

Förstudie:

Optimering av Linjenätverk

Vägverket har sektorsansvar för kollektivtrafik på väg

Vägverket har ett övergripande ansvar för att utveckla ett miljöanpassat vägtransportsystem som klarar höga krav på trafiksäkerhet med hänsyn tagen till tillgänglighet och regional utveckling.

Vägverket ska bl a särskilt verka för att kollektivtrafikens konkurrenskraft stärks och att andelen funktionshindrade som kan utnyttja kollektivtrafiken ökar. Sektorsansvaret innebär att verket har en samlande, stödjande och pådrivande roll inom kollektivtrafikområdet.

Ett sätt att utöva sektorsansvar är att bedriva och stödja forsknings- och utvecklingsprojekt. Denna rapport redovisar ett forskningsprojekt genom-fört med stöd av Vägverket.

Publiceringen innebär inte att Vägverket tar ställning till framförda åsikter, slutsatser eller resultat.

Rapporten finns tillgänglig via Vägverkets webbplats www.vv.se

Titel: Förstudie: Optimering av Linjenätverk

Författare: Leonid Engelson, Hélène Bratt och Lars Pettersson, Inregia

Kontaktperson: Lars Nord, Enhet Samhälle och Trafik, Vägverket

Dokumentbeteckning: Publikation 2004:171

Utgivningsdatum: 2004-12 **ISSN:** 1401-9612

Distributör: Vägverket, Butiken, 781 87 Borlänge. Telefon 0243-755 00.

Telefax 0243-755 50. Epost vagverket.butiken@vv.se

1 Sammanfattning

Denna rapport beskriver resultat av en förstudie som Inregia Genomfört med stöd av Vägverket och SL angående en metod för automatisk generering av kollektivtrafiklinjer. Metoden har nyligen utvecklats och testats av Wayne Duff-Riddell vid Stellenbosch University i Sydafrika. Syftet med studien var att utreda förutsättningar för implementering av en sådan metod vid linjeplanering i svenska storstäder. Utöver den sydafrikanska metoden har projektgruppen tittat även på andra metoder och algoritmer för generering av linjer och bestämning av frekvenser.

En slutsats av studien är att vissa delar av metoden kan vara intressanta att tillämpa i svenska städer. Dock inte hela metoden som den är beskriven i avhandlingen. I stället för en helt automatiserad linjeplanering bör man satsa på utveckling av en flexibel verktygslåda med bl a generering av nya linjer och frekvensoptimering i det befintliga nätet. Utveckling av sådana verktyg kräver ett nära samarbete mellan planerare och forskare.

Studien har genomförts på Inregia AB av Hélène Bratt, Leonid Engelson och Lars Pettersson. Referensgruppen bestod av Helena Hjertstrand (SL), Magnus Lorentzon (Västtrafik), Christer Wallström (Skånetrafiken) och Lars Nord (Vägverket).

2 Innehåll

1	Sammanfattning.....	3
2	Innehåll	4
3	Planering av stadens kollektivtrafiknät.....	5
4	Planeringsprocessen.....	5
5	Metoder för kollektivtrafikplanering.....	8
6	Duff-Riddells metod.....	8
6.1	Duff-Riddells utgångspunkt.....	8
6.2	Beskrivning av Duff-Riddells metod	9
6.3	Kombiutläggningen	10
6.4	Fokuseringen	10
6.4.1	Efterfrågan	10
6.4.2	Generaliserad kostnad.....	10
6.4.3	Design för flera perioder.....	11
6.5	Linjeextraheringen	11
6.5.1	Undvika loopar	12
6.5.2	Kapacitet	13
6.6	Expressbussar.....	13
6.7	Resursallokering	14
7	Test av Duff-Riddells metod	15
7.1	Kombiutläggningen	15
7.2	Fokuseringen	15
7.3	Linjeextraheringen	17
7.4	Resursallokering	20
8	Problem.....	20
8.1	Efterfrågematriser	20
8.2	Reguljära resenärer på expressbusslinjer	20
8.3	Fokusering till motorvägar	21
8.4	Främjar matarbussar	21
8.5	Hållplatser	21
8.6	Ingen hänsyn till OD-relationer i linjeextraheringen.....	21
8.7	Resursallokeringen	21
9	Vidareutveckling.....	22
9.1	Befintligt nät i fokuseringen och i extraheringen	22
9.2	Flera perioder i resursallokeringen.....	22
9.3	Resursallokering	22
10	Alternativa metoder.....	23
10.1	Fokusering av en del av efterfrågan med ett givet kollektivtrafiknät	23
10.2	Frekvensoptimering.....	23
10.3	Hasselströms heuristik	25
11	Slutsatser.....	26

3 Planering av stadens kollektivtrafiknät

Planering av kollektivtrafiknät i en stad består av flera olika moment som i sig är mycket komplexa och dessutom ömsesidigt beroende. Hållplatslägen, linjenät, turtätheter, tidtabeller, fordons- och personalallokering påverkar alla hur väl kollektivtrafikens mål uppfylls. Planeringen som baseras på efterfrågan av kollektivtrafik påverkar därutöver i sin tur efterfrågan, vilket ökar komplexiteten. Själva målen för planeringen är ofta motstridiga. Antalet faktorer som måste beaktas i processen är så stort (redan vid måttligt stora linjenät) att det blir omöjligt att planera hela systemet på en gång. Linjenäten riskerar därmed att bli fragmenterade och ineffektiva. Med en avancerad metod som klarar av att beakta flera faktorer simultant är det troligen möjligt att förbättra processen och få effektivare linjenät. Syftet med denna förstudie har varit att analysera förutsättningar för att implementera ett sådant beslutstödssystem för linjeplanering i kollektivtrafik i svenska städer.

