

Slutrapport till Energimyndigheten för Energieffektivisering, transportpolitik och regionförstoring.

R. Daniel Jonsson

*Transportvetenskap, KTH **

2014-12-15

* daniel.jonsson@abe.kth.se

Introduktion

Projektets syfte är att analysera hur stor potential ett samlat grepp på energieffektivisering till exempel genom miljöbilspolitik, transportåtgärder och planering av bebyggelsen skulle kunna ha på energianvändningen.

Det finns långt gående ambitioner om att energieffektivisera transportsystemet och att reducera transporterens klimat- och miljöpåverkan. Samtidigt finns det starka motkrafter bland annat i form av en pågående regionförstoring som leder till allt längre resor. För att bedöma hur effekter av åtgärder i transportsystemet, till exempel trängselskatter, koldioxidskatt, avskaffande av reseavdrag mm, påverkar resandet och transporterens energianvändning behövs ökad kunskap om hur åtgärderna påverkar energianvändningen och hur de samspelar med regionförstoringen.

Skillnaden mellan att planera för kollektivtrafikhäna bebyggelse och en mer perifer, bilorienterad bebyggelse kan ha relativt stor inverkan på det totala resandet med bil. Tillsammans med ekonomiska styrmedel kan planering av markanvändningen därför ha stor potential att påverka energianvändningen i transportsystemet.

Den här rapporten har följande upplägg. I nästa avsnitt ger vi en översikt över de frågor vi angripit i projektet, följt av ett avsnitt som beskriver det genomförda arbetet. Ett avsnitt diskuterar några av de kopplingar till andra projekt som finns. Det näst sista avsnittet reflekterar över hur komplexiteten i modellsystemet medför att vi behöver utveckla våra metoder för hur vi hanterar mjukvaruutveckling. Det är ett något oväntat, men inte desto mindre viktigt, bidrag från det här projektet. Avslutningsvis diskuterar vi framtida forskning som görs möjlig av att vi har byggt upp modellsystemet.

Bilagor

Vi hänvisar till några bilagor i den här rapporten där vi går igenom de modeller vi beskriver i avsnittet om genomfört arbete:

- *CTS347 Beslutsbev* Beslutet från CTS om medfinansieringen. Där framgår att CTS beslutat att bidra med 270 kSEK. Av dessa medel har ca 15kSEK använts hittills. Vi räknar med att kunna forska för dem under våren 2015.

- *RegentDocs* En mer teknisk dokumentation av modellsystemet, kallat *Regent*, vi utvecklat i det här projektet. Det rapport som bifogats är en snapshot av den web-baserade dokumentation vi håller på att bygga upp. Dokumentationen under utveckling finns på <http://regent-docs.azurewebsites.net/>.
- *LUTI-litteratur, LUTI-review* Två dokument referenser till litteraturen kring interaktionen mellan markanvändning och transporter. Vi har inte skrivit någon litteraturöversikt i det här projektet. Det finns redan bra sådana i litteraturen. Flera av projektets medarbetare från KTH/CTS har varit delaktiga i två studier TÖI gjort åt norska vägverket om just interaktionen mellan markanvändning och transporter. Rapporternas status är dock inte klara i nuläget.
- *CTS2014-10* En rapport till Trafikverket om tester att integrera transportmodellen i Regent med två nya nätutläggningsprogramvaror. Det arbetet ledde till en hel del felrättning och validering av transportmodellens resultat.
- Egentligen borde vi kanske också bifogat programkoden, eftersom det i slutändan är där huvudresultatet från detta forskningsprojekt finns. Sammanlagt består programkoden av över 2000 rader kod och en stor mängd indata, i form av trafiknätverk, scenarioantaganden och beteendeparametrar. Vi har inte bifogat programkoden, men tillgång till den kan förstås fås tillgång till på begäran.

Bakgrund

Det här projektet är ett ganska ambitiöst försök att använda existerande modeller tillsammans med nyutvecklade till att analysera regionförstoringens effekter på energianvändningen. Vårt huvudsakliga fokus ligger på energianvändningen i transportsystemet, men eftersom begreppet regionförstoring är förknippat med kombinationen av var man bor och arbetar behöver vi modellera hur förändringen i bostädernas lokaliseringsmönster över tid påverkar resandet.

För att kunna analysera regionförstoringens inverkan på transportsystemet behöver vi vidga perspektivet från det som normalt görs i transportanalyser. Transportmodeller utgår ifrån att förändringar i transportsystemet ger upphov till ändrat resbeteende. Förändringarna bygger på skattade modeller av hur

människor värderar olika egenskaper hos resan och destinationen. Ett sätt att se på det är att det existerar en transportmarknad där ändrade förutsättningar leder till anpassningar i människors efterfrågan på de olika transporttjänster den marknaden erbjuder. Regionförstoring är intressant på det sättet att vi tvingas vidga analysen till att även inbegripa bostadsmarknaden och arbetsmarknaden eftersom vi nu är intresserade av den interaktion som sker mellan dem.

En av de viktiga insikterna är att trots att diskussioner kring regionförstoring ofta handlar om själva pendlingsresan så bidrar övriga resor i hög grad till att det är svårt att uttala sig om hur energianvändningen påverkas av ett nytt lokaliseringsmönster. Ett bra exempel på det är hur Stockholms tunnelbana påverkar resandet. När man tittar på hur tunnelbanan är utformad (Maria Börjesson, R. Daniel Jonsson, and Mattias Lundberg 2012) blir det tydligt att den är ger väldigt bra tillgänglighet till arbetsplatser, det vill säga den är bra för pendlingsresandet. Det återspeglas också i den höga andelen kollektivtrafik i Stockholmsregionen för just arbetsresorna. Destinationerna för övriga resänderen är dock inte alls lika koncentrerade till kollektivtrafiknära platser, exempelvis för besöksresor eller rekreation. Det gör att för de resor som inte är pendling i mycket högre utsträckning görs med bil.

