



K2 WORKING PAPERS 2018:4

# Kapa topparna!

Peakproblematik utifrån ett kollektivtrafikperspektiv

Helene Lidestam & Stefan Jonsson



Datum: 2018-04-04

Tryck: Media-Tryck, Lunds universitet, Lund

De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis K2:s uppfattning.

# Innehållsförteckning

Förord .....	3
Sammanfattning.....	5
<b>1. Inledning.....</b>	<b>7</b>
1.1. Bakgrund .....	7
1.2. Peak-trafik.....	9
1.2.1. Vad innebär peak-trafik och varför är det ett problem? .....	9
1.2.2. Syftet med forskningsstudien .....	10
<b>2. Metod .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Data .....</b>	<b>13</b>
3.1. Trafikområdet .....	13
3.2. Schablonkostnader .....	13
3.3. Omloppskonstruktion.....	14
<b>4. Resultat .....</b>	<b>15</b>
<b>5. Slutsatser och framtida studier .....</b>	<b>21</b>
<b>6. Referenser.....</b>	<b>23</b>



# Förord

Denna rapport presenterar resultat från en forskningsstudie som utfördes som en samproduktion mellan K2 och Nobina under år 2016-2017. Studien finansierades av K2 genom ett så kallat mindre K2-projekt med titeln *Kapade toppar i peak-trafik – en studie av kostnads- och miljöeffekter*. Studien initierades genom idéer från Mattias Byström, Nobina och har sedan genomförts av Helene Lidestam, VTI, K2 och Linköpings universitet och Stefan Jonsson, Nobina. Planeringen av scenarier och körningar har utförts av Helene Lidestam i samarbete med Stefan Jonsson, Nobina och körningarna har utförts av Stefan Jonsson. Då peak-problematiken är svår att komma tillrätta med och förväntas förvärras i och med det med mål om ökat resande inom kollektivtrafiken som är satt, är det ett område som bör prioriteras inom forskningen. Studien kan ses som ett första steg i ett större perspektiv av samarbete mellan K2 och bussoperatören Nobina och denna form av samproduktion har visat sig högst produktiv och givande såväl för forskaren såsom för företaget.

Linköping, mars 2018

*Helene Lidestam*

Projektledare



# Sammanfattning

Trafikflödets ojämna mönster skapar toppar i trafiken på morgonen då befolkningen ska till arbete och skola samt på eftermiddagen då de ska färdas tillbaka till bostaden. Detta ger upphov till en peak-problematik som ger framkomlighetsproblem i form av köer. Förutom att eventuella förseningar skapar obehag för trafikanterna medför peak-problematiken också ökande kostnader för kollektivtrafiken. Fordonsflottan dimensioneras efter trafiktopparna vilket innebär att många införskaffade bussar bara används i högtrafik och blir stående i bussgaragen resten av dagen. Alternativt kan dessa, ofta stora bussar, användas där det skulle räcka, sett till antalet passagerare, med mindre busstorlekar. Även om denna peak-problematik inte är ny så är den högst aktuell med tanke på kollektivtrafikens högt satta mål om att öka antalet passagerare inom en snar framtid. I aktuell studie har vi utgått ifrån bussoperatörernas perspektiv och undersökt effekter av att högst marginellt i tid förskjuta ett antal bussavgångar. Data har hämtats från en region i Sverige med 40 000 invånare. Ett antal scenarier har studerats med olika intervall i tillåten förskjutning i tid, från maximalt två minuter till maximalt 30 minuter. Planeringsprogrammet Hastus har använts för att utföra körningarna. Programmet baseras på optimeringsmoduler och det övergripande målet har varit att minska kostnaderna. Ett underliggande mål har varit att minska antalet bussar i trafik. Resultaten visar att operatören, genom ytterst marginella förskjutningar i tid gällande bussavgångar, kan minska antalet använda bussar. Då studien är gjord i ett begränsat område ger detta indikationer på stora kostnadsbesparingar om området utökas. En nackdel med att flytta avgångstider är att bussarna inte går i vissa intervall, till exempel var tionde minut, så kallad styv tidtabell. För att kunna motivera dessa förflyttningar i tid i bussavgångar kan man studera möjligheterna att modifiera, tidigarelägga eller senarelägga, skolstartstider. Man kan också undersöka möjligheten att använda så kallad prisdifferentiering i tid, vilket skulle innebära att passagerare betalar en högre taxa i högtrafik och en lägre taxa i lågtrafik. Forskning kring hur vi kan få ett jämnare trafikflöde över dagen är viktig då det kan bidra till både lägre kostnader och en bättre miljö.





# 1. Inledning

**I inledningen presenteras bakgrunden till problemet med peak-trafik. Peak-problematiken beskrivs därefter och vad problematiken innebär för framtida mål inom kollektivtrafiken. Slutligen presenteras syftet med den forskningsstudie som ligger till grund för denna rapport.**

## 1.1. Bakgrund

Kollektivtrafiken har en viktig roll i dagens samhälle då den i hög grad kan betraktas som en del av ett hållbart transportsystem. Den form av offentlig upphandling av busstrafik som idag används i Sverige startade i London i mitten av 1980-talet. Därefter har många andra länder i Europa följt efter. Kostnaderna för kollektivtrafik sjönk drastiskt de första åren efter konverteringen (Cox och Duthion, 2001) med undantag av Italien och Frankrike (Hensher och Wallis, 2005). Med rådande hot om klimatförändringar är det även viktigt att minska emissionerna från kollektivtrafiken för att få en bättre miljö och därför är också miljöaspekten en viktig punkt på agendan. Detta ligger i linje med Sveriges högt uppsatta miljömål, med en sänkning av CO<sub>2</sub>-emissioner med 40 % till år 2020 samt de av EU uppsatta målen med 80 % reduktion av CO<sub>2</sub> till 2050. Dessa mål ligger till grund för den vision om fördubblad kollektivtrafik som tagits fram av kollektivtrafikbranschen och som innebär att antalet resor med kollektivtrafik ska fördubblas till år 2020. Det är högst väsentligt att få till en ökad andel trafikanter i kollektivtrafiken men det är också viktigt att den kollektivtrafik som används är miljövänlig. Flera rapporter pekar på att kostnaderna för kollektivtrafiken i Sverige på senare tid har ökat mer än utbudet (Sveriges Bussföretag, 2015 och Eriksson et al., 2017).