4 Planeringsprocessen

Huvudprinciper för planeringen av kollektivtrafiknät i städer läggs fram i Vägverkets handbok ”Trafik för en Attraktiv Stad – TRAST” (www.vv.se/vag_traf/vgu-trast/trast). Uppbyggnaden av nätet går vanligen enligt följande mönster:

- Kartläggning och identifiering av ett behov av utökad kollektivtrafik
- Utredning av möjligheter att tillgodose behovet med förändringar i befintligt linjenät, med nya linjer eller ett helt nytt nät

Att designa ett helt nytt nät är dock ganska ovanlig uppgift och man eftersträvar alltid en viss kontinuitet i planeringen.

Vid nätplaneringen utgår man från de viktigaste kriterierna för ett bra kollektivtrafiksystem: snabbhet, enkelhet, trygghet, pålitlighet och tillgänglighet. Av dessa faktorer är snabbheten och enkelheten högst relevanta vid planeringen av linjenät. Dessa åstadkoms genom ett nät som består av gena och centrala linjer med hög turtäthet (stomlinjer) som kompletteras (särskilt i stora städer) med lokala linjer (inom en stadsdel), matartrafik och servicelinjer. Handboken rekommenderar planerare att bygga nät som orsakar få byten och där linjer följs i stråk. Utöver detta styr även de ekonomiska ramarna planeringen.

Tillämpning av reglerna sker på olika sätt hos Sveriges trafikhuvudmän. Här illustrerar vi med strategierna hos de trafikhuvudmän som sköter kollektivtrafiken i Sveriges tre största städer.

På **SL** gör man regelbundna trafiköversyner som börjar med en kartläggning av marknadsunderlag och befintlig utbud. De systematiska resmatrisundersökningarna samt passagerarräkningarna utgör en viktig bas för uppdatering av resmatriser. Sedan utförs en bristanalys (genom identifiering av ”dåliga relationer” enligt uppställda kriterier samt trafiktekniska brister) och idégenerering då synpunkter och förslag sammanställs från trafikanter, SL, kommuner och operatörer. Baserad på de olika idéerna, utarbetar planerarna alternativ med hänsyn till den företagsekonomiska ramen och testar dem i

nätanalysprogrammet VIPS. Efter en samhällsekonomisk jämförelse, fastställs ett slutalternativ. Alternativet går på remiss och genomförs efter beslut.

Utarbetningen av alternativ görs manuellt med hänsyn tagen till vissa mål, såsom:

- Minimera byten genom att möjliggöra direktresor till centrum eller pendeln/tunnelbanan
- När det är möjligt, skapa flera alternativ för kollektivresande från/till området
- Följa gångavståndsnormerna (den längsta gångavstånd till hållplats som beror på bebyggelsekaraktär och typ av linje)
- Motivera turtäthetsändringar
- Anpassa till stomtrafikens tidtabell
- Dimensionera utsättningen

Trafiköversyner på **Västtrafik** orsakas vanligen av nysatsningar, nyproduktion (framtidsscenarier) eller besparingar. Vid satsningar testas olika linjesträckningar, framkomlighetsåtgärder, bytespunkter mm. Även här används resultat av resvaneundersökningar som görs var femte år. Urvalet är dock inte tillräckligt för att estimeras en bra resmatris. Västtrafik har tillgång till matriser på hållplatsnivå från 2000. Bilnätet finns tillgängligt för Västtrafik hos Trafikkontoret och är kodat i Visum. Matrisen för bilar finns dock bara för dygn och är mycket grövre i rummet än vad den är för kollektivtrafiken. För framtidsscenarier görs analyser på grövre nivå och resultaten analyseras med avseende på resuppföring, kapacitet, kostnader och miljökonsekvenser. Besparingar är den vanligaste orsaken till trafiköversyn. I dessa fall består alternativen av olika turtäthetsänkningar och analyser görs av huruvida man klarar kapaciteten, om det finns alternativa resvägar eller om det finns tillräckligt stort underlag för turen. Här utnyttjas resanderäkningar på turnivå och beräkningarna görs i Excel. Optimering av antal fordon sker huvudsakligen hos entreprenörerna men också av Västtrafiks planerare i samband med upphandling på avtals- och paketnivå.

