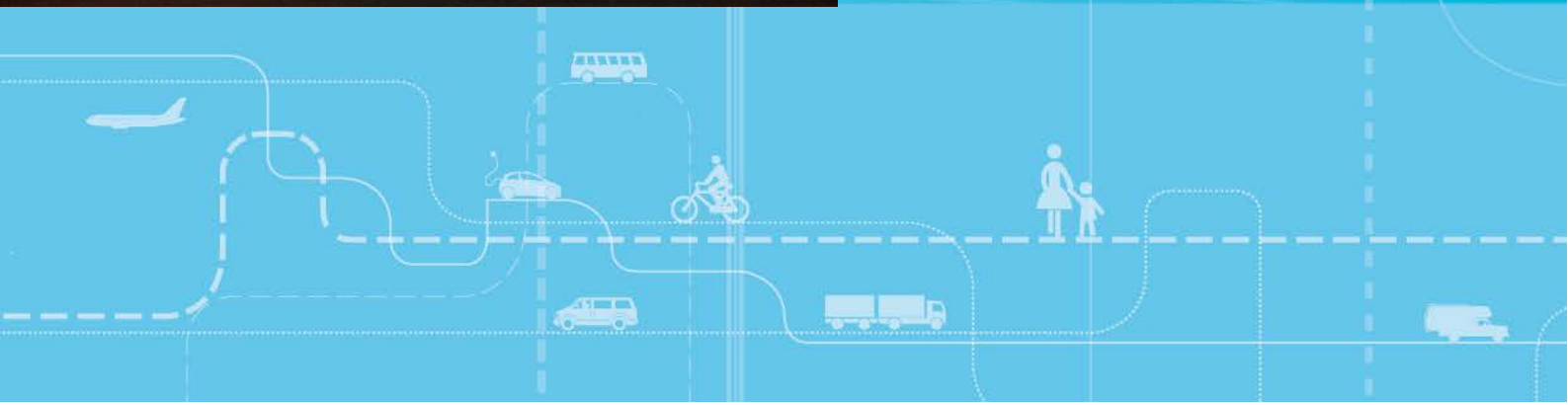


# Fartsmodell for sykkel og elsykkel





# Fartsmodell for sykkel og elsykkel

**Stefan Flügel**

**Nina Hulleberg**

**Aslak Fyhri**

**Christian Weber**

**Gretar Ævarsson**

**Eva-Gurine Skartland**

**Forsidebilde: unsplash.com**

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

---

**Tittel** Fartsmodell for sykkel og elsykkel

**Forfatter(e):** Stefan Flügel, Nina Hulleberg, Aslak Fyhri, Christian Weber, Gretar Ævarsson, Eva-Gurine Skartland

**Dato:** 03/2017

**TØI-rapport** 1557/2017

**Sider:** 46

**ISBN elektronisk:** 978-82-480-1886-5

**ISSN:** 0808-1190

**Finansieringskilde(r):** Statens Vegvesen  
Vegdirektoratet

**Prosjekt:** 4376 – Fartsmodell sykkel

**Prosjektleder:** Stefan Flügel

**Kvalitetsansvarlig:** Anne Madslie

**Fagfelt:** Transportmodeller

**Emneord:** Sykkel, elsykkel, fart, modellering, transportnettverk

**Title** Speed model for bicycle and e-bike

**Author(s)** Stefan Flügel, Nina Hulleberg, Aslak Fyhri, Christian Weber, Gretar Ævarsson, Eva-Gurine Skartland

**Date:** 03/2017

**TØI Report:** 1557/2017

**Pages:** 46

**ISBN Electronic:** 978-82-480-1886-5

**ISSN:** 0808-1190

**Financed by:** Norwegian Public Roads Administration

**Project:** 4376 – Fartsmodell sykkel

**Project Manager:** Stefan Flügel

**Quality Manager:** Anne Madslie

**Research Area:** Transport models

**Keyword(s)** Bicycle, electric bicycle, speed, modeling, transport network

#### Sammendrag:

På oppdrag fra Statens Vegvesen har TØI etablert empirisk baserte fartsmodeller for sykkel og elsykkel. Datagrunnlag er GPS-observasjoner som ble knyttet til et nettverk for Oslo fra Nasjonal Vegdatabank(NVDB). Fartsmodellen beskriver den gjennomsnittlige hastigheten på en nettverksslenke som en funksjon av en rekke forklaringsvariabler. Alle sentrale parameterestimer har forventet fortegn og størrelsesorden. Vi finner blant annet at man sykler raskere med elsykkel enn med vanlig sykkel, og at farten er høyere når sykkeltrafikken er adskilt fra biler og fotgjengere. Modellen er implementert for hele NVDB-nettverket i Oslo og kan – med noen forbehold – også anvendes i andre regioner i Norge. Dette gir et grunnlag for å inkludere fartsmodellen i de regionale transportmodellene (RTM) i Norge.

#### Summary:

TØI has - commissioned by the Public Roads Administration - established empirical speed models for bicycle and e-bike. The data streams from GPS observations that we have linked to the official road network in Oslo. The speed models describes average speed on a network link as a function of several explanatory variables. All key parameter estimates have expected sign and magnitude. We find for instance that one rides faster with e-bikes than with ordinary bicycle, especially uphill, and that the speed is higher when bicycle traffic is separated from cars and pedestrians. The model has been implemented for the Oslo network and can – with some reservations – also be used for other regions in Norway. It gives the basis to include the speed model in the regional transport models in Norway.

**Language of report:** Norwegian

Transportøkonomisk Institutt  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

Institute of Transport Economics  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

# Forord

Kunnskap over hvor fort personer kommer seg fra A til B med ulike transportmidler er viktig for å kunne anslå effekter på etterspørsel og samfunnsøkonomisk nytte av transporttiltak. I dagens transportmodeller inngår det avanserte fartsmodeller for bil, mens man har brukt en antakelse om konstant fart (15 km/t) for sykkel.

Denne rapporten dokumenterer arbeidet med å etablere en empirisk fartsmodell for sykkel der hastighet på en veistrekning er avhengig av type sykkel, kjønn, reisehensikt og ulike kjennetegn ved veistrekningen som stigning, kurvatur, type vei, type kryss osv.

Litteraturgjennomgangen er utført av Eva-Gurine Skartland og Aslak Fyhri. Arbeidet med etablering av datagrunnlag er utført av Nina Hulleberg, Stefan Flügel, Christian Weber og Gretar Ævarsson. Her har også Aslak Fyhri vært delaktig, spesielt med kunnskap knyttet til innsamlingen av GPS-dataene. Estimeringsarbeidet og implementering av fartsmodellene er utført av Nina Hulleberg og Stefan Flügel. Sistnevnte har også vært prosjektleder.

Fartsmodellen er utviklet på oppdrag fra Statens Vegvesen Vegdirektoratet gjennom etatsprogrammet Bedre By. Kontaktperson i SVV har vært Guro Berge. Fra oppdragsgiverens side har også følgende personer bidratt til prosjektet: Oskar Andreas Kleven, Kjell Johansen, Henrik Vold og Tomas Levin. Vi takker for gode innspill og godt samarbeid gjennom prosjektet.

Anne Madslie ved TØI har vært ansvarlig for kvalitetssikring av rapporten.

Vi takker også våre kollegaer Anja Fleten Nielsen, Hanne-Beate Sundfør og Alice Ciccone for bidrag til prosjektet, samt Trude Rømning for hjelp med ferdigstilling av rapporten.

Oslo, mai 2017

Transportøkonomisk institutt

*Gunnar Lindberg*  
*Direktør*

*Kjell Werner Johansen*  
*Andelingsleder*



# Innhold

## Sammendrag

### Summary

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Innledning</b> .....  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Bakgrunn.....  | 1         |
| 1.2      | Formål.....  | 1         |
| 1.3      | Ulike typer fartsmodeller.....   | 1         |
| 1.4      | Metodisk tilnærming .....  | 2         |
| <b>2</b> | <b>Litteraturgjennomgang</b> .....   | <b>5</b>  |
| 2.1      | Hvor fort sykler en syklist? .....   | 5         |
| 2.2      | Hva påvirker farten?.....  | 6         |
| <b>3</b> | <b>Datagrunnlaget</b> .....  | <b>8</b>  |
| 3.1      | Rekruttering og design.....  | 8         |
| 3.2      | Datainnsamling med app.....  | 8         |
| 3.3      | NVDB-nettverket.....   | 10        |
| 3.4      | Gjennomsnittsfart på turnivå.....  | 14        |
| <b>4</b> | <b>Databearbeidelse og fartsmåling på lenkenivå</b> .....                            | <b>17</b> |
| 4.1      | Identifikasjon av ny lenkeinformasjon .....  | 17        |
| 4.2      | Projisering av GPS-punktene til NVDB-nettverket.....                                 | 21        |
| 4.3      | Måling av fart på lenkenivå .....  | 23        |
| <b>5</b> | <b>Statistiske analyser</b> .....  | <b>26</b> |
| 5.1      | Endelig utvalg av GPS-observasjoner .....  | 26        |
| 5.2      | Utforming av fartsmodeller .....   | 27        |
| 5.3      | Vekting av observasjon ved estimering.....   | 28        |
| 5.4      | Estimeringsresultater.....   | 28        |
| <b>6</b> | <b>Implementering</b> .....  | <b>32</b> |
| 6.1      | Kalibrering av fart .....  | 32        |
| 6.2      | Implementering på nettverk.....  | 33        |
| <b>7</b> | <b>Illustrasjon av resultater og validering</b> .....                                | <b>35</b> |
| 7.1      | Variasjon i predikert fart.....  | 35        |
| 7.2      | Effekt av stigning og type sykkel.....   | 37        |
| 7.3      | Effekt av infrastruktur .....  | 39        |
| 7.4      | Validering mot eksisterende litteratur.....  | 40        |
| <b>8</b> | <b>Diskusjon</b> .....   | <b>41</b> |
| 8.1      | Metodisk usikkerhet .....  | 41        |
| 8.2      | Forbedringsmuligheter.....   | 43        |
| 8.3      | Modellens generaliserbarhet utover Oslo .....  | 43        |
| 8.4      | Mulige utfordringer ved implementering i andre nettverk .....                        | 44        |
| <b>9</b> | <b>Referanser</b> .....  | <b>45</b> |
|          | <b>Vedlegg A: Nye lenkeegenskaper som ikke ble inkludert i den endelige modellen</b> | <b>46</b> |





## Sammendrag

# Fartsmodell for sykkel og elsykkel

TØI rapport 1557/2017

Forfattere: Stefan Flügel, Nina Hulleberg, Aslak Fyhri, Christian Weber, Gretar Ævarsson, Eva-Gurine Skartland

Oslo 2017 46 sider

---

Rapporten presenterer fartsmodeller for vanlig sykkel og elsykkel. Modellene er estimert basert på GPS-observasjoner for sykkelreiser i Oslo som er knyttet til veistrekningsnettverket. Modellen viser blant annet at man sykler raskere med elsykkel enn med vanlig sykkel, spesielt i oppoverbakker, og at farten er høyere når sykkeltrafikken er adskilt fra biler og fotgjengere.

## Bakgrunn

Bakgrunnen for rapporten er et prosjekt finansiert av Statens Vegvesens etatsprogram *Bedre kunnskapsgrunnlag for endret transportmiddelfordeling i byer* (Bedre by 2014–2019). Prosjektets målsetting er å utvikle én fartsmodell for vanlig sykkel og én for elsykkel, som skal være utformet slik at de kan brukes på hele veinettet. Modellene skal kunne brukes i regionale transportmodeller (RTM) i Norge.

## Metodisk tilnærming

Løsning av oppdraget involverer følgende arbeidsoppgaver:

- Litteraturgjennomgang
  - Skaffe oversikt over mulige forklaringsvariabler og matematiske sammenhenger funnet i litteraturen.
- Etablering av datagrunnlaget
  - Innsamling av GPS-data basert på en mobilapplikasjon.
- Empirisk fartsberegning og datakodning
  - Projisering av GPS-data til veilenker fra Nasjonal vegdatabank (NVDB)
  - Beregne gjennomsnittlig sykkelfart på veilenker
  - Kodning av forklaringsvariabler
- Økonometrisk modellering og estimering
  - En økonometrisk modell og et sett av estimerte parametere (separate modeller for vanlig sykkel og elsykkel)
- Implementering
  - Kalibrering av fart og beregning av fart på alle lenker gitt fartsmodell
- Validering
  - Illustrasjon av resultater i GIS og sammenligning med empiriske tall

## Data

Respondentene ble rekruttert fra personer som hadde søkt om midler i støtteordning for elsykler i Oslo, samt fra et utvalg på 10 000 syklister bosatt i Oslo-området som ble trukket fra Falck sykkelregister. 721 personer lastet ned mobilapplikasjon Sense.DAT, som kartlegger respondentens bevegelser ved hjelp av GPS-data. Etter ekskludering av observasjoner utenfor Oslo, satt vi igjen med data fra 49358 ulike sykkelturner utført av 709 personer i tidsrommet 1.april 2016 – 30.juni 2016. Elsykkelandelen i datasettet ligger på rundt 25%.

Den avhengige variabelen i fartsmodellen er fart på en nettverkslenke (veistrekning). Farten er beregnet basert på distanse og tidsstempel for første og siste GPS-observasjon på samme nettverkslenke. Dette innebærer en viss underrepresentasjon av kryss/overganger som fører til at farten på lenkenivå blir noe høyere enn farten målt på turnivå. Dette er tatt hensyn til ved kalibrering av fartsmodellen.

Som forklaringsvariabler i fartsmodellen inngår ulike egenskaper ved veilenker. Disse er direkte eller indirekte etablert ut fra egenskaper ved lenkene i NVBD-nettverket. I tillegg har vi definert sentrumsvariabler basert på informasjon fra SSB.

I fartsmodellen inngår følgende forklaringsvariabler:

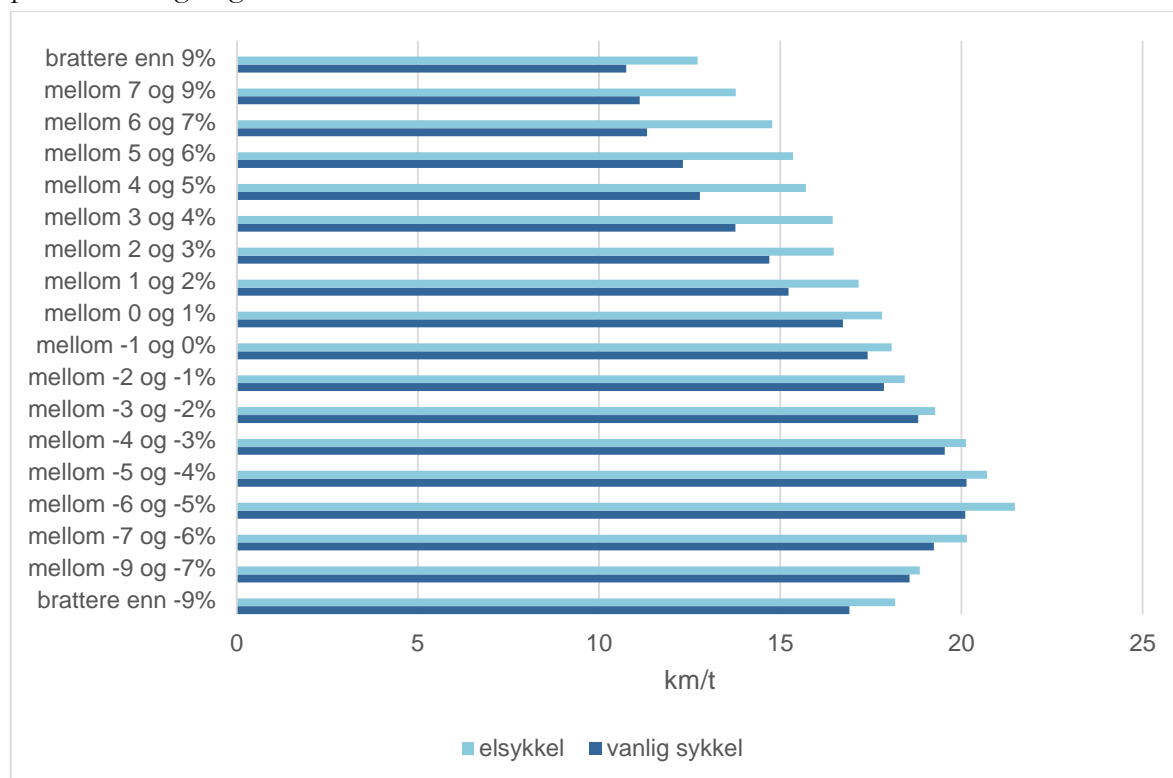
- Kjønn
- Reisehensikt
- Stigning på lenken
  - Netto-stigning i prosent, spesifisert som 18 forskjellige dummy-variabler, hvor «stigning 0-1 %» er normalisert.
- Gjennomsnittlig stigning på inngående lenker (kontinuerlig variabel)
- Horisontal kurvatur (kontinuerlig)
- Tilgjengelig infrastruktur
  - Type vei spesifisert ved 4 dummy-variabler: sykkelvei, tilgjengelig sykkelfelt, gang- og sykkelvei eller annen vei.
- Krysstype kombinert med lengden på lenken (12 dummy-variabler)
  - T- og X-kryss
  - Kort (under 30 meter), middels og lang lenke (over 100 meter)
- Hovedsykkelruter (dummy variabel)
- Proxy for trafikk tetthet (4 dummy-variabler)
  - Hvorvidt lenken er i et sentrumsområde, kombinert med skiltet hastighet (over/under 30 km/t)

## Estimering

Vi ekskluderer dataobservasjoner med antatt dårlig datakvalitet. Etter ekskluderingen gjenstår et omfattende datamateriale med 283104 og 96613 observasjoner(lenkehastigheter) for henholdsvis vanlig sykkel og elsykkel. Det brukes identiske matematiske funksjoner for modellen til vanlig sykkel og elsykkel, men det estimeres to separate sett av parametere. Observasjonene vektet i estimeringen med lengden til lenken de er knyttet til, slik at modellen treffer bedre på lengre lenker. Begrunnelsen for dette er at lengre lenker har større betydning for predikering av fart på turnivå.

Estimeringsresultatene er stort sett intuitive. Menn sykler i gjennomsnitt raskere enn kvinner; forskjellen er større for vanlig sykkel (rundt 13%) enn for elsykkel (rundt 5%). Farten er høyest når sykling er adskilt fra biler og gående, dvs. på separate sykkelveier. Det

er også en betydelig tilleggseffekt når sykkelveier er del av hovedsykkelveinettet. Her er hovedsykkelveinettet forenklet definert som «Tour de Finance» (E18 vestfra), Ring 3 og Trondheimsveien nord for Sinsenkrysset. Vi finner også at farten er redusert i Oslo sentrum. Kryss fører til lavere hastighet, og den relative effekten av kryss er - som forventet - størst for korte lenker. Den viktigste forklaringsvariabelen for fart er imidlertid stigning (her definert som nettostigning på lenken). Figur S1 viser estimert fart etter type sykkel og prosentvis stigning.



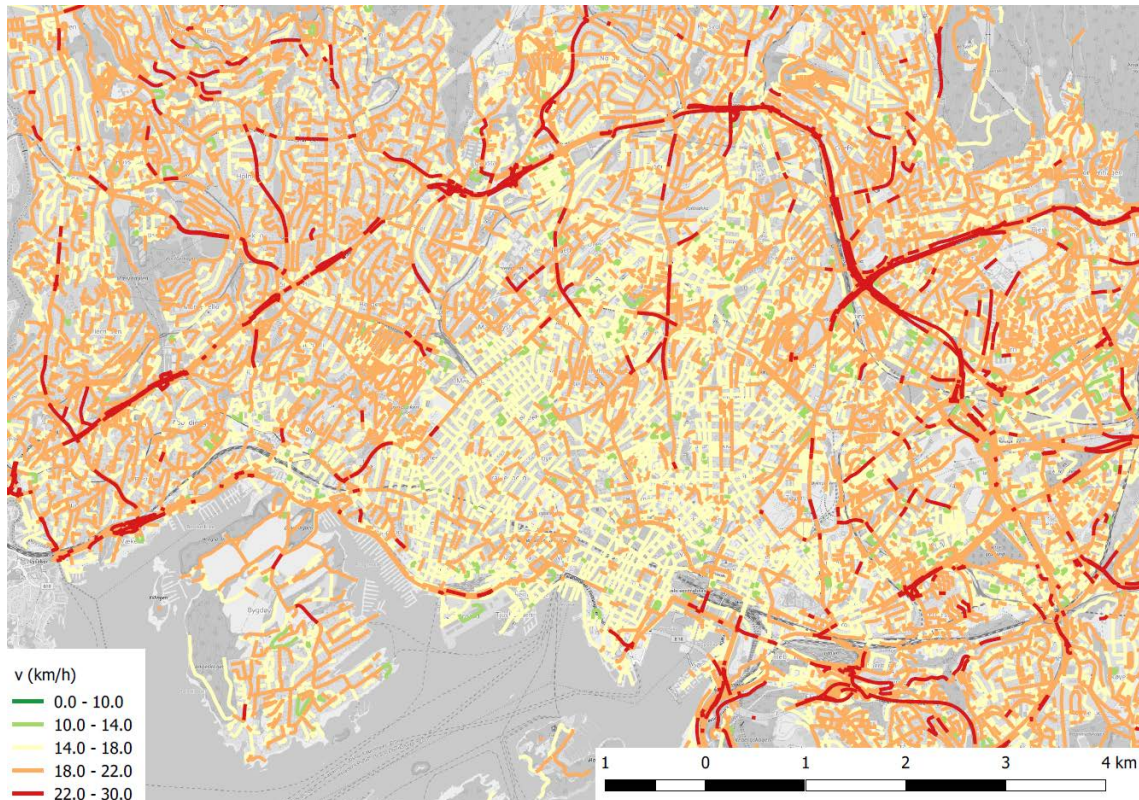
Figur S1 Sammenheng mellom estimert fart etter type sykkel og prosentvis stigning

Modellen indikerer en nedbremsingseffekt for veldig bratte nedoverbakker. Et annet resultat, basert på figur S1, er at forskjellen mellom elsykkel og vanlig sykkel er størst i oppoverbakker.

