

Resmönster i Norrköping från anonymiserad mobilnätsdata

Pilotprojekt inom projektet Nya lösningar för framtida resvaneundersökningar

Nils Breyer, David Gundlegård och Clas Rydergren, Linköpings universitet
2018-10-09

Dokumentinformation

Titel: Resmönster i Norrköping från anonymiserad mobilnätdata

Författare: Nils Breyer, nils.breyer@liu.se, David Gundlegård, david.gundlegard@liu.se och Clas Rydergren, clas.rydergren@liu.se, Avdelningen för kommunikations- och transportsystem, Institutionen för teknik och naturvetenskap, Linköpings universitet, Campus Norrköping.

Beställare: Trafikanalys. Kontaktperson: Eva Lindborg, 010-4144244, 072-5202460, Eva.Lindborg@trafa.se

Dokumenthistorik:

Version	Datum	Förändring	Distribution
0.1	2018-06-29	Första rapport	Beställare
0.9	2018-09-14	Resultat och slutsats	Beställare
1.0	2018-10-09	Slutversion	Beställare

Sammanfattning

Denna rapport presenterar resultatet av en pilotstudie om användning av anonymiserad mobilnätdata för att skapa insikter om resmönster för Norrköpings kommun. Pilotstudien har genomförts inom projektet "Nya lösningar för framtida resvaneundersökningar", som är den del av regeringens samverkansprogram "Nästa generations resor och transporter". Syftet med pilotprojektet är att utföra en första utvärdering av möjligheter och utmaningar med att ta fram mönster över resandet i en kommun baserat på anonymiserade mobilnätdata.

Baserat på de resultat och analyser som gjorts bedöms möjligheten att få fram övergripande resmönster för en region av den storlek som Norrköpings kommun har som mycket god. Den rumsliga upplösningen som finns innebär dock att det finns en nedre gräns för hur korta resor som med säkerhet kan identifieras från mobilnätdata baserat på data och algoritmer som använts i detta pilotprojekt. Så länge analysen görs med trafikanalyzoner av den storleksordning som används i denna rapport så är resultaten tillfredställande. Datakällan har potential att användas för att utveckla dagens trafikplaneringsmodeller. Vidare analys och forskning behövs dock för att ta till vara datakällans fulla potential för att ge insikter om dagens resande.

Abstract

This report presents the results of a pilot study on the use of anonymized mobile network data to create insights about the travel patterns for the municipality of Norrköping. The pilot study has been conducted within the project "Nya lösningar för framtida resvaneundersökningar", which is part of the government's cooperation program "Nästa generations resor och transporter". The purpose of the pilot project is to carry out an initial evaluation of the opportunities and challenges of producing travel patterns within a municipality based on anonymized mobile network data.

Based on the results and the analyzes made, it is concluded that the resulting travel patterns generated from anonymized mobile network data, for a region of the size of the municipality of Norrköping, is very good. However, the spatial resolution available means that there is a lower limit for how short trips can be identified with certainty from mobile network data based on the type of data and algorithms that are used in this pilot project. As long as the analysis is done with traffic analysis zones of the size used in this report, the results are satisfactory. The data source has the potential to be used to develop today's traffic planning models. Further analysis and research, however, are needed to make the full potential of data sources available to provide insights into today's travel patterns.

Förord

Denna rapport är resultatet av en pilotstudie inom projektet "Nya lösningar för framtida resvaneundersökningar" inom regeringens samverkansprogram "Nästa generations resor och transporter". Projektet "Nya lösningar för framtida resvaneundersökningar" leds av Trafikanalys. Inom detta projekt genomfördes en intressentanalys och en behovsanalys för att kartlägga verktyg och applikationer för insamling av resvanor under våren 2017. Dessa kartläggningar resulterade i förslag på ett antal pilotstudier och denna rapport är resultat av en av dessa pilotstudier.

I denna pilotstudie analyserar vi vilken möjlighet som finns med att använda anonymiserad mobilnätdata för att hitta resmönster i form av OD-matriser. Pilotstudien har finansierats av Trafikanalys, dataprocessning för att hitta resmönster samt denna dokumentation har gjorts av Nils Breyer, David Gundlegård och Clas Rydergren vid Linköpings universitet. Telenor Sverige har tillhandahållit de datorresurser som använts i projektet och levererat den aggregerade och anonymiserade mobilnätdata som har använts i studien.

Från Trafikanalys har vi under projektets gång haft kontakt med Eva Lindborg. Från Telenor Sverige har vi haft kontakt med Lars Sköld och Roland Keyte Hellström under projektets gång. Diskussionerna runt integrationsplattformen framtagen av Ericsson har mestadels skett med Simon Moritz. Urval av diagram och jämförelser, analys och slutsatser har gjorts av författarna.

Norrköping i oktober 2018

Nils Breyer, David Gundlegård och Clas Rydergren

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	9
1.1. Bakgrund.....	9
1.2. Syfte.....	9
1.3. Metod.....	10
1.4. Disposition.....	11
2. Mobilnätsdata	11
2.1. Statistiska egenskaper.....	14
3. Data och datahantering.....	15
3.1. Aggregerad och anonymiserad data	15
3.2. Beskrivning av datahantering.....	15
3.3. Beskrivning av trafikanalyzoner.....	17
4. Integrationsplattform.....	19
5. Resultat.....	20
5.1. Resors spridning över dygnet.....	20
5.2. Resors spridning mellan trafikanalyzoner	23
5.3. Länkflöden	25
6. Analys	28
7. Slutsatser	31
Referenslista.....	32

1. Introduktion

Regeringen presenterade den 1 juni 2016 fem strategiska samverkansprogram. I ett av dessa program, "Nästa generations resor och transporter", har ett behov av att finna och utveckla nya lösningar för resvaneundersökningar identifierats. Inom ramen för detta program leder Trafikanalys projektet "Nya lösningar för framtida resvaneundersökningar". Projektets övergripande syfte är att undersöka och testa nya tekniska lösningar för datainsamling, samt att undersöka hur olika datainsamlingsmetoder skulle kunna användas, enskilt eller i kombination, i framtida resvaneundersökningar, som underlag för offentlig statistik. Under våren 2017 genomfördes inom ramen för projektet en intressent- och behovsanalys för att kartlägga de behov av resvanor som finns, samt en kartläggning av verktyg och applikationer för insamling av resvanor (Trivector, 2017). Resultaten från denna kartläggning har resulterat i ett antal pilotstudier som har genomförts under 2017 och 2018. Denna rapport beskriver resultatet från en pilotstudie där möjligheterna att använda anonymiserad mobilnätsdata för att hitta resmönster för Norrköpings kommun undersöks.

1.1. Bakgrund

Det har länge funnits ett intresse av att skatta resor och mobilitet med nya typer av datakällor. Mycket forskning har behandlat möjligheterna att skatta exempelvis restider, OD-matriser, och rörelsemönster från mobilnätsdata, se exempelvis González m.fl. (2008), Gundlegård och Karlsson (2009) och Calabrese m.fl. (2011).

Den första utmaningen med att skatta resmönster från mobilnätsdata innefattar att förstå vilken typ av data som är tillgänglig i mobilnätet för detta syfte. Tidigare arbete som gjorts för att identifiera vilken typ av data som är tillgänglig, och hur den kan användas för att estimerar resor finns beskrivet i exempelvis Allström m.fl. (2015). I samma källa finns också en beskrivning av möjlig användning av mobilnätsdata för prognosmodeller med fokus på svenska förhållanden. Processer för att skapa beskrivningar av efterfrågan på resor, och hur resor kan identifieras utifrån mobilnätsdata finns i publikationerna Gundlegård m.fl. (2016) respektive Breyer m.fl. (2017) vilka är skapade inom ramen för de Vinnova-finansierade forskningsprojekten "Mobile network Origin Destination matrix Estimation" (MODE, 2013) samt fortsättningsprojektet "Mobilnätsdata för Framtidens Transportsystem" (MOFT, 2017) som pågår 2017-2020. Tidigare har även en pilotstudie om statistik för långväga resande från mobilnätsdata publicerats (Gundlegård och Rydergren, 2018)

Mobilnätsdata skiljer sig markant som mätmetod jämfört med dagens resvaneundersökningar. Grunden i resvaneundersökningen är att fråga ett statistiskt kontrollerat urval av personer detaljer om resandet för en specifik dag medan mobilnätsdata samlar in observationer om förflyttningar för en stor andel av befolkning, i dagsläget utan exakt kunskap om urvalets sammansättning, kontinuerligt över en längre tid. Hypotesen är att mobilnätsdata kan användas som komplement till resvaneundersökningen för att beskriva resmönster på kommunnivå.

1.2. Syfte

Syftet med projektet är att utreda möjligheten att skatta resmönster i en region baserat på signaleringsdata från mobilnät. Utöver detta ska pilotprojektet demonstrera möjligheten att kommersiellt hantera hela kedjan från mobilnätsdata till att besvara transportrelaterade

frågeställningar hos myndighet, kommun och konsult. Specifikt har mobilnätsdata från Telenor Sverige som täcker Norrköpings kommun använts i pilotprojektet.

Syftet med detta dokument är att beskriva grunderna och resultaten från en pilotstudie för att ta fram resmönster från mobilnätsdata. Pilotstudien syftar till att undersöka möjligheten och potentialen att använda data från mobilnätet för att ta fram resmönster på regional nivå. I denna studie kommer följande frågor att besvaras:

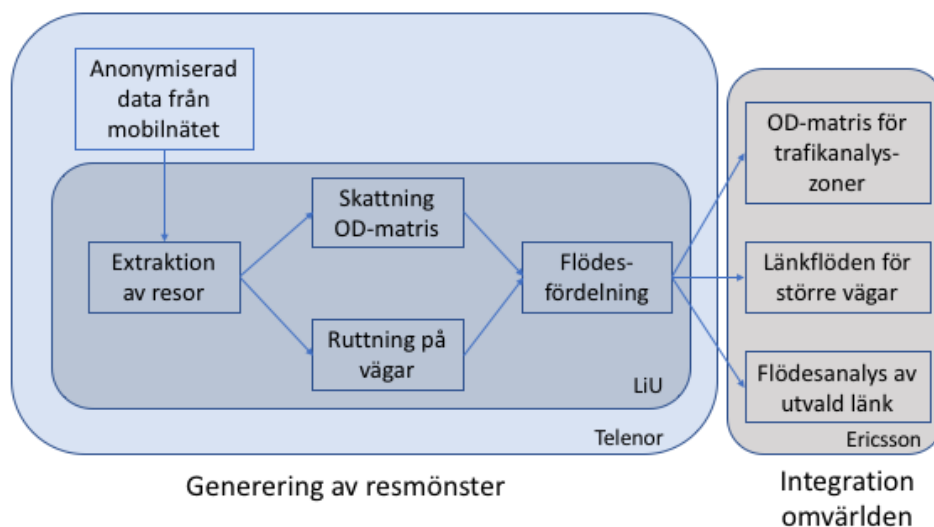
- Hur ska mobilnätsdata processas för att skatta OD-matriser?
- Hur ska mobilnätsdata processas för att skatta resmönster kopplat till utvalda väglänkar?
- Hur bra stämmer den skattade OD-matrisen överens med OD-matris skattad på konventionellt sätt?
- Hur stämmer skattade resmönster från mobilnätsdata överens med lokalt uppmätta resmönster?
- Vilka specifika frågor från kommuner och myndigheter är speciellt intressanta att försöka besvara med mobilnätsdata?
- Hur integreras datahantering och affärsmodeller i en plattform (Ericsson Innovation Cloud)?

1.3. Metod

Linköpings universitet, Telenor Sverige AB och Ericsson har inom projektet tagit fram en metod för att hantera data för resmönster från data hos operatören till data mot slutkund. I pilotprojektet har datahanteringsalgoritmer för att gå från data ur mobilnätet till resmönster från Linköpings universitet använts. Datahanteringsalgoritmerna tar anonymiserade data som indata. Data hanteras i Telenors system och det som lämnar Telenor är insikter i form av beskrivningar vanliga i transportplaneringssammanhang, väglänkflöden fördelade över en genomsnittsdag, t.ex. tim-uppdelade, och reseefterfrågebeskrivningar med samma tidsuppdelning. Flöden analyseras för relevanta delar av den valda regionen och specifikt där flöde per timma är stort. Delar där flödet är litet trunkeras från analysen.

I projektet undersöks också en integrationsplattform (Ericsson Innovation Cloud) för export av resultat från datahanteringen till en integrationsplattform, för att möjliggöra överföring av resultat till intressenter/kunder. Dessa delar hanteras av Ericsson och innebär uppsättning och test av integrationsplattformen. Integrationsplattformen syftar till att förmedla insikter i form av visualiseringar av resultat tillsammans med andra kartdata, samt betalningshantering, gentemot slutanvändare.

