinterstid forventes det også at syklistene oppfører seg annerledes, i tillegg til at kun de ivrigste syklister sykler om vinteren.

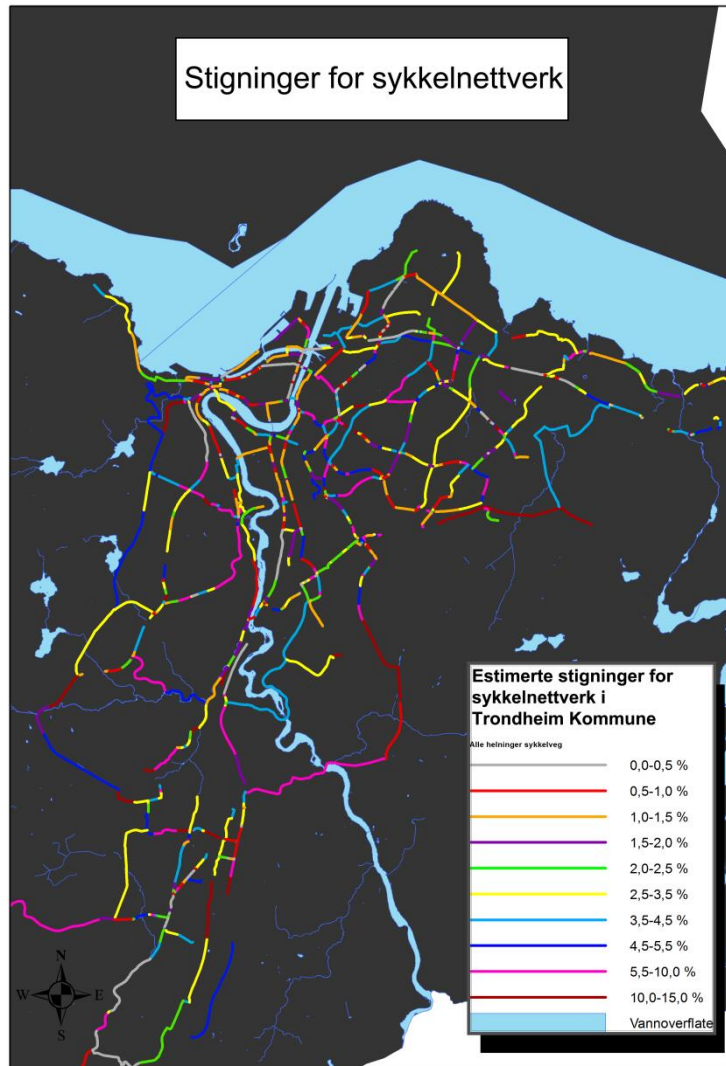
Fra litteraturundersøkelsen fant en ut at det var få studier som hadde fokusert på været's betydning på sykkelhastighet. Været ble derfor sett på som en interessant faktor fordi det fantes liten kunnskap på dette området. Det vil ikke være blant hovedfokusene i oppgaven å identifisere været's betydning, men en vil prøve å si noe om dette ut ifra datagrunnlaget som er samlet inn til pilotstudien og stigningsanalysen hvis det lar seg gjøre.

Utvelgelse av observasjonsstrekninger

For å finne ønskede strekninger med forskjellige stigninger i sykkelvegnettet i Trondheim ble GIS-programvaren *ArcMap* benyttet. Kartdata som hadde høydeinformasjon om Trondheims sykkelvegnett eksisterte ikke fra før. Kartfiler med et oppdatert sykkelvegnett ble innhentet fra Trondheim kommune. For å få informasjon om sykkelveggenes høyde over havet ble disse kartfilene kombinert med kartdata fra Kartverkets FKB (Felles kartbase).

Sykkelveggenes høyde ble ved hjelp av *ArcMap* tatt fra veg-objekter i fagområdet Vegsituasjon fra FKB. Dette ble gjort ved å manuelt føre alle sykkelvegnoder over til en nærliggende veg-flate med høydeinformasjon. På denne måten fikk nodene automatisk samme høyde som veg-flater. Sykkeltraseer som ikke lå i nærheten av en veg vil derfor mangle høydedata og er dermed ikke med i analysen. Tilfeller hvor det var nødvendig å utelate sykkeltraseer med bakgrunn i manglende høydedata var relativt få, slik at et nærmest komplett sykkelvegnett fra Trondheim fikk estimerte stigninger. En illustrasjon som viser hvordan sykkelvegnettet ble inndelt i ulike stigningsintervaller kan observeres i figur 28, samt i et større format i vedlegg E.

Stigninger er gitt som gjennomsnittlig stigning over linjene i kartet. Den varierende avstanden på linjene forklares med at sykkelveggen i kartgrunnlaget fra Trondheim kommune antakeligvis var lagt inn manuelt. Størrelsen på de laveste stigningsintervallene er finere inndelt, med halve prosent, enn de øvre intervallene, da langt flere traseer har lavere stigninger.



FIGUR 28 – SYKKELVEGNETTET I TRONDHEIM INNDELTE ETTER ULIKE STIGNINGSINTERVALLER

Siden figur 28 baserer seg på høydedata fra nærliggende bilveger, og kartet viser gjennomsnittsstigninger over forskjellige lengder, har kartet varierende nøyaktighet. Likevel var kartet et godt utgangspunkt til utvelgelse av strekninger som kunne være aktuelle til befarings.

For å velge ut de aktuelle strekningene for registreringer av syklistene ble hvert enkelt stigningsintervall studert. I vedlegg F, del I, er stigningene fra 0 % til 10 % fremstilt som de eneste synlige traseene av sykkelnettverket i 6 ulike kart. Ved å studere disse kartene har aktuelle lokasjoner blitt nominert basert på 3 ulike antagelser: 1: Det antas at tilstrekkelig mange syklistene benytter traseen. 2: Det antas at eventuelle bilister holder høyere hastighet enn syklistene eller at syklistene enkelt kan isoleres vekk fra bilistene langs strekningen.

Og 3: Det antas at stigningen er jevn over den gitte strekningen. De nominerte lokasjonene, basert på antagelsene, kan observeres som innrammede områder for hvert stigningsintervall i vedlegg F, del I. Videre ledet egne erfaringer, sammen med en diskusjon med lokalkjente til en ytterligere innsnevring av mulige lokasjoner som skulle befares nærmere.

I tabell 13 oppsummeres strekningene som fremsto som mest aktuelle å befare fordelt på de forskjellige stigningsintervallene. Under befaringene ble det brukt GPS for å kontrollere de estimerte stigningsprosentene på de ulike strekningene. Samtidig ble andre forhold som strekningslengde, filtreringsmuligheter, sensorplassering, biltrafikk, sykkeltrafikk og sykkelinfrastruktur nøye vurdert. GPS-målingene, sammen med andre vurderinger fra befaringene er dokumentert i vedlegg F, del II og del III. Strekningene som skulle bli benyttet til registrering av syklistere ble til slutt valgt basert på befaringene. De utvalgte lokasjonene finnes i tabell 13.

TABELL 13 - AKTUELLE STREKNINGER SAMT ENDELIG BESTEMT OBSERVASJONSSTREKNING FOR HVER ENKELT STIGNING

Estimert stigning	Befaringsstrekninger (se kart i vedlegg F, del 1)	Valgt strekning basert på befaring (se dokumentasjon i vedlegg F, del II og III)	Faktisk stigning
0 %	Tempevegen - Teknobyen Innherredsveien (langs Rosendal)	Tempevegen til Teknobyen	0.5 %
1 %	Klæbuveien, Teknobyen - Finalebanen Frode Rinnans veg (Moholt) Strandveien (Svartlamoen)	Teknobyen - Finalebanen	0.8 %
2 %	Osloveien (sør for Sluppen bru) Kong Øysteins veg (Valentinlyst) Njords veg (langs E6)	Tempevegen (ikke med i nominasjon)	2.0 %
3 %	Osloveien (nord for Sluppen bru) Bjørndalen (sør for Bjørndalsbrua) Gamle Oslovei (Byåsen butikksenter)	Bjørndalen	2.6 % og 3.2 %
4 %	Bjørndalen (ved Heimdal sentrum) Leirfossvegen (langs Nidelven)	Ingen gode beliggenheter	-
5 %	Jonsvannsveien (fra kryss med Eidsvoll's gate) Roald Amundsens vei	Byåsveien (ikke med i nominasjon)	5.4 %
5 - 10 %	Breidablikkveien Grusveg Dybdahls veg – Moholt (Ikke med i kartdata)	Breidablikkveien	9.2 %

Enkelte av de utvalgte lokasjonene var ikke identifisert som aktuelle registreringsstrekninger i kartene over sykkelvegnettverket før befaring med GPS. Dette gjelder Tempevegen nord for Sluppen bru, grusvegen fra Dybdahls veg og Byåsveien. Alle begrunnelsene for valg av strekning er dokumentert mer detaljert i vedlegg F, del III.

Til tross for at det har vært forsøkt å isolere stigning som den dominerende faktoren for sykkelhastigheten så vil likevel andre forhold kunne påvirke hastigheten betraktelig. Faktorer som identifiseres som vesentlige for hver strekning beskrives nærmere i delkapittel 6.1.3.

6.1.2 Praktisk bruk av BlipTrack i masteroppgaven

BlipTrack-sensoren har blitt benyttet til innsamling av reisetider på de forskjellige valgte strekningene. Bruken av BlipTrack har endret seg noe underveis i prosjektarbeidet. I starten av prosjektet ble BLIP Systems i Danmark underrettet for hver lokasjon sensorene ble plassert. Dette var nødvendig for at brukergrensesnittet på BlipTracks nettside ville oppgi riktige reisetider og hastigheter. I tillegg ble BlipTracks filtreringsmetoder aktivert av BLIP Systems. Underrettingen av nye posisjoner var en tidkrevende prosess, da et dokument med utfyllende informasjon om nye lokasjoner var påkrevd. Etter å ha omplassert sensoren to ganger fant en ut at det ville være mindre tidkrevende om beregninger og filtreringer ble gjort på egenhånd manuelt. BLIP Systems laget derfor et generelt oppsett i brukergrensesnittet, slik at ufiltrerte reisetider kunne lastes ned. Etter at denne endringen ble gjennomført, kunne sensorene flyttes uten at nye posisjoner måtte meldes inn til BLIP Systems. Registreringer har blitt hentet fra nettsiden og analysert manuelt med egne filtreringer. Selv om det tok tid å opprette en metodikk i regneprogrammet Excel for ulik filtrering, så gikk arbeidet med datainnsamling og databehandling lettere i etter hvert.

Sensorene benyttet fritidsbatterier som varte omtrent 6 døgn før de ble utladet. Det ble tidlig oppdaget at dersom batteriet gikk tomt kunne sensorens internettkonfigurasjon bli slettet. Dette var et problem fordi sensorene da måtte kobles til en fast internettforbinding for å gjenopprette konfigurasjonen. Dette var tidkrevende, og registreringer måtte utsettes på grunn av dette.

For å forhindre problemer knyttet til batteriet ble strømtilførselen dermed rullert på ved hjelp av to sett batterier som måtte byttes senest hvert femte døgn. Av praktiske grunner ble sensorene dermed som oftest flyttet i forbindelse med bytting av batterier. Sensorene ble aldri

flyttet før det var kontrollert at et tilstrekkelig antall registreringer var foretatt, med bakgrunn i anbefalinger fra pilotstudien.

Flytting av sensorer var en viktig, men tidkrevende prosess. Mens sensorene ble flyttet, ble det ikke registrert data for noen av lokasjonene. Det var derfor et ønske om å flytte sensorene på et tidspunkt det ikke var mange registreringer som kunne gå tapt. Flyttingen av sensorene ble dermed som regel foretatt på natten en gang mellom klokken 00.00 og klokken 03.00. Hver gang sensorene ble satt opp et nytt sted ble det gamle batteriet erstattet med et fulladet batteri. Det ble så kontrollert om det var strøm på sensorene og om sensorene var aktive ved at alle diodelys blinket på korrekt vis. Dette var nødvendig å kontrollere, da det hendte at lysene ikke alltid blinket riktig på første forsøk. Dersom diodelysene ikke lyste stabilt var det som regel tilstrekkelig å omkoble strømtilkoblingen én gang og fullføre riggingen.

Etter å ha brukt nettsiden til BlipTrack en stund og ha blitt vant til de ulike funksjonene som fantes, ble det enkelt og raskt å laste ned ønsket reistidsdata. Data som ble benyttet fra registreringene var: tidspunkt for innregistrering, tidspunkt for utregistrering, kryptert MAC-adresser, sensornummer inn, sensornummer ut, teknologitype og til slutt reisetid. Disse datatypene ble brukt til ulike formål. Tidspunktene for innregistrering ble brukt til å sortere registreringene i kronologisk rekkefølge, mens tidspunkt for utregistrering kun ble brukt til kontroll av reisetid.

De krypterte MAC-adressene kunne bli brukt til lokasjonsfiltrering. Dette ble i praksis gjort ved at MAC-adressen til en enhet måtte passere en tredje sensor som stod på en dedikert sykkelveg for at enhetens reisetid mellom de 2 andre sensorene skulle være gyldig. Sensornumrene ble brukt til å kontrollere at vi hadde tatt ut riktig data fra hjemmesiden til BlipTrack. For å se om det var blåtann-enheter eller WiFi-enheter som var blitt registrert ble data for teknologitype brukt. Reisetidene dannet grunnlaget for å beregne hastigheter.

6.1.3 Gjennomføring av registrering

Det er foretatt registreringer av syklistere på 7 ulike strekninger. På alle strekningene er sensorer fra BlipTrack benyttet. Sensorene har ID 3111, 3112 og 4053. Manuelle registreringer er også benyttet hvor en er usikre på hastighetsgrenser til filtrering eller hvor registreringene fra BlipTrack har vært usikre eller mangelfulle. Monteringen av sensorene er gjort i henhold til leverandørens anbefalinger, og det har vært forsøkt å tilrettelegge like forhold, slik som i pilotstudien.

I følgende delkapittel vil hver enkelt observasjonsstrekning beskrives. Værforhold er presentert som gjennomsnittlige døgnverdier¹ om ikke annet er oppgitt. Stedskoder for sensorenes nøyaktige plasseringskoordinater finnes i vedlegg F, del II. Trafikkmengdene baserer seg på data fra Nasjonal vegdatabank².

Informasjon om hvilken filtrering som er brukt for å skille syklistene fra andre trafikanter blir også spesifisert for hver strekning. Filtreringsmetoder som har blitt brukt er lokasjonsfiltrering og fartsfiltrering. En detaljert begrunnelse til hvordan filtreringsgrenser for hastighet er valgt finnes i vedlegg G. I tilfeller hvor bare fartsfiltrering har blitt brukt har også blåtann-andeler blitt brukt som støtte til å velge filtreringsgrenser. Det er forventet at blåtann-andelen av BlipTracks registreringer ligger på rundt 10 % for sykkeltrafikk. Dette er basert på egne observasjoner av syklistene fra pilotstudien på strekningen over Stavne bru. Det antas at hvis det blir gjort registreringer som har blåtannandeler høyere enn dette, vil datasettet også inkludere en del biler. Filtreringsgrensene har dermed blitt justert slik at blåtannandelene for registreringene ikke ble unormalt høye i forhold til generell sykkeltrafikk.

Tabell 20 oppsummerer viktig karakteristikk fra hver strekning. Det vises også et bilde av hver strekning og samt kart med sensorplassering. Inkluderte stedskoder henviser til nøyaktige koordinatplasseringer i vedlegg F, del II.

¹ Værdata fra yr.no, levert av Meteorologisk institutt og NRK

² Data under norsk lisens for offentlige data (NLOD) tilgjengeliggjort av Statens vegvesen.

Strekning 1: Teknobyen



FIGUR 29 - KART OG EKSEMPELBILDE FRA STREKNING 1 TEKNOBYEN

TABELL 14 – STREKNINGSKARAKTERISTIKK FOR STREKNING 1 TEKNOBYEN

Registreringsperiode:	Torsdag 10. april kl. 0700 – fredag 11. april kl. 0700
Stedskoder benyttet: (se vedlegg F, del II)	Sensor 3112: Tmp 3 Sensor 3111: Udb 2
Strekningsslengde	765 m
Stigning:	0.5 %
Værforhold:	5.7 °C, 0.0 mm nedbør, overskyet
Sykkelinfrastruktur:	Varierende: sykkelveg med fortau og felles GS-veg.
Trafikk:	Parallelt med lavtrafikkert adkomstveg. Fotgjengere på eget fortau.
Forhold før oppoverbakke	Like stigningsforhold
Forhold før nedoverbakke	Like stigningsforhold, vegkryss rett før sensor.
Filtrering	Lokasjonsfiltrering, fartsfiltrering
Grenser fartsfiltrering (se vedlegg G)	Positiv og negativ stigning: Øvre: 40 km/t. Nedre: 13 km/t.
Annet:	Sykkelvegen går i en undergang dedikert for fotgjengere og syklist

Strekning 2: Finalebanen



FIGUR 30 - KART OG EKSEMPELBILDE FRA STREKNING 2 FINALEBANEN

TABELL 15 - STREKNINGSKARAKTERISTIKK FOR STREKNING 2 FINALEBANEN

Registreringsperiode:	Torsdag 10. april kl. 0700 – fredag 11. april kl. 0700
Stedskoder benyttet: (se vedlegg F, del II)	Sensor 3111: Udb 2 Sensor 4053: Udb 3
Strekningsslengde	470 m
Stigning:	0.8 %
Værforhold:	5.7 °C. 0.0 mm nedbør, overskyet
Sykkelinfrastruktur:	Variierende: sykkelveg med fortau og sykkelfelt.
Trafikk:	Sykkelfelt i trafikkert adkomstveg 30 km/t. ÅDT 1000. Fotgjengere på eget fortau.
Forhold før oppoverbakke	Like stigningsforhold
Forhold før nedoverbakke	Like stigningsforhold
Filtrering	Lokasjonsfiltrering, fartsfiltrering
Grenser fartsfiltrering (se vedlegg G)	Positiv og negativ stigning: Øvre: 40 km/t. Nedre: 13 km/t.
Annet:	Strekningen er stengt for gjennomkjøring av biler.

Strekning 3: Tempevegen



FIGUR 31 - KART OG EKSEMPELBILDE FRA STREKNING 3 TEMPEVEGEN

TABELL 16 - STREKNINGSKARAKTERISTIKK FOR STREKNING 3 TEMPEVEGEN

Registreringsperiode:	Torsdag 29. april kl. 0000 – 2400
Stedskoder benyttet: (se vedlegg F del, II)	Sensor 3112: Tmp 1 Sensor 3111: Tmp 2
Strekningsslengde	440 m
Stigning:	2 %
Værforhold:	2.8 °C. 2.6 mm nedbør, overskyet
Sykkelinfrastruktur:	Varierende: sykkelveg med fortau og felles gang- og sykkelveg
Trafikk:	Trafikkert bilveg med fartsgrense 50 km/t. ÅDT 4000. Fotgjengere på eget fortau.
Forhold før oppoverbakke	Noe flattere forhold.
Forhold før nedoverbakke	Sensoren står på en bakketopp, svak stigning før nedoverbakken.
Filtrering	Lokasjonsfiltrering, fartsfiltrering
Grenser fartsfiltrering (se vedlegg G)	Positiv stigning: Øvre: 30 km/t. Nedre: 10 km/t. Negativ stigning: Øvre: 40 km/t. Nedre: 15 km/t.
Annet:	Sykelveg adskilt fra bilveg med rabatt.

Sensor 4053 ble under registreringene i Tempevegen plassert lengre nord i Tempevegen hvor gjennomkjøring for biler var forbudt. Denne sensoren kunne dermed brukes til lokasjonsfiltrering.

Strekning 4 og 5: Bjørndalen

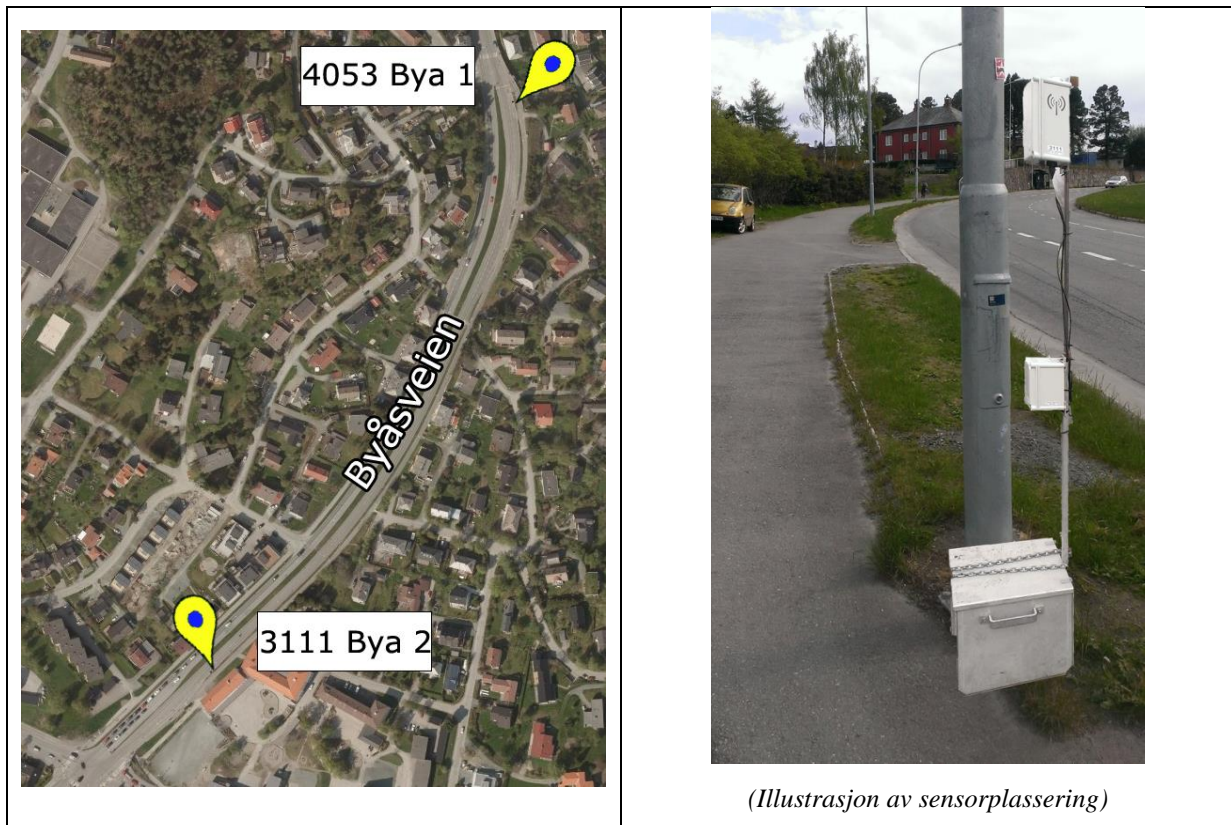


FIGUR 32 - KART OG EKSEMPELBILDE FRA STREKNING 4 OG 5 BJØRNDALEN

TABELL 17 - STREKNINGSKARAKTERISTIKK FOR STREKNING 4 OG 5 BJØRNDALEN

Registreringsperiode:	Fredag 30. april kl. 0000 - onsdag 7. mai kl. 2400
Stedskoder benyttet: (se vedlegg F del, II)	Sensor 3112: Bjd 3 Sensor 3111: Bjd 5 Sensor 4053: Bjd 6
Strekningsslengde	820 m og 1580 m
Stigning:	2.6 % og 3.2 %
Værforhold:	Varierende: fra 1.7 °C – 8.3 °C. Fra 0 – 9.4 mm nedbør.
Sykkelinfrastruktur:	Felles gang- og sykkelveg. Krappe kurver.
Trafikk:	Trafikkert bilveg med fartsgrense 50 km/t. ÅDT 3600.
Forhold før oppoverbakke	Noe slakere oppoverbakke
Forhold før nedoverbakke	Flatt parti på ca. 50 meter
Filtrering	Fartsfiltrering
Grenser fartsfiltrering (se vedlegg G)	Positiv stigning: Øvre: 28 km/t. Nedre: 10 km/t. Negativ stigning: Øvre: 45km/t. Nedre: 13km/t.
Annet:	Sykkelveg adskilt fra bilveg med gressrabatt

Strekning 6: Byåsveien



FIGUR 33 – KART OG EKSEMPELBILDE FRA STREKNING 6 BYÅSVEIEN

TABELL 18 – STREKNINGSKARAKTERISTIKK FOR STREKNING 6 BYÅSVEIEN

Registreringsperiode:	Torsdag 8. mai kl. 0000 – fredag 9. mai kl. 24.00
Stedskoder benyttet: (se vedlegg F del, II)	Sensor 4053: Bya 1 Sensor 3111: Bya 2
Strekningsslengde	470 m
Stigning:	5.4 %
Værforhold:	6.7 °C – 8.4 °C. 0mm nedbør.
Sykkelinfrastruktur:	Felles gang- og sykkelveg.
Trafikk:	Trafikkert bilveg med fartsgrense 50 km/t. ÅDT 12900.
Forhold før oppoverbakke	Like stigningsforhold. Smalt fortau på strekning før sensor.
Forhold før nedoverbakke	Noe slakere stigningsforhold.
Filtrering	Fartfiltrering
Grenser fartfiltrering (se vedlegg G)	Positiv stigning: Øvre:17 km/t. Nedre: 8 km/t. Negativ stigning: Ingen (manuelle registreringer)
Annet:	Gang- og sykkelveg adskilt fra bilveg med gressrabatt

Det ble også foretatt manuelle registreringer i Byåsveien fordi en ikke uten videre greide å skille syklistene fra andre trafikanter med bakgrunn i datagrunnlaget fra BlipTrack. Manuelle registreringer ga grunnlag for å sette grenser for filtreringshastigheter i oppoverbakken.

Resultatene fra nedoverbakken i Byåsveien vil bare være basert på manuelle registreringer. Dette er fordi mange syklistene syklet like fort som bilene, og en vil dermed ikke klare å filtrere bort bilene i dataene fra BlipTrack.

De manuelle registreringene av syklistene i oppoverbakken ble gjennomført tirsdag 20. mai kl. 1600-1700. Registreringer av syklistene i nedoverbakken ble gjennomført fredag 30. mai kl. 0730 - 0830.

De manuelle registreringene ble gjort ved å sammenlikne spesifikke karakteristika til alle syklistene som passerte registreringspunktene. Ved begge registreringspunktene ble følgende registrert: hjelmbruk, farge på plagg på overkropp, shorts eller bukse, kjønn og tidspunkt for passering. I tillegg ble det notert ned spesiell oppførsel eller spesielt høye eller lave hastigheter. Registreringene fra avpasseringspunktene ble senere matchet, og reisetider beregnet.

Strekning 7: Breidablikkveien



FIGUR 34 – KART OG EKSEMPELBILDE FRA STREKNING 7 BREIDABLIKKVEIEN

TABELL 19 - STREKNINGSKARAKTERISTIKK FOR STREKNING 7 BREIDABLIKKVEIEN

Registreringsperiode:	Mandag 12. mai kl. 0000 – fredag 16. mai kl. 24.00
Stedskoder benyttet: (se vedlegg F del, II)	Sensor 3111: Bre 4 Sensor 4053: Bre 3
Strekningsslengde	460 m
Stigning:	9.2 %
Værforhold:	6.0 °C – 10.4 °C. 7 mm nedbør fredag 16. mai, ellers 0.0 mm.
Sykkelinfrastruktur:	Felles gang- og sykkelveg.
Trafikk:	Trafikkert bilveg med fartsgrense 30 km/t. ÅDT 5600.
Forhold før oppoverbakke	Flatt parti i rundkjøring. Syklister må krysse veg.
Forhold før nedoverbakke	Like stigningsforhold. Sensor står like etter lyskryss.
Filtrering	Lokasjonsfiltrering, fartsfiltrering
Grenser fartsfiltrering (se vedlegg G)	Positiv stigning: Øvre: 15 km/t. Nedre: 6 km/t. Negativ stigning: Øvre: 50 km/t. Nedre: 13 km/t.
Annet:	Gang- og sykkelveg adskilt fra bilveg med gressrabatt

Sensor 3112 ble under registreringene i Breidablikkveien plassert lengre sør på en bro hvor bare syklist og fotgjengere kan ferdes. Denne sensoren kan dermed brukes til lokasjonsfiltrering hvis ønskelig.

Det ble også foretatt manuelle registreringer i Breidablikkveien, da det ellers ville ha blitt vanskelig å skille syklist fra fotgjengere og biler i datagrunnlaget fra BlipTrack. Manuelle registreringer ga grunnlag for å sette grenser for filtreringshastigheter i oppoverbakken.

Oppsummering av lokasjoner

Tabell 20 viser alle strekningene det har blitt foretatt registreringer fra. På alle strekningene har BlipTrack-sensorer blitt benyttet, men i Byåsveien og i Breidablikkveien har også manuelle registreringer blitt utført.

TABELL 20 - OPPSUMMERING AV KARAKTERISTIKK FOR REGISTRERINGSLOKASJONER

Nr	Sted	Dato	Lengde strekn.	Stign. %	Sykel- infrastruktur	ÅDT langs trasé	Filtrering
1	Teknobyen	10.04 - 11.04	765 m	0.5	GS-veg og sykkelveg med fortau	Veldig liten (egen obs.)	Lokasjon og fart
2	Finalebanen	10.04 - 11.04	470 m	0.8	Sykkelfelt og sykkelveg med fortau	1000	Lokasjon og fart
3	Tempevegen	29.04	440 m	2	GS-veg og sykkelveg med fortau	4000	Lokasjon og fart
4	Bjørndalen nord	30.04 - 07.05	820 m	2.6	GS-veg	3600	Fart
5	Bjørndalen sør	30.04 - 07.05	1580 m	3.2	GS-veg	3600	Fart
6	Byåsveien	08.05 - 09.05	470 m	5.4	GS-veg	12900	Fart
7	Breidablikk-veien	12.05 - 16.05	460 m	9.2	GS-veg	5600	Lokasjon og fart

6.2 Resultater

Dette delkapitlet presenterer de viktigste resultatene fra registreringene.

6.2.1 Stigning

Det ble til sammen gjennomført registreringer av sykkelhastigheter på 7 lokasjoner ved bruk av BlipTrack. Antall registrerte sykler per lokasjon varierte fra 51 til 310 registreringer, da sykkeltrafikken var av ulik størrelse på de forskjellige strekningene. Registreringsperiodene har også ulik lengde. Resultatene baserer seg bare på data fra ukedager, selv om sensorene i noen perioder også har samlet inn data fra lørdag og søndag.

For hver lokasjon ble sykkeltrafikk registrert med BlipTrack i begge retninger, med unntak av lokasjonen i Byåsveien. I Byåsveien var det nødvendig å benytte manuelle registreringer i negativ stigning da det var vanskelig å filtrere bort bilister på denne strekningen. En oversikt over gjennomførte registreringer er gitt i tabell 21.

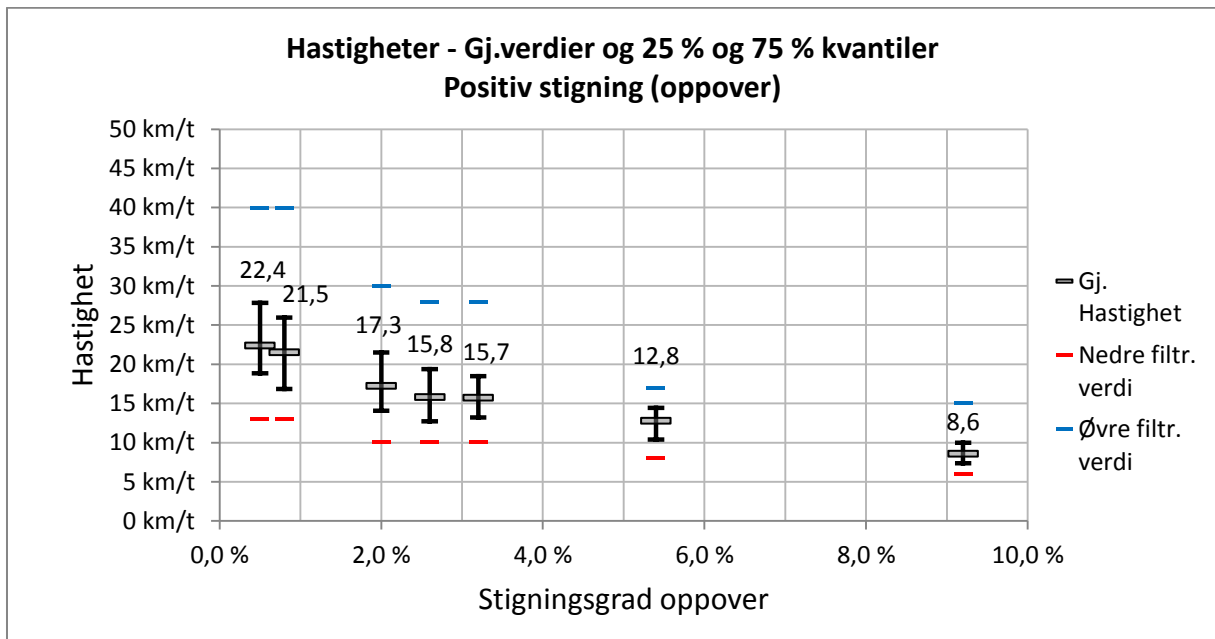
TABELL 21 - GJENNOMFØRTE REGISTRERINGER I ULIKE STIGNINGER

POSITIV STIGNING (OPPOVER)									
Plasseringsspesifikasjoner				Registreringer			Hastigheter [km/t]		
Sted	Dato	Strekn- lengde	Stign. (%)	Antall	Andel BT	Andel WiFi	Gj. Hast.	Median Hast.	Std. Avvik
Tekno byen	10.04	765	0.5	265	22 %	78 %	22.4	23.0	6.8
Finalebanen	10.04	470	0.8	185	24 %	76 %	21.5	22.9	6.6
Tempevegen	29.04	440	2	51	10 %	90 %	17.3	17.6	5.3
Bjørndalen (nord)	30.04- 07.05	820	2.6	307	13 %	87 %	15.8	16.3	4.3
Bjørndalen (sør)	30.04- 07.05	1580	3.2	310	16 %	84 %	15.7	16.1	3.8
Byåsveien	08.05- 09.05	470	5.4	269	9 %	91 %	12.8	13.8	2.5
Breidablikk- veien	12.05- 16.05	460	9.2	75	15 %	85 %	8.6	8.6	2.2
NEGATIV STIGNING (NEDOVER)									
Plasseringsspesifikasjoner				Registreringer			Hastigheter [km/t]		
Sted	Dato	Strekn- ings- lengde	Stigni ng (%)	Antall	Andel BT	Andel WiFi	Gj. Hastig het	Median Hastigh et	Std. Avvik
Tekno byen	10.04	765	0.5	181	18 %	82 %	21.3	22.0	6.1
Finalebanen	10.04	470	0.8	130	17 %	83 %	22.7	23.2	7.1
Tempevegen	29.04	440	2	67	9 %	91 %	27.3	28.8	6.0
Bjørndalen (nedre)	30.04- 07.05	820	2.6	252	19 %	81 %	29.6	32.4	7.8
Bjørndalen (øvre)	30.04- 07.05	1580	3.2	187	25 %	75 %	30.3	34.1	8.6
Byåsveien*	08.05- 09.05	470	5.4	50	-	-	36.5	37.6	6.3
Breidablikk- veien	12.05- 16.05	460	9.2	115	18 %	82 %	30.2	36.0	8.9

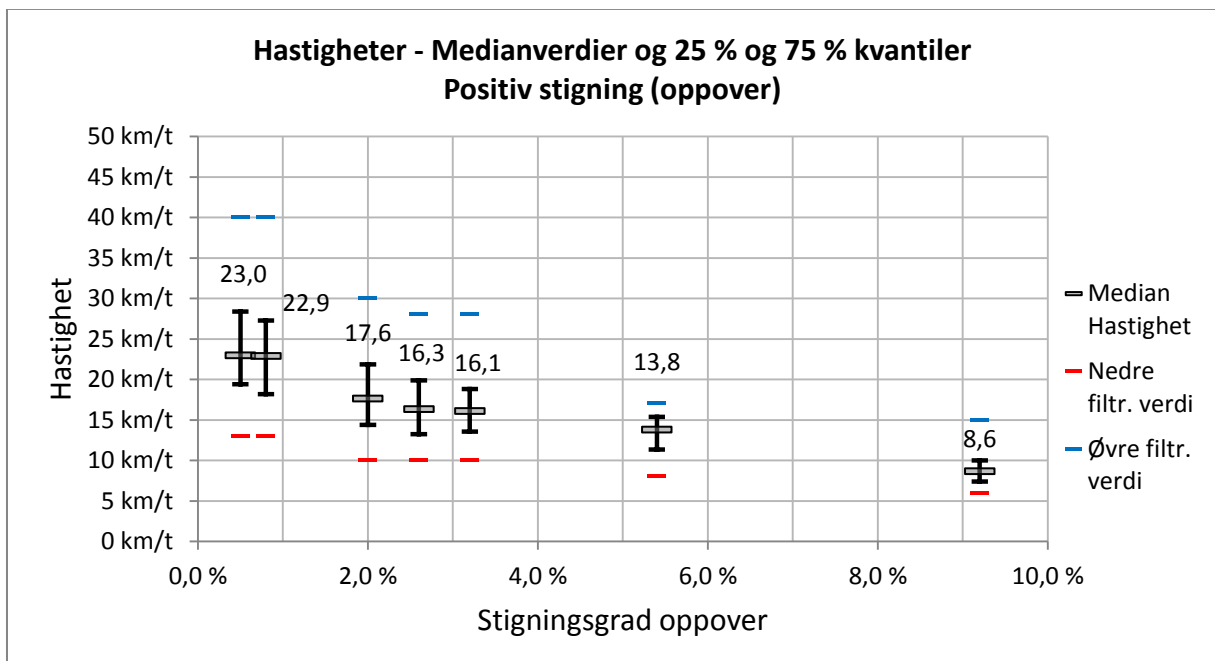
*Manuelle registreringer. Byåsveien i negativ stigning er registrert manuelt. Andeler med blåtann/WiFi er dermed ikke inkludert.

Hastighetene gitt i tabell 21 er basert på reisetider fra hele registreringsperioden for hver lokasjon. Tabellen viser også andel blåtann- og WiFi-andeler av det totale antall registreringer. En kan se at blåtannandelen varierer fra 9 % til 25 % på de forskjellige lokasjonene.

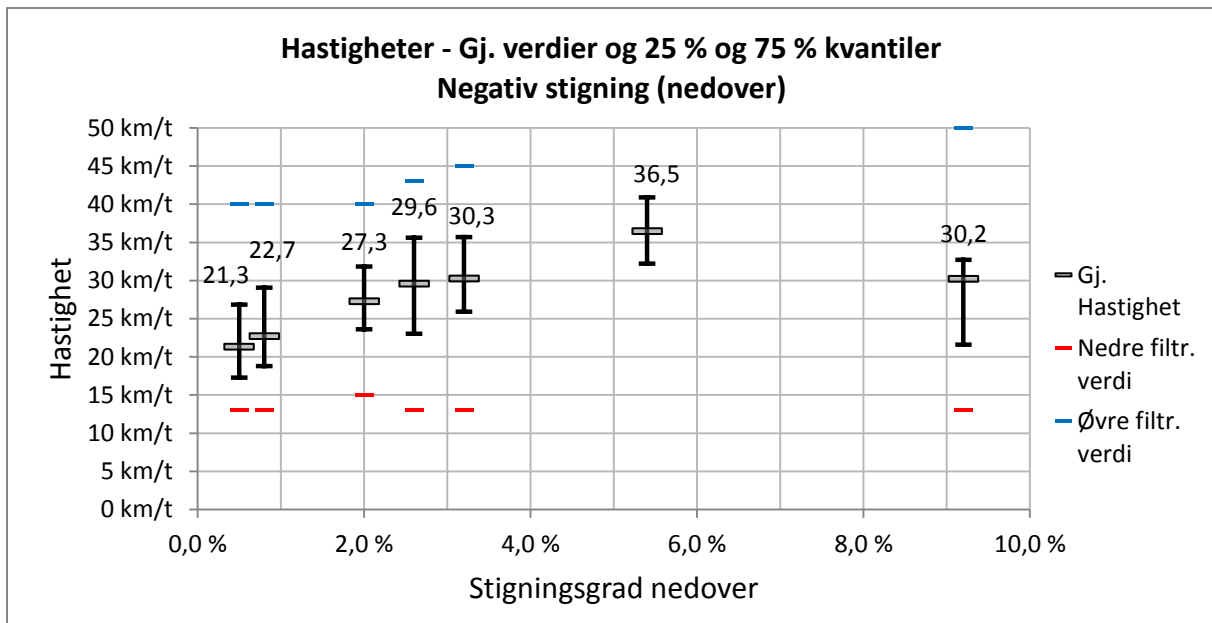
Sammenhengen mellom hastighet og stigning presenteres i figur 35 og figur 37 for gjennomsnittsverdier av hastighetene og figur 36 og figur 38 for medianverdiene av hastighetene. Alle verdier presenteres med tilhørende kvantiler på 25 % og 75 %. Dette vil si at 50 % av registrerte reisetider fra hver strekning ligger innenfor de markerte intervallene. Øvre og nedre fartsfiltreringsverdi vises også i diagrammene.