## Implementering

Fartsmodellen er implementert ved å beregne fart med fartsmodellen for 8 segmenter ( $2^3$  kombinasjoner av elsykkel/vanlig sykkel, mann/kvinne, arbeidsreise/ikke arbeidsreise) og i begge retninger for alle nettverkslenker i NVBD nettverket. Farten kalibreres for å treffe observert fart på turnivå.

Figur S2 viser implementert fart nedover for segmentet: mann, ikke arbeidsreise, vanlig sykkel.



Figur S2 Predikert hastighet nedover (mann, ikke arbeidsreise, vanlig sykkel)

## Metodisk usikkerhet og bruk av modellen

Rapporten inneholder en diskusjon av metodiske usikkerhetsmomenter blant annet knyttet til identifikasjon av variabler, mulige feil ved projisering av GPS-observasjoner, mulig skjevhet i utvalget og usikkerhet i statistisk modellering.

Til tross for at modellen i utgangspunktet gjelder for Oslo, mener vi at modellen er overførbart til andre regioner i Norge. Vi anbefaler at effekten av noen forklaringsvariabler, som for eksempel effekt av sentrum og hovedsykkelveier, vurderes kritisk når modellen brukes for andre regioner/byer. Det kan også være nødvendig med en nedjustering i basisfart. Dette er basert på at vårt datasett har noen indikasjoner på at det sykles raskere i Oslo.

Modellen kan implementeres i andre nettverk gitt at man klarer å gjenspeile forklaringsvariabler på en konsistent måte. Det skal ikke være noe problem å implementere modellen i nettverk som baserer seg på NVBD; dette gjelder for eksempel nettverket i de regionale transportmodellene i Norge.

## Summary

# Speed model for bicycle and e-bike

TOI Report 1557/2017

Authors: Stefan Flügel, Nina Hulleberg, Aslak Fyhri, Christian Weber, Gretar Ævarsson, Eva-Gurine Skartland

Oslo 2017 46 pages Norwegian language

---

*The report presents speed models for bicycle and e-bike. The models are estimated based on GPS observations of cycle trips in Oslo that are associated with links in the transport network. The model shows that one cycles faster with e-bikes than with ordinary bicycles, especially uphill, and that speed is on average higher when bicycle traffic is separated from cars and pedestrians.*

The background for the report is a project funded by the Norwegian Public Roads Administration. The project's goal is to develop speed models for bicycle and e-bike that can be applied to the entire road network, and that can be used in the regional transport models in Norway.

The empirical analysis are based on GPS-observations from 49358 different bike tours in Oslo conducted by 709 respondents during the period 1 April 2016 - 30 June 2016. The e-bike share in the data set is around 25%.

The dependent variable in the speed models (separated models for bicycle and e-bike) is speed measured on network links. The following explanatory variables are used in the model: Gender, travel purpose, gradient (18 dummy variables), average gradient of inbound links, type of road infrastructure, type of crossing, horizontal curvature, a dummy for main cycling roads as well as dummy variables that loosely represent traffic density.

Regression models yield largely intuitive results with expected sign and order of estimated parameters.

The model is implemented for the entire road network adding speed for 8 segments ( $2^3$  combinations of bicycle/e-bike, male/female, work/not work) and in both directions as new link characteristics.

For details about this work in English language we refer to the scientific paper: "Empirical speed models for cycling in the Oslo road network" by Flügel et al. Contact [sfl@toi.no](mailto:sfl@toi.no) for a copy or the detailed reference.



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for rapporten er et prosjekt finansiert av Statens Vegvesens etatsprogram *Bedre kunnskapsgrunnlag for endret transportmiddelfordeling i byer* (Bedre by 2014–2019).

Prosjektets målsetting er ifølge konkurransegrunnlaget gitt som:

- «Arbeidspakke 1 består i å utvikle en fartsmodell for vanlig sykkel og en for elsykkel. Modellen beskrives med alle relevante variable og parametere [.] Modellen bør være utformet slik at den kan brukes på hele veinettet. Eventuelle begrensninger må beskrives og grunngis»
- «Arbeidspakke 2 består i å finne fram til relevante datakilder for å innsamle data og beregne modellens parametere fra de valgte datakildene [.]»

## 1.2 Formål

Prosjektets formål er å utvikle og estimere en fartsmodell som kan beregne fart for sykling gitt detaljert informasjon om nettverket og bakgrunnsinformasjon om den syklende. Tanken er at fartsmodellen kan brukes i nettverksbaserte transportmodeller for å beregne reisetid med sykkel, noe som påvirker den reisendes rutevalg og transportmiddelvalg i modellen.

I dagens regionale transportmodell (RTM) brukes en fast hastighet på 15 km/t for sykkel. Reisetiden mellom to steder vil dermed kun avhenge av distansen (langs vei) mellom disse to stedene. Dette er åpenbart en grov forenkling siden reisetiden i virkeligheten vil avhenge av egenskaper ved den reisende, utforming av infrastruktur, topografi og andre forhold (vær, trafikkmengde, o.l.). En fartsmodell vil derfor kunne forbedre modellering av rutevalg og transportmiddelvalg.

Fartsmodeller er også relevant for samfunnsøkonomiske analyser av (sykkel)veitiltak. I Norge finnes det en offisiell tidsverdi for sykling. Bruk av denne tidsverdien kan være unøyaktig da reisetiden kun er en omregning av distanse (med 15 km/t i dag). En mer avansert fartsmodell kan derfor bidra til mer nøyaktig beregning av trafikantnytte av tiltak som endrer utformingen av (sykkel)veier.

## 1.3 Ulike typer fartsmodeller

Med fartsmodell forstår vi en matematisk modell som beregner sykkelhastigheten gitt ulike variabler og deres parametere. I litteraturen finnes det ulike typer fartsmodeller for sykling, og konseptuelt kan man inndele disse modellene i tre kategorier:

1. *Rene fysiske modeller* (som f.eks. omtalt i Parkin og Rotheram 2010). Her settes fysiske størrelser (som hastighet, effekt, vekt, gravitasjon, aerodynamikk osv.) inn i matematiske sammenhenger, og man kan beregne en størrelse (hastighet) gitt informasjon om alle de andre fysiske størrelsene. De funksjonelle sammenhengene og parameterverdiene i disse

modellene er direkte knyttet til fysiske lover. De trenger derfor ikke å estimeres med empiriske data.

2. *Adferdsorienterte modeller.* Hastigheten predikeres her som funksjon av egenskaper ved syklistene (kjønn, alder osv.), reisesituasjonen (reisehensikt, vær) og utforming av veien (infrastruktur, antall kryss, fasiliteter osv.). En slik modell er for eksempel presentert i El-Geneidy (2007). Her inkluderte også modellen dummy variabler som representerte holdninger hos syklistene, for eksempel om syklisten er komfortabel med å kjøre i tett trafikkerte gater. I motsetning til fysiske modeller finnes det ingen/liten teori om hvordan disse variablene påvirker hastigheten, og parameterne i den matematiske funksjonen bør derfor estimeres på observerte data.

3. *Kapasitetsavhengige modeller* (Volume-delay-funksjoner (VDF) for sykler). I litteraturen har denne gruppen fartsmodeller fokus på hvordan trafikk tetthet påvirker reisetiden. Transportmodeller (som RTM) har slike VDF for biler, men ikke for sykler. Det finnes dog noen få eksempler der VDF er foreslått for sykler. Subhani et al (2013) presenterer en modell der reisetiden på en lenke (strekning) er avhengig av blant annet type vei, antall biler og antall sykler. Parameterne i modellen er kalibrert og ikke estimert på observerte data. Fartsmodellen som er etablert i dette prosjektet er av type adferdsmodell og er estimert empirisk basert på GPS-data. Modellen er i liten grad teoretisk fundert og parameterne avhenger direkte av den sykkeladferden vi observerer med GPS-data. Dessuten har vi funnet effekter som motstrider rene fysiske modeller, for eksempel at effekten av økt helning nedover ikke er monoton, en slags «nedbremsingseffekt». På grunn av manglende data for trafikkmengden på lenkenivå er modellen ikke kapasitetsavhengig, men vi har inkludert noen variabler som til en viss grad fanger opp trafikk tetthet (se mer i kapittel 5).

## 1.4 Metodisk tilnærming

Vi har delt arbeidsopplegget inn i seks arbeidsoppgaver som visst i Tabell 1.1.

Tabell 1.1 Arbeidsopplegg og referanse til rapportkapittel.

| Arbeidsskritt                          | Hovedoppgave  | Kapittel i rapport |
|--|---|--------------------|
| Litteraturgjennomgang                  | Skafe oversikt over mulige forklaringsvariabler og matematiske sammenhenger funnet i litteraturen.  | 2                  |
| Etablering av datagrunnlaget           | Innsamling av GPS-data basert på en mobilapplikasjon.   | 3                  |
| Empirisk fartsberegning og datakodning | Projisering av GPS-data til veilenker fra Nasjonal vegdatabank (NVDB)<br>Beregne gjennomsnittlig sykkel fart på veilenker<br>Koding av forklaringsvariabler | 4                  |
| Økonometrisk modellering og estimering | En økonometrisk modell og et sett av estimerte parametere (separat modell for el-sykkel)  | 5                  |
| Implementering                         | Kalibrering av fart og beregning av fart på alle lenker gitt fartsmodell  | 6                  |
| Validering                             | Illustrasjon av resultater i GIS og sammenligning med empiriske tall  | 7                  |



Tanken med litteraturgjennomgangen er å finne teoretiske eller empiriske funn som kan fortelle oss hvilke faktorer  $X$  som påvirker sykkelfart  $F$ , samt i hvilke matematiske sammenhenger disse forklaringsvariablene står med parameterne  $\theta$  for å beskrive fart  $F = f^T(\theta; X)$ .

Selve datainnsamlingen, som ble utført gjennom et annet prosjekt (Fyhri m fl 2016), ble medfinansiert av dette prosjektet. Bakgrunnen for datainnsamlingen og rekrutteringsprosessen er beskrevet i kapittel 3. Her finnes også en kort beskrivelse av mobilapplikasjonen som ble brukt, samt en beskrivelse av nettverket som har blitt benyttet ved estimering.

I deloppgaven «Empirisk fartsberegning og datakodning» etablerer vi inndata for vår egen estimering. I grove trekk består dette av:

- 1) en projisering av GPS-data på vårt sykkelnettverk (avsnitt 4.1)
- 2) en beregning av (gjennomsnittlig) fart  $F$  på alle nettverkslenker vi har GPS-data på (avsnitt 4.2)
- 3) å kode/etablere forklaringsvariabler  $X^{(tij)}$  ut fra tilgjengelige data (avsnitt 3.2 og 4.3)

«Økonometrisk modellering og estimering» går ut på å formulere en egnet og håndterbar funksjonell sammenheng  $f^\theta$  for å beskrive hvordan målt fart  $F$  avhenger av de (tilgjengelige) forklaringsvariabler  $X$ .  $F = f^\theta(\theta; X^{(tij)}) + \varepsilon$

Etter at fordelingen av feilleddet  $\varepsilon$  er spesifisert, kan vi estimere parameterne  $\theta$  gitt  $F$  og  $X^{(tij)}$ . Vi estimerer to ulike sett av parametere: et for vanlig sykkel (se resultater i avsnitt 5.4) og et for elsykkel (avsnitt 5.5)

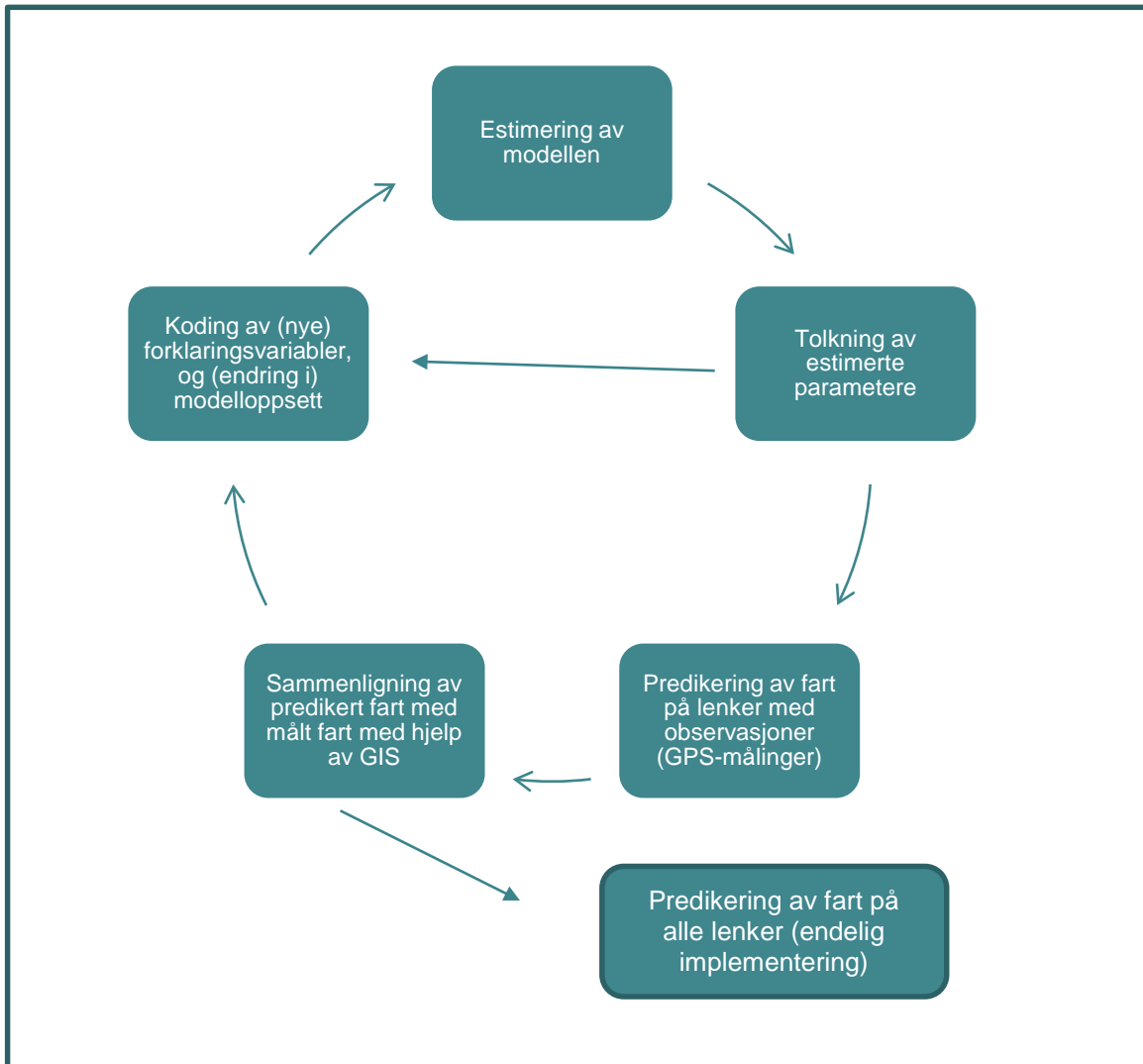
I oppgaven «Implementering» beregner vi fart  $\hat{F}$  basert på estimerte parametere  $\hat{\theta}$  og tilgjengelige  $X^{(tij)}$  på alle lenker i nettverket. Vår fremgangsmåte fører til at vi måler høyere fart på lenkenivå enn på turnivå. Dette fører til at vi må nedjustere predikert fart med en nedskaleringsfaktor. Dette er nærmere begrunnet og forklart i avsnitt 4.3 og avsnitt 6.1.

Ved validering av modellen gjør man - forenklet sagt - en vurdering av hvorvidt fartsmodellen predikerer rimelige tall. Mer spesifikt gjør vi en

- 1) Vurdering av om de estimerte parametere  $\hat{\theta}$  har forventet fortegn og rimelige størrelsesforhold
- 2) Vurdering av om variasjon i predikert fart er meningsfull
- 3) Sammenligning av predikert fart  $\hat{F}$  med empirisk målt fart  $F$  ved hjelp av GIS.

Arbeidsprosessen er ikke «lineær» og det itereres mellom trinnene datakodning, estimering, implementering og validering som illustrert i Figur 1.1.

For å nevne et konkret eksempel på hvordan vi har forbedret modellen underveis, så viste det seg at de første estimeringsmodellene (til tross for rimelige parameterverdier for de inkluderte forklaringsvariabler) ved implementering predikerte for høy fart i Oslo sentrum. Dette fant vi ut etter at vi laget et kart som viste forskjellen i predikert og målt fart. Dette førte til at vi etablerte nye forklaringsvariabler som kunne fange opp en del av variasjonen i fartsmålingene som vi tidligere ikke hadde fått med.



Figur 1.1 Typiske iterasjoner mellom deloppgavene.

## 2 Litteraturgjennomgang

I dette kapitlet ser vi på fysiske sammenhenger som er elementære i fartsmodeller og sammenfatter typer variabler og matematiske sammenhenger som brukes i andre fartsmodeller rundt i verden. De funnene vi presenterer er basert på en systematisk gjennomgang av tilgjengelig litteratur og danner grunnlaget for en avklaring av hvilke forklaringsvariabler som bør inngå i modellen. Alle funnene i litteraturstudien er å finne i et eget arbeidsdokument (TØI arbeidsdokument 51024). I dette kapitlet oppsummerer vi hovedfunnene.

Planleggere av sykkelveier bruker ofte en antagelse om syklisters fartsvalg som input for å designe siktlinjer, bredder osv. Noen håndbøker angir at syklisttyper og deres sykkelfart også har betydning for hvilken sykkelveiløsning som bør velges (Høye, Sørensen, & De Jong, 2015).

I en gjennomgang av slike inngangsverdier for fart (Parkin & Rotheram, 2010) viser forfatterne til flere slike typologier. I en britisk håndbok fra 1996 skilles det f.eks. mellom

- Sårbare barn, uerfarne voksne, eldre, funksjonshemmede (16 km/t)
- Pendlersyklister, rimelig trafikkvante (24 km/t)
- Sporty voksne (32 km/t)

I en nederlandsk håndbok fra 2006 (CROW, 2006) angis det at en syklist er på sitt mest komfortable når man sykler på en flat rolig vei i en fart på mellom 16 og 20 km/t. Her anbefaler man en designfart på 20 km/t, med 30 km/t for gjennomfartsveier for syklistere, og opp mot 35 km/t i nedoverbakke. Også denne håndboken angir at syklistenes fartsvalg varierer med alder, kjønn og fysisk form, uten at dette er angitt i spesifikke fartsnivåer.

Et viktig moment er at håndbøkene i utgangspunktet arbeider ut fra en «motsatt kausalitet» enn det som tenkes når man skal modellere farten. Håndbøkene angir hvordan siktlinjer skal se ut, hvor brede feltene skal være osv., for at en gitt fart hos syklistene ikke medfører ulykker. En fartsmodell vil derimot vise hva farten er når sykkelfeltet har en viss bredde, og sikten er så og så god.

Studiene som har sett på fartsvalg har brukt litt ulik metodikk, og har hatt forskjellige tilnærminger til rekruttering. Noen har brukt GPS-målere på et lite utvalg syklistere over en lengre periode, noen har stått med stoppeklokke på noen utvalgte strekninger og målt mange passerende syklistere og noen har brukt Bluetooth teknologi til å måle forbipasserende syklistere over en strekning. Valget av metode, og særlig hvem som er rekruttert, vil kunne ha innvirkning på resultatene.

### 2.1 Hvor fort sykler en syklist?

I en studie som hadde som formål å undersøke om anbefalinger om designfart stemte med virkeligheten (Parkin & Rotheram, 2010), utstyrte man 16 syklistere i Leeds med GPS-målere og pulsmålere. Denne studien fant at 85-persentilen til farten på flatmark lå på 22 km/t, og at gjennomsnittsfarten etter at akselerasjonsfasen var avsluttet («cruising speed») lå på 21,5 km/t.

En annen studie så på effekten av andre myke trafikanter på syklisters fartsvalg (Bernardi & Rupi, 2015). Gjennomsnittshastighetene som ble registrert lå mellom 14,6 km/t (separat sykkelvei) og 22 km/t (blandet trafikk).

En tredje studie (Schleinitz et al., 2017) sammenligner farten for elsykler og vanlige sykler. Data for studien var ferdselsregistratorer på sykler (N=85) i Chemnitz, Tyskland. De vanlige syklene hadde i denne studien en gjennomsnittsfart på 15,3 km/t. I en studie (Dozza, Bianchi Piccinini, & Werneke, 2016) som tilsvarende den tyske, men hvor det er færre syklistene (N=16) fant man at farten med vanlig sykkel lå på 14 km/t.

I en studie fra USA ble det foretatt GPS-måling av åtte syklistene, fire menn og fire kvinner, og målingen pågikk i tre uker (El-Geneidy, Krizek, & Iacono, 2007). Fartsanalysene ble foretatt langs syklistenes sykkelrute som ble delt opp i flere segmenter etter type infrastruktur. Gjennomsnittsfarten i denne studien lå på 16 km/t.