En övergripande beskrivning av systemet ges i Figur 1. I figuren är delar i blå nyans sådant som hanteras inom Telenors system, och delar i grå sånt som hanteras av Ericssons system.



Figur 1: Uppdelning av systemdelar.

Inom pilotprojektet har en OD-matris för Norrköping samt specifika resmönster kopplat till utvalda väglänkar tagits fram för att stödja frågeställningar från Norrköpings kommun. Input och förslag på relevanta frågeställningar kommer från Norrköpings kommun, Göteborgs stad och Trafikanalys.

1.4. Disposition

Rapporten har följande struktur. Kapitel 2 beskriver hur information från ett mobilnät kan användas för att skapa information om resor, samt beskriver vilka förväntningar man bör ha när det gäller kvalitet på denna information. I Kapitel 3 redovisas översiktligt vilka data som används och hur de har processats. Kapitel 4 beskriver den resultatspridningsplattform som testats i projektet. I Kapitel 5 presenteras resultat från dataprocessningen. I Kapitel 6 analyseras resultaten och i Kapitel 7 redovisas slutsatserna från studien.

2. Mobilnätsdata

Detta avsnitt syftar till att översiktligt beskriva den data som är tillgänglig i mobilnät i syfte att ta fram resmönster. Då delar av egenskaperna för Telenors processer för att bearbeta data är en affärshemlighet kommer detta avsnitt inte beskriva egenskaperna för de data som används i utvärderingen specifikt, utan beskrivningen är en generell beskrivning av vilka data som finns tillgängliga i ett mobilnät.

Då en stor andel av Sveriges befolkning använder sig av en mobiltelefon och denna telefon ofta tas med vid resor är det möjligt att använda mobiltelefoners rörelser som approximation för personers rörelser. Denna möjlighet gör att man på ett effektivt sätt kan utnyttja mobiloperatörernas omfattande infrastruktur för att samla in data om resor.

Mobilnät är uppbyggda som yttäckande radionät där kommunikationen i avgränsade geografiska områden hanteras av en basstation. Varje basstation består av en eller flera antenner som kan vara rundstrålande eller riktade. Täckningsområdet för varje antenn beror

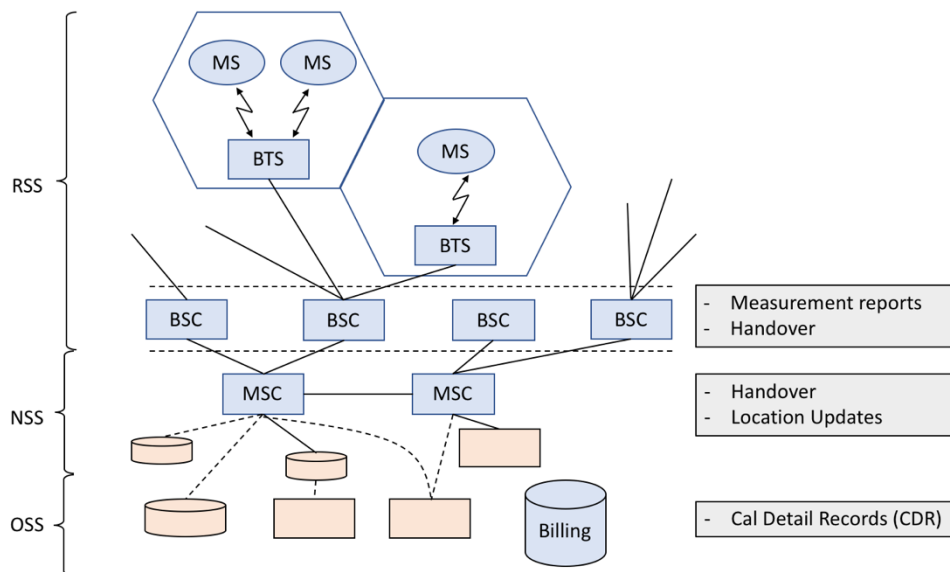
främst på antennens egenskaper och placering, exempelvis frekvens, utsänd effekt, höjd över marken och riktning. Även andra faktorer påverkar dock täckningsområdet, exempelvis mängden trafik i olika delar av nätet, väder och förändringar i utbredningsmiljön. Täckningsområdet tillsammans med algoritmer för radioresurshantering i mobilnätet samt i mobiltelefonen kommer sedan avgöra vilken antenn som används av en specifik telefon vid varje tidpunkt.

Det finns två huvudsakliga anledningar till att mobilnätet håller reda på rörelser av mobiltelefoner i mobilnätet, det ena är att möjliggöra kontinuerlig uppkoppling trots att en mobiltelefon rör sig mellan täckningsområdet för olika antenner och det andra är att möjliggöra uppkoppling av inkommande samtal eller datasessioner, dvs att mobiltelefonen är nåbar trots att den rör sig mellan täckningsområdet för olika antenner. Beroende på typen av mobilnät, typen av mobiltelefon samt hur mobiltelefonen används kommer olika information finnas tillgänglig om mobiltelefonens lokalisering i mobilnätet.

I olika delar av mobilnätet finns stora mängder information om mobiltelefonens aktiviteter, men vilken information som används för att skatta mobilitet beror på mobiloperatörens plattform för att hantera signaleringsdata och göra om den till skattningar av mobiltelefonernas position över tid. Frekvensen på hur ofta signaleringsdata skickas från mobiltelefoner kan variera från millisekund-nivå till flertal timmar beroende på hur telefonen används och vilken typ av mobilnät den är uppkopplad mot. Man kan förvänta sig att en modern telefon i rörelse genererar information som är användbar med några minuters mellanrum, men beroende på vilken data som används internt av operatören kan samplingstiden också uppgå till ett antal tiotal minuter mellan varje uppdatering.

Den rumsliga upplösningen för varje mätning av mobiltelefonens position beror på var telefonen befinner sig samt vilken typ av signaleringsdata som används. Ofta används ett uppskattat täckningsområde för varje antenn som skattning av var telefonen befinner sig och täckningsområdet för en antenn kan variera från några hundra meter i radie i tätbefolkade områden till tiotal kilometer i radie i glesbefolkade områden.

Figur 1 visar en översiktsbild över ett mobilnät och några exempel på data som är tillgänglig i olika delar i nätet. I centrala databaser (del av Operations and Support Subsystem, OSS) finns information lagrad för fakturering och dessa innehåller vanligtvis information om vilken antenn som använts vid samtal, SMS och i vissa fall även vid datauppkoppling (eng. Call Data Records, CDR). I kärnnätet (Network Switching Subsystem, NSS) finns information om uppdateringar av mobiltelefonen även vid byte av större geografiskt område samt vid ett specifikt tidsintervall (eng. location updates), exempelvis en gång per timme samt även om byte av antenn har skett under pågående samtal (eng. handover). I radionätet (Radio Subsystem, RSS) finns information om vilken cell som mobiltelefonen är uppkopplad mot samt även signalstyrka på nuvarande och närliggande celler (eng. measurement reports). Denna typ av mättrapporter kan skapas flera gånger per sekund för mobiltelefoner med pågående samtal; denna information används i dagsläget dock sällan för storskaliga mobilitetsanalyser.



Figur 2: Översiktsbild över data som genereras i mobilnätet. Här står MS för mobiltelefon, BTS för basstation, BSC för basstationsstyrenhet, MSC för central växlingsenhet och Billing den databas där CDR lagras.

För att ta fram resestatistik och mobilitetsmönster görs i ett första steg signalerings-informationen om till en sekvens av skattade områden där en mobiltelefon befunnit sig, vilken i nästa steg ska göras om till resor. Till skillnad mot RVU-data finns ingen koppling till ärende för resor, men däremot antas ofta någon form av aktivitet eller ärende utföras då mobiltelefonen inte rört sig under en viss tid och resor definieras som förflyttningar mellan dessa aktiviteter. Resedetektering baserat på mobilnätetsdata kan göras på flera olika sätt och exakt vilken metod som används kommer också påverka slutresultatet i form av hur många samt vilken typ av resor som skattas (se Breyer m.fl., 2017).

Resor från mobilnätetsdata motsvarar i första hand ett urval av populationen baserat på alla som använder den specifika operatören. Därefter kan också operatören välja att filtrera bort vissa typer av abonnemang som inte ska användas för beräkningen av statistik, det kan vara att exempelvis abonnemang som är tydligt kopplade till maskin-till-maskin-kommunikation eller andra abonnemang som av någon anledning inte bör vara med i analysen. För att statistiken ska vara representativ för hela populationen behöver en uppskalning av de resor som uppmätts utföras. Vanligtvis används operatörens marknadsandel i olika geografiska områden för att skala upp resandet. Om mer information om varje abonnent finns tillgänglig, exempelvis kön eller ålder, kan denna information användas för att göra bättre skattningar av marknadsandelen inom dessa kategorier och även kontrollerade urval kan göras baserat på denna information. Uppskalningen innebär en osäkerhetsfaktor i resultaten, speciellt om ingen information är tillgänglig om abonnenterna, men den stora fördelen med mobilnätetsdata jämfört med data från resvaneundersökningar är att uppskalningsfaktorerna är betydligt lägre samt att mätdata finns mer eller mindre kontinuerligt tillgängliga över tid.

2.1. Statistiska egenskaper

Detta avsnitt diskuterar översiktligt de statistiska kvalitetskriterier som behöver bedömas för att mobilnäsdata ska kunna fungera som underlag för resmönster i Norrköpings kommun, och vara jämförbara med de data som idag används till regionala prognosmodeller.

Relevans

Målpopulationen för de resor som estimerats från mobilnäsdata består av alla resor inom Norrköpings kommun. Variabler är reslängd, start- och slutområde samt starttid. Data från mobilnätet ges normalt i aggregerad form och presenteras för respektive variabel som antal, summanvärdet och medelvärden. Både strukturen hos mobilnätet och hur aggregeringen genomförs påverkar den geografiska upplösningen för start- och slutområdet för resan.

Tillförlitlighet

En osäkerhetskälla i mobilnäsdata är urvalet och hur uppskalningen gör för att matcha målpopulationen. Om ingen information delges om abonnenterna eller urvalet från operatören så minskar det tillförlitligheten för uppskalningen till målpopulationen. Å andra sidan är antalet abonnenter väldigt stort, så uppskalningsfaktorerna blir relativt små. Ytterligare faktorer som påverkar tillförlitligheten är eventuella abonnemang som är med i datamängden men som inte används aktivt och att personer kan ha fler än ett abonnemang med sig. Mätfel kan uppstå i processen för resegenerering i form av att resor startar eller delas upp på fel ställe. Även fel i start- och slutpunkt kan uppstå på grund av den relativt grova rumsliga upplösningen, speciellt i glest befolkade områden. Vidare kan fel i referensdata för antenner finnas, vilket också kan påverka resultatet. Algoritmer för att bestämma reslängd utifrån mobilnäsdata är komplexa och hur dessa implementeras påverkar tillförlitligheten. För att beräkna statistiken utförs automatisk bearbetning av stora mängder data och fel kan uppstå i mjukvaran som orsakar systematiska fel i statistiken.

Aktualitet och punktlighet

Statistik från mobilnäsdata genereras automatiskt och kan, teoretiskt, tas fram från och med att processen att hantera data startas. Sammanställning av statistik kan ske snabbt, och kan sammanställas kontinuerligt, t.ex. från månad till månad.

Tillgänglighet och tydlighet

Skapandet av statistik från mobilnäsdata har här baserats på att data aggregeras och anonymiseras hos mobilnäsoperatören. Tillgängligheten är därför beroende av den operatör som förväntas leverera data. Vilken typ av statistik som kommer vara aktuell att beräkna i framtiden kommer behöva utredas i detalj när förståelsen för den data som är tillgänglig har blivit bättre.

Jämförbarhet och sammanvändbarhet

För att åstadkomma jämförbarhet över tid behöver samma typ av rådata processas. Vid större förändringar i teknologin för mobiltelefoni eller vid justeringar av de algoritmer som används för hanteringen av data så behöver validering genomföras för att bibehålla jämförbarheten över tid. Hög tidsupplösning, och relativt god rumslig upplösning, gör att resestatistik från mobilnäsdata blir relativt enkel att använda tillsammans med andra typer av data. Sammanvändbarheten begränsas dock av att data anonymiseras och aggregeras.