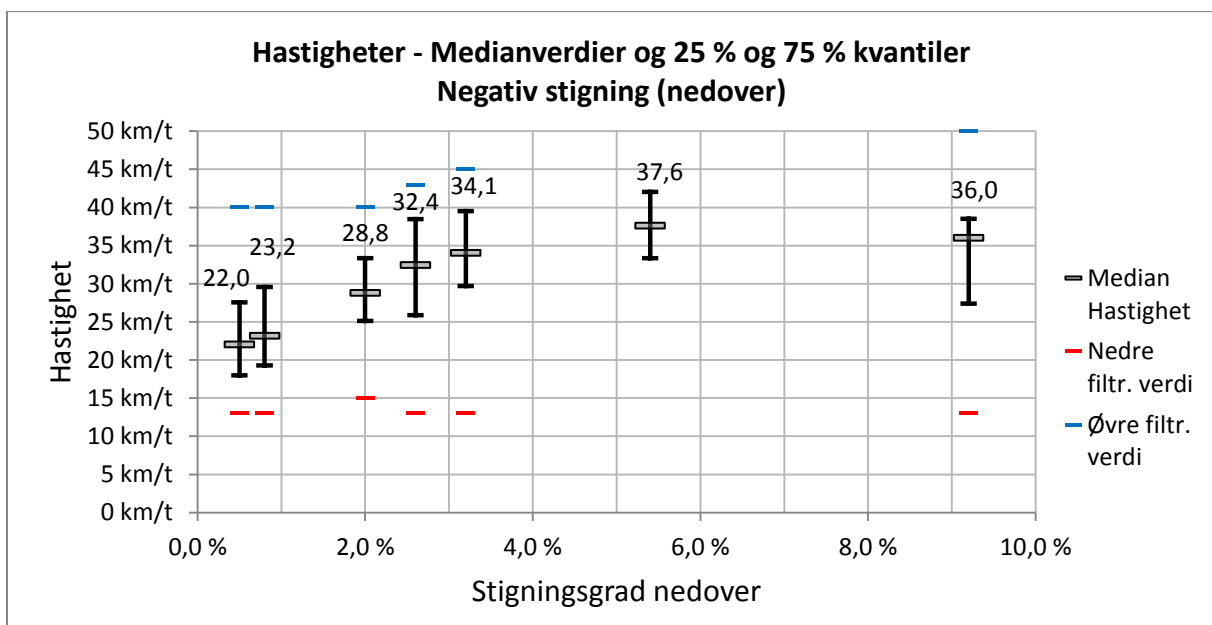
FIGUR 35 – HASTIGHETER BASERT PÅ GJENNOMSNIITTSVERDIER I POSITIV STIGNING



FIGUR 36 - HASTIGHETER BASERT PÅ MEDIANVERDIER I POSITIV STIGNING



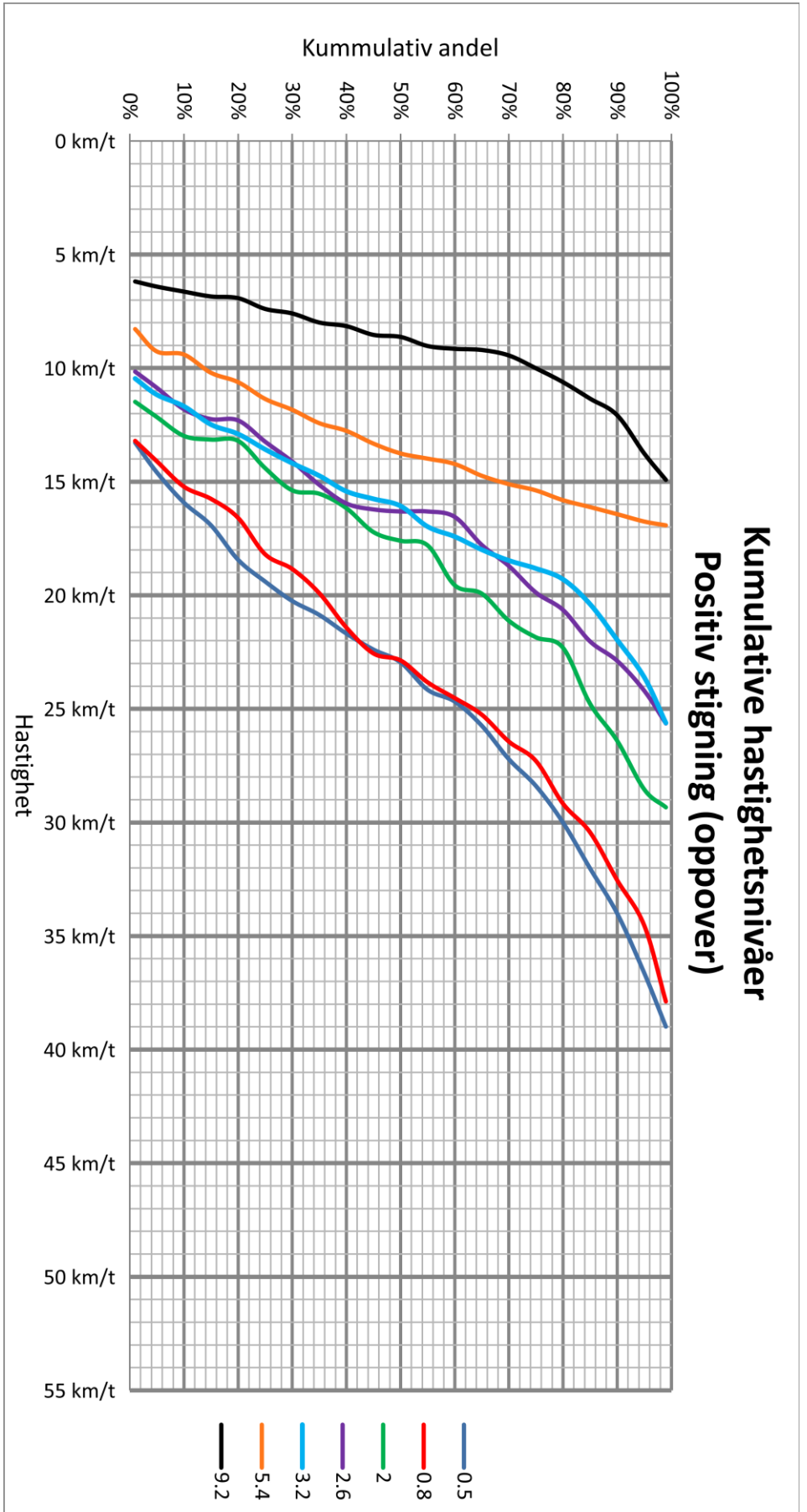
FIGUR 37 - HASTIGHETER BASERT PÅ GJENNOMSNIITTSVERDIER I NEGATIV STIGNING



FIGUR 38 - HASTIGHETER BASERT PÅ MEDIANVERDIER I NEGATIV STIGNING

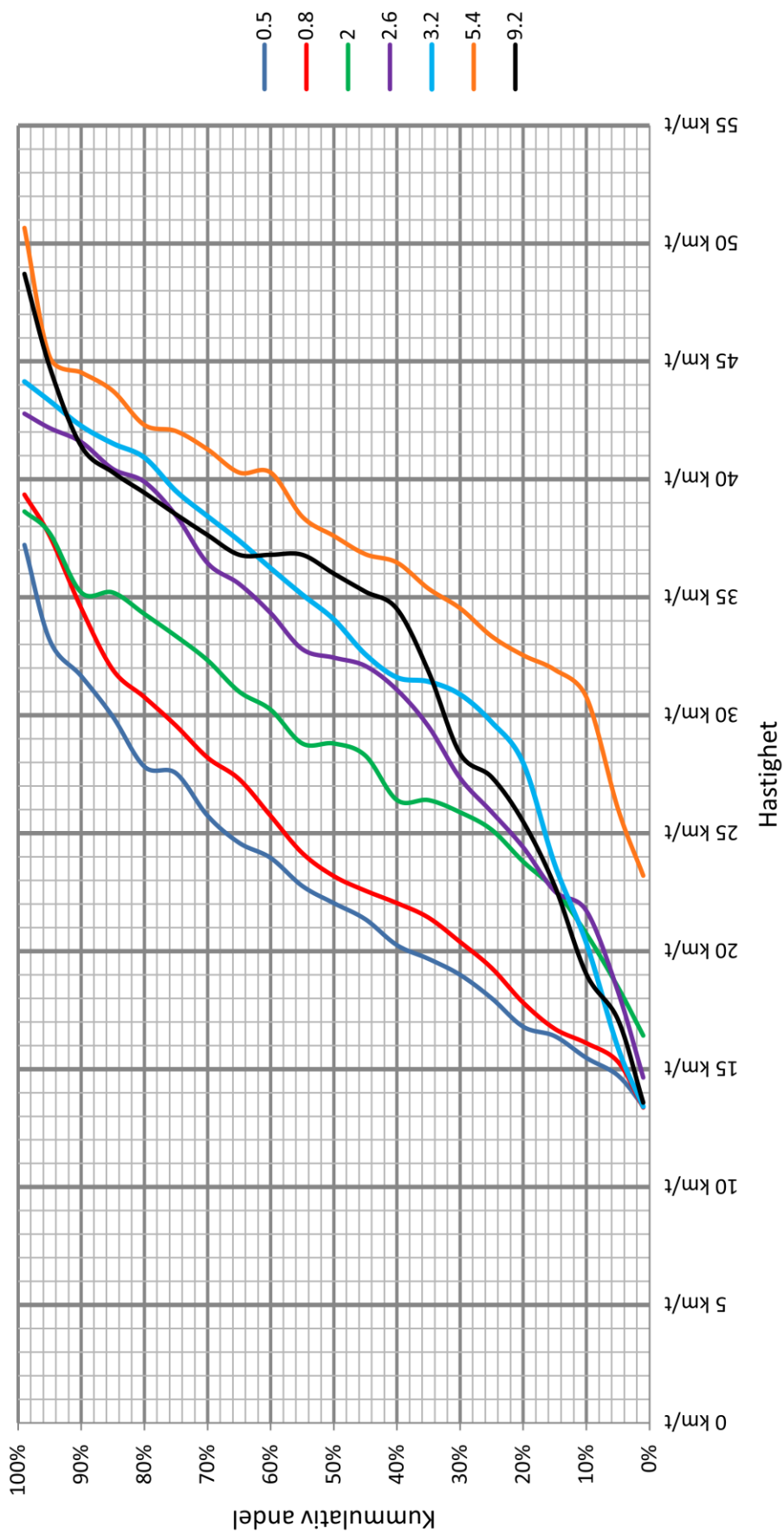
Figurene ovenfor forteller mest om hastigheter som hovedtyngden av syklistene holdt ved hver lokasjon. For mange situasjoner er det nettopp hovedtyngden som er mest interessant. I midlertidig kan mer detaljert informasjon være nyttig for å se ulike kvantiler, hvor mange som avviker fra hovedtyngden og tettheten av denne hovedtyngden på en strekning. For en oversikt over hastighetsfordelinger fra hver strekning vises det til vedlegg H.

I figur 39 og figur 40 vises fordelingen fra alle registreringslokasjonene i form av kumulative hastighetsnivåer.



FIGUR 39 - FORDELING AV FART I POSITIV STIGNING VED BRUK AV KUMULATIVE HASTIGHETSNIIVÅER

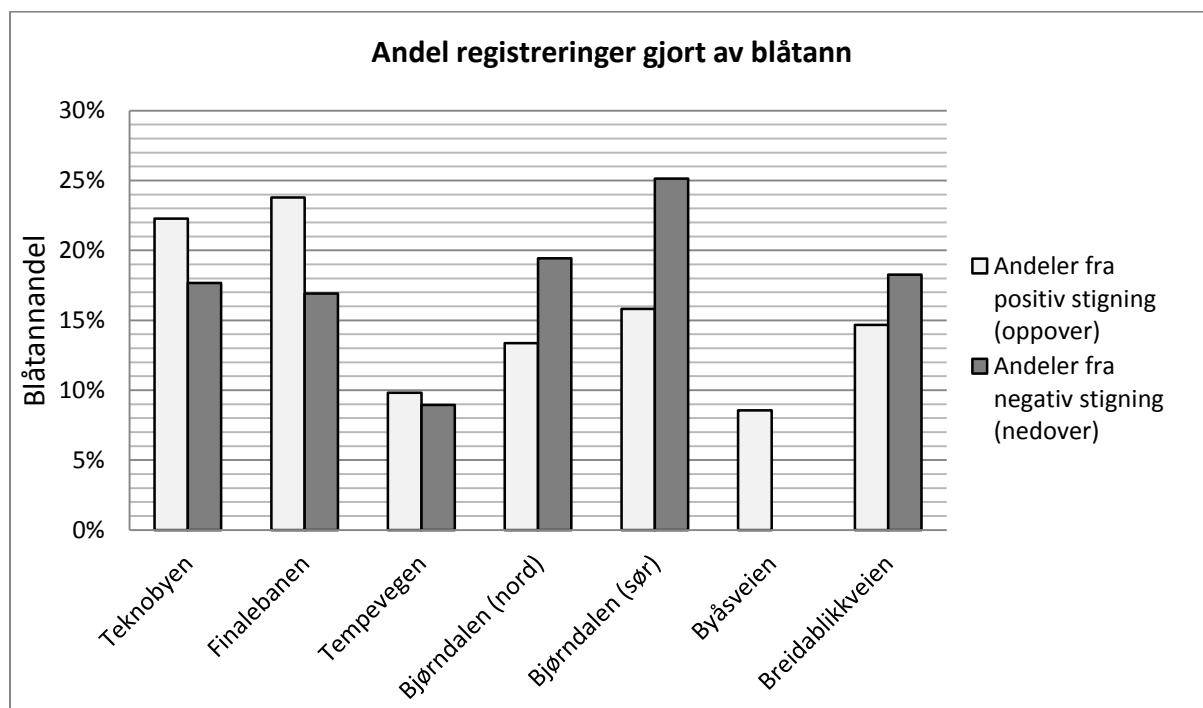
Kumulative hastighetsnivåer - 5 %-intervaller Negativ stigning (nedover)



FIGUR 40 - FORDELING AV FART I NEGATIV STIGNING VED BRUK AV KUMULATIVE HASTIGHETSNIIVÅER

Det bemerkes at hastighetsverdiene fra figur 35 til figur 40 er basert på hele registreringsperioder for hver lokasjon. Mens disse verdiene representerer alle døgnet registreringer under ett, så kan hastigheter likevel variere for ulike tider av døgnet. Dette skyldes både fordi antallet registreringer varierer, men også fordi reisehensikten endres på ulike tider av døgnet. I vedlegg I er det gitt en oversikt over hastighetsvariasjoner fra ulike tider på døgnet for samtlige lokasjoner. Ut fra oversikten gitt i vedlegg I kan det antydes at hastigheter holdes mer eller mindre stabil for bratte oppoverbakker, mens slake oppoverbakker, flate partier og nedoverbakker varier noe mer over døgnet.

Andelen av registreringene som kommer fra blåtannenheter har, som tidligere nevnt, blitt brukt som et mål for å kontrollere grensene til fartsfiltrering. Figur 41 viser hvor stor andel av registreringene som ble foretatt ved bruk av blåtann. Til tross for at benyttede grenseverdier har blitt noe modifisert med bakgrunn i urealistisk høye blåtannandeler, så har blåtannandelene på enkelte lokasjoner blitt noe høyere enn forventet. Lokasjonene som viser høye andeler av blåtannregistreringer inneholder sannsynligvis et antall registreringer hvor kjøretøy har blitt brukt som reisemiddel.



FIGUR 41 – ANDEL REGISTRERINGER FORETATT VED BRUK AV BLÅTANN I BEGGE KJØRERETNINGER

6.2.2 Andre faktorer

Vær

For å prøve å finne hvordan været påvirker sykkelhastigheter og reisetid ble det innsamlede datamaterialet fra stigningsanalyse og pilotstudien sammenliknet med historisk værdata³.

Det var ønskelig å sammenlikne dager med nedbør med tilsvarende dager uten nedbør på samme lokasjon. Bare på en lokasjon samlet sensorene inn data lenge nok til at like ukedager kunne sammenliknes, samtidig som at værforholdene var forskjellig.

Tabell 22 viser en sammenlikning av gjennomsnittlig reisetid mellom mandag 24. februar 2014 og mandag 17. mars 2014 på Stavne bru. Mandag 24. februar hadde oppholdsvær og en gjennomsnittlig temperatur på om lag 9 °C, mens mandag 17. mars hadde snøbyger og en gjennomsnittstemperatur på omtrent 0 °C.

TABELL 22 - SAMMENLIKNING AV GJENNOMSNIITTLIG REISETID FRA TO DAGER MED FORSKJELLIG VÆRFORHOLD

	Gj.snitt reisetid retning øst-vest	Gj.snitt reisetid retning vest- øst	Middeltemp.	Nedbør
Man 24.02 (oppholdsvær)	88.6 s	98.0 s	9.1 °C	0 mm
Man 17.03 (snøbyger)	108.9 s	101.5 s	-0.1 °C	9.8 mm
P-verdi	~0.0	0.49		
Signifikant forskjell 5 % -nivå	Ja	Nei		

En kan se at gjennomsnittlig reisetid på dagen med snøbyger var høyere enn på dagen med oppholdsvær. Forskjellen er funnet statistisk signifikant på den ene retningen, mens den i den andre retningen ikke er funnet statistisk signifikant. I vedlegg J presenteres hele utførelsen av den statistiske testen.

³ Data under Norsk lisens for offentlige data (NLOD) tilgjengeliggjort av Meteorologisk institutt

6.3 Diskusjon

I dette delkapitlet vurderes og diskuteres resultatene i forhold til eventuelle feilkilder og funn fra litteraturundersøkelsen.

6.3.1 Stigning

Sykkelhastigheter ved ulik stigning

I forkant av registreringene var det allerede antatt at hastighetene for sykklister ikke ville følge et lineært forhold ved ulik positiv stigning. Dette var basert både på egne erfaringer og på litteraturundersøkelsen. For positiv stigning ble det antatt at hastighetsendringene ville minke når bakkene ble brattere. Det ble også antatt at sykklister ville gå av sykkelen når bakkene ble tilstrekkelig bratt. Dette ville føre til at hastighetene brått ville falle ned til fotgjengerhastighet. For negativ stigning var det større usikkerhet. Det fantes lite informasjon om påvirkning fra negativ stigning i andre studier, og dermed var det ingen sterke antagelser for hvilke resultater en kunne forvente. Det ble likevel gjettet at det fantes et øvre fartsnivå for negativ stigning hvor sykklister ikke lengre syklet raskere, men derimot bremsset ned av sikkerhetsmessige årsaker.

Registreringene som ble foretatt over de 7 ulike stigningsforholdene viser at sykklisters hastighetsnivå er forskjellig ved ulike stigninger. Gjennomsnittsverdiene og medianverdiene fra alle strekningene har vist samsvar med ideen om at en liten endring i stigning får konsekvenser for hastigheter dersom ingen andre store hastighetsfaktorer innvirker i betydelig grad, jf. figur 12 i delkapittel 4.3.1.

For positiv stigning ble det ikke funnet et entydig samsvar med forventningene om at reduksjonen av hastighet ble mindre ved brattere stigning. Det er tatt for få observasjoner til å kunne konkludere med om forholdet mellom positiv stigning og hastighet er lineært eller ikke. Det observeres likevel at resultatene har samme tendens som figur 18 i delkapittel 4.3.2, hvor hastighetene for lave stigningsverdier skiller seg ut som forholdsvis høye, sammenliknet med resten av hastighetene.

Mellom strekningene med 3.2 % og 9.2 % positiv stigning ble det foretatt registreringer for bare stigningen på 5.4 %. Mangelen på observasjoner i dette intervallet gjør derfor resultatet for bratte stigninger noe mangelfullt i forhold til resultatene for slake stigninger hvor flere

strekninger har blitt observert. Det nevnes også at det ikke ble observert en nedre hastighetsverdi lik hastigheten til fotgjengere. Dette skyldes kanskje at tilstrekkelig bratte strekninger ikke ble observert, slik at dersom denne grenseverdi finnes, så befinner den seg på et brattere nivå.

For negativ stigning ble det observert en nedgang i hastighet for både gjennomsnittsverdier og medianverdier fra 5,4 % stigning til 9,2 % stigning. Nedgangen var klart størst blant gjennomsnittsverdiene. Denne hastighetsendringen samsvarer med forventningene, og det kan bety at det finnes en grense hvor syklister holder lavere hastighet i brattere nedoverbakker og bremser av sikkerhetsmessige årsaker. På grunn av for få observerte strekninger er det vanskelig å bestemme ved hvilken stigningsgrad denne effekten tiltrer. For å kunne identifisere en grenseverdi for hastighet i bratte nedoverbakker må flere observerte strekninger ligge til grunn.

Gjennomsnittsverdier og medianverdier har vist like tendenser mellom de ulike stigningene, selv om medianverdiene generelt har vist et noe høyere hastighetsnivå enn gjennomsnittsverdiene. Medianverdiene viser også høyere hastighet for 9.2 % i nedoverbakke enn for 3.2 %, i motsetning til gjennomsnittsverdier som viser til at hastighetene for disse to stigningsnivåene i nedoverbakke er mer eller mindre like.

Det observeres at standardavviket for registreringene blir mindre desto brattere bakken er oppover. Spredningen av enkeltregistreringene kan observeres som reduserte ved å se på 25 % - og 75 % - kvantiler for brattere stigningsnivå. Spredningene kan også observeres i figurene for kumulative hastighetsnivåer. Denne effekten kan forklares med at en syklist i oppoverbakke har mindre frihet til å velge hastighet på grunn av den menneskelige begrensningen i muskelarbeid og effektgenerering. Gjennomsnittshastigheten vil dermed være nærmere en nedre grense for hvor sakte det går an å sykle før det blir nødvendig å gå av sykkelen. Utover denne tankegangen kan det også tenkes at det er en mer uniform fordeling av spreke syklister som velger å sykle i brattere bakker og dermed varierer hastighetene mindre.

En kan også se at standardavviket er større i nedoverbakker enn i oppoverbakker ved høye stigningsgrader. Dette kan forklares med at reisende har en større frihet til å velge mellom ulike hastigheter ved i nedoverbakker. Dette hastighetsvalget er for mange trolig styrt av syklisters oppfattelse av risiko og vilje til å ta risiko, men kan også begrenses av fysiske

faktorer som sykkelutstyr eller fysisk form. Det bemerkes at spredningene for både positiv og negativ spredning kan ha blitt påvirket kunstig av grenseverdier for fartsfiltreringer.

Datagrunnlag

Antall registreringer fra de ulike lokasjonene varierte fra 51 til 310 syklistene. Fra alle strekningene er antall registreringer flere enn 40, som ble anbefalt i pilotstudien for å sikre tilstrekkelig god nøyaktighet. Det antas derfor at hastighetene representerer den reelle sykkeltrafikken på en god måte. Antall lokasjoner som ble observert var begrenset av tidsrammen til gjennomføringen av masteroppgaven. Det ble foretatt registreringer på 7 ulike lokasjoner. Registreringene ble foretatt en tid på året som var påvirket av vårlig klima, men det antas at disse registreringene også kan representere hastigheter i sommerlige og høstlige årstider.

Videre kan det diskuteres om ett enkelt registreringsdøgn vil gi et korrekt bilde av hastighetsnivået på en lokasjon. Fra strekningene ved Teknobyen, Finalebanen og Tempevegen er det bare blitt foretatt registreringer over ett døgn. Ideelt sett burde strekningene ha blitt observert i en uke, eller kanskje også mer for å få representative data. I et slikt tilfelle med lengre registreringsperioder ville tidsspesifikke faktorer som for eksempel vær og føre kunnet fått en mindre betydning for samlede hastighetsverdier. På grunn av at det var mindre sykkeltrafikk og færre registrerte sykler på enkelte strekninger, var det noen strekninger hvor det ble observert over lengre tidsperioder. På disse strekningene ble det observert at endring i hastighetsnivå fra dag til dag var liten. En kunne heller ikke se forskjeller fra dager som mandager og fredager, som ofte ellers blir regnet som dager med annerledes reisemønster. Som tidligere nevnt konstateres det likevel at det trolig hadde vært mer ideelt å registrere over flere dager på alle lokasjoner. På grunn av den begrensede tidsrammen for prosjektet har dette likevel ikke blitt gjennomført.

Bruken av BlipTrack for innsamling av data gikk uten problemer. Det har ikke oppstått noen grunn til å tro at sensoren har oppført seg feilaktig eller at datakvaliteten har vært redusert i forhold til resultatene fra pilotstudien. Registreringene regnes dermed å være gjort med en omtrentlig lik penetrasjonsrate og nøyaktighet som den som ble funnet i pilotstudien.

Andelene av registreringene som er gjort med blåtann varierer. Fra tidligere registreringer har det blitt antydnet at blåtannandelen blant syklistene normalt sett ligger mellom 5 % og 10 %. Fra de 7 observerte lokasjonene har andelen som har blitt tatt ved bruk av blåtann som regel vært

høyere enn 10 %. Spesielt gjelder dette for strekningene ved Teknobyen, Finalebanen og Bjørndalen (sør), hvor blåtannandelen er mer enn 20 %. Siden det kan forventes at høye blåtannandeler skyldes inkluderte biler i datagrunnlaget, er det særlig overraskende at strekningene langs Teknobyen og Finalebanen registrerte mange blåtannenheter. Dette er overraskende fordi datasettene fra disse to strekningene har brukt lokasjonsfiltrering, og i teorien burde bare syklistene blitt registrert. Det antas derfor at datagrunnlaget fra Teknobyen og Finalebanen ikke inkluderer biler i betydelig grad, slik at resultatene dermed anses gyldige. Derimot tyder høye blåtannandeler fra Bjørndalen (sør) på at datagrunnlaget inkluderer biler, da det bare er benyttet fartsfiltrering på registreringene. Hastigheten til kjøretøyene langs denne sykkeltraseen er i utgangspunktet mye høyere enn syklistene i begge retninger, med en fartsgrense på 60 km/t. Øvre og nedre grenseverdi for fartsfiltrering er henholdsvis 28 km/t og 45 km/t. Det må forventes at flere bilister også holder hastigheter innenfor dette intervallet. Denne strekningen har den største blåtannandelen i datagrunnlaget og består av 25 % blåtannenheter. Det kan tyde på strekningen langs Bjørndalen (sør) har registrert et betydelig antall kjøretøy og dermed oppgir noe høyere hastighetsverdier enn det sykkelhastighetene virkelig var.

Registreringene fra Byåsveien i negativ stigning inneholder trolig ingen, eller kun marginale feil da disse ble registrert manuelt. Det ble for øvrig også registrert hastigheter manuelt i den positive stigningsretningen samt Breidablikk i positiv retning. For disse to observasjonene ble de manuelle registreringene kun brukt til å finne riktige filtreringsverdier for hastighet.

Pålitelighet av data

Strekningsslengdene fra de forskjellige lokasjonene varierte fra 440 m til 1580 m. På 4 av lokasjonene er strekningen kortere enn i pilotstudien. Dette var fordi det i praksis ikke var mulig å observere reisende over lengre strekninger. Det ble vanskelig både fordi en ville utelukke vegkryss langs strekningen og fordi strekninger med jevn stigning ble foretrukket. Teorien og litteraturundersøkelsen tilsier uansett at store nok datasett vil kunne gi nøyaktige gjennomsnittsverdier, til tross for korte strekningsslengder.

Ut fra betraktninger om lengde på observasjonsstrekning samt lengde på registreringsperiode, så antas resultatet fra Tempevegen med 2 % stigning som det relativt mest usikre resultatet. Dette begrunnes med at dette var den korteste strekningen hvor registreringer ble foretatt, samtidig som det også er her var færrest registreringer. Sammenliknet med resultatene fra de andre stigningene, ser resultatet fra Tempevegen likevel ut til å passe inn i sammenhengen

mellom stigning og hastighet. Det finnes for øvrig heller ingen andre hastighetsverdier som kan være urimelige i forhold til det helhetlige hastighetsmønsteret vist i resultatene fra figur 35 til figur 38.

Hastighetene som har blitt registrert i dette prosjektet er noe lavere enn funn fra en liknende studie i litteraturundersøkelsen (Navin, 1994). En av de viktigste årsakene til dette kan være at Navin (1994) bare gjorde forsøk på mannlige universitetsstudenter, mens resultater fra dette prosjektet inkluderer reell sykkeltrafikk med alle typer syklist. Resultatene fra dette prosjektet følger likevel omtrent samme relative hastighetsendring for ulike stigninger. Forskjellen til studiens resultater kan også forklares med lokale faktorer som for eksempel innstillingen rundt sykkelbruk samt fysisk form og kvalitet på utstyr blant syklist observert i studiene. Fra resultatene til Navin (1994), som kan observeres i figur 17, kan også andre likheter observeres sammenliknet med våre resultater. Eksempelvis kan det nevnes en lik tendens for hastighetenes spredning som ser ut til å bli mindre ved økende positiv stigning.

Variasjon av hastigheter for ulike tider på døgnet ble presentert i vedlegg I. Det ble konstatert at det fantes mest variasjon i løpet av døgnet for flate strekninger og bakker med negativ stigning. Spredningen av hastigheter for disse strekningene gjør at det vil være nødvendig å se noe mer kritisk på de samlede hastighetsverdiene. Det er samtidig nødvendig å vurdere variasjonene noe kritisk da datagrunnlaget for noen perioder av døgnet er mindre enn i de mest aktive periodene. For å opprette et sikrere datagrunnlag bør det enten registreres på andre liknende strekninger hvor det finnes mer sykkeltrafikk, eller så bør registreringer foregå over et lengre tidsrom enn hva som har vært mulig i dette prosjektet.

De ulike stigningsgradene som er oppgitt for hver lokasjon er basert på gjennomsnittsstigning over strekningene. Det har blitt forsøkt å finne strekninger med jevn stigning, men det har vist seg at dette har vært vanskelig å få til i praksis. Selv om det antas at dette vil påvirke hastigheten, finnes det ingen grunnlag for å si hvor mye dette vil påvirke hastigheten på de forskjellige stedene.

Fartsfiltrering har vært et viktig punkt for resultatene i dette prosjektet. For alle strekningene har det vært nødvendig og innføre en nedre og øvre fartsfiltrering. Ved bruk av fartsfiltrering vil det være usikkerhet om uønskede reisende, slik som joggere, fotgjengere og bilister inkluderes og registreres som syklist. Slike uønskede registreringer antas som uunngåelig når kun hastighetsfiltrering benyttes, og det er sannsynlig at dette kan påvirke resultatene noe. For lokasjoner hvor mange fotgjengere og joggere kan ha blitt inkludert i datagrunnlaget er

det mulig at samlede hastighetsverdier har blitt underestimert. For lokasjoner hvor mange bilister kan ha blitt inkludert kan hastighetsverdiene ha blitt for høye. Lokasjonsfiltrering har derfor blitt brukt der det har vært mulig for å minimere usikkerhet rundt registrerte reisemidler. På disse stedene blir likevel nedre grense for fartsfiltrering viktig for å filtrere bort fotgjengere. Mens det har blitt benyttet rundt 10-13 km/t som nedre fartsfiltrering for lave stigninger, se vedlegg G, så har hastigheter ned mot 6-7 km/t blitt benyttet i bratte oppoverbakker. Sannsynligheten for at fotgjengere er inkludert er derfor større i bratte oppoverbakker.

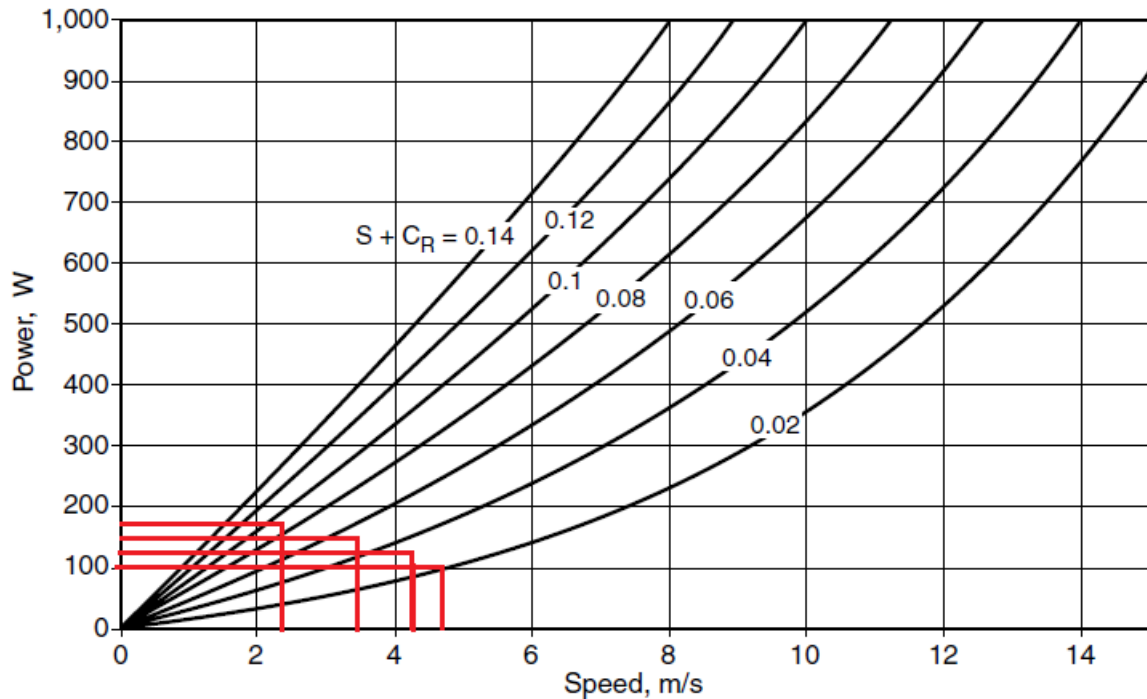
Tilsvarende utfordringer har også blitt møtt for øvre filtreringsgrenser der lokasjonsfiltrering ikke kunne benyttes. Dette gjelder særlig for strekningene i Bjørndalen nord, Bjørndalen sør og Byåsveien. For Bjørndalen ble de øvre fartsfiltreringene basert på kompromisser av sannsynlige blåtannandeler og rimelige kvantiler for sykkelhastighetene begrunnet i vedlegg G. For Byåsveien var det antatt at et slikt kompromiss ville kunne medføre betydelig høyere usikkerheter rundt resultatene, slik at det her ble besluttet å basere resultatet utelukkende på manuelle registreringer.

Datagrunnlaget som er samlet inn er også preget av usikkerheter i forhold til faktorer som ikke har vært mulig å isolere bort. Krappe kurver kan for bratte nedoverbakker ha påvirket syklisters hastighet, slik som nedover langs Breidablikkveien og i Bjørndalen. I bratte oppoverbakker antas kurver å ha liten effekt på hastighet. Noen av strekningene har bestått av smalere sykkelveger enn andre og ikke alle strekningene har hatt dedikerte sykkelveger slik at traseen deles med fotgjengere. Variasjon i værforhold som ikke har blitt undersøkt kan også ha gi variasjoner i datagrunnlaget. Dette er faktorer som i litteraturundersøkelsen ble påpekt til å virke inn på syklisters hastighet (Overå, 2013, El-Geneidy et al., 2007, Smith, 1977, Wilson et al., 2004). Slike påvirkende faktorer vil bestandig eksistere og gi usikkerhet i datagrunnlag for sykkelregistreringer. I dette prosjektet velges det å se bort ifra disse faktorene. Dette gjøres med argumentasjonen om at det likevel ikke finnes identiske sykkeltraseer, og at det derfor uansett alltid vil eksistere usikkerhet ved overføring av resultatene til andre prosjekter. Resultatene vil likevel indikere hastighetsnivåer som omtrentlig kan forventes i tilsvarende stigningsnivåer.

Andre bemerkninger fra resultatene

Hvis en sammenlikner hastighetene fra egne observasjoner i positiv stigning med den teoretiske betraktningen om forholdet mellom hastighet, stigning og effekt beskrevet i

litteraturstudien (Wilson et al., 2004), kan dette gi et bilde på hvilken effekt som må genereres for å holde de observerte hastighetsnivåene. I figur 42 er egne observerte gjennomsnittsverdier skissert som røde streker.



Power requirement versus speed and slope.

FIGUR 42 - EGNE RESULTATERS EFFEKTIVÅ. ORIGINALT DIAGRAM: (WILSON ET AL. (2004))

Figuren viser at de observerte gjennomsnittsverdiene i de forskjellige stigningene tilsvarer effektnivå på mellom 100 watt og 175 watt. Ut fra de røde linjene i figuren går det fram at man er mer villig til å bruke mer krefter i oppoverbakke enn på flatere partier, til tross for at hastighetene er lavere. Dette kan henge sammen med at alternativet ofte er å måtte tre av sykkelen dersom hastigheter blir tilstrekkelig redusert. Det er viktig å påpeke at dette er unøyaktige skisser, som ikke gjenspeiler den nøyaktige virkeligheten. En må også huske at andre faktorer som vind, aerodynamikk, sykkel og andre personlige faktorer påvirker hver enkelt syklists effektnivå. Likevel er dette en indikasjon på at resultatene stemmer overens med teorien. I følge figur 13 i delkapittel 4.3.1 kan den høyeste genererte effekten fra resultatet på 175 watt holdes i underkant av 100 minutter av en sunn, frisk mann. Dette tilsier at de gjennomsnittlige reisetidene registrert av BlipTrack ikke er urimelige. Samtidig betyr dette at på flate sykkelveger må en generere mindre effekt for å holde sykkeltraffikkens gjennomsnittshastighet. Det er derfor grunn til å tro at syklister som er registrert i bratte oppoverbakker generelt er mer erfarne syklister eller i bedre form enn de som er registrert på

sykkelveger med lave stigningsverdier. Det kan trolig også tilsvarende antas at syklistene med gjennomsnittlig fysisk helse er vanligere på flattere sykkeltraseer.

De geografiske lokasjonene som ble benyttet for registreringer i dette prosjektet spiller sannsynligvis en rolle for resultatene. Menneskers sykkelkultur og værforhold er noe som sjeldent er det samme på tvers av landegrensener, eller selv på tvers av regioner innenlands. I Trondheim, hvor registreringer for dette prosjektet er foretatt, ble det innledningsvis i oppgaven nevnt at sykkelandelen blant reisende var på 7 % i 2009. Denne lave andelen reisende kan tyde på at syklende primært består av spesielt interesserte, som ser på sykling som en hobby, framfor reisende som primært benytter sykkel som et reisemiddel fra sted til sted. I land med høyere sykkelandeler kan kanskje lavere hastighetsnivåer observeres enn det som fremgår i dette prosjektet. Dette kan være forklaringen på at våre resultater viser høyere hastighetsnivå enn funn fra Navin (1994). For å teste gyldigheten av resultatene for en spesifikk lokasjon vil det sikreste være å foreta stikkprøver av sykkeltrafikken og korrigere eventuelle forskjeller som observeres.

Det bemerkes at det ble observert anslagsvis 5 % – 10 % el-sykler i Breidablikkvegen med 9.2 % stigning. Selv om det ikke var en vesentlig stor andel av syklistene som benyttet EL-sykkel, så kan disse individene ha dratt opp den generelle hastighetstrenden noe.

6.3.2 Andre faktorer

Resultatene viste at syklistenes gjennomsnittlige reisetid over Stavne bru var høyere den dagen det var snøbyger enn den dagen det var oppholdsvær og varmere. Likevel ble hastighetsendringen funnet statistisk signifikant på bare en av de to retningene.

Det er store usikkerheter knyttet til denne analysen. Blant annet har ikke vind vært med i betraktningen i dette tilfellet, fordi det antas at vindhastighet og vindretning varierer så mye lokalt at historiske værdata fra en værstasjon ikke er representativ nok for observasjonsstrekningen. Videre baserer resultatet seg på bare to dager med observasjoner, noe som er for lite for å trekke en sikker konklusjon rundt været's betydning. Likevel kan resultatet være en indikasjon på at snø og vær har betydning på sykkelhastigheter.

Siden været's betydning for sykkelhastighet ikke har vært et hovedfokus i denne oppgaven, og på grunn av begrenset tidsramme for gjennomføring av masteroppgaven, har denne faktoren ikke blitt undersøkt nærmere.

6.4 Konklusjon

Formålet med dette prosjektet var å studere sammenhengen mellom sykkelveggers stigning og syklisters hastighetsnivå. Det har blitt registrert hastigheter fra sykkeltrafikk på strekninger med ulike stigninger ved hjelp av WiFi- og blåtannsensoren BlipTrack.

6.4.1 Syklisters hastighet i stigning

Registreringer fra 7 ulike lokasjoner med ulik stigning har gitt et hastighetsmønster for både positiv og negativ stigning. Fra resultatene fremgår det at stigning vil påvirke syklisters hastighetsnivå. For nærmest flate sykkelveger ligger hastighetsnivået på mellom 21 km/t og 23 km/t. For bratte sykkelveger med eksempelvis 9.2 %, viser resultatene at det kan forventes et hastighetsnivå på ca. 9 km/t i oppoverbakke og like over 30 km/t i nedoverbakke. Den høyeste gjennomsnittlige hastigheten som ble registrert var 36.5 km/t i nedoverbakken fra strekningen med 5.4 % stigning. Tilsvarende medianverdi var 37,6 km/t.

I positiv stigning vil gjennomsnittlig hastighet reduseres selv ved små stigningsforskjeller. En kunne ikke konkludere med om forholdet mellom stigning og hastighet var lineært eller ikke på grunn av for få observerte strekninger.