Projektets mål

Målen vi satte upp i ansökan var

1. Ta fram metoder för att beräkna energianvändningen i transportsystemet med hjälp av en existerande transportmodell.
2. Förbättra metoderna för hur skatter, avgifter och andra politiska beslut påverkar bilarnas energianvändning och hur dessa påverkar resebeteendet.
3. Utveckla en modell som kan beskriva hur transportsystemet interagerar med planeringen av markanvändningen och påverkar lokaliseringsbeslut, regionförstoring och utglesning.
4. Ta fram scenarier som kan illustrera potentialen för energibesparingar i transportsystemet.
5. Dra slutsatser när det gäller både framtidens åtgärder för att minimera energianvändning i system av städer samt framtidens analysverktyg för löpande regional policyanalys.

Det största arbetet har varit att genomföra punkt 3. Genom att införa agentbaserad simulering av alla individer i ett relativt stort område, hela Mälardalen, så kan vi modellera interaktionen mellan demografiska förändringar, inkomstfördelning, och beslut inom transportsystemet och lokaliseringen. Agentsimuleringen är central för den möjligheten då vi dels kan differentiera beteende mer men också få konsistens mellan de olika besluten. I nästa avsnitt, *Modellutveckling*, beskriver vi kortfattat de förbättringar vi gjort. Även avsnittet *Andra lärdomar* är ett resultat av denna utveckling. Där diskuterar vi problematiken att använda komplex programkod i forskningssammanhang.

Punkt 2 har också genomförts, mycket beroende på just agentsimuleringen. Kostnader och priser påverkar olika individer olika mycket beroende till exempel på vilken inkomst de har och vilka andra möjligheter de har. På så sätt kommer till exempel vår modell för bilnehavet (och därför även bilparkens storlek) att reagera annorlunda på ändringar i inkomst. Vår modell tar hänsyn till att det spelar roll vem som får inkomstförändringen (eller kostnadsförändringen). Tidigare modeller har endast tagit hänsyn till genomsnittliga inkomster. Så om vi använder en inkomstökning som exempel så spelade det tidigare ingen roll om en höginkomsttagare med två bilar får ökningen eller om någon utan bil får den. Det spelar roll i vårt modellsystem. Därför blir den känsligare för vissa typer av policyverktyg, men också i vissa fall mindre känslig då den tar mer hänsyn till individuella begränsningar. Tidigare modeller har riskerat att överskatta människors anpassningsförmåga till vissa typer av förändringar. En sak att notera är att jämfört med den första ansökan vi skickade in så har vi tonat ner första delen av punkt 2 på begäran från Energimyndigheten.

För punkt 1 har vi också tagit fram de data vi behöver. Det har inte varit meningsfullt att implementera dem fullt ut ännu, då antagandena om energieffektivitet har mer med scenarioskapande och -analys att göra än med modellsystemets utformning. De kommer förstås in och påverkar beteendet via de variabler som påverkas av priser och energiåtgång. För energianvändningen i bostadsbeståndet har vi sammanställt material från Energimyndighetens egna uppgifter så att energianvändningen från våra markanvändningsprognoser blir så konsistenta som möjligt med dem. Vissa förenklingar har varit nödvändiga, då Regent endast räknar med genomsnittliga storlekar (på kommunnivå) på lägenheter och småhus

Punkt 4 och 5 har vi inte slutfört ännu. Vi har redan redovisat skälen till det i den begäran om förlängning som skickades in i november i år. I avsnittet

Resultat redovisar vi ändå några illustrativa exempel på resultat från en något förenklad simulering med Regent. Av samma skäl vi anför i begäran om förlängning har vi inte haft möjlighet att validera och designa scenarier för alla delar av modellsystemet ännu, därför har vi genomfört simuleringar med vissa funktioner avstängda. De visar ändå på några av de möjligheter vi ämnar dra nytta av i kommande scenarioanalyser.

Modellutveckling

Inledningsfasen bestod i att inventera existerande modellverktyg och kunskap i projektgruppen för att mer i detalj avgöra vilka vi kan återanvända och vilka vi behöver uppdatera. Vi identifierade prisbildningen på bostadsmarknaden som den svåraste nöten att knäcka av de vi realistiskt kunde ta oss an. Det finns andra mekanismer som vi får låta bero till framtida forskning, som till exempel hur arbetsmarknaden kan inkluderas i modellsystemet på ett bättre sätt. Vi har ej implementerade modeller för hur arbetsplatserna fördelas utifrån förändringar i tillgänglighet, men de borde utvecklas vidare, för att ta in ny forskning (Pagliara, F. et al. 2013).

Vi har valt att inte skriva en litteraturoversikt i projektet då det redan finns bra sådana i forskningslitteraturen. Vi skickar dock med listor över den relevanta litteraturen i två bilagor.

Vi vill i så stor utsträckning som möjligt använda existerande modeller då de är testade och använda i tidigare studier, vilket gör att deras egenskaper är väl kända. Det är önskvärt eftersom en del av de nyutvecklade modellerna kommer att vara experimentella till sin natur. En av våra viktigaste uppgifter är att försöka validera modellsystemets resultat. På grund av tillgången till data (resvanor, demografi, socio-ekonomi) kommer vi att använda 2006 som vårt utgångsläge. Detta medför att vi kan använda tiden som förflutit sedan dess att jämföra modellresultaten med för att säkerställa att modellsystemet beter sig på ett rimligt sätt. Det är värt att notera att det inte innebär att modellen ska replikera verkligheten exakt.