3. Data och datahantering

I detta avsnitt beskrivs vilken typ av data som är levererad av Telenor Sverige. I Sektion 3.1. så ges en kort beskrivning av vilka data som har använts och på vilka grunder. I Sektion 3.2. beskrivs hur data har processats. I Sektion 3.3. beskrivs hur resmönstren har anpassats för att koppla till trafikanalyszoner (NYKO) som används i den trafikplaneringsmodell som Norrköpings kommun använder för långsiktig planering. Denna anpassning möjliggör jämförelse mellan de resmönster som trafikmodellen använder sig av och de resmönster som tagits fram från mobilnätdata.

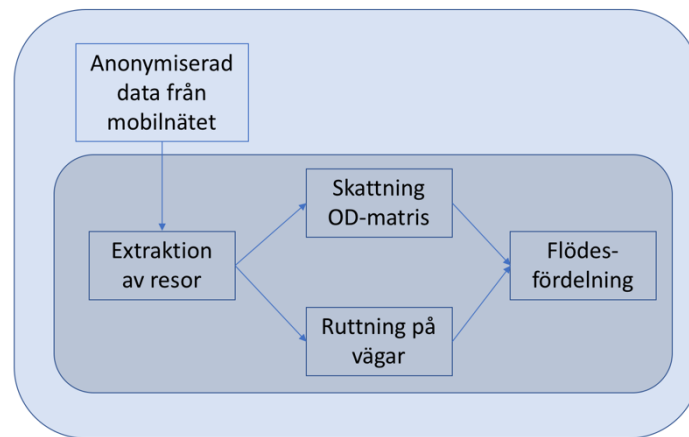
3.1. Aggregerad och anonymiserad data

Den data som har använts i pilotprojektet omfattar tre veckor, och de tre veckorna är uttagna någon gång i slutet av 2017 och början av 2018, men omfattar inte storhelger i slutet av året. Data är anonymiserad och aggregerad och manipulerad så att det inte går att identifiera en individ redan innan processen för att skapa resmönster påbörjas. Data är aggregerad för att passa de specifika analyser som görs inom piloten, och bland annat så beskriver data genomsnittliga veckodagar.

Telenor samlar på juridisk grund in trafikdata för behandling i specifika syften. Data som insamlas anonymiseras, vilket innebär att det inte går att åter-identifiera en individ baserat på behandlad data. Telenor tillämpar flera olika metoder för att anonymisera; avidentifiera, aggregera samt generera syntetisk data. Därmed finns data som har informationsvärde tillgänglig för analyser samtidigt som det sker på laglig grund utan personuppgifter. Ett exempel på sådana analyser gäller rese- och transportbehov inom regioner eller kommuner som är av stort värde för samhällets investeringar i infrastruktur. Telenor ser en stor samhällsnytta med sådan behandling av data och kan öppet och transparant redovisa att ingen känslig information behandlas. Telenor för en dialog om databehandling kontinuerligt med Datainspektionen.

3.2. Beskrivning av datahantering

Anonymiserad data från mobilnätet processas helt inom Telenors system. Processen illustreras i Figur 3. Processen består av flera steg. I det första steget analyseras data för att extrahera resor. I nästföljande steg skapas OD-matriser på timnivå för genomsnittsdagar. Dessa matriser, tillsammans med ytterligare data om resorna, används parallellt för att skapa flöden av resor. I det sista steget tas flödesfördelningen över dygnet fram, både på OD-nivå och länk-nivå.



Figur 3: Generering av resmönster.

Extraktionen av resor från mobilnätetsdata görs i flera steg. Som indata till det första steget används anonymiserade data om mobiltelefonernas antenncopplingar. Anonymiseringen innebär att data är manipulerad så att det inte går att identifiera en individ redan innan processen för att extrahera resor. I stegen som utgör algoritmen för att extrahera resor så analyseras de antennanslutningar som respektive mobiltelefon gjort, samt den ungefärliga tidpunkten då anslutningarna skett.

I projektet har flera algoritmer för extraktion av resor provats. Algoritmerna som provats baseras på två olika tekniker, endera på att identifiera när förflyttning med säkerhet inte sker (stoppbaserade), eller på när förflyttning med säkerhet sker (förflytningsbaserade).

I algoritmerna baserade på den förstnämnda tekniken, kallat stoppbaserade, bokförs tiden mellan förflyttningar, och en resa avslutas när ingen förflyttning gjorts inom en viss tid. Vid den efterföljande identifierade förflyttning antas en ny resa ha påbörjats. Tröskelvärde i tid för när resan avslutas har i testerna som gjorts varit mellan en och två timmar. Fördelen med denna typ av teknik är att det går att relatera längden på det stopp som krävs för att en ny resa ska påbörjas till en definition av en resa. I många fall definieras att en resa (i resvaneundersökningssammanhang ofta kallad delresa) tar slut när resenären stannar för att utföra ett ärende. Från denna typ data kan inte ärendet identifieras, men under förutsättning att ett ärende tar, säg, en timma att utföra, så går det att se en tydlig koppling till hur resor från mobilnätetsdata identifieras och en definition av en delresa.

Algoritmerna baserade på identifiering av förflyttning är mer komplicerade att beskriva. De baseras inte på att stopp identifieras, utan att med stor säkerhet fastställa att förflyttning gjorts och sälla bort brus och anslutningar som rimligen inte är kopplad till en fysisk förflyttning. För de data som använts i denna pilot har experiment visat att algoritmen för förflytningsbaserad identifiering har skapat resor som stämmer bättre med övergripande statistik (se Kapitel 5 för vilka mått vi använt). Nackdelen med denna typ av algoritm är att det är svårare att koppla de resulterande resorna till en resedefinition som bygger på att ett minimal tid krävs för att utföra resans ärende vid destinationen.

När extraheringen av resor är genomförd, görs ännu ett anonymiserings- och aggregeringssteg där resor med vissa speciella egenskaper tas bort, och resornas start och slutpunkter kopplas till

trafikanalyszoner för rumslig aggregering som förenklar vid analys och visualisering. För vissa analyser aggregeras data ytterligare, bland annat för att beskriva genomsnittliga veckodagar (måndag, tisdag, etc.). I algoritmen som används för extraktionen av resor finns flertalet tröskelvärden som används för att identifiera resorna. Vid hanteringen av data i detta projekt så är tröskelvärden satta så att förflyttningar som är kortare än 1 km inte kommer med bland resorna.

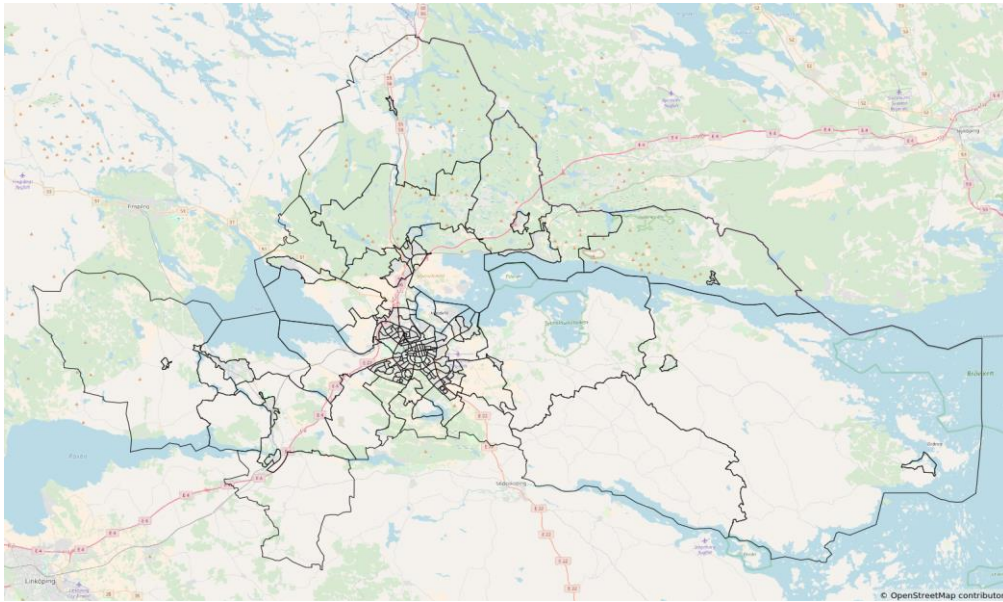
Många av resultaten och analyserna som kan göras från de resor som kan identifieras från mobilnätsdata kan göras utan att flödet skalas upp för att motsvara totalbefolkningen. Dessa analyser och resultat bygger då på ett antagande om att mobilnätsabonnenterna är jämnt fördelade i regionen; ingen information om operatörens marknadsandelar har använts. För de resultat och analyser där resandet är uppskalat för att representera totalbefolkningen har vi använt information om estimerat totalt resande i Norrköpings kommun. Denna information kommer från den trafikplaneringsmodell som används i Norrköpings kommun.

De algoritmer som används för att skapa resor utifrån data finns beskrivna i Breyer m.fl. (2017a). Hanteringen för att gå från resor och OD-matriser till flöden på länknivå finns beskriven i Breyer m.fl. (2017b).

3.3. Beskrivning av trafikanalyszoner

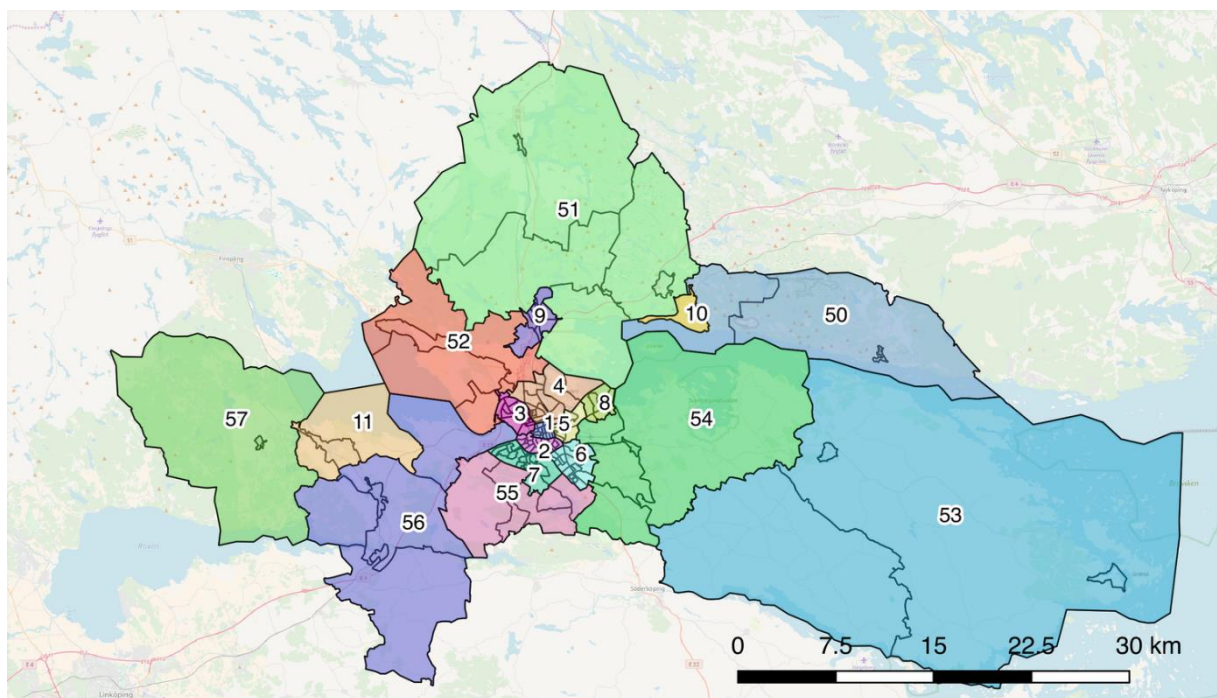
Norrköpings kommun har en VISUM-modell (PTV) som används för att göra scenarioanalyser och trafikprognoser. Modellen används i flera sammanhang för att analysera framtida effekter av tänkta investeringar och förändringar i transportsystemet och markanvändningen i kommunen. Ett exempel på användning av denna prognosmodell finns i WSP (2012).

Prognosmodellen för Norrköpings kommun baseras på att kommunen är indelad i trafikanalyszoner. Varje trafikanalyszon svarar mot en nyckelkodområdesregion (NYKO) tillgängliga via SCB. En illustration över hur trafikanalyszonerna ser ut inom Norrköpings kommun finns i Figur 4. I denna indelning finns 189 trafikanalyszoner, inklusive sådana ”zoner” som representerar områden utanför kommunen.



Figur 4: Trafikanalyszoner för Norrköpings kommun.