Det er altså en stor variasjon i de målte gjennomsnittshastighetene i de ovennevnte studiene (fra 14 til 22 km/t). Hvorvidt dette skyldes reelle fartsforskjeller mellom ulike byer, eller om det er ulikheter i metodikk som skaper disse forskjellene er vanskelig å vite.

## 2.2 Hva påvirker farten?

Det er en rekke forhold som kan påvirke farten, og de fleste av de nevnte studiene har hatt som formål nettopp å identifisere disse forholdene, heller enn å finne «den sanne farten». Grovt sett kan vi skille mellom kjennetegn ved syklisten, ved sykkelens, og ved omgivelsene (herunder infrastrukturen).

Når det gjelder kjennetegn ved syklisten har flere studier vist at kvinner i gjennomsnitt sykler saktere enn menn (El-Geneidy et al., 2007; Lin et al., 2008; Parkin & Rotheram, 2010). Alder har også vist seg å ha en effekt: Jo eldre man er, jo saktere sykler man (Schleinitz et al., 2017), men den refererte studien fra USA (El-Geneidy et al., 2007) fant ingen alderseffekt.

Den viktigste omgivelsesfaktoren er stigning. Studien fra England (Parkin & Rotheram, 2010) viste at farten reduseres mer med økende stigning enn den øker ved tilsvarende fall: ved et fall på 3 % økte farten fra 22 til 25 km/t, og ved 3 % stigning lå den på 17,3 km/t. Den tyske studien viste som forventet at farten i oppoverbakke falt fra 15,3 til 12,9 km/t (2,4 km/t) for vanlige sykler, mens den falt fra 17,4 til 16,4 for elsykler (1 km/t). Interessant nok, viste studien at farten i nedoverbakke økte omtrent like mye for elsykler som vanlige sykler (3,5 km/t).

En kan kanskje forvente at farten til syklistene er høyere når de sykler i separat infrastruktur, enn når de må kjempe om plassen med andre trafikanter. Studien fra Italia (Bernardi & Rupi, 2015) viste imidlertid at farten var størst i blandet trafikk. Det er viktig å merke seg at farten i denne studien i stor grad ble begrenset av tilstedeværelsen av andre trafikanter. Det var for eksempel mange fotgjengere som også benyttet seg av den separate infrastrukturen, og resultatene viste også at den negative effekten av andre trafikanter var størst på sykkelveier. Den tyske studien (Schleinitz et al., 2017) fant ingen forskjell mellom sykling i blandet trafikk og på separat infrastruktur, mens studien fra USA viste at farten var høyest på separat infrastruktur (El-Geneidy et al., 2007).

Nedenfor oppsummerer vi punktvis de faktorene som har vist seg å påvirke farten:

- Menn sykler fortere
- Eldre sykler saktere
- Elsykkel går fortere enn vanlig sykkel

- Antall andre syklistar reduserer farten
- Antall fotgjengere reduserer farten
- Stigning (størst effekt av oppoverbakke)
- Uklare resultater når det gjelder infrastruktur (separat sykkelvei vs. sykkelfelt vs. sykling i blandet trafikk)

## 3 Datagrunnlaget

### 3.1 Rekruttering og design

Dataene som ble brukt for modellering ble samlet inn i tilknytning til et annet prosjekt, som hadde som formål å evaluere effekten av støtteordning for elsykler i Oslo (Fyhri m fl 2016). Totalt ble det gjennomført tre runder med datainnsamling ved bruk av spørreskjema: Førundersøkelse (T0); mellomundersøkelse (T1) og etterundersøkelse (T2). T0 varte fra 5. januar til 5. mai, T1 varte fra april til mai, og T2 varte fra 26. mai til 3. juni (2016).

Det første spørreskjemaet ved T0, inneholdt spørsmål om:

- Sykkelbruk til transport og trening
- Omfanget av daglig fysisk aktivitet
- Intensjoner for økt sykkelbruk, økt fysisk aktivitet og redusert bilbruk
- Oppfattet atferdskontroll for sykling (self-efficacy)
- Bakgrunnsvariabler
- Interesse for å teste en mobilapplikasjon

Spørreskjemaet inneholdt også en reisedagbok, der det skulle gjøres rede for alle reiser (kilometer, formål og transportmiddel) som var gjort i løpet av gårsdagen. Det andre spørreskjemaet (T1) var en forkortet versjon av spørreskjemaet fra T0, der hovedfokus var på sykkelbruk sist uke, samt reisedagboken. I det siste spørreskjemaet (T2) fikk respondentene reisedagboken på nytt, samt de samme spørsmålene om intensjoner, etc. som de hadde fått ved T0. I tillegg var det noen spesifikke spørsmål til dem som hadde kjøpt elsykkel (dato for kjøp, utnyttelse av ekstra kraft og forventninger til bruk).

Som kontrollgruppe ble i underkant av 10 000 syklistere fra Oslo trukket fra Falck sykkelregister. Disse fikk invitasjon til å delta i en undersøkelse om daglige reiser og sykkelbruk (tilsvarende spørreskjemaet til elsyklistene). Til kontrollgruppa var det også spørsmål om ønske om å kjøpe en elsykkel. Disse mottok også spørreskjemaer ved T1 og T2. Hensikten med kontrollgruppa var ikke å være representativ, men å vise hvordan de ville syklet uten tiltaket. Til sammen var det 3114 deltagere som svarte på undersøkelsen.

Parallelt med datainnsamlingen ved spørreskjema ble også reiseappen Sense.DAT brukt (deltagerne kunne velge mellom å svare på undersøkelsen ved T1 eller å laste ned og bruke appen). Rekrutteringen til appen ble gjort på slutten av spørreskjemaet ved T0. Totalt var det 376 i forsøksgruppa og 1 000 i kontrollgruppa som sa ja til å være med å teste Sense.DAT. Ikke alle tok appen i bruk, slik at det endelige utvalget av app-brukere ble 721.

Informasjon om programmet og innlogging ble sendt via e-post.

### 3.2 Datainnsamling med app

Selve datainnsamlingen ved reiseappen foregikk ved at hver bruker ble kontaktet via epost. I eposten fikk man en instruks til nedlastning, samt et innloggingspassord. Brukerne lastet selv ned appen fra App Store eller Google Play. Etter nedlastning og registrering av

brukernavn, kjørte appen av seg selv i bakgrunnen. Brukerne kunne velge om de ville følge med på hva som ble registrert, og eventuelt korrigere dette, eller om de ville la den kjøre passivt i bakgrunnen. I instruksene som de fikk stod det:

«Vi vil gjerne at du, i starten, sjekker dine registrerte reiser dagen etter. Appen bruker litt tid på å vurdere reisene dine. Om du ser noe som ikke stemmer, vennligst korriger dette, ved å klikke på redigeringsknappen (en blyant). Husk å klikke på «submit»! Appen lærer av dine korreksjoner, og blir bedre til å gjette hvor og hvordan du reiser.»

Dataene fra den enkelte bruker ble daglig lastet opp til en server.

### 3.2.1 Posisjonsmålinger og vask av rådata

Appen bruker telefonens posisjonstjeneste for å stedfeste mobilen. Posisjonen kan være bestemt etter mobilnett, wifi-nettverk og GPS-data, eller en kombinasjon av disse. Opptak av rådata skjer mens brukeren beveger seg med mobilen. Dataene blir sendt til en server, der de blir videre prosessert. Siden appen er en kommersiell programvare, er ikke alle algoritmene åpne. Blant annet skjer identifiseringen av reisemiddel på serveren (se avsnitt 3.2.2).

De målte posisjonene blir projisert til et OpenStreetMap-nettverk. Hastigheten beregnes deretter, momentanhastigheten blir jevnet ut. Etter projiseringen blir en del datapunkter forkastet, for å redusere datamengden. Leverandøren hevder at nøyaktigheten på hastighetsmålinger for målinger over mer enn 10 sekunder er  $\pm 0,5$  m/s.

### 3.2.2 Identifisering av reisemiddel

For å velge ut hvilke turer som skal brukes i modellen, har vi støttet oss på den automatiske kategoriseringen av reisemiddel som blir foretatt av appen. Denne belager seg på en algoritme som ser på kjennetegn ved den enkelte turen, for eksempel hastighet og rutevalg. I tillegg kan den benytte seg av flere andre sensorer i mobiltelefonen, som for eksempel akselerasjonsmålere. For å kunne identifisere kollektivtransport, er analysen koblet opp mot sanntidsdata fra Oslos kollektivtransport gjennom Ruters API (mer info her: <https://ruter.no/labs/>). Algoritmen har ifølge leverandøren en nøyaktighet på 90 %.

Algoritmen identifiserer altså sykkelturet, men kan ikke skille mellom sykkel og elsykkel. Fra spørreskjemaene knyttet til studien (se avsnitt 3.1) har vi tilgang til kjøpsdato for elsykkelen, og vi antar at alle sykkelturet etter kjøpsdato skjer med elsykkel. Fra surveyen har vi også informasjon om når elsykkelen er tatt i bruk.

### 3.2.3 Identifisering av reiseformål

I tillegg til reisemiddel identifiserer appen reiseformål ved hjelp av en algoritme som dels ser på hvilke tider brukeren oppholder seg på et gitt sted (det vil si at der man er om natten blir kodet som «hjem» og der man er mest på dagtid blir kodet som arbeid/skole), og dels ved hjelp av kjente kjennetegn ved stedet (butikkssenter, kollektivknutepunkt osv.). Denne algoritmen er ikke så nøyaktig som den for reisemiddel, så man er nødt til å tolke resultatene som skiller på ulike reiseformål med en klype salt (se også diskusjon i avsnitt 8.1)

### 3.2.4 Kobling av app-data med survey data

For å kunne si noe om hva slags egenskaper som er knyttet til de ulike turene, ble dataene fra surveyen koblet til hver enkelt tur, med de mest relevante kjennetegnene for den aktuelle brukeren, slik som alder, kjønn, o.l. For å identifisere om en sykkelreise var med elsykkel eller vanlig sykkel, brukte vi, som forklart i avsnitt 3.2.2, informasjonen om hvorvidt de eide en elsykkel eller ikke. For de som kjøpte seg en elsykkel i løpet av innsamlingsperioden, brukte vi informasjon om kjøpsdato. Alle som eier en elsykkel ble antatt å bruke denne i innsamlingsperioden.

### 3.3 NVDB-nettverket

Nasjonal vegdatabank (NVDB) er en database som inneholder informasjon om veinettet og forskjellig informasjon som er knyttet til veien. NVDB har hovedsakelig informasjon om det statlige og fylkeskommunale veinettet, men også kommunale og private veier ligger inne. I tillegg ligger det noe informasjon knyttet til skogsbilveier og gang- og sykkelveier.

Nettverket som er brukt i dette prosjektet ble hentet ut fra NVDB i juni 2016 og dekker Oslo kommune. Nettverket er illustrert i Figur 3.1.



Figur 3.1 Illustrasjon av NVDB-nettverk.



Nettverket består av rundt 50 000 lenker, hvor hver lenke innehar en rekke egenskaper. Se Tabell 3.1.

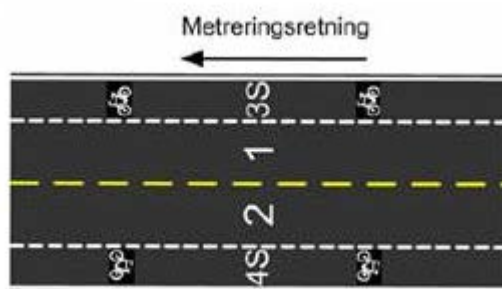
Tabell 3.1 Liste over eksisterende lenkeegenskaper i NVDB-nettverket

| Attributtnavn     | Beskrivelse  | Brukes i prosjektet | Brukes ikke i prosjektet |
|-------------------|--|---------------------|--------------------------|
| <b>OBJECTID</b>   | Identifikasjon av lenke/lenkenummer  | X                   |                          |
| <b>SHAPE</b>      | Geometrisk klassifisering av objekt  | X                   |                          |
| <b>Linje</b>      |  |                     | X                        |
| <b>Anode</b>      | Sekvensiell fra-node   | X                   |                          |
| <b>Bnode</b>      | Sekvensiell til-node   | X                   |                          |
| <b>Distance</b>   | Lengde på lenke  | X                   |                          |
| <b>Knr</b>        | Kommunennummer   |                     | X                        |
| <b>Vk</b>         | Veikategori  | X                   |                          |
| <b>Vs</b>         | Veistatus  | X                   |                          |
| <b>Vn</b>         | Veinummer  | X                   |                          |
| <b>Hp</b>         | Hovedparsell fra   |                     | X                        |
| <b>TilHp</b>      | Hovedparsell til   |                     | X                        |
| <b>FromMeter</b>  | Meter  |                     | X                        |
| <b>ToMeter</b>    | Meter  |                     | X                        |
| <b>Hp_id</b>      | Vk+VS+VN+HP  |                     | X                        |
| <b>ABSPEED</b>    | Skiltet hastighet i retning A til B  |                     | X                        |
| <b>BASPEED</b>    | Skiltet hastighet i retning B til A  | X                   |                          |
| <b>Lanes</b>      | Kjørefelt.<br>1/2 = enfeltsvei<br>1#2 = tofeltsvei (1 angir kilometreringsretning)<br>1#2#3#4 = firefeltsvei. (1 og 3 angir innerste og ytterste felt i kilometreringsretning, 2 og 4 er felt i motsatt retning) <sup>1</sup><br>K angir kollektivfelt, S angir sykkelfelt | X                   |                          |
| <b>ABDirInd</b>   | Dummy for toveis-lenke   | X                   |                          |
| <b>EditStatus</b> | Endringsforklaring   |                     | X                        |
| <b>Edits</b>      | Endringsdummy  |                     | X                        |
| <b>GeomStatus</b> | (ikke kodet inn)   |                     | X                        |
| <b>Tid</b>        | (ikke kodet inn)   |                     | X                        |
| <b>Synlig</b>     | Dummy for om lenken skal være synlig ved eksport   |                     | X                        |
| <b>T</b>          | (ikke kodet inn)   |                     | X                        |
| <b>ABLinkType</b> | Lenketype for retning A til B  |                     | X                        |
| <b>ABJurCode</b>  | Områdekode (fylkesnummer + 10)   |                     | X                        |
| <b>ABLinkCap</b>  | (ikke kodet inn)   |                     | X                        |
| <b>ABCapInd</b>   | Kapasitetsindikator  |                     | X                        |
| <b>BALinkType</b> | Lenketype for retning B til A  |                     | X                        |
| <b>BAJurCode</b>  | Områdekode (fylkesnummer + 10)   |                     | X                        |

<sup>1</sup> Se Figur 3.2.

| Attributtnavn       | Beskrivelse                                    | Brukes i prosjektet | Brukes ikke i prosjektet |
|---------------------|--|---------------------|--------------------------|
| <b>BALinkCap</b>    | (ikke kodet inn)                               |                     | X                        |
| <b>BACapInd</b>     | Kapasitetsindikator                            |                     | X                        |
| <b>ADT</b>          | Trafikkmengde                                  |                     | X                        |
| <b>Tellepunkt</b>   | Tellepunktnummer                               |                     | X                        |
| <b>Description</b>  | Kort dokumentasjon                             |                     | X                        |
| <b>Behold</b>       | (ikke kodet inn)                               |                     | X                        |
| <b>Dekkebredde</b>  | Bredde på veidekke                             |                     | X                        |
| <b>Massetype</b>    | Kode for dekke                                 |                     | X                        |
| <b>ABYield</b>      | Vikepliktinformasjon, ikke kodet inn           |                     | X                        |
| <b>BAYield</b>      | Vikepliktinformasjon, ikke kodet inn           |                     | X                        |
| <b>Restriksjon</b>  | Dummy for tunnel, ikke tilgjengelig for sykkel | X                   |                          |
| <b>Trafikkdeler</b> | Fysisk skille mellom trafikkstrømmer           |                     | X                        |
| <b>Motorvegtype</b> | Strekninger som har vedtatt status motorvei    |                     | X                        |
| <b>SHAPE_Length</b> |  | X                   |                          |

Figur 3.2 viser eksempel på kilometeringsretning.



Figur 3.2 Illustrasjon av kilometeringsretning.

NVDB-nettverket inneholder de samme attributtene som brukes i den regionale transportmodellen, RTM. Det er derfor naturlig at de fleste elementene i fartsmodellen baseres på disse attributtene. Sammenlignet med OpenStreetMap (OSM) er detaljnivået bedre med tanke på antall attributter, mens OSM stedvis har bedre detaljeringsnivå i forhold til oppsplitting av lenker. I Figur 3.3 og Figur 3.4 er det vist noen eksempler på hvordan nettverkene skiller seg fra hverandre.



Figur 3.3 Eksempel på NVDB-nettverket ved John-Collets plass. Vi observerer at selve rundkjøringen, samt trikkesløyfen mangler. Den markerte lenken (i lyseblått) har to kjørefelt og 2 markerte sykkelfelt (1#2#3S#4S).

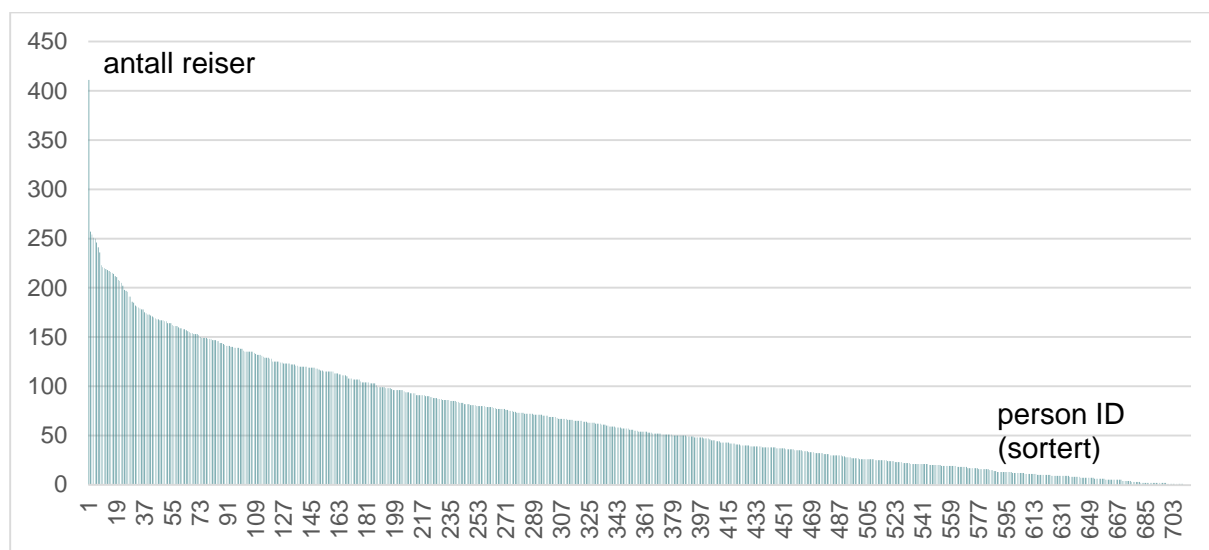


Figur 3.4 Eksempel på OSM-nettverket ved John-Collets plass. Til venstre er trikkestraseen markert som en egen lenke, i midten er et kjørefelt markert som egen lenke (med informasjon om sykkelfelt) og til høyre er gangfeltet en egen lenke. I alle tre eksemplene er den omtalte lenken markert i rødt.

### 3.4 Gjennomsnittsfart på turnivå

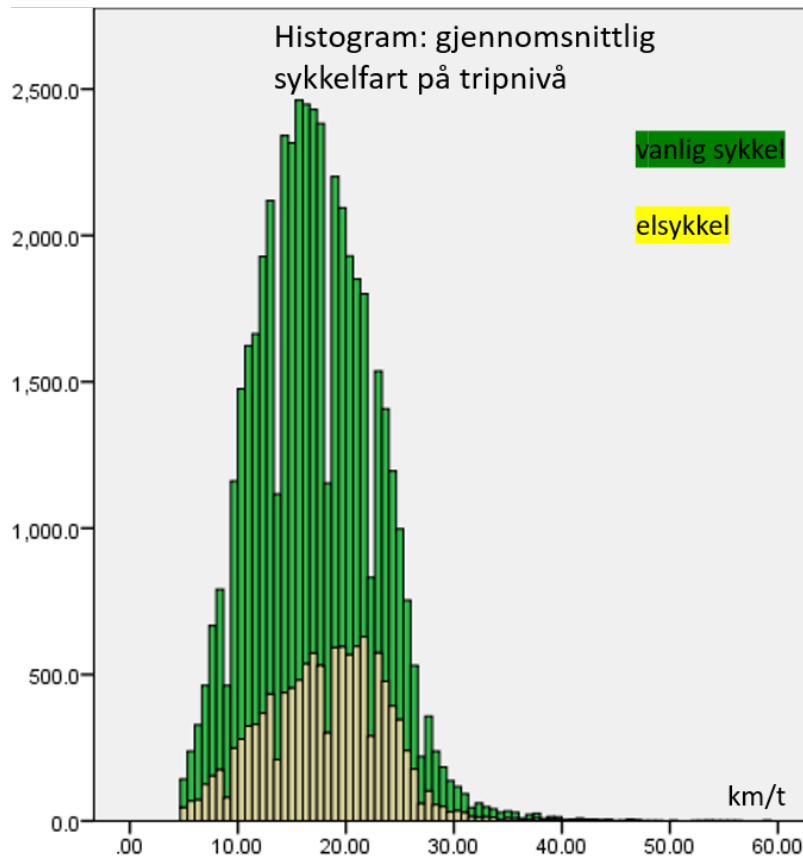
For hver tur beregner vi en gjennomsnittlig fart basert på hvor mange sekunder sykkelreisen tok fra start til slutt og hvor mange meter som ble syklet. Vi referer til dette som fart på turnivå, i motsetning til fartsmålinger på lenkenivå som brukes i estimeringen av koeffisienter i fartsmodellen. Gjennomsnittshastigheten på turnivå brukes for å kalibrere den predikerte hastigheten fra fartsmodellen (se avsnitt 6.1).