Vi har vidare gått igenom vilka mekanismer inom ramen för regionförstoring vi anser är nödvändiga för att kunna säga något om den långsiktiga utvecklingen i Mälardalsregionen. Här har vi kommit fram till att det är två områden vi behöver utveckla. Vi behöver en skarpare bild av den demografiska sam-

mansättningen och utvecklingen, och vi behöver en bättre modell för hur bostadspriserna utvecklas.

Var man bor och arbetar är ett hushållsbeslut. Olyckligtvis finns inte data på hushållsnivå i den utsträckning som behövs för den typ av modeller vi har tänkt oss, vilket gör att vi arbetar med individer istället. Det har nyligen öppnats möjligheter i och med ett bättre lägenhetsregister, men de är inte tillgängliga ännu. Men de kommer att kunna bidra till att det kan gå att övergå till hushållsbaserade modeller i framtiden.

Vi har även vidareutvecklat såväl transportmodeller som hushållslokaliseringssmodeller, baserat på tidigare modeller. Vi arbetar på att beskriva mer av de tekniska detaljerna i den webbaserade dokumentationen av modellsystemet (på engelska). I den här rapporten ger vi en mer översiktlig beskrivning av de ingående delarna.

Demografi

Vi har byggt upp ett verktyg för att skapa en syntetisk befolkning där varje individ baseras på det urval av riktiga personer som ingår i resvaneundersökningen. Syntetiseringen ser till att deras egenskaper stämmer med existerande fördelningar i ålder, kön, inkomst, förvärvsarbete, och boendeform på SAMS-områdesnivå (ungefär 2800 områden) i hela Mälardalen.

Vidare har vi (bland annat) ur registerdata på individnivå skapat modeller för fertilitet, mortalitet, samt risker för att flytta, byta jobb eller sluta jobba, samt att börja jobba. Alla modeller har inbyggda beroenden av demografiska data såsom ålder, kön, och i vissa fall geografiska förhållanden som pendlingsavstånd. De modellerna är har implementerats och testats genom att jämföra simulerade födelse- och dödstal med data från SCB. Det visar sig att födelsetalen stämmer mycket bra med avvikelser på några få procent på kommunnivå och totalt i regionen. Dödstalen är underskattade. Det är en konsekvens av att resvaneundersökningens befolkning som vi använt för att syntetisera vår simulerade befolkning inte innehåller de allra äldsta, vilket gör att den äldsta gruppen i den syntetiska befolkningen är yngre än i verkligheten. Problemet minskar allteftersom vi simulerar framåt i tiden. Det är dessutom en relativt orörlig grupp i såväl transportsystemet som i bostads- och arbetsmarknaderna. Problemet kommer antagligen att lösas genom att övergå till ett lite nyare datamaterial för att skapa utgångsåret. I nyare versioner av databasen vi utgår ifrån finns fler åldersgrupper med för de äldsta.

Transportmodell

Transportefterfrågan är central i modellsystemet. De ger förstas för det första direkt upphov till energianvändning och utsläpp i transportsystemet, men beteendemodellerna ger också information om hur användare av transportsystemet värderar sin tillgänglighet. Denna information används sedan direkt i såväl markanvändningsmodeller som bilnehavsmodellen.

Här har vi utgått ifrån beteendemodeller som tagits fram som en förenklad version av den nationella transportmodellen Sampers¹. Dessa beteendemodeller har sedan anpassats till att användas med en syntetisk befolkning som utvecklas över tid.

Den första utmaningen är att övergå från att använda aggregerade socioekonomiska grupper i ett område som underlag för hur många resor som görs till att simulera individers resande. Det har vi löst genom att helt använda samma modell som tidigare, men istället för att multiplicera de beteendemodellens sannolikheter för olika resor med antalet resenärer så drar vi slumpstal för varje individ och avgör ifall de gör en resa eller ej.

Fördelen med det i vårt sammanhang är att vi då kan undvika några av de märkligheter som uppstår i en aggregerad modell. Ett exempel är att bilnehavet på aggregerad nivå fungerar ungefär som att alla i ett område delar på samma bilpool. Vi kan vidare hålla reda på var en individ arbetar och studera deras nyttor och kostnader vid en förändring i transportsystemet både på kort sikt (de jobbar kvar på samma ställe) och på längre sikt (när de fått möjlighet att anpassa pendlingen antingen genom att flytta eller byta jobb).

Simuleringen av individernas resor har testats för de förhållanden som rådde 2006 och jämförts med räkningar. Testerna visar en rimlig överensstämmelse med tidigare modellresultat och med trafikräkningar. Det ska noteras att vi vet sedan tidigare att modeller av den här typen underskattar effekter av trängsel i trafiken i storstäder. Det är dock inget vi kan göra något åt med existerande verktyg utan det kräver såväl mer forskning som ny datainsamling. Det finns dock redan pågående projekt för detta inom Trafikverket.

¹Sampers ägs och förvaltas av Trafikverket. Den används mycket för analyser i den nationella infrastrukturplaneringen.