För vissa typer av analyser av resor från mobilnätdata är denna indelning lite för finmaskig. En aggregering av dessa trafikanalyszoner har därför skapats. En illustration av den aggregerade indelning som använts och som innehåller 24 zoner, illustreras i Figur 5. Varje färg utgör en zon. Numreringen är sådan att zoner med nummer 1 till 11 representerar tätbebyggt område, zoner med nummer 50 till 57 ligger utanför tätbebyggt område (större zoner). Utöver dessa så finns punkter numrerade 91 till 95 vilka symboliserar "externa zoner". Dessa "externa zoner" är kopplingar mot omvärlden utanför kommunen och har inte en begränsad geografisk utbredning.

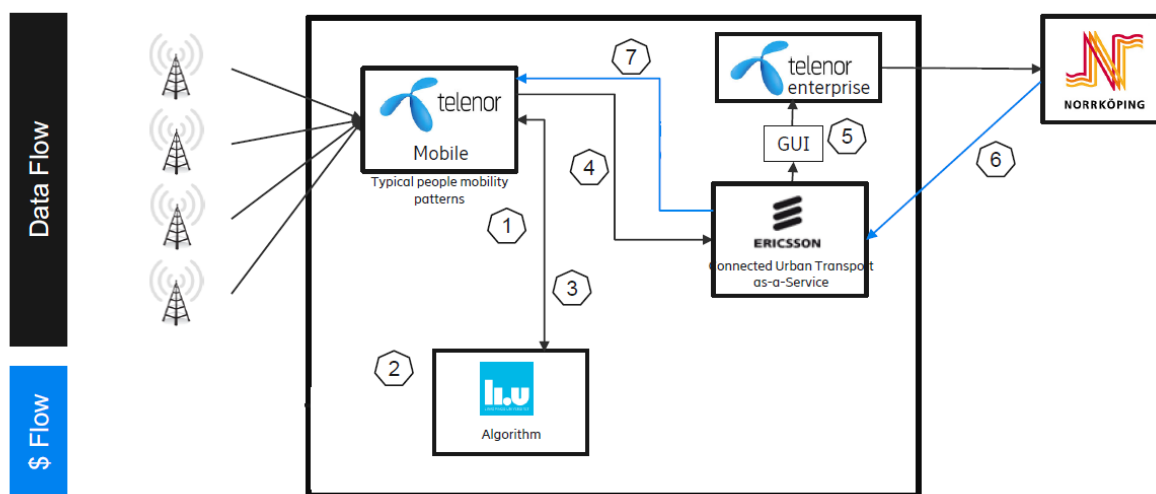


Figur 5: Aggregering av trafikanalyszoner för Norrköpings kommun och dess numrering.

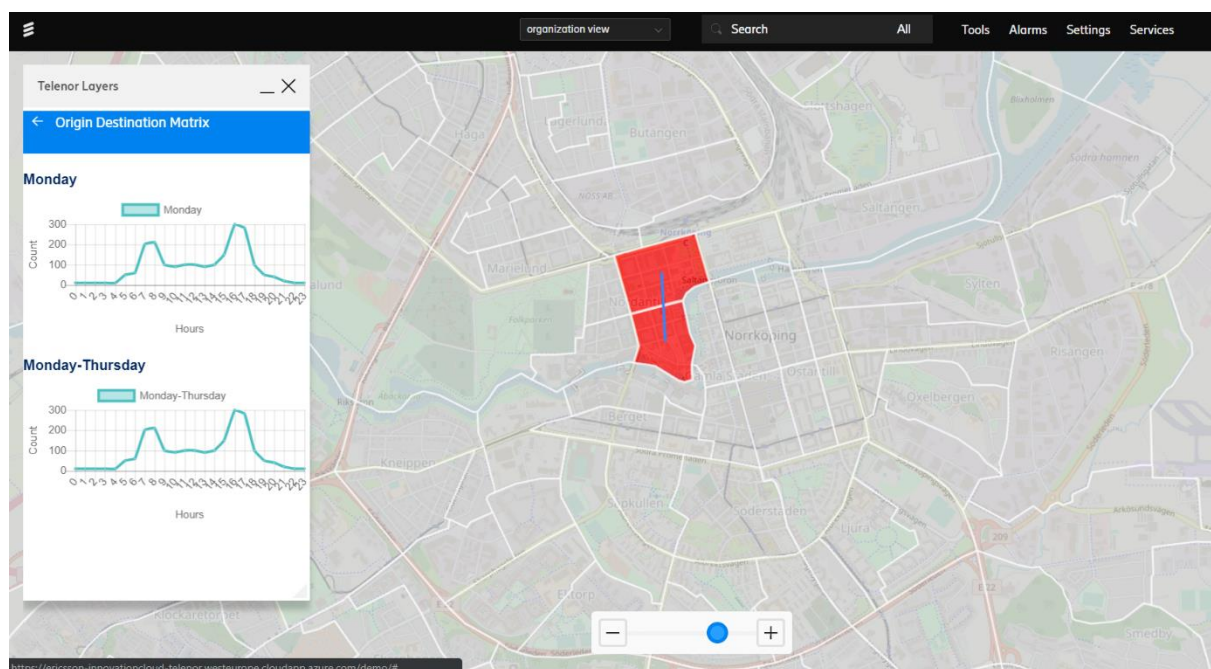
4. Integrationsplattform

Inom pilotprojektet har Ericssons integrationsplattform Ericsson Innovation Cloud anpassats och testats. Integrationsplattformen utgör gränssnittet mellan de resultat som kommer från de algoritmer som processat mobilnätdata för att ge insikter användbara för trafikanalyser och användaren av dessa insikter. Integrationsplattformen hanterar användare av insikterna och håller koll på vem som har tillgång till vilken typ av insikter. Plattformen innehåller också system för att logga vilka data som används via ett Application Programming Interface (API). Plattformen är kopplad till ett bakomliggande ekonomisystem som gör det möjligt att på API-nivå ta betalt för användandet. Plattformen innehåller även en möjlighet att visualisera de givna dataflödena på en karta för att exemplifiera resultatet, se Figur 7. Vid användning av data hos användaren så kommer data med största sannolikhet att konsumeras direkt från API:et.

En översikt av hur integrationsplattformen hänger ihop med övriga delar finns illustrerad i Figur 6. I figuren så illustrerar flöde av information vid punkt 1, 2 och 3 hur algoritmer utvecklade av Linköpings universitet appliceras på data inom Telenors system. I det webbgränssnittet som är kopplat till integrationsplattformen väljer kunden vilka insikter som ska hämtas ur systemet (4). Dessa insikter presenteras sedan i samma gränssnitt (5). En skärmbild av hur webbgränssnittet ser ut för slutanvändaren finns i Figur 7. Utöver funktioner för att hämta data via API:et från Telenor-systemet så går det information tillbaka till Telenor om vilka API-anrop som har konsumerats. Baserat på hur systemet är konfigurerat så kan kunden också debiteras baserat på vilka API-anrop, och därmed resultat, som använts.



Figur 6: Översikt över relationen mellan insikter från mobilnätdata, integrationsplattform och kund.



Figur 7: Exempel på kartbild med zonindelning, valt zon-par samt exempel på flöde mellan zonerna över dygnet såsom den ser ut i integrationsplattformen.

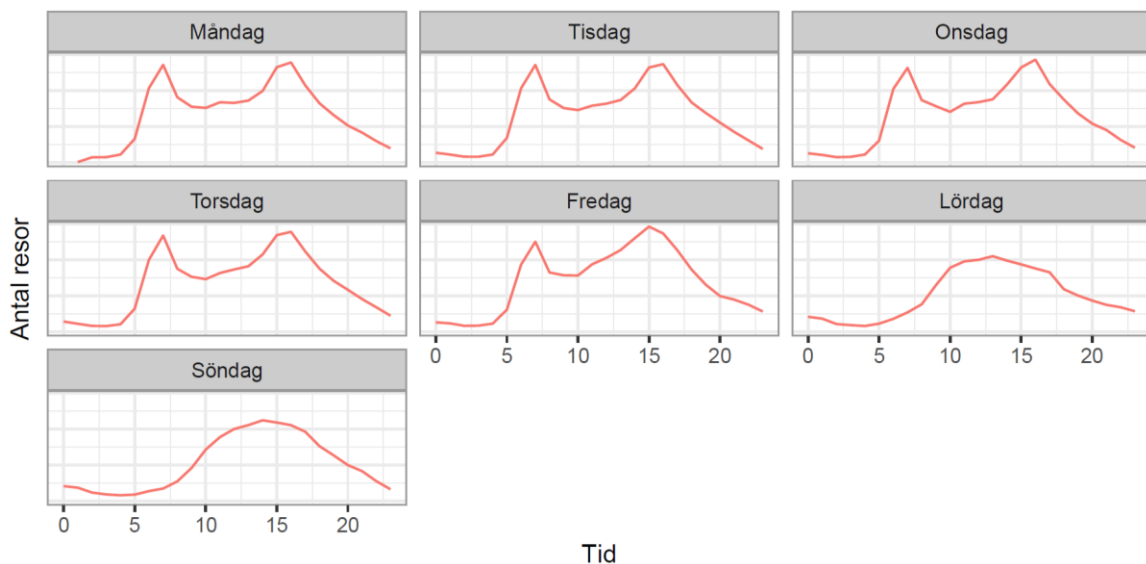
5. Resultat

I detta avsnitt presenteras de resmönster inom Norrköpings kommun som resulterar från hanteringen av anonymiserad mobilnätdata. Resultaten innehåller beskrivningar av flöden och resors fördelning i tid och rum. De resultat som presenteras i detta avsnitt analyseras genom jämförelse med tidigare kända resmönster och flöden i Avsnitt 6.

För de resultat och analyser där resandet är uppskalat för att representera totalbefolkningen har vi använt information om estimerats totalt resande i Norrköpings kommun. Denna information kommer från den trafikplaneringsmodell som används i Norrköpings kommun, vilket i sin tur är skattade från de resvaneundersökningar som modellen är baserad på. Det estimerade totala antalet resor gjorda med cykel, bil, yrkestrafik (HGV) och kollektivtrafik i och mellan NYKO-zonerna och mellan de "externa zonerna" i kommunen är 347000 resor per dygn.

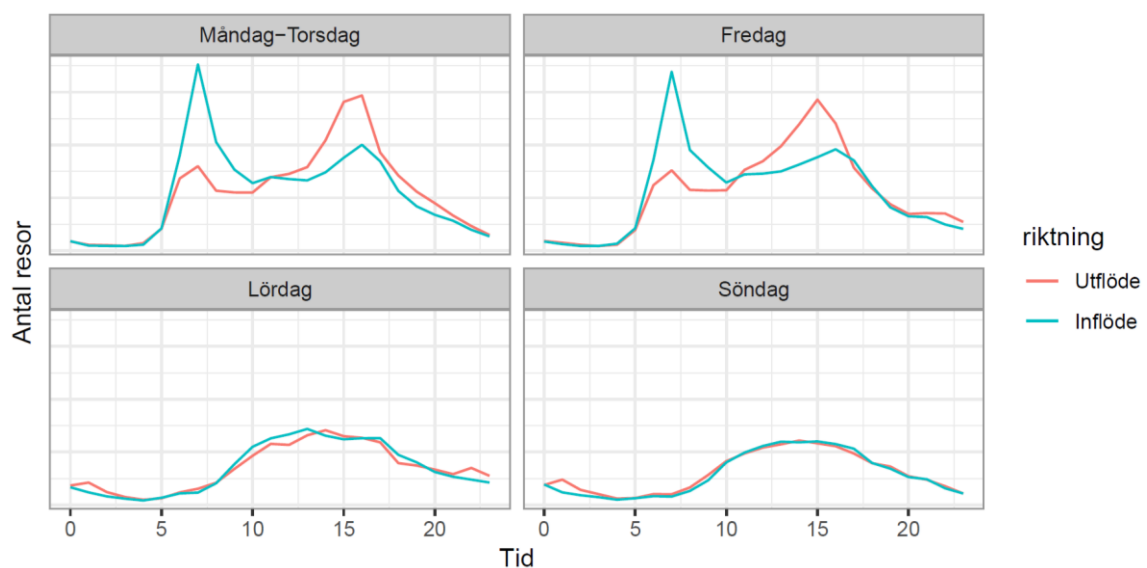
5.1. Resors spridning över dygnet

Resultatet i denna del visar resefördelningen över dygnets timmar baserat på starttid för resorna genererade från mobilnätdata. I Figur 8 visas fördelningen över dygnets timmar för alla resor. Från flödesprofilerna för dygnets timmar kan vi notera att måndag till och med torsdag har profiler som är snarlika, medan dessa och fredagar, lördagar och söndagar uppvisar olika profiler. Vi har därför valt att slå samman måndag till och med torsdag i flera av de efterföljande resultatredovisningarna.