Skånetrafiken har utarbetat en omfattande strategi för busstrafiken som gäller både regional- och stadstrafik. All kollektivtrafik har delats i tre klasser: Starka stråk, Medelstarka stråk och Svag trafik. Starka stråk används för alla resänder, kör alla dagar från tidig morgon till sen kväll (har även nattrafik) och har minst en tur var 10:e minut i stadstrafik. Medelstarka stråk fungerar för flera typer av ärenden, kör vardagar 6-19 i 15-20 minuterstrafik. Svag trafik används bara av ett fåtal resänder (t ex utbildning eller inköp), har begränsade öppettider och låg turtäthet. Denna klassificering är ganska stabil men ibland prövar man om stråk bör klassas upp eller ner när de ligger i gränsskiktet mellan klasserna. En viktig faktor vid linjeplanering i skånska städer är enkelhet som förutsätter tydliga linjer (undvika förgreningar och enkelriktade rundkörningar, lägga hållplatserna i motsatta riktningar mitt emot varandra) och så få linjer som möjligt i varje stråk. Viktiga resrelationer till, från eller inom städerna ska normalt inte kräva mer än ett byte.

Strategier har definierats för två förutsättningar: vid ökade och vid minskade resurser. Vid ökade resurser föreslås (när det gäller stadstrafik) ökat turutbud på

starka stråk kvällar och helger medan man vid minskade resurser minskar antalet omlottskörning och reducerar svag trafik samt nattrafik utanför de starka stråken.

På en workshop har representanter från de tre trafik huvudmän svarat på frågorna angående kriterier som används vid linjeplanering, med följande resultat (inte alla föreslagna kriterier blev besvarade):

Kriterium	SL	Väst trafik	Skåne trafiken
Anpassa linjesträckningarna till koncentrationer av bebyggelse och efter huvudgatornas struktur	Används	Används	Används
Sätt avståndet mellan linjer till ca 800 m i stadsbyggd, 1600 m i förortsområden och tätare om terrängen hindrar gångtrafiken.	Används ej	Används ej	Används ej
Erbjud X meters hållplatsavstånd till Y procent av befolkningen vid en viss befolkningstäthet	Används	Används	Används ej
Trafikförsörj stora arbetsplatsområden, skolor, sjukhus, och infartsparkeringar	Används	Används	Används
Linjesträckningar ska hålla en tydlig riktning och undvika slingrande sträckning.			Används
Linjesträckningar ska vara så korta som möjligt för att försörja sitt upptagningsområde.			Används
Antal linjer per gata ska hållas lågt (max 2), utom i anslutning till stora bussterminaler.	Används ej	Används ej	Används
Maximera boende och sysselsatta inom visst gångavstånd till en linjesträckning dividerat med linjelängden	Används ej	Används ej	Används ej

Denna jämförelse visar att många kriterier är gemensamma för alla trafik huvudmän. Trots att kriterierna ser naturliga ut är de ganska svåra att operationalisera. Med operationalisering menar vi etablering av ett kvantitativt mått för kriterierna – ett nödvändigt villkor för att kunna automatisera design av linjerna. Särskilt svårt är det med kvantifiering av ”enkelhet” och ”tydlighet” som kräver en bra förståelse av vad som avgör att vissa strukturer upplevs som enkla eller som komplicerade av människor.

5 Metoder för kollektivtrafikplanering

De metoder som utvecklats för att försöka lösa problemet att planera kollektivtrafik kan klassificeras i tre kategorier:

- Praktiska handledningar och ad hoc procedurer
- Analytiska optimeringsmodeller för idealiserade situationer
- Heuristiska¹ metoder för mer realistiska problem

Analytiska optimeringsmodeller används främst för att fastställa vissa designparametrar i ett redan fastställt linjenätverk. För att designa linjenätstrukturen och eventuellt andra designparametrar samtidigt används heuristiska metoder. Heuristiska metoder innebär ofta en kombination av flera optimeringsmodeller som används i en viss ordning. Metoden som behandlas i denna rapport tillhör den senare gruppen.

6 Duff-Riddells metod

Metoden som beskrivs i denna rapport presenteras i Wayne Duff-Riddells avhandling *A computerised decision support system for the implementation of strategic logistics management optimisation principles in the planning and operation of integrated urban public transport* som lades fram år 2002 vid Stellenbosch University i Sydafrika. Det är en praktisk metod för att med hjälp av ett väg- och spårnätverk i Emme/2² och efterfrågematriser för bil- och kollektivtrafikresor skapa ett linjenätverk för kollektivtrafik anpassat till efterfrågan och den fordonspark som finns tillgänglig. Metoden hanterar även allokering av fordon till linjerna och beräknar varje linjes driftskostnad.