Lokaliseringsmodeller

De demografiska modellerna ovan ger upphov till en dynamik i befolkningen. Allteftersom individer åldras och nya tillkommer så fattar de beslut om att flytta eller byta jobb. Dessa beslut fångas upp i nya modeller som fördelar ut dem på nya platser. De som beslutar sig för att flytta hamnar i en pott med individer tillsammans med de som flyttar in till regionen (exogent givet). Dessa flyttare väljer sedan var de vill bo enligt en modell² (Jonsson 2008) som tar hänsyn till tillgänglighet och priser för varje område. Om fler vill flytta till ett område än det finns lediga lägenheter/hus så avgör lotten vem som lokaliseras där. De som inte får plats slumpas till nya områden tills alla fått plats.

De värderingar som ligger till grund för valet av bostadslokalisering används också för att beräkna vilken betalningsvilja människor har för att bo i ett område. På så sätt kan vi identifiera var priserna kan stiga. Här har vi valt att inte beräkna priser som en jämvikt mellan utbud och efterfrågan, eftersom erfarenhet av tidigare liknande modeller ger vid handen att priserna då kommer att bli alltför varierade för att vara rimliga. Det beror bland annat på att modellerna inte tar hänsyn till allt vi skulle behöva veta om löner, lånevillkor och hyror för att göra en sådan jämviktsmodell verklighetstrogen. Det är också troligt att bostadspriserna styrs av en mer komplex mekanism än en jämviktsekvation. Till exempel så har säkert normer och förväntningar som byggs upp i befolkningen en stark inverkan. Vi har då valt att istället ha en mycket enkel modell för prisutvecklingen i ett område som begränsas av hur mycket priser historiskt har varierat. Modellsystemet är dock såpass modulärt uppbyggt att det går att byta ut den här prismekanismen i framtida forskningsprojekt.

När det gäller var arbetsplatser lokaliseras så har vi flera alternativa modeller att välja på. De bygger i allt väsentligt på samma tillgänglighetstanke, men de har olika uppdelningar av arbetsplatserna. Vilken modell som fungerar bäst kommer att utkristallisera sig först när vi testat den i ett antal scenarier, då den metod vi använder för att skatta modellerna (på tvärsnittsdata) inte i sig ger information om hur den beter sig i en dynamisk situation.

²En återanvänd modell skattad på data om ca 1000 flyttande mellan 2004 och 2006.

Bilnehav

Vi har också implementerat modeller för bilnehav, eller för att vara mer precis, modeller för sannolikheten att tillhöra ett bilhushåll, och sannolikheten för hur många bilar det är i hushållet. Dessutom beräknas sannolikheten att man har körkort. Dessa har stor inverkan på färdmedelsvalet och är således viktiga för utfallet i ett scenario.

De här modellerna har till skillnad från tidigare implementerats på individnivå. Det innebär till exempel att modellen blir mycket mer känslig för hur inkomsten fördelas i befolkningen. Tidigare användningar av den här typen av modeller har använt genomsnittliga inkomsten i ett område, vilket innebär att en genomsnittlig ökning av inkomsten har lett till fler bilar. Med individinkomster så blir det viktigt vem som får en inkomstökning. Ett illustrativt exempel: om all inkomstökning går till personer som redan har en eller flera bilar så kommer av förståeliga skäl väldigt lite att hända med bilnehavet och bilanvändningen.

Indata

Det finns i huvudsak tre olika former av indata i Regent:

- Transportsystemets utformning: Lagras som nätverk i EMME.
- Socioekonomiska data: Individer, bostäder och arbetsplatser, lagras i textfiler.
- Parametrar och inställningar: Ligger i textfiler.

Vi har konsekvent försökt använda så enkla indataformat som möjligt för att underlätta import och export till och från andra programvaror. Till skillnad från Sampers och andra liknande transportmodeller vi använt i Sverige tidigare så stegar sig Regent framåt i tiden. Det innebär att alla indata potentiellt kan behöva specificeras för alla framtida år istället för bara för ett framtida prognosår. Vi har försökt hålla sådana till ett minimum, men det blir oundvikligen fler saker att specificera. Några exempel:

- Transportnätverken förändras endast långsamt. Därför anger vi vilket nätverk som gäller för ett tidsintervall istället för årligen. Exempelvis kan vi sätta att dagens nätverk kommer att gälla fram till 2020 då vi byter till ett nytt nätverk där nya investeringar som planeras nu läggs in.

- Den syntetiska befolkningen anges bara för utgångsläget. Systemets demografiska modeller skriver sedan fram den ett år i taget.
- Detsamma gäller bostadsutbudet som också anges för basåret och sedan skrivs fram med modeller.
- Vissa generella parametrar, som till exempel tillväxt eller priser på olika slags energi anges årsvis.

Vi har tagit fram ett basscenario för dessa tidsberoende indata. Nedan redovisar vi några resultat från en testkörning för att kunna visa på modellens egenskaper och resultatmöjligheter. Det är troligt att vi måste variera flera av de ingående antagandena också för att undersöka modellens känslighet för dem, innan vi kan rapportera trovärdiga resultat från analyserna.

Några illustrativa resultat

I det här avsnittet redovisar vi några resultat från simuleringar med modellsystemet när det har körts med följande antaganden och begränsningar:

- Simuleringen startar år 2006 och slutar 2020.
- Befolkningen växer endast genom demografiska förändringar via födelseöverskott.*
- Arbetsplatsernas fördelning är densamma under hela perioden.
- För att korta ner körtiden har vi inte tagit hänsyn till förändringar i trängsel på vägnätet. Det innebär att 2006 års trängsel (och därmed restider) gäller för hela perioden. Det är trivialt att koppla på den effekten men det är ett exempel på då kalendertiden för att ta fram resultaten ökar markant.
- Tillväxten följer SCBs rapporterade siffror till 2013 och antas vara 2% därefter.
- Energipriset per kWh ökar med 18% över perioden. Detta påverkar dock bara boendekostnaden. Reskostnaden är oförändrad. Vi har inte implementerat hur effektivisering av fordon och energipriser interagerar i de här simuleringarna.