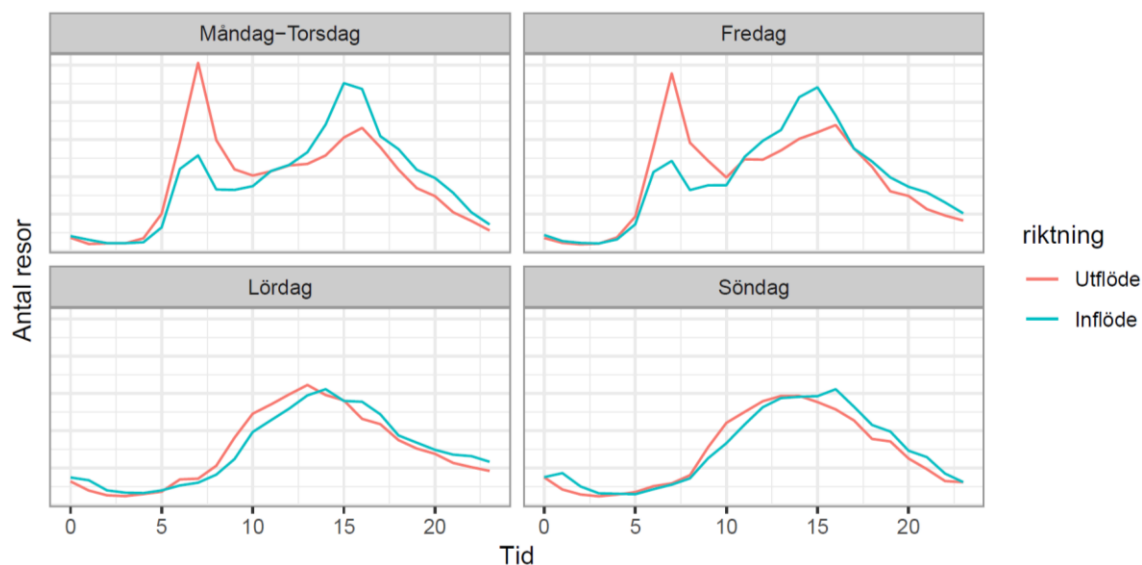
Figur 8: Resornas fördelning över dygnet för olika veckodagar.

I Figur 9 visas inflöde och utflöde till och från de centrala delarna av Norrköping, centrumzonen, som är Zon 1 (se Figur 5). Från Figur 9 kan man notera att under vardagar så attraherar centrumzonen mer flöde under morgontimmarna än under övriga timmar på dygnet, samt att under vardagseftermiddagar så är utflödet ut ur zonen större än under övriga timmar. Under lördag och söndag så är utflöde och inflöde av samma storleksordning för varje timma under hela dygnet.



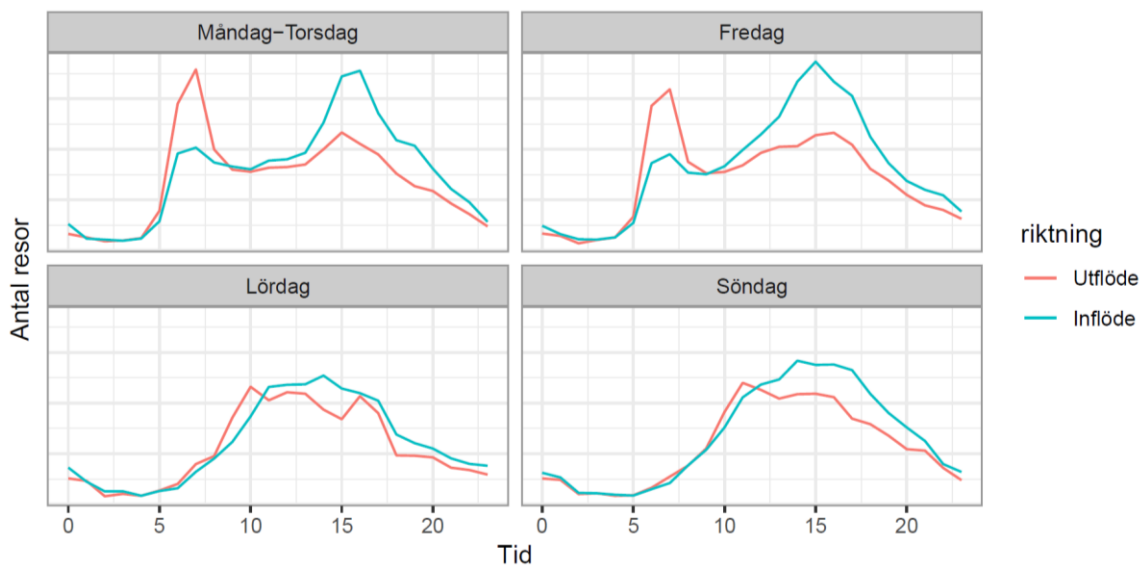
Figur 9: Inflöde respektive utflöde över dygnets timmar för centrumzonen, Zon 1.

I Figur 10 visas inflöde och utflöde till och från området runt Hageby (zon 6), som ligger i den sydöstra delen av Norrköpings kommun. Hageby har mestadels flerfamiljshus och har ett större köpcentrum. Utflödes och inflödesprofilerna visar att fler resor går från Hagebyområdet under vardagsförmiddagar och fler resor går till området på vardagseftermiddagar än under vardagsdygnens övriga timmar. För helger så är denna trend betydligt mindre, även om det går att skönja lite mer utflöde tidigare på dagen, och lite mer inflöde senare på dagen.



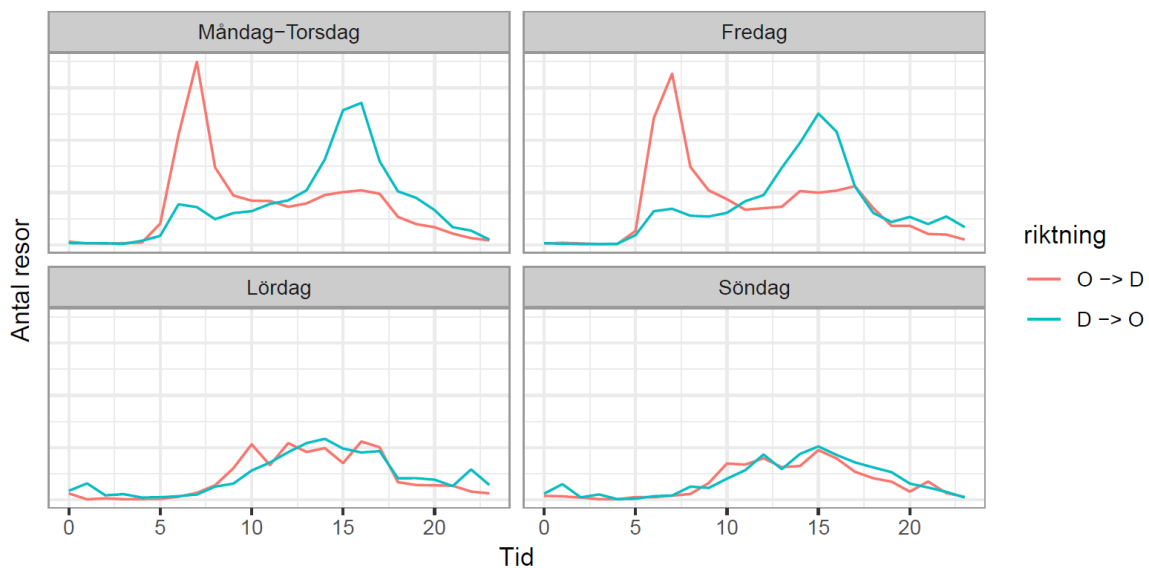
Figur 10: Inflow respektive utflyde över dygnets timmar för trafikanalyszon kring Hageby, Norrköping Sydost (zon 6).

Ett liknande mönster som kunde identifieras för Hageby-området, kan ses i Figur 11, för trafik till och från Åby (zon 9).



Figur 11: Inflow respektive utflyde över dygnets timmar för trafikanalyszon Åby (zon 9).

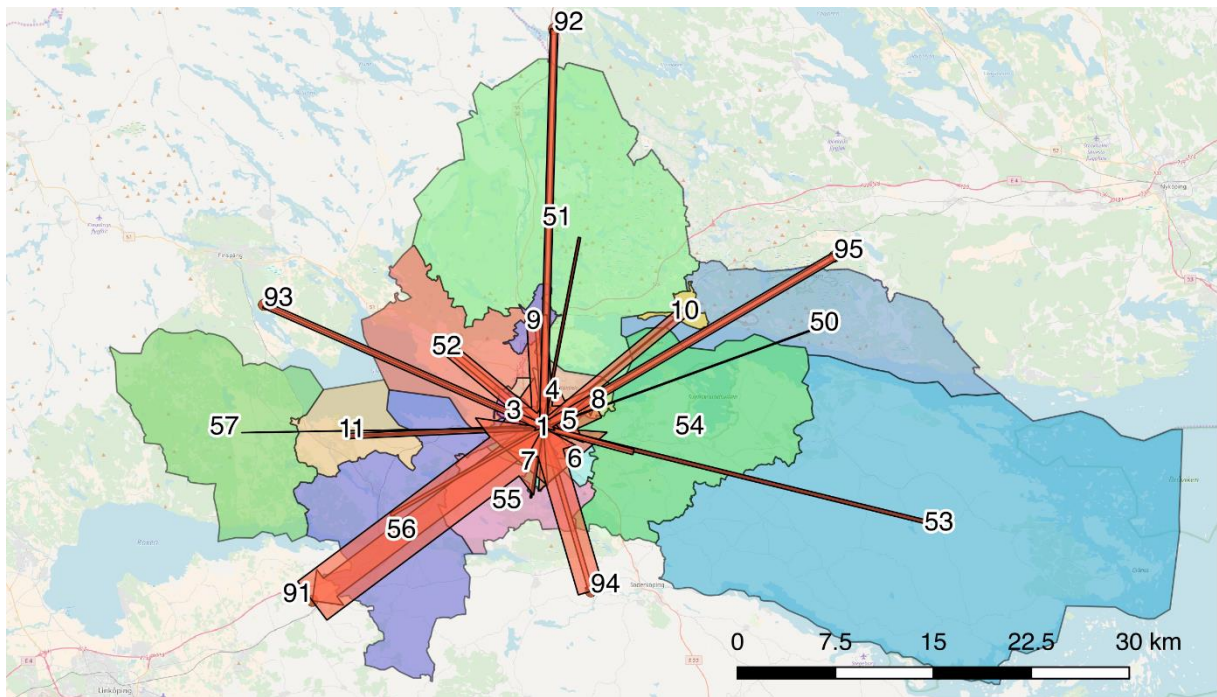
Flödet av resor har också analyseras mellan par av zoner. Flödet ges då från en zon till en annan. I Figur 12 så visas tidsprofilen för resor mellan Åby-zonen (zon 6) och centrumzonen (zon 1). Den röda kurvan ger profilen för resor från Åby mot centrum och den blå från centrum mot Åby. Från figuren kan vi notera ett liknande mönster som för resor till och från Åby totalt, se Figur 11, att resor från Åby görs till stor del på morgonen, och resor till Åby sker på eftermiddagen.