Som nevnt i avsnitt 3.1 var det 721 personer som lastet ned appen. I de følgende analysene har vi kun tatt med sykkeltureturer der minst en GPS-observasjon kunne projiseres til NVDB-nettverket i Oslo. Hvordan vi har projisert GPS-observasjoner er omtalt i avsnitt 4.3. Etter projisering sitter vi igjen med 49358 ulike sykkeltureturer utført av 709 personer i tidsrommet 1.april 2016 – 30.juni 2016. Figur 3.5 viser hvor mange sykkeltureturer ulike personer har utført i perioden. Personen med flest turer har utført 411 turer, mens den med nest flest turer har utført 257. 11 personer har bare utført 1 (registrert) sykkelreise.



Figur 3.5 Sykkelreiser per individ. Sortert fra flest til færrest.

I de følgende analysene har vi valgt å ekskludere sykkelreiser med en gjennomsnittlig fart under 5 km/t, samt turer hvor gjennomsnittlig fart var over 60 km/t. Turene er ekskludert da disse reisene høyst sannsynlig inneholder datafeil. Feilen kan være knyttet til distanse og/eller tidsmåling, eller de kan ha vært utført med et annet transportmiddel enn det appen har «antatt». 27 av 49358 (0,05%) har blitt ekskludert på grunn av for høy fart, mens 698 turer ble ekskludert på grunn av lav fart (1,41 %). Figur 3.6 viser fordeling av målt gjennomsnittlig fart på turnivå etter ekskludering, mens Tabell 3.2 viser hvordan gjennomsnittshastigheten fordeler seg på ulike brukergrupper.



Figur 3.6 Fordeling av turer etter gjennomsnittshastighet på turnivå for henholdsvis elsykkel og vanlig sykkel

Tabell 3.2 Gjennomsnittsfart fordelt på ulike brukergrupper

| Fart på turnivå      |                      |  | Antall reiser | Gj.sn. fart | SE  | 5% Persentil | 95% persentil | Median |
|----------------------|----------------------|--|---------------|-------------|-----|--------------|---------------|--------|
| <b>Vanlig sykkel</b> |                      |  |               |             |     |              |               |        |
| kvinne               | ikke arbeid          |  | 10961         | 15.16       | .05 | 8.28         | 23.40         | 14.76  |
|                      | arbeid               |  | 2861          | 17.63       | .08 | 10.44        | 25.20         | 17.28  |
|                      | uansett reisehensikt |  | 13822         | 15.68       | .04 | 8.28         | 24.12         | 15.48  |
| mann                 | ikke arbeid          |  | 17261         | 16.55       | .04 | 8.28         | 25.56         | 16.20  |
|                      | arbeid               |  | 5364          | 20.82       | .07 | 11.88        | 28.08         | 21.24  |
|                      | uansett reisehensikt |  | 22625         | 17.56       | .04 | 8.64         | 26.64         | 17.28  |
| begge kjønn          | ikke arbeid          |  | 28222         | 16.01       | .03 | 8.28         | 24.84         | 15.48  |
|                      | arbeid               |  | 8225          | 19.71       | .06 | 11.16        | 27.36         | 19.80  |
|                      | uansett reisehensikt |  | 36447         | 16.85       | .03 | 8.64         | 25.92         | 16.56  |
| <b>Elsykkel</b>      |                      |  |               |             |     |              |               |        |
| kvinne               | ikke arbeid          |  | 4201          | 16.60       | .08 | 8.28         | 24.12         | 16.92  |
|                      | arbeid               |  | 1258          | 20.38       | .13 | 12.24        | 26.64         | 20.88  |
|                      | uansett reisehensikt |  | 5459          | 17.47       | .07 | 8.64         | 25.20         | 18.00  |
| mann                 | ikke arbeid          |  | 5422          | 17.82       | .08 | 8.64         | 25.92         | 18.00  |
|                      | arbeid               |  | 1305          | 21.80       | .15 | 11.52        | 29.16         | 22.68  |
|                      | uansett reisehensikt |  | 6727          | 18.59       | .07 | 9.00         | 27.00         | 19.08  |
| begge kjønn          | ikke arbeid          |  | 9623          | 17.29       | .06 | 8.28         | 25.20         | 17.28  |
|                      | arbeid               |  | 2563          | 21.11       | .10 | 11.88        | 27.72         | 21.96  |
|                      | uansett reisehensikt |  | 12186         | 18.09       | .05 | 8.64         | 26.28         | 18.36  |

Gjennomsnittsfart for alle reiser med vanlig sykkel er 16,85 km/t og 18,09 km/t for elsykkel. Menn sykler raskere enn kvinner med en fart av 17,56 km/t (vanlig sykkel) og 18,59 km/t (elsykkel), mens kvinner har henholdsvis 15,69 og 17,47 km/t. Reiser som er registrert som arbeidsreiser sykles med høyere fart. Den raskeste brukergruppen er menn på reiser til/fra jobb med elsykkel. Her er gjennomsnittsfarten beregnet til 21,8 km/t.

## 4 Databearbeidelse og fartsmåling på lenkenivå

I kapittel 3 beskrev vi datagrunnlaget i form av GPS-observasjoner og NVDB-nettverket. I dette kapittelet beskriver hvordan vi har kodet ny lenkeinformasjon, samt hvordan vi har koblet sammen de to datakildene presentert i forrige kapittel.

### 4.1 Identifikasjon av ny lenkeinformasjon

I tillegg til egenskapene som allerede finnes i nettverket har vi valgt å kode inn/legge inn flere egenskaper. Noen av egenskapene finnes allerede som et attributt på nodenivå i NVDB-nettverket, noen av de nye egenskapene kombinerer informasjon vi allerede har tilgjengelig, mens andre er kodet inn basert på geografisk plassering eller andre egenskaper. I de neste avsnittene kommer en kort beskrivelse av hvordan de nye attributtene er identifisert, mens avsnitt 4.1.8 oppsummerer alle nye egenskaper. I vedlegg A presenteres i tillegg noen egenskaper vi kodet inn, men som vi valgte å ikke ta med i den endelige modellen.

#### 4.1.1 Koordinater til start- og sluttnode

I NVDB-nettverket er geografisk plassering (x-, y- og z-koordinater) knyttet til nodene. Denne informasjonen har blitt koblet til start- og sluttnoden for hver lenke. Basert på disse koordinatene har vi også beregnet korteste distanse mellom start- og sluttnoden ved hjelp av Pythagoras formel.

#### 4.1.2 Tilgjengelig sykkelinfrastruktur

I avsnitt 3.3 presenterte vi ulike egenskaper ved NVDB-nettverket. Med utgangspunkt i variablene «lanes» og «Vs» (veistatus) har vi laget et eget attributt som forteller hvilken infrastruktur en syklist har tilgjengelig til enhver tid. Merk at vi har ikke hatt anledning til å se på hvilken infrastruktur som faktisk har blitt brukt, så denne variabelen representerer hvilken infrastruktur man har tilgjengelig.

Tabell 4.1 Koding av variabel for tilgjengelig infrastruktur.

| Type vei                            | Koding  |
|-------------------------------------|---|
| <b>Merket sykkelfelt i veibanen</b> | Variabel «lanes» inneholder (minst) et felt markert med «S» |
| <b>Gang/sykkelvei</b>               | Variabel Vs lik «G», og Lanes ≠ «1S#2S»                     |
| <b>Separat sykkelvei</b>            | Variabel Vs lik «G» og lanes = «1S#2S»                      |
| <b>Annet («veibanen»)</b>           | Øvrige veier/lenker   |

### 4.1.3 Inbound-lenker

Sykkelfarten på en lenke kan være avhengig av geometrien på den forrige lenken. For eksempel vil en sykklist som kommer fra en lenke med nedoverbakke sannsynligvis ha en høyere hastighet enn en sykklist som kommer fra en lenke med oppoverbakke. For å se på effekten av stigningen på den forrige lenken må alle inngående lenker identifiseres for hver lenke i nettverket.

I NVDB-nettverket defineres en lenke som en linje mellom to noder (A og B), og de aller fleste lenkene er toveis (man kan kjøre i begge retninger). Retningen på lenken beskrives ved enten «AB» (fra A til B) eller «BA» (fra B til A). Derfor må inngående lenker defineres for begge retninger, det vil si alle inngående lenker i AB-retning og alle inngående lenker i BA-retning.

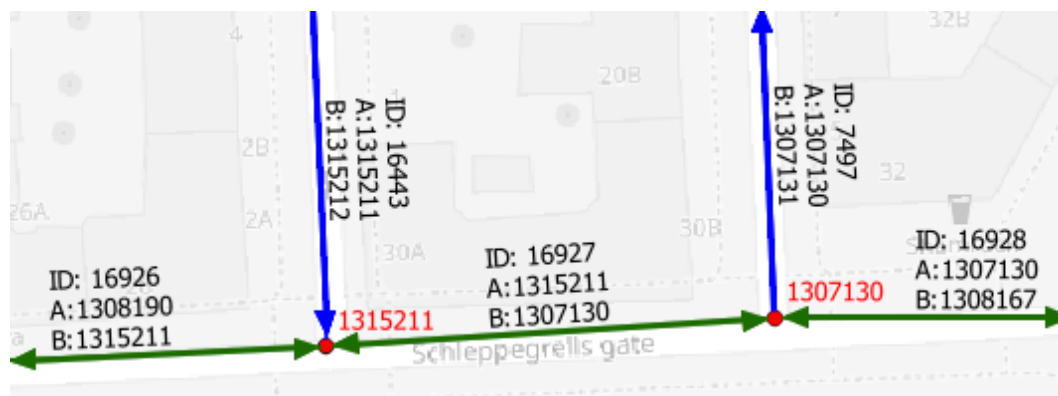
Det ble skrevet en java-kode for å identifisere alle inngående lenker. Koden looper gjennom alle lenkene i nettverket og rapporterer resultatet i form av en tabell. Se Tabell 4.2 for eksempel på resultat.

Tabell 4.2 Eksempel på tabell for inngående lenker (ID og retning) for alle lenker i NVDB-nettverket.

| Lenke ID | ANode   | BNode   | ABin1       | ABin2       | ABin3       | BAin1       | BAin2       | BAin3       |
|----------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 16925    | 1315581 | 1308190 | 16924<br>AB | 19245<br>AB | 19246<br>BA | 8545<br>BA  | 16926<br>BA |             |
| 16926    | 1308190 | 1315211 | 8545<br>BA  | 16925<br>AB |             | 16443<br>BA | 16927<br>BA |             |
| 16927*   | 1315211 | 1307130 | 16443<br>BA | 16926<br>AB |             | 16928<br>BA |             |             |
| 16928    | 1307130 | 1308167 | 16927<br>AB |             |             | 8524<br>BA  | 13675<br>AB |             |
| 16929    | 1306974 | 1315582 | 7350<br>BA  | 11724<br>AB |             | 16930<br>BA | 25117<br>BA | 25436<br>BA |

\* se eksempel under

For eksempel, lenken med ID = 16927 har AB-retning mot høyre (øst) på figuren under og BA-retning mot venstre (vest). Lenken har to inngående lenker i AB-retningen (ID = 16443 og ID = 16926) men kun en inngående lenke i BA-retningen (ID = 16928).



Figur 4.1 Eksempel inngående lenker. Lenke med ID = 16927 har to inngående lenker i AB-retning, men kun en i BA-retning.

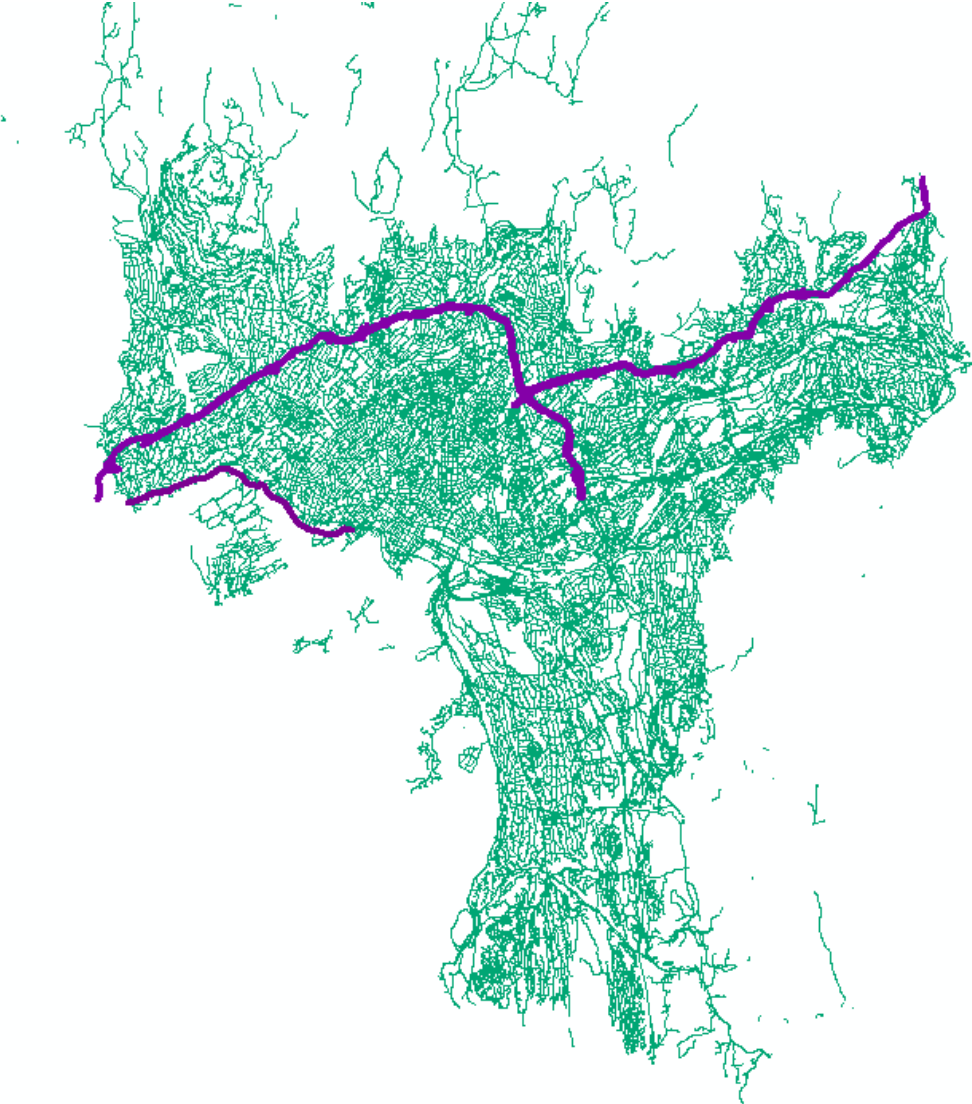
### 4.1.4 Type kryss

Et veikryss er et sted hvor trafikkstrømmer går sammen eller krysser hverandre. I forrige avsnitt beskrev vi hvordan vi har beregnet antall inngående lenker. Denne informasjonen har vi brukt for å kode ulike typer kryss. Vi har valgt å holde oss til T- og X-kryss, hvor T-kryss er et kryss med to inngående lenker, mens X-kryss har minst tre inngående lenker.



#### 4.1.5 Hovedsykkelrute

I tillegg til veitypene beskrevet over i avsnitt 4.1.2, har vi identifisert såkalte hovedsykkelruter. En hovedsykkelrute er strekninger hvor vi vet at det er godt tilrettelagt for syklister, samt at strekningene i hovedsak brukes ved sykling over lengre distanser. For Oslo har vi valgt å definere følgende strekninger som hovedsykkelruter: «Tour de Finance», Ring 3 og Trondheimsveien nord for Sinsenkrysset (se Figur 4.2)



Figur 4.2 Hovedsykkelruter

#### 4.1.6 Sentrumslenker

SSB definerer hvert år sentrumssoner for hele Norge basert på følgende definisjon<sup>2</sup>:

- *En sentrumssone er et område satt sammen av en eller flere sentrumskjerner og en sone på 100 meter rundt.*
- *En sentrumsjerne er et område med mer enn tre ulike bovednæringsgrupper med sentrumsfunksjoner. I tillegg til detaljvarehandel, må offentlig administrasjon eller helse- og*

<sup>2</sup> Kilde: <http://www.ssb.no/natur-og-miljo/geodata>

*sosialtjenester eller annen sosial og personlig service være representert. Avstanden mellom bedriftene skal ikke være mer enn 50 meter. Det må være minst 50 ansatte.*

Datasettet fra SSB kommer som et kartlag, og ved hjelp av GIS har vi selektert ut lenkene som overlapper disse områdene. I dette prosjektet har vi brukt SSBs sentrumsdefinisjon fra 2013, da det var denne vi hadde tilgjengelig ved prosjektstart. Vi har i løpet av prosjektperioden fått tilgang til data for 2016, men da det kun har vært mindre endringer i Oslo disse årene valgte vi å beholde den opprinnelige kodingen av sentrumslenker.

Etter å ha definert en dummy for hvorvidt en lenke er en sentrumslenke, har vi kombinert denne informasjonen med informasjon om skiltet hastighet for å lage en proxy-variabel for trafikk tetthet.

#### 4.1.7 Kurvatur

Kurvatur-variabelen er et mål på hvor mye en kurve svinger. Variabelen sammenligner lengden til lenken (shape\_leng) med den korteste distansen mellom de to punktene (shpath). For at rette linjer ikke skal få noen effekt på hastighet (shape\_leng = shpath) har vi valgt å normalisere denne variabelen ved å trekke fra tallet 1.

#### 4.1.8 Oppsummering nye egenskaper

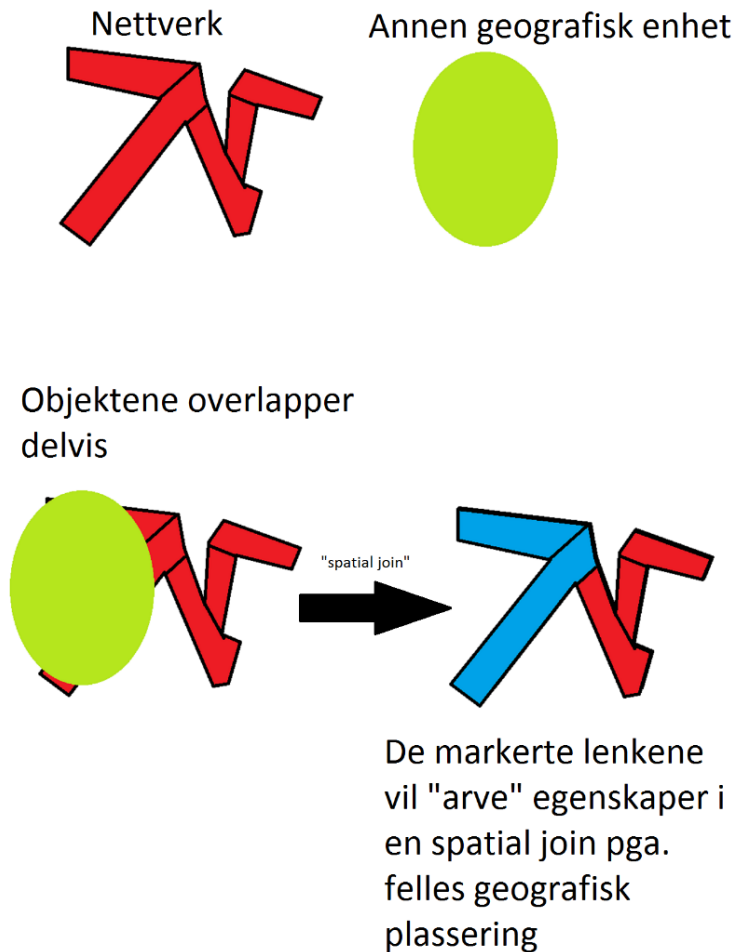
Tabell 4.3 gir en oppsummering av de nye egenskapene vi har kodet på lenkene fra NVDB.