For negativ stigning antyder resultatene at det finnes en stigningsgrad hvor syklistene ikke lenger øker hastigheten ved brattere bakker. Dette kan for eksempel være en følge av usikkerhet og risiko. For eksempel hadde syklistene et høyere hastighetsnivå ved 5.2 % negativ stigning enn ved 9.2 % negativ stigning. Det er likevel vanskelig å konkludere med hvor et slikt vendepunkt eventuelt finner sted. For å kunne foreta en slik konklusjon behøves det flere registreringer med stigninger mellom 3.2 % og 9.2 %. Til tross for usikkerhetene antyder likevel resultatene at det kan finnes en slik grense som markerer et vendepunkt for hastighet i negativ stigning.

Spredning av hastigheter og standardavvik er funnet til å reduseres i bratte motbakker. Det antas at dette skyldes at syklistene har mindre frihet til å velge sin hastighet i oppoverbakke. Denne friheten kan derimot gjenkjennes fra hastighetene i nedoverbakke hvor standardavvikene er større enn i oppoverbakke. Også på flate sykkelveger har syklistene friere fartsvalg. I oppoverbakke er det langt tyngre å velge høyere hastigheter, samtidig som at en nedre hastighet må opprettholdes for balansen sin del.

Årstider og geografi antas å kunne påvirke hastigheter. Alle registreringene har blitt foretatt under vårlig og til dels sommerlig klima hvorav den første ble foretatt den 10. april. Videre var også alle registreringene foretatt i Trondheim kommune, slik at resultatene først og fremst er basert på sykkelkulturen og forhold som blir forbundet med denne regionen. Det er viktig å presisere at hastighetene som blir presentert i resultatene må vurderes med hensyn til disse forutsetningene.

6.4.2 Registreringer av syklist i stigning

Registreringene foretatt med BlipTrack vurderes som representative for samtlige registreringslokasjoner. På samtlige strekninger var antall registreringer over 40, som var den anbefalte grensen for akseptabel nøyaktighet fra pilotstudien. Da det minste datagrunnlaget fra Tempevegen på 51 registreringer var høyere enn det anbefalte antallet konkluderes det med at datasettene er representative og gir tilstrekkelig nøyaktighet. I et tilfelle var det nødvendig med manuelle registreringer. Disse registreringene anses på tilsvarende vis som representative, til tross for at registreringene bare er tatt over 1 time. Andre faktorer som påvirker sykkelhastighet enn selve stigningen anses ikke som neglisjerbare, men som uunngåelige. Samlet sett velges det derfor å erkjenne alle registreringene som representative for sykkeltrafikken fra de respektive lokasjonene.

Filtrering av registreringer er viktig ved innsamling av data fra syklist. Syklist holder hastigheter som ofte ligger mellom hastigheten til fotgjengere og bilister. Dette gjør at fartsfiltreringer er vesentlig for å kunne filtrere ut uønsket trafikk fra registreringene foretatt med BlipTrack. Fartsfiltreringer kan også være problematiske og mangelfulle. Særlig vanskelig kan det være å sette gode filtreringsgrenser for bratte motbakker, da syklistenes hastighet kan være lik hastigheten til fotgjengere og joggere. Også i nedoverbakker kan syklist holde lik hastighet som bilister. Det konkluderes med at fartsfiltreringer ikke alltid er tilstrekkelig for å filtrere registreringer. For situasjoner hvor fartsfiltrering ikke strekker til, bør lokasjonsfiltrering benyttes for å filtrere ut bilister. Lokasjonsfiltreringer kan riktignok ikke brukes til å filtrere bort fotgjengere og joggere, da disse reisende som regel har mulighet til å ferdes samme steder som syklist. Generelt for filtreringer, så viser det seg at det finnes mange ulike metoder som kan benyttes og brukes om hverandre slik at BlipTrack i sikrere grad kan registrere syklist.

Faktorer som vær, kvalitet på sykkelinfrastrukturen og kurver vil kunne påvirke sykkelhastigheten i tillegg til stigning. Slike faktorer vil bestandig eksistere og gi usikkerhet i

datagrunnlag til sykkelregistreringer, og i dette prosjektet har en valgt å se bort ifra disse faktorene. Dette gjøres med argumentasjonen om at det likevel ikke finnes identiske sykkeltraseer, og at det derfor uansett alltid vil eksistere usikkerhet ved overføring av resultatene til andre prosjekter. Resultatene indikerer likevel hastighetsnivåer som omtrentlig kan forventes i strekninger med tilsvarende stigninger.

Det ble ikke funnet entydige svar på hvordan været virker inn på sykkelhastigheten, slik at det velges å utelate konklusjoner for værrets betydning.

7 Samlet oppsummering og konklusjon

Dette kapitlet oppsummerer konklusjonene fra delkapittel 5.6 og 6.4, knyttet til BlipTracks pålitelighet og syklisters hastighet i stigning. Aspekter til videre arbeid vil også foreslås, og egne erfaringer med gjennomføringen av masteroppgaven beskrives. Det blir også gitt anbefalinger knyttet til fremtidig bruk av WiFi- og blåttansensorer til innsamling av reisetider fra syklistene.

7.1 BlipTracks pålitelighet

Resultatene fra pilotstudien viser at BlipTrack egner seg til innsamling av reisetidsdata for syklistene. I gjennomsnitt vil BlipTrack registrere reisetider fra ca. 20 % av alle passerende syklistene. Omtrent mellom 5 % og 10 % av de registrerte reisetidene vil være fra enheter med blåttann, mens resten vil være fra WiFi-enheter. I pilotstudien kom det fram at BlipTrack gir gjennomsnittlige reisetidsverdier med under 5 % avvik fra manuelle registreringer hvis antall registreringer er over 20. Hvis en ser på BlipTracks nøyaktighet på hver enkelt registrering hadde registreringer med WiFi et gjennomsnittlig absolutt reisetidsavvik fra manuelle registreringer på 14,8 sekunder fra 16 registreringer. For blåttann var tilsvarende avvik på 4,3 sekunder fra 36 registreringer.

Resultatene tyder på at WiFi- og blåttansensorer vil gi representative reisetidsregistreringer. WiFi vil registrere flere syklistene enn blåttann, og gir god nøyaktighet på median og gjennomsnittsverdier. Blåttann vil, i tillegg til dette, også gi god nøyaktighet på hver enkelt registrerte reisetid. Viktige forutsetninger som må være til stede for å oppnå nøyaktige resultater er riktig avstand mellom sensorer, mange nok registreringer og god plassering av sensorene.

7.2 Syklisters hastighet i stigning

. Resultatene fra registreringene viser at stigning vil påvirke sykkelhastigheten. For nærmest flate sykkelveger ligger hastighetsnivået på mellom 21 og 23 km/t. For bratte sykkelveger med eksempelvis 9.2 % kan en ut ifra våre resultater forvente et hastighetsnivå på ca. 9 km/t i

oppoverbakke og like over 30 km/t i nedoverbakke. Den høyeste gjennomsnittlige hastigheten som ble registrert var 36.5 km/t fra strekningen med 5.4 % nedoverbakke. Medianhastigheten fra samme strekning var 37.6 km/t.

For negativ stigning antyder resultatene at det finnes en stigningsgrad hvor syklistene ikke lenger øker hastigheten ved brattere bakker. Dette kan for eksempel være en følge av usikkerhet og risiko. Det er likevel vanskelig å konkludere med hvor et slikt vendepunkt eventuelt finner sted.

Spredning av hastigheter og standardavviket fra hver strekning er funnet til å bli mindre jo brattere motbakken er. For bratte bakker vil også standardavviket være mindre i oppoverbakke enn i nedoverbakke. Det antas at dette skyldes at syklistene har mindre frihet til å velge sin hastighet i oppoverbakke.

7.3 Våre anbefalinger til fremtidig registrering av sykkeltrafikk med WiFi og blåtann

Innsamling av fartsdata fra syklistene foregår i dag i liten grad. Der en for spesielle forhold ønsker å kartlegge sykkelhastighet blir det brukt manuelle registreringer, videokamera eller punkthastighetsregistreringer med for eksempel radar. I Norge finnes ingen operative systemer som kontinuerlig beregner reisetid eller strekningshastigheter til sykkeltrafikk. WiFi- og blåtannsensorer vil gi muligheten til å gjøre dette med nøyaktighet tilsvarende 5 % avvik fra manuelle registreringer.

Det er noen tilfeller hvor bruk av WiFi- og blåtannsensorer ikke nødvendigvis er bedre enn andre metoder. Hvis det bare skal registreres reisetider i en kort tidsperiode, for eksempel i et par timer, kan tidsbruken ved bruk av manuelle metoder inkludert databehandling være mindre enn ved bruk av WiFi- og blåtannsensorer. Dette er på grunn av at montering av sensorene og klargjøring av reisetidsregistrering også tar tid. Skal en derimot registrere syklistene over lengre tid, som for eksempel en dag, uke eller måned, er WiFi- og blåtannsensorer overlegen i forhold til ressursbruk.

Resultatene våre viser at ca. 20 % av syklistene blir registrert av BlipTrack, og av disse kommer mellom 5 % og 10 % av registreringene fra blåtann og resten fra WiFi. Dette betyr at en kan forvente at mellom 1 % og 2 % av alle passerende syklistene blir fanget opp av blåtann-

sensoren og mellom 18 % og 19 % blir fanget opp av WiFi-sensoren. For Norske forhold med et lavt sykkelvolum blir WiFi-modulen sett på som høyst essensiell for at en skal få tilfredsstillende antall registreringer. I andre land, eller på de aller mest trafikkerte sykkelvegene i Norge, hvor antall syklist er betydelig flere, vil kanskje bare blåttann-modulen gi et stort nok datagrunnlag. Likevel vil WiFi-modulen også her være nyttig for å øke datagrunnlaget. For fremtiden anbefales det derfor at det benyttes både WiFi- og blåttannsensorer når reisetider fra syklist skal registreres med slikt utstyr.

Erfaringer fra gjennomføringen av masteroppgaven har vist at filtrering er en av de viktigste faktorene for å få lykkes med reisetidsregistrering av sykkeltrafikk med WiFi og blåttann. Dette er fordi sensorene vil registrere både syklist, fotgjengere og bilister. Fartsfiltrering alene vil ikke være tilstrekkelig på steder hvor bilister eller fotgjengere har samme hastighet som syklist. Også på steder hvor syklist har forskjellig hastighet fra biler og fotgjengere må det forventes at sensorene vil kunne inkludere noen verdier fra andre reisemidler. Dette er fordi biltrafikkens hastighet kan variere veldig både for enkeltkjøretøy og ved ulike tider på døgnet. Joggere kan også være problematisk å filtrere bort.

For å forsikre seg om at bare syklist blir registrert, må en av sensorene være plassert langs en dedikert sykkelveg. Hvis begge sensorene må plasseres langs en bilveg, anbefales det å bruke lokasjonsfiltrering i form av en tredje sensor som blir plassert på en dedikert sykkelveg. Syklistene må da passere alle sensorene for at reisetiden på strekningen langs bilvegen skal bli registrert. I tillegg til lokasjonsfiltrering må fartsfiltrering brukes for å filtrere bort fotgjengere fra registreringene.

Antall enheter som bruker trådløs teknologi som WiFi og blåttann ser ut til å øke. Dette lover bra for reisetidsregistrering med hjelp av disse teknologiene. Likevel er en viktig forutsetning for registrering av reisetider fra syklist med WiFi og blåttann at syklistenes enheter er oppdagbare. Dette er en faktor som vil vises i fremtiden og som avhenger av produsentenes policy, enhetenes innstillinger og brukernes valg.

For at WiFi- og blåttannsensorer skal kunne settes opp permanent må det være sikkert at dette tilfredsstillende personvernet og at det er godkjent av datatilsynet. MAC-adresser, som er ID-en sensorene leser fra enhetene, er i utgangspunktet ikke sporbar tilbake til brukeren, og MAC-adressen blir også kryptert. I tillegg vil det være muligheter for at data som knytter en reisetid til en enhet kan slettes etter at reisetiden er registrert. Det vurderes derfor slik at

reisetidsregistreringer fra blåttann og WiFi ikke vil stride med personvernet, men det kan tenkes at dette vil være et tema som vil få økt omtale og publisitet i framtiden.

BlipTrack kan også brukes på kortere strekninger enn det som er studert i denne oppgaven. Da må antennekonfigurasjonen endres, slik at bare den rundtvirkende antennen er aktiv. Uten å ha studert dette nærmere, antas det at nøyaktigheten til antenner med kortere rekkevidde blir dårligere, men det gis muligheter for at en i fremtiden også kan registrere hastigheter og reisetid fra kortere strekninger og spesielle elementer av en strekning som for eksempel kurver.

Det finnes flere behov knyttet trafikkdata og sykkel i Norge. Kunnskap om sykkeltrafikkens utvikling, forbedring av datakvalitet fra registreringspunkt, opprettelse av en registreringspunktstruktur og effektberegning av sykkeltiltak nevnes som viktige faktorer for å bidra til økt tilrettelegging for sykkeltrafikk. Reisetidsregistreringer fra WiFi- og blåttannsensorer kan være med på å tilfredsstille noen av disse behovene. En godt planlagt registreringspunktstruktur vil kunne kartlegge sykkelhastigheter ved forskjellige sykkelinfrastruktur, stigninger og andre forhold. Permanent monterte sensorer kan overvåke hvordan sykkelhastigheten varierer over timer, døgn, uker og måneder. Resultatene fra reisetidsregistreringene vil også kunne bidra til å videreutvikle transportmodeller og beregningsmodeller.

WiFi- og blåttannsensorer anbefales som en løsning til å registrere reisetider fra sykkeltrafikk. Denne beslutningen tas på bakgrunn av at teknologiene har vist seg i stand til å dekke de behovene for innsamling av trafikkdata for sykkel. Sensorene gir også en tilfredsstillende nøyaktighet til de fleste formål. En viktig forutsetning for å opprettholde kvaliteten på registreringene er likevel at sensorenes plassering er nøye gjennomtenkt. Det er også viktig at en kombinasjon av lokasjonsfiltrering og fartsfiltrering blir brukt for å forhindre at fotgjengere og bilister blir registrert.

7.4 Egne erfaringer

I løpet av arbeidet med denne masteroppgaven har vi blitt mange erfaringer rikere. Vi har blant annet erfart at arbeid med nytt utstyr i felt ofte tar lenger tid enn antatt. Mye av masteroppgavens tidsbruk har gått med på flytting og montering av sensorene. Uforutsette komplikasjoner med utstyret og begrenset erfaring med arbeid i felt har også ført til at

planlagt arbeid har måttet utsettes. Det har også blitt erfart at arbeid og montering langs veg er lettere og mer komfortabel om natten på grunn av mindre forstyrrende biltrafikk.

Når det kommer til metodene som er valgt for registrering har vi erfart at manuelle registreringsmetoder sannsynligvis vil føre til noen feilregistreringer. Hvis det hadde vært bedre tid til gjennomføringen av prosjektet ville videoopptak ha minimert dette omfanget. Samtidig har vi også erfart at de få feilene som ble gjort i registreringene trolig har vært ubetydelige for det samlede resultatet.

Fra behandling av reisetidsregistreringene har vi erfart hvor viktig filtrering er for å registrere riktig reisemiddel. Vi støtte på problemer der syklister hadde samme hastighet som biler, og måtte utføre manuelle registreringer istedenfor å bruke datagrunnlaget fra BlipTrack. Nøye planlagte sensorlokasjoner er derfor viktig for å få et nøyaktig resultat fra utstyr som dette.

7.5 Videre arbeid

I denne masteroppgaven har en bare lite utvalg av strekninger med forskjellige stigninger blitt observert. En videreføring av arbeidet kunne tatt for seg flere strekninger slik at datagrunnlaget hadde blitt større. For eksempel kunne gjennomføring av tilsvarende undersøkelser i andre regioner vært interessant for å se om resultatene samsvarte.

Det kan også være interessant å studere været's betydning for sykkelhastighet mer nøye enn hva vi har fått gjort. Dette kunne ha blitt gjort ved å la sensorene stå på samme sykkelveg over lengre tid for deretter å sammenlikne hastigheten med ulike variasjoner av været.

Andre muligheter er å bruke det innsamlede datamaterialet fra denne masteroppgaven og se om det er store forskjeller mellom våre funn og det som blir benyttet i ulike transportmodeller og fremkommelighetsapplikasjoner. Videre kunne det ha blitt undersøkt hvilke effekter våre data ville ha gitt dersom de hadde blitt brukt som input i modellene.

En annen vinkling av videre arbeid kan være å studere sykkelhastigheter på forskjellige sykkelløsninger som sykkelfelt, sykkelveger og gang- og sykkelveger. Problemet med en slik problemstilling er at sykkelvegnettet ofte er lite sammenhengende, og arbeidet med å finne gode lokasjoner for registrering blir dermed omfattende.

Av andre utstyrsspesifikke aktuelle problemstillinger kan identifisering av en minsteavstand mellom sensorene også nevnes som et interessant og viktig tema.

Referanser

- ABBOTT-JARD, M., SHAH, H. & BHASKAR, A. Empirical evaluation of Bluetooth and Wifi scanning for road transport. Australasian Transport Research Forum (ATRF), 36th, 2013, Brisbane, Queensland, Australia, 2013.
- ABI RESEARCH 2012. Wi-Fi-enabled Devices, Total Annual and Cumulative Shipments, World Market, Forecast: 2000 to 2018.
- ALERTWATCH. 2014. *ANPR CAMERAS – LICENCE PLATE DETECTION* [Online]. Available: <http://alertwatch.ie/cctv-residential/anpr-camera-licence-plate-detection/> [Accessed 11.03.2014].
- ARAGHI, B. N., CHRISTENSEN, L. T., KRISHNAN, R. & LAHRMANN, H. Application of Bluetooth Technology for Mode-Specific Travel Time Estimation on Arterial Roads: Potentials and Challenges. Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University, Denmark, 2012.
- ARAGHI, B. N., OLESEN, J. H., KRISHNAN, R., CHRISTENSEN, L. T. & LAHRMANN, H. 2013. Reliability of Bluetooth Technology for Travel Time Estimation. *Journal of Intelligent Transportation Systems*.
- BAJWA, R., RAJAGOPAL, R., VARAIYA, P. & KAVALER, R. In-pavement wireless sensor network for vehicle classification. Information Processing in Sensor Networks (IPSN), 2011 10th International Conference on, 12-14 April 2011 2011. 85-96.
- BAKER, S. M. 2010. Bluetooth Technology to be Standard in More Than 90 Percent of Automobiles by 2016. <http://www.bluetooth.com/>.
- BALANI, R. 2007. Energy Consumption Analysis for Bluetooth, WiFi and Cellular Networks.
- BALASUBRAMANIAN, A., MAHAJAN, R. & VENKATARAMANI, A. 2010. Augmenting mobile 3G using WiFi. *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services*. San Francisco, California, USA: ACM.
- BECA INFRASTRUCTURE 2011. Bluetooth Deployment - Puhoi to Warkworth Pilot Study. Prepared for NZ Transport Agency (NZTA).
- BISDIKIAN, C. 2001. An overview of the Bluetooth wireless technology. *IEEE Commun Mag*, 39, 86-94.
- BLAKSTAD, F. 1995. *Anvendt statistikk for trafikkingeniører*, Trondheim.
- BLIP SYSTEMS. 2014. *Traffic* [Online]. BLIP Systems. Available: www.blipsystems.com/traffic [Accessed 29.01 2014].
- CHANG, S.-L., CHEN, L.-S., CHUNG, Y.-C. & CHEN, S.-W. 2004. Automatic license plate recognition. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 5, 42-53.

- CHEUNG, S.-Y. & VARAIYA, P. P. 2007. *Traffic surveillance by wireless sensor networks: Final report*, California PATH Program, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley.
- CHEUNG, S. Y., ERGEN, S. C. & VARAIYA, P. Traffic surveillance with wireless magnetic sensors. Proceedings of the 12th ITS world congress, 2005. 1-13.
- CISCO 2013. The Future of Mobile Networks.
- CISCO 2014a. 5 GHz Channelization. In: MHZ, W. C. (ed.). <https://meraki.cisco.com/blog/2013/08/4-things-you-need-to-know-about-802-11ac/>.
- CISCO 2014b. 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi - Technical White Paper.
- CUNCHE, M. 2013. I know your MAC address: targeted tracking of individual using Wi-Fi. *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*, 1-9.
- DOPPLER, K., RIBEIRO, C. B. & KNECKT, J. On efficient discovery of next generation local area networks. Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2011 IEEE, 28-31 March 2011 2011. 269-274.
- EL-GENEIDY, A. M., KRIZEK, K. J. & IACONO, M. J. Predicting bicycle travel speeds along different facilities using GPS data: a proof of concept model. Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Compendium of Papers, 2007.
- FLICKENGER, R., OKAY, S., PIETROSEMOLI, E., ZENNARO, M. & FONDA, C. 2008. Very long distance wi-fi networks. *Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Networked systems for developing regions*. Seattle, WA, USA: ACM.
- GAST, M. 2006. *802.11 wireless networks: The definitive guide*, Southeast University Press.
- GRØNLUND, H. 2013. Funksjoner og muligheter for registrering av reisetid med tilgjengelig blåtannteknologi. *Prosjektoppgave NTNU*.
- GUEROVA, G. 2013. Ground-based GNSS Meteorology.
- HALLBERG, J. & NILSSON, M. 2002. Positioning with Bluetooth IrDA and RFID.
- HAUGEN, M. T. Evaluation of a Travel Time Information System. 12th World Congress on Intelligent Transport Systems, 2005.
- IEEE STANDARD ASSOCIATION 2012. IEEE Standard for Information Technology: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. New York.
- JENSEN, P., ROUQUIER, J.-B., OVTRACHT, N. & ROBARDET, C. 2010. Characterizing the speed and paths of shared bicycle use in Lyon. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15, 522-524.
- KAPLAN, E. D. & HEGARTY, C. J. 2005. *Understanding GPS: principles and applications*, Artech house.

- LEDUC, G. 2008. Road traffic data: Collection methods and applications. *Working Papers on Energy, Transport and Climate Change*, 1, 55.
- LEHR, W. & MCKNIGHT, L. W. 2003. Wireless Internet access: 3G vs. WiFi? *Telecommunications Policy*, 27, 351-370.
- MEI, Z., WANG, D. & CHEN, J. 2012. Investigation with Bluetooth Sensors of Bicycle Travel Time Estimation on a Short Corridor. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012.
- MICROSOFT. 2003. *How 802.11 Wireless Works* [Online]. Available: [http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757419\(v=ws.10\).aspx](http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757419(v=ws.10).aspx) [Accessed 10.02 2014].
- MULTI-LINK INC. 2011. The ISM Band: Technical Considerations and Product Design Practices for 2.4 & 5.8 Ghz (Rev. 1.3). Rev.1.3 ed.
- MUSA, A. B. M. & ERIKSSON, J. 2012. Tracking unmodified smartphones using wi-fi monitors. *Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*. Toronto, Ontario, Canada: ACM.
- NANKERVIS, M. 1999. The effect of weather and climate on bicycle commuting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33, 417-431.
- NAVIN, F. P. D. 1994. Bicycle Traffic Flow Characteristics: Experimental Results and Comparisons. *ITE Journal*.
- NORGE I BILDER. 2014. <http://\norgeibilder.no>.
- O'HARA, B. P. A. 2004. *The IEEE 802.11 handbook : a designer's companion*, New York, IEEE.
- OVERÅ, S. 2013. Effekter av gul midtlinje i sykkelveger. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet: Institutt for bygg, anlegg og transport
- OZBAY, S. & ERCELEBI, E. 2005. Automatic vehicle identification by plate recognition. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 9, 222-225.
- PETERSON, B. S., BALDWIN, R. O. & KHAROUFEH, J. P. 2006. Bluetooth inquiry time characterization and selection. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 5, 1173-1187.
- PROSAM 2011. Fremkommelighetsundersøkelse for sykkel - Pilotprosjekt 2011.
- PROSAM 2012. Fremkommelighetsundersøkelse for sykkel 2012 – rute Ring 3.
- SHAN, D., IBRAHIM, M., SHEHATA, M. & BADAWY, W. 2013. Automatic License Plate Recognition (ALPR): A State-of-the-Art Review. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 23, 311-325.
- SHOEMAKE, M. B. 2001. Wi-Fi (IEEE 802.11b) and Bluetooth Coexistence Issues and Solutions for the 2.4 GHz ISM Band.

- SIEMENS. 2014. *Sicore Automatic Number Plate Recognition (ANPR) Camera* [Online]. Available: http://www.siemens.co.uk/traffic/en/index/productssolutionservices/sicore_anpr.htm [Accessed 11.03.2014].
- SINGER, J., ROBINSON, A. E., KRUEGER, J., ATKINSON, J. E. & MYERS, M. C. 2013. *Travel Time on Arterials and Rural Highways: State-of-the-Practice Synthesis on Rural Data Collection Technology*.
- SINTEF 2011. *Fartsnivå for sykkel i Bjorndalen*.
- SMITH, D. T. 1977. *Safety and Location Criteria for Bicycle Facilities: Final Report*, United States Federal Highway Administration.
- STATENS VEGVESEN 2013. *Sykkelhåndboka. Håndbok 233*. Oslo: Vegdirektoratet.
- STEENBRUGGEN, J., BORZACCHIELLO, M., NIJKAMP, P. & SCHOLTEN, H. 2011. Mobile phone data from GSM networks for traffic parameter and urban spatial pattern assessment: a review of applications and opportunities. *GeoJournal*, 78, 223-243.
- STOPHER, P. R. & SPEISSER, N. 2011. Evaluation of GPS Device Properties for a Possible Use in Future Household Travel Surveys.
- TEXAS INSTRUMENTS 2013. 2.4-GHz Bluetooth TM low energy and Proprietary System-on-Chip. In: INSTRUMENTS, T. (ed.).
- THORENFELDT, U. K., KUMMENEJE, A.-M. & BERTELSEN, D. 2013. Evaluering av AutoPASS Reisetidssystem. SINTEF Teknologi og samfunn.
- TRANSPORTATION STUDIES CENTER 1997. Final evaluation report for the CAPITAL-ITS operational test and demonstration program. University of Maryland College Park.
- TRIONA AS 2013. *Smartere vegtrafikk med ITS - Forstudierapport - Betalingsystemer - teknologiutvikling*.
- TRONDHEIM KOMMUNE. 2013. *Hovednett sykkel 2025*.
- VANSTEENKISTE, P., ZEuwTS, L., CARDON, G., PHILIPPAERTS, R. & LENOIR, M. 2014. The implications of low quality bicycle paths on gaze behavior of cyclists: A field test. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 23, 81-87.
- WAHL, R. & HAUGEN, T. 2005. *DynamIT - Systembeskrivelse og evaluering. SINTEF Teknologi og Samfunn*.
- WAHL, R., HAUGEN, T. & TVEIT, Ø. 2006. *Fremkommelighet - mål og metoder*.
- WATSON, R. 2012. *Understanding the IEEE 802.11ac Wi-Fi Standard*.
- WILSON, D. G., PAPADOPOULOS, J. & WHITT, F. R. 2004. *Bicycling science*, Cambridge, Mass., MIT Press.

Y. WANG, B. N. ARAGHI & Y. MALINOVSKIY 2014. Error Assessment for Emerging Traffic Data Collection Devices. University of Washington.

ZHANG, S., REN, G. & YANG, R. 2013. Simulation model of speed–density characteristics for mixed bicycle flow—Comparison between cellular automata model and gas dynamics model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392, 5110-5118.

Vedlegg

Vedlegg A - Oppgavetekst

Vedlegg B - Registrerte turer fra kontrollert test

Vedlegg C - Statistisk test for kontrollert test

Vedlegg D - Statistisk test for åpen test

Vedlegg E - Oversikt over stigninger i sykkelvegnettet i
Trondheim kommune

Vedlegg F - Valg av strekninger

Vedlegg G - Valg av filtreringsgrenser for hastigheter

Vedlegg H - Hastighetsfordelinger fra registreringene

Vedlegg I - Hastighetsvariasjoner for ulike tider på døgnet

Vedlegg J - Statistisk test for snøbyggers betydning

Vedlegg A

- Oppgavetekst

MASTEROPPGAVE
(TBA4945 Transport, masteroppgave)

VÅREN 2014
for
Halvor Grønlund og Sivert Bø Overå

Reisetidsregistrering av sykkeltrafikk

➤ **BAKGRUNN**

Et økt fokus på tilrettelegging for og bruk av sykkel som transportmiddel stiller krav til økt kunnskap om dette transportmiddelet. Reisehastigheter for sykkel er et felt der mer kunnskap er etterspurt.

➤ **OPPGAVE**

Kandidatene skal i dette arbeidet fokusere både på teknologi for innsamling av fartsdata fra sykklister, og på etablering av kunnskap om sykklisters fartsvalg sett i forhold til ulike fysiske løsninger. Kandidatene skal gjennom arbeidet:

- Gjennomføre et litteratursøk med fokus på 1) erfaringer med ulike teknologiske løsninger for innsamling av fartsdata generelt, og for sykkel spesielt, og 2) foreliggende kunnskap om sammenheng mellom sykkelhastighet og sykkelinfrastrukturens utforming, vær og føreforhold, og evt andre forhold som har vist seg å påvirke hastigheten.
- Teste ut hvorvidt WiFi og blåtann (BlipTrack sensor) egner seg til innsamling av reisetidsdata for sykklister. WiFi-modulen skal sammenlignes med bruk av blåtann, og begge teknologier skal vurderes med hensyn på pålitelighet i de innsamlede data.
- Planlegge og gjennomføre innsamling av fartsdata for sykklister for et utvalg strekninger med ulike stigningsforhold, og om mulig samtidig inkludere evt. andre forhold som f.eks vær og føre.
- Analysere og presentere resultatene og diskutere disse i forhold til funnene fra litteraturstudien.
- Komme med anbefalinger knyttet til fremtidig bruk av blåtann og WiFi til innsamling av fartsdata for sykklister.

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

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

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på <http://www.ntnu.no/bat/studier/oppgaver>.

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.

Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i ”Retningslinje ved feltarbeid m.m.”. Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i ”Laboratorie- og verkstedhåndbok”. Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til sonja.hammer@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM.

Faglærer ved instituttet: Eirin Ryeng

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: Torbjørn Haugen, Statens vegvesen Vegdirektoratet

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 15.01.2014, (evt revidert: dd.mm.åååå)

Underskrift

Faglærer

Vedlegg B

- Registrerte turer fra kontrollert test

Stavnebrua 14. mars

Person 1:

Tur nr	Retning	Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Reisetid	Reisetid [s]	Fart [km/t]	Enhet nr	Aktiv teknologi	Annet
A 1	Ø-V	01:20:53	01:22:00	00:01:07	67,00	29,6	1	W+B	
A 2	Ø-V	01:28:59	01:30:07	00:01:08	68,00	29,1	1	W+B	
A 3	Ø-V	01:37:59	01:39:41	00:01:42	102,00	19,4	1	W+B	
A 4	Ø-V	01:45:22	01:47:38	00:02:16	136,00	14,6	1	W+B	
A 5	Ø-V	01:59:02	02:00:59	00:01:57	117,00	16,9	1	W+B	
A 6	Ø-V	02:05:03	02:06:59	00:01:56	116,00	17,1	1	W+B	
A 7	V-Ø	02:14:52	02:16:18	00:01:26	86,00	23,0	1	W+B	
A 8	Ø-V	02:22:24	02:24:24	00:02:00	120,00	16,5	1	W+B	
A 9	V-Ø	02:29:06	02:30:05	00:00:59	59,00	33,6	1	W+B	
A 10	Ø-V	02:38:10	02:39:49	00:01:39	99,00	20,0	1	W+B	
A 11	V-Ø	02:43:10	02:45:29	00:02:19	139,00	14,2	1	W+B	
A 12	Ø-V	02:53:09	02:54:59	00:01:50	110,00	18,0	6	W+B	
A 13	V-Ø	02:58:28	03:00:13	00:01:45	105,00	18,9	3	W	

Person 2:

Tur nr	Retning	Starttidspunkt	Sluttidspunkt	Reisetid	Sekund	astighet km	Enhet nr	Aktiv teknologi	Annet
B 1	Ø-V	01:23:51	01:25:30	00:01:39	99,00	20,0	8,4,3,5	W+B	8 usikker
B 2	V-Ø	01:31:54	01:33:22	00:01:28	88,00	22,5	6,7,2	W+B	7 usikker
B 3	Ø-V	01:40:12	01:41:50	00:01:38	98,00	20,2	8,4,3,5	W+B	8 usikker
B 4	V-Ø	01:48:30	01:50:12	00:01:42	102,00	19,4	6,7,2	W+B	7 usikker
B 5	Ø-V	02:00:47	02:02:37	00:01:50	110,00	18,0	8,4,3,5	W+B	
B 6	V-Ø	02:10:53	02:12:30	00:01:37	97,00	20,4	6,7,2	W+B	2 og 7 var parett
B 7	Ø-V	02:20:12	02:21:34	00:01:22	82,00	24,1	2,3,4,5,6,7,8	W+B	
B 8	V-Ø	02:27:30	02:29:10	00:01:40	100,00	19,8	2,3,4,5,6,7,8	W+B	
B 9	Ø-V	02:36:08	02:37:48	00:01:40	100,00	19,8	2,3,4,5,6,7,8	W+B	
B 10	V-Ø	02:43:10	02:45:28	00:02:18	138,00	14,3	2,3,4,5,6,7,8	W+B	
B 11	Ø-V	02:54:39	02:56:17	00:01:38	98,00	20,2	2	W+B	
B 12	V-Ø	03:00:58	03:02:45	00:01:47	107,00	18,5	5	W+B	

Vedlegg C

– Statistisk test for kontrollert test

Statistisk test for reisetider registrert manuelt og med BlipTrack i pilottesten – Lukket test

Formål: Denne statistiske testen undersøker om forskjellene i gjennomsnittlig reisetid fra manuelle registreringer og registreringer gjort av BlipTrack-sensoren er statistisk signifikant.

Metode: En t-test vil avklare om forskjeller i gjennomsnittlige reisetider mellom datasettene er signifikant eller ikke. En t-test kan ta utgangspunkt i en antagelse om lik varians i datagrunnlaget eller ulik varians i datagrunnlaget. For å avgjøre hvilken type antagelse t-testen skal basere seg på gjennomføres en F-test. Dersom F-testen «lykkes» på et 5 % signifikansnivå brukes antagelsen om like varians i t-testen. Dersom F-testen «feiler» brukes antagelsen om ulik varians i datagrunnlaget.¹

Utførelse: F-testen ble først utført på det manuelt registrerte datasettet og på datasettet fra BlipTrack. WiFi, blåtann og WiFi og blåtann kombinert ble behandlet hver for seg.

F-testen «lykkes» dersom verdien P-verdien ($P(F \leq f)$ *one-tail*) overstiger signifikansnivået på 5 %, altså 0,05 eller høyere. Generelt indikerer P-verdien sannsynligheten for at den observerte forskjellen i varians mellom to datasett skyldes en tilfeldig feil. Dersom $P < 0,05$ er variansene statistisk forskjellig i datasettene. Nedenfor vises resultatet fra F-testene.

F-Test: To utvalg for varianser

	Egen måling	WiFi + BT	WiFi	Blåtann
Gjennomsnitt	102,25	104,0961538	112,625	100,3056
Varians	345,8272727	412,9513575	361,9833	398,5611
Observasjoner	56	52	16	36
fg	55	51	15	35
F		0,837452805	0,955368	0,867689
P($F \leq f$) en side		0,25914723	0,424953	0,31332
F-kritisk, en side		0,635071088	0,539875	0,611268
Resultat	p>0,05	p>0,05	p>0,05	p>0,05

Som en kan se overstiger P-verdien 0,05 for alle datasettene. Dermed har testen antydnet at variansen fra de forskjellige datasettene er like med et 5 % signifikansnivå, slik at det videre antas lik varians mellom datasettene i t-testen.

¹ Forklaring – “Excel F-Test, t-Tests”, http://chemistry.depaul.edu/wwolbach/390_490/Excel/5_F-Test_t-Tests.pdf

t-testen undersøker videre om de gjennomsnittlige reisetidene (μ) fra hvert av datasettene er signifikant ulike. Det stilles dermed to hypoteser i t-testen:

$$H_0: \mu_{BlipTrack} = \mu_{manuelle\ registreringer}$$

$$H_1: \mu_{BlipTrack} \neq \mu_{manuelle\ registreringer}$$

Dersom P-verdien ($P(T \leq t)$ *two-tail*) overstiger signifikansnivået på 5 %, altså 0,05 eller høyere kan nullhypotesen ikke forkastes. P-verdien indikerer generelt sannsynligheten for at den observerte forskjellen i gjennomsnittlige reisetider mellom datasett skyldes tilfeldigheter. t-testen ble utført på de samme datagrunnlagene som F-testen ble gjennomført på. Nedenfor vises resultatet fra t-testen.

t-Test: To utvalg med antatt like varianser

	<i>Egen måling</i>	<i>Blåtann + WiFi</i>	<i>WiFi</i>	<i>Blåtann</i>
Gjennomsnitt	102,25	104,0962	112,625	100,3056
Varians	345,8273	412,9514	361,9833	398,5611
Observasjoner	56	52	16	36
Gruppevarians		378,1228	349,2893	366,3349
Antatt avvik mellom gjennomsnittene		0	0	0
fg		106	70	90
t-Stat		-0,49299	-1,95832	0,475563
P(T<=t) ensidig		0,311521	0,027089	0,317769
T-kritisk, ensidig		1,659356	1,666914	1,661961
P(T<=t) tosidig		0,623042	0,054179	0,635538
T-kritisk, tosidig		1,982597	1,994437	1,986675
Forkaste nullhypotese (P<0,05)		Nei	Nei	Nei

Som en kan se overstiger P-verdien signifikansnivået på 0,05 for alle datasettene. Likevel kan en for WiFi kan en se at P-verdien er nær signifikansnivået. Dette betyr at gjennomsnittlig reisetid fra egen måling og WiFi grenser mot å være statistisk signifikant forskjellige.

P-verdien datasettene fra blåtann og WiFi kombinert og blåtann alene overstiger signifikansnivået med stor margin. En kan med over 60% sannsynlighet si at den observerte forskjellen i gjennomsnittlige reisetider mellom datasettene skyldes tilfeldigheter. Med andre ord kan vi ikke si at det foreligger en statistisk forskjell mellom manuelle registreringer og registreringer gjort med BlipTrack-sensoren (nullhypotesen kan ikke forkastes). En kan ikke konkludere med at nullhypotesen er riktig, men dette resultatet antyder at registreringer gjort med BlipTrack-sensoren sannsynligvis representerer reelle reisetider godt.

Vedlegg D

– Statistisk test for åpen test

Statistisk test for reisetider registrert manuelt og med BlipTrack i pilottesten – Åpen test

Formål: Denne statistiske testen undersøker om forskjellene i gjennomsnittlig reisetid fra manuelle registreringer og registreringer gjort av BlipTrack-sensoren er statistisk signifikant.

Metode: En t-test vil avklare om forskjeller i gjennomsnittlige reisetider mellom datasettene er signifikant eller ikke. En t-test kan ta utgangspunkt i en antagelse om lik varians i datagrunnlaget eller ulik varians i datagrunnlaget. For å avgjøre hvilken type antagelse t-testen skal basere seg på gjennomføres en F-test. Dersom F-testen «lykkes» på et 5 % signifikansnivå brukes antagelsen om like varians i t-testen. Dersom F-testen «feiler» brukes antagelsen om ulik varians i datagrunnlaget.²

Utførelse: F-testen ble først utført på reisetider fra BlipTrack og de manuelle registreringene for morgenrushet og ettermiddagsrushet hver for seg. Datagrunnlaget fra BlipTrack bestod av 44 registreringer fra morgenen og 41 fra ettermiddagen. Datagrunnlaget fra manuelle registreringer bestod av 247 registreringer fra morgenen og 217 registreringer fra ettermiddagen. F-testen «lykkes» dersom verdien P-verdien ($P(F \leq f)$ one-tail) overstiger signifikansnivået på 5 %, altså 0,05 eller høyere. Generelt indikerer P-verdien sannsynligheten for at den observerte forskjellen i varians mellom to datasett skyldes en tilfeldig feil. Dersom $P < 0,05$ er variansene statistisk forskjellig i datasettene. Nedenfor vises resultatet fra F-testen for begge rushtidene.

F-Test - Two-Sample for Variances					
Morgenrush			Ettermiddagsrush		
	Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 2
Mean	90.34	93.01	Mean	84.32	80.49
Variance	451.34	239.08	Variance	646.02	240.02
Observations	44	193	Observations	41	217
df	43	192	df	40	216
F	1.887820418		F	2.691538008	
P(F<=f) one-tail	0.001987447		P(F<=f) one-tail	2.51373E-06	
F Critical one-tail	1.443899743		F Critical one-tail	1.450607241	

Som en kan se overstiger ikke verdien for $P(F \leq f)$ one-tail 0,05 for verken morgenrush eller ettermiddagsrush. Dermed har testen antydnet at variansen fra de forskjellige datasettene er ulike med et 5 % signifikansnivå, slik at det videre antas ulik varians mellom datasettene i t-testen.