Orsakerna bakom kostnadsökningarna undersöktes i en forskningsstudie där representanter från de största bussoperatörerna och de största regionala kollektivtrafikmyndigheterna (RKM) i Sverige intervjuades (Camén och Lidestam, 2016). Utifrån deras svar identifierades nio olika kategorier som ansågs vara dominerande kostnadsfaktorer. Dessa var trafikflödets utseende (peak-tider), tillgänglighetsanpassning, ålderskrav för bussar, miljöanpassning, kontraktstider, arbetstidsreglering, upphandlings- och avtalsprocess, kontraproduktiv politisk styrning och slutligen särkrav på bussar. Det kan konstateras att flera av de identifierade kategorierna är relaterade till miljöaspekter. Kategorierna kan ofta även härledas direkt till den offentliga upphandlingen och dess effekter. Två övergripande strategier gällande den offentliga upphandlingen kunde även framkristalliseras från resultatet av studien. Dessa strategier var dels att i större utsträckning samordna upphandlingsunderlag, dels att utöka bussoperatörernas flexibilitet. En ökad samordning av kraven i upphandlingsunderlag innebär färre särkrav och underlättar för operatörer att flytta bussar från en upphandlad region till en annan. När det gäller flexibiliteten i upphandlingsunderlagen och sedermera kontrakten, så kan det handla om att ge operatörerna mer frihet till exempel när det gäller

tidtabeller och val av busstorlek på olika linjer. Ett exempel på hur detaljstyrda kontrakt kan leda till både ökade kostnader samt onödigt höga CO<sub>2</sub>-emissioner ges i Lidestam (2014; 2010). Studierna visar att genom att släppa på RKMs detaljerade krav gällande vilken storlek på buss som ska användas på vilken linje, kan CO<sub>2</sub>-emissionerna minska med närmare 35 %. I praktiken innebär det att bussoperatörerna i dagsläget ofta kör onödigt stora bussar med avseende på antalet passagerare. Ytterligare ett exempel på nyttan av att använda mer flexibla kontrakt är att ge bussoperatörerna möjligheten att påverka tidtabeller och genom att få friheten att påverka tidtabeller och bussarnas avgångstider kan man i viss mån påverka peak-kurvan och dess spetsigaste topp.

I en uppföljande studie (Lidestam et al., 2017) skickades en enkät ut till de flesta bussoperatörer och samtliga regionala kollektivtrafikmyndigheter för att ta reda på om deras representanter höll med om de nio kategorier som identifierades som kostnadsdrivare i den ursprungliga studien (Camén och Lidestam, 2016). Syftet var även att vikten av dessa kategorier skulle avgöras för att få kunskap om vad som var mest betydelsefullt att fokusera på för att försöka hämma kostnadsökningarna. Resultaten från studien visade att samtliga kostnadsdrivare kan anses relevanta och att peak-trafiken var den kategori som överlägset ansågs vara den faktor som driver kostnaderna mest. Detta gav upphov till idén att forska vidare på möjligheter att hämma kostnaderna som är kopplade till peak-trafiken och en tanke var då att undersöka hur stor betydelse det kan ha att marginellt, gällande tid, flytta avgångar i de mest trafikerade tidsintervallen. Från dessa idéer startades det forskningsprojekt som beskrivs i denna rapport. En förstudie till aktuell studie presenterades på Transportforum (Lidestam et al., 2016), och delresultat av densamme presenterades på den Nationella Transportkonferensen (Lidestam, 2016). För att i praktiken kunna motivera dessa förändringar i avgångstider ser vi huvudsakligen två vägar att gå. Det ena alternativet är att undersöka möjligheten att förändra skolstartstider i syfte att kapa peaken.

En studie som undersökte effekterna av utspridd skolstart i syfte att utjämna trafiktoppar med fokus på samhällsekonomiska aspekter gjordes på gymnasieskolor i Linköping (Ljungberg, 2009). En enkät delades ut till ett samtliga gymnasieelever i ett urval av klasser. Eleverna skulle svara på frågor som kopplade till attityd och preferenser till att dels senarelägga skoldagen en timme, dels sprida ut starten på skoldagen. I tillägg genomfördes intervjuer med berörda lärare och rektorer. Resultaten av studien visade att förändringarna troligen inte var lönsamma ur ett samhällsekonomisk perspektiv med hänsyn tagen till elevernas kostnader för förändringarna. Dock påpekas också i studien att vid små förändringar gällande modifierade skolstartstider, upp till cirka 15 minuter, skulle nyttan kunna överstiga kostnaden (Ljungberg, 2009). Ett lyckat resultat av förändrade skolstartstider i Örebro län presenterades på Transportforum 2016 (Gunnarsson, 2016). Där hade olika aktörer arbetat med en samordnad skolskjutsplanering där de skolor som var perifert placerade startade tidigast på morgonen och de skolor som låg mer centralt i området startade senare. Skolskjutsarna integrerades i den linjelagda kollektivtrafiken och gav upphov till både ett ökat trafikutbud för medborgarna samt en besparing gällande kostnaderna för skolskjuts-trafiken. Vikten av att få med flera parter i samarbetet betonades och centrala aktörer är förstas rektorerna. Liknande studier gällande utjämning av trafikflödets utseende (peak-problematik) har utförts på järnvägsområdet, se till exempel Aronsson et al. (2016), där en optimeringsmodell har utvecklats för Green Cargo.

Det andra alternativet man kan arbeta med kopplat till förändringar av avgångstider är prisdifferentiering gällande tider. Detta innebär att det är dyrare för passageraren att åka på en avgång i peaken jämfört med en avgång i off-peak. En allmän översikt om hur och i vilken grad prisdifferentiering kan användas i trafiksammanhang presenteras av Pyddoke och Wretstrand (2016). Urbanet har på uppdrag av Karlstadsbuss, Värmlandstrafik samt samferdsel departementet i Norge undersökt möjliga effekter av att höja priset i högtrafik och sänka priset i lågtrafik (Eriksson et al., 2016<sup>a</sup>; Eriksson et al., 2016<sup>b</sup> och Betanzo et al., 2016). De har undersökt två typer av prisdifferentiering; intäktsneutral prisdifferentiering samt ”vanlig” prisdifferentiering. Intäktsneutral prisdifferentiering innebär att trots att resandet flyttas och en lägre intäkt erhålles så minskar inte intäkterna eftersom priset höjs i peak. Vanlig prisdifferentiering, det vill säga ett lägre pris under lågtrafik innebär att intäkterna minskar eftersom resenärerna betalar mindre per resa samtidigt som priset inte höjs i peak. De generella slutsatserna indikerar att prisdifferentiering ger högre intäkter både på kort sikt och på längre sikt. Prisdifferentiering, rätt utförd, kan bidra till ökat resande eftersom mer priskänsliga grupper får ett lägre pris samt bidra till att minska produktionskostnaderna då små förändringar av resorna i peak kan ge stora effekter på produktionen (Eriksson et al., 2016<sup>a</sup>; Eriksson et al., 2016<sup>b</sup> och Betanzo et al., 2016). För att kunna göra dessa analyser är det relevant att kunna uppskatta kollektivtrafikefterfrågans priselasticiteter, det vill säga passagerarnas priskänslighet.

## 1.2. Peak-trafik

### 1.2.1. Vad innebär peak-trafik och varför är det ett problem?

Människors resandemönster är i dagens samhälle tämligen låsta och de ger upphov till den så kallade peak-problematiken. Skola och arbetsplatser startar som regel runt åtta på morgonen och avslutas kring fyra på eftermiddagen. Kring dessa tider på morgon och kväll koncentreras trafiken såväl på vägar, cykelvägar, trottoarer och järnvägsspår och ger därmed upphov till köer och trängsel vilket i sin tur bidrar till höga nivåer av CO<sub>2</sub>-emissioner och mycket begränsad framkomlighet.