Tabell 4.3 Oppsummering av nye egenskaper.

| Attributtnavn   | Beskrivelse  | Hvordan  |
|---|--|--|
| <b>X_Anode, Y_Anode, Z_Anode</b>                                | x-,y-,z-koordinat til Anode  | “Calculate geometry” i Arcmap  |
| <b>X_Bnode, Y_Bnode, Z_Bnode</b>                                | x-,y-,z-koordinat til Bnode  | “Calculate geometry” i Arcmap  |
| <b>Shpath</b>   | Korteste vei mellom (x,y)-koordinater i Anode og Bnode   | Pythagoras:<br>$\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$  |
| <b>Delta_z</b>  | Netto høydeforskjell mellom start- og sluttnode (mellom Anode og Bnode)  | $Z_B - Z_A$  |
| <b>Sentrumlenke</b>   | Lenker innenfor geografiske områder definert av SSB.   | «Select by location» i Arcmap.<br>Selekterer lenker som overlapper kartlaget fra SSB over sentrumszoner. |
| <b>Sentrum_SL, Sentrum_SH, Ikkesentralt_SL, Ikkesentralt_SH</b> | Sentrum_SL: sentrumslenker med lav skiltet hastighet ( $\leq 30$ km/t)<br>Sentrum_SH: sentrumslenker med skiltet hastighet over 30 km/t<br>Ikkesentralt_SL: lenker utenfor de definerte sentrumsområdene hvor skiltet hastighet er 30 km/t eller lavere. | Kombinerer informasjon om sentrumlenke og skiltet hastighet  |
| <b>Inboundlenker</b>  | ID for alle inboundlenker, samt informasjon om deres stigning  | Egen programmering   |
| <b>Krysstype</b>  | T og X-kryss   | Kodes basert på antall inboundlenker   |
| <b>HSR (Hovedsykkelruter)</b>                                   | Dummy for hovedsykkelruter (Tour de finance, Ring 3, Trondheimsveien nord for Sinsenkrysset)   | Kodes manuelt/ved hjelp av veintr.   |
| <b>Kurvatur</b>   | Mål på hvor mye lenken svinger   | $(\text{Shape\_leng}/\text{Shpath}) - 1$   |

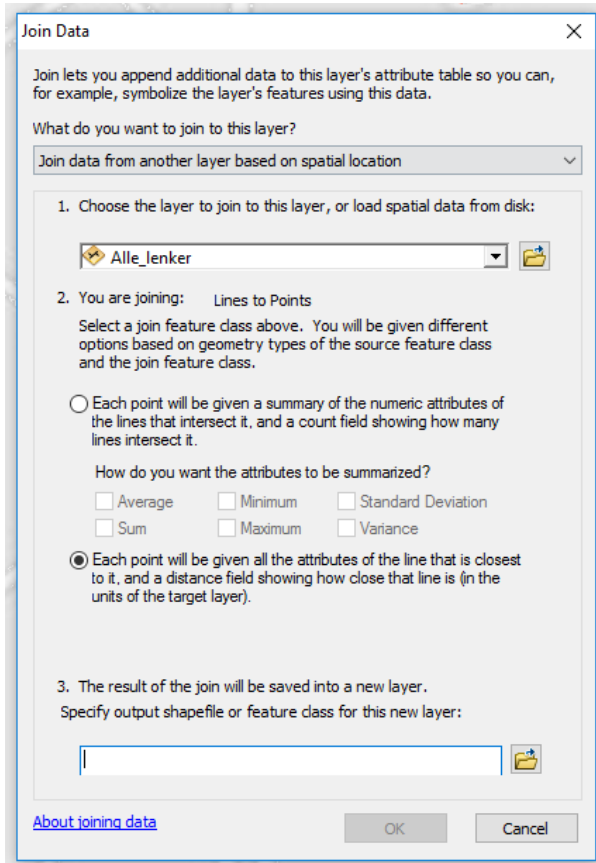
## 4.2 Projisering av GPS-punktene til NVDB-nettverket

For å kunne beregne sykkelfart for hver lenke i NVDB-nettverket, måtte GPS-punktene projiseres til den nærmeste lenken i nettverket. I dette arbeidet har vi benyttet oss av overlagsanalysen «spatial join» i ArcMap. En «spatial join» knytter den romlige plasseringen av et objekt til andre geografiske enheter (se Figur 4.3).



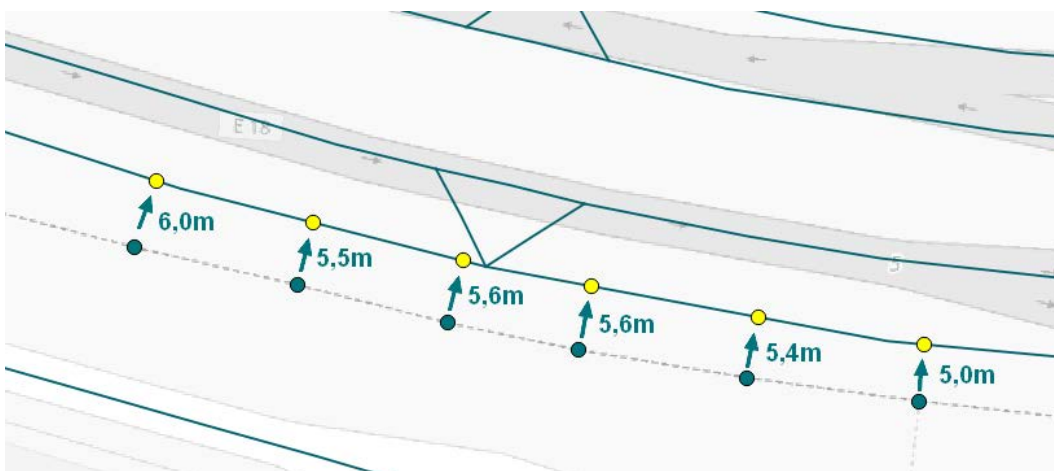
Figur 4.3 Illustrasjon av «spatial join»

Det finnes flere typer «spatial join» i ArcMap. Overlagsanalysen vi har benyttet for å koble GPS-punktene til NVDB-nettverket er en såkalt en-til-en relasjon hvor man tar utgangspunkt i GPS-punktene, og for hvert punkt finner man nærmeste lenke i NVDB-nettverket. Figur 4.4 viser valgmuligheter for kobling av datakilder i ArcMap.



Figur 4.4 Applikasjonsboks i ArcMap.

Når nærmeste lenke er funnet, vil data fra de to ulike kildene sammenfalle, i tillegg til opplysninger om (den korteste) distansen mellom GPS-punkt og lenke (se Figur 4.5).



Figur 4.5 Projisering av GPS-punkter til NVDB-nettverket og den registrerte avstanden mellom GPS-punkt og lenke. GPS-punktene er markert med grønne prikker, nærmeste punkt på lenken er vist med gult.

Avstanden mellom GPS-punkt og lenke i NVDB-nettverket kan si noe om hvor godt projeksjonen treffer. I NVDB-nettverket representerer en lenke senterlinjen av en vei, og bredden på veier i Norge varierer med veitype. Et kjørefelt er typisk rundt 3 – 3,5 meter bredt. Vi har valgt å filtrere bort alle observasjoner som ligger mer enn 8 meter fra senterlinjen, da vi med denne avstanden ikke kan være sikker på at vi har projisert til riktig vei.

### 4.3 Måling av fart på lenkenivå

I avsnitt 3.4. beskrev vi hvordan vi beregnet gjennomsnittlig fart på turnivå, men siden alle egenskapene i nettverket er knyttet til lenkene, og vår modell skal basere seg på disse, må vi beregne fart på lenkenivå. I dette avsnittet beskriver vi hvordan vi har beregnet fart ut fra de projiserte GPS-punktene.

Etter projisering av GPS-punkter til NVDB-nettverket vil antall observerte punkter per lenke variere. For noen lenker har vi ingen observasjoner (ingen av deltagerne har syklet her), mens for de aller fleste lenkene finner vi en eller flere observasjoner. For lenker med observasjoner fra ulike reiser benyttes det et identifikasjonsnummer for reisen (TripID) for å skille reisene fra hverandre. For hver lenke beregnes en fart som vektet harmonisk gjennomsnittsfart av GPS-observasjoner (fra samme reise) ved å bruke formelen:

$$(4.1) \quad f_{lenke} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{f_i}}$$

hvor

$i=1$  er første GPS-punkt på lenke (fra samme reise)

$i=n$  er siste GPS-punkt på lenke (fra samme reise)

$d_i$  : distansen fra et GPS-punkt til det forrige punkt

$d_1 = 0$  (se begrunnelse nedenfor)

$t_i$ : varighet mellom et GPS-punkt og det forrige punkt identifisert med tidsstempelen til GPS-observasjonen

$t_i = d_i/f_i$  der  $f$  står for målt fart til GPS-punkt og det forrige punktet

Det at vi setter  $d_1 = 0$  har en metodisk og en mer teknisk begrunnelse. Teoretisk kunne vi ha beregnet distansen mellom første GPS-observasjon på en lenke og siste observasjon på forrige lenke. Problemet med en slik tilnærming er at gjennomsnittsfarten på lenke X da ville avhenge av farten på lenke X-1. Dette er uheldig, spesielt når lenke X er kort og/eller siste observasjon på lenke X-1 er langt fra noden (krysset). I slike tilfeller ville farten i høyere grad avhenge av egenskaper ved lenke X-1 enn lenke X. Etter projisering til NVDB-nettverket er der dessuten en del lenker uten gyldige GPS-observasjoner. Dette betyr i praksis at man må ta hensyn til lenke X-2 eller X-3 osv., noe som teknisk sett er mer krevende å kode. De samme argumentene gjelder også for hvorfor vi valgte å ikke ta med distansen mellom siste observasjon på lenke X og første observasjon på X+1.

Denne tilnærmingen har minst to ulemper

- 1) For lenker med kun én observasjon kan vi ikke beregne fart med ligning 4.1. Vi har tilgang til «momentanhastigheten» rapportert i app-data, men en identifisering av reiseretning vil kreve en egen algoritme. I tillegg er det usikkert hvor representativ en hastighetsobservasjon er for lenken i NVDB-nettverket, da projisering og vask av rådata opprinnelig skjedde mot OpenStreetMap.

- 2) Sett over alle observasjoner vil GPS-observasjoner i «midten av lenken» være overrepresentert og GPS-observasjoner i starten (og slutten) av lenken være underrepresentert. Siden farten i starten og slutten av lenken typisk er lavere enn på midten på grunn av akselerering og nedbremsing ved kryss, vil farten vi beregner her være høyere enn på turnivå.

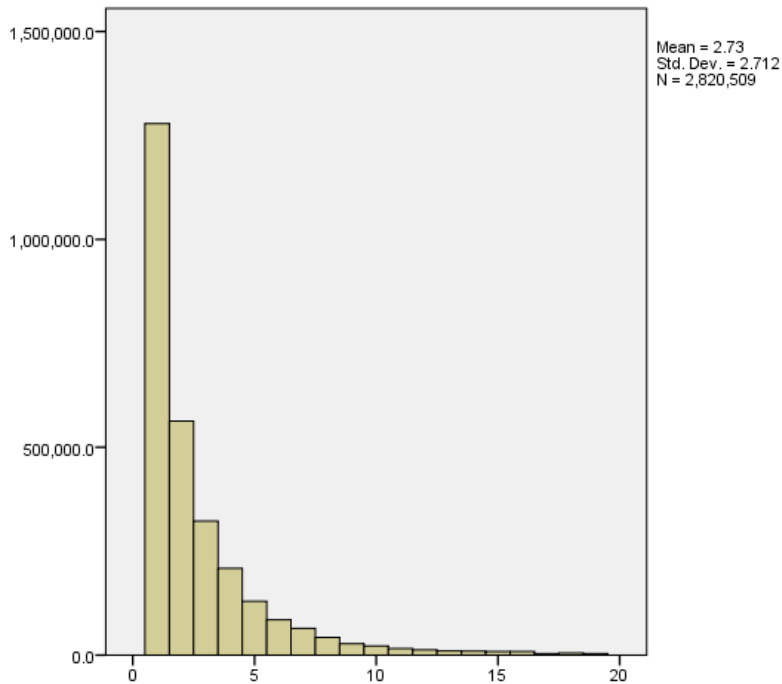
Til tross for ulempene har vi valgt å fastholde vår tilnærming. Den første ulempen fører til at vi må ekskludere en del observasjoner, men vi sitter igjen med mer enn nok observasjoner for estimering. Vi kan også relativt enkelt kontrollere for den andre ulempen ved å nedskalere predikert fart til samme nivå som observert på turnivå (se avsnitt 6.1).

Beregning av lenkefart ble gjort ved hjelp av en java-kode, og resultatene ble skrevet ut som en tabell hvor hver linje representerer en reise-lenke-kombinasjon (reise-ID, lenke-ID) med antall punkter ( $i$ ) som ble brukt til å beregne gjennomsnittshastigheten, retning på reisen i forhold til lenken (AB eller BA), gjennomsnittsfarten (vhg) basert på ligning 4.1 og oppsummert distanse mellom alle punktene ( $\sum_{i=1}^n d_i$ ).

Tabell 4.4 Eksempel på resultat for beregnet vektet harmonisk gjennomsnittsfart (vhg) for et sett av ulike lenker. Merk at lenke 7613 (linje 3) ikke får beregnet hastighet siden vi her kun har en observasjon på lenken.

| Reise ID   | Lenke ID | Antall punkter | Retning | vhg (m/s) | Oppsummert distanse (m) |
|------------|----------|----------------|---------|-----------|-------------------------|
| 1373527057 | 377      | 2              | BA      | 7,8       | 23,5                    |
| 1373527057 | 2089     | 3              | AB      | 4,8       | 67,7                    |
| 1373527057 | 7613     | 1              |         |           |                         |
| 1377297433 | 377      | 6              | AB      | 5,6       | 209,0                   |
| 1377297433 | 556      | 4              | BA      | 4,4       | 87,4                    |
| 1377297433 | 9727     | 10             | AB      | 4,3       | 140,4                   |

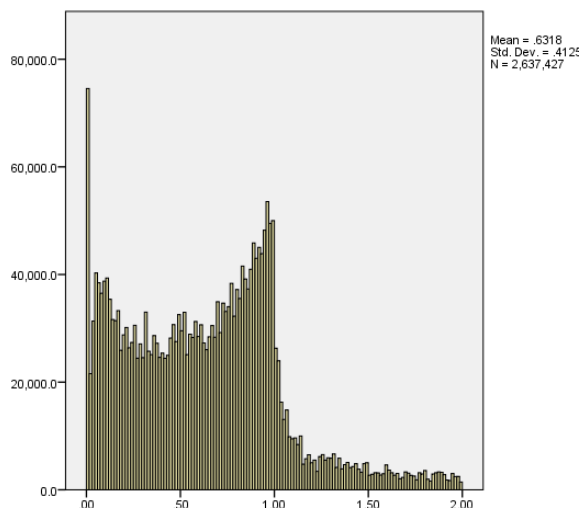
Til sammen har vi beregnet gjennomsnittsfart for 2,8 millioner reise-lenke-kombinasjoner. Figur 4.6 viser fordeling over antall underliggende GPS-punkter («p-count») før ekskludering av observasjoner.



Figur 4.6 Antall fartsmålinger med ulike antall underliggende GPS-observasjoner, for ekskludering.

Som nevnt over beregner vi en distanse mellom første og siste GPS-punkt på hver lenke ( $\sum_{i=1}^n d_i$ ). Ved å sammenligne denne distansen med lenkelengden får vi en indikasjon på hvor stor andel av lenken vi har fartsinformasjon for. Jo større dette tallet er, jo større andel av lenken inngår i fartsberegning.

Siden en stor andel av våre lenker kun har 1 eller 2 observasjoner, har vi valgt å sammenligne med den korteste distansen mellom start- og sluttnoden («shortest path» ShPath). Dette betyr at tallet kan være større enn 1 når lenken har en sterk horisontalkurvatur. Figur 4.7 viser fordelingen av dette forholdstallet. I senere analyser har vi valgt å ekskludere observasjoner der tallet er lavere enn 0,75.



Figur 4.7 Indeksverdi for hvor stor andel av lenken (lengden) som observeres med GPS-observasjoner. Merk at lengden det her refereres til er korteste distanse mellom start- og endepunkt, og ikke selve lengden på lenken.

## 5 Statistiske analyser

Dette kapittelet beskriver estimeringsprosessen i prosjektet. Avsnitt 5.1 tar for seg det endelige utvalget av GPS-observasjoner, avsnitt 5.2 selve modellutformingen, mens avsnitt 5.3 tar for seg ulik vektning av observasjoner. Til slutt presenterer vi estimeringsresultatene i avsnitt 5.4.

### 5.1 Endelig utvalg av GPS-observasjoner

I løpet av kapittel 3 og kapittel 4 har vi nevnt ulike egenskaper som har ført til at enkelte GPS-observasjoner har blitt filtrert bort. Observasjoner kan bli filtrert bort grunnet egenskaper ved lenken og/eller egenskaper ved GPS-observasjonen.

For det første har vi valgt å filtrere bort alle observasjoner som ligger mer enn 8 meter fra senterlinjen av veien, da vi anser dette som en kritisk verdi for at turen faktisk har foregått på den gitte veien. Ved større avstand mellom punkt og lenke har turen trolig har skjedd på en annen vei.

Vi har også filtrert bort observasjoner basert på hastighet. Vi har valgt å filtrere bort observasjoner hvor den gjennomsnittlige hastigheten på turnivå har vært lavere enn 5 km/t eller høyere enn 60 km/t. Bakgrunnen for dette er at disse hastighetene kan tyde på at et annet reisemiddel har vært brukt. Av samme grunn har vi også valgt å filtrere bort observasjoner hvor den beregnede lenkehastigheten er utenfor dette intervallet. I tillegg fører måten vi beregner hastighet på lenkenivå til at vi trenger minst to GPS-observasjoner per lenke.

På tross av filtreringen over sitter vi igjen med et stort datasett. Vi har derfor valgt å ekskludere data med antatt lav kvalitet fra estimeringen. Med lav kvalitet anser vi observasjoner som kun representerer en mindre del av lenken (under 75% av lengden). Vi har også valgt å ekskludere observasjoner på veldig korte lenker (under 10 meter), samt lenker med stor helning<sup>3</sup>.

Oppsummert betyr dette at følgende egenskaper ligger til grunn for datasettet vi estimerer på:

- *Andel observert av lenke  $>0.75$  (viser til grafen i 4.2)*
- *GPS-observasjonene må ligge under 8 meter fra senterlinjen til en vei*
- *Rimelig fart (5-60km/t)*
  - *Både på turnivå og på lenkenivå*
- *Rimelig stigning (-20% - 20%)*
  - *Både stigning på selve lenken og gjennomsnitt av inbound lenker*
- *GPS-observasjoner  $>1$  per lenke*
- *Lenkelengde ikke under 10 meter*

---

<sup>3</sup> Enkelte noder har ikke fått registret z-verdi i nettverket. Dette medfører at enkelte lenker får stor helning.



I det endelige utvalget sitter vi igjen med 283 104 observasjoner for vanlig sykkel og 96 613 observasjoner for elsykkel.

Ekskluderingen av data med antatt lav kvalitet førte til en betydelig forbedring av 'goodness-of-fit' ( $R^2$ ). De rapporterte t-verdiene er fortsatt høye. I tillegg ble de estimerte parameterne mer realistiske (ved sammenligning av fortegn og a-priori forventning). Vi anser derfor ikke ekskluderingen som problematisk fra et statistisk perspektiv.

## 5.2 Utforming av fartsmodeller

Fartsmodellen som er etablert er av type adferdsmodell, og inkluderer både egenskaper ved syklisten og egenskaper ved infrastrukturen (lenkeegenskaper). Vi har valgt å estimere separate modeller for sykkel og elsykkel, men begge baseres på samme type matematiske modell. Forskjellen ligger i at vi estimerer ulike sett av parametere for de to sykkeltypene.

Av karakteristikker som kan knyttes til selve syklisten har vi valgt å inkludere kjønn og reisehensikt, mens vi har valgt å utelate alder. I en artikkel i Samferdsel basert på datagrunnlaget, Flügel m fl (2016), viser vi at vi har observert en ikke-lineær sammenheng mellom alder og gjennomsnittsfart. For å få dette med i modellen, måtte vi ha inkludert minst 3 aldersgrupper, og dette ville økt antall segmenter. Vi har derfor valgt å utelate alder ut fra praktiske hensyn. I de endelige modellene er følgende variabler med:

- Kjønn
- Reisehensikt (arbeidsreise/ikke arbeidsreise)
- Stigning på lenken
  - Netto-stigning i prosent, spesifisert som 18 forskjellige dummy-variabler, hvor «stigning 0-1 %» er normalisert.
- Gjennomsnittlig stigning på inngående lenker (kontinuerlig)
- Horisontal kurvatur (kontinuerlig)
- Tilgjengelig infrastruktur
  - Type vei spesifisert ved 4 dummy-variabler: sykkelvei, tilgjengelig sykkelfelt, gang- og sykkelvei eller annen vei.
- Krysstype kombinert med lengden på lenken (12 dummy-variabler)
  - T- og X-kryss
  - Kort (under 30 meter), middels og lang lenke (over 100 meter)
- Hovedsykkelrute (dummy variabel)
- Proxy for trafikk tetthet (4 dummy-variabler)
  - Hvorvidt lenken er i et sentrumsområde, kombinert med skiltet hastighet (over/under 30 km/t)

Den avhengige variabelen i modellen er empirisk observert fart i km/time ( $F$ ) (beregnet med ligning 4.1) for lenke  $i$ , kjønn  $g$  og reisehensikt  $r$ . Farten beskrives i estimeringsmodellen slik:

$$(5.1) \quad F_{i,g,r} = e^{\beta_0 + \beta_{mann} * D_g + \beta_{arbeid} * D_r + \sum_k (\beta_k * X_{k,i}) + \varepsilon}$$

$\beta_0$  er konstantledd.  $e^{\beta_0}$  tilsvarer fart for en normalisert observasjon hvor alle andre variabler er satt til null. Siden vi har en del dummyvariabler i vår modell tilsvarer ikke dette gjennomsnittsfarten i populasjonen.

Feilledet ( $\epsilon$ ) er iid-normalfordelt<sup>4</sup>. Dermed kan man - etter en log-transformering ( $\ln(F)$ ) - estimere modellen som en vanlig lineær regresjon med minste kvadraters metode. Vi har valgt å estimere modellen i SPSS. Log-transformasjonen gjør at  $\beta$ -parameterne i modellen må tolkes som prosentvis endring i fart gitt marginal endring i forklaringsvariabel. Dette betyr for eksempel at:

- $\beta_{mann}$  tolkes som prosentvis effekt av mann (sammenlignet med kvinne)
- $\beta_{arbeid}$  tolkes som prosentvis effekt av reisehensikt arbeid (sammenlignet med alle andre reisehensikter)
- $\beta_k$  tolkes som prosentvis effekt av lenkeinformasjon k
  - Dummy variable: relativt til normalisert egenskap
  - Kontinuerlige variable: gitt en marginal endring (fra «1» til «2» osv)

### 5.3 Vekting av observasjon ved estimering

Ved estimering har vi valgt å vekte observasjoner med lenkelengde. Hovedgrunnen for dette er at modellen skal implementeres i en transportmodell, og i slike anvendelser er det viktig at modellen treffer hastighet på turnivå. Siden lange lenker bidrar mer (større andel av turen enn korte), er det viktigere å treffe hastigheten på disse. I tillegg er effekten av forklaringsvariabler trolig mer pålitelig for lange lenker. Tester viste at forklaringskraften i modellen øker betydelig etter en vekting. Vekting kan dog være uheldig når effekten av en forklaringsvariabel er ulik for forskjellig lenkelengde. Dette kan for eksempel forventes for effekten av kryss (kryss har trolig større betydning for gjennomsnittsfart ved korte lenker enn ved lange). Vi har derfor valgt å bruke interaksjonseffekter mellom kryss og lenkelengde i modellen.