6.1 Duff-Riddells utgångspunkt

Duff-Riddel skriver i sin avhandling att en viktig skillnad mellan hans metod och de flesta andra metoder, är att de andra metoderna antar att servicenivån i kollektivtrafik, till skillnad mot biltrafiken, alltid ökar med efterfrågan. Detta gäller inte alltid enligt Duff-Riddel, och antas inte heller i hans metod. Omfattande busstrafik kan orsaka trängsel i vägnätet när bussar och bilar måste samsas om samma utrymme. Det är även möjligt att trängsel helt orsakad av bussar kan uppstå. Detta problem förekommer kanske främst i u-länder, men har även rapporterats från till exempel London. Denna trängsel bör därmed beaktas i nät-designmetoder enligt Duff-Riddel.³

¹ Heuristik – en formaliserad metod som kan innebära manuella ingrepp och som inte nödvändigtvis ger den bästa lösningen

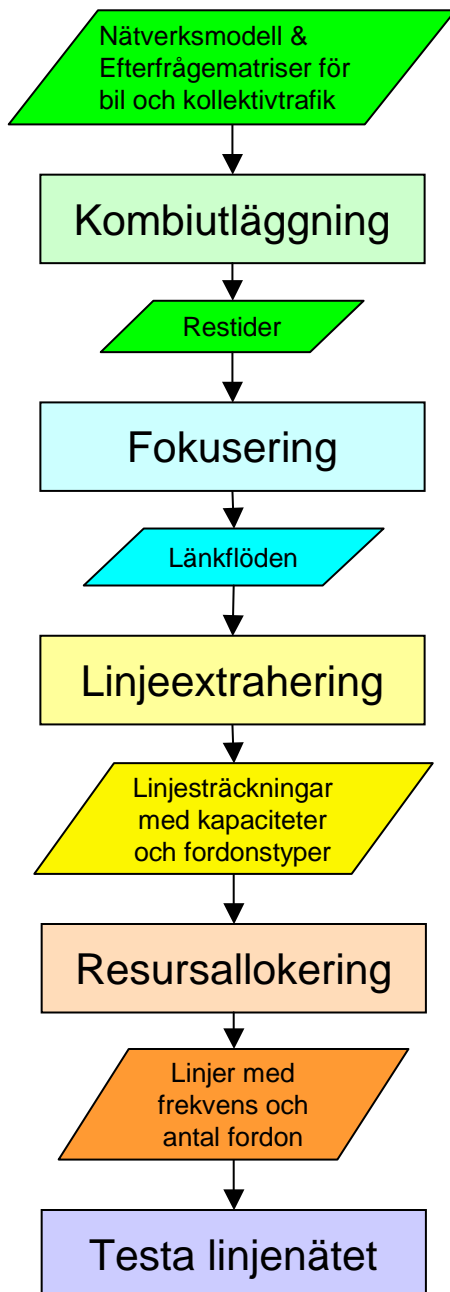
² Emme/2 har vissa kända nackdelar vid modellering av kollektivtrafik. Denna del av Emme/2 har dock en liten roll i Duff-Riddells metod.

³ Detta är sällan ett problem i Sverige, då vi inte har så omfattande busstrafik. Dessutom prioriteras busstrafiken framför biltrafiken på många ställen.

6.2 Beskrivning av Duff-Riddells metod

Bilen föredras av de flesta, antagligen till stor del därför att bilisten sätter sig i bilen när som helst och åker dit hon eller han ska via den väg som verkar bäst. Hur skulle det bli om kollektivtrafikresenären gjorde samma sak? Det kan sägas vara utgångspunkten för metoden i Duff-Riddells avhandling.

I metoden genomförs fyra moment innan resultaten testas vilket kan ge upphov till justeringar i något eller flera steg.



I det första momentet, *kombiutläggningen*, sker en kombinerad utläggning av både kollektivtrafik- och bilresenärer, där kollektivtrafikanterna beter sig som bilister. De väljer alltså väg fritt utan hänsyn till linjer eller turtätheter. De får däremot konkurrera om vägutrymmet med bilresenärerna. Kombiutläggningen resulterar i restider på alla länkar som används i fokuseringen.

I *fokuseringen* läggs enbart kollektivtrafikresenärerna ut. De får till en början fortfarande välja väg fritt. De länkar som få resenärer utnyttjar beläggs dock med en extra kostnad, vilket gör att resenärerna fokuseras, eller samlas, till gemensamma länkar. Fler och fler länkar beläggs med den extra kostnaden tills efterfrågan är tillräckligt fokuserad.

Linjeextraheringen använder den fokuserade efterfrågan för att identifiera linjer, med fordonstyp och kapacitet anpassade till efterfrågan.

Resursallokeringen allokerar fordon till linjerna och bestämmer linjernas frekvens.

Slutligen *testas resultatet* med en reguljär kollektivtrafikutläggning. Användaren kan då gå tillbaka och justera något steg eller manuellt ändra linjerna.