Peaken skapar problem i vårt trafiksystem då många fordon; bilar, motorcyklar, mopeder, bussar och cyklar, ska få plats på samma yta under en kort tidsperiod. Peaken leder således till trängsel, sämre framkomlighet och därmed många köer. Mycket tid ägnas åt att sitta i trafikköer, tid som kunde ha använts på ett betydligt effektivare sätt. Stillastående trafik bidrar också till höga CO<sub>2</sub> utsläpp vilket i sin tur försämrar miljön för samtliga trafikanter, inklusive gångare och cyklister. Även om problemet med peak-trafik är mest omfattande i storstadsregioner, till exempel i Stockholm, så är det ett problem även på mindre orter men då i begränsad omfattning.

Även vårt huvudsakliga behov av kollektivtrafik kretsar kring dessa peak-tider på morgon och eftermiddag. Större möjligheter till flexibla arbetstider och möjligheten att arbeta hemifrån via utökad digitalisering har i någon mån hjälpt till att kapa peak-toppen på eftermiddagen men faktum kvarstår; peaken på morgonen är alltså kvar och den är också mycket spetsig.

Peaken leder förstås även till ett ökat behov av kollektivtrafik, ett väldigt stort behov under en kort tidsperiod. I synnerhet bussoperatörerna är medvetna om att denna spetsiga peak på morgonen innebär höga extra kostnader. Dels behövs ett stort antal extra bussar. Det är oftast stora bussar man använder som sedan under off-peak får stå i bussgarage alternativt användas på sträckor med få passagerare, vilket i sig innebär en låg fyllnadsgrad och utöver extra kostnader bidrar detta till onödigt höga CO<sub>2</sub> utsläpp och därmed onödigt hög belastning på miljön. Det kostar också att ha extra personal, bussförare, under en kort tid i peaken. Om en bussförare behövs för en tur på enbart 20 minuter måste bussoperatörerna enligt kollektivavtal ersätta bussföraren för minst tre timmar. Detta gör att peak-toppen ofta blir mycket dyr.

Med målet om en fördubblad kollektivtrafik i åtanke samt ambitionen att kunna flytta över bilister till kollektivtrafiken kan man förmoda att om dessa mål skulle införlivas handlar det om att fler människor använder kollektivtrafiken för pendling och det sker i peak-tiderna. Detta skulle leda till en ännu högre peak-topp och peak-problematiken skulle fördjupas ytterligare, vilket innebär att fler bussar behövs och därmed även fler bussförare.

### 1.2.2. Syftet med forskningsstudien

Med detta som bakgrund är det viktigt att arbeta med att jämna ut förhållandet mellan toppar och dalar i peak-kurvan. Syftet med studien var således att analysera hur stor påverkan, både på kostnader och miljö, det har att förskjuta bussavgångar med ett antal minuter för att kunna kapa toppen i peak-kurvan. Dessa ändrade bussavgångar kan leda till att betydligt färre bussar behövs i trafiken. Studien utfördes med hjälp av skarp data från en region i Sverige. Bussavgångarna kommer att förskjutas från ett par minuter upp till cirka 30 minuter. Detta gjordes i syfte att kunna få en jämn beläggning och det i sin tur innebär högre fyllnadsgrad på bussarna. Energieffektiviteten kan öka betydligt om beläggning på kollektivtrafiken blir jämn, detta innebär att vi behöver kapa topparna på peak-kurvan. Peak-kurvan visar trafikflödet under ett dygn. Hur mycket kan tjänas i monetära termer och i termer av lägre energianvändning om vi kan kapa den allra högsta toppen i kurvan? Att skapa jämn beläggning är viktigt och har stor påverkan på energianvändningen i samhället. Kan vi få en kollektivtrafik med jämn beläggning medför det lägre totala koldioxidutsläpp, lägre energianvändning samt minskade kostnader för kollektivtrafik. Effekterna av dessa ändringar kommer att utvärderas med fokus på kostnader och miljö och resultaten kan ge indikationer på huruvida små ändringar i avgångstider inom ett begränsat område skulle kunna extrapoleras och påverka kostnader samt miljö gällande kollektivtrafiken i Sverige som helhet. Projektet kan efter denna studie utvecklas till större skala och länkas till möjligheten att ändra skolstartstider och denna påverkan kan i sin tur öka möjligheterna att förändra arbetsstartstider och därmed på sikt ändra människors beteende och väl invanda resandemönster i samhället. En annan möjlighet att kombinera effekterna av att förskjuta bussavgångar är att använda sig av prisdiskriminering i tid. Detta innebär att det skulle vara dyrare för passageraren att åka med bussen i peak-tid jämfört med övrig tid.

## 2. Metod

### **I detta avsnitt beskrivs metoden som har använts i studien.**

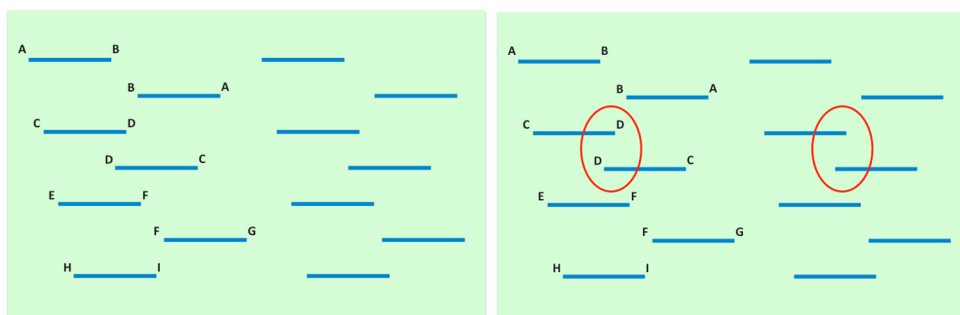
För att kunna utvärdera effekterna av tidsmässiga förskjutningar av bussavgångar har vi för att genomföra forskningsstudien använt planeringsverktyget Hastus. Hastus är det dominerande verktyget på marknaden som används världen över för att planera kollektivtrafiken, gällande alltifrån planering av tidtabeller till planering av förarscheman. Det har använts av bussoperatörer och beställare sedan 80-talet. Planeringsverktyget bygger på optimeringsmoduler av olika slag och olika prioriteringar finns inbyggda. Vid framtagandet av vagnplan (omlopp för hur bussar ska trafikera) respektive tjänsteplan (förartjänster) optimeras produktionen utifrån olika kostnads- och önskemålsfaktorer. Ett omlopp innebär planering för ett fordon en dag. Detta sker även vid framtagandet av förarscheman men komplexiteten vid framtagande av tjänsteplan är långt mycket större då fler faktorer måste beaktas såsom lagar, regler och avtal. Gällande vagnsplan, omloppsplanering för bussarna, som är det vi fokuserar på i denna studie, styrs denna också utifrån flera faktorer. Önskemål om hur turer ska koppla med varandra, vilka fordonstyper som skall användas på vilka linjer/turer eller bufferttider mellan avgångarna kan läggas in som regler och parametrar vid optimeringen. Optimeringen styr sedan mot att minska improduktiv tid och improduktiva kilometer utifrån förutsättningarna. Den tid och de kilometer som inte aktivt används för bussarna på turerna klassificeras som improduktiva. I denna studie kommer vi att använda Hastus för att kunna titta på olika scenarier där vi väljer att utöka frihetsgraden kontinuerligt när det gäller möjlighet att tidsmässigt flytta bussavgångar. Vi har undersökt möjligheten att flytta avgångarna från ett par minuter upp till en halvtimme. Genom att titta på dessa scenarier kan vi utvärdera hur många bussar som kan sparas in i peak-trafik (och då även totalt) med olika varianter av tidsförskjutningar för avgångar. Om antalet bussar kan sparas in under peak-trafiken kan de även sparas in under resten av dygnet då det är peak-tiderna som avgör behovet av bussar totalt under dygnet. Genom att kunna använda ett mindre antal bussar kan man förutom att spara in kostnaden för att köpa in bussar även spara in ytan för parkering i bussgarage. Några grundläggande faktorer som optimeringen i Hastus normalt bör ta hänsyn till är:

- Fordonstyper på linje- och/eller turnivå
- Distanser på omloppen (hur långt kan en viss fordonstyp rulla på ett trafikdygn)
- Önskemål om utsträck på omloppen (hur långa de bör vara i tid, för korta omlopp riskerar att bli ineffektiva vid kommande tjänstekonstruktion likaså för långa omlopp som måste klippas upp i kortare delar för att passa till konstruktion av förartjänster)

I de testfall som har använts i forskningsstudien flyttas turer i syfte att titta på resurseffektiviseringar och där har vi valt att utgå från en befintlig planering av tidtabeller

och omlopp, så som de faktiskt har trafikerats i verkligheten i det aktuella området. Vi har inte velat förändra förutsättningarna gällande till exempel hur turer får kopplas med varandra eller vilka turer som får köras med vilka fordonstyper. Istället har vi försökt begränsa testerna till att endast titta på vad anpassningar av tidtabellerna (tidsmässiga förskjutningar av avgångstider) kan bidra med när det gäller resursutnyttjande. Optimeringen i Hastus har i första hand fokuserat på att minska de totala kostnaderna givet villkor att få bussar används samt att effektiviteten bibehålls eller ökar.

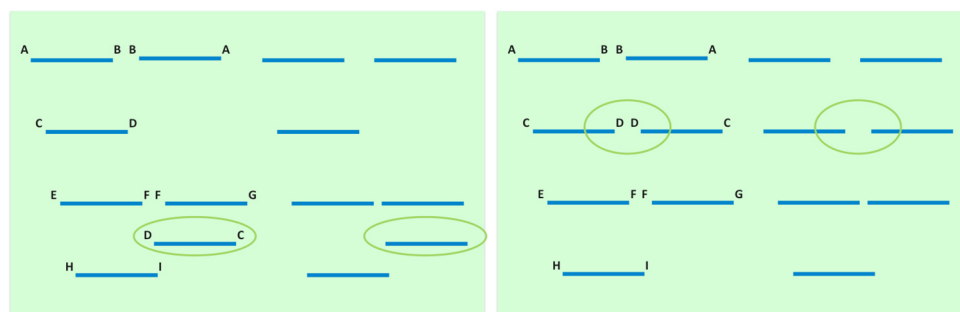
Vad vi vill uppnå med forskningsstudien har exemplifierats i figur 1 och i figur 2 nedan. Den vänstra bilden i figur 1 visar ett typiskt utseende på omlopp under en dag. De blå linjerna representerar turer och bokstäverna representerar geografiska platser. Den högra bilden belyser vilka turer som är problematiska i detta exempel. Vi ser att de blå linjerna i inringat område går omlopp, vilket i praktiken innebär att vi på samma geografiska plats inte kan använda samma buss. Bussen från D måste avgå strax innan en buss ankommer till samma plats, nämligen D.



**Figur 1**

Ett exempel på hur trafiksituationen kan vara i ett område med klassisk peak-trafik problematik.

Om möjligheten fanns att tidsmässigt skjuta på den tur som avgår ifrån plats D kan bussen som kommer från den geografiska platsen C användas för att sedan köra vidare tillbaka till plats D. Detta skulle innebära att antalet bussar kan minska och planeringen av bussarna bli mer effektiv. Resultatet av denna förändring visas i figur 2. Där kan vi se att genom att göra två mindre förändringar av avgångstider kan vi omgående ta bort en buss och i detta begränsade exempel använda oss av fyra bussar istället för fem bussar. Exemplet är konstruerat i syfte att visa potentialen av att tidsmässigt förskjuta bussavgångar.



**Figur 2**

Exemplet visar resultatet av en tidsmässig förskjutning av avgångar.

## 3. Data

**I detta avsnitt beskrivs var data till studien kommer ifrån och hur den har valts ut samt hur vi har fått tag på relevant data.**

### 3.1. Trafikområdet

Det område vi har valt att studera är en medelstor svensk stad med cirka 40 000 invånare där staden har haft tillväxt de senaste åren. I aktuellt trafikområde finns alla typer av trafik, såsom stadstrafik, regiontrafik och skoltrafik. När det gäller skoltrafiken så förekommer det både tidtabellslagd trafik och ej tidtabellslagd trafik. Trafiken i området har upphandlats vid ett flertal tillfällen hitintills. Samtliga värden som har använts i forskningsstudien har tagits från en dag i veckan och dagen som valts är måndagen. Mängden trafik varierar normalt mellan olika dagar och olika tider. Detta gäller framförallt skillnader mellan trafik måndag morgon till och med fredag eftermiddag och trafiken från fredag kväll till söndag kväll. Då denna studie fokuserar på peak-trafik var det naturligt att välja en vardag, måndag till torsdag, för att få ett karakteristiskt utseende på trafikflödet samt för att det normalt sett är vardagarna som dimensionerar behovet av antal fordon.