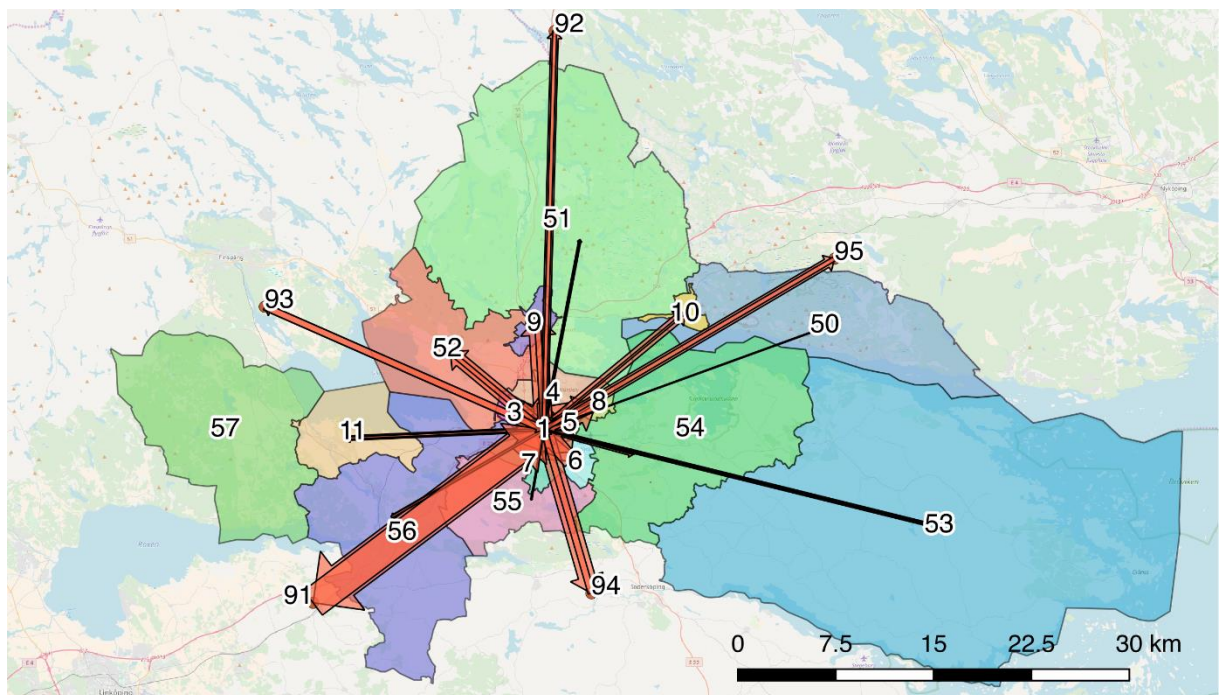
Figur 12: Tidsprofil för resor mellan Åby (O) och Centrum-zonen (D).

5.2. Resors spridning mellan trafikanalyzoner

Genom att titta på inflöde och utflöde av resor i utvalda trafikanalyzoner kan spridningen av resor illustreras. I Figur 13 och Figur 14 illustreras inflöde och utflöde från centrumzonen (zon 1) för en timma under morgonen respektive en timma under eftermiddagen. Vid en jämförelse mellan figurerna kan man notera att inflödet till centrumzonen under morgonen, illustrerad i Figur 13, är större än utflödet från samma zon när det gäller resor som kommer från Linköpingshållet (från externa zonen 91) och när det gäller resor från Söderköpingshållet (externa zonen 94). Från Figur 14 kan noteras att samma asymmetri i inflöde och utflöde inte gäller under eftermiddagstimmen åt Linköpingshållet (extern zon 91), men att utflödet mot Söderköping (extern zon 94) är större än inflödet.



Figur 13: Resor till och från centrumzonen (zon 1) mellan 07.00 och 08.00 en genomsnittsmåndag.

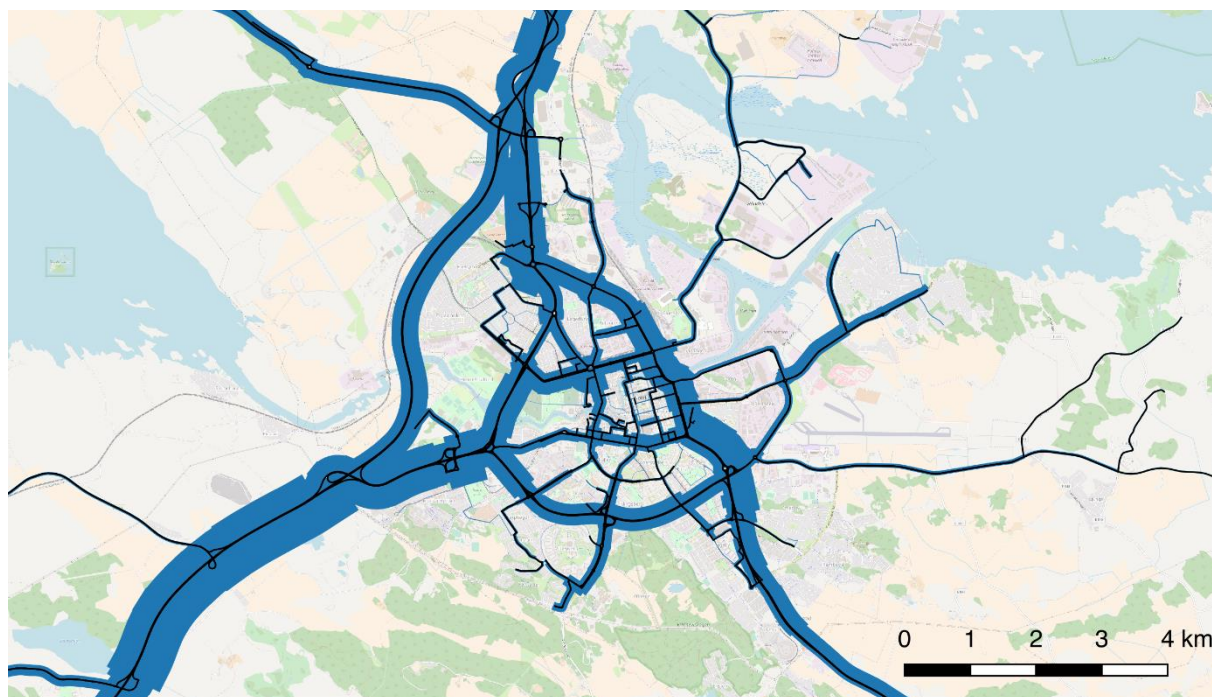


Figur 14: Resor till och från centrumzonen (zon 1) mellan 16.00 och 17.00 en genomsnittsmåndag.

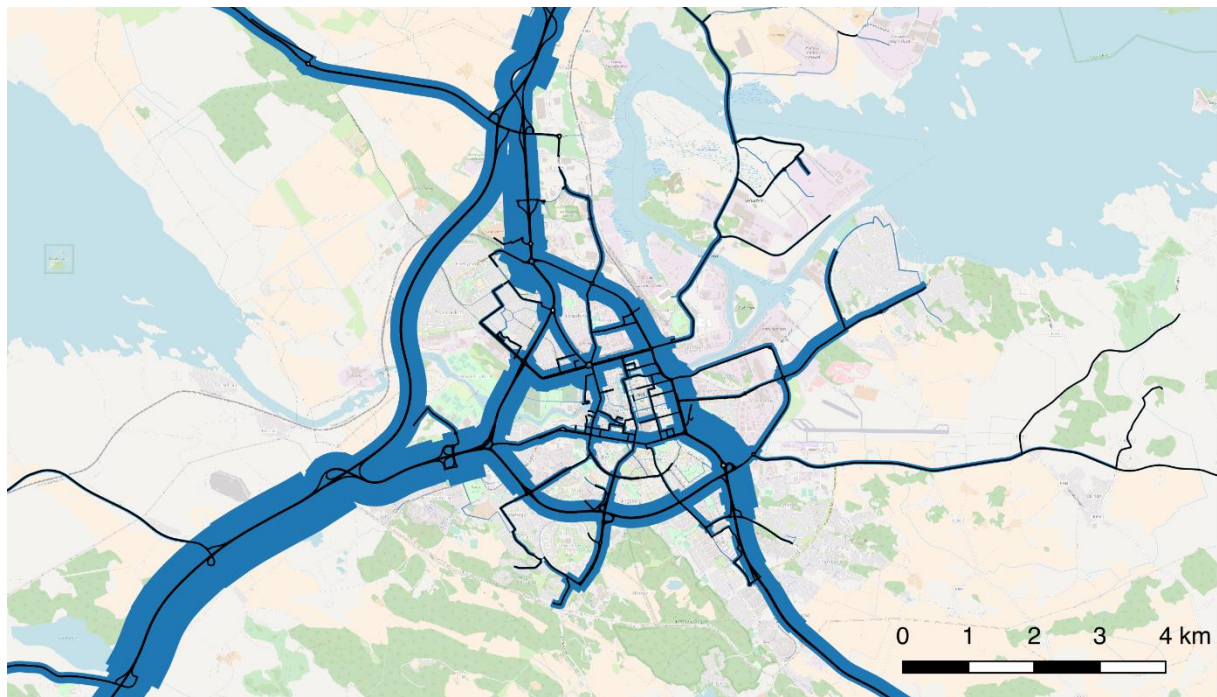
5.3. Länkflöden

För att bättre förstå hur flödet fördelas i vägnätet har resorna extraherade från mobilnätetsdata lagts ut på vägnätet. Figurerna i detta avsnitt visar den efterfrågan som tagits fram utlagd på vägar. Notera att det är resor som lagts ut, ingen estimering eller omräkning till antal fordon har gjorts. Utläggning av resor på vägnätet i de resultat som presenteras i detta avsnitt har gjort med en förenklad process jämför med den process som utvecklats och beskrivits i Breyer m.fl. (2017a). Här läggs resorna ut enbart baserat på den färdväg som motsvarar den billigaste vägen, med länkkostnader baserar på länkresterid där restiden räknats fram baserat på skyltad hastighet. Det underliggande nätverket som använts för ruttning är den nationella vägdaten NVDB.

I Figur 15 visas efterfrågan mellan 07.00 och 08.00 och i Figur 16 efterfrågan mellan 16.00 och 17.00 utlagd på vägnätet. Skillnaderna i flödet på länkar mellan dessa två tidsperioder är relativt liten på många av länkarna även om det är tydligt att mer trafik kommer in mot centrum från Söderköpingshållet (söder ifrån) under morgonen än det åker ut under eftermiddagstimmerna. För att skapa flödesbilderna i Figur 15 och Figur 16 har tågresor exkluderats. Exkluderingen av tågresor har åstadkommit genom analys av vilka antennanslutningar som gjorts.

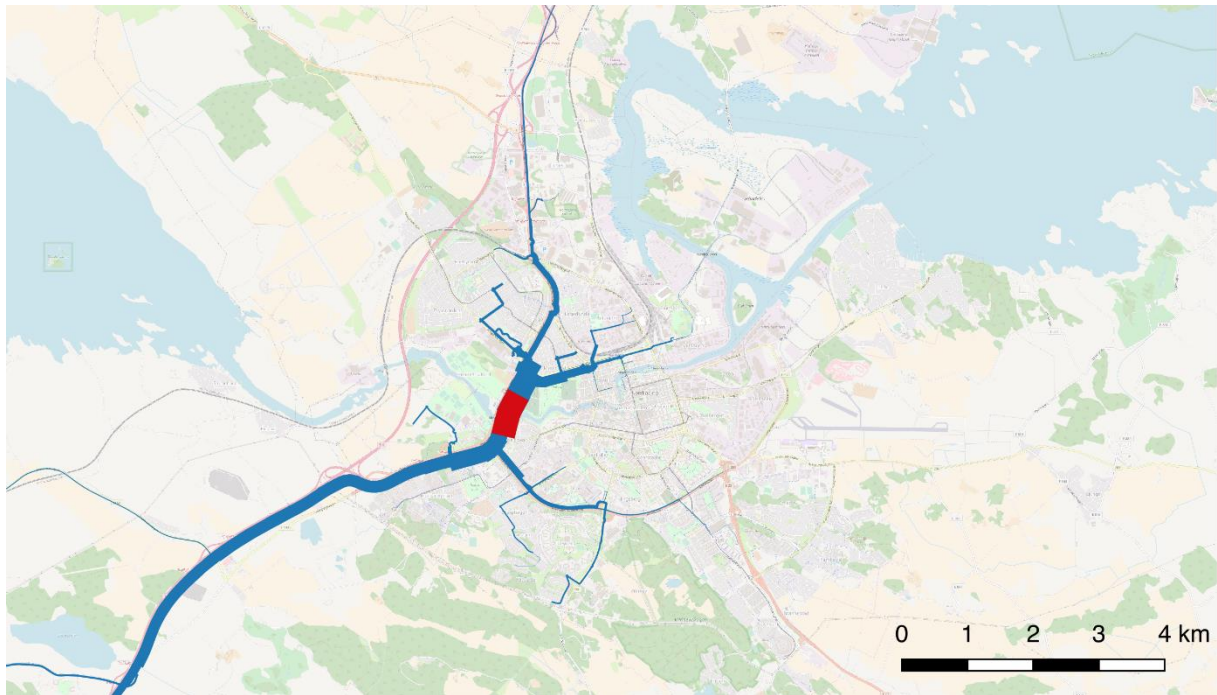


Figur 15: Visualisering av länkflöden efter att resorna från mobilnätet lagts ut på vägnätet, måndag 07.00 till 08.00.