Markanvändning

Vi kan börja med att titta på hur befolkningen förändras över tid. Totalt växer befolkningen från 3675192 personer till 3904947, dvs en ökning på 230000 innevånare, eller drygt 6%. Det är ju förstås en lägre siffra än vad vi egentligen tror kommer att ske. Framtidsscenarierna vi håller på att bygga upp kommer att göra antaganden om hur många netto-inflyttare det kommer till regionen samt vilken socio-ekonomisk sammansättning den har. Figur 1 visar hur förändringen fördelas i regionen.

Det vi kan se är en markant centralisering, med utflyttning i perifera områden och inflyttning i mer centrala lägen. Modellen överskattar dock den effekten i nuvarande version, av två skäl. Det ena är att trängseln inte ökar i bilnätet, vilket gör att en av de negativa effekterna med att bo tätt underskattas. En annan är att vi inte tar hänsyn till att nybyggda hus och lägenheter i allmänhet är dyrare än äldre bostäder. Det leder till att vi får för många tomma bostäder i de perifera områdena. Det tredje är att vi har en förhållandevis låg befolkningstillväxt i det här scenariot, vilket gör det lättare att hinna med att bygga bostäder i de attraktiva områdena.

Vi kan också analysera priserna på bostäder. Genomsnittskostnaden att bo går upp med nästan 50% för villor, och 87% för lägenheter. Detta ska jämföras med att vi antagit att alla löner skrivs upp med tillväxten. Till 2020 innebär det en ökning av inkomsterna med drygt 31%. Priserna kan förstås också analyseras på områdesnivå, då den informationen också sparas.

Resande

Figur 2 visar utvecklingen i trafikarbete över tiden. I den kan vi se att biltrafiken går ner medan kollektivtrafikresandet går upp. Vi ser samma mönster i antal resor i figur 3. Där kan vi också se att den mer centralt boende befolkningen använder cykel och gång i högre utsträckning.

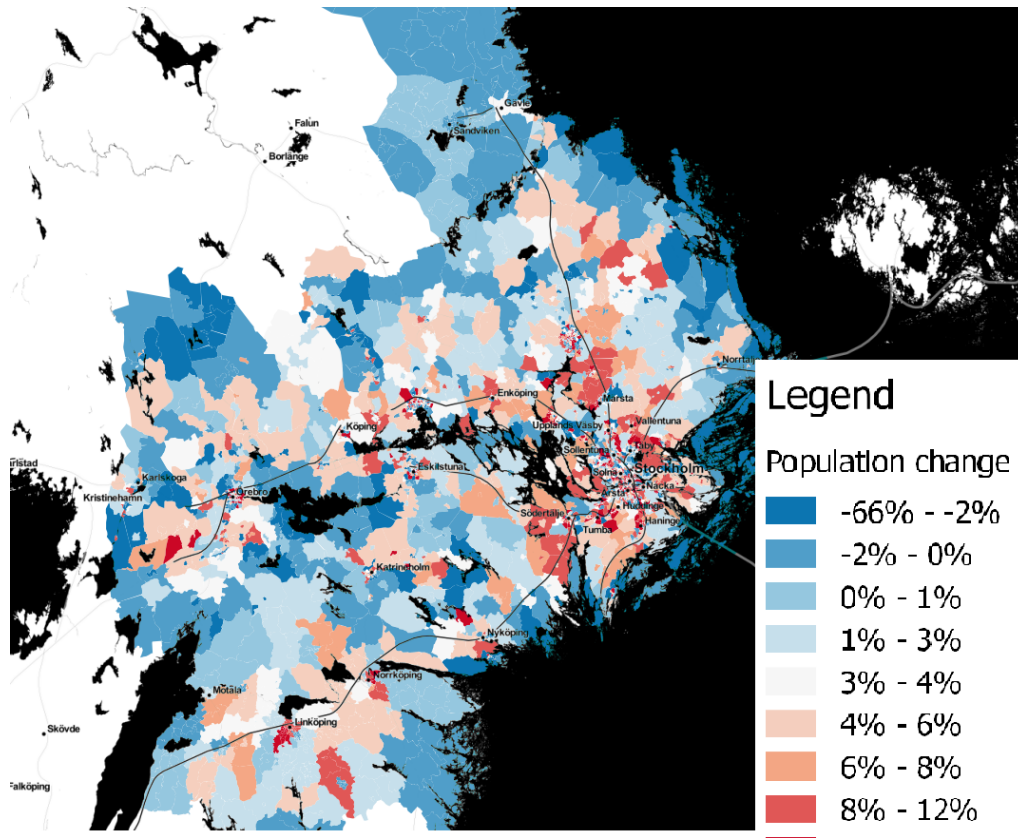
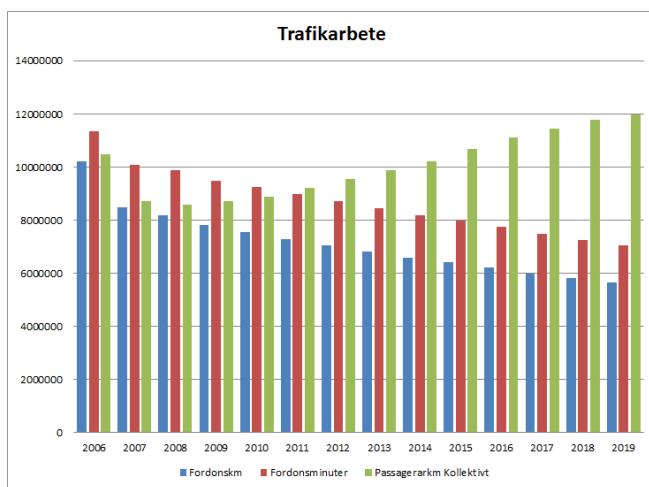
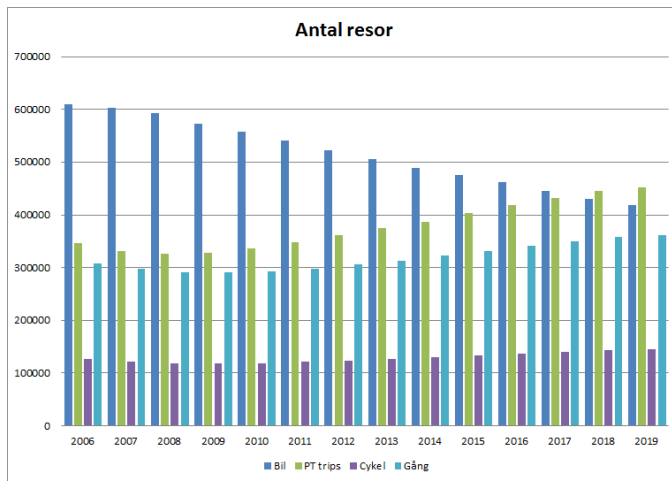