² Forklaring – “Excel F-Test, t-Tests”, http://chemistry.depaul.edu/wwolbach/390_490/Excel/5_F-Test_t-Tests.pdf

t-testen undersøker videre om de gjennomsnittlige reisetidene (μ) fra hvert av datasettene er signifikant ulike. Det stilles dermed to hypoteser i t-testen:

$$H_0: \mu_{BlipTrack} = \mu_{manuelle\ registreringer}$$

$$H_1: \mu_{BlipTrack} \neq \mu_{manuelle\ registreringer}$$

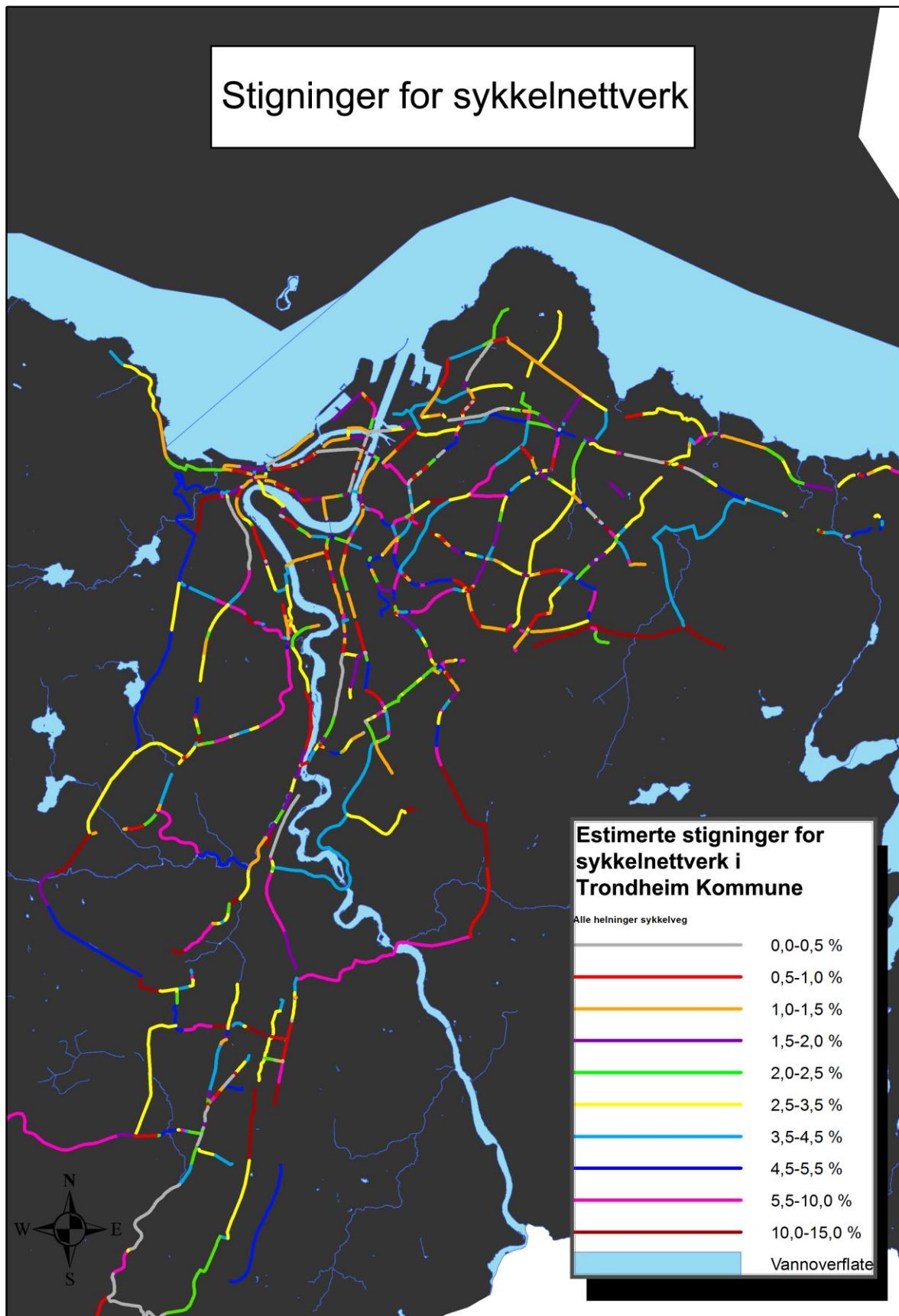
Dersom P-verdien ($P(T \leq t)$ two-tail) overstiger signifikansnivået på 5 %, altså 0,05 eller høyere kan nullhypotesen ikke forkastes. P-verdien indikerer generelt sannsynligheten for at den observerte forskjellen i gjennomsnittlige reisetider mellom datasett skyldes tilfeldigheter. t-testen ble utført på det samme datagrunnlaget fra morgenrushet og ettermiddagsrushet. Nedenfor vises resultatet fra t-testen for begge rushtidene.

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances					
Morgenrush			Ettermiddagsrush		
	Variable 1	Variable 2		Variable 1	Variable 2
Mean	90.34	93.01036269	Mean	84.31707317	80.49308756
Variance	451.35	239.0832254	Variance	646.0219512	240.0196279
Observations	44	193	Observations	41	217
Hypothesized Mean Difference	0		Hypothesized Mean Difference	0	
df	54		df	46	
t Stat	-0.787293901		t Stat	0.931220462	
P(T<=t) one-tail	0.217275926		P(T<=t) one-tail	0.17830066	
t Critical one-tail	1.673564906		t Critical one-tail	1.678660414	
P(T<=t) two-tail	0.434551853		P(T<=t) two-tail	0.356601321	
t Critical two-tail	2.004879288		t Critical two-tail	2.012895599	

Som en kan se overstiger P-verdien grenseverdien på 0,05 med god margin for både morgenrush og ettermiddagsrush. Med andre ord kan vi ikke si at det foreligger en statistisk signifikant forskjell mellom manuelle registreringer og registreringer gjort med BlipTrack-sensoren (nullhypotesen kan ikke forkastes). En kan ikke konkludere med at nullhypotesen er riktig, men dette resultatet antyder at registreringer gjort med BlipTrack-sensoren sannsynligvis representerer reelle reisetider godt.

Vedlegg E

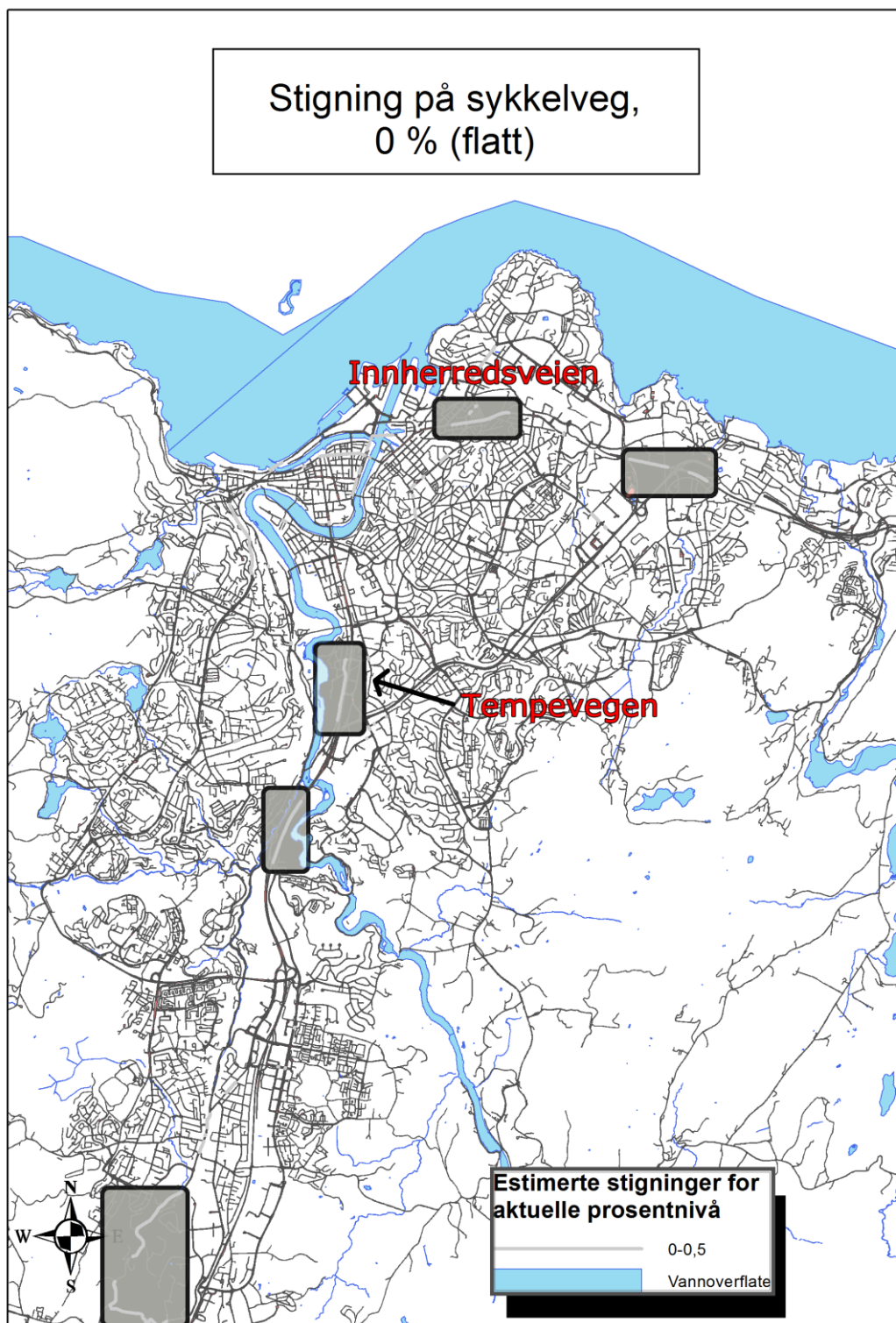
– Oversikt over stigninger i sykkelvegnettet i Trondheim
kommune

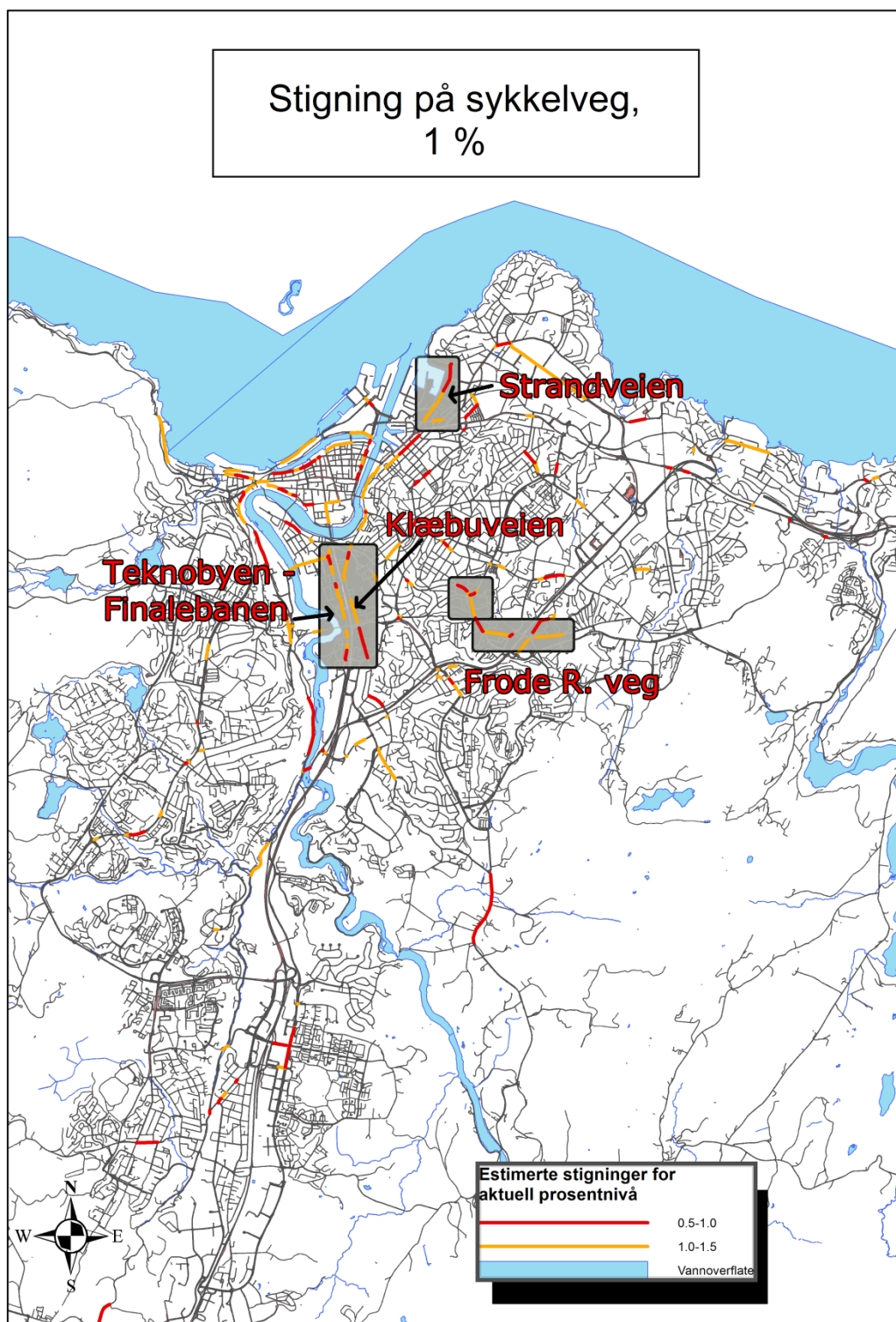


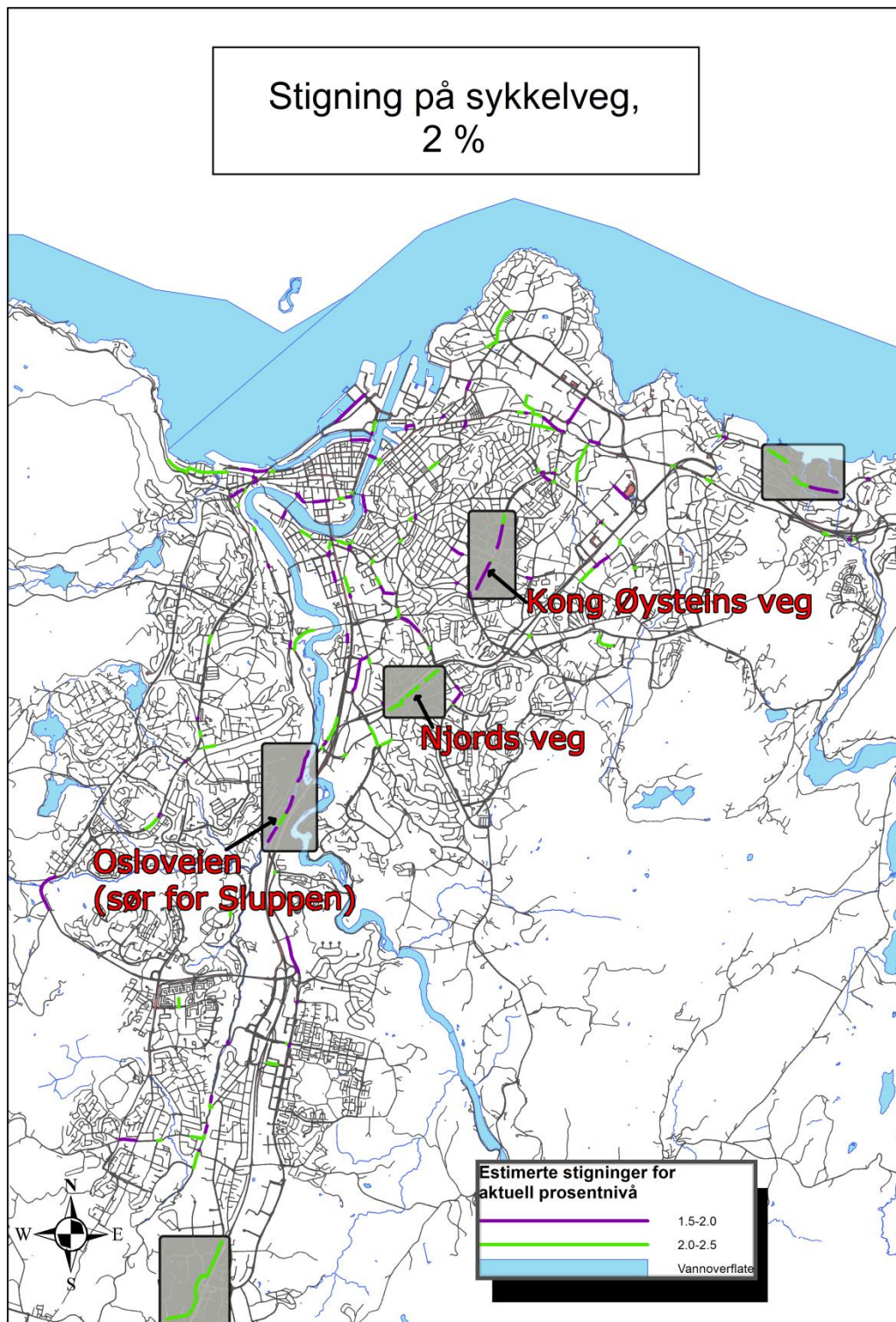
Vedlegg F

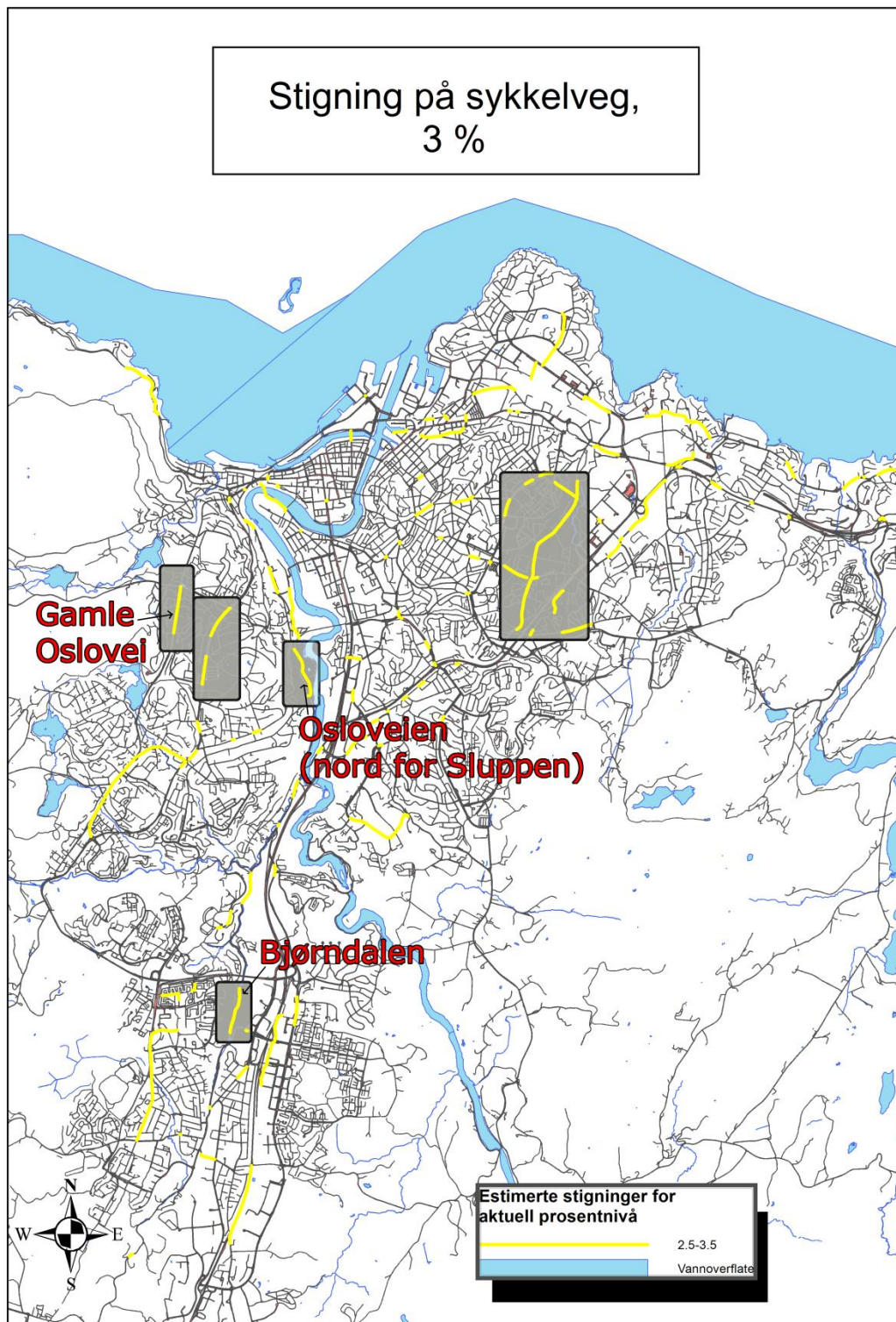
– Valg av strekninger

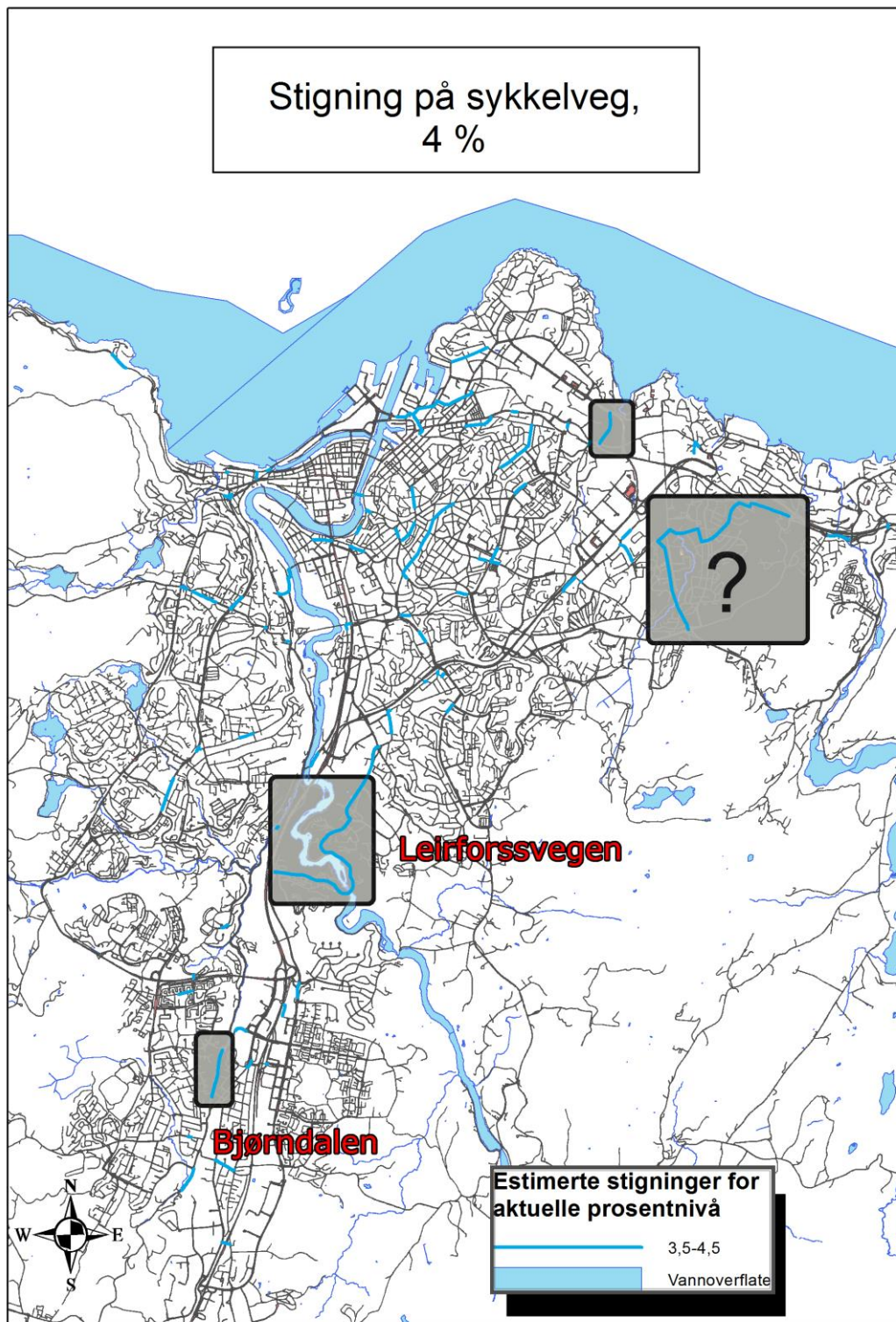
I. Plassering av sensorer – Nominering av lokasjoner, 0 % - 10 %

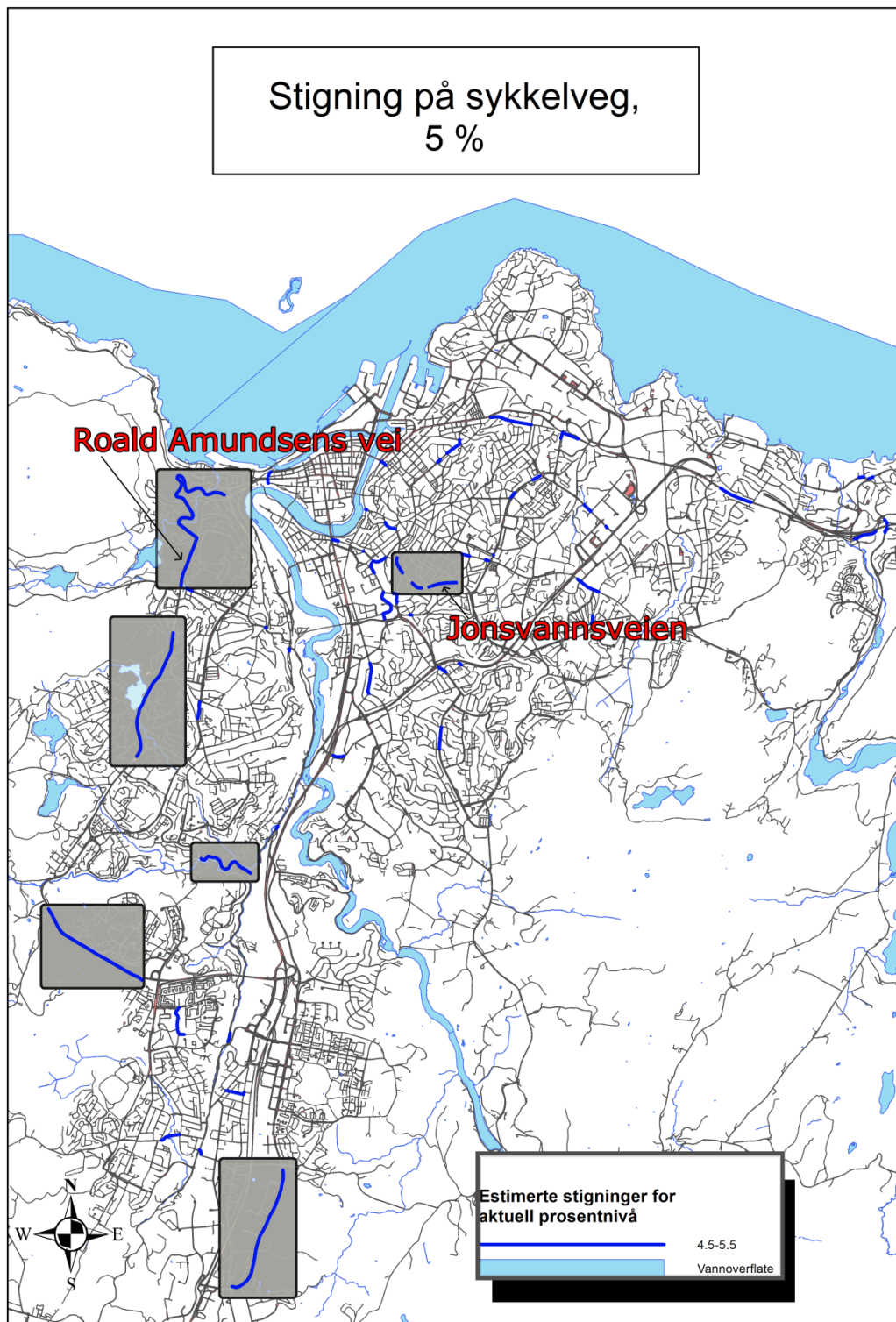


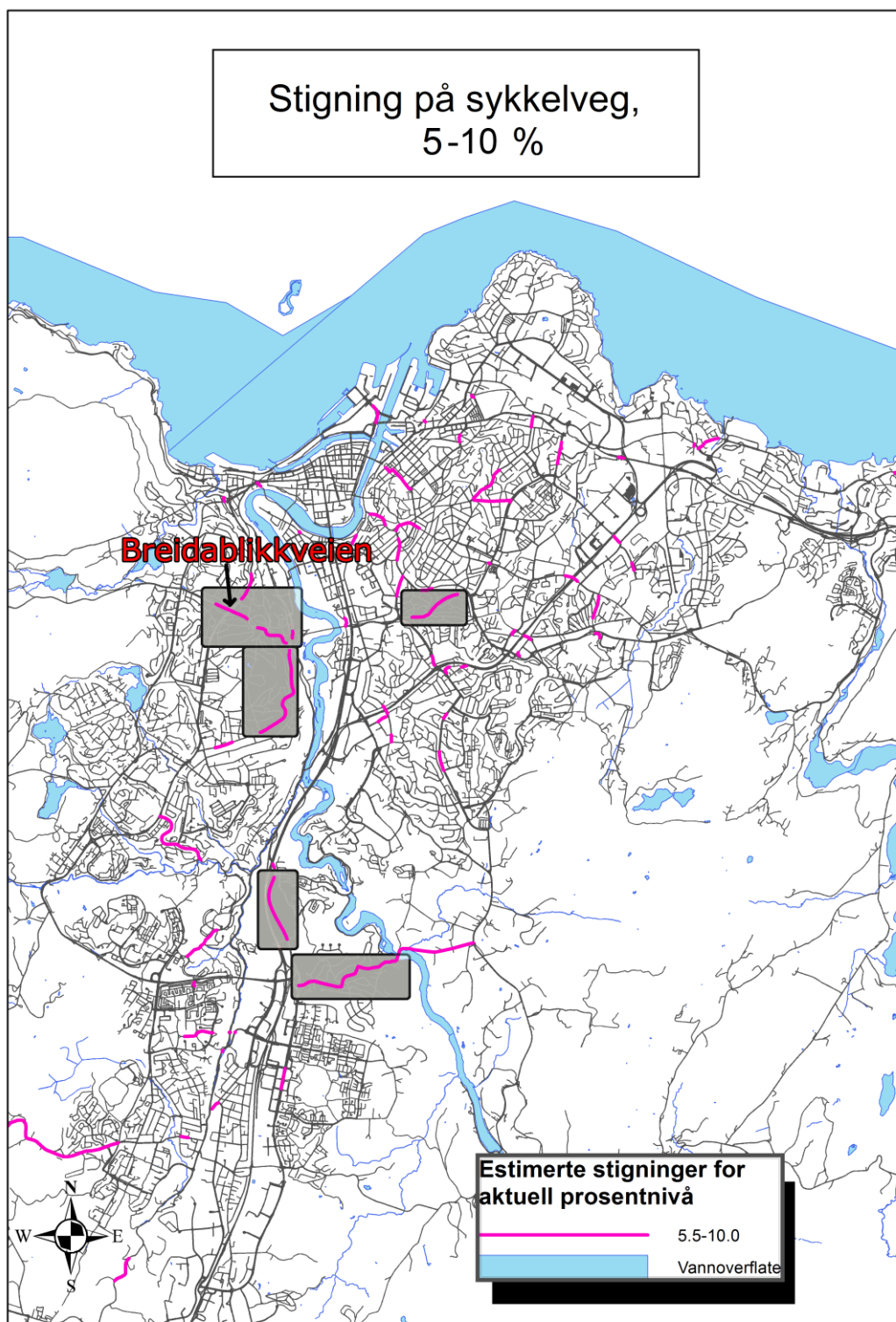












II. Plassering av sensorer – Stigningskontroll ved bruk av GPS-målinger

Benyttede steds-koder er markert med uthevet skrift.

Forvstign %	Steds kode	X-koord	Y-Koord	Høyde	Delta høyde	Lengde mellom sensore ³	Faktisk %	Stignings-retn.	Add. Lengde*
4	Bjd 1	7026085	568003,4	128,500	x	x	x	ned mot bjd 2	x
4	Bjd 2	7026658	568140,1	109,861	18,639	600	3,11 %	ned mot bjd 2	x
3	Bjd 3	7026784	568220,7	108,160	x	x	x	ned mot bjd 4	x
3	Bjd 4	7027436	568357,3	85,886	22,274	680	3,28 %	ned mot bjd 4	Se under
?	Bjd 5	7028203	568316,7	57,160	28,726	900	3,19 %	ned mot bjd 5	3,23 %
3	Bjd 6	7028957	568504,4	35,669	21,491	820	2,62 %		x
2	Osl 1	7029646	568888,3	22,817	x	x	x	ned mot osl 2	x
2	Osl 2	7030009	569073,2	15,512	7,305	410	1,78 %		
1	Osl 3	7030670	569312,3	7,927	x	x	x	ned så opp mot osl 4	x
1	Osl 4	7031016	569359,2	6,881	1,046	350	0,30 %	ned så opp mot osl 4	x
2	Tmp 1	7030751	569515,8	25,498	x	x	x	opp mot tmp 2	x
2	Tmp 2	7031154	569687,4	34,284	8,786	440	2,00 %		x
1	Tmp 3	7031909	569785,2	25,787	x	x	x	ned mot udb 1	x
1	Udb 1	7032451	569769,4	22,932	2,855	555	0,51 %	ned mot udb 1	Se under
1	Udb 2	7032650	569724,8	22,096	0,836	210	0,40 %	ned mot udb 2	0,48 %
1	Udb 3	7033095	569596,4	18,248	3,848	470	0,82 %		x
5	JON 1	7032818	570820,3	86,532	x	x	x	opp mot jon 2	x
5	JON 2	7032885	571225,	109,302	22,770	410	5,55 %		x

³ Lengde fra norgebilder.no

			3						
10	RAP 1	7032466	571420,8	108,650	x	x	x	ned mot rap 2	x
10	RAP 2	7032501	570973,6	66,600	42,050	460	9,14 %		x
1	STA 1	7032330	569774,7	27,629	x	x	x	ned mot sta 2	x
1	STA 2	7032271	569469	23,930	3,699	310	1,19 %	bunnen	x
1	STA 3	7032219	569255,5	26,042	2,112	220	0,96 %	ned mot sta2	x
5-10	BRE 1	7032106	569034,5	27,236	x	x	x	opp mot bre 2	x
5-10	BRE 2	7032244	568735,5	58,804	31,568	360	8,77 %		x
5-10	BRE 3	7032300	568683,8	63,109	x	x	x	opp mot bre 4	x
5-10	BRE 4	7032513	568317,1	105,164	42,055	450	9,21 %		x
5	BYA 1	7033015	568543,5	80,777	x	x	x	opp mot bya 2	x
5	BYA 2	7032610	568337,3	106,053	25,276	470	5,38 %		x
3	BYA 3	7032382	568118,5	116,647	x	x	x	opp mot bya 4	x
3	BYA 4	7031975	567953,5	128,662	12,015	440	2,73 %		x
5	ROA 1	7033036	567623,9	145,934	x	x	x	ned mot roa 2	x
5	ROA 2	7033462	567786,5	123,244	22,690	460	4,93 %		x
10-15	ROA 3	7033523	567813,8	119,926	x	x	x	ned mot roa 4	x
10-15	ROA 4	7033649	567851,7	109,140	10,786	130	8,30 %	ned mot roa 5	x
10-15	ROA 5	7033993	568123,2	32,110	77,030	540	14,26 %		x
3	OSL 5	7032924	569021,3	8,342	x	x	x	opp mot osl 6	x
3	OSL 6	7032360	569094,5	24,014	15,672	580	2,70 %		x
3	OSL 7	7031968	569118,8	23,786	x	x	x	ned mot osl 8	x
3	OSL 8	7031530	569302,7	5,756	18,030	580	3,11 %	ned mot osl 8	x
0.5-1	Osl 4	7031016	569359,2	6,881	1,125	540	0,21 %		x

* «Add. Lengde» står for addert lengde. Med det menes det at to påfølgende lengder har blitt slått sammen og etablert en felles gjennomsnittstigning.

III. Plassering av sensorer - Evaluering, 0 % - 10 %

Valgte sensorlokasjoner er markert med uthevet skrift.

0 %

Sted	Beskrivelse	Ønsket gj. stign.?	Jevn stign.?	Mye sykkeltrafikk?	Sykelveg/-felt	Enkelt å filtrere?	Samlet vurdering (dårlig, middels, god)
Tempevegen (fra 7-eleven Tempe)	Populær sykkelveg med lite til ingen forstyrrelse av biler.	Delvis	Ja	Ja	S.veg for det meste	Ja	God
Innherredsveien (langs Rosendal)	Sykeltrafikk går stort sett på fortau langs Myet trafikkert bilveg. Må krysse noen veger.	Usikkert	Ja	Usikkert	Blandet - Fortau	Nei	Dårlig / Middels

Konklusjon – Tempevegen og Udbyes gate (antatt 1 %) forlenger hverandre bra og utgjør 0,5 % og 0,7 % på to utvalgte strekning som går på tvers av disse to sykkeltraseene. Fremfor én 0 %-er og én 1 %-er brukes denne forlengelsen for å dekke «lavprosentene» 0 % og 1 %.

1 %

Sted	Beskrivelse	Ønsket gj. stign.?	Jevn stign.?	Mye sykkeltrafikk?	Sykelveg/-felt	Enkelt å filtrere?	Samlet vurdering (dårlig, middels, god)
Klæbuveien	Populær sykkeltrasé med noe ujevn stigning. Lite biltrafikk.	Ja	Nei	Ja	S.felt	Ja	Middels / God
Udbyes gate (Teknobyen)	Populær sykkelveg med lite til ingen forstyrrelse av biler.	Delvis	Ja	Ja	S.veg for det meste	Ja	God
Frode Rinnans veg (Moholt)	En noe kort men avskjermet gange/sykkelveg.	Usikkert	Ja	Nei	Blandet - Fortau	Ja	Middels
Strandveien (Svartlamoen)	Gang- og sykkelveg med lite biltrafikk langs.	Usikkert	Nei	Delvis / Ja	GS-veg / S.felt	Ja	Middels

Konklusjon - Tempevegen og Udbyes gate (antatt 1 %) forlenger hverandre bra og utgjør 0,5 % og 0,7 % på to utvalgte strekning som går på tvers av disse to sykkeltraseene. Fremfor én 0 %-er og én 1 %-er brukes denne forlengelsen for å dekke «lavprosentene» 0 % og 1 %.

2 %

Sted	Beskrivelse	Ønsket gj. stign.?	Jevn stign.?	Mye sykkeltrafikk?	Sykelveg/-felt	Enkelt å filtrere?	Samlet vurdering (dårlig, middels, god)
Osloveien (sør for Sluppen bru)	Gange/sykelveg dominert av sykler langs trafikkert bilveg med Mye hastighet.	Ja	Ja	Delvis	GS-veg - Fortau	Ja	Middels / God
Kong Øysteins veg (Valentinlyst senter)	Lang gange/sykelveg tidvis avbrutt av vegkryss. Syklister bruker delvis bilvegen.	Usikkert	Ja	Nei	GS-veg - Fortau	Nei	Dårlig
Njords veg (langs E6)	Ikke egnet grunnet varierende sykkelinfrastruktur.	Nei	Nei	Usikkert	S.veg / blandet Fortau	Ja	Dårlig / Middels
Tempevegen (nord for Sluppen bru)	Trafikkert sykkelveg langs trafikkert bilveg. Isolering mulig.	Ja	Ja	Ja / Delvis	S. Veg	Ja	God

Konklusjon – Tempevegen opp fra Sluppen Bru var ikke opprinnelig med i nomineringen fra kartanalysen, men ble funnet til å ha perfekt 2.0 % og tilstrekkelig sykkeltrafikk. Osloveien er også interessant med jevn stigning på 1.8 %, men Tempevegen foretrekkes.

3 %

Sted	Beskrivelse	Ønsket gj. stign.?	Jevn stign.?	Mye sykkeltrafikk?	Sykelveg/-felt	Enkelt å filtrere?	Samlet vurdering (dårlig, middels, god)
Osloveien (nord for Sluppen bru)	Gang- og sykkelveg med lite til ingen forstyrrelse av biler. Søndre del har jevn stigning, ikke nordre del.	Ja	Ja for sør, nei for nord	Delvis	GS-veg - Fortau	Ja	Middels / God
Bjørndalen (sør for Bjørndalsbrua)	En lang gang- og sykkelveg dominert av sykler. Går langs biltrafikk med vesentlig Myeere fart i svingete terreng.	Ja	Ja	Ja	GS-veg- mest sykler	Ja	Middels / God
Gamle Oslovei (Byåsen butikkssenter)	Rett strekning i et boligområde med flere krysninger av vegger. Fartsdumper og lav fartsgrense i vegen gjør at biler kjører sakte.	Usikkert	Nei	Nei	S.felt / blandet Fortau	Nei	Dårlig

Konklusjon – Osloveien er delt i to parseller med ulik stigningsretning, en på 2.7 % og en på 3.1 %. Den nordre parsellen (2.7 %) stiger noe ujevnt. Bjørndalen med to ulike parseller på 3.2 % og 2.6 % prioriteres grunnet lengre strekninger, noe som vil minimere størrelsen på feil.