### 5.4 Estimeringsresultater

I dette delkapittelet presenterer vi hovedresultatene fra estimeringen. Som nevnt har vi estimert to modeller, en for vanlig sykkel (avsnitt 5.4.1) og en for elsykkel (avsnitt 5.4.2). Resultatene blir videre diskutert i kapittel 7.

#### 5.4.1 Estimeringsresultater for vanlig sykkel

Modellen er estimert basert på 283 104 observasjoner (enkeltobservasjoner på lenkenivå). Den estimerte modellen forklarer 24% av den observerte variasjonen ( $R^2 = 0.24$ ). Siden modellen er logtransformert vil verdien av  $\beta$ -parameteren måtte tolkes som prosentvis endring i fart gitt marginal endring i forklaringsvariabel. Vi har derfor valgt å presentere resultatene som estimert prosentvis endring. Tabell 5.1 oppsummerer estimeringsresultatene for fartsmodellen for vanlig sykkel.

---

<sup>4</sup> Iid står for «independently and identically distributed». Se avsnitt 8.1 for en liten diskusjon rundt denne antakelsen.

Tabell 5.1 Estimeringsresultat for vanlig sykkel

|  | Estimert verdi | Konfidensintervall (95%) |             |
|--|----------------|--------------------------|-------------|
|  |                | Nedre grense             | Øvre grense |
| (Konstantledd)   | 3.008          | 3.002                    | 3.013       |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er brattere enn -9%                                 | 4.91 %         | 2.91 %                   | 6.92 %      |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -7 og -9%                                 | 10.81 %        | 9.34 %                   | 12.27 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -6 og -7%                                 | 13.57 %        | 12.38 %                  | 14.76 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -5 og -6%                                 | 17.95 %        | 17.03 %                  | 18.88 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -4 og -5%                                 | 18.02 %        | 17.29 %                  | 18.75 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -3 og -4%                                 | 14.94 %        | 14.23 %                  | 15.65 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -2 og -3%                                 | 11.24 %        | 10.61 %                  | 11.87 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -1 og -2%                                 | 5.89 %         | 5.33 %                   | 6.45 %      |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 0 og -1%                                  | 4.12 %         | 3.64 %                   | 4.60 %      |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 0 og 1%                                   |                |                          | normalisert |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 1 og 2%                                   | -9.73 %        | -10.28 %                 | -9.18 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 2 og 3%                                   | -12.99 %       | -13.62 %                 | -12.36 %    |
| Dummy for stigning. Gj.stittlig stigning er mellom 3 og 4%                                   | -19.51 %       | -20.19 %                 | -18.84 %    |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 4 og 5%                                   | -26.69 %       | -27.38 %                 | -26.00 %    |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 5 og 6%                                   | -30.34 %       | -31.19 %                 | -29.49 %    |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 6 og 7%                                   | -38.54 %       | -39.56 %                 | -37.53 %    |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 7 og 9%                                   | -39.49 %       | -40.78 %                 | -38.20 %    |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er brattere enn 9%                                  | -42.67 %       | -44.72 %                 | -40.62 %    |
| <i>Kurvatur. Mål på hvor mye lenken svinger.</i>   |                |                          |             |
| Dummy for tilgang på markert sykkel felt   | 8.15 %         | 7.70 %                   | 8.60 %      |
| Dummy for gang- og sykkelvei tilgjengelig  | 6.09 %         | 5.65 %                   | 6.54 %      |
| Dummy for sykkelvei  | 10.63 %        | 9.94 %                   | 11.32 %     |
| Dummy for arbeidsreiser  | 11.42 %        | 11.12 %                  | 11.73 %     |
| Dummy for Tkryss i start av lenke, lenke kortere enn 30 meter                                | -9.28 %        | -11.31 %                 | -7.25 %     |
| Dummy for Tkryss i slutten av lenke, lenke kortere enn 30 meter                              | -4.14 %        | -6.31 %                  | -1.97 %     |
| Dummy for Xkryss i start av lenke, lenke kortere enn 30 meter                                | -12.23 %       | -16.78 %                 | -7.68 %     |
| Dummy for Xkryss i slutten av lenke, lenke kortere enn 30 meter                              | -9.08 %        | -14.02 %                 | -4.14 %     |
| Dummy for Tkryss i start av lenke, lenke lenger enn 100 meter                                | 0.31 %         | -0.06 %                  | 0.68 %      |
| Dummy for Tkryss i slutten av lenke, lenke lenger enn 100 meter                              | -1.87 %        | -2.24 %                  | -1.51 %     |
| Dummy for Xkryss i start av lenke, lenke lenger enn 100 meter                                | -0.54 %        | -1.05 %                  | -0.04 %     |
| Dummy for Xkryss i slutten av lenke, lenke lenger enn 100 meter                              | -3.26 %        | -3.76 %                  | -2.76 %     |
| Dummy for Tkryss i start av lenke, lenke mellom 30 og 100 meter                              | -4.90 %        | -5.73 %                  | -4.06 %     |
| Dummy for Tkryss i slutten av lenke, lenke mellom 30 og 100 meter                            | -6.74 %        | -7.61 %                  | -5.87 %     |
| Dummy for Xkryss i start av lenke, lenke mellom 30 og 100 meter                              | -3.51 %        | -4.09 %                  | -2.93 %     |
| Dummy for Xkryss i slutten av lenke, lenke mellom 30 og 100 meter                            | -2.35 %        | -2.93 %                  | -1.77 %     |
| Dummy for kjønn, mann = 1  | 12.98 %        | 12.68 %                  | 13.27 %     |
| Gjennomsnitt av stigning på foregående lenker (kontinuerlig)                                 | -39.36 %       | -43.54 %                 | -35.18 %    |
| Dummy for hovedsykkelruter (Tour de finance, Ring 3, Trondheimsveien nord for Sinsenkrysset) | 11.40 %        | 10.94 %                  | 11.86 %     |
| Dummy for sentrumslenker hvor det er lav skiltet hastighet (<= 30 km/t)                      | -20.87 %       | -21.37 %                 | -20.38 %    |
| Dummy for lenker utenfor sentrum med lav skiltet hastighet (<= 30 km/t)                      | -11.82 %       | -12.27 %                 | -11.37 %    |
| Dummy for sentrumslenker med skiltet hastighet over 30 km/t.                                 | -12.52 %       | -12.95 %                 | -12.09 %    |

$e^{\beta_0}$  tilsvarer fart for en normalisert observasjon hvor alle andre variabler er satt til null. Siden vår modell består av flere dummy-variabler, er denne derfor avhengig av normaliseringen. Med  $\beta_0 = 3,008$  betyr dette at hastigheten for en normalisert observasjon (kvinne, sykler på vei uten tilrettelagt infrastruktur og svak eller ingen gjennomsnittlig stigning (0 – 1%)) er 20,2 km/t før kalibrering (se avsnitt 6.1).

Et positivt fortegn for den estimerte verdien i tabellen betyr at en økning i variabelen vil bety høyere hastighet. Dette betyr for eksempel at alt annet likt, vil en mann i gjennomsnitt sykle nesten 13 % raskere enn en kvinne ( $\beta_{mann} = 0,1298$ ), mens en økning i kurvatur (mer svingete strekning) vil gi lavere hastighet (- 22,5 % ved en enhets økning i kurvatur). For kontinuerlige variabler, som kurvatur, er måleenheten viktig for å kunne tolke den relative effekten. I vårt tilfelle vil farten reduseres med 22,5% ved en overgang fra en rett vei til en vei der svingningen er så stor at lengden langs veien er dobbelt så lang som luftlinjen mellom start- og sluttnode.

I tillegg til de estimerte verdiene inneholder Tabell 5.1 konfidensintervaller. Hvis konfidensintervallet ikke inneholder verdien 0, er effekten av koeffisienten statistisk signifikant forskjellig fra null («statistisk signifikant»). Dette betyr at effekten av kurvatur er statistisk signifikant siden konfidensintervallet er gitt ved [-21,59% - -17,31%], mens den estimerte verdien for «Dummy for Tkryss i slutten av lenke, lengdelengde kortere enn 30 meter» ikke er statistisk signifikant (konfidensintervall: [-4.15% - 3.34 %]). Vi ser at de aller fleste variabler er signifikant og konfidensintervallene er generelt veldig smale. Dette henger sammen med et høyt antall observasjoner i estimeringen.

Alle effekter har forventet fortegn, med unntak av «Dummy for Tkryss i start av lenke, lengdelengde lenger enn 100 meter» som heller ikke er signifikant forskjellig fra null.

#### 5.4.2 Estimeringsresultater for elsykkel

Modellen er estimert basert på 96 613 observasjoner (enkeltobservasjoner på lenkenivå). Modellen forklarer 17,5% av den observerte variasjonen ( $R^2 = 0.175$ ). Tabell 5.2 oppsummerer estimeringsresultatene for fartsmodellen for elsykkel.

Vi observerer at alle koeffisientene i fartsmodellen for elsykkel har forventet fortegn.

Videre ser vi at konstantleddet i denne modellen er høyere enn i modellen for vanlig sykkel. Dette betyr at gjennomsnittshastigheten (for en normalisert observasjon) er høyere ved bruk av elsykkel enn ved bruk av vanlig sykkel. Vi ser også at kjønnseffekten er lavere for elsykkel enn det den er for vanlig sykkel (4,9% mot 13%). For ytterligere beskrivelser og diskusjon av resultater, se kapittel 7.

Tabell 5.2 Estimeringsresultat for elsykkel

|  | Estimert verdi | Konfidensintervall |             |
|--|----------------|--------------------|-------------|
|  |                | lower              | upper       |
| <b>Konstantledd</b>  | 3.109          | 3.1001             | 3.1182      |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er brattere enn -9%                                 | 5.18 %         | 2.01 %             | 8.35 %      |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -7 og -9%                                 | 6.17 %         | 4.11 %             | 8.23 %      |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -6 og -7%                                 | 12.28 %        | 10.25 %            | 14.32 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -5 og -6%                                 | 18.61 %        | 17.28 %            | 19.93 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -4 og -5%                                 | 14.88 %        | 13.73 %            | 16.03 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -3 og -4%                                 | 11.96 %        | 10.74 %            | 13.17 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -2 og -3%                                 | 7.79 %         | 6.82 %             | 8.76 %      |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom -1 og -2%                                 | 3.12 %         | 2.21 %             | 4.04 %      |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 0 og -1%                                  | 1.96 %         | 1.22 %             | 2.70 %      |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 0 og 1%                                   |                |                    | normalisert |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 1 og 2%                                   | -3.76 %        | -4.66 %            | -2.86 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 2 og 3%                                   | -7.70 %        | -8.70 %            | -6.71 %     |
| Dummy for stigning. Gj.stittlig stigning er mellom 3 og 4%                                   | -7.78 %        | -8.94 %            | -6.62 %     |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 4 og 5%                                   | -12.18 %       | -13.23 %           | -11.13 %    |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 5 og 6%                                   | -14.48 %       | -15.66 %           | -13.29 %    |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 6 og 7%                                   | -18.07 %       | -19.72 %           | -16.42 %    |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er mellom 7 og 9%                                   | -24.34 %       | -26.23 %           | -22.44 %    |
| Dummy for stigning. Gj.snittlig stigning er brattere enn 9%                                  | -32.32 %       | -35.37 %           | -29.26 %    |
| <b>Kurvatur. Mål på hvor mye lenken svinger.</b>   | -19.45 %       | -21.59 %           | -17.31 %    |
| Dummy for tilgang på markert sykkelfelt  | 7.39 %         | 6.67 %             | 8.11 %      |
| Dummy for gang- og sykkelvei tilgjengelig  | 8.52 %         | 7.81 %             | 9.23 %      |
| Dummy for sykkelvei  | 12.34 %        | 11.34 %            | 13.34 %     |
| Dummy for arbeidsreiser  | 10.71 %        | 10.22 %            | 11.20 %     |
| Dummy for Tkryss i start av lenke, lenke kortere enn 30 meter                                | -12.78 %       | -16.27 %           | -9.29 %     |
| Dummy for Tkryss i slutten av lenke, lenke kortere enn 30 meter                              | -0.41 %        | -4.15 %            | 3.34 %      |
| Dummy for Xkryss i start av lenke, lenke kortere enn 30 meter                                | -24.38 %       | -32.69 %           | -16.06 %    |
| Dummy for Xkryss i slutten av lenke, lenke kortere enn 30 meter                              | -3.85 %        | -11.53 %           | 3.84 %      |
| Dummy for Tkryss i start av lenke, lenke lenger enn 100 meter                                | -0.59 %        | -1.15 %            | -0.03 %     |
| Dummy for Tkryss i slutten av lenke, lenke lenger enn 100 meter                              | -0.91 %        | -1.47 %            | -0.35 %     |
| Dummy for Xkryss i start av lenke, lenke lenger enn 100 meter                                | -0.96 %        | -1.74 %            | -0.19 %     |
| Dummy for Xkryss i slutten av lenke, lenke lenger enn 100 meter                              | -3.48 %        | -4.25 %            | -2.72 %     |
| Dummy for Tkryss i start av lenke, lenke mellom 30 og 100 meter                              | -6.99 %        | -8.38 %            | -5.59 %     |
| Dummy for Tkryss i slutten av lenke, lenke mellom 30 og 100 meter                            | -7.10 %        | -8.57 %            | -5.63 %     |
| Dummy for Xkryss i start av lenke, lenke mellom 30 og 100 meter                              | -3.83 %        | -4.78 %            | -2.88 %     |
| Dummy for Xkryss i slutten av lenke, lenke mellom 30 og 100 meter                            | -3.75 %        | -4.70 %            | -2.81 %     |
| Dummy for kjønn, mann = 1  | 4.91 %         | 4.48 %             | 5.35 %      |
| <b>Gjennomsnitt av stigning på foregående lenker (kontinuerlig)</b>                          | -29.46 %       | -35.83 %           | -23.09 %    |
| Dummy for hovedsykkelruter (Tour de finance, Ring 3, Trondheimsveien nord for Sinsenkrysset) | 9.53 %         | 8.84 %             | 10.21 %     |
| Dummy for sentrumslenker hvor det er lav skiltet hastighet (<= 30 km/t)                      | -21.47 %       | -22.27 %           | -20.67 %    |
| Dummy for lenker utenfor sentrum med lav skiltet hastighet (<= 30 km/t)                      | -11.66 %       | -12.38 %           | -10.94 %    |
| Dummy for sentrumslenker med skiltet hastighet over 30 km/t.                                 | -14.43 %       | -15.15 %           | -13.70 %    |

## 6 Implementering

Etter estimering gjenstår det to oppgaver for at modellen skal kunne brukes, kalibrering og implementering på hele nettverket.

### 6.1 Kalibrering av fart

Som nevnt i avsnitt 4.3 vil vi overestimere farten på lenkenivå ved måling (og derfor ved estimering). Denne overestimeringen har ikke nødvendigvis noen påvirkning på valg av reiserute (ved bruk av korteste reisetid), men en for høy hastighet vil kunne påvirke reisemiddelvalg og økonomiske tilnærminger. Det er derfor nødvendig å korrigere nivået slik at gjennomsnittsverdien totalt sett havner på samme nivå som hastigheten vi måler på turnivå.

Kalibreringen av fart gjør vi ved å legge til en nedjusteringsfaktor  $e^{S_{g,r}}$  (der  $g$  identifiserer kjønn og  $r$  reisehensikt) i den estimerte modellen, hvor nedjusteringsfaktoren er et forholdstall mellom (gjennomsnittlig) predikert fart på lenkenivå og gjennomsnittlig målt fart på turnivå.

$$F_{i,g,r} = e^{\beta_o + \beta_{mann} * D_g + \beta_{arbeid} * D_r + \sum_k (\beta_k * X_{k,i})} + S_{g,r}$$

$$S_{g,r}: \text{nedjusteringsfaktor } e^{S_{g,r}} = \frac{\overline{F_{g,r}^{Tur}}}{\widehat{F}_{g,r}^{Lenke}}$$

Tabell 6.1 viser en gjennomsnittlig fart og korresponderende skaleringsfaktor for ulike grupper. Merk at  $\overline{F_{g,r}^{Tur}}$  ble rapportert i Tabell 3.2

Tabell 6.1 Skaleringsfaktor til kalibrering av fart

|               | Segment     |                      | Gjennomsnittlig fart (km/t) |                      | Faktor |
|---------------|-------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|--------|
|               |             |                      | Predikert fart på lenkenivå | Målt fart på turnivå |        |
| vanlig sykkel | kvinne      | ikke arbeid          | 17.35                       | 15.16                | 0.87   |
|               |             | arbeid               | 20.70                       | 17.63                | 0.85   |
|               |             | uansett reisehensikt | 18.23                       | 15.68                | 0.86   |
|               | mann        | ikke arbeid          | 19.71                       | 16.55                | 0.84   |
|               |             | arbeid               | 23.94                       | 20.82                | 0.87   |
|               |             | uansett reisehensikt | 20.97                       | 17.56                | 0.84   |
|               | begge kjønn | ikke arbeid          | 18.86                       | 16.01                | 0.85   |
|               |             | arbeid               | 22.90                       | 19.71                | 0.86   |
|               |             | uansett reisehensikt | 20.01                       | 16.85                | 0.84   |
| elsykkel      | kvinne      | ikke arbeid          | 19.81                       | 16.60                | 0.84   |
|               |             | arbeid               | 23.27                       | 20.38                | 0.88   |
|               |             | uansett reisehensikt | 20.84                       | 17.47                | 0.84   |
|               | mann        | ikke arbeid          | 20.80                       | 17.82                | 0.86   |
|               |             | Arbeid               | 24.51                       | 21.80                | 0.89   |
|               |             | uansett reisehensikt | 21.78                       | 18.59                | 0.85   |
|               | begge kjønn | ikke arbeid          | 20.34                       | 17.29                | 0.85   |
|               |             | Arbeid               | 23.89                       | 21.11                | 0.88   |
|               |             | uansett reisehensikt | 21.34                       | 18.09                | 0.85   |

En skaleringsfaktor på 0,85 betyr at farten predikert fra estimeringsmodellen må nedjusteres med 15% for å treffe gjennomsnittsfarten vi observerer på turnivå. Dette gjøres for hvert segment separat (det er relativt lite variasjon i skaleringsfaktorer som vist i tabell 6.1). Den implementerte modellen vil derfor predikere en fart som gjenspeiler observert fart på turnivå fra GPS-data for hvert segment. Vi presiserer at det kan være noe avvik når man ser på gjennomsnittlig fart på hele nettverket. Dette henger sammen med at private veier og veldig korte lenker (under 10 m) er utelatt i måling av fart på lenkenivå og dermed i estimeringen. Hvis for eksempel predikert fart på private eller korte veier systematisk avviker fra predikert fart på alle lenker, kan gjennomsnittsverdien over alle lenker i nettverket avvike fra observert fart på turnivå. Vi har testet dette, og har ikke identifisert systematiske forskjeller.

## 6.2 Implementering på nettverk

Vi har implementert modellen på samme nettverk fra NVDB som vi har brukt i datagrunnlaget til estimering (avsnitt 3.2). Vi har implementert modellen for alle lenker i nettverket med unntak av lenker knyttet til tunneler.

Det beregnes fart for 8 brukergrupper ( $2^3$  kombinasjoner av elsykkel/vanlig sykkel, mann/kvinne, arbeid/ikke arbeid). I tillegg beregnes det fart for to retninger per lenke. Grunnen til dette er at det i NVDB-nettverket brukes en felles lenke for begge retninger og antall retninger indikeres med en dummy. Dette er en forskjell fra nettverket som brukes i RTM/Cube hvor det kun finnes retningsavhengige lenker. Vi har derfor beregnet

hastigheter for begge retninger («AB-fart» og «BA-fart»). Totalt ender vi på 16 fartsberegninger per lenke, hvor hastigheten beregnes med følgende ligning:

$$F_{i,g,r,AB} = e^{\beta_0 + \beta_{mann} * D_g + \beta_{arbeid} * D_r + \sum_k (\beta_k * X_{k,i,AB})} + S_{g,r}$$

Disse 16 fartsberegninger kodes som nye lenkeegenskaper i nettverket. I tillegg har vi kodet inn alle nye lenkeegenskaper (se avsnitt 4.1) i nettverket slik at det er teoretisk mulig å etterprøve våre beregninger.