### 3.2. Schablonkostnader

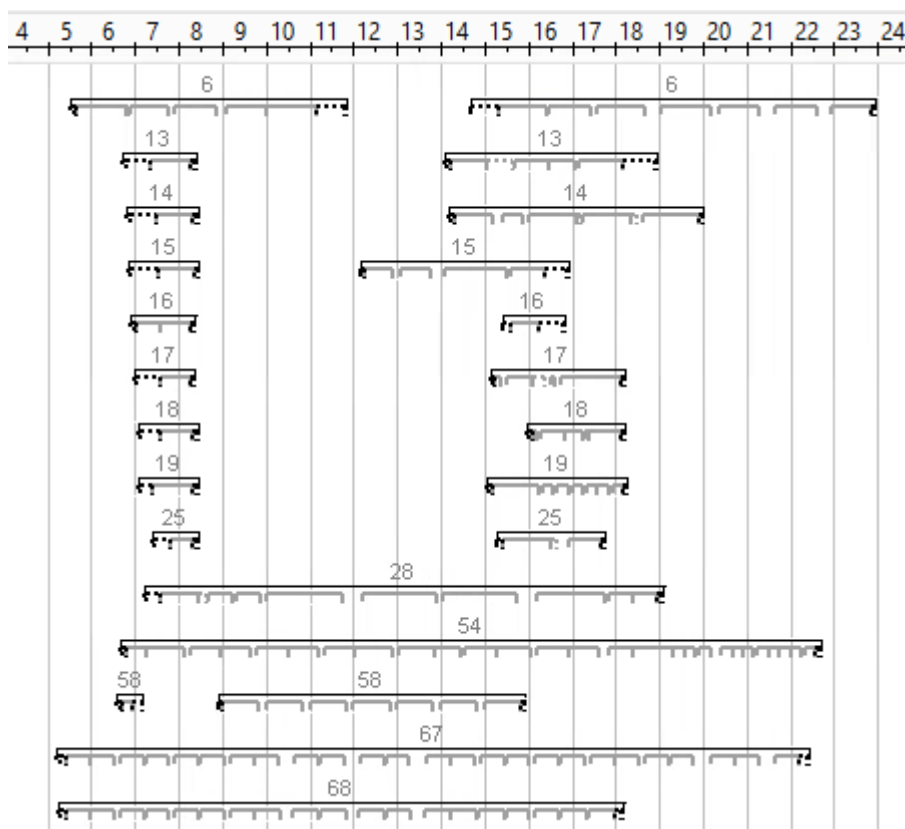
De schablonkostnader som vi har använt oss av i denna forskningsstudie är som följer:

- Timkostnad: 250 kr/h
- Kilometerkostnad: 8 kr/km
- Fordonskostnader: 350 000 kr/år i kapitalkostnad

Med programmet Hastus inställt på det huvudsakliga målet att minska de totala kostnaderna har det gjorts med de angivna kostnaderna. Utöver detta mål finns en rad begränsningar inlagda som bivillkor i programmet och även minde hårda krav, önskningsar, beaktas av programmet. Genom att modifiera inställningar i Hastus har vi kunnat testa att öka frihetsgraden när det gäller lagd tidtabell. Modifieringarna har gjorts tidsmässigt gällande bussavgångar men detta har även gjort att frekvens och intervall ändras i tabellen. Fördelen med, så kallad styv tidtabell, en tidtabell där bussar går med ett jämnt intervall, till exempel var tionde minut prioriteras inte i vårt case där små ändringar i tid medför att dessa intervall ändras och blir oregelbundna.

### 3.3. Omloppsstruktur

Nedanstående bild, figur 3, visar exempel på heldagsomlopp respektive delade omlopp. Tiden visas på horisontellt där den startar klockan fyra på morgonen och slutar klockan 24 på natten. Normalt är det inte lika mycket trafik mitt på dagen som under morgon och eftermiddag, därav uppkommer så kallad peak-trafik. I regiontrafik, som dessutom innehåller mycket skoltrafik, tenderar peakarna bli smala och höga vilket alltså innebär att det går åt många bussar för att kunna trafikera morgonturerna som ofta har avgångstider som inte går att kombinera med varandra. En rad i nedanstående bild är alltså ett omlopp, det vill säga en arbetsdag för en buss. Vidare kan vi i figur 3 till exempel se att omlopp nummer sex består av två block med ett par timmars vila mitt på dagen och att omlopp nummer 25 består av ett kort block på morgonen mellan klockan sju och åtta och sedan används bussen inte förrän strax efter klockan 15 igen. I figur 3 åskådliggörs tydligt peak-trafikens inverkan på planeringen av busstrafik.



Figur 3  
Heldagsomlopp respektive delade omlopp för aktuellt område.



## 4. Resultat

**I detta avsnitt presenteras resultaten av studien samt diskussioner om resultatens betydelse.**

Genom att använda programmet Hastus som bas och utifrån nuvarande planering i det aktuella området i Sverige, ändra inställningar och öka frihetsgraden när det gäller bussavgångarnas tidpunkt har vi fått fram resultat med fokus på att i främsta hand minska kostnaderna för busstrafiken. Vi har som ett första steg beaktat möjliga tidsmässiga förskjutningar i bussavgångar för tre scenarier, förskjutningar upp till två minuter, förskjutningar upp till fem minuter och förskjutningar upp till 15 minuter. För att mäta effekterna av dessa förskjutningar på olika sätt har vi beaktat följande mått:

### ***Tidtabellstid en vardag:***

Måtten anger antal timmar i trafik, vilket i sin tur innebär de timmar som är tillgängliga för kund, passageraren i detta fall.

### ***Tidtabellsdistans:***

Måttet anger antal kilometer i trafik, vilket innebär den sträcka i kilometer som är tillgänglig för kund, det vill säga passagerare.

### ***Total tid:***

Måttet anger totalt antal timmar för alla turer i planen. Utöver in-service-turerna (turer tillgängliga för passagerare) tillkommer tomkörningar, det vill säga körningar som inte är tillgängliga för kund men som behövs för att transportera fordonen till rätt plats.

### ***Minsta möjliga antal fordon:***

Minsta möjliga antal fordon är ett mått som visar hur många fordon det går åt för att köra alla turer i det aktuella trafikområdet med de förutsättningar som satts upp, till exempel fordonstyp, avgångstider, bufferttider eller liknande.

### ***Effektivitet:***

Detta är ett effektivitetsmått som ger förhållandet mellan in-service-timmar och totalt antal timmar i planen (utöver in-service-tid tillkommer till exempel tomkörningar, ståtid och påstigningstider).

### ***Antal block < 3h:***

Antal block (delar av bussarnas arbetsdag) som är kortare än tre timmar. Detta är intressant eftersom dessa ofta bidrar till garantitider (förarna ersätts för minst tre timmar oavsett om de enbart behövs för tio minuter).

### **Snittlängd på block <3 h:**

Den genomsnittliga längden på de block som är kortare än tre timmar representeras av detta mått.

### **Antal turer som flyttats (totalt antal turer):**

Antal turer som är förskjutna då detta har tillåtits. Detta innebär att modifiera tidtabellernas avgångstider vilket i sin tur möjliggör besparing av tid och fordon. Man kan med olika hjälpmedel ställa in parametrarna i Hastus för hur turer får flyttas och i vilket syfte de eventuellt ska flyttas. Inom parantes anges också det totala antalet tidtabellsturer i vagnplanen.

### **Antal minuter som flyttats, totalt/snitt:**

Måttet anger hur många minuter som turerna totalt sett har flyttats i aktuella scenarier samt hur många minuter det blir i genomsnitt.

Resultaten av de tre scenarierna presenteras i tabell 1. I tabellen framgår också värden på de framtagna måtten som finns i det ursprungliga fallet, utan tillåtna förändringar, nedan kallat *Grund*.

**Tabell 1**

Resultat gällande möjliga tidsmässiga förskjutningar av bussavgångar upp till 15 minuter.