Figure 1: Förändring av befolkningen





Vi har de modeller vi behöver för att utifrån resandet beräkna energiåtgång, utsläpp och olyckor på länknivå i transportnätverket. De finns implementerade i C#-kod sedan tidigare projekt. Det som återstår att göra innan vi kan beräkna dem i Regent är att göra scenarier över hur bilparken utvecklas så att vi kan bygga in rätt reskostnader och drivmedelsåtgång.

Diskussion

Simuleringen i exemplet visar en viktig mekanism som möjliggjorts i och med utvecklingen av Regent. När människor flyttar från perifera lägen till mer centrala så ändras också deras resmönster. Det är ett sätt att förklara den förändring vi ser i det som kallas peak-car. Det är inte den enda förklaringen, men studier visar att det inte behövs några attitydförändringar för att vi ska se att bilåkandet inte ökar. Samtidigt är det då viktigt att poängtera att det scenario vi simulerat nu antagligen överskattar den förändringen rätt ordentligt som vi påpekat, och att det inte alls är självklart att den urbaniseringen fortsätter oavbrutet. Vi kommer att studera hur andra antaganden om bostadsbyggande och inflyttning påverkar den här aspekten. Ifall priserna ökar väldigt mycket i centrala lägen så kommer det förr eller senare att sätta stopp för inflyttningen.

Kopplingar till andra projekt

IHOP

Under 2013 och 2014 genomförde en projektgrupp vid CTS (med deltagare från KTH, Sweco och WSP) ett projekt för Trafikverket med syfte att undersöka hur vi skulle kunna skapa bättre modellverktyg för storstäder där trängsel i vägtrafiken är en viktig effekt. Det modellverktyg som används för strategiska analyser idag, Sampers, underskattar dessa trängseffekter på grund av att den modelltyp som används för att beskriva vägtrafiken inte tar hänsyn till dynamik och korsningseffekter på ett bra sätt.

Projektet som hade namnet IHOP testade ett antal nya programvaror för trafiksimuleringen tillsammans med en efterfrågemodell. Valet föll på att använda reseefterfrågemodellen i Regent. En avgörande anledning var att det bygger på en sedan tidigare använd och känd modell (LuTrans, en variant av Sampers), men eftersom det är programmerat i C# .net, med en källkod vi kunde sprida i hela projektgruppen så förenklades anpassningen till olika programvaror avsevärt.

Nyttan för regionförstoringsprojektet kan sammanfattas:

- Vi fick fler modellkunniga utvecklare att felsöka koden. Ett antal mindre buggar i beteendemodellerna kunde därmed rättas till.
- Vi testade modellen mot trafikräkningar och kunde se att modellsystemet genererar en rimlig beskrivning av transportefterfrågan.

På lite längre sikt har IHOP inneburit att vi redan byggt in möjligheten att koppla Regent till fler nätverkshanteringsprogram. Det gör att vi lättare kan följa med de önskemål olika planeringsorgan kan tänkas ha på modellverktygen, till exempel för hantering av trängsel i storstad. Projektet beskrivs mer i bilagan *CTS2014-10*

Sampers

Trafikverket har initierat ett större arbete med att skatta om beteendemodellerna i Sampers och implementera dem i ny mjukvara. Det arbetet har stor överlapp med Regionförstoring i såväl metoder som modellansatser. Tyvärr har det också rätt stor överlapp i personalresurser då den grupp av forskare och

konsulter som har den nödvändiga kompetensen är rätt liten. Sampers-projektet kommer dock att dra nytta av arbetet vi redan utfört i Regent på många sätt då många designbeslut vi tagit för Regent kommer att föras över på Sampers.

En konsekvens blir dock att vi tvingas skjuta de analyser vi skulle vilja göra med Regent på framtiden. Vi kan dock se vissa möjligheter att med ett minimum av arbete uppdatera Regent så att det är konsistent med Sampers, vilket i längden vore bra för såväl energianalyser som möjligheten att experimentera mer med markanvändningsscenarier i den nationella planeringen.