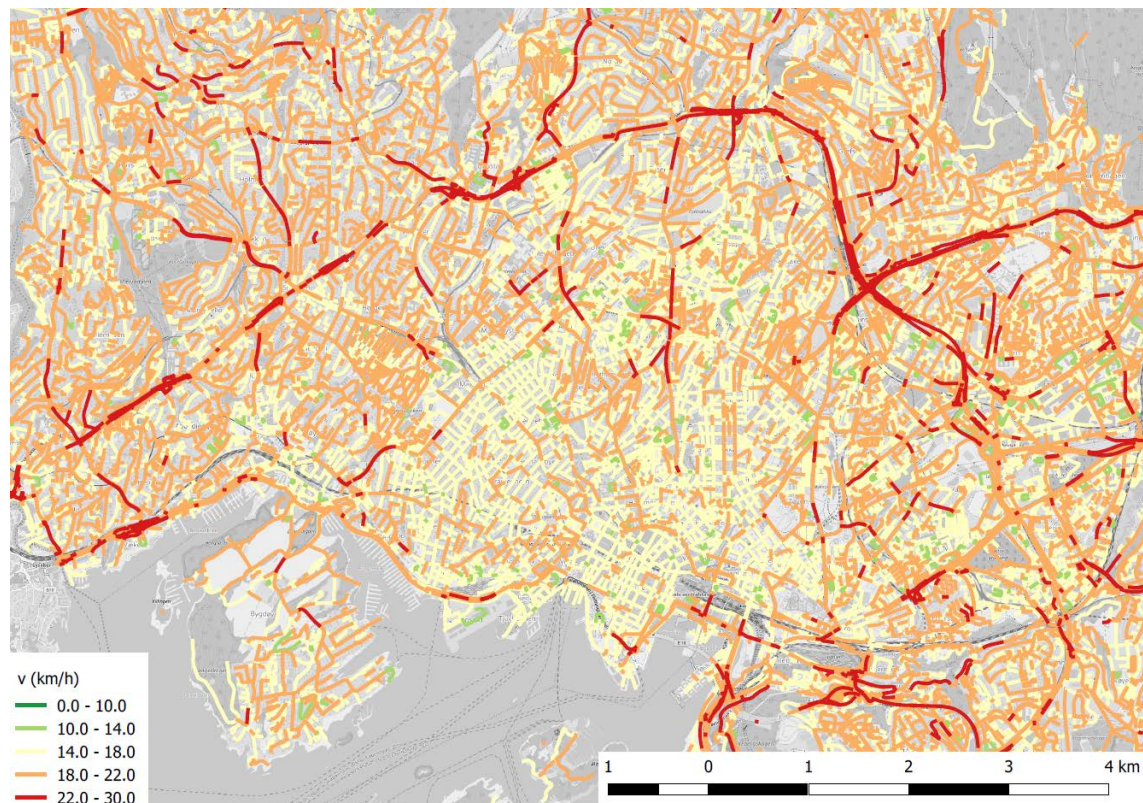
## 7 Illustrasjon av resultater og validering

I avsnitt 5.4 presenterte vi estimeringsresultatene. I dette kapitlet illustrerer vi en del av effektene vi fant, samt at vi går vi nærmere inn på hvordan disse resultatene samsvarer med det vi fant i litteraturgjennomgangen.

### 7.1 Variasjon i predikert fart

Motivasjonen for prosjektet var at det i dagens regionale transportmodell (RTM) brukes en fast hastighet på 15 km/t for sykkel. Reisetiden mellom to steder vil dermed kun avhenge av distansen (langs vei) mellom disse to stedene. Vi ønsket en fartsmodell som varierer etter hvor man sykler.

Figur 7.1 viser predikert hastighet for alle lenker i «nedover-retning» for en gitt type reiser (her mannlig syklist på vanlig sykkel, ikke arbeidsreise).



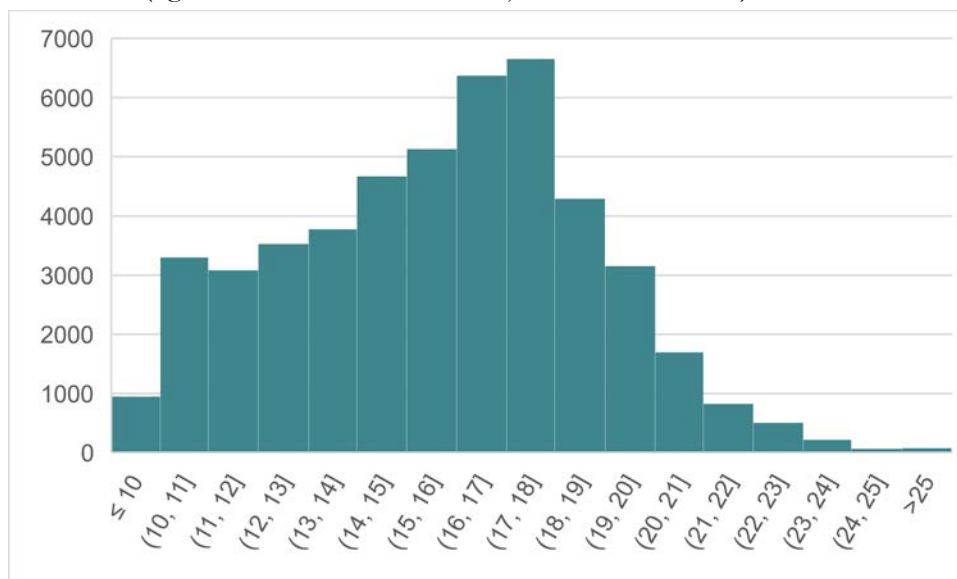
Figur 7.1 Predikert hastighet nedover (mann, ikke arbeidsreise, vanlig sykkel)

Som figuren viser varierer den predikerte hastigheten med lavest hastighet i Oslo sentrum (lenker i gult og grønt), mens vi får en relativt høy hastighet langs Ring 3 og Trondheimsveien (rødt). Sammenligner vi med dagens hastighet i RTM (15 km/t), er det

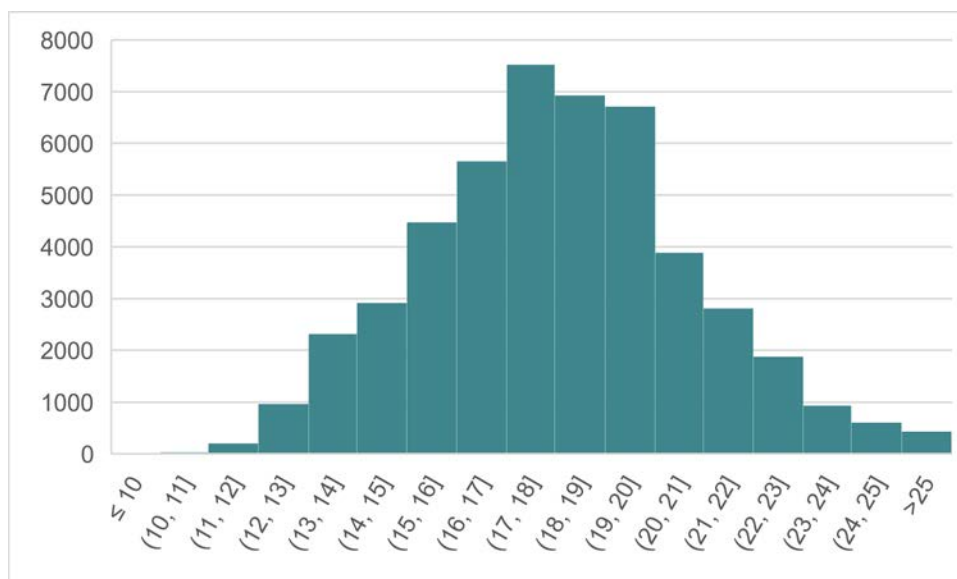
nesten bare i Oslo sentrum at vi finner fart i dette segmentet (når vi ser på nedoverretning).

Det er flere effekter som spiller inn her. I Oslo sentrum er det relativt flatt, så helningen her er i gjennomsnitt lavere enn i resten av Oslo. For det andre er trafikk tettheten i sentrum høyere, noe som indirekte fanges opp i modellen med dummy-variabler for sentrum/skiltet hastighet for biler.

Predikert fart totalt sett varierer mer enn et kart for én type reise med 5 fargekoder kan indikere. I Figur 7.2 og Figur 7.3 ser vi på hvordan hastigheten varierer i hele nettverket, sett over alle kjønn og reisehensikter. Histogrammene viser predikert fart for alle lenker i nettverket (også der vi ikke har observasjoner fra GPS-data).



Figur 7.2 Histogram over predikert fart for vanlig sykkel (uavhengig av kjønn og reisehensikt)

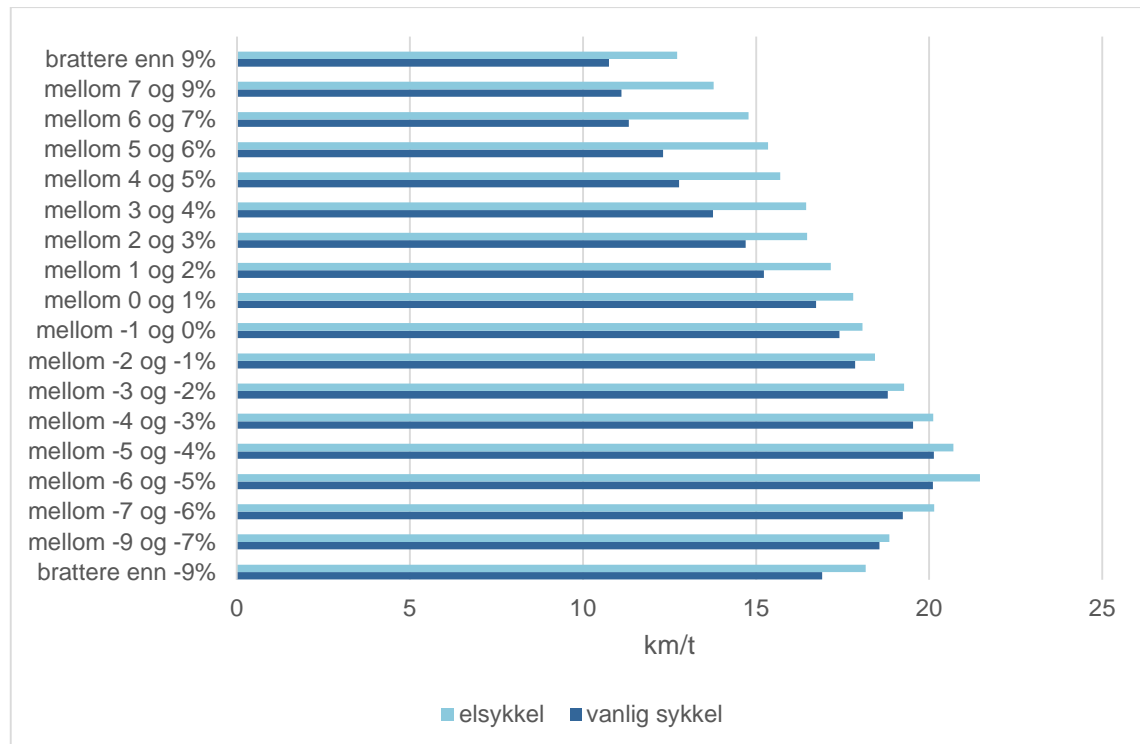


Figur 7.3 Histogram over predikert fart for elsykkel (uavhengig av kjønn og reisehensikt)

Her finner vi at gjennomsnittet for vanlig sykkel er 16,3 km/time, mens den er 17,7 km/t for elsykkel. Dette er noe lavere enn det vi fant på turnivå i avsnitt 3.4, noe som henger sammen med at sammensetningen av lenker i nettverket er annerledes enn det vi observerer i virkeligheten (GPS-observasjonene).

## 7.2 Effekt av stigning og type sykkel

En av de viktigste forklaringsvariablene til hvordan hastighet endrer seg på tvers av lenker er stigning. I Figur 7.4 har vi illustrert hvordan vår estimerte fart endrer seg med stigning for henholdsvis vanlig sykkel og elsykkel. Verdiene er gjennomsnitt over segmentene og er kalibrert for å passe hastighetene på turnivå (se avsnitt 6.1).



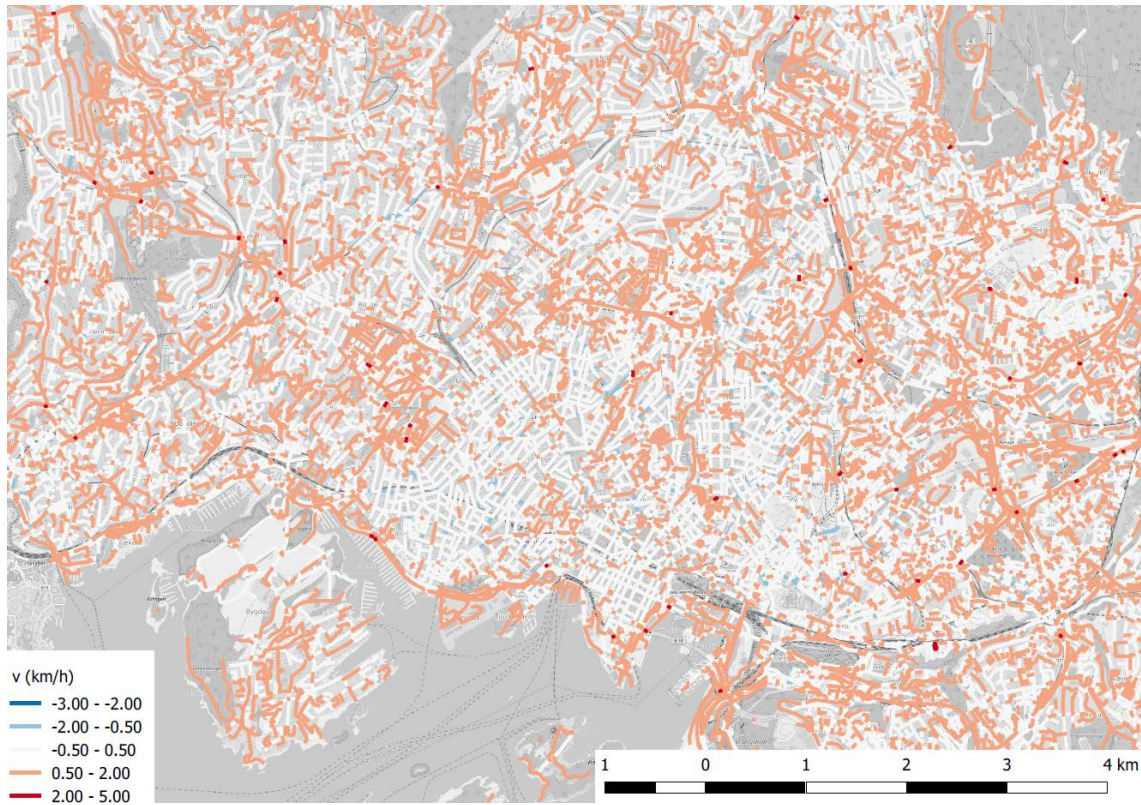
Figur 7.4 Sammenheng mellom predikert fart og stigning <sup>5</sup>

For positive gradienter (sykling i motbakke) ser vi, som forventet, en monoton og tilnærmet lineær reduksjon i fart. Vi ser også at gjennomsnittshastigheten for elsykkel påvirkes mindre av motbakker enn gjennomsnittshastigheten for vanlig sykkel. Dette betyr at forskjellen i gjennomsnittshastighet mellom elsykkel og vanlig sykkel er større i motbakker enn på flate strekninger. For sykling nedover er effekten derimot ikke-monoton. Vi oppnår de høyeste hastighetene ved en helning mellom 5 og 6 prosent, og farten ser ut til å avta igjen ved helning på mer enn 6 prosent. Dette skyldes antagelig at man bremses (eller lar være å «trø på») ut fra sikkerhetshensyn. For sykling nedover ser vi også at forskjellen i gjennomsnittshastighet mellom de ulike syklene er lavere enn ved motbakke.

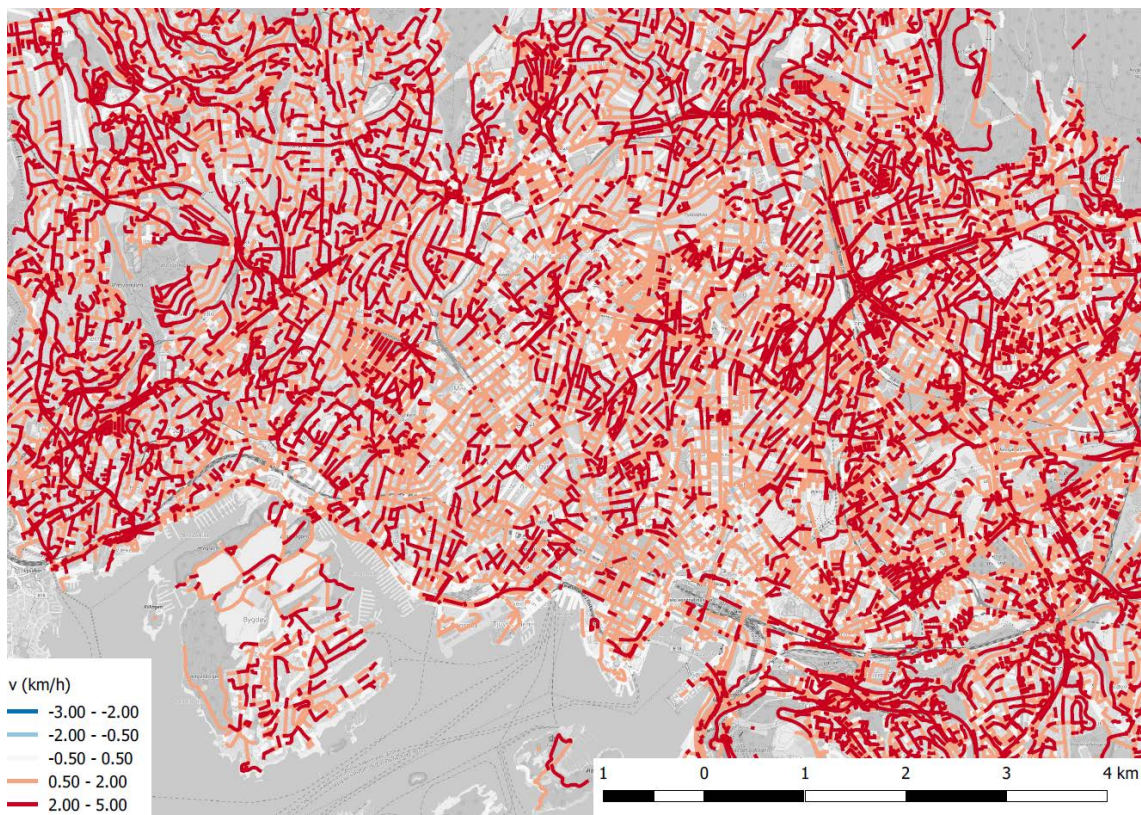
Figur 7.5 og Figur 7.6 viser differansen i predikert hastighet mellom elsykkel og vanlig sykkel ved sykling nedover og oppover. Disse figurene viser at forskjellen i predikert fart er størst ved sykling i motbakke, som vist i Figur 7.4. Dette illustrerer at gevinsten ved å bruke elsykkel er størst i motbakker.

<sup>5</sup> Figur 7.4 viser kun sammenhengen mellom predikert fart og stigning på lenker hvor vi har GPS-observasjoner.





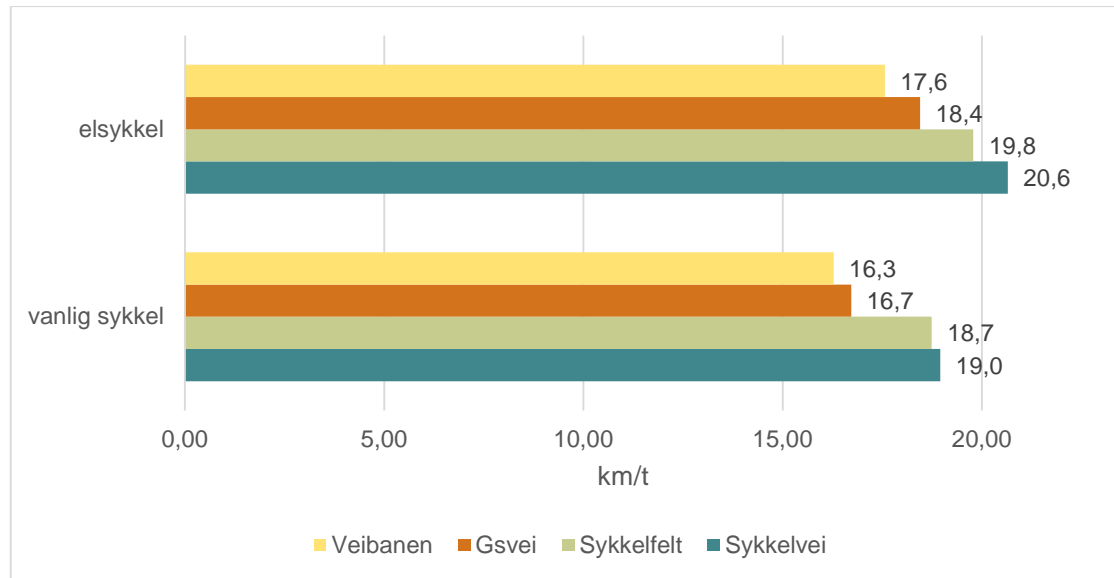
Figur 7.5 Differanse i predikert hastighet ved sykling nedover. Lyse farger viser liten forskjell mellom predikert fart for elsykkel og vanlig sykkel, mens mørke farger betyr større differanse i predikert fart.



Figur 7.6 Differanse i predikert hastighet ved sykling oppover. Lyse farger viser liten forskjell mellom predikert fart for elsykkel og vanlig sykkel, mens mørke farger betyr større differanse i predikert fart.