<b>Statistik en vardag (måndag)</b>	<b>Grund</b>	<b>Flytta 0-2 min</b>	<b>Flytta 0-5 min</b>	<b>Flytta 0-15 min</b>
Tidtabellstid en vardag, (h)	496,35	496,35	496,35	496,35
Tidtabellsdistans, (km)	17937,76	17937,76	17937,76	17937,76
Total tid (h)	636,45	636,75	632,80	622,35
<b>Minsta möjliga antal fordon</b>	<b>75</b>	<b>74</b>	<b>70</b>	<b>67</b>
Effektivitet (tidtabellstid / total tid i %)	77,99	77,95	78,44	79,75
Antal block < 3h00	61	64	60	47
Snittlängd på block < 3h00	1h46	1h43	1h50	1h48
Antal turer som flyttats (totalt antal turer)	0 (788)	5 (788)	48 (788)	88 (788)
Antal minutrar som flyttats (totalt / snitt per tur)	0	8 / 1,6	126 / 2,6	417 / 4,7

I tabell 1 kan vi se att antal fordon är markerat med fetstil, detta för att visa att efter målet att minska totalkostnaderna fokuseras det på att använda så få fordon som möjligt. De olika scenarierna kommenteras separat nedan:

### **Flytta tidsavgångar med 0-2 minuter**

När vi gav programmet möjligheten att flytta turer med maximalt två minuter blev resultatet att fem turer flyttades. Dessa visade sig vara spridda på fem olika linjer. Eftersom turer endast är tillåtna att flyttas maximalt två minuter så blev effekten en mer ojämn tidtabell snarare än förändrad turtäthet. Enbart genom att flytta dessa turer kunde

vi spara in en buss jämfört med ursprungsfallet och de fem turer som flyttades innebar en total förskjutning på åtta minuter.

### ***Flytta tidsavgångar med 0-5 minuter***

Majoriteten av turerna som flyttades (48 turer av totalt 788 turer) vid detta scenario, upp till fem minuter, låg fördelade på två linjer. Dessa turer låg samtliga i morgon-peaken som också är den dimensionerande peaken i detta område. Genom att tillåta förskjutningar upp till fem minuter kunde vi spara totalt fem bussar jämfört med ursprungsfallet och detta resulterade även i en högre effektivitet och ett minskat antal block mindre än tre timmar.

### ***Flytta tidsavgångar med 0-15 minuter***

När vi tillåter förflyttningar upp till 15 minuter börjar vi spara så pass många fordon, totalt åtta stycken, att även turer i eftermiddags-peaken behöver flyttas för att inte riskera att bli dimensionerande där istället. Detta gör i sin tur också att vi naturligtvis tvingas flytta ett större antal turer totalt sett. Det är 14 turer totalt som flyttats med det maximala värdet av 15 minuter. 14 turer av de totalt 88 som har flyttats är inte mycket i sig, däremot får det naturligtvis en stor inverkan på turtätheten. Det krävs inte särskilt hög turtäthet för att en tur som flyttas 15 minuter ska få ganska stor inverkan. Har man till exempel 20-minuterstrafik och flyttar en tur i intervallet så riskerar man att helt plötsligt få 5-minuterstrafik blandat med 35-minuterstrafik. Ofta säras turerna vid ankomst respektive avgång, rakt genom större delen av peaken. Detta gör att turtätheten i sig nödvändigtvis inte behöver raseras under peaken i sig. Dock får man mindre önskade effekter mitt i ett intervall och/eller övergång till ny turtäthet. Detta innebär att man mitt i ett intervall där man till exempel har 15-minuterstrafik kan få 20-minuterstrafik mellan två avgångar för att sedan gå tillbaka till 15-minuterstrafik.

**Tabell 2**

Resultat gällande möjliga tidsmässiga förskjutningar av bussavgångar upp till 30 minuter.

<b>Statistik en vardag (måndag)</b>	<b>Grund</b>	<b>Flytta 0-20 min</b>	<b>Flytta 0-25 min</b>	<b>Flytta 0-30 min</b>
Tidtabellstid en vardag, (h)	496,35	496,35	496,35	496,35
Tidtabellsdistans, (km)	17937,76	17937,76	17937,76	17937,76
Total tid (h)	636,45	552,78	557,62	550,80
<b>Minsta möjliga antal fordon</b>	<b>75</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>67</b>
Effektivitet (tidtabellstid / total tid i %)	77,99	89,79	89,01	90,11
Antal block < 3h00	61	44	54	43
Snittlängd på block < 3h00	1h46	1h48	1h52	1h52
Antal turer som flyttats (totalt antal turer)	0 (788)	72 (788)	40 (788)	70 (788)
Antal minutrar som flyttats (totalt / snitt per tur)	0	367 / 5,1	182 / 4,55	430 / 6,1

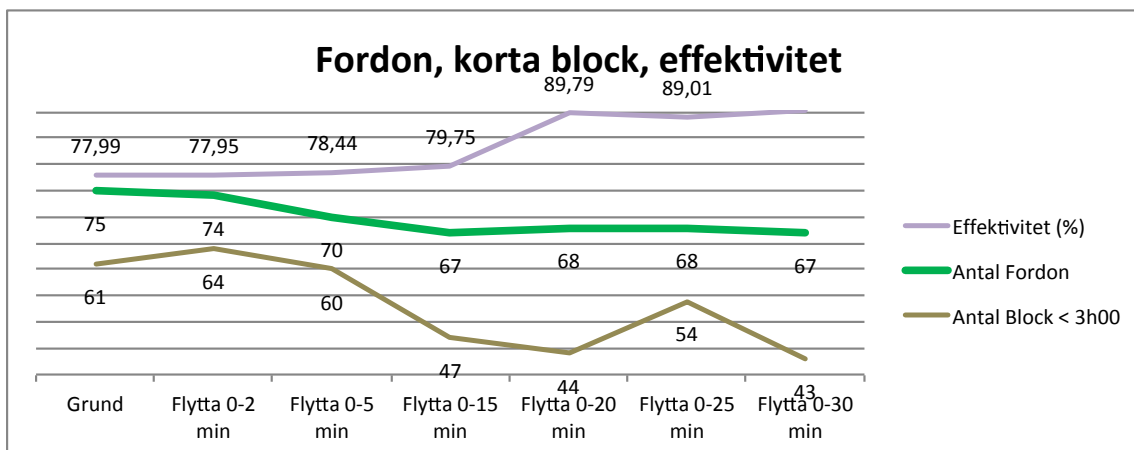
### ***Flytta tidsavgångar med 0-30 minuter***

Vi ser här i de tre sista fallen (20-30 minuter) att möjligheten att spara fordon avtar i förhållande till övriga kostnader. Vi vinner relativt mycket i en effektivare vagnsplan, utan att behöva flytta fler turer. I de två första fallen drar det till och med ett fordon extra jämfört med 0-15 minuter, men effektiviteten ökar med cirka 10 procentenheter. Detta är väldigt mycket, vilket troligen väger upp kostnaden för ett fordon extra. I nästa fall (0-25 minuter) ligger både antal fordon och effektivitet i paritet med föregående testfall, i gengäld har optimeringen i Hastus hittat en lösning där relativt få turer flyttas. I sista testfallet (0-30 minuter) har optimeringen åter kunnat spara ett fordon, samtidigt som den behåller (till och med ökar) effektiviteten.