En annan koppling är att gruppen som utvecklar Sampers aktivt diskuterar möjligheten att införa en syntetisk befolkning istället för den aggregerade representation som nu finns. Anledningarna är flera och många av dem har vi redan diskuterat ovan. Det skulle förstås innebära ännu större gemensamma delar mellan Regent och Sampers.

PostCard

PostCard är ett gemensamt projekt mellan medarbetare vid KTHs institutioner för Transportvetenskap och Arkitektur. I projektet ska vi analysera tre stycken framtidsscenarier med hjälp av Regent. Dessa scenarier är något mer experimentella i sin utformning än de vi tänkt oss i Regionförstoring och kommer att testa modellsystemets gränser på ett bra sätt. De är också mer tidskritiska. Vi kommer därför redan ha utfört en del scenarioanalyser med Regent när vi kommer till att slutföra energianalyserna.

Andra lärdomar

Under större delen av projektet har vi brottats med att de få personer med kompetens att bidra till den tekniska utvecklingen av modellsystemet har varit högt efterfrågade i andra projekt också. En konsekvens av detta är en insikt om hur stora krav det ställer på projektorganisation och -ledning, speciellt då det gäller programmeringsarbetet. Som en följd av för dåliga förberedelser för det här problemet har vi inte lyckats komma så långt som vi hade önskat med mjukvaruutvecklingen i det här projektet.

Vi kan dock se att projektet bidragit till kompetensuppbyggnad även på det här området då de som ingått i det här projektet och andra samarbetspartners i projekt som dragit nytta av mjukvaruutvecklingen här (IHOP, Sampers mfl.)

har byggt upp en större vana och förståelse för distribuerad mjukvaruutveckling via versionshantering. Vidare har det utkristalliserat sig ett behov av att utveckla en bättre metod för att organisera mjukvaruprojekt i forskningssammanhang där det ofta ingår olika kompetenser och organisationer.

Inspirationen för hur det skulle kunna gå att organisera mjukvaruutvecklingen i framtida projekt är diverse Agile-metoder³. Även om mycket av Agile-metodiken är applicerbart på forskningsprojekt, som till exempel att dela upp arbetet i små delar och leverera körbar kod ofta, så kompliceras situationen av att vi ofta arbetar i små grupper med medarbetare som inte har programmering som sin huvudsyssla. Vidare så är projektets medlemmar inte kopplade till ett enda projekt så vi kan inte hålla täta medarbetarmöten eller fokusera på samma sätt som en dedikerad programmerargrupp. Kraven på forskningskod är också i allmänhet något annorlunda än för mer traditionell mjukvara. Ofta ska koden inte användas av speciellt många användare och ofta inte heller speciellt länge, då nästa forskningsprojekt antagligen kommer att innebära relativt stora förändringar.

Utgångspunkten för en sådan mjukvarustrategi kan mycket väl vara det Agila manifestet (<http://agilemanifesto.org>). Det är dock inte troligt att vi kommer att direkt kunna använda de olika projektledningsmetoder som utvecklats på grundval av manifestet på grund forskningens inneboende egenheter.

Segal (Segal 2008) beskriver utifrån fältstudier hur metoder inom traditionell mjukvaruutveckling skiljer sig på viktiga punkter från den programmering som sker inom vetenskapsdiscipliner. En sådan är att det är mycket svårt att skriva specifikationer eller tester i förväg då programmet i sig har som uppgift att föra förståelsen för den företeelse det beskriver framåt. Förenklat: Ifall vi kunde skriva specifikationen så skulle vi inte behöva programmet. Segal (2008) beskriver också hur lätt det blir en kulturkrock när man försöker introducera traditionella mjukvaruutvecklingsmetoder i vetenskapliga sammanhang.

I det här projektet har vi inte kommit fram till någon tillfredsställande lösning på problemet att utveckla kod för forskningsändamål. Det vi kan se är dock att det behövs en bättre strategi för att hantera mjukvaruutveckling i forskningssammanhang. Allteftersom modellsystemen växer i komplexitet (vilket vi

³Se tex. <http://agilemanifesto.org>, eller Dingsøy, T., Sridhar N., VenuGopal B., Brede Moe, N.. "A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development". *Journal of Systems and Software, Special Issue: Agile Development*, 85, num 6 (juni 2012): 1213–21. doi:10.1016/j.jss.2012.02.033.

kan utgå ifrån att de gör, allteftersom datorkapacitet och datakällor utvecklas) kommer vinsten av att kunna återanvända och bygga vidare på gammal kod att bli allt större. Vi har i svensk transport- och markanvändningsmodellering varit rätt dåliga på att ta tillvara den möjligheten.

Framtida forskning

Huvuddelen av finansieringen av projektet Energieffektivisering, transportpolitik och regionförstoring kommer från Energimyndigheten, men med medfinansiering från Centrum för Transportstudier vid KTH (CTS).

Vi har genomfört en mängd arbetsuppgifter av de vi föresatte oss i ansökan, men vi har inte lyckats genomföra allt vi företog oss. Dock har vi av personalresurskäl knappt börjat utnyttja de medfinansieringsmedel vi beviljats från CTS. Det innebär att den här slutrapporten inte innehåller alla resultat vi har ambitionen att få ut av projektet som helhet. Vi har alltså resurser kvar att genomföra många av de analyser vi har föresatt oss.

I ansökan hade vi följande delar under rubriken Genomförande:

Del I: Transporter och energianvändning

- I ett första steg utgår vi från dagens fordonsflotta.
- Det andra steget är att kombinera den med modeller över bilparkens utveckling och fokus ligger på att integrera redan existerande kunskap i transportmodellen.
- Ett tredje utvecklingssteg är att anpassa hur LuTrans hanterar befolkning och arbetsplatser för att kunna integrera den bättre med modeller av markanvändning och demografi.