4 %

Sted	Beskrivelse	Ønsket gj. stign.?	Jevn stign.?	Mye sykkeltrafikk?	Sykkelveg/-felt	Enkelt å filtrere?	Samlet vurdering (dårlig, middels, god)
Bjørndalen (like før Heimdal sentrum)	En lang gange/sykkelveg dominert av sykler går langs biltrafikk. Ujevn stigning med mest slakt og ett kort, bratt parti.	Nei	Nei	Ja	GS-veg – mest sykler	Ja	Dårlig / Middels
Leirfossvegen (langs Nidelven)	Ingen fremtredende sykkeltrasé.	Nei	Nei	Nei	Fortau	Nei	Dårlig

Konklusjon – Verken Bjørndalen eller Leirfossvegen hadde en stigning som tilsvarte 4 %. Leirfossvegen gikk opp og ned, Bjørndalen var så lav som 3.3 % på det bratteste vi beregnet mellom våre punkter. Det ble heller ikke funnet noen andre steder med 4 % stigning, så 4 % tas dessverre ikke med i sammenlikningen.

5 %

Sted	Beskrivelse	Ønsket gj. stign.?	Jevn stign.?	Mye sykkeltrafikk?	Sykkelveg/-felt	Enkelt å filtrere?	Samlet vurdering (dårlig, middels, god)
Jonsvannsveien (fra kryss med Eidsvolls gate)	Lang strekning i et boligområde med én vegkryssing. Fartsdumper og lav fartsgrense i veien gjør at biler kjører sakte.	Delvis	Ja	Delvis	GS-veg - Fortau	Nei	Dårlig / Middels
Roald Amundsens vei	Sykkelfelt langs veg hvor det blir vanskelig å filtrere ut sykler i utforbakken. Oppover går greit. Trolig går det lite sykkeltrafikk her, og først og fremst spreke folk.	Ja	Ja	Delvis / Usikkert	Sykkelfelt	Nei / Delvis	Middels / God
Byåsveien	Strekning langs trafikkert bilveg. Mange syklistene sykler i veien i nedoverbakken.	Ja	Ja	Delvis / Usikkert	GS-veg	Nei / Delvis	Middels / God

Konklusjon – For 5 % stigning er det problematisk for filtreringen at syklistene og biler har lik hastighet i nedoverbakke. Dette er for alle gatene et problem slik at manuelle registreringer er nødvendig for disse samt brattere traseer. Byåsveien foretrekkes pga. mest sykkeltrafikk.

5 - 10 %

Sted	Beskrivelse	Ønsket gj. stign.?	Jevn stign.?	Mye sykkeltrafikk?	Sykkelveg/-felt	Enkelt å filtrere?	Samlet vurdering (dårlig, middels, god)
Breidablikkveien	Gang- og sykkelveg langs bilveg med fartsgrense 30. Kan være vanskelig med fartsfiltrering. Muligheter for posisjonsfiltrering med en tredje sensor på Stavne bru.	Ja	Ja	Delvis	GS-veg	Ja	Middels / God
Grusveg Dybdahls veg – Moholt	Gang- og sykkelveg som fungerer som en snarvei fra Dybdahls veg til Moholt. Grusveg.	Ja	Delvis	Delvis	GS-veg	Ja	Middels / God

Konklusjon – Breidablikkveien foretrekkes på grunn av jevnere stigning. Samt antas det at det er flere syklistene i Breidablikkveien (egne antakelser).

Vedlegg G

– Valg av filtreringsgrenser for hastigheter

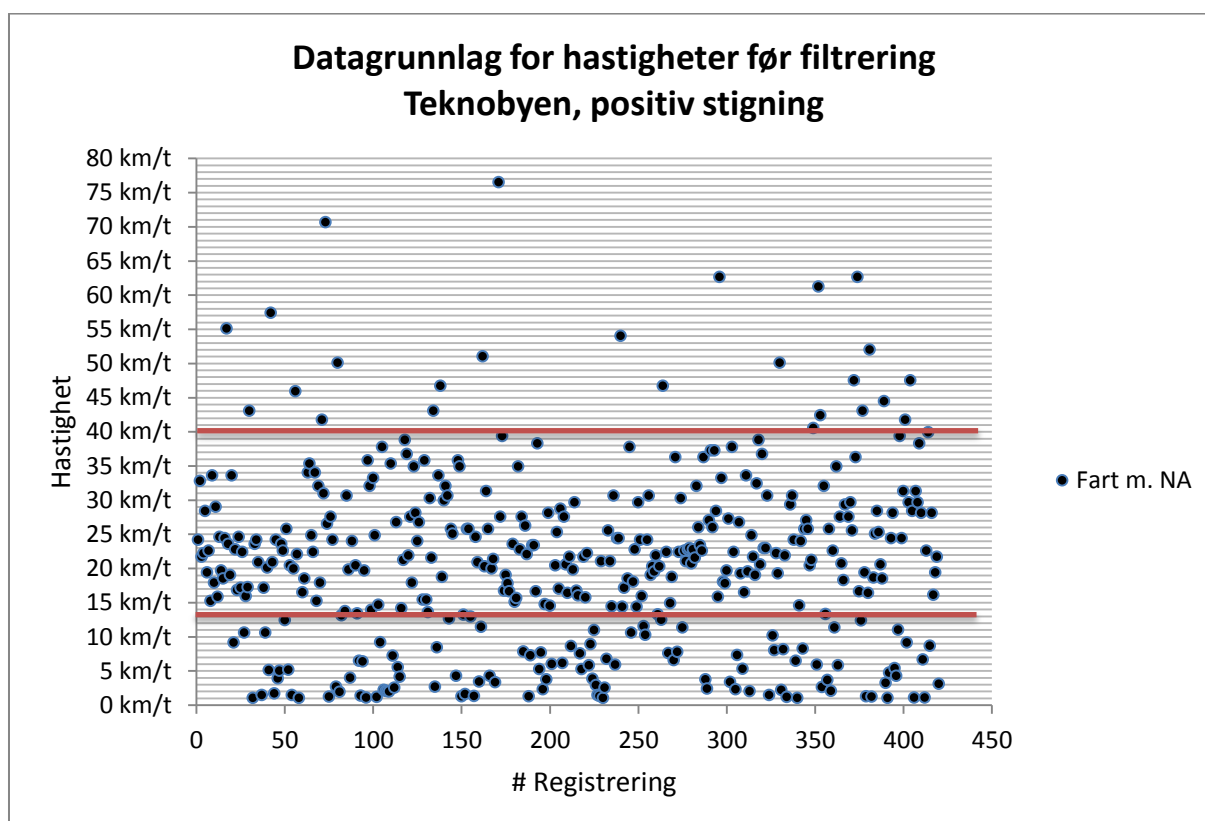
Filtreringsgrenser – Begrunnelser for øvre og nedre filtreringsgrense for hastighet

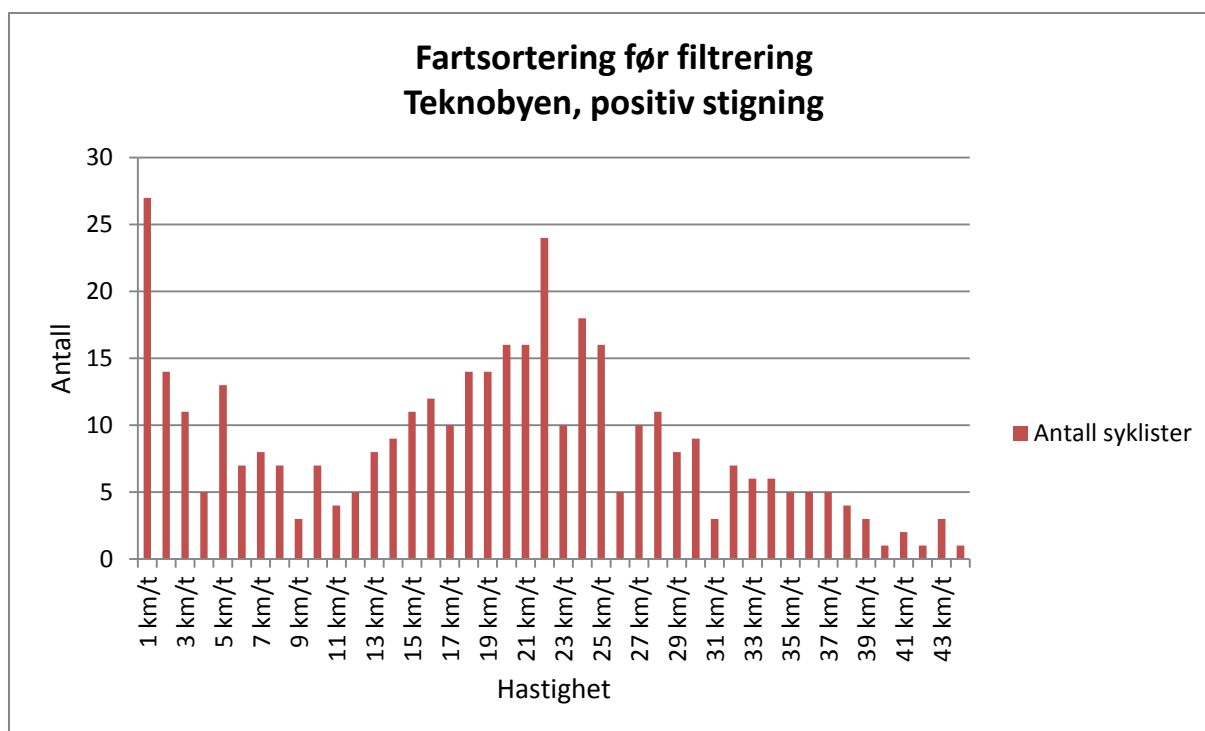
Oversiktstabell*				
Lokasjon	Positiv stigning		Negativ stigning	
I. Teknobyen, 0.5 %	13	40	13	40
II. Finalebanen, 0.8 %	13	40	13	40
III. Tempevegen, 2.0 %	10	30	15	40
IV. Bjørndalen (nord), 2.6 %	10	28	13	43
V. Bjørndalen (sør), 3.2 %	10	28	13	45
VI. Byåsveien, 5.4 %	8	18	-	-
VII. Breidablikk, 9.2 %	6	15	11	50

* For begrunnelser av verdiene henvises det til nærmere forklaringer i seksjonen nedenfor.

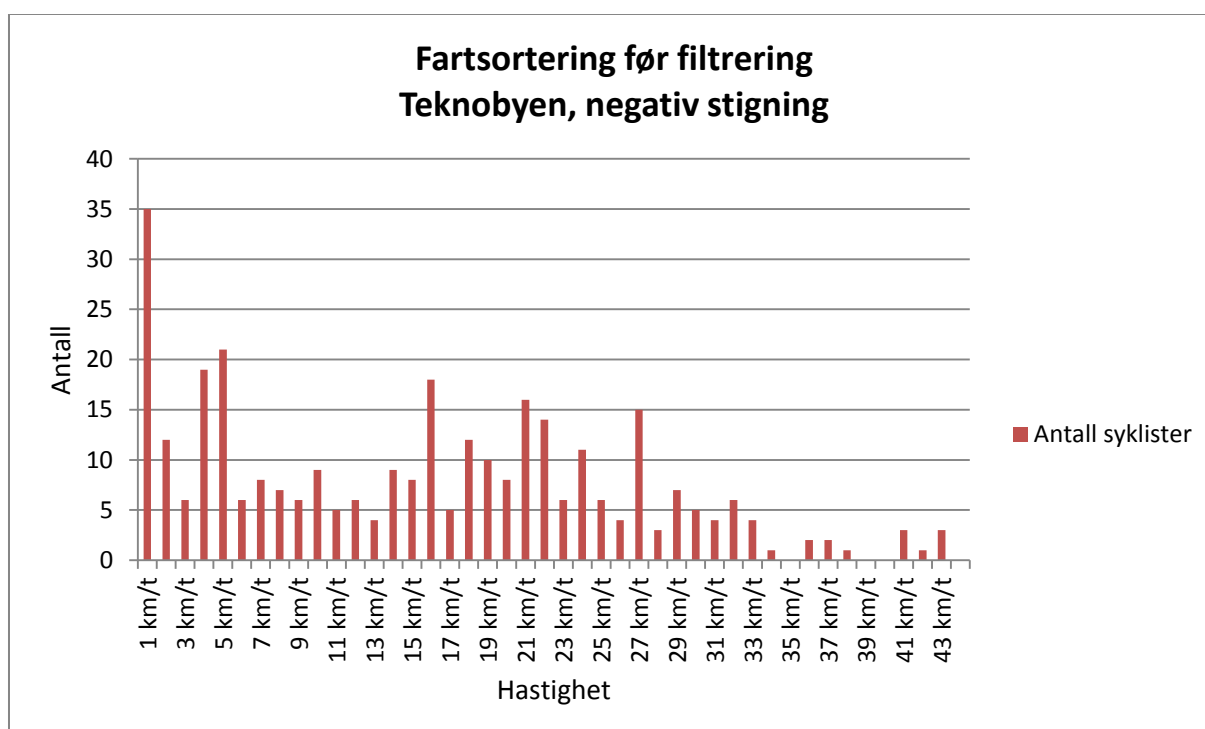
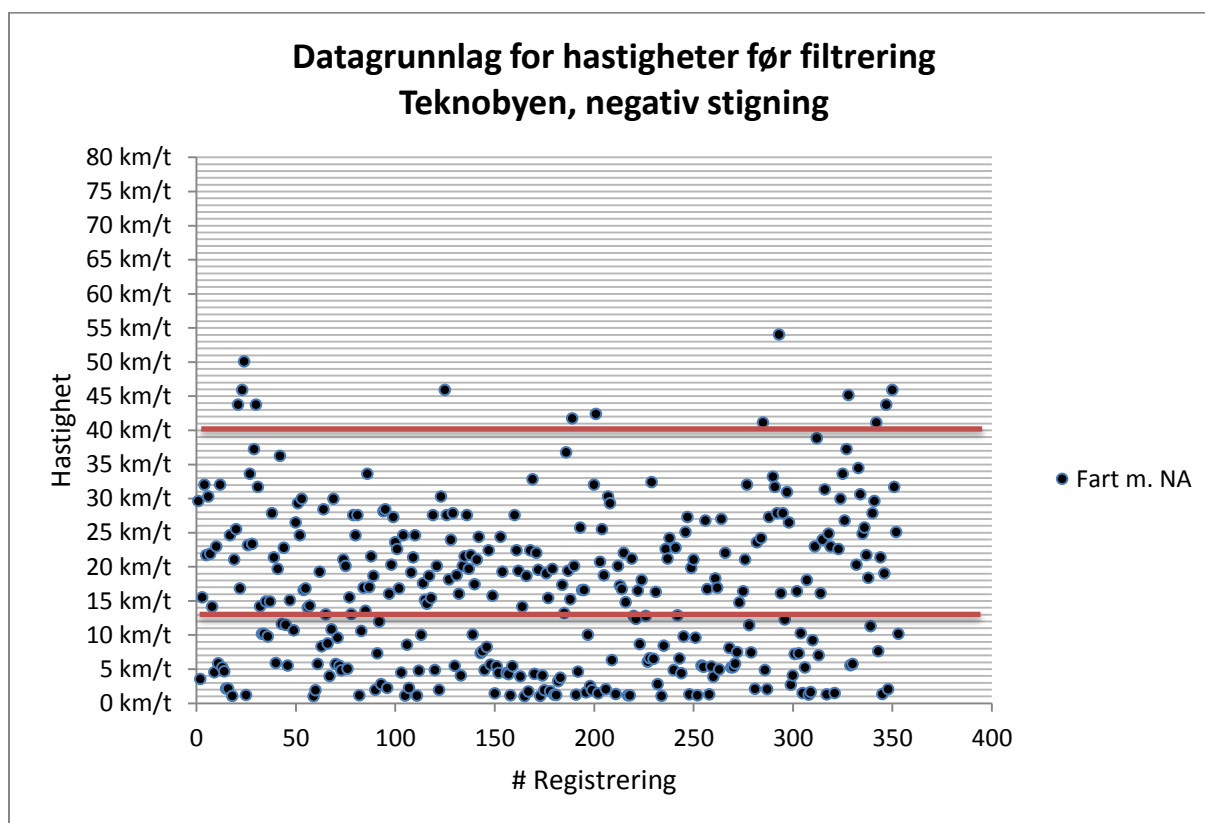
I. Teknobyen, 0.5 %

- Positiv stigning





Vurdering av positiv stigning: Bilister er ekskludert, slik at eneste konflikt er med gående og joggende. Hastigheter over 40 km/t antas å være dårlige registreringer da disse virker lite sannsynlig. Øvre grense passer dermed å være 40 km/t. som Tidligere erfaring fra Overå (2013) viser at tilnærmet ingen sykklister sykler saktere enn 13 km/t. Dette er også en hastighet få joggende overstiger. Nedre grense passer derfor med 13 km/t.

-Negativ stigning

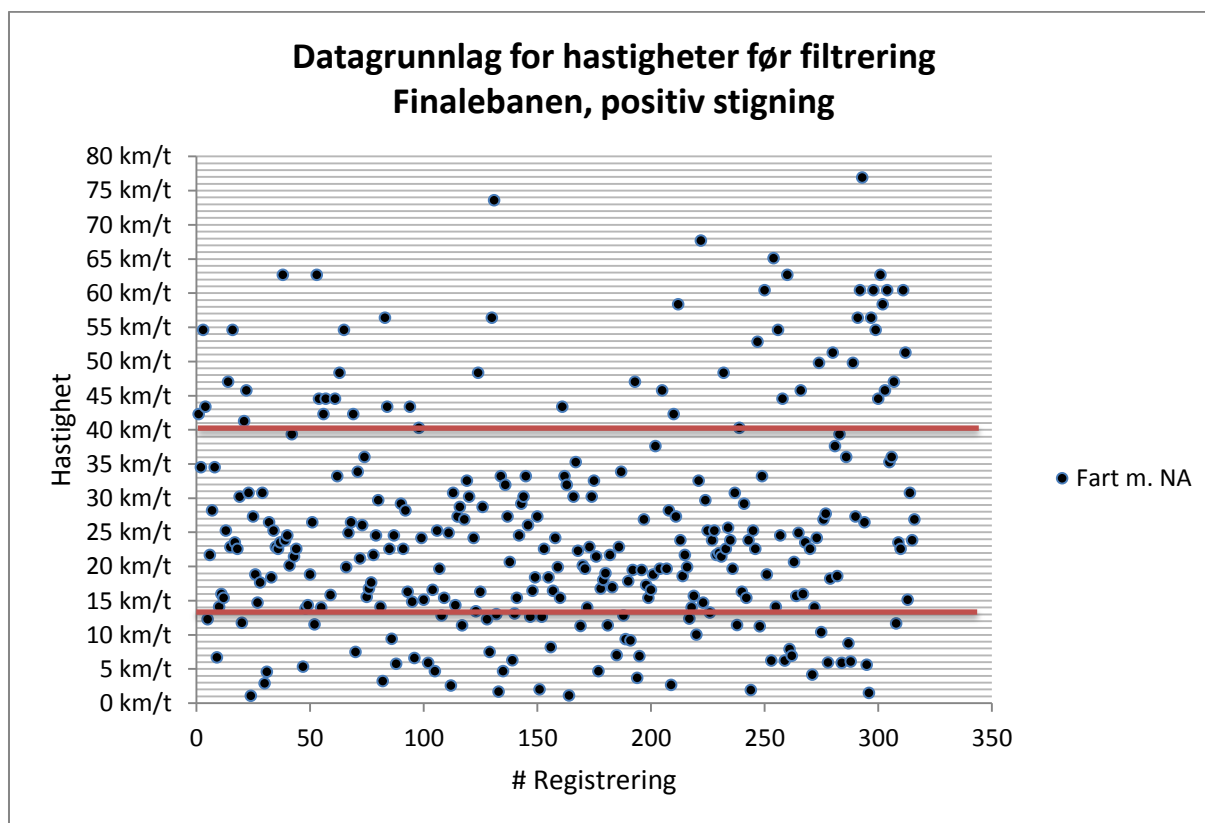
Vurdering: Bilister er ekskludert, slik at eneste konflikt er med gående og joggende. Hastigheter over 40 km/t antas å være dårlige registreringer da disse virker lite sannsynlig. Øvre grense passer dermed å være 40 km/t. som Tidligere erfaring fra Overå (2013) viser at tilnærmet ingen sykler sykler

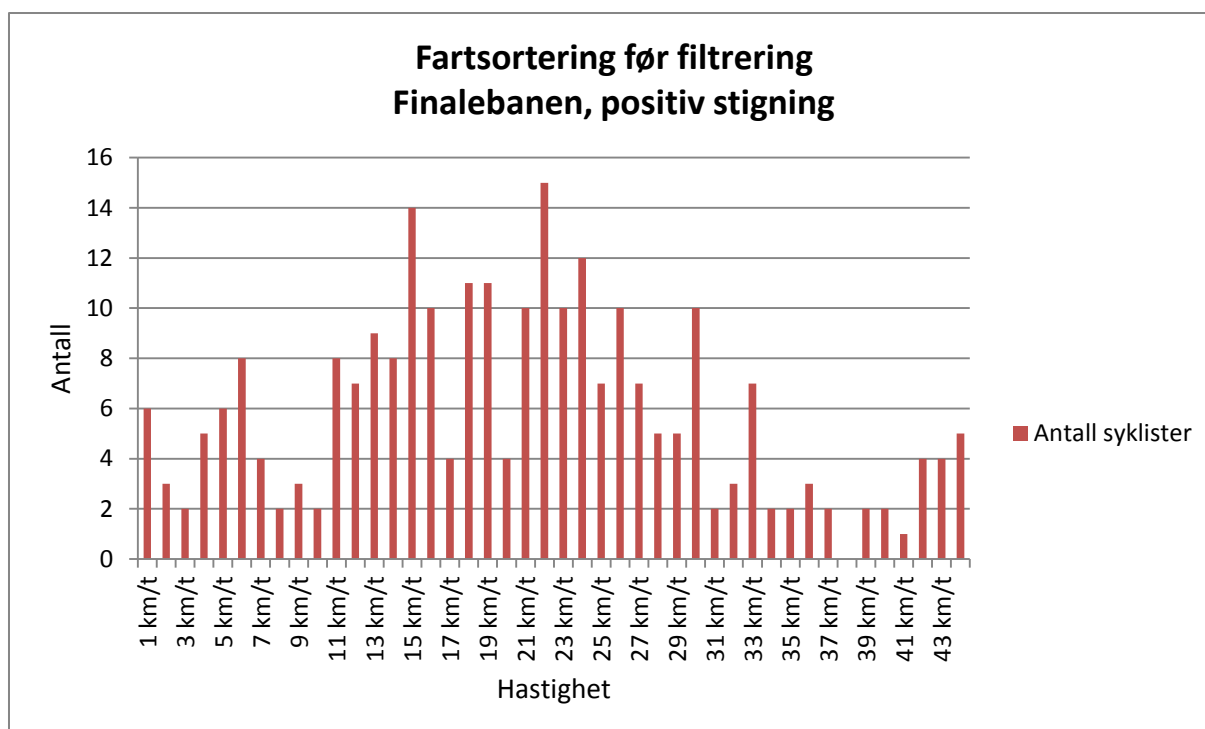
saktere enn 13 km/t. Dette er også en hastighet få joggende overstiger. Nedre grense passer derfor med 13 km/t.

Valg av filtreringsverdier basert på vurderinger ved Teknobyen			
Positiv stigning		Negativ stigning	
Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)	Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)
13	40	13	40

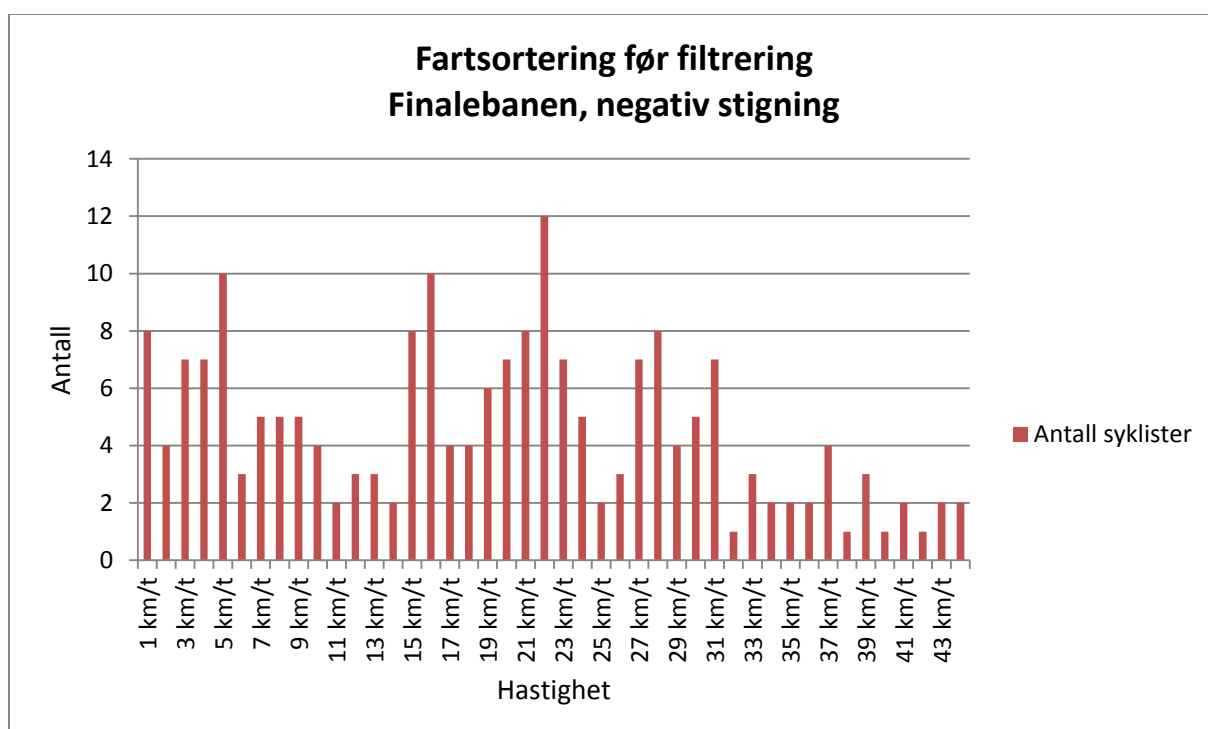
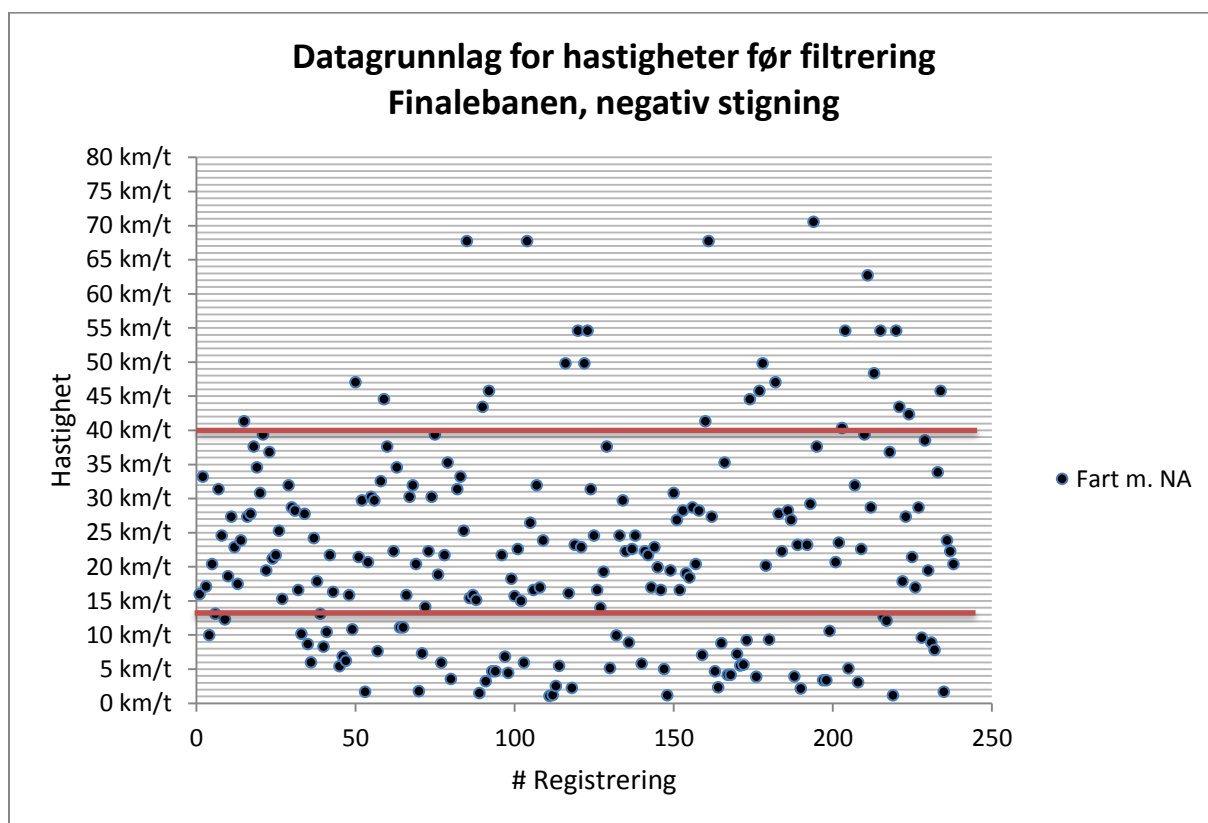
II. Finalebanen, 0.8 %

- Positiv stigning





Vurdering av positiv stigning: Bilister er ekskludert, slik at eneste konflikt er med gående og joggende. Hastigheter over 40 km/t antas å være dårlige registreringer da disse virker lite sannsynlig. Øvre grense passer dermed å være 40 km/t. som Tidligere erfaring fra Overå (2013) viser at tilnærmet ingen sykklister sykler saktere enn 13 km/t. Dette er også en hastighet få joggende overstiger. Nedre grense passer derfor med 13 km/t.

-Negativ stigning

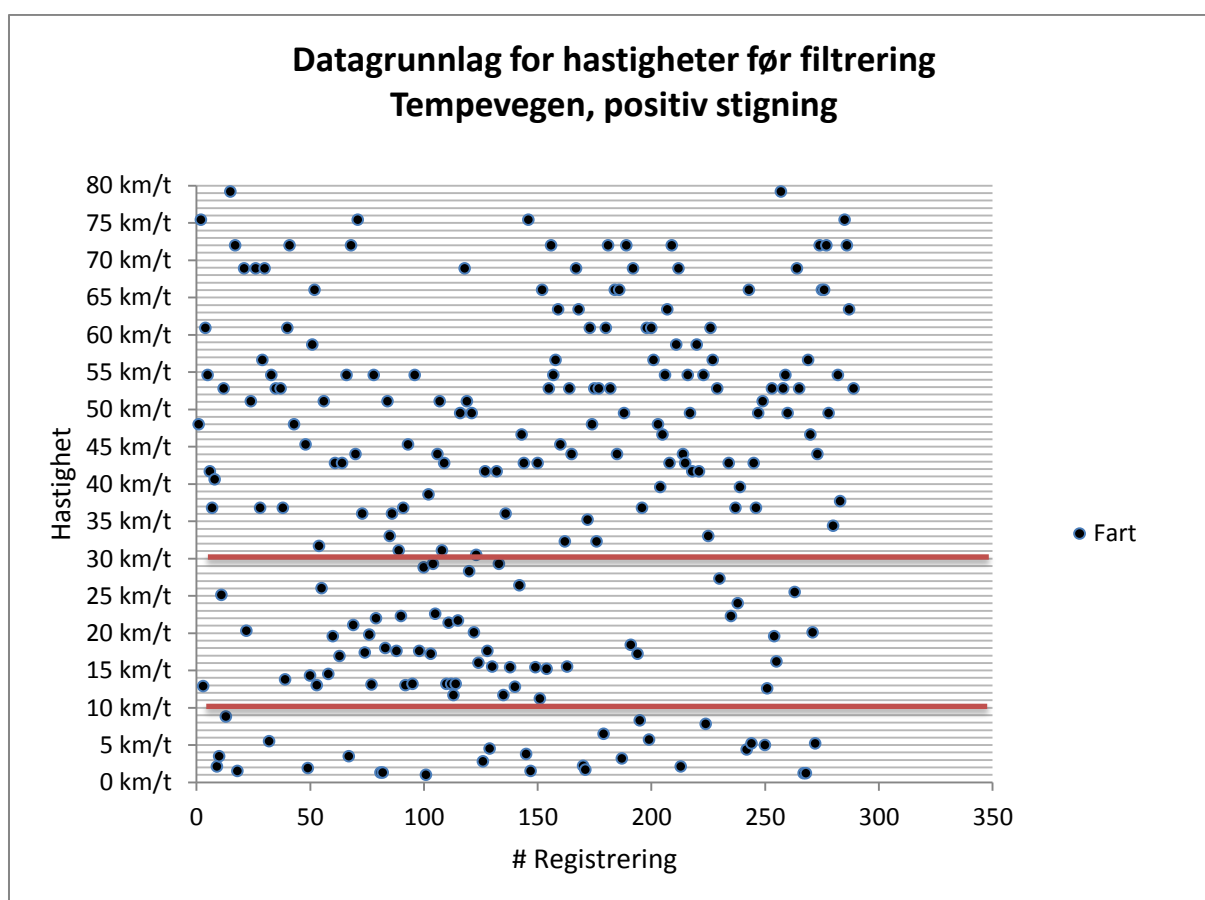
Vurdering: Bilister er ekskludert, slik at eneste konflikt er med gående og joggende. Hastigheter over 40 km/t antas å være dårlige registreringer da disse virker lite sannsynlig. Øvre grense passer dermed å være 40 km/t. som Tidligere erfaring fra Overå (2013) viser at tilnærmet ingen sykler sykler

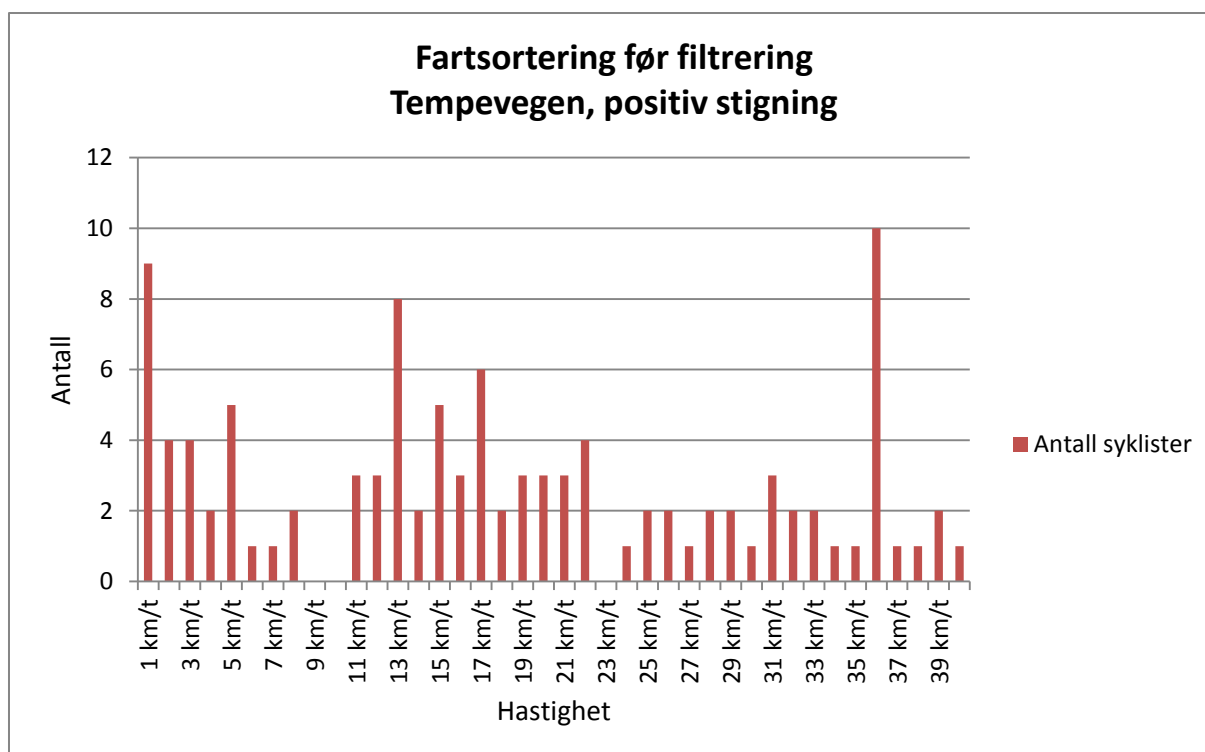
saktere enn 13 km/t. Dette er også en hastighet få joggende overstiger. Nedre grense passer derfor med 13 km/t.

Valg av filtreringsverdier basert på vurderinger ved Finalebanen			
Positiv stigning		Negativ stigning	
Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)	Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)
13	40	13	40

III. Tempevegen, 2 %

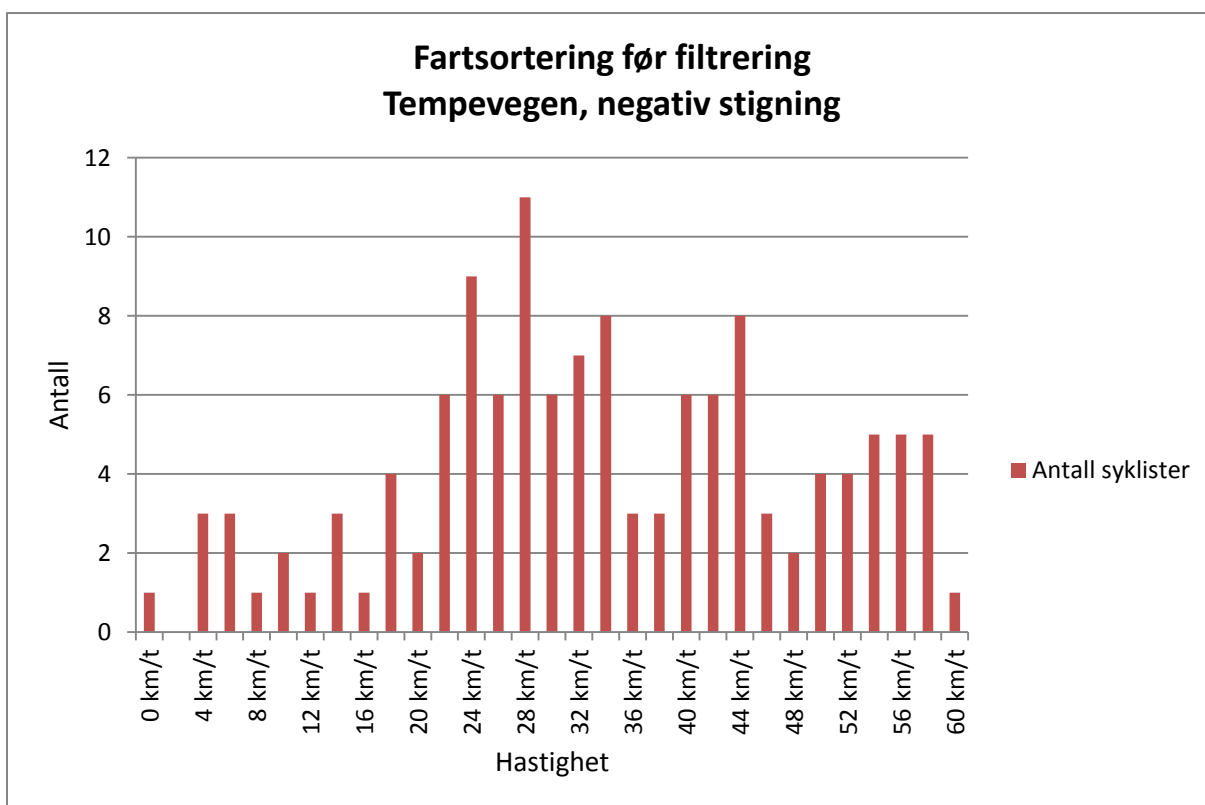
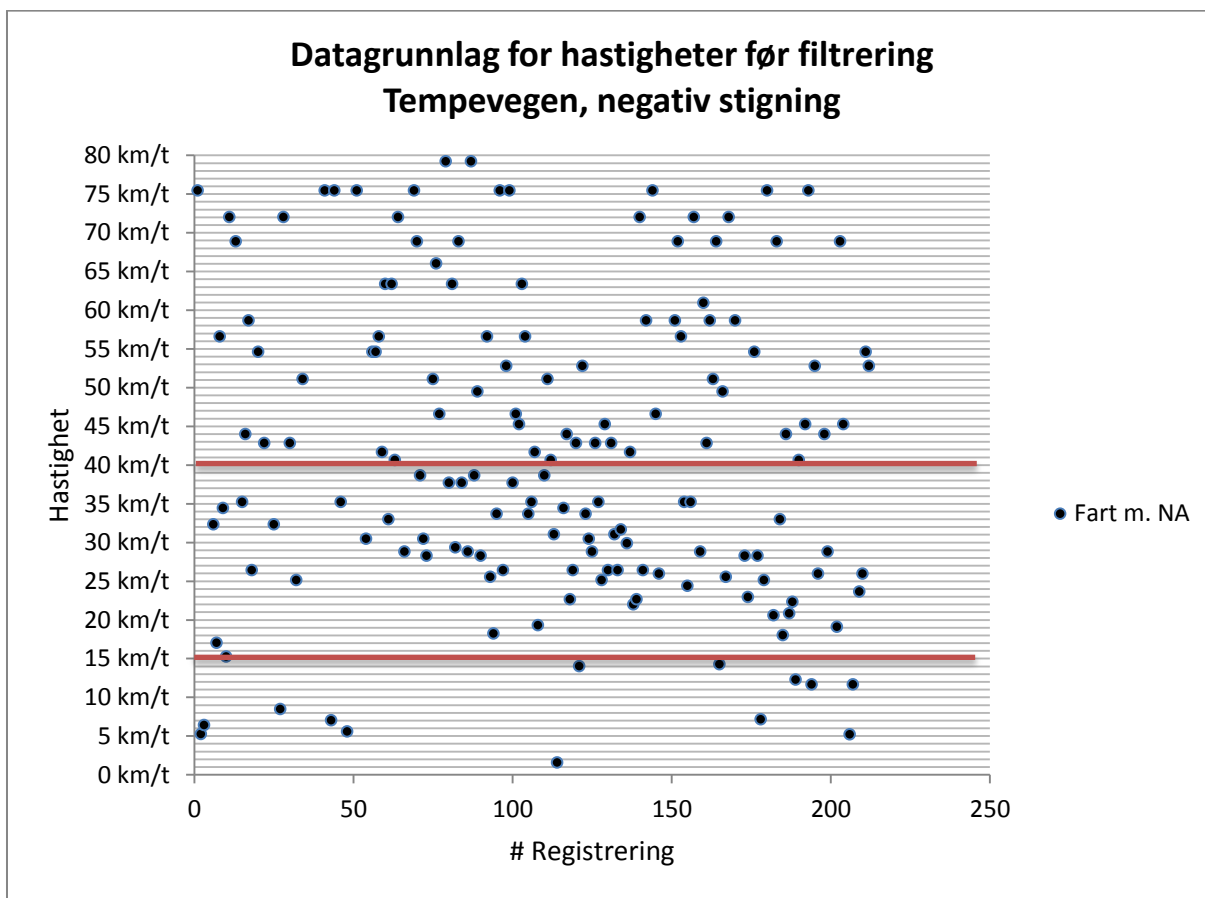
- Positiv stigning





Vurdering av positiv stigning: Fra fartsorteringen og datagrunnlaget kan det se ut til at det er et gap mellom 8 km/t og 11 km/t. Nedre grense passer dermed som 10 km/t, da det antas at dette gapet trolig er skillet mellom fotgjengere og sykklister. Filtrering langs vegen tilsier at antall bilister bør være betraktelig redusert. Likevel ble det registrert en økende andel blåtannenheter rundt 30 km/t, samtidig som at det observeres at registreringer øker ovenfor et skille ved omtrent 30 km/t. Øvre grense settes dermed til å være 30 km/t.