6.3 Kombiutläggningen

Metoden utgår alltså ifrån kollektivtrafikanter som beter sig som att de åkte bil på hela det nätverk som ska vara tillgängligt för kollektivtrafiken. De kan således använda både vägar för bussar och spår. I det här stadiet finns det inga linjer eller turtätheter att ta hänsyn till. På de vägar där även biltrafik är tillåten får de konkurrera om vägutrymmet med biltrafikanter. För kollektivtrafikanterna antas en belägningsgrad som speglar att många resenärer färdas i samma fordon, vilket gör att varje kollektivtrafikanter inte bidrar till trängseln lika mycket som en bilist. Denna kombinerade utläggning av bilister och ”fria” kollektivtrafikanter kallas här kombiutläggningen. Trafikanternas ruttval påverkas alltså till en början av restider som beror på hastighetsbegränsningar och trängsel. På detta sätt fås en approximation av den trängsel som orsakas båda av biltrafiken och av den ännu inte planerade kollektivtrafiken.

6.4 Fokuseringen

Med utgångspunkt från de restider som fås från kombiutläggning, sker fokuseringsprocessen. I fokuseringen läggs endast kollektivtrafikanterna ut i nätet. De väljer fortfarande väg fritt, men restiderna är nu fixerade på den nivå som kombiutläggningen resulterade i. Syftet med fokuseringen är att successivt koncentrera kollektivresenärerna till vissa stråk tills resandet är tillräckligt samlat för att utgöra grunden till ett linjenätverk. Detta sker genom att lägga till en kostnad, efterfrågestraff, på de länkar som har färre resenärer än ett visst antal, som kan vara antalet passagerare som krävs för att köra den minsta busstypen med den lägsta turtätheten. Om ytterligare fokusering önskas ökas antalet successivt så att efterfrågestraff läggs på några fler länkar. Denna process upprepas till resandeflödena är tillräckligt fokuserade. Det är även möjligt att låta belastningen i motsatt riktning påverka efterfrågestraffet för att få rutter med jämnare fördelning av belastningen på de båda riktningarna.

6.4.1 Efterfrågan

Duff-Riddells metod kan användas med en efterfrågematris som speglar dagens kollektivtrafikresande. Men metoden kan också användas för att skapa ett nät som tillfredsställer en potentiell efterfråga, till exempel en framtida efterfråga eller den efterfråga som uppstår givet att vissa mål om överflyttning från bil till kollektivtrafik nås.

6.4.2 Generaliserad kostnad

När resenärer väljer färd sätt och rutter för sina resor tar de hänsyn till faktorer som väntetid, åktid, biljettpris, och så vidare. Dessa faktorer brukar i kollektivtrafikmodellering sammanfattas i begreppet generaliserad reskostnad. För att åstadkomma fokuseringen i Duff-Riddells metod används en modifierad generaliserad kostnad som består av:

- Konstant restid – som beror på trängsel orsakad både av privatbilister och kollektivtrafik (från kombiutläggningen, se kapitel 6.3)
- Avståndsberoende kostnad (eller biljettpris) – fungerar som ett surrogat för driftskostnad, räknas om till tid med hjälp av ett tidsvärde.
- Efterfrågestraff – En kostnad på de länkar som har en liten efterfrågan.

- Policyfaktor – En parameter som planeraren kan lägga till för att påverka ruttvalet. Till exempel för att gynna en viss korridor, eller ett visst beteende. Den kan läggas in som en positiv eller negativ term i den generaliserade kostnaden, eller som en koefficient som multipliceras med någon annan term.

6.4.3 Design för flera perioder

För att kunna skapa optimala nätverk anpassade till efterfrågans variationer under dygnets olika perioder, måste också alla perioder modelleras separat, eftersom de ofta skiljer sig åt betydligt. Metoden kräver således specifik information om både efterfrågan och trängselsituationen för varje period. För att få en effektiv modell med realistiska indatakrav bör antalet perioder minimeras.

Modelleringen av de olika perioderna bör dock samordnas. Även om det mest lönsamma kan synas vara att hitta den optimala lösningen för de olika tidsperioderna oberoende av varandra, är det negativt i många hänseenden om linjenätet förändras allt för mycket mellan olika perioder under dagen. Vi vill alltså låta efterfrågan i alla perioder påverka utformningen för varje period. I fokuseringsprocessen kan detta åstadkommas genom att låta efterfrågestraffet bero på hur många passagerare som använder länken i alla perioder, vilket innebär att efterfrågestraffet läggs på de länkar som har låg belastning i alla perioder.

Duff-Riddells metod är beroende av en bra beskrivning av efterfrågan och dess variationer över dygnet. Morgonens maxtimme som ofta används vid trafikmodellering kan inte representera hela dygnet, eftersom både resandets nivå, riktning och mönster är olika vid olika tider på dygnet. Utan information om det totala transportarbetet blir det dessutom omöjligt att utföra resursallokeringen.

Eftermiddagens maxtimmeefterfråga kan estimeras med hjälp av morgonens maxtimmeefterfråga även om den oftast inte är den exakta spegelbilden. En approximation skulle kunna beräknas genom att transponera (spegla) morgonens maxtimme och multiplicera den med en faktor, eftersom eftermiddagens maxperiod för kollektivtrafik är mindre intensiv. Ytterligare information om kollektivtrafik-efterfrågans variationer över de olika perioderna finns ofta i form av räkningar eller biljettregister.