### 7.3 Effekt av infrastruktur

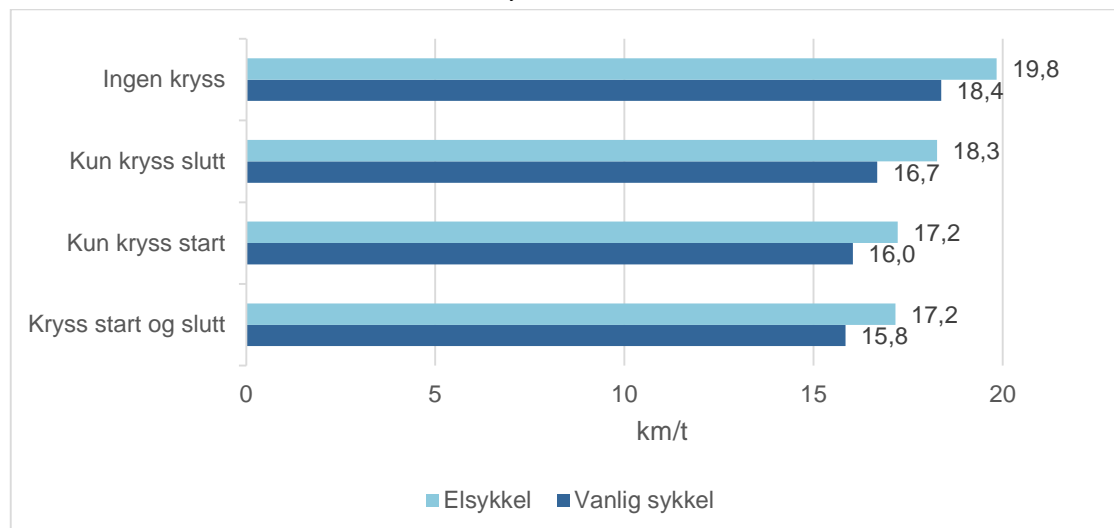
Andre viktige forklaringsvariabler i modellen er knyttet til infrastruktur. I modellen fanges dette opp ved forskjellige dummy-variabler. Figur 7.7 viser sammenhengen mellom estimert fart og tilgjengelig infrastruktur.



Figur 7.7 Sammenheng mellom predikert hastighet og tilgjengelig sykkelinfrastruktur

Som vi ser av figuren predikerer modellen høyest hastighet der hvor man har separat sykkelvei og lavest hastighet der hvor det ikke er noe tilrettelegging for sykkel (sykling i veibanen eller på vanlig fortau<sup>6</sup>).

Et annet viktig element ved infrastrukturen er krysstype og tetthet av kryss. Figur 7.8 viser gjennomsnittlig predikert hastighet på lenker for henholdsvis elsykkel og vanlig sykkel sortert etter om lenken er koblet til et kryss eller ei.



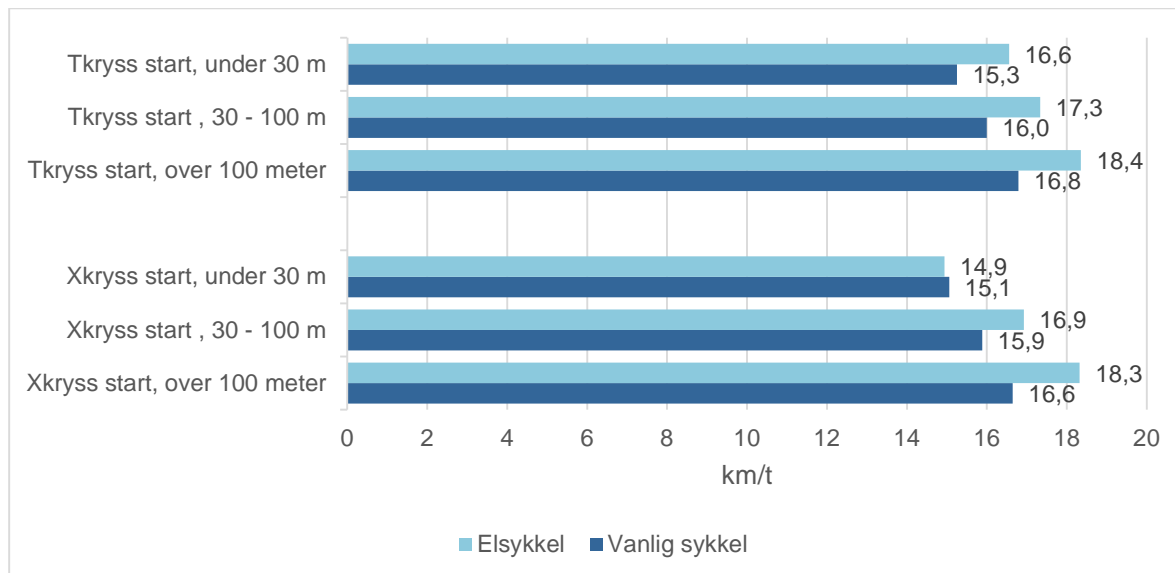
Figur 7.8 Gjennomsnittlig predikert hastighet etter kryss

<sup>6</sup> Som nevnt tidligere kan vi ikke skille mellom disse to på grunn av presisjonsnivå i GPS-data. Se også omtale i avsnitt 8.1



Vi observerer at modellen predikerer høyest gjennomsnittlig hastighet for lenker uten kryss, mens lenker med kryss både ved start- og endepunkt har den laveste gjennomsnittlige hastigheten. Vi legger også merke til at lenker med kryss kun i starten av lenken har en lavere gjennomsnittlig hastighet enn lenker med kryss kun i slutten av lenken.

Figur 7.8 ser kun på sammenhengen mellom antall kryss og predikert hastighet. I modellen opererer vi med ulike typer kryss og ulike grupper av lenkelengder. Figur 7.9 ser nærmere på hvordan gjennomsnittlig predikert hastighet henger sammen med lenkelengde og ulike typer kryss i starten av lenken.



Figur 7.9 (gjennomsnittlig) predikert hastighet etter krysstype i starten av lenken

Vi observerer at predikert hastighet med kryss i starten av lenken avhenger av lenkelengde, og vi får lavest gjennomsnittshastighet for de korteste lenkene. Denne tendensen gjelder for både X-kryss og T-kryss.

## 7.4 Validering mot eksisterende litteratur

Litteraturgjennomgangen (kapittel 2) viste at det er mange faktorer som påvirker hastigheten, og våre resultater samsvarer i stor grad med det som litteraturgjennomgangen viste. Modellen vår predikerer en høyere hastighet for menn enn for kvinner, og høyere hastigheter ved elsykkel enn vanlig sykkel. Modellen predikerer også at gevinsten av elsykkel er størst oppover. Det er også verdt å legge merke til at gjennomsnittshastighetene vi finner (både for hvert segment og samlet etter sykkeltype) ligger innenfor intervallet av rapporterte hastigheter i litteraturen.

## 8 Diskusjon

### 8.1 Metodisk usikkerhet

Det er ulike metodiske usikkerheter knyttet til arbeidet. Flere av disse usikkerhetene er omtalt i tidligere kapitler. I dette kapitlet sammenstiller vi disse momentene og gir en vurdering av hvordan de kan ha slått ut på resultatene:

#### 1) Identifikasjon av variabler fra Sense.DAT-appen

- a) **Transportmiddel.** I følge leverandøren av data gjenkjenner appen riktig transportmiddel med 90% sikkerhet. Vi vet ikke om dette tallet gjelder spesifikt for sykkel. Siden vi har ekskludert registrerte sykkelturner med urimelige hastigheter er vi trygg på at de aller fleste observasjoner som er brukt i estimeringen faktisk er gjennomført med sykkel. Det er likevel en liten mulighet for at andre transportmidler har kommet med i analysen. Dette kan bidra til økt støy i dataene, men har trolig ikke påvirket resultatene (parameterestimerer).
- b) **Reisehensikt.** Det er relativt stor usikkerhet knyttet til registrering av reiseformål i appen. Vi har derfor valgt å bare skille mellom arbeidsrelaterte reiser og øvrige reiser. Andelen arbeidsreiser er lavere enn forventet. Det kan hende at noen faktiske arbeidsreiser ikke har blitt registrert som arbeidsreiser. Gitt at arbeidsreiser har høyere fart i gjennomsnitt, kan i så fall forskjellen mellom reisehensiktene være noe underestimert.

#### 2) Identifikasjon av elsykkel.

Bruk av elsykkel er ikke direkte observert og antas ut fra tilgang/eierskap til elsykkel. Hvis noen personer har brukt vanlig sykkel selv om de hadde tilgang til elsykkel, kan forskjellen i målt og predikert fart mellom elsykkel og vanlig sykkel være underestimert, dvs. at farten med elsykkel faktisk er noe høyere og farten med vanlig sykkel er noe lavere.

#### 3) GPS-observasjoner og nettverkspåkobling

- a) **Vasking av GPS-data og kobling mot OpenStreetMap (OSM).** Data kommer ferdig bearbeidet fra leverandøren, og stedsfesting av GPS-observasjoner (koordinater) er tilpasset OSM. I våre analyser bruker vi første og siste GPS-observasjon på en lenke for å beregne hastigheten. Siden OSM og NVDB opererer med ulik oppsplitting av lenker, kan vi ha mistet noen observasjoner når vi forkaster hastighetsberegninger som kun dekker en liten andel av NVDB-lenken.
- b) **Mulige feil i påkobling til NVDB-nettverket ("mapping").** Mapping fra OSM til NVDB er knyttet til usikkerhet, dvs. at enkelte GPS-observasjoner kan ha blitt tilordnet «feil» lenke. Som beskrevet i avsnitt 4.3 har vi ekskludert observasjoner som ansees som usikre (hvis kun én GPS-observasjon og hvis andel av observert strekning er lav). Vi tror derfor at vi har silt bort de fleste observasjoner hvor påkobling til NVDB-nettverket kan ha vært feil.
- c) **Ingen skille mellom sykling i veibanen og sykling på annen infrastruktur.** Presisjonen til GPS-observasjonene, samt påkobling av nettverk gjør det umulig å skille mellom de som har syklet i veibanen og de som har syklet på parallelle fortau eller sykkelfelt. Dette er viktig å huske når man tolker predikert fart på «sykling i veibanen».

#### 4) Mulig skjevhet i utvalg og adferd

- a) **Rekruttering.** Deltagerne var hentet fra en populasjon som bestod av enten medlemmer av Falck Sykkelregister eller søkere til Oslo kommunes elsykkelstøtte. Den førstnevnte gruppen sykler litt mer enn gjennomsnittsbefolkningen, mens den sistnevnte sykler like mye som gjennomsnittet (de sykler mindre før de får elsykkel, men øker opp til gjennomsnittet etter). Siden hensikten med denne rapporten er å studere hvor fort det sykles, er det vesentlige om deltagerne sykler *på en annen måte* enn gjennomsnittet, ikke om de sykler mer eller mindre. Dette er vanskelig å vite. Men tidligere studier som har sammenlignet Falck utvalget med andre grupper mht selvrapportert sykkelatferd indikerer at så ikke er tilfelle (Fyhri, Bjørnskau, & Sørensen, 2012). Videre er måten appen opererer på og dens funksjonalitet spesielt rettet mot å kunne brukes av en bredere brukergruppe, og ikke bare ivrige syklistere. Det er derfor rimelig å anta at skjevheten er mindre i dette utvalget enn hva man finner i mer dedikerte sykkelapper (f.eks. Strava eller Bike Radar), der appen i all hovedsak lastes ned av dem som sykler mye (de mest «entusiastiske»).
- b) **Atferd.** Bevissthet rundt at reisene logges kan ha medført at syklistene opptrer annerledes (for eksempel sykler raskere, eller hyppigere) enn de ellers ville gjort. Dette kan vi ikke vite, men to aspekter ved appens funksjon kan trekkes fram for å forsøke å belyse problemstillingen. Det faktum at Sense.DAT ikke krever en aktiv brukerinvolvering for å logge hver enkelt reise reduserer oppmerksomheten knyttet til reisen. Dette skiller seg fra apper som Strava og Bike Radar. I nevnte apper er også tilbakemeldingene for gjennomsnittsfart, toppfart og antall km en viktig funksjon. Denne informasjonen (gjennomsnittsfart, samlet km) er ikke er tilgjengelig for brukeren av Sense.DAT.

#### 5) Usikkerheter rundt statistisk modellering. Den statistiske usikkerheten i estimeringsmodellen er relativt lav på grunn av et veldig høyt antall observasjoner. Uavhengig av dette må det i modelleringsarbeidet gjøres metodiske og konseptuelle valg som kan ha påvirket resultatet. Noen av disse valgene er:

- a) **Vekting med lenkelengde** Vektingen med lenkelengde er metodisk sett ønskelig (viser til avsnitt 5.3 for motivasjonen bak vektingen), men kan ha påvirket estimeringsresultater for enkelte forklaringsvariabler. For kryss, der sammenhengen mellom lenkelengde og effekt på fart er mest intuitiv, har vi brukt interaksjonseffekter. For andre koeffisienter har vi utelatt dette for å unngå et veldig høyt antall forklaringsvariabler. Dette kan ha påvirket noen av resultatene, og predikert fart på kortere lenker kan over- eller underestimeres noe på grunn av det.
- b) **Ekskludering av korte lenker i estimeringsmodellen.** Lenker under 10 meter er utelatt i estimeringsmodellen på grunn av muligheten for at farten er for mye preget av hastigheten på den foregående lenken. Sammen med 5a) er predikert fart på korte lenker derfor mer usikker enn predikert fart på lange lenker.
- c) **Bruk av IID feilledd i estimeringsmodellen.** Dette er en forenkling som har blitt gjort av praktiske hensyn. I virkeligheten vil feilleddene ikke være uavhengig, siden vi har gjentatte observasjoner fra samme reise/person. Vi tror ikke at forenklingen har påvirket estimeringsresultatene betydelig, men har ikke hatt tid til å validere dette innenfor prosjektet.



## 8.2 Forbedringsmuligheter

I forlengelsen av vurderingene i forrige avsnitt nevnes her noen forbedringsmuligheter for modellen i fremtidige prosjekter:

- 1) I ettertid skulle vi gjerne hatt **bedre oversikt over datavaskingsprosessen**, og det mest ideelle hadde vært å gjøre dette selv. I tillegg hadde det vært ønskelig med en direkte projisering til NVDB-nettet (uten «omveien» via OpenStreetMap).
- 2) Vi har testet mye rundt **spesifikasjon og sammensetning av forklaringsvariabler**, men det går alltid an å forbedre dette videre. For eksempel er en begrensing i modellen at kjønn og reisehensikt har hver sin isolerte effekt, uavhengig av lenkeegenskaper. Motstanden av stigning (den relative redusering av fart) er derfor antatt lik for kvinner og menn. Dette er noe vi kunne ha testet videre på. At effektene er uavhengig av hverandre betyr også at fartsmodellen ikke tilfører heterogenitet i en rutevalgmodell som er basert på «raskeste rute». Ruten som er raskest for en kvinne, vil også være raskest for en mann. Det samme gjelder for reisehensikt.
- 3) Som nevnt i avsnitt 5.2 har vi bevisst **utelatt alder i modellen**. I Flügel m fl (2016), en artikkel i Samferdsel basert på datagrunnlaget, viser vi at vi har observert en ikke-lineær sammenheng mellom alder og gjennomsnittsfart. For å få dette med i modellen, måtte vi ha inkludert minst 3 aldersgrupper, noe som ville ha økt antall segmenter fra 16 til 48. Ut fra praktiske hensyn rundt håndterbarhet og brukervennlighet har vi derfor valgt å ikke inkludere alder. Utelatte variabler som alder og vær kan være en grunn til at estimeringsmodellen bare forklarer rundt 24% (17,5% for elsykkel) av den observerte variansen. At vi ikke får høyere forklaringskraft kan også henge sammen med at en del variabler som påvirker fart er uobserverbare for oss (fysisk form hos syklistene, tidspresset syklistene var i mens de syklet osv.). Mulige målefeil i fartsberegningen kan også ha trukket ned forklaringskraften til modellen.
- 4) Vi har opplevd at det **mangler en del lenker i NVDB-nettverket** der folk faktisk har syklet. Et forbedret nettverk i bunn kunne ha bidratt til flere «gyldige» GPS-observasjoner og generelt en bedre estimeringsmodell.

## 8.3 Modellens generaliserbarhet utover Oslo

Vi har bare inkludert reiser med gyldige observasjoner i Oslos veinettverk. Modellen gjelder derfor i utgangspunkt Oslo og det er usikkerhet rundt generaliserbarheten til resultatene. Fra en ad-hoc test basert på observasjoner vi har utenom Oslo har vi indikasjoner på at farten er på et høyere nivå i Oslo. Vi har ingen forutsetning for å si at effekten av forklaringsvariabler på basisfart (for eksempel effekten av stigninger) skal være ulik i Oslo sammenlignet med andre steder. Resultatene våre virker å være innenfor det som har blitt observert/estimert i litteraturen. Gitt at de relative effektene estimert for Oslo er overførbare, er det i utgangspunktet mulig å bruke modellen for andre byer/regioner i Norge (i verden). Dersom man har en formening om hvordan (basis)farten andre steder er sammenlignet med Oslo, er det enkelt å kalibrere modellen ned/opp til et annet fartsnivå. Vi anser derfor modellen som overførbart til andre regioner i Norge, men vi anbefaler at effekten av noen forklaringsvariabler vurderes kritisk når modellen brukes for andre regioner/byer. Det gjelder spesielt effekten av «sentrum» og «hovedsykkelruter» som kan ha en annen effekt i mindre byer/tettsteder.

Vi gjør oppmerksom på at det går an å utelate enkelte forklaringsvariabler fra modellen dersom disse ikke er tilgjengelig for andre byer. I så fall bør konstantleddet i modellen justeres. Dette er fordi normaliseringen av modellen endrer seg når man utelater forklaringsvariabler. Hvis man for eksempel utelater «hovedsykkeleruter» fra modellen, bør konstantleddet justeres for å korrigere for endret normalisering. Grunnen er at konstantleddet nå ikke vil relateres til «utenom-hovedsykkeleruter» (der det er lavere fart) men den vil være uavhengig av om lenken er i en hovedsykkelerute eller ikke.

## 8.4 Mulige utfordringer ved implementering i andre nettverk

Modellen er basert på forklaringsvariabler som kommer direkte eller indirekte fra NVDB-nettverket. Om man klarer å gjenspeile disse forklaringsvariablene med utgangspunkt i et annet nettverk, så er modellen fullt implementerbar på andre nettverk (for eksempel OpenStreetMap). Man må dessuten være klar over mulige inkonsistenser, for eksempel hvordan infrastruktur er definert i ulike nettverk.

Vi gjør dessuten oppmerksom på mulige praktiske utfordringer angående 3 lenkeegenskaper:

- 1) Etablering av *inbound-lenker* og gjennomsnittlig stigning for dem er teknisk krevende og trenger en del programmering.
- 2) *Hovedsykkeleruter* er uklart definert og må defineres på nytt når man implementerer modellen i andre byer.
- 3) *Sentrumsvariabel* er ikke definert i NVDB-nettverket, men informasjon om den kan lastes ned fra SSB (<http://www.ssb.no/natur-og-miljo/geodata>).

## 9 Referanser

- Bernardi, S., & Rupi, F. (2015). An Analysis of Bicycle Travel Speed and Disturbances on Off-street and On-street Facilities. *Transportation Research Procedia*, 5, 82-94. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2015.01.004>
- Dozza, M., Bianchi Piccinini, G. F., & Werneke, J. (2016). Using naturalistic data to assess e-cyclist behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 41, Part B, 217-226. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2015.04.003>
- El-Geneidy, A., Krizek, K. J., & Iacono, M. (2007). *Predicting bicycle travel speeds along different facilities using GPS data: a proof of concept model* Paper presented at the 86 th Annual Meeting of the Transportation Research Board,, Washington.
- Fyhri, A., Bjørnskau, T., & Sørensen, M. W. J. (2012). *Krig og fred : en spørreundersøkelse om samspill og konflikter mellom bilister og syklist* (Vol. 1246/2012). Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Fyhri, A. & Skartland, E-G. (2016) Faktorer som påvirker fartsvalg for sykkel - en litteraturstudie. TØI-arbeidsdokument 51024.
- Høye, A., Sørensen, M. W. J., & De Jong, T. (2015). *Separate sykkelanlegg i by - Effekter på sikkerhet, fremkommelighet, trygghetsfølelse og sykkelbruk*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Lin, S., He, M., Tan, Y. L., & He, M. W. (2008). Comparison Study on Operating Speeds of Electric Bicycles and Bicycles Experience from Field Investigation in Kunming, China. *Transportation Research Record*(2048), 52-59. doi: 10.3141/2048-07
- Parkin, J., & Rotheram, J. (2010). Design speeds and acceleration characteristics of bicycle traffic for use in planning, design and appraisal. *Transport Policy*, 17(5), 335-341. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.03.001>
- Schleinitz, K., Petzoldt, T., Franke-Bartholdt, L., Krems, J., & Gehlert, T. (2017). The German Naturalistic Cycling Study – Comparing cycling speed of riders of different e-bikes and conventional bicycles. *Safety Science*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.07.027>

## Vedlegg A: Nye lenkeegenskaper som ikke ble inkludert i den endelige modellen

| Attributt    | Beskrivelse  | Hvordan  |
|--------------|--|--|
| Z_min, Z_max | Laveste og høyeste punkt på en lenke   | "Calculate geometry" i Arcmap                              |
| Z_ned, Z_opp | Akkumulerte høydemeter (nedover/oppover) på en lenke   | Ved hjelp av knekkpunkter på lenken.<br>Egen programmering |
| Ring         | Ring = 1: lenker på eller innenfor Ring 1<br>Ring = 2: lenker på eller innenfor Ring 2, men utenfor Ring 1<br>Ring = 3: lenker på eller innenfor Ring 3, men utenfor Ring 2<br>Ring = 4: lenker utenfor Ring 3 | Kodes manuelt/ved hjelp av veintr.                         |