-Negativ stigning

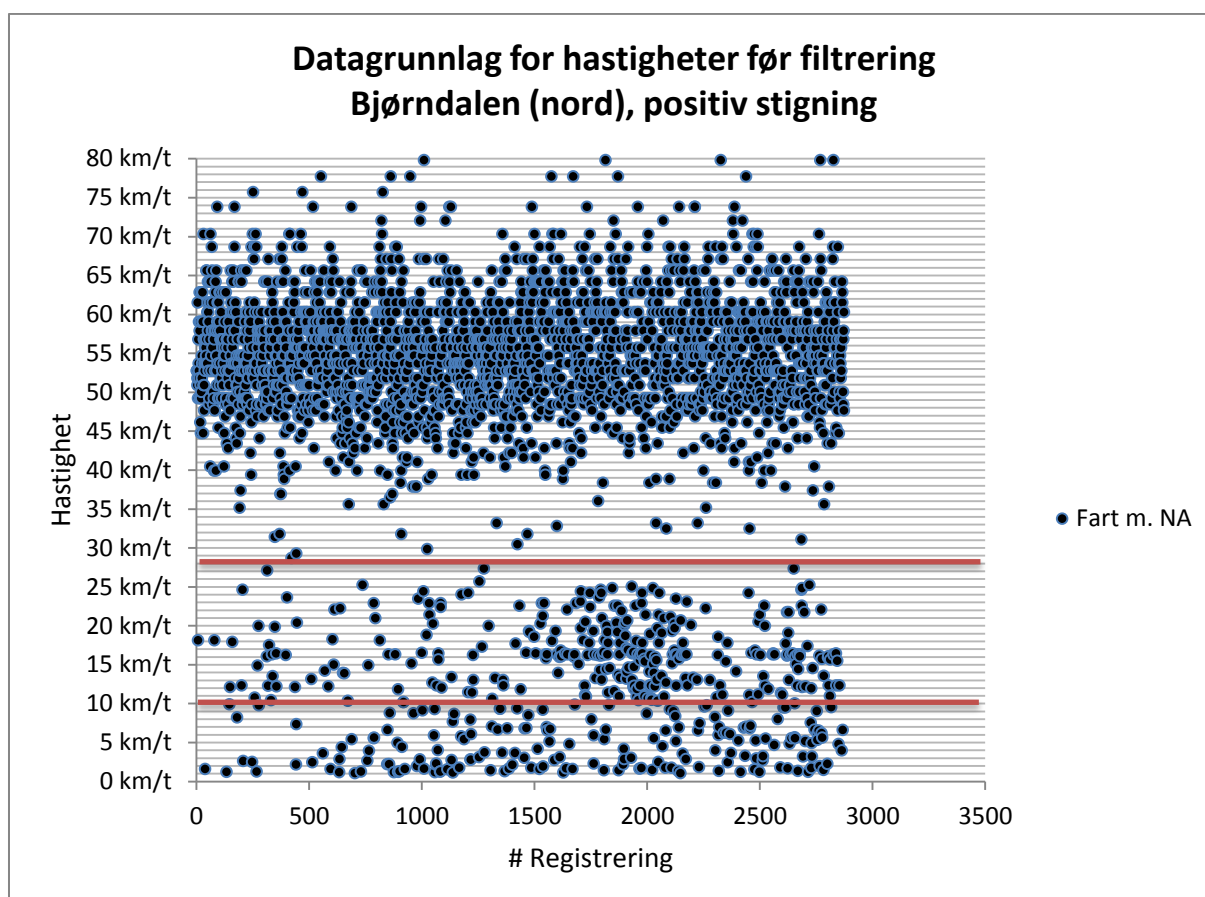


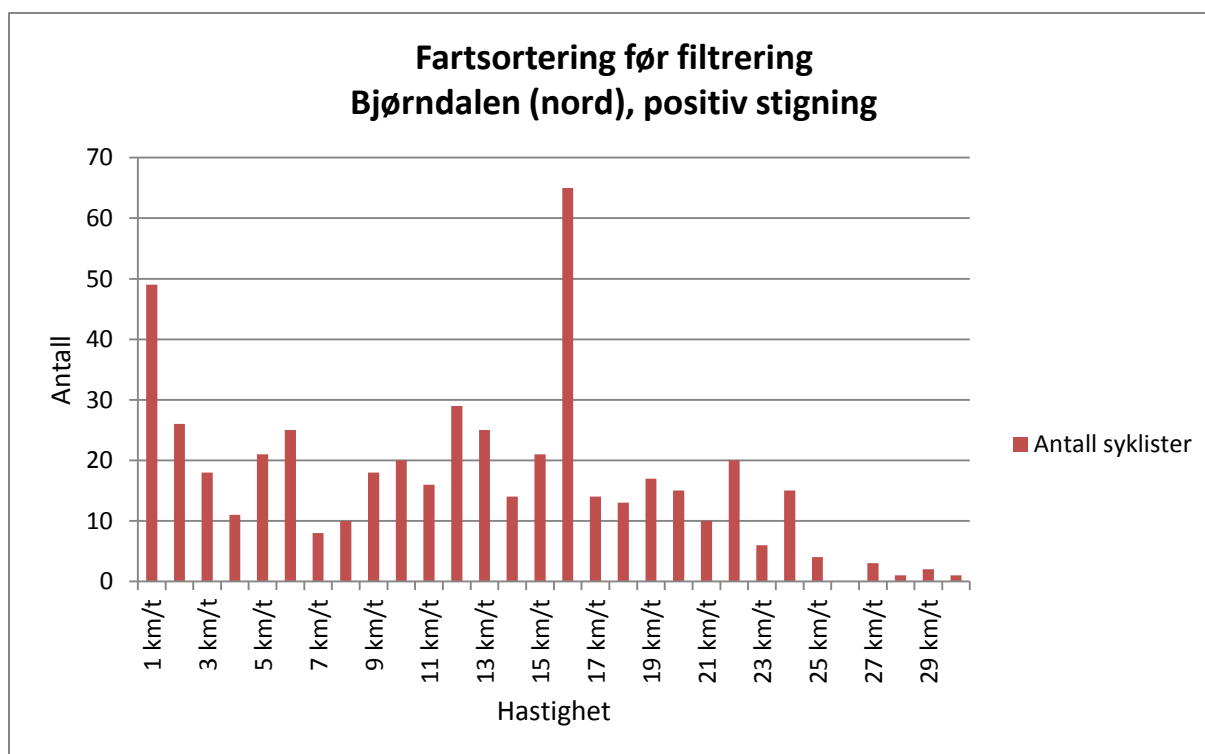
Vurdering: En økende blåtannandel ble observert når nedre grense ble senket til lavere enn 15 km/t. Dette kan skyldes biler som har brukt lang tid og har blitt registrert på begge sider av tunnelen som ble brukt til filtrering. Det er for øvrig sannsynlig at syklistene holder høyere hastighet enn 15 km/t i nedoverbakke med 2.0 % nedstigning. Nedre grense passer dermed som 15 km/t. Filtrering langs vegen tilsier at antall bilister bør være betraktelig redusert. Likevel ble det registrert en økende andel blåtannheter rundt 40 km/t, samtidig som at det observeres at det observeres økende antall registreringer ved omtrent 30 km/t. Øvre grense settes dermed til å være 40 km/t.

Valg av filtreringsverdier basert på vurderinger			
Positiv stigning		Negativ stigning	
Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)	Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)
10	30	15	40

IV. Bjørndalen (nord), 2.6 %

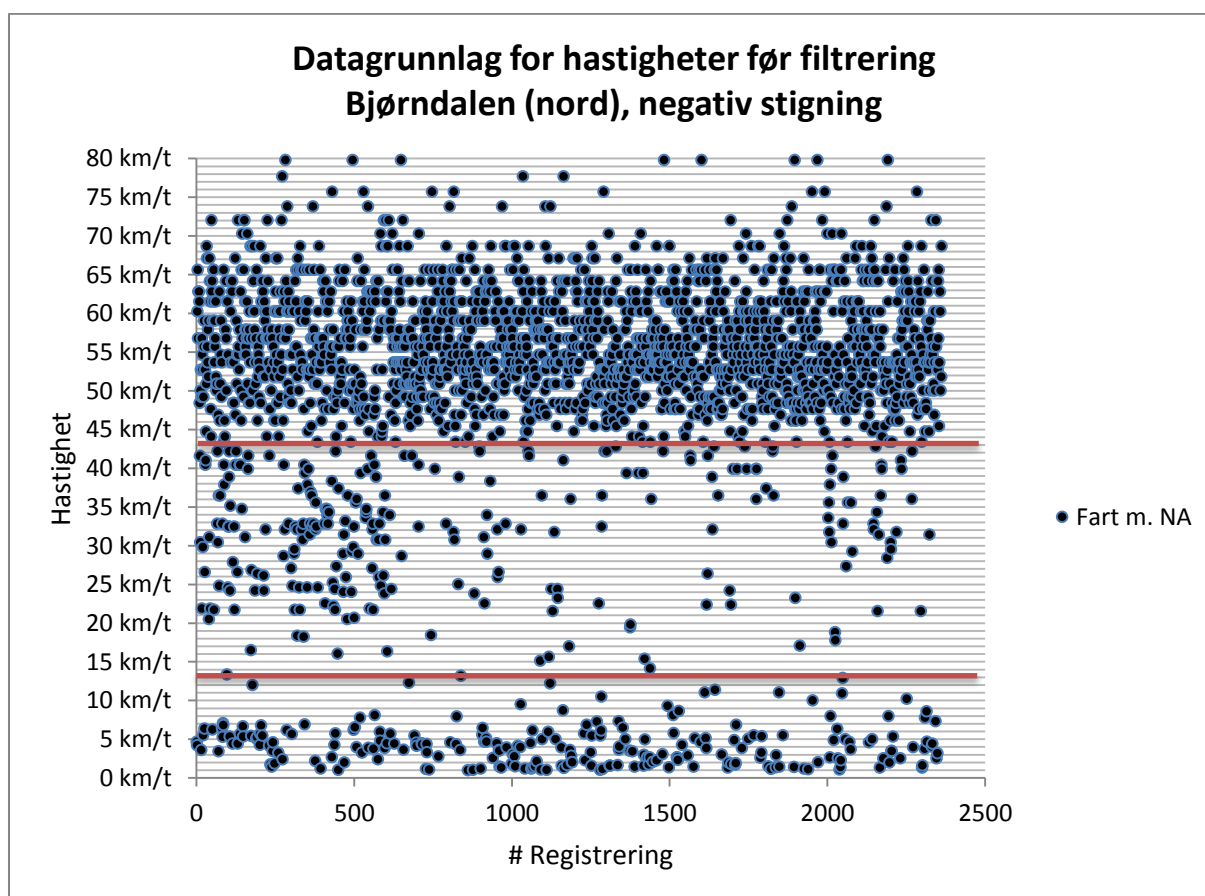
- Positiv stigning

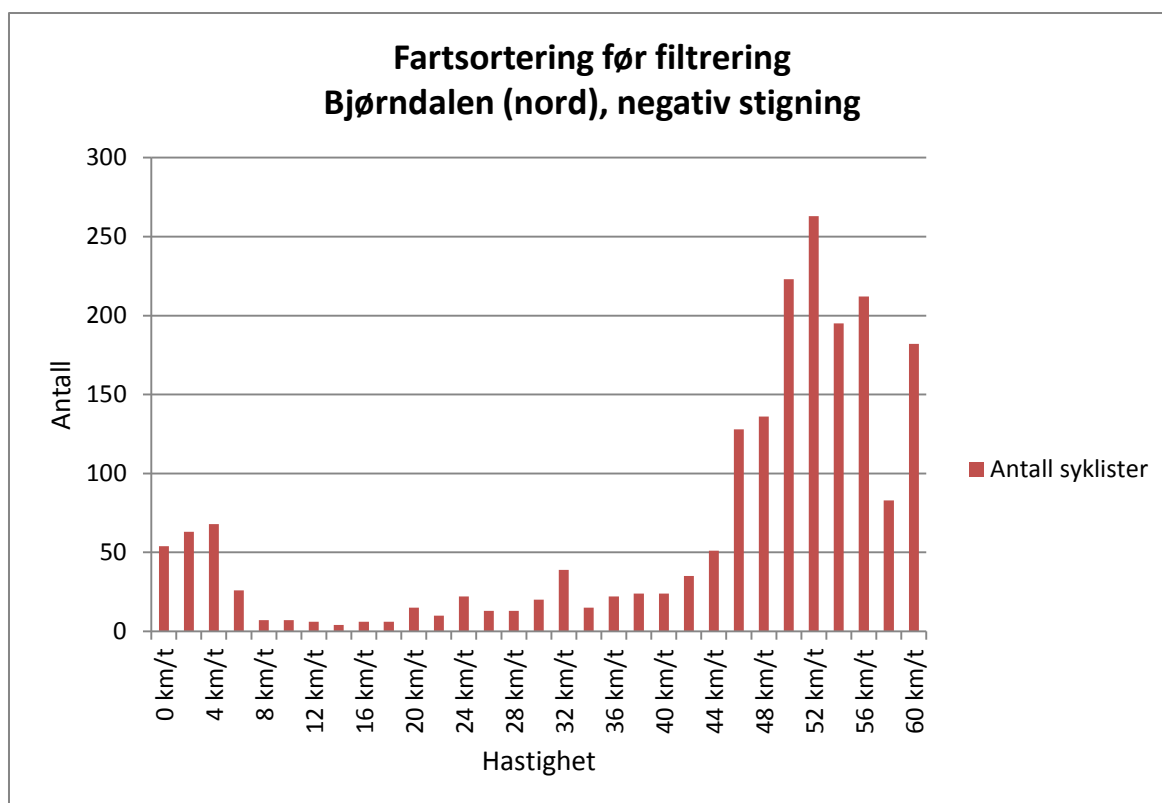




Vurdering av positiv stigning:

-Negativ stigning



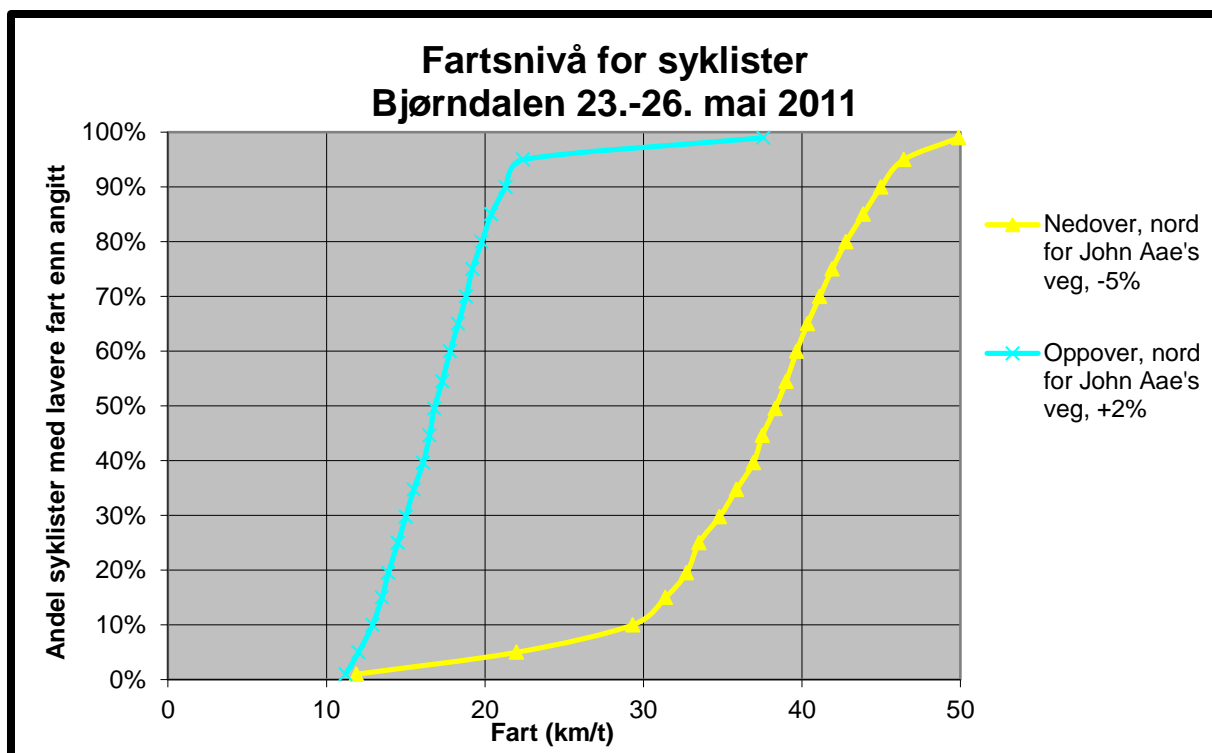


Vurdering: I den negative stigningen ble det registrert få reisende mellom 8 km/t og 16 km/t. Det antas for øvrig og at det er få gående eller joggende som holder stort høyere hastighet enn 13 km/t. Det antas videre at de fleste sykklister holder en fart på minimum 13 km/t i denne nedoverbakken. Nedre grense settes dermed som 13 km/t. En raskt voksende antall registreringer observeres fra 40 km/t. Likevel observeres det ikke en akselererende økning av blåtannheter før etter 43 km/t. Mens andelen registreringer foretatt med blåtann holder seg jevn opp mot 43 km/t så blir denne andelen svært brått større ved høyere hastigheter. Øvre grense settes dermed til 43 km/t.

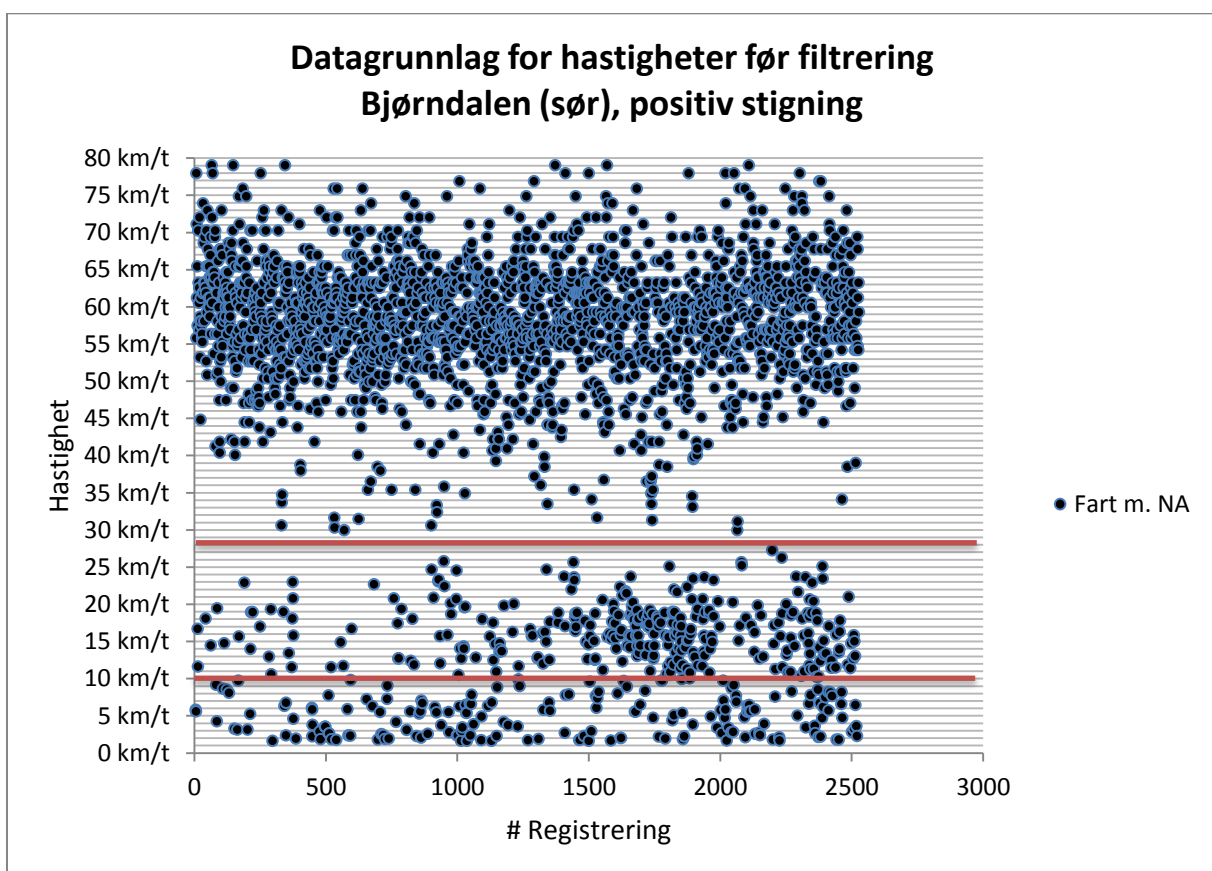
Valg av filtreringsverdier basert på vurderinger			
Positiv stigning		Negativ stigning	
Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)	Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)
10	28	13	43

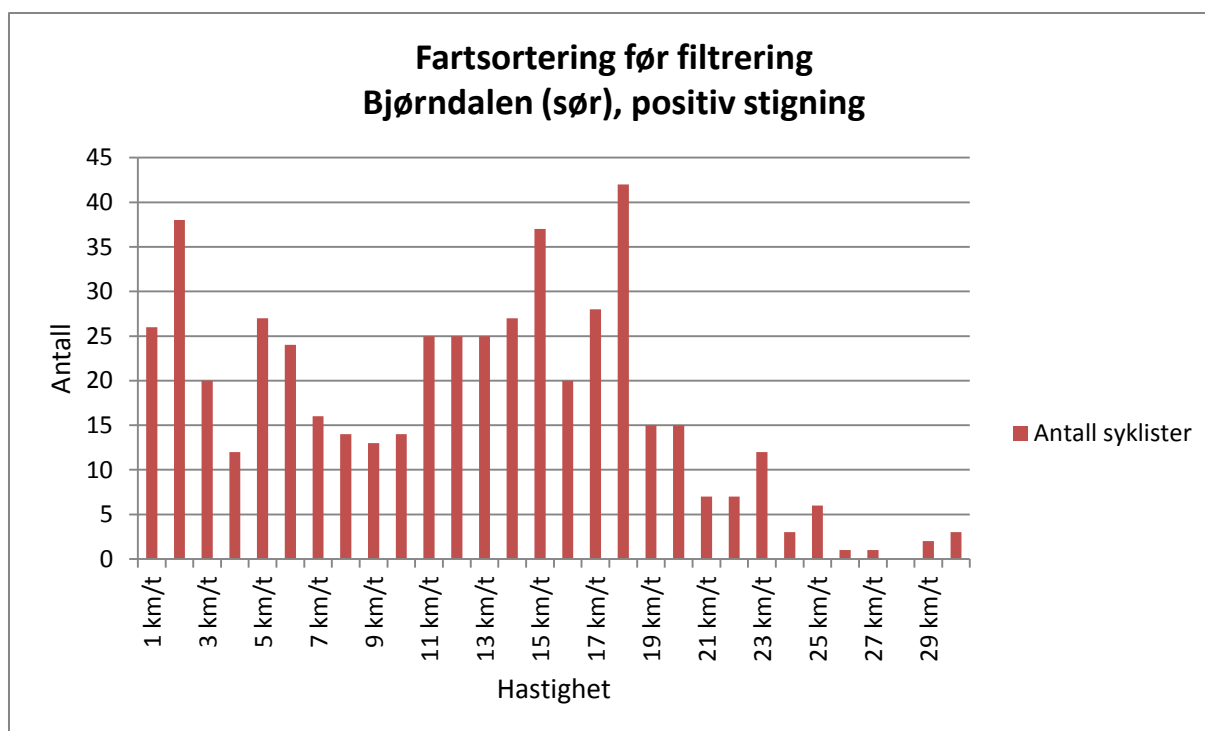
V. Bjørndalen (sør), 3.2 %

Figuren nedenfor er hentet fra SINTEF (2011) hvor sykklister ble registrert med punkthastigheter på punkt ved tilsvarende strekning som strekningen ved Bjørndalen (sør). Den turkise linja viser det kumulative hastighetsnivået som tilsvarer hastigheten i den positive stigningen i Bjørndalen (sør), mens den gule linja viser det kumulative hastighetsnivået i den negative stigningen i Bjørndalen (sør).

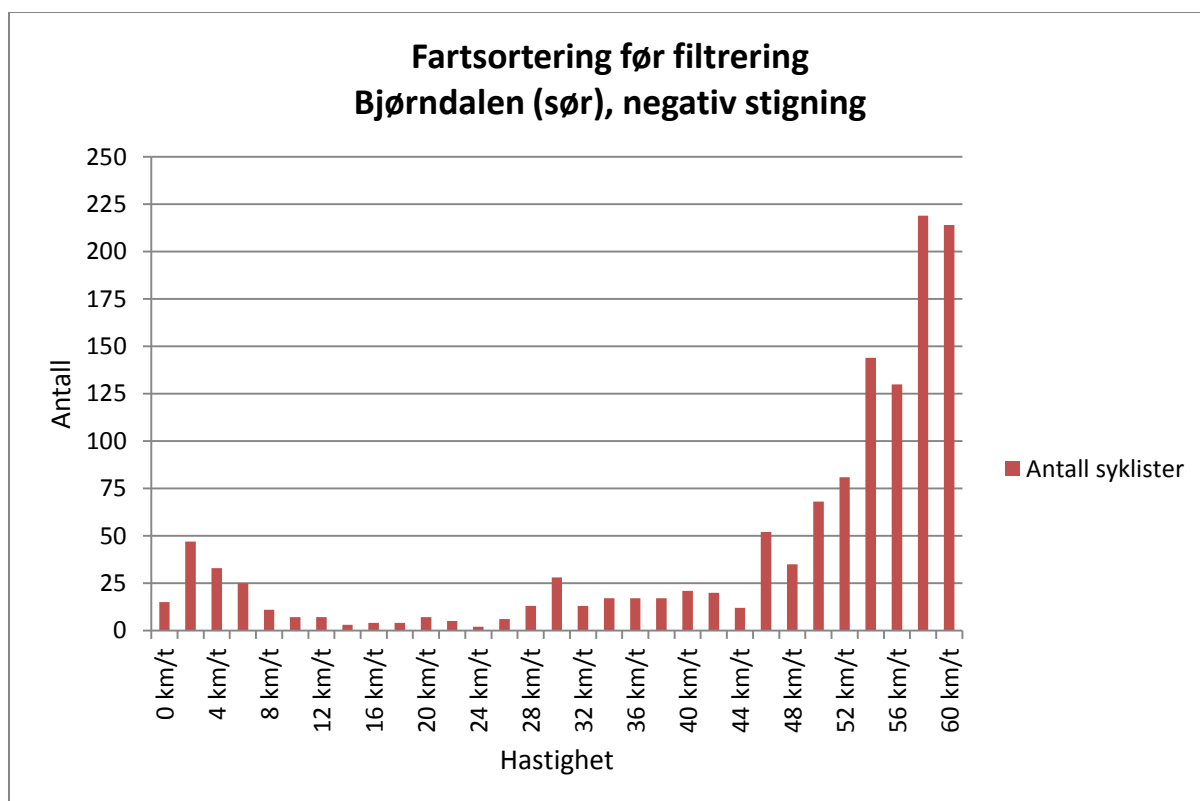
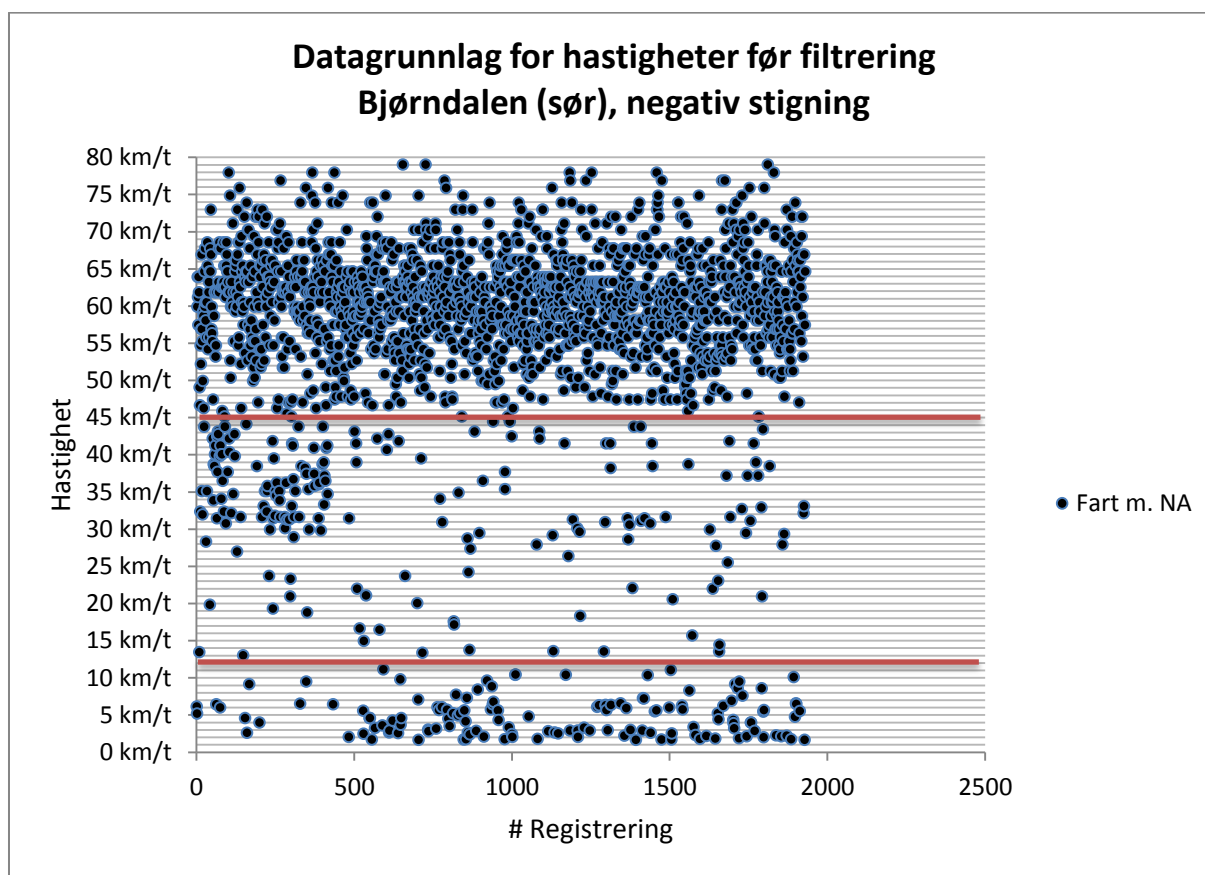


- Positiv stigning





Vurdering av positiv stigning: I den positive stigningen er det tydelig at få syklist holdt hastigheter over 30 km/t, både fra datagrunnlaget, men også fra tidligere observasjoner gjort av Sintef. Likevel ble det observert en akselererende økning av blåtannheter fra 28 km/t og oppover. Øvre grense settes dermed til 28 km/t. Et skille for antall registreringer rundt 8-10 km/timen observeres i fartsorteringen, samtidig som at tidligere observasjoner gjort av Sintef tyder på at få syklist sykler under 10 km/t. Nedre grense settes derfor til 10 km/t.

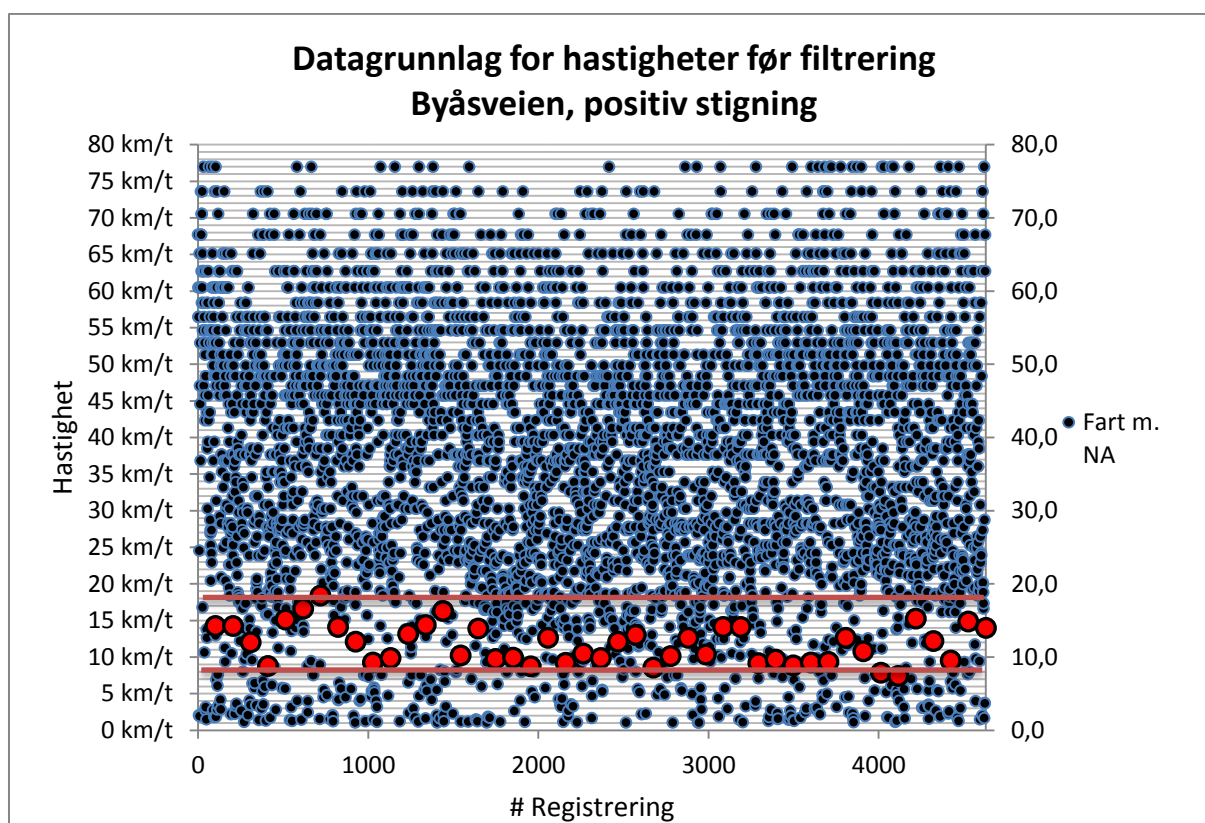
-Negativ stigning

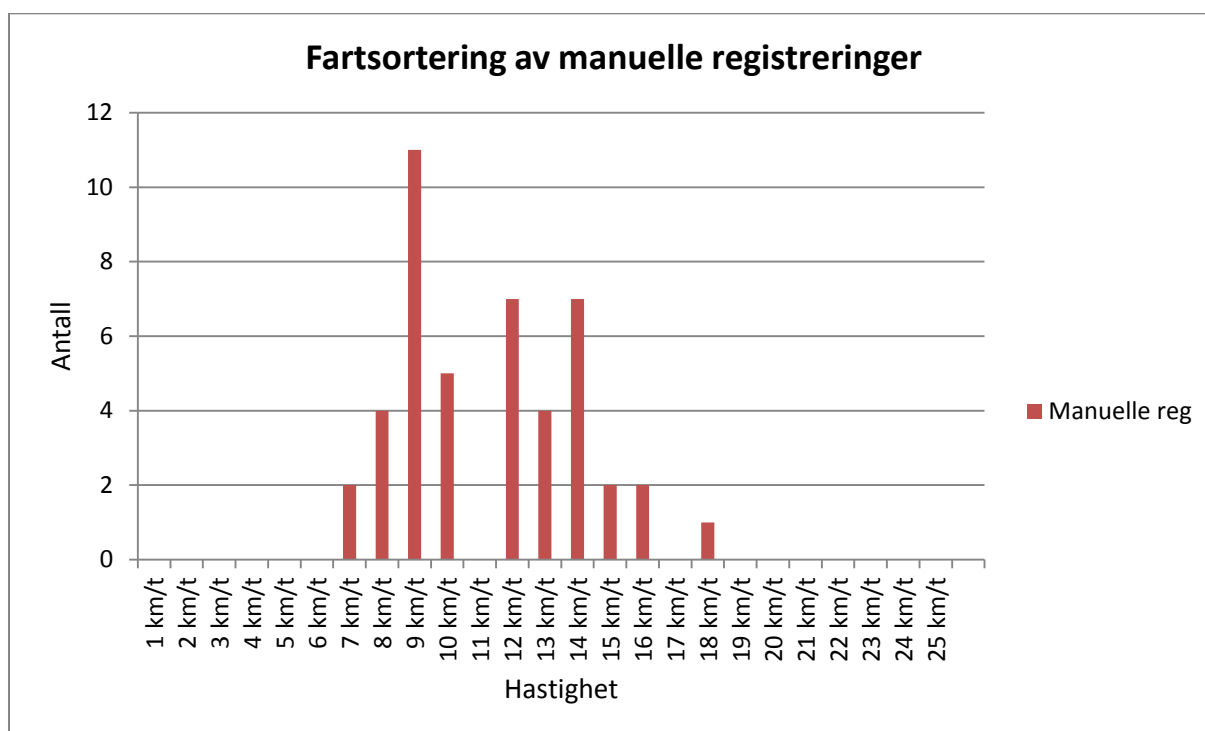
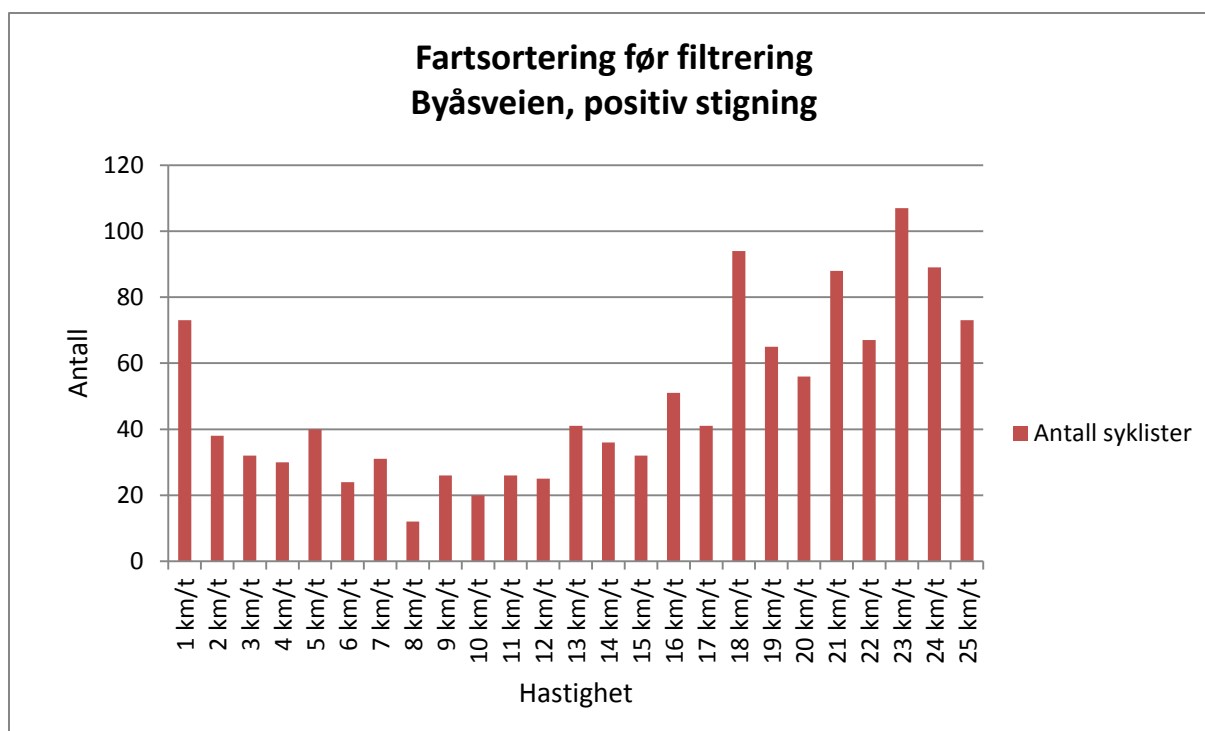
Vurdering: I den negative stigningen ble det registrert få reisende mellom 12 km/t og 26 km/t. Likevel er det få gående eller joggende som holder stort høyere hastighet enn 13 km/t, slik at disse registreringene sannsynligvis tilhører syklistene. Tidligere observasjoner gjort av Sintef viser også for øvrig at det tregeste syklistene sykler med om lag 12 km/t. Nedre grense settes dermed som 12 km/t. En raskt voksende antall registreringer fra 45 km/t og oppover samtidig som at det observeres en akselererende økning av blåtannenheter fra 45 km/t tyder på at det er kjøretøy som har blitt registrert i høyere hastigheter. Øvre grense settes derfor til 45 km/t.