Av de här har vi genomfört den tredje punkten helt. Den första har vi modeller och metoder framtagna, men de har inte programmerats in i nuvarande modellsystem. Den andra punkten kommer vi antagligen att delvis få släppa. När vi ansökte om projektet så såg det ut som att det inom kort skulle finnas bättre modeller för bilparkens utveckling. Nu finns det sådana modeller framtagna, men programmeringsuppgiften att implementera dem blir antagligen övermäktig. Vi får istället använda oss av lärdomar från dem för att bygga våra scenarier. Det innebär att vi går miste om en möjlig återkoppling i beteendet.

Del II: Regionförstoring och markanvändning

- Den första är var ny bebyggelse lokaliseras.
- Den andra delen är att utveckla prismekanismen på utbudssidan. Projektet inspireras av hur detta lösts i Urbansim (Waddell 2006), med priser som justeras beroende på efterfrågan, men utan att kräva jämvikt i priserna. Metoden kommer utvecklas så att prislogiken kan vara olika för hyresrätter, bostadsrätter och villor.
- Den tredje delen handlar om att förbättra modellen för befolkningens val av bostad där avvägningen mellan tillgänglighet och pris är den centrala. Här utgår projektet från den valmodell som utvecklades för LandScapes.

I den här delen har vi i stort utfört alla tre. Dock har vi inte lyckats testa olika typer av prismodeller och mekanismer för var nybyggnation sker. Det är högt på vår lista på framtida forskning då det är rätt enkelt att byta ut de mekanismerna i modellsystemet.

Del III: Scenarier och analyser * Därför avser projektet att ta fram några få särskilt intressanta scenarier tillsammans med en referensgrupp.. Den här delen av projektet ska också bidra med att precisera vilka resultat analyserna bör visa och hur de ska presenteras. * Förutom totala energianvändningen är det troligt att det går att bryta ner resultaten enligt geografiskt, socioekonomisk och demografiska dimensioner för att ge en bättre bild av åtgärdernas effekter i olika geografiska områden (stad med väl utbyggd kollektivtrafik respektive landsbygd).

Vi ser redan att det är möjligt att göra den andra punkten då vi ändå simulerar allt på områdesnivå, med en rik socioekonomi i och med att vi simulerar agenter. Arbetet med den första punkten pågår, men där har vi inte hunnit ända fram.

Den närmaste tiden, fram till mitten på januari, kommer att ägnas åt att successivt bygga upp mer heltäckande scenarier för Regent. Som vi beskrivit ovan har vi i projektet PostCard föresatt oss att analysera lite mer experimentella scenarier med hjälp av Regent, vilket kommer att innebära en möjlighet att undersöka modellens egenskaper och känslighet för olika antaganden. Scenarierna är mer inriktade på exogena antaganden än policyfrågor, vilket gör dem till ett bra komplement till de exempel vi tog upp redan i ansökan. Eftersom vi förstås jämför med ett business as usual så kommer det också att innebära att vi försöker validera modellen på perioden 2006-2014.

Det här innebär att när vi så småningom får tid att återuppta CTS-projektet efter årsskiftet så finns det möjlighet att ganska snabbt börja göra analyser av hur olika policyantaganden, om till exempel avdragsregler, eller bostadspolitik, påverkar utfallet.

Sammanfattningsvis är det lite trist att skriva den här slutrapporten eftersom vi inte kan visa på konkreta analyser och resultat, mer än från en testversion av programmet. Huvuddelen av bitarna är dock på plats, vilket gör att vi ser fram emot en period av intressanta analyser under kommande år, i flera olika projekt. När systemet finns på plats är det också mycket lättare att byta ut mindre delar av det, som till exempel prismekanismerna vi nämnde ovan. För framtida forskningsprojekt vore det till exempel intressant att införa en mer realistisk bild av bostadsmarknaden i Stockholm för att kunna hantera både bostadsrätter och hyresrätter. Det finns en mängd forskningsfrågor där vi ser att stommen vi byggt upp här går att utnyttja för att fullskaletesta till exempel beteendemodeller som tas fram i andra forskningsprojekt.

Referenser

Jonsson, R. Daniel. 2008. "Analysing Sustainable Urban Transport and Land-Use: Modelling Tools and Appraisal Frameworks." PhD thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.

Maria Börjesson, R. Daniel Jonsson, and Mattias Lundberg. 2012. *Samhällsekonomin På Spåret – En ESO-Rapport Om Att Räkna På Tunnelbanan ESO – Expertgruppen För Studier I Offentlig Ekonomi*. ESO rapport 2012:5. Stockholm: Expertgruppen för studier i offentlig ekonomi. <http://eso.expertgrupp.se/rapporter/20125-samhallsekonomin-pa-sparet-en-eso-rapport-om-att-rakna-pa-tunnelbanan>

Pagliara, F., de Bok, M., Simmonds, D., and Wilson, A, eds. 2013. *Employment Location in Cities and Regions - Models and Applications*. Advances in Spatial Science. Springer Verlag. <http://www.springer.com/economics/regional+science/book/978-3-642-31778-1>.

Segal, Judith. 2008. "Models of Scientific Software Development." <http://oro.open.ac.uk/17673/>.

Waddell, Paul. 2006. "Reconciling Household Residential Location Choices and Neighborhood Dynamics." *Under Revision, Sociological Methods and Research*.

<http://www.urbansim.org/pub/Research/ResearchPapers/smr-urbansim.pdf>.