Det kan dock vara svårare att få tag på information om bilresandets variation, som metoden kräver för att modellera trängseln för varje period. För lågtrafikperioderna spelar det mindre roll eftersom trängseln inte påverkar kollektivtrafiken så mycket då. Om bilresandet under förmiddagens maxtimme är känt kan det användas för att approximera eftermiddagens maxperiod.

6.5 Linjeextraheringen

När efterfrågan fokuserats tillräckligt mycket för att kunna utgöra grunden för ett linjenätverk, följer nästa steg – linjeextraheringen. Linjeextraheringen använder den fokuserade belastningen på länkarna för att identifiera rutter för potentiella kollektivtrafiklinjer, som tillfredställer efterfrågan och ger ett bra fordonsutnyttjande. Extraheringen av varje linje sker genom en itererande process som plockar ut den sekvens med länkar som har störst efterfråga tills ingen efterfråga återstår. När linjen extraherats bestäms linjens kapacitet (se Kapacitet nedan). Programmet ”vet” alltså inte varifrån resenärerna kommer eller vart de ska, utan identifierar flöden på en sekvens länkar som passar en viss fordonsstorlek.

Resultaten ska inte ses som en färdig lösning utan som en bas för ett mer detaljerat designarbete.

Extraheringen baseras på antagandet att åtminstone något kollektivtrafikfordon ska kunna trafikera linjen lönsamt (eventuellt med subventioner) samtidigt som servicen till resenärerna blir så bra som möjligt.

För varje fordonstyp definieras:

- Minsta linjelängd
- Minsta antalet passagerare som krävs för trafikering
- Minsta antalet resor som kan lämnas kvar på en del av en linjerutt när en linje extraheras (som måste vara tillräckligt stor för att kunna utgöra underlag för en lönsam linje med ett mindre fordon)
- Minsta beläggningsgrad för att avgöra hur långt linjen ska sträcka sig.

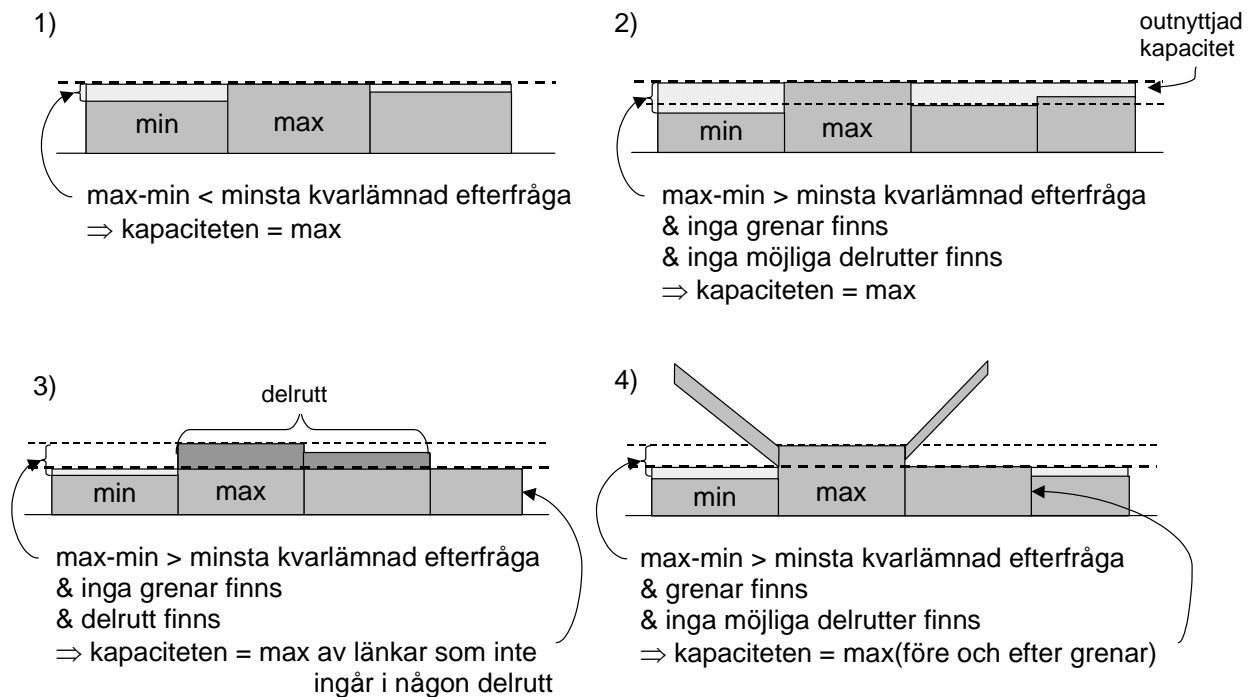
Länkelastningen från fokuseringsprocessen importerar till extraheringsprogrammet. Linjeextraheringen börjar med att identifiera potentiella linjerutter för den största fordonstypen, som har störst kapacitet och därmed oftast en hög fast kostnad och en låg kostnad per passagerare då den är fullsatt. Extraheringen börjar med den länk som har störst belastning, och letar sig sedan fram åt båda hållen. Då vägen delar sig väljer algoritmen hela tiden den väg som har störst belastning. Linjen avslutas när efterfrågan på länkarna blir för liten, men det är inte enbart belastningen på de sista länkarna som avgör hur långt linjen dras. Linjen kan fortsätta trots en beläggning som egentligen är för låg, om den genomsnittliga beläggningen blir tillräckligt hög för att ge en lönsam linje. Dessutom kan användaren justera linjen manuellt och låta en del av turerna fortsätta i en förlängning.