Valg av filteringsverdier basert på vurderinger			
Positiv stigning		Negativ stigning	
Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)	Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)
10	28	13	45

VI. Byåsveien, 5.4 %

- Positiv stigning



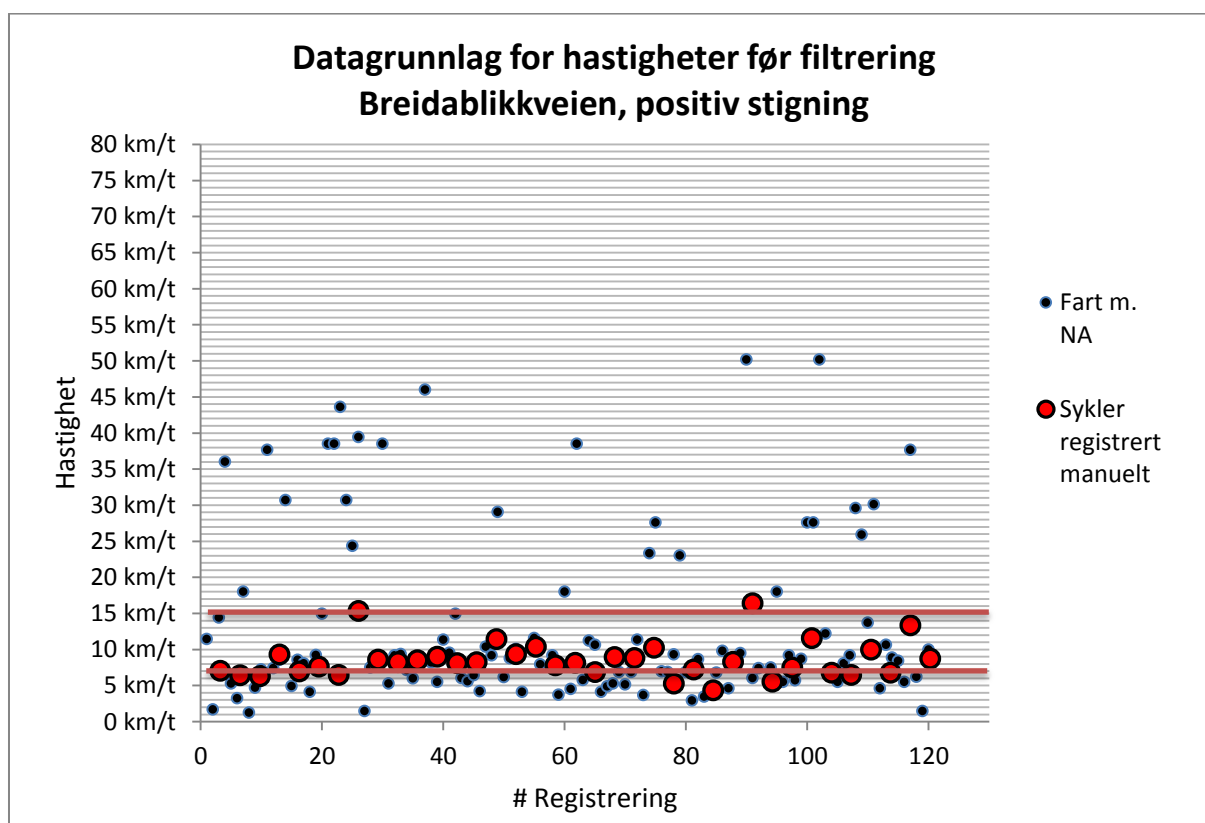


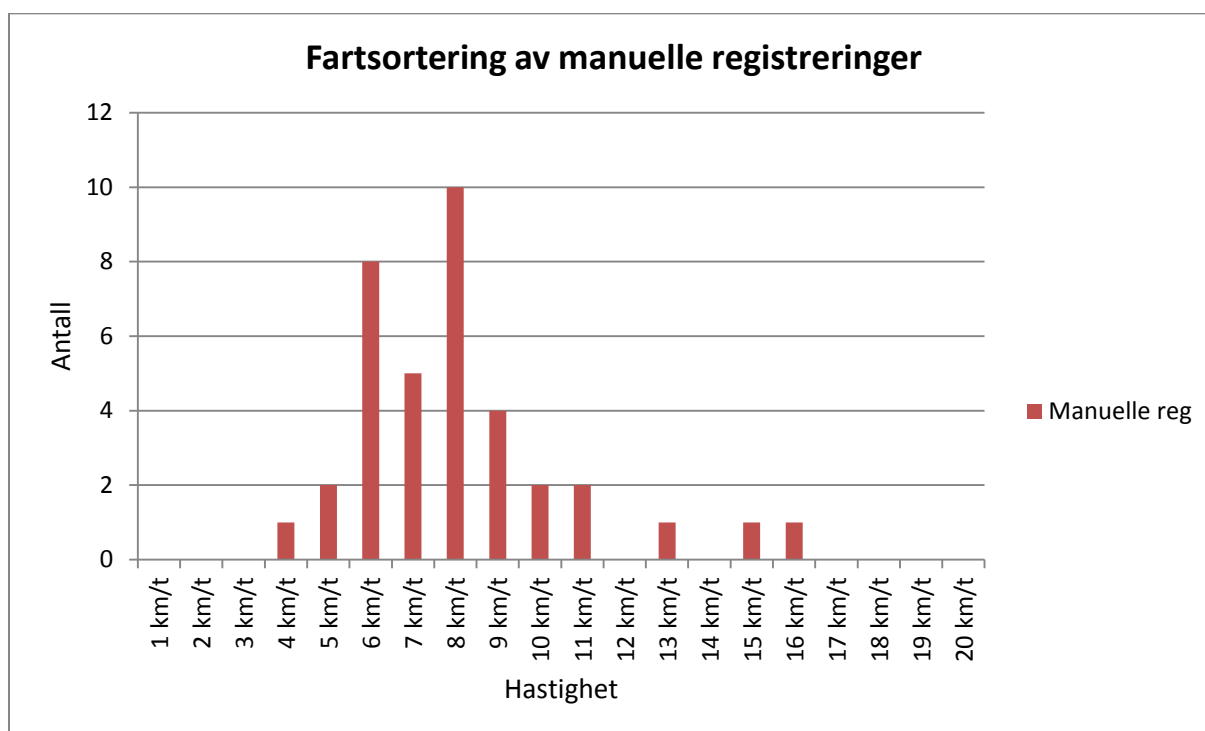
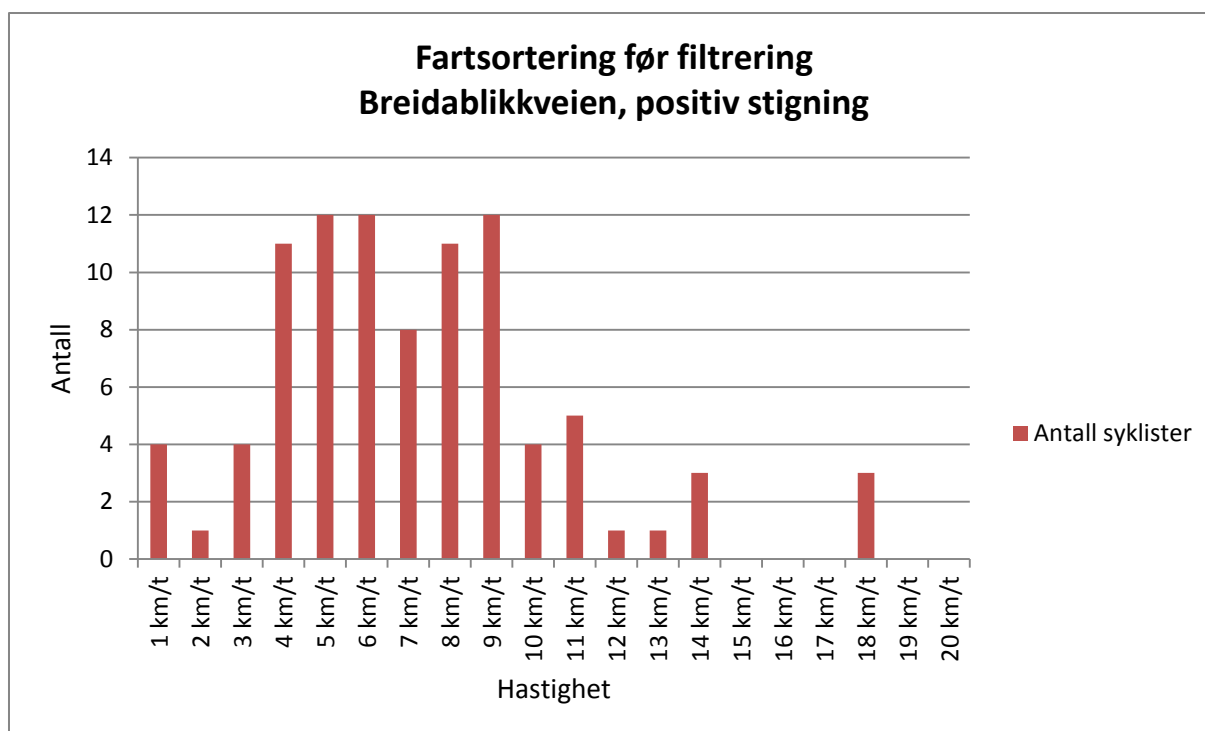
Vurdering av positiv stigning: Manuelle registreringer hjalp mye for å avgjøre grenseverdier ved positiv stigningsretning i Byåsveien. Fartsorteringen av de manuelle registreringene tyder på at syklister sykler med tregeste hastigheter på om lag 7-8 km/t. Da det observeres vesentlig flere registreringer i den generelle fartsorteringen rundt 7 km/t antas det at et valg av 8 km/t vil gi adskillig færre feilregistreringer av fotgjengere eller joggende. Nedre grense settes derfor til 8 km/t. Det ble observert raskt økende blåttannheter fra 20 km/t og oppover, samtidig som at det ikke ble observert noen syklistere med høyere hastigheter enn 18 km/t fra manuelle registreringer. Øvre grense settes derfor til 18 km/t.

-Negativ stigning

OBS: Det er ikke benyttet fartsfiltrering for negativ stigning i Byåsveien. Her er alle registreringer foretatt manuelt slik at alle disse er representative.

Valg av filtreringsverdier basert på vurderinger			
Positiv stigning		Negativ stigning	
Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)	Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)
8	18	-	-

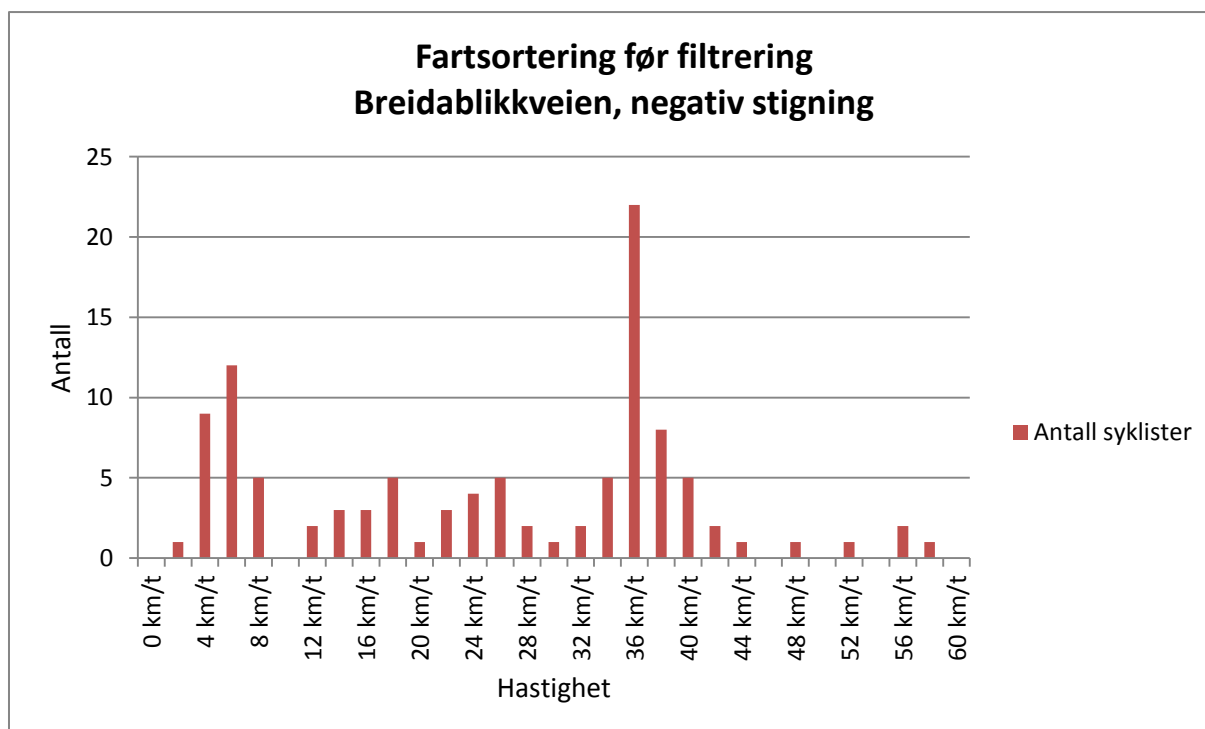
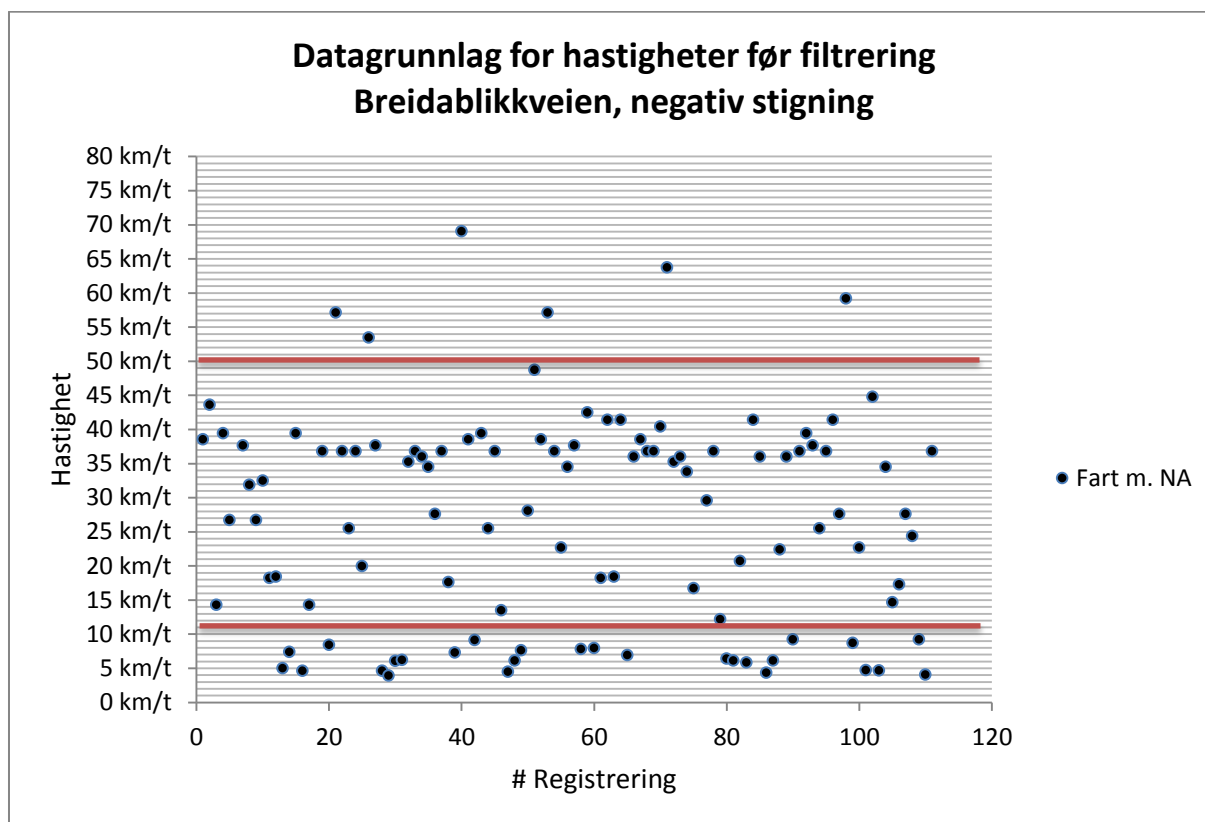
VII. Breidablikkveien, 9.2 %**- Positiv stigning**



Vurdering av positiv stigning: Manuelle registreringer viser at sykler sykler så sakte som 4 km/t. Likevel kan fotgjengere også holde denne samme hastigheten. Den nedre grensen blir dermed satt opp til 6 km/t. Denne nedre grensen antas det at vil ekskluderer fotgjengere fra registreringene, men ikke eventuelle joggere. En sammenlikning av gjennomsnittsverdiene og medianverdiene fra registreringene gjort med BlipTrack og de manuelle registreringene viser tilnærmet like resultater når nedre grense velges til å være 6 km/t. Dette indikerer at innflytelsen av eventuelle joggere ikke er vesentlig. Nedre grense settes derfor til 6 km/t. Biler er filtret ut ved bare å inkludere reisende som

har passert en gang- og sykkelbru. Da ingen registreringer ble foretatt over mellom 15 og 18 km/t, ble en passe øvre grense satt som 30 km/t.

-Negativ stigning



Vurdering: Et klart skille ble observert mellom 9 km/t og 11 km/t. Nedre grense ble dermed satt til 11 km/t. Biler er filtret ut ved bare å inkludere reisende som har passert en gang- og sykkelbru. Hastigheter over 50 km/t antas å være dårlige registreringer da disse virker lite sannsynlig. Øvre grense anses dermed å passe som 50 km/t.

Valg av filtreringsverdier basert på vurderinger			
Positiv stigning		Negativ stigning	
Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)	Nedre grense (km/t)	Øvre grense (km/t)
6	15	11	50

Referanser

OVERÅ, S. 2013. Effekter av gul midtlinje i sykkelveger. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet: Institutt for bygg, anlegg og transport
SINTEF 2011. Fartsnivå for sykkel i Bjorndalen.

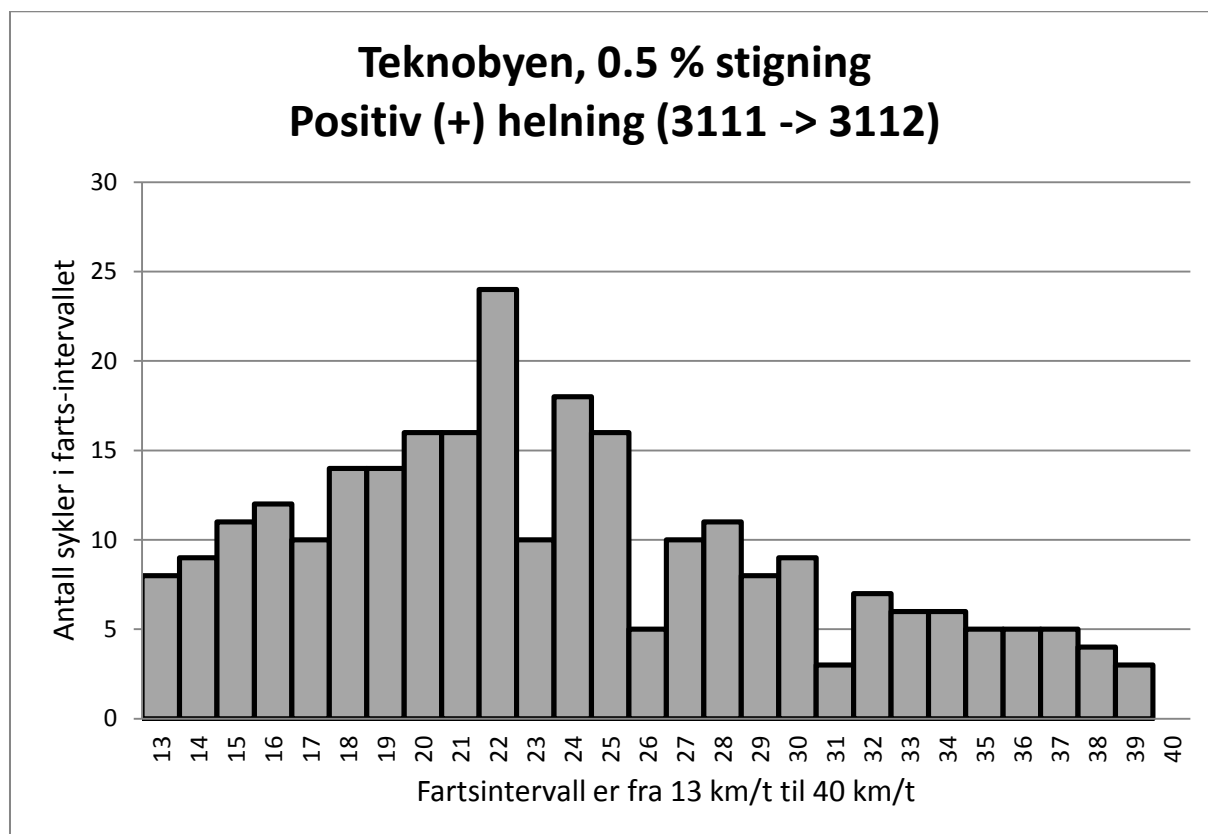
Vedlegg H

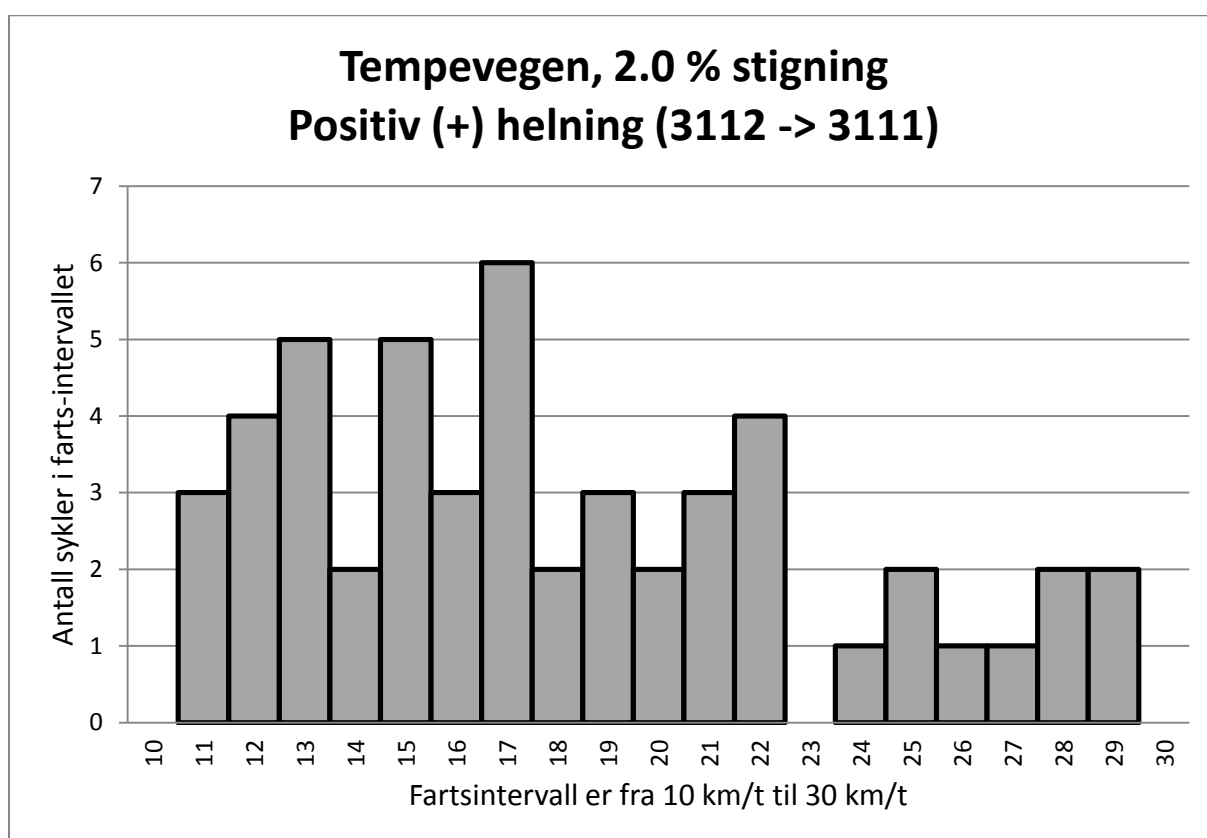
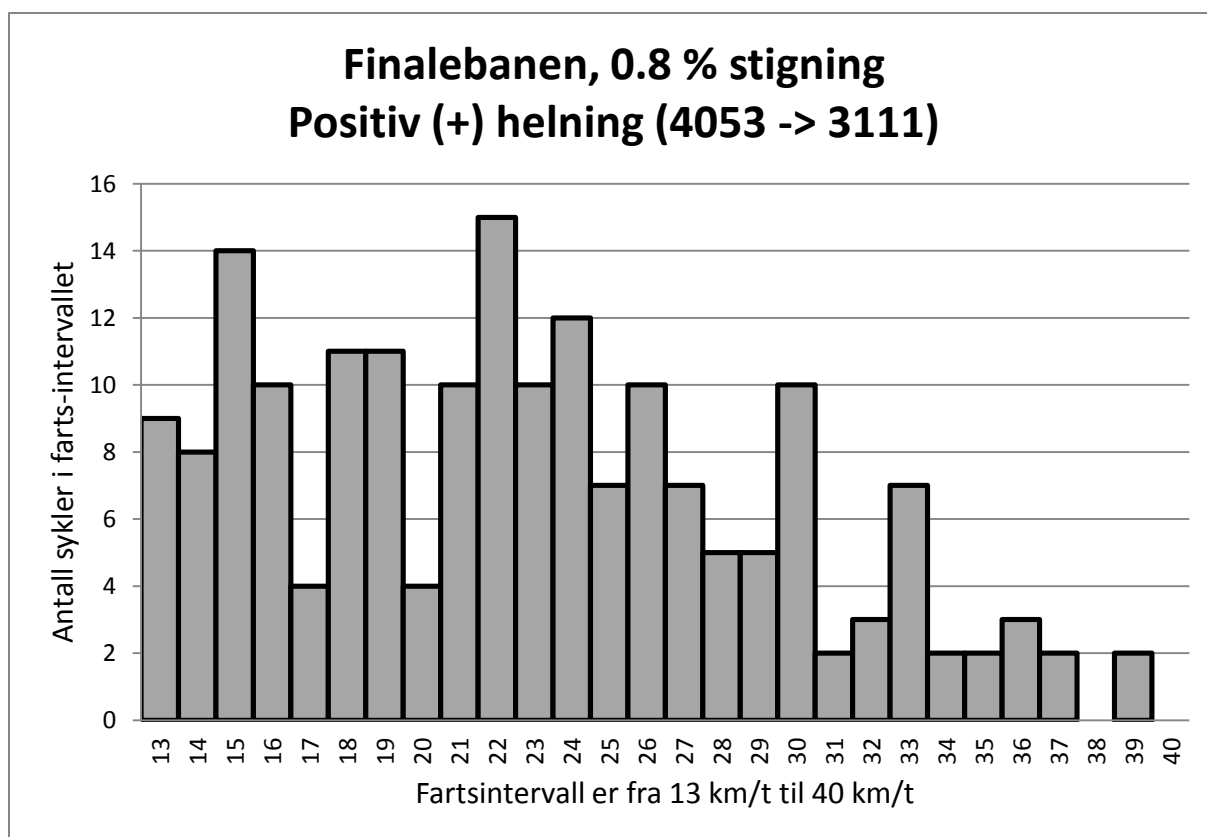
– Hastighetsfordelinger fra registreringene

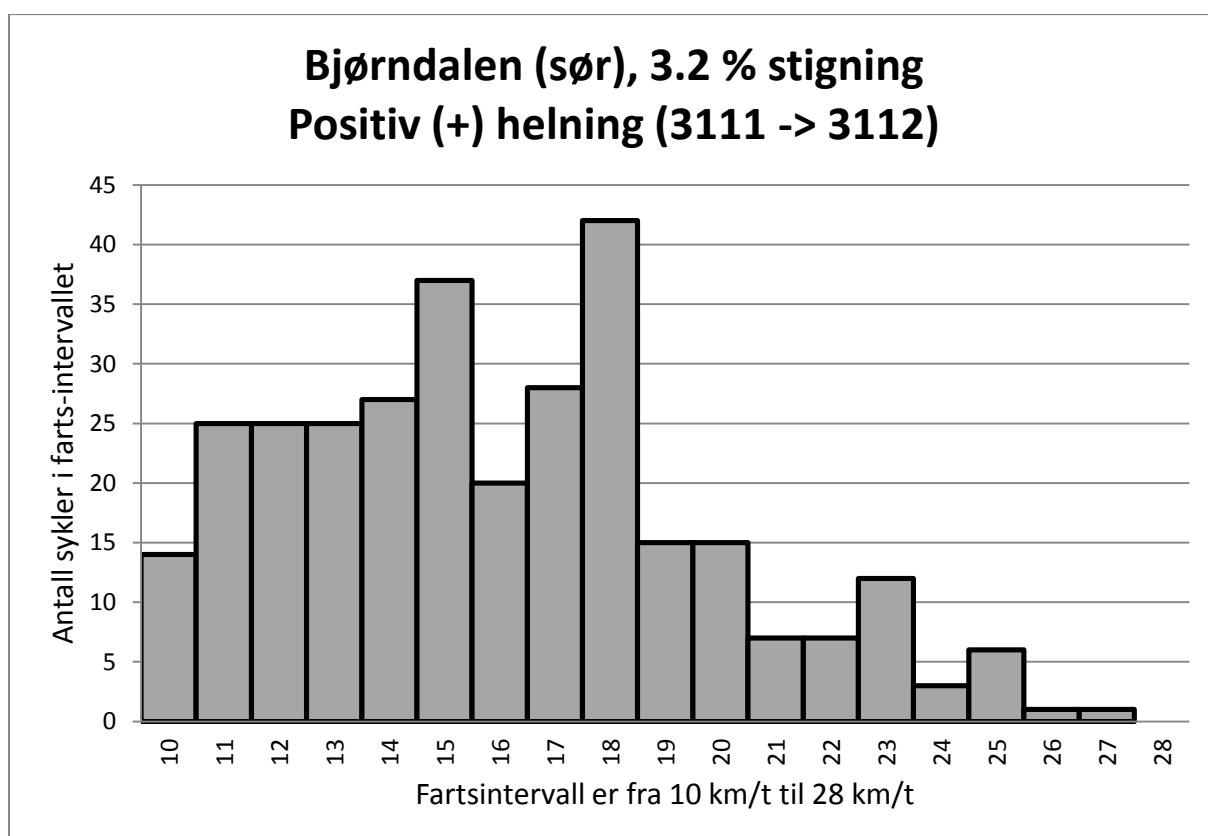
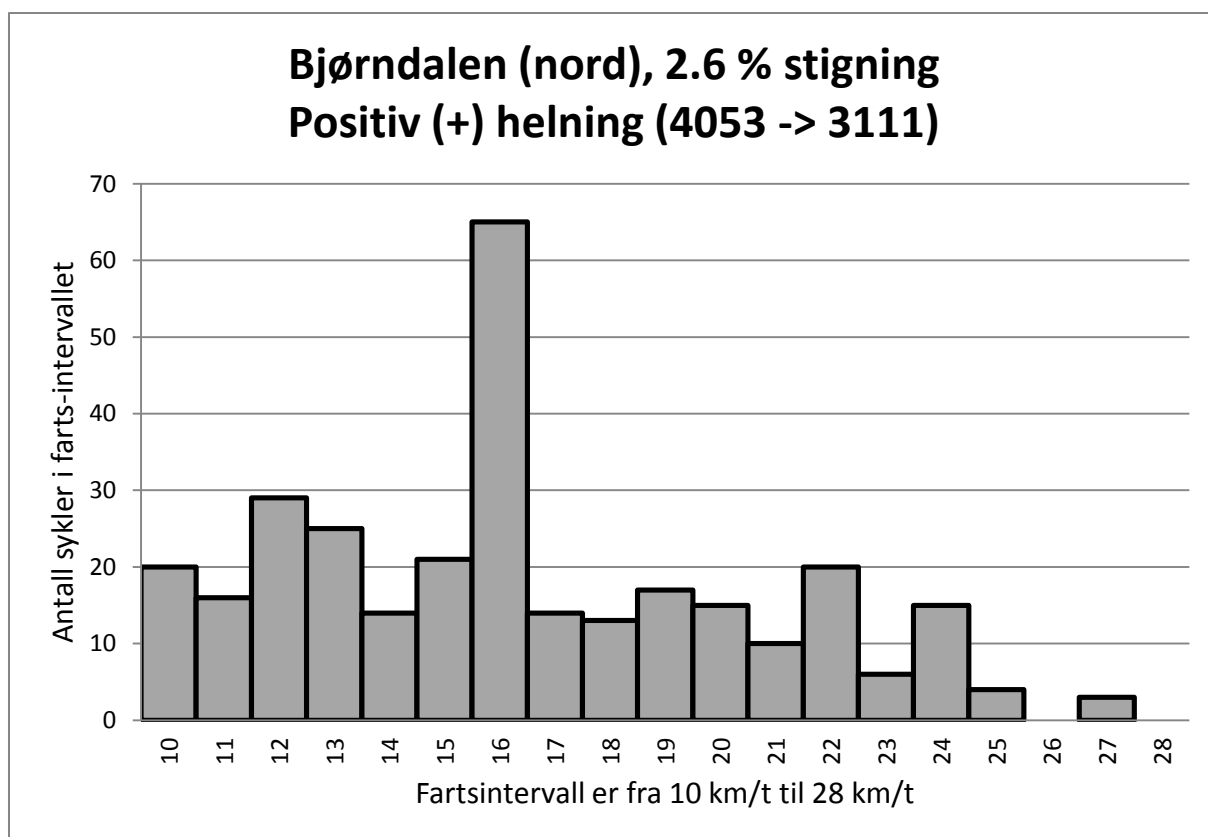
Hastighetsfordelinger – fra hele registreringsperioder

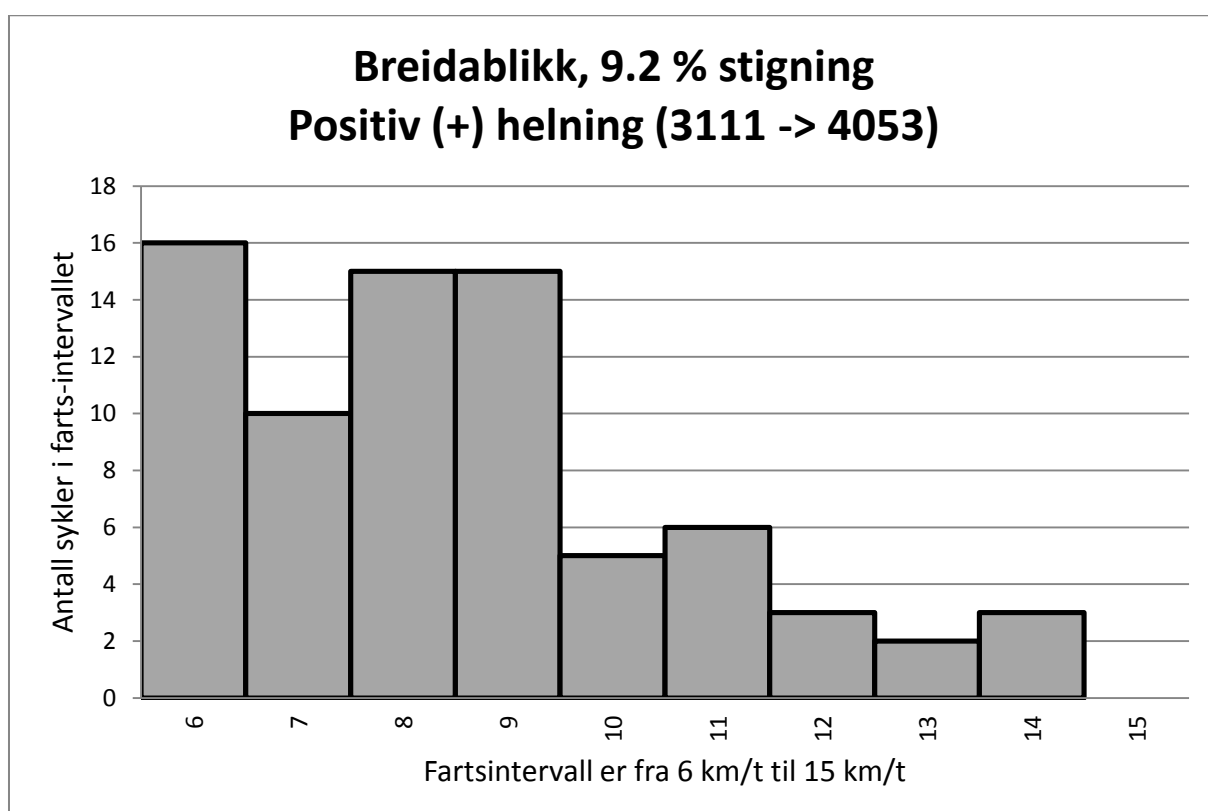
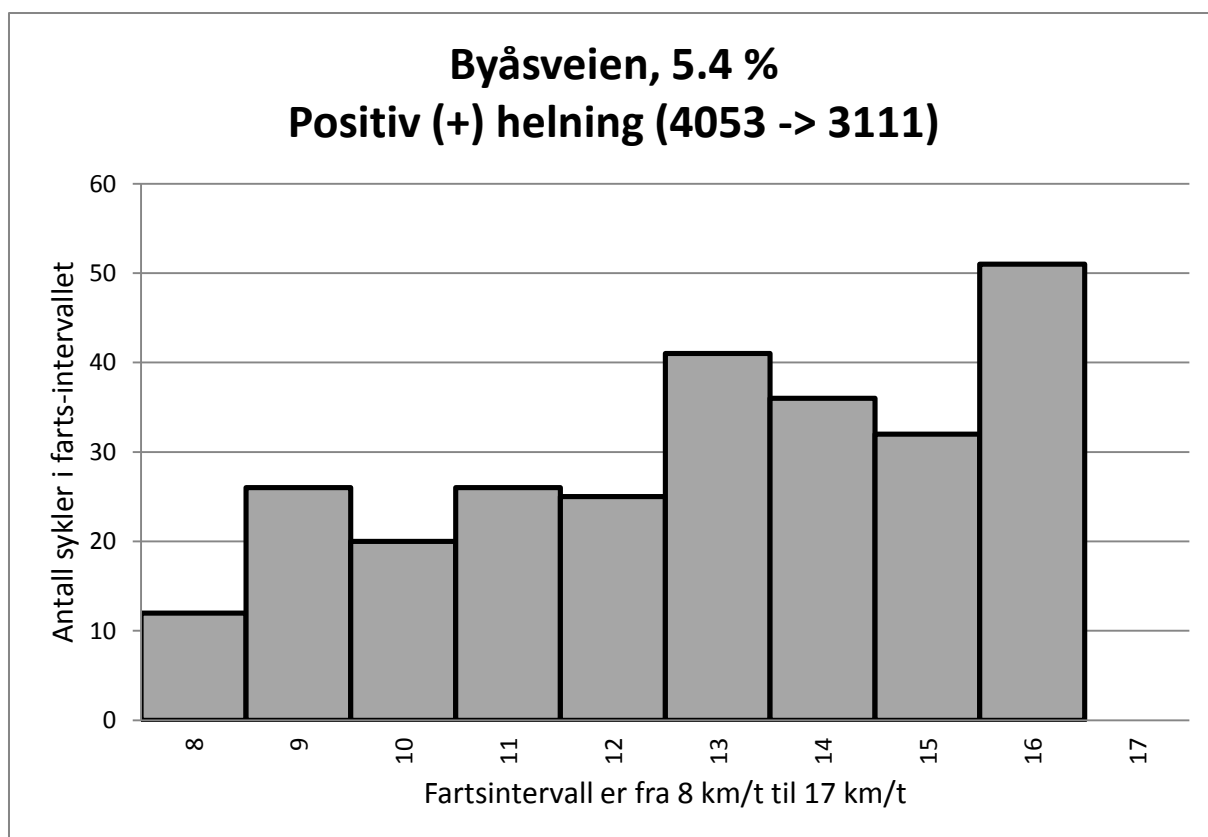
Det gjøres oppmerksom på at fordelingene er vist med forskjellig størrelse på aksene fra strekning til strekning. Dette er gjort fordi lesbarheten blir dårlig dersom like akser hadde blitt benyttet. Hovedpoenget er dessuten å få fram hvordan hastighetene fordelte seg på hver strekning. De ulike fordelingene må derfor ikke sammenliknes direkte uten aksene blir tatt hensyn til.