Ges vi möjligheten att flytta turer hela 30 minuter når vi både den högsta effektiviteten och det lägsta fordonsantalet i dessa tester. Man ska dock komma ihåg att när vi pratar om att flytta turer 20-30 minuter i peak, då är det förmodligen endast rimligt för enskilda avgångar, till exempel skolturer. Har vi en tidtabell med en viss turtäthet så är det sällan det förekommer lägre än 30-minuters turtäthet som dessutom skulle vara dimensionerande. Till en viss del handlar det om att se vad som händer om vi flyttar turer ännu mer, uppemot 30 minuter. Här ser vi att det inte ger så mycket avseende antal fordon, vilket verkar rimligt. Den spetsiga peaken är kapad och för att spara ytterligare fordon måste vi flytta turer så pass mycket att vi börjar samköra peak-trafik med dagtrafik (off-peak trafik), och då handlar det om att flytta flera timmar men även göra om utbudet. När fordon inte sparas lika lätt börjar optimeringen flytta turer för att vinna framförallt tid och kilometer. Då blir det hela tiden svängningar gällande vad som ger mest, samtidigt som att flytta turer har ett inbyggt straff i sig (är ju en avvikelse mot det tänkta).

När det gäller turtätheten kan man inte generellt säga att turtätheten påverkas på det ena eller andra sättet, det beror helt på vilka turer som dimensioneras och hur tidtabellerna är uppbyggda från fall till fall. Något man däremot kan säga är att till exempel förstärkningsturer och skolturer normalt sett inte är lika beroende av en viss turtäthet, så där kan man ju ge tillåtelse att flytta mer utan att det innebär en kostnad för totallösningen. Det är därför vi kan spara de första fordonen utan att flytta särskilt många turer sett till antalet. När vi tillåter en större variation i avgångstider så flyttas också fler turer eftersom det finns fler fordon att spara, men då får det också konsekvenser för till exempel turtätheten.

Utvecklingen av antal fordon, antal korta block mindre än tre timmar samt effektiviteten i de olika scenarierna illustreras i figur 4. Vi kan i figuren se hur antalet fordon minskar omgående, även vid små förskjutningar men att effektiviteten ökar markant först vid större tidsförskjutningar i avgångar.



**Figur 4**

Antal fordon, antal korta block mindre än tre timmar samt effektiviteten illustreras i graferna.

Antal fordon ligger alltid med som en parameter i optimeringen, likväl som kostnad för timmar och kilometer. Att försöka utesluta någon av dessa parametrar i optimeringen skulle slå väldigt snett och är heller inget som görs. I grunden så ligger det en kostnad på fordon, kilometer och timmar för optimeringen, dessa kostnader ligger som en förutsättning i bakgrunden där de är avvägda mot varandra. Däremot kan vi försöka leda optimeringen åt olika håll genom att straffa till exempel själva förskjutningen av turer. Med ett lågt straff på varje enskild förskjutning talar vi om för optimeringen att det är okey att flytta turer även för att spara ineffektiv tid, inte bara fordon. Ett högre straff skulle således leda optimeringen mot att försöka flytta turer endast i de fall den sparar fordon (för att kostnaden för ett fordon generellt sett är hög). Men vi ska komma ihåg att det är många faktorer programmet lägger in i optimeringen och det är alltid den totala kostnaden som i slutändan ger oss vårt resultat. Det innebär att en tillräckligt stor besparing av ineffektiv tid skulle kunna motivera ett fordon extra, så länge totalkostnaden blir lägre.

I tillägg till detta kan vi i själva funktionen för turförskjutning också tala om hur viktigt det ska vara att förhålla sig till befintlig turtäthet. Här har vi valt att vara neutrala, dels för att hålla det enkelt men också för att se vad den flyttar just i peaken. Med straff på turtäthet skulle optimeringen vara tvungen att flytta hela sjok av turer för att inte spräcka turtätheten.

Framtagna resultat visar indikationer på hur mycket som bussoperatören kan tjäna på att få friheten att flytta bussavgångar med några minuter. En slutsats av dessa testfall är att max-peaken, den allra spetsigaste toppen, breder ut sig under ca femton minuter. Det är också efter det som de stora effekterna på effektivitet kommer, snarare än minskning av antal fordon. Om vi skulle tillåta en flytt av turer på flera timmar, så skulle vi visserligen fortfarande spara fordon, men då handlar det inte längre om att ta hand om peakarna, utan då börjar vi även optimera om dagtrafiken och hela trafikdygnet skulle därmed förändras. Om bussoperatörerna skulle kunna minska sina kostnader genom att tidsmässigt förskjuta bussavgångar skulle det i förlängningen innebära att de kan lägga lägre bud vid upphandlingen och det i sin tur bidrar till minskade kostnader för de regionala kollektivtrafikmyndigheterna, RKM, samt i slutändan för samtliga skattebetalare

inklusive passagerarna. Användandet av färre bussar och bättre utnyttjande av de bussar som används bidrar också till miljömässiga vinster och ett energieffektivt kollektivsystem. Resultaten har potential att ligga till grund för och koppla till annan forskning kring effekter av ökad flexibilitet i kontrakt.