6.5.1 Undvika loopar

För att undvika att linjerna korsar sig själva förbjuder programmet linjen att använda alla länkar som är kopplade till de länkar som linjen redan trafikerar. Detta hindrar dock inte att linjen snirklar eller passerar i närheten av sig själv, vilket åtminstone bör undvikas för bussar i stadsmiljö. Duff-Riddell presenterar en lösning som dock inte implementerats. När en länk adderas till en potentiell linje skapas en cirkel med centrum i startnoden och med en radie som är lika lång som den nya länken. Alla noder inom cirkeln förbjuds för resten av den aktuella linjens sträckning. Åtminstone i ett någorlunda vinkelrätt vägnät tvingar detta linjen att ta sig bort ifrån startpunkten och de områden där den redan varit.

6.5.2 Kapacitet

När en linjes rutt, det vill säga en sekvens av länkar, är identifierad ska linjens kapacitet bestämmas. Att helt enkelt anpassa kapaciteten till den länk som har störst volym resulterar ofta i linjer med låg beläggning. Dessutom kan det orsaka onödigt många byten eftersom det hindrar att mindre, delvis parallella linjer skapas. Att anpassa kapaciteten till den lägsta länkvolymer kan ge en hög beläggning om olika fordon med olika kapacitet finns att tillgå, men kan resultera i att ett litet antal resenärer som inte utgör tillräckligt underlag för en annan linje lämnas på en länk. I bilden nedan illustreras hur en linjes kapacitet bestäms. En linjes kapacitet sätts alltid till den maximala belastningen om alternativet är att lämna ett så litet antal passagerare att de inte utgör tillräckligt underlag för en annan linje (1). Det minsta antal passagerare som extraheringen tillåts lämna på en länk kallas minsta kvarlämnad efterfråga i bilderna nedan. Om det är möjligt att lämna ett antal passagerare som överstiger minsta kvarlämnad efterfråga, och den del av ruten där passagerarna lämnas är tillräckligt lång för att accepteras som en linje, dvs en delrutt existerar, kan kapaciteten sättas så att dessa passagerare inte får plats (3). Om det finns grenar antas de kunna utgöra underlag för en linje tillsammans med en kvarlämnad efterfråga som är större än minsta kvarlämnad efterfråga. Linjens kapacitet behöver då bara tillfredställa efterfrågan före den första grenen med tillflöde och efter den sista grenen med frånflöde (4).



6.6 Expressbussar

Om det finns tillräckligt stor efterfrågan mellan två punkter långt från varandra kan det finnas skäl att införa en expresslinje. Basen för en expresslinje med ett fåtal stationer kan också byggas upp av långväga resenärer i flera reserelationer som ligger längs med samma sträcka. Vilken efterfråga som troligen kan ligga till grund för expressbusslinjer, kan identifieras genom att filtrera ut reserelationer

med ett stort antal resor mellan punkter som ligger långt ifrån varandra ur matrisen. Denna efterfråga bildar expressmatrisen och den resterande efterfrågan kallas den reguljära matrisen. Om efterfrågan ligger längs med ett spår är det kanske inte aktuellt med en parallell expressbusslinje. Sådana fall måste identifieras och plockas ut ur expressmatrisen manuellt.

Om en expressbussmatris tagits fram, börjar hela processen med matrisens utläggning längs snabbaste väg (här kan länkestider från en bilutläggning användas). Sedan görs extraheringen av expressbusslinjer och bestämning av deras kapaciteter. Den efterfråga i expressbussmatrisen som inte fångas upp av någon expressbusslinje, flyttas över till den reguljära matrisen. Sedan görs fokuseringen och extraheringen för den reguljära efterfrågan.

6.7 Resursallokering

De två föregående stegen, fokuseringen och linjeextraheringen, har identifierat rutter för potentiella kollektivtrafiklinjer, som baseras på resenärernas val av resväg. För varje linje är kapaciteten definierad, men inte frekvensen eller vilka resurser som krävs. I resursallokeringen bestäms vilka fordon som ska allokeras till varje linje, samt vilken frekvens de ska ha, givet flera motstridiga mål. I modellen antas att varje linje kan trafikeras av flera typer av fordon. Detta komplicerar beräkningarna. I Sverige trafikeras linjer vanligen endast av en fordonstyp.