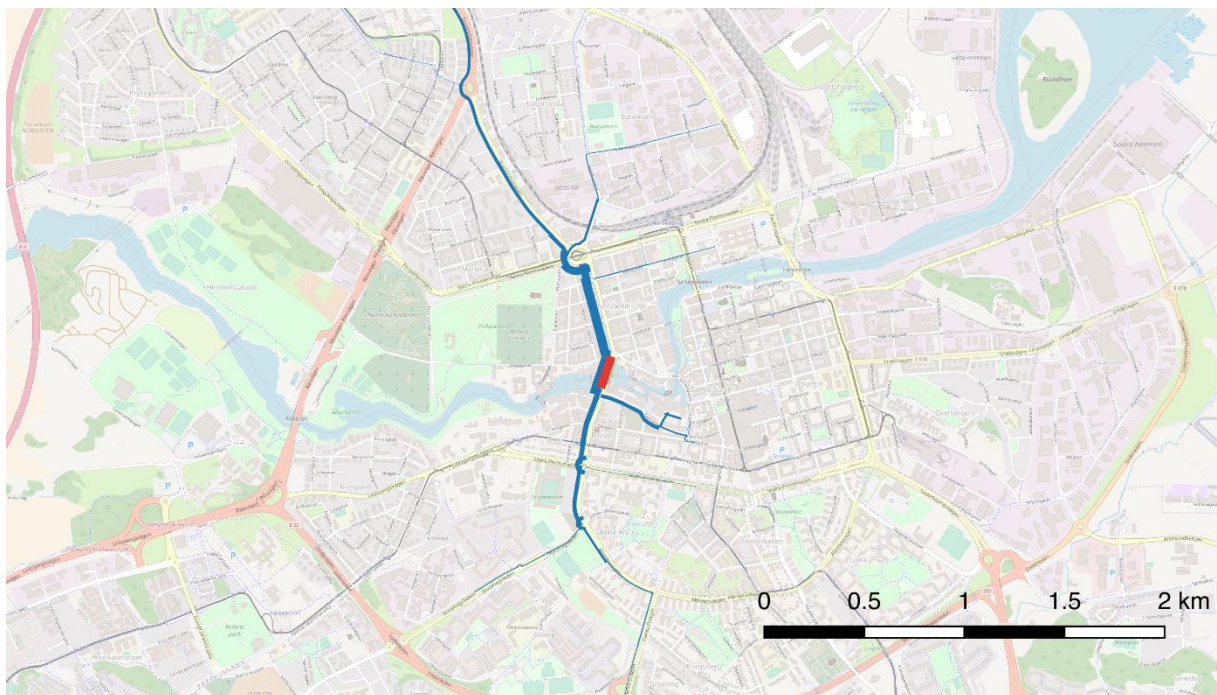
Figur 16: Visualisering av länkflöden efter att resorna från mobilnätet lagts ut på vägnätet, måndag 16.00 till 17.00.

Baserat på de flöden som är visualiserade i Figur 15 och Figur 16 går det att analysera vilka resor det är som passerar ett specifikt vägsegment. I Figur 17 illustreras de estimerade färdvägarna för de resor som passerar den bro som finns på Riksvägen genom Norrköping, i riktning nordöst mellan klockan 16.00 och 17.00 en genomsnittsmåndag. I figuren kan man notera att majoriteten av de som använder detta vägsegment kommer från E4 västerifrån, och en relativt stor andel resor som kommer via Söderleden, söderifrån.



Figur 17: Visualisering av de resor som passerar bron på Riksvägen i Norrköping, riktning norrut, genomsnittlig måndag 16.00 till 17.00.

I Figur 18 illustreras de resor som passerar Bergsbron i riktning söderut mellan klockan 16.00 och 17.00 en genomsnittsmåndag. En stor del av resorna som använder detta vägsegment kommer från Stockholmsvägen.

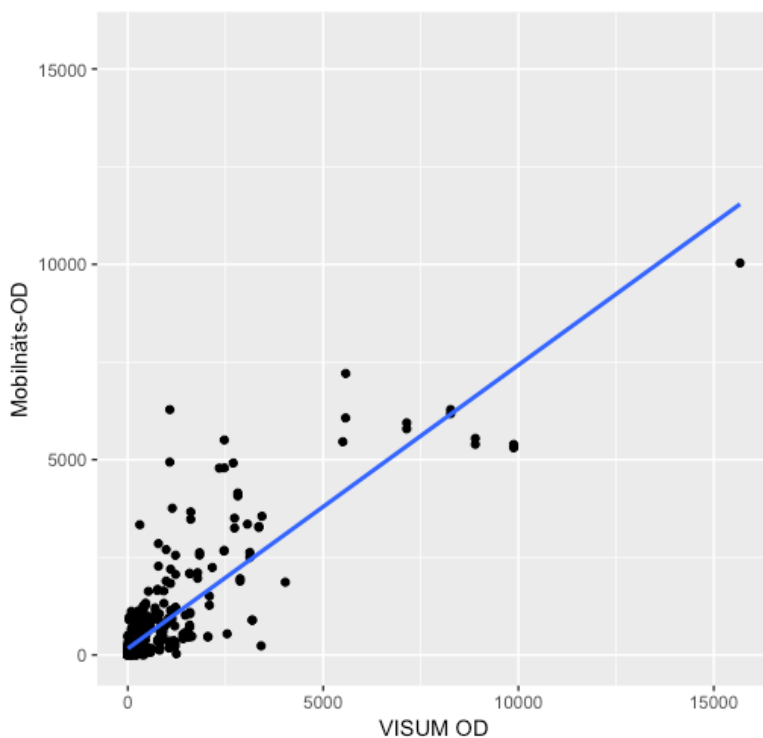


Figur 18: Visualisering av de resor som passerar Bergsbron i Norrköping, riktning söderut, genomsnittlig måndag 16.00 till 17.00.

6. Analys

För att kontrollera rimligheten i de efterfrågematriser som tagit fram från mobilnätsdata, vilka presenterats i Avsnitt 5, så behöver efterfrågan jämföras med motsvarande information från en annan källa. Den enda källa till efterfrågematriser för Norrköpings kommun som finns tillgänglig under pilotprojektet är de efterfrågematriser som återfinns i den trafikmodell som Norrköpings kommun använder. Trafikmodellen innehåller enbart reseefterfrågan på dygnsnivå.

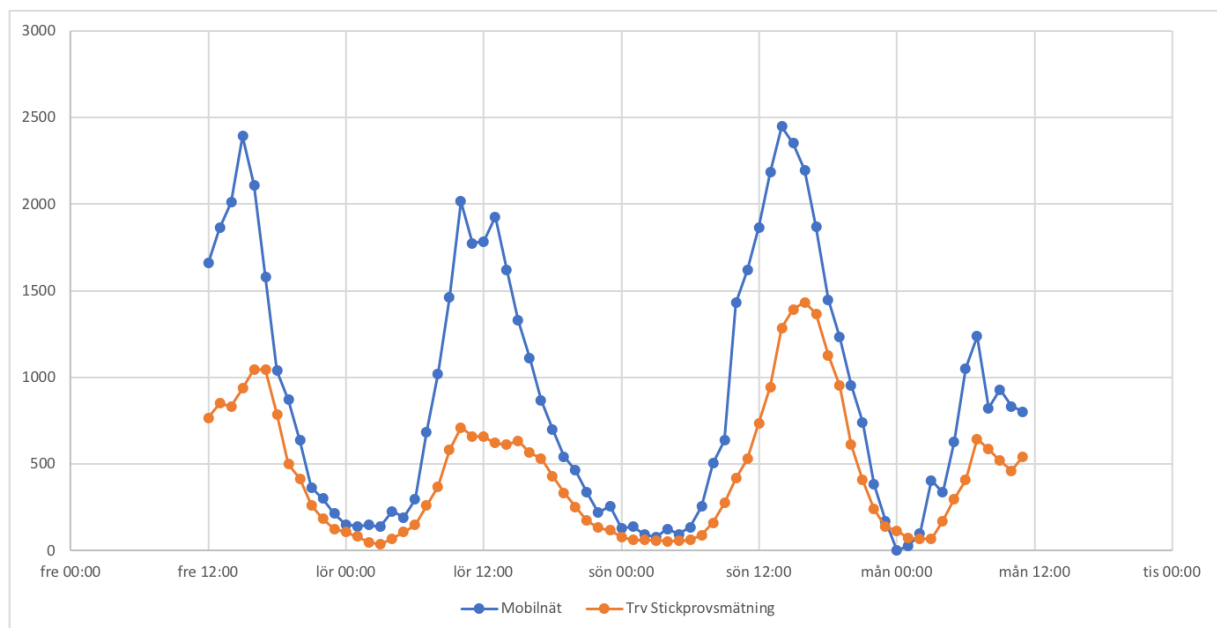
I Figur 19 har korrelationen mellan reseefterfrågan från mobilnätsdata och trafikmodellen för par av zoner illustrerats. Modellens värden har tagits fram genom att aggregera de data som finns i modellen (NYKO-områden) till den zonindelning som redovisats i Figur 5. Då efterfrågan i modellen enbart finns på dygnsnivå så har efterfrågan från mobilnätsdata aggregerats till dygnsnivå.



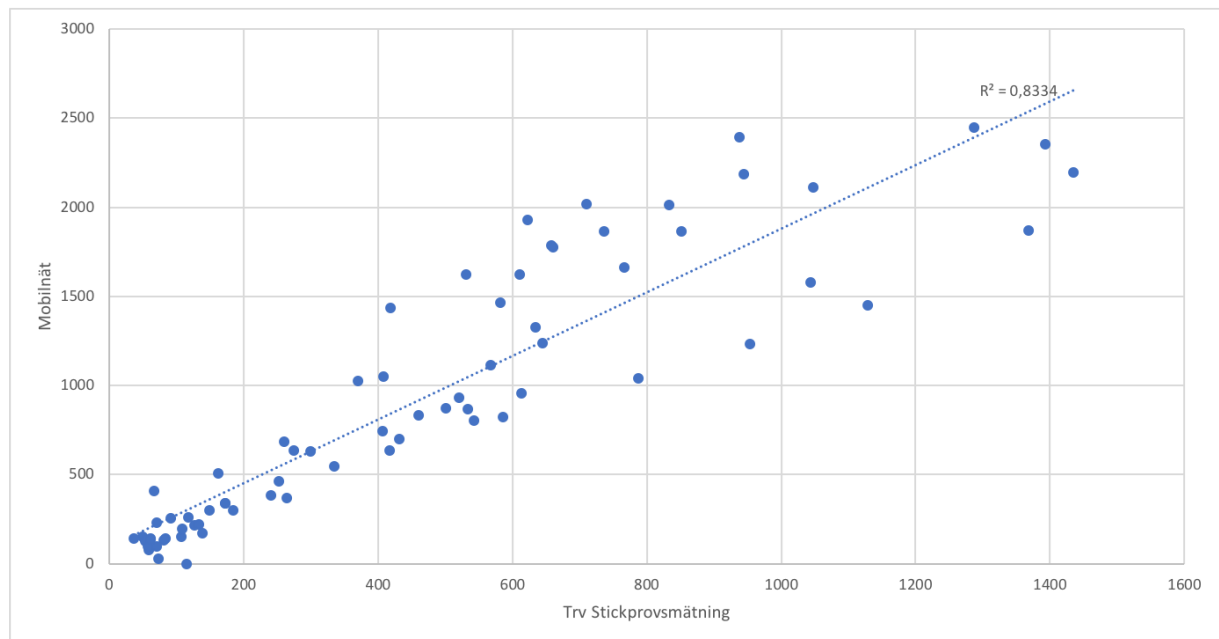
Figur 19: Korrelation mellan flöde i Norrköpings VISUM modell och observerade resor från mobilnätsdata.

För att vidare jämföra kvaliteten på resultaten har en jämförelse mellan antal utlagda resor från mobilnätsdata på ett vägsegment jämförts en stickprovsmätning utförd av Trafikverket (Trafikverket 2018, mätpunkt 9620052). Resultaten av återfinns i Figur 20 och Figur 21. I Figur 20 visas antalet fordonspassager respektive antalet resenärer som passerar mätpunkten för varje timma. I Figur 21 illustreras korrelation mellan mätningarna; varje punkt i figuren motsvarar

genomsnittliga flödet uppmätt under en timma. Stickprovsmätningen är gjord mellan 10:e och 13:e oktober 2014 och data på antal fordon per timma från klocka 12 fredag den 10:e till efterföljande måndag klocka 12. Notera att stickprovsmätningen är från ungefär 3 år tidigare än de mobilnätdata som använts. Jämförelserna är dock inte rättvisa i det att stickprovsmätningen mäter antalet fordon som passerat och data för mobilnätdata ger antalet telefoner, vilket antagligen ligger närmare antalet resenärer. När det gäller personbilar är en vanlig konverteringsfaktor mellan resor och fordon omkring 1.27 personer per bil (Stockholmsforsöket, 2018). Från kurvorna så ser det ut som om data från mobilnätdata eventuellt överskattar flödet även om en konvertering till fordon skulle gjorts. Förklaringen till överskattningen från mobilnätdata ligger med stor sannolikhet i brister i den skalning som gjorts från antalet mobiltelefoner till totalbefolkning. Det finns dock en tydlig korrelation mellan antalet fordon och observationerna från mobilnätdata, vilket också ses i Figur 21.