## 5. Slutsatser och framtida studier

**I detta avsnitt presenteras resultaten av studien samt diskussioner om resultatens betydelse.**

I denna studie har vi undersökt effekterna av att tidsmässigt skjuta på bussavgångar i peak-tider högst marginellt med alltifrån två minuter till 30 minuter. Genom att använda det optimeringsbaserade programmet Hastus som verktyg har vi genom ändrade inställningar och krav undersökt vilka effekter det kan ge när det gäller effektivitet och antal bussar som behövs i ett trafikområde i Sverige med invånarantal på cirka 40 000. Det övergripande målet har varit att minska kostnaderna genom att kunna använda färre bussar och därmed färre bussförare och då även att kunna nyttja de kvarvarande bussarna på ett bättre och mer effektivt sätt. Resultaten visade att genom att öka frihetsgraden med enbart några minuter skulle man kunna spara in på antalet bussar och det som händer då är att man även lyckas kapa den allra spetsigaste toppen i den, så kallade peak-kurvan. Dessa resultat på ett mindre avgränsat område ger indikationer på vilka resultat som skulle kunna nås på större områden och på längre sikt. Istället för att låta dagens efterfrågan på kollektivtrafik styra utbudet av kollektivtrafik finns möjligheten att genom att ändra utbudet försöka att ändra människors beteende och då med särskilt vikt på beteendet i rusningstrafik, peak. Detta kan förstås inte göras som ett separat inslag utan måste kombineras med andra åtgärder såsom att ändra skolstartstider på vissa skolor och att arbeta med prisdiskriminering kopplat till tid, vilket innebär att det skulle vara dyrare att åka i peak-tid och billigare att åka kollektivt i off-peak. Kan man samarbeta med kommuner och rektorer har man möjlighet att även påverka barnens föräldrar och deras beteende. Om skolbussen går tidigare kan föräldrarna komma iväg tidigare till arbeten och därmed kanske undvika att åka kollektivt i peak-tiden. Är det så att föräldrar huvudsakligen tar bilen, kan även där peak-tiden undvikas och det kan leda till att framkomligheten för bussarna i peak-tiden blir bättre. En utmaning i dessa framtidsvisioner är förstås att inte bara skjuta på själva peaken utan att den allra spetsigaste peaken ska kapas. Om man enbart lyckas skjuta fram peaken i tid, har man inte tjänat något på åtgärderna utan bara ändrat karaktären på problemet med peak-trafik. En annan nackdel med att marginellt tidsmässigt flytta bussavgångar är att man kanske går ifrån en tidtabell med jämnt intervall av bussar, till exempel att bussen går varje kvart till en tidtabell där intervallet mellan bussavgångar skiljer sig åt. Detta kan anses negativt ur ett kundperspektiv, då ett jämnt tidsintervall mellan bussavgångar underlättar för passageraren då det är enklare att hålla reda på att bussen går varje kvart i jämförelse med att komma ihåg exakta tidsavgångar. Dock finns de flesta tidtabeller numera digitalt och ibland enbart digitalt vilket innebär att kunden ofta har tidtabeller i sin telefon eller motsvarande och är inte lika beroende av eller hjälpt av att bussarna avgår med jämna tidsintervall. Den ökande användningen av applikationer (appar) i mobiltelefonerna innebär också att tiderna för bussavgångar enkelt visas i telefonen och det kan göra att vikten av avgångar med jämna intervall minskas i framtiden. Detta beror också förstås på hur ofta bussarna går, turtätheten, om de går med en halvtimmes mellanrum har man som

passagerare mer koll på exakt tidsavgång jämfört med om bussarna går med tio minuters mellanrum då passagerarna oftast inte tittar på exakt tidsavgång utan ställer sig vid busshållplatsen och helt enkelt tar nästa buss. Således bör man beakta helheten när man arbetar med trafikflödets utseende så att man har det yttersta målet i sikte, både gällande biltrafik och kollektivtrafik, att skapa ett jämnt trafikflöde där skillnaden mellan toppar och dalar inte är så stor. Ett jämnt trafikflöde bidrar till ett optimalt utnyttjande av fordon och en planering av personal i kollektivtrafiken som är gynnsam utifrån personalens perspektiv. Denna forskningsstudie bör ses som ett första steg i denna riktning och den bör kompletteras med ytterligare studier på andra områden och i en betydligt större omfattning.



## 6. Referenser

- Aronsson, M., Kreuger, P., och Gjerdrum, J. (2006). An efficient MIP model for locomotive scheduling with time windows. ATMOS 2006 - 6th Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways, 14-16 September 2006, Zürich, se <http://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2006/683/>
- Betano, M., Wika Haraldsen, K., Opheim Ellis, I. och Norheim, B. (2016). Et harmonisert nasjonalt takstsystem – Muligheter for økt attraktivitet og bruk av kollektivtransport? Rapport 86/2016 Urbanet Analyse.
- Camén, C., och Lidestam, H. (2016). Dominating factors contributing to the high(er) cost for public bus transport in Sweden, *Research in Transportation Economics*, 59, ss. 292-296.
- Cow, W. och Duthion, B. (2001). Competition in urban public transport – a world view, Paper presented at the Thredbo, Molde, Norway, June 2001.
- Eriksson, T., Wika Haraldsen, K., och Johansson, M. (2016<sup>a</sup>). Karlstadsbuss Prisstudie – Analys och förslag till åtgärder för att öka resandet och förbättra ekonomiskt resultat genom ett aktivt användande av prisinstrument, Notat 99/2016, Urbanet Analyse.
- Eriksson, T., Wika Haraldsen, K., och Johansson, M. (2016<sup>b</sup>). Prisprojekt Värmland – Analys av möjligheter att effektivisera pris-/taxesystemet i Värmlands län med syfte att förbättra ekonomiskt resultatet och ökat resande, Notat 100/2016, Urbanet Analyse.
- Eriksson, T., Betanzo, M., Johansson, M. och Norheim, B. (2017). Hur får vi mer kollektivtrafik för pengarna? – Ekonomisk analys av perioden 2000-2015 av svensk upphandlad kollektivtrafik, Rapport 118/2017 Urbanet Analyse.
- Gunnarsson, M. (2016). Förbättrad kollektivtrafik för alla – synkade skoltider, gemensamt tänk, presentation Transportforum, januari 2016, Linköping.
- Henscher, D. A., och Wallis I. P. (2005). Competitive tendering as a contracting mechanism for subsidizing transport – The bus experience, *Journal of Transport Economics and Policy*, 39(3), ss. 295-321.
- Lidestam, H., och Abrahamsson, M. (2010). Mathematical modeling for evaluation of public procurements for bus transports in terms of emissions, *Management of Environmental Quality*, 21(5), ss. 645—658.
- Lidestam, H. (2014). Sustainable bus transports through less detailed contracts, *Renewable Energy*, 61, ss. 141—146.
- Lidestam, H., Jonsson, S., och Byström, M. (2016). Hur kan vi jämna ut förhållandet mellan toppar och dalar i peak-kurvan?, Transportforum, Linköping, 2016.
- Lidestam, H., Jonsson, S., och Byström, M. (2016). Kapade toppar i peak-kurvan- En studie om effekten av förskjutningar i tidtabeller presentet på den Nationella Transportkonferensen på Lunds universitet, Lund Oktober 2016.
- Lidestam, H., Camén, C., och Lidestam, B. (2017). Evaluation of costs drivers within public bus transports in Sweden, at the 15th International Conference Series on Competition and Ownership in Land Passenger Transport in Stockholm, 13/8—17/8 2017.
- Ljungberg, A. (2009). Staggered school hours to spread peak demand for public transport. Benefits and costs, *International Journal of Transport Economics*, 36(1) ss. 141—160.
- Pyddoke, R., och Wretstrand, A. (2016). Vilken grad av prisdifferentiering? – En översikt av analyser av optimala taxor i kollektivtrafiken, K2 Outreach 2016:10.
- Sveriges Bussföretag (2015). Läge för fler funktionsupphandlingar i kollektivtrafiken.







K2 är Sveriges nationella centrum för forskning och utbildning om kollektivtrafik. Här möts akademi, offentliga aktörer och näringsliv för att tillsammans diskutera och utveckla kollektivtrafikens roll i Sverige.

Vi forskar om hur kollektivtrafiken kan bidra till framtidens attraktiva och hållbara storstadsregioner. Vi utbildar kollektivtrafikens aktörer och sprider kunskap till beslutsfattare så att debatten om kollektivtrafik förs på vetenskaplig grund.

K2 drivs och finansieras av Lunds universitet, Malmö universitet och VT1 i samarbete med Stockholms läns landsting, Västra Götalandsregionen och Region Skåne. Vi får stöd av Vinnova, Formas och Trafikverket.

[www.k2centrum.se](http://www.k2centrum.se)