Positiv stigning

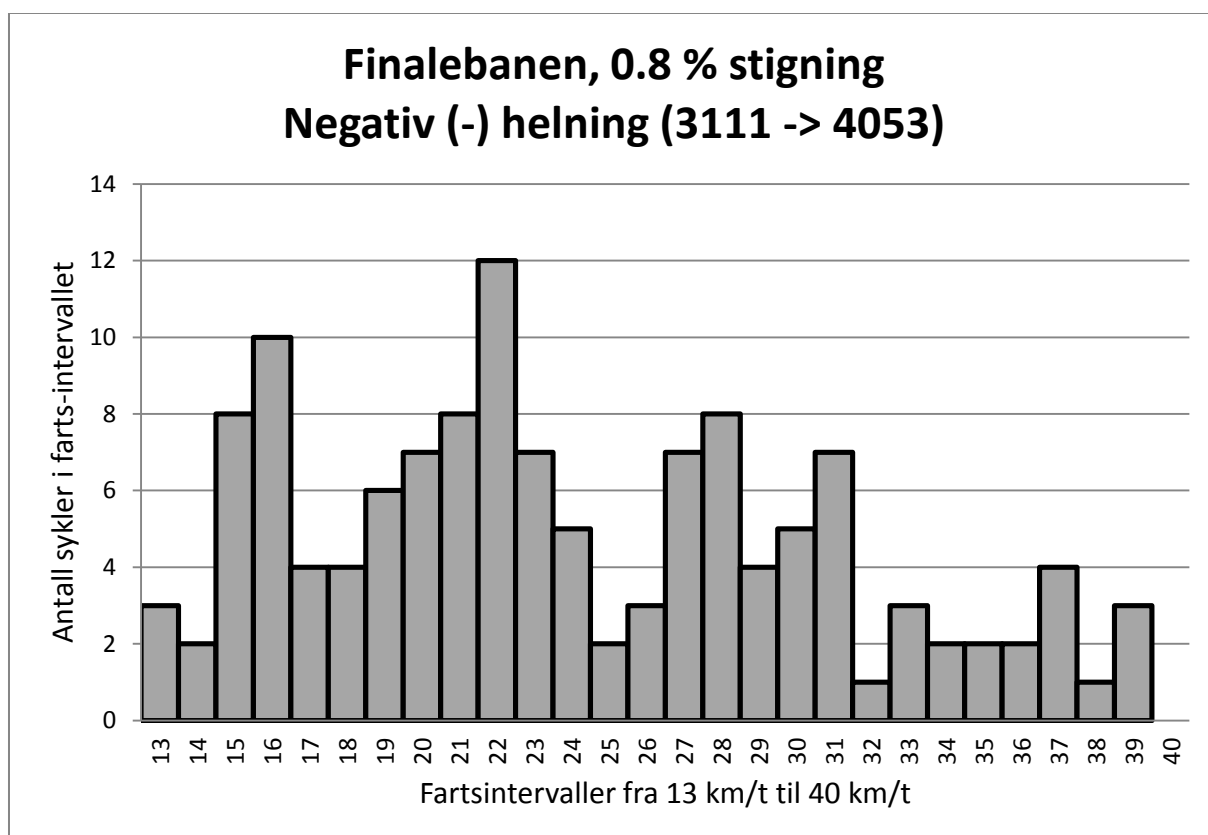
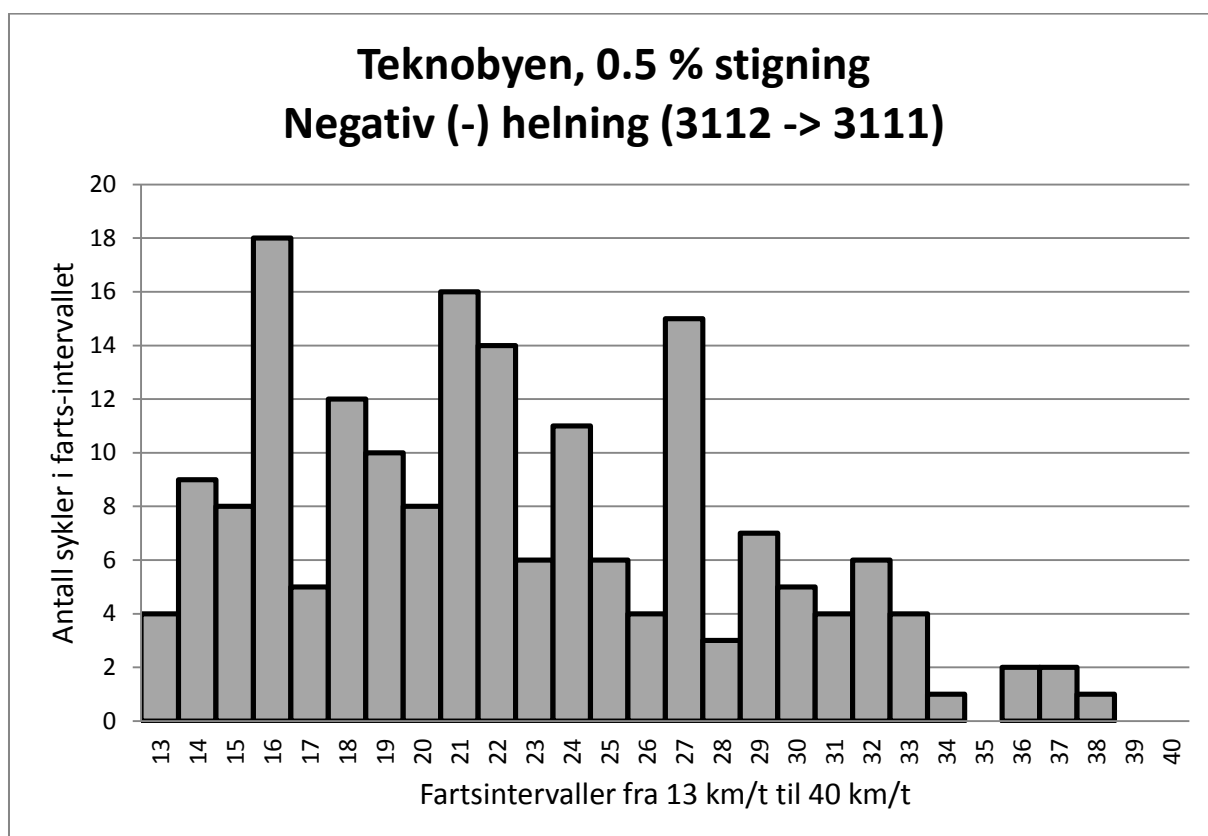




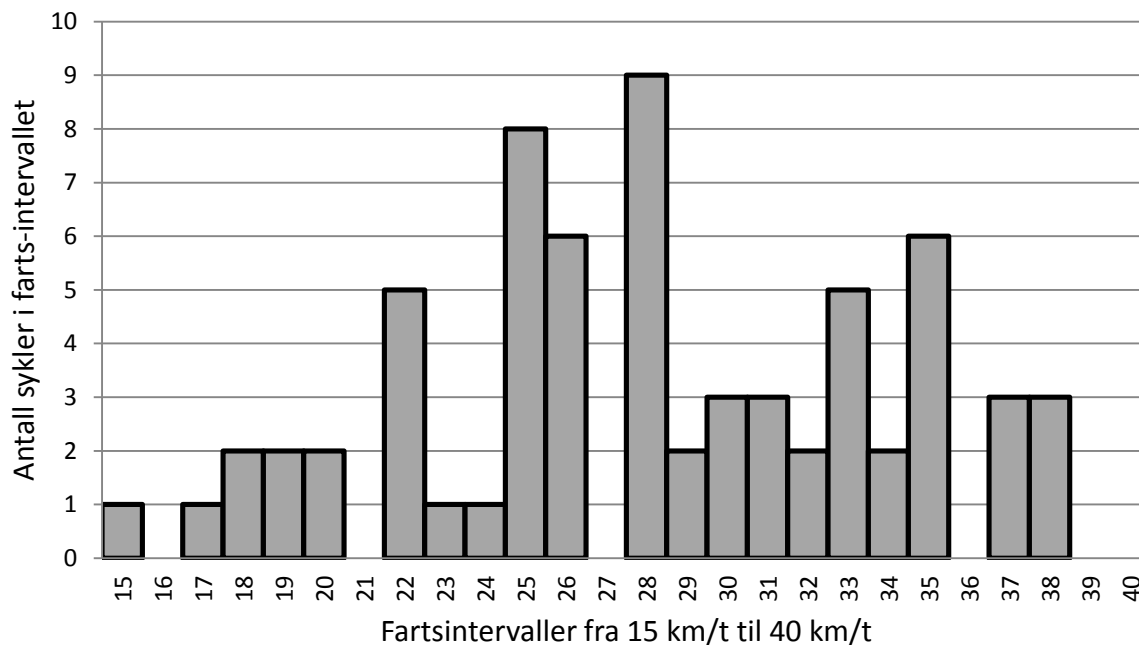




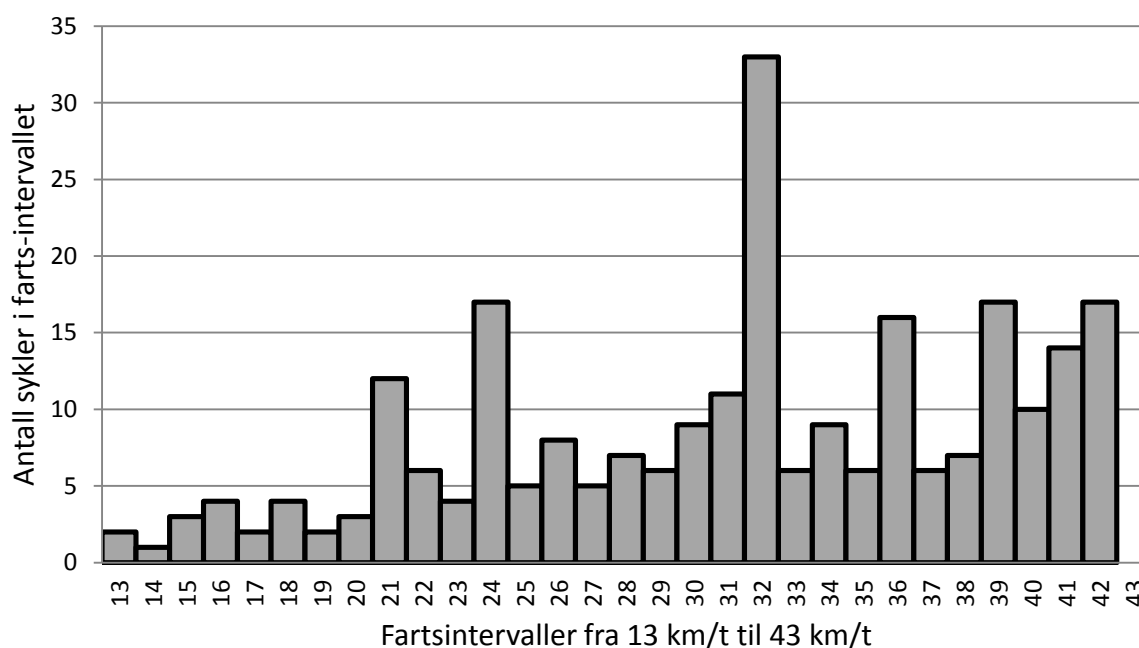
Negativ stigning

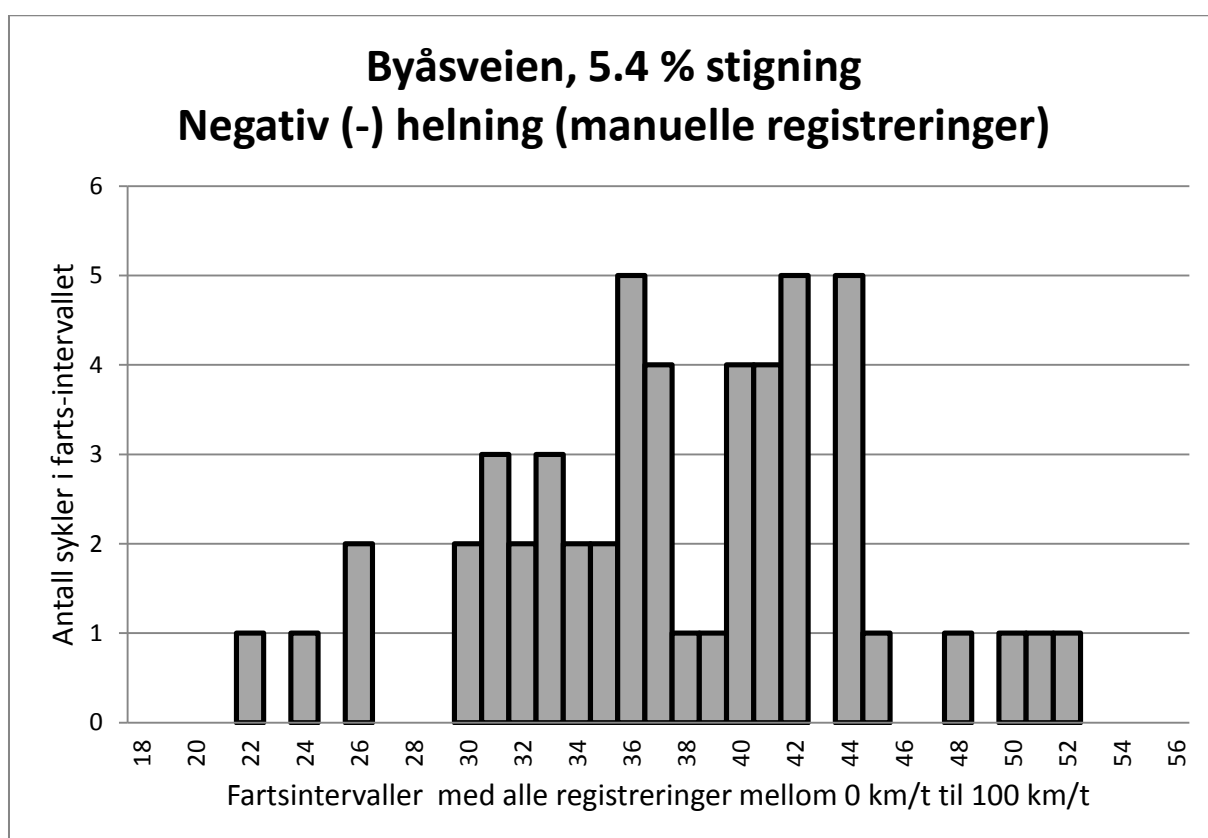
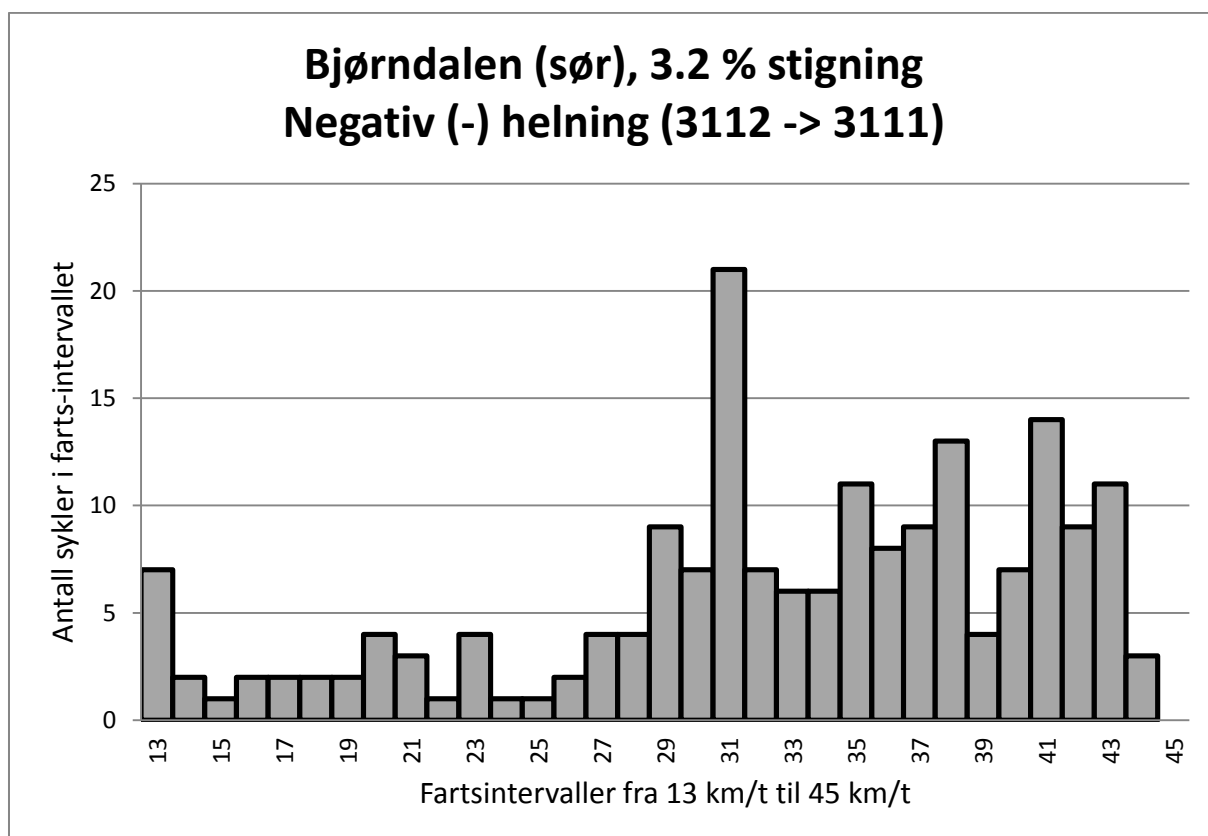


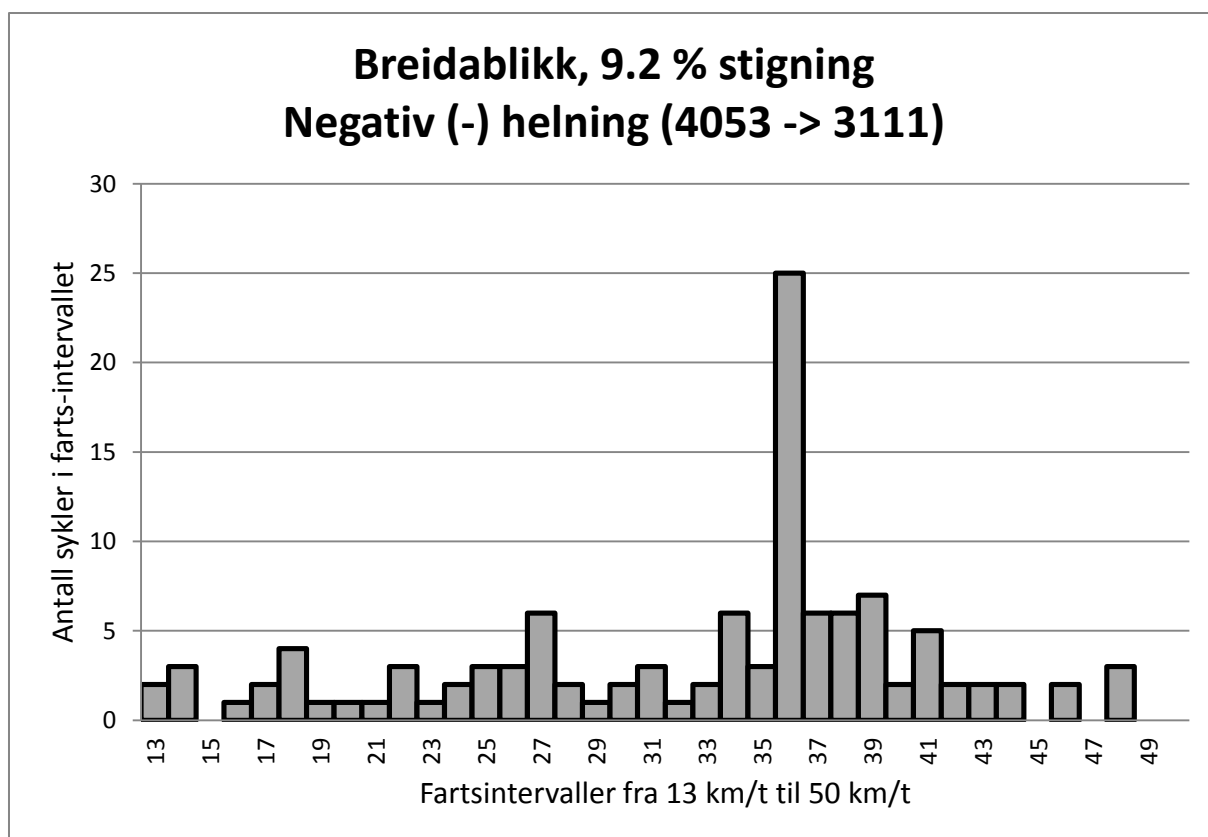
**Tempevegen, 2.0 % stigning
Negativ (-) helning (3111 -> 3112)**



**Bjørndalen (nord), 2.6 % stigning
Negativ (-) helning (3111 -> 4053)**







Vedlegg I

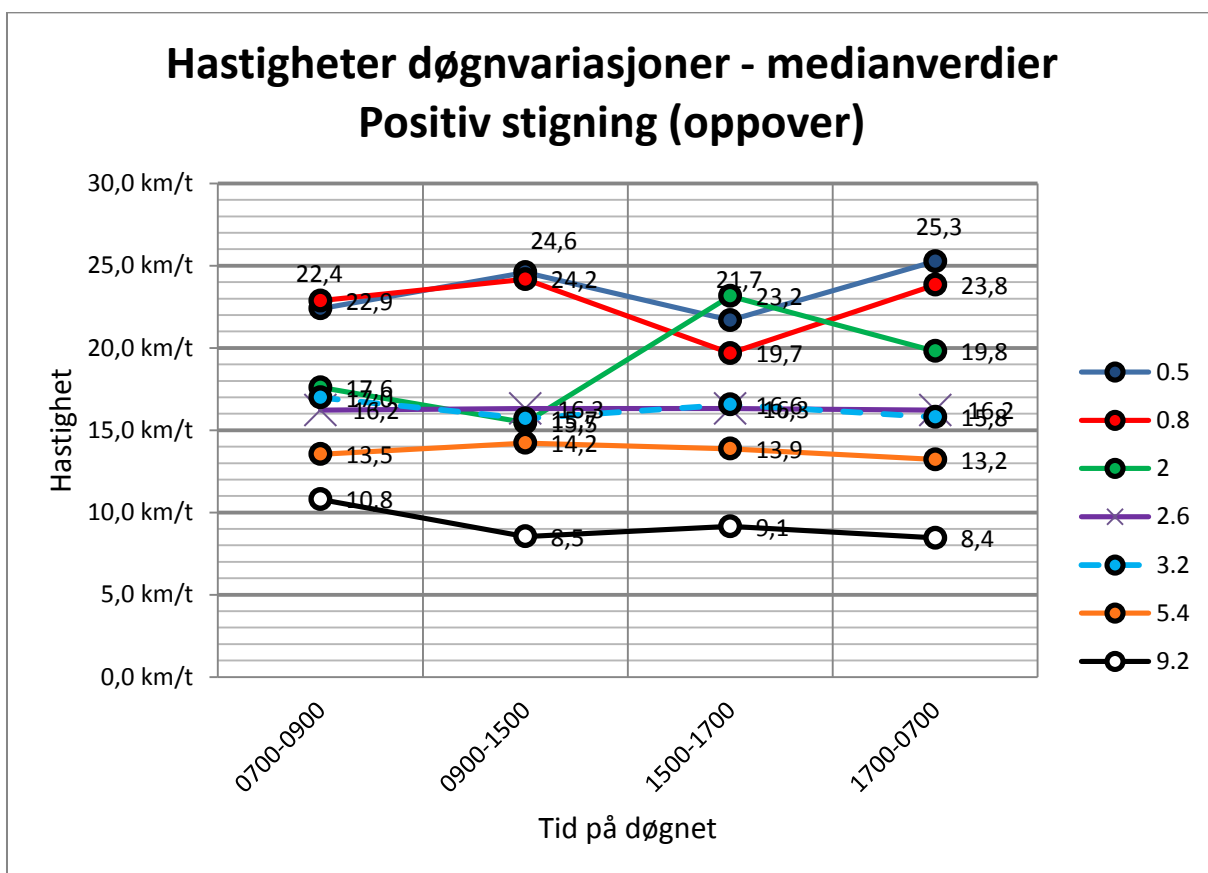
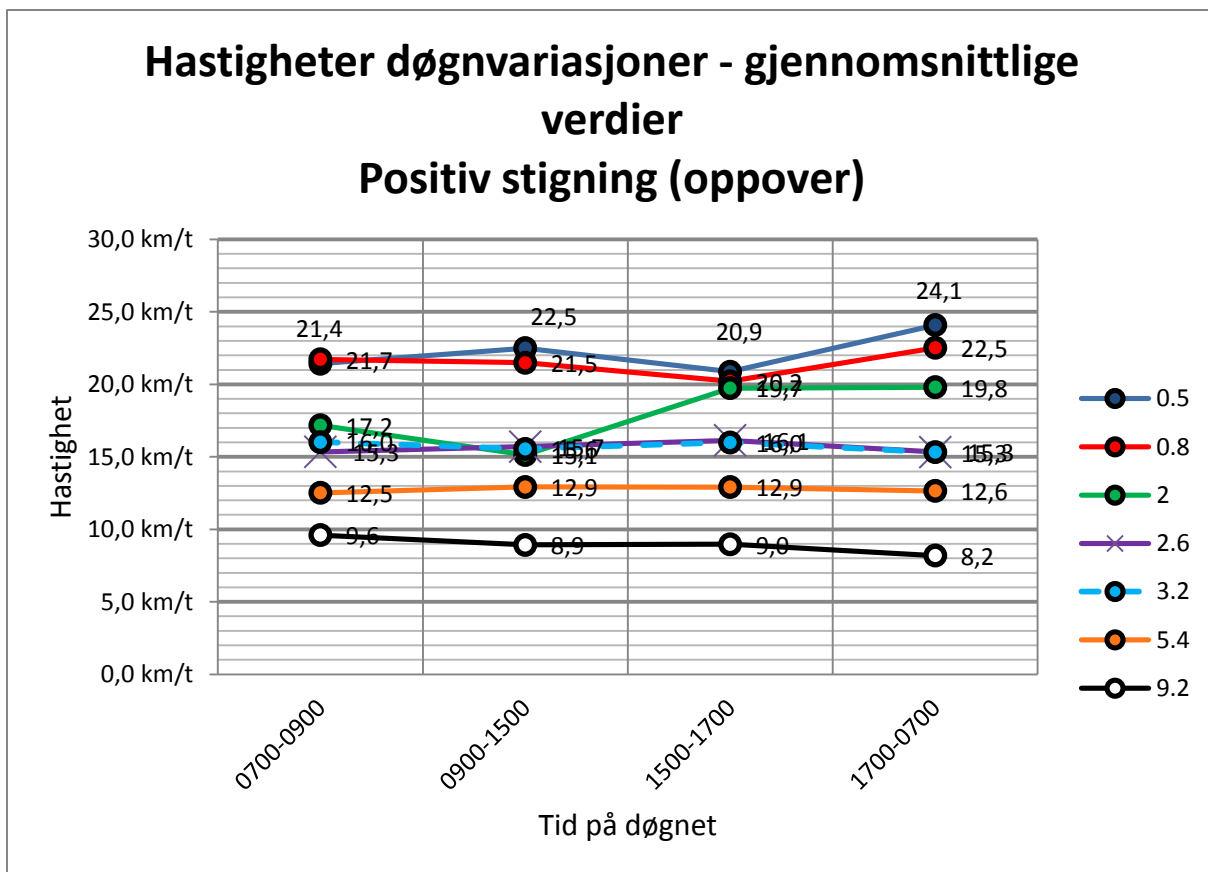
– Hastighetsvariasjoner for ulike tider på døgnet

Hastigheter – Variasjon for ulike tider på døgnet

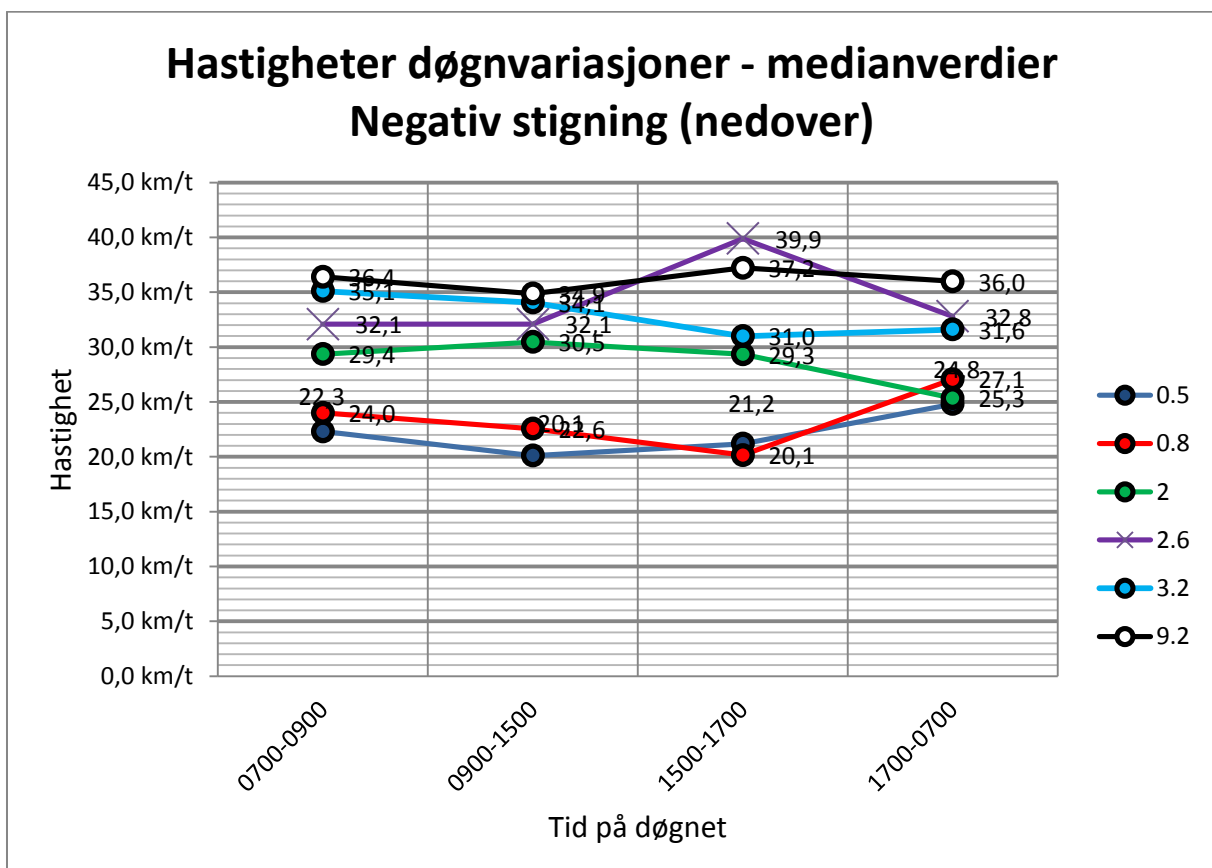
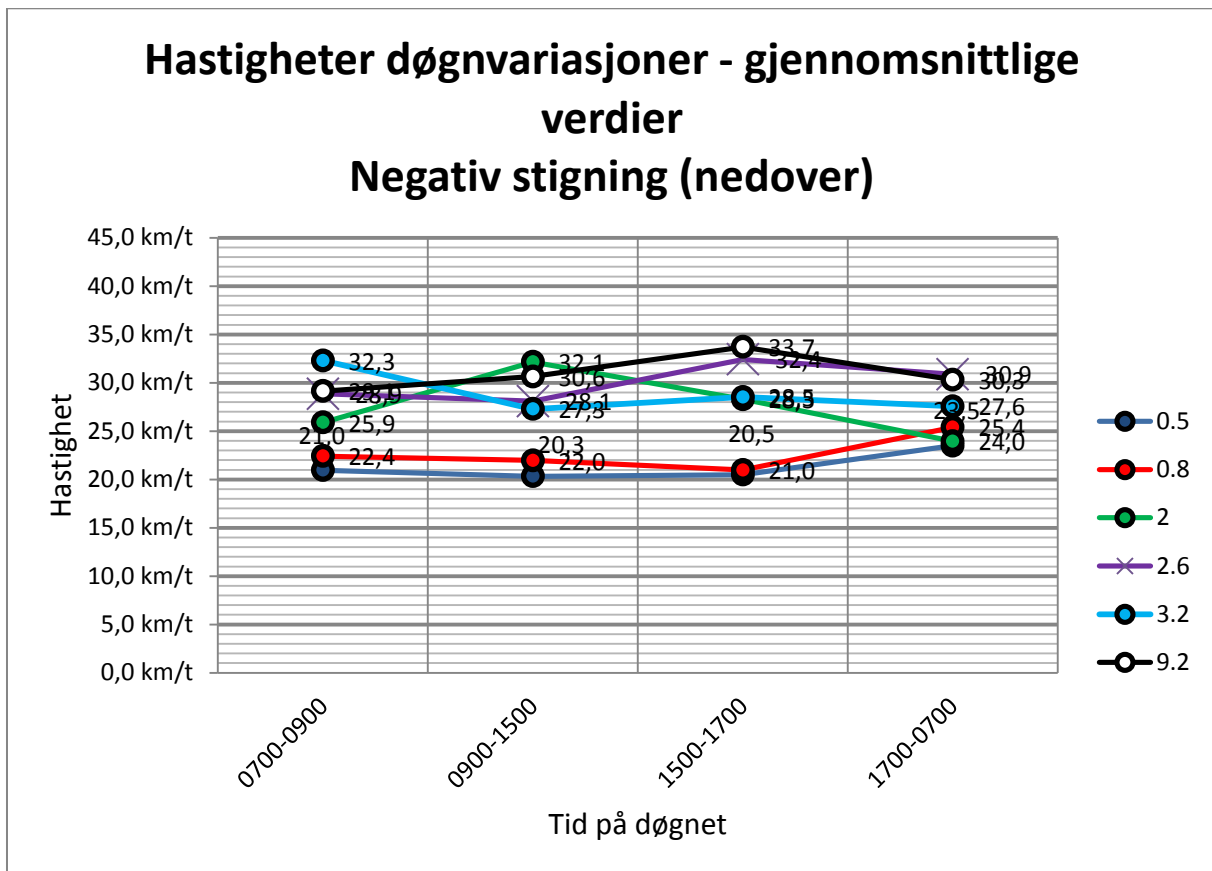
ULIK TID PÅ DØGNET

POSITIV STIGNING (OPPOVER)											
			Hastigheter (km/t)								
		Hastigheter for hele døgn		Gj. Hastigheter for ulike døgntider				Median Hastigheter for ulike døgntider			
Helning (%)	Gj. Hastighet [km/t]	Median Hastighet [km/t]	0700 - 0900	0900 - 1500	1500 - 1700	1700 - 0700	0700 - 0900	0900 - 1500	1500- 1700	1700- 0700	
0.5	22.4	23.0	21.4	22.5	20.9	24.1	22.4	24.6	21.7	25.3	
0.8	21.5	22.9	21.7	21.5	20.2	22.5	22.9	24.2	19.7	23.8	
2	17.3	17.6	17.2	15.1	19.7	19.8	17.6	15.5	23.2	19.8	
2.6	15.8	16.3	15.3	15.7	16.1	15.3	16.2	16.3	16.3	16.2	
3.2	15.7	16.1	16.0	15.6	16.0	15.3	17.0	15.7	16.6	15.8	
5.4	12.8	13.8	12.5	12.9	12.9	12.6	13.5	14.2	13.9	13.2	
9.2	8.6	8.6	9.6	8.9	9.0	8.2	10.8	8.5	9.1	8.4	
NEGATIV STIGNING (NEDOVER)											
			Hastigheter (km/t)								
		Hastigheter for hele døgn		Gj. Hastigheter for ulike døgntider				Median Hastigheter for ulike døgntider			
Helning (%)	Gj. Hastighet [km/t]	Median Hastighet [km/t]	0700 - 0900	0900 - 1500	1500 - 1700	1700 - 0700	0700 - 0900	0900 - 1500	1500 - 1700	1700- 0700	
0.5	21.3	22.0	21.0	20.3	20.5	23.5	22.3	20.1	21.2	24.8	
0.8	22.7	23.2	22.4	22.0	21.0	25.4	24.0	22.6	20.1	27.1	
2	27.3	28.8	25.9	32.1	28.3	24.0	29.4	30.5	29.3	25.3	
2.6	29.6	32.4	28.9	28.1	32.4	30.9	32.1	32.1	39.9	32.8	
3.2	30.3	34.1	32.3	27.3	28.5	27.6	35.1	34.1	31.0	31.6	
5.4*	36.5	37.6	-	-	-	-	-	-	-	-	
9.2	30.2	36.0	29.1	30.6	33.7	30.3	36.4	34.9	37.2	36.0	

* Byåsveien med 5.4 % viser ikke hastigheter fra ulike døgntider. Dette er fordi de verdiene som her er målt er målt kun mellom 07.30 og 08.30 på morgenen med manuelle registreringer.



Kommentar til figurene nedenfor: Registreringer fra Byåsveien med 5.4 %, negativ stigning, ble tatt manuelt over en kort tidsperiode og inkluderes dermed ikke i her.



Vedlegg J

– Statistisk test for snøbygers betydning

Statistisk test for snøbygers betydning på reisetid

En to-sidig t-test undersøker om forskjeller i de gjennomsnittlige reisetidene (μ) fra hvert av datasettene er signifikant eller ikke. Datasett fra BlipTrack mandag 24. februar 2014 sammenliknes med datasettet fra mandag 17. mars 2014.

Det stilles to hypoteser i t-testen:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Dersom P-verdien ($P(T \leq t)$ tosidig) overstiger signifikansnivået på 5 %, altså 0,05 eller høyere kan nullhypotesen ikke forkastes. P-verdien indikerer generelt sannsynligheten for at den observerte forskjellen i gjennomsnittlige reisetider mellom datasett skyldes tilfeldigheter. Nedenfor vises resultatet fra t-testen.

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

	Retning øst - vest	
	Man 24.02	Man 17.03
Gjennomsnittlig reisetid μ	88,5633803	108,907407
Varians	612,878068	583,783718
Observasjoner	71	54
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	116	
t-Stat	-4,61377552	
P(T<=t) ensidig	5,1334E-06	
T-kritisk, ensidig	1,65809574	
P(T<=t) tosidig	1,0267E-05	
T-kritisk, tosidig	1,980626	
Forkaste H0	Ja	

t-Test: To utvalg med antatt ulike varianser

Retning vest - øst

	<i>Man 24.02</i>	<i>Man 17.03</i>
Gjennomsnittlig reisetid μ	98	101,516667
Varians	812,830769	813,067514
Observasjoner	66	60
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	123	
t-Stat	-0,69144928	
P(T<=t) ensidig	0,24529314	
T-kritisk, ensidig	1,6573364	
P(T<=t) tosidig	0,49058627	
T-kritisk, tosidig	1,97943869	
Forkaste H0		Nei

For strekningen øst-vest forkastes nullhypotesen, og en kan si at forskjellen i gjennomsnittlig reisetid i denne retningen mellom mandag 24. februar og mandag 17. mars er statistisk signifikant.

For strekning vest-øst kan en ikke forkaste nullhypotesen, og en har dermed ikke grunnlag for å si at de gjennomsnittlige reisetidene på denne retningen mellom mandag 24. februar og mandag 17. mars er forskjellige.