De viktigaste målen som är med i modellen för resursallokeringen är:

- Klara efterfrågan
- Klara den minsta policyfrekvensen
- Begränsa förändringar av fordonsflottans nuvarande sammansättning
- Minimera den totala kostnaden för operatören

Många sekundära mål inkluderas indirekt genom dessa mål. Till exempel minimering av utsläpp genom minimering av kostnaden eftersom bränsle är högt beskattat, eller de minsta lönsamma biljettpriserna som minimeras genom att den totala driftskostnaden minimeras.

Målfunktionen som ska minimeras består bland andra av följande termer.

- Antal passagerare utan sittplats
- Antal turer som saknas för att nå policy-turtätheten
- Antal fordon som krävs utöver de som finns hos operatörerna
- Driftskostnaden

Termerna i målfunktionen viktas med konstanter som speglar hur viktigt varje mål är. Målfunktionen kan förändras för att anpassas till användarens kriterier, genom att lägga till eller ta bort termer eller genom att ändra vikterna

Den viktigaste beslutsvariabeln som resursallokeringen optimerar är antal turer för varje fordonstyp för varje linje. Resultatet består av följande information:

För varje linje :

- Total kapacitet
- Designkapacitet (policybeläggning*total kapacitet)
- Underkapacitet - antalet passagerare som överstiger designkapaciteten

- Överkapacitet - antalet tomma platser upp till designkapaciteten vid ruttens maximala efterfrågesnitt
- Antalet turer för varje fordonstyp
- Antalet fordon av varje fordonstyp
- Intäkter
- Driftkostnader

Totalt:

- Antal tillgängliga fordon av varje typ som inte används
- Antal fordon av varje typ som krävs utöver de tillgängliga
- Totala intäkter
- Totala kostnader

7 Test av Duff-Riddells metod

För att få bättre förståelse för hur metoden fungerar har vi testat fokuseringen och linjeextraheringen på ett avsnitt av Stockholms nät, nämligen Lidingö kommun som ligger på en ö öster om Stockholm. Det nät och den matris vi utgått från representerar resandet med kollektivtrafik under ett dygn år 2015 och kommer från Sampers. För att få ett intressant exempel med ett mer differentierat resflöde justerade vi efterfrågan genom att räkna upp de interna resorna (start och mål inom Lidingö) med faktor 20. Utan denna justering hade en stor majoritet av alla resor samma målpunkt – Lidingöbron. Det är alltså inte förväntat att detta experiment ska ge ett linjenät som är mycket likt dagens nät.

7.1 Kombiutläggningen

Vi har inte genomfört kombiutläggningen i denna test eftersom vi ansåg att de mest intressanta delarna av metoden för svenska förhållanden är fokuseringen och linjeextraheringen. Restiderna har därför i stället tagits fram på ett förenklat sätt.

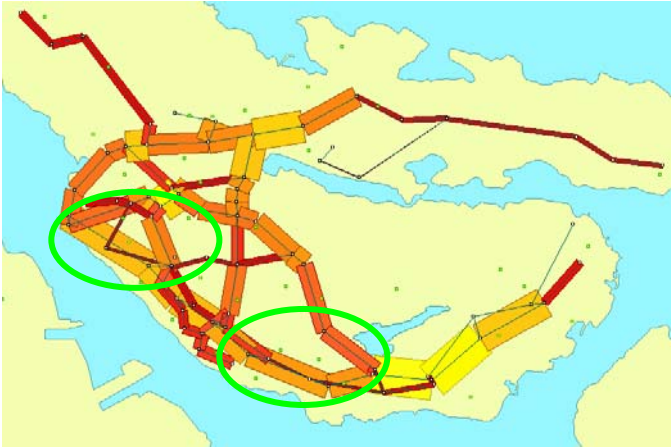
7.2 Fokuseringen

Fokuseringen gav dessa flöden efter varje iteration. Totalt 6 iterationer genomfördes och visas nedan. Stora flöden har ljus färg och små flöden är mörkt röda. De gröna cirklarna visar ställen där det sker en betydande förändring till nästa iteration.

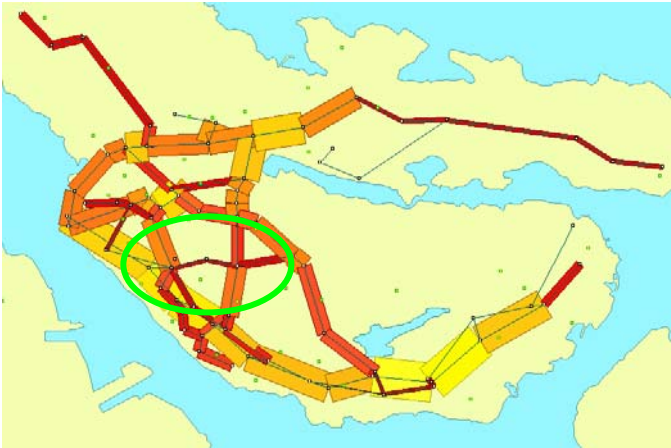
Figur 1. Iteration 1