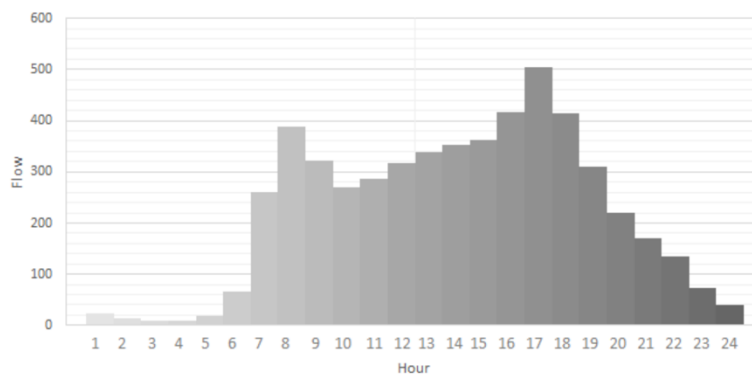


Figur 20: Flöde per timma på vägsegment på E4 från Norrköping i riktning mot Nyköping för stickprovsmätning respektive mobilnätdata.



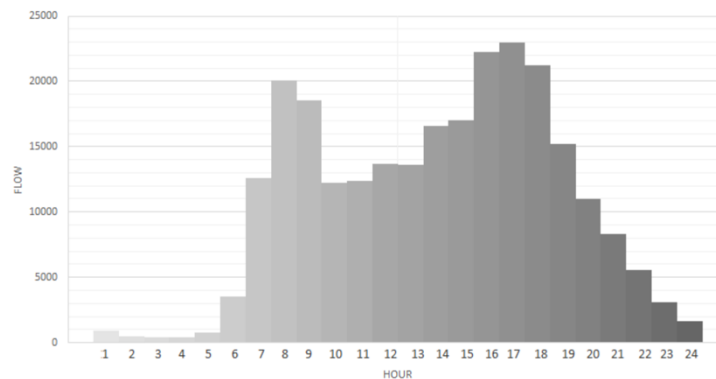
Figur 21: : Korrelation mellan flödesmätning per timma på vägsegment på E4 från Norrköping i riktning mot Nyköping från stickprovsmätning respektive mobilnätdata.

Den prognosmodell som Norrköpings kommun använder modellerar trafiken ett vardagsmedeldygn, och flöden och reseefterfrågan är inte uppdelad över dygnet i modellen. Dock gör Norrköpings kommun kontinuerligt trafikmätning av biltrafiken. Dessa mätningar kan aggregeras till timnivå, vilket har gjorts i Lindström och Persson (2018). Bilflödet från dessa mätningar aggregerat på timnivå återfinns i Figur 22 (figuren är direkt hämtad ut Lindström och Persson, 2018).



Figur 22: Genomsnittligt bilflöde per timma från trafikräkningsdetektorer enligt Lindström och Persson (2018).

I rapporten Lindström och Persson (2018) har ett försök att dela upp den OD-matris som används i trafikmodellen av Norrköpings kommun på antal resor per timma över dygnet. Den resulterande uppdelningen överdygnet från rapporten återfinns i Figur 23. Då Figur 22 och Figur 23 enbart visar flödesmätning och efterfrågeestimat för bilresor är figurerna inte direkt jämförbara med diagrammen i Figur 8, men uppvisar en liknande fördelning.



Figur 23: Reseefterfrågan på bilresor fördelat över dygenet framtaget i Lindström och Persson (2018).

De efterfrågedata som ligger till grund för figurerna i Avsnitt 5.2 ger stora möjligheter att modifiera en befintlig trafikmodell för att beskriva dagens resande. Befintliga trafikmodeller bygger normalt på modellerat destinationsval. I dessa modeller används tillgänglighet till destinationer som indata för att modellera vilka resenärer som åker var; tillgängligheten tas fram baserat på en generaliserad kostnad, vilken ofta består av restid. För regioner där denna typ av modell inte stämmer bra med verkligheten så skulle de data som illustreras ovan ha stor potential att förbättra kvaliteten på modellen, och därmed på de analyser som görs med modellen.

7. Slutsatser

Syftet med projektet har varit att utreda möjligheten att skatta resmönster i Norrköpings kommun baserat på signaleringsdata från mobilnät. Baserat på de resultat och analyser som gjorts bedöms möjligheten att få fram övergripande resmönster för en region av den storlek som Norrköpings kommun har som mycket god. Den rumsliga upplösningen som finns innebär dock att det finns en nedre gräns för hur korta resor som med säkerhet kan identifieras från mobilnätsdata. Så länge analysen görs med trafikanalyzoner av den storleksordning som används i denna rapport så är resultaten tillfredsställande. Med en finare zonindelning så behövs mer information, som exempelvis mobilnätets konfiguration, tas med vid hanteringen av data för att ge säkra resultat.

Utvärderingen av kvaliteten på de resmönster som har identifierats från mobilnätsdata är inte enkel. Även om det för Norrköpings kommun finns resvaneundersökningar och en välkalibrerad trafikmodell, så finns, av förklarliga skäl, inga andra uppmätta OD-matriser att jämföra resultaten med. Även om den trafikmodell som jämförelser är gjord mot är välkalibrerad så ska man inte förvänta sig att den är med verkligheten helt överensstämmande på grund av att modellen bygger på förenklingar, t.ex. i form av ett underliggande gravitationsmodell-antagande när det gäller destinationsvalet i modellen.

Tyvärr möjliggör den hantering av mobilnätsdata som använts i detta projekt inte något försök till slutsats angående resans färdmedel. Detta gör att det inte går att göra direkta jämförelser med tillgängliga trafikmätningar för t.ex. bilresor och cykelresor. Trots dessa tillkortakommanden när det gäller data att validera mot, har vi analyserat korrelation mellan observerat OD-flöde från mobilnätsdata och det OD-flöde på dygnsnivå som idag används i trafikplaneringssammanhang för Norrköpings kommun och konstaterat att de överensstämmer

tillräckligt för att på relativt kort sikt kunna använda sig av denna data som ett viktigt komplement till övriga datakällor.

De resmönster som genererats från mobilnätsdata ger en uppdelning av flöde över tid. Hur bra en sådan fördelning av resor över dygnet speglar verkligheten går vanligen att korrelera mot resvanedata. I fallet Norrköpings kommun har vi inte haft tillgång till enkätdata som innehåller avresetider för de insamlade resorna. Därför har ingen analys av korrelation mellan resmönstren från mobilnätsdata gjorts direkt mot enkätdata. Den preliminära analysen av korrelation mellan resor på utvalda vägsträckor från mobilnätsdata och flödesmätningar visar att flödesuppdelningen över tid har god överensstämmelse.

De resmönster som har genererats för Norrköping finns att titta på via den integrationsplattform för resultatspridning som tagits fram. Denna plattform möjliggör att en extern part ges möjlighet att ta del av resultaten. Plattformen har ett webbgränssnitt där resultaten kan analyseras och exporteras. Plattformen håller ordning på vilket användare som har tillgång till vilken typ av data, hur mycket data som varje användare konsumerar samt hanterar de ekonomiska transaktionerna kopplat till detta.

De trafikplaneringsfrågor där modeller traditionellt används är ofta trafikslagsövergripande. De resmönster som tagits fram i denna studie har inte kopplats till färd sätt. Det innebär att de resultat som presenterats i denna rapport ofta inte är direkt användbara, utan behöver förädlas. Utöver det så är flertalet frågeställningar av intresse för Norrköpings kommun kopplade till fordonsrörelse (bil och cykel) på specifika vägsegment. För individuella vägsegment så är osäkerheten i de flödesdata som tagits fram i denna rapport från mobilnätsdata stor, jämfört med traditionella trafikmätningar. Tittar man på fördelningar av trafik, t.ex. fördelning av resor över dygnet och data för start och destinationspunkter för resor så är kvaliteten på en övergripande nivå god, och överträffar andra typer av mätningar.

Flera av de tillkortakommanden som nämnts går att åtgärda genom en förfinad hantering av mobilnätsdata. Även om inte t.ex. färdmedel går att observera direkt från data, så kan estimat baseras på dessa data. Mer detaljerad information om, till exempel, hur antennerna som används av mobilnätsoperatören är konfigurerade, och hur dess faktiska täckningsområde är, har potential att leda till god kvalitet på estimaten. Även den process som behövs för att gå från en enskild mobilnätsoperatörs data, till uppskalning till hela befolkningen påverkar framtagna absoluta flöden. Att använda en förfinad process för denna uppskalning behöver göras innan kvaliteten på absoluta flödesnivåer utvärderas. Hur bra kvalitet som kan nås för identifiering av färd sätt och för absoluta flöden behöver framtida studier analysera.

Referenslista

Allström A., Fransson, M., Kristoffersson, I. och Gundlegård, D. (2015) Mobilnätsdata som indata till prognosmodeller. Tillgänglig på https://www.trafikverket.se/contentassets/773857bcf506430a880a79f76195a080/forskningsresultat/mobilnatsdata_prognosmodeller_final_rad56_webb.pdf [Hämtad 2018-09-11]

Breyer, N., Rydergren, C. och Gundlegård, D. (2017a). Cellpath Routing and Route Traffic Flow Estimation Based on Cellular Network Data. The Journal of Urban Technology, 1–20. <https://doi.org/10.1080/10630732.2017.13869>

Breyer, N., Gundlegård, D., Rydergren, C. och Bäckman, J. (2017b) Trip extraction for traffic analysis using cellular network data. I 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), Naples, sidorna 321–326. Tillgänglig på <https://doi.org/10.1109/MTITS.2017.8005688>

Calabrese, F., Di Lorenzo, G. Liu, L. och Ratti, C. (2011) Estimating origin-destination flows using opportunistically collected mobile phone location data from one million users in Boston Metropolitan Area, IEEE Pervasive Computing, 10 (4), sidorna 36-44

González, M., Hidalgo, C.A. och Barabási, A-L. (2008) Understanding individual human mobility patterns, Nature, 453, sidorna 779–782

Gundlegård, D. och Karlsson, J.M. (2009) Handover location accuracy for travel time estimation in GSM and UMTS, IET Intelligent Transport Systems, 3(1), sidorna 87-94.

Gundlegård, D. och Rydergren, C. (2018) Resestatistik för långväga resande baserat på aggregerade och anonymiserade mobilnätdata, Tillgänglig på: <https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/underlagsrapporter/2018/rapportliu-telia-trafa20180205.pdf>

Gundlegård, D., Rydergren, C., Breyer, N. och Rajna, B. (2016). Travel demand estimation and network assignment based on cellular network data. Computer Communications, 95, sidorna 29–42. Tillgänglig på <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2016.04.015>

Lindström, A., och Persson, F. (2018) Estimation of Hourly Origin Destination Trip Matrices for a Model of Norrköping, Examensarbete Linköpings universitet, LiU-ITN-TEK-A—18/025—SE

MODE (2013), Mobile network origin-destination estimation. Projektwebbsida. Tillgänglig på <http://transportanalyticslab.se/mode.html> [Hämtad 2018-06-29]

MOFT (2017), Mobilnätdata i framtidens transportsystem. Projektwebbsida. Tillgänglig på <http://transportanalyticslab.se/moft.html> [Hämtad 2018-06-29]

Stockholmsförsöket (2018) Webbsida: <http://www.stockholmsforsoket.se/templates/NewsPage.aspx?id=8433> [Hämtad 2018-09-11]

Trafikverket (2018) Kartor med trafikflöden, webbtjänst på <https://www.trafikverket.se/tjanster/trafiktjanster/Vagtrafik--och-hastighetsdata/Kartor-med-trafikfloden/> [Hämtad 2018-09-11]

Trivector (2017), Detaljerad kartläggning av verktyg och applikationer för resvaneundersökningar. Tillgänglig på <https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/underlagsrapporter/2017/detaljerad-kartlaggning-av-verktyg-och-applikationer-for-resvaneundersokningar.pdf> [Hämtad 2018-09-12]

WSP (2012) Trafikutredning Saltängen, 2012-04-19, <https://next.norrkoping.se/wp-content/uploads/Trafikutredning2.pdf> [Hämtad 2018-09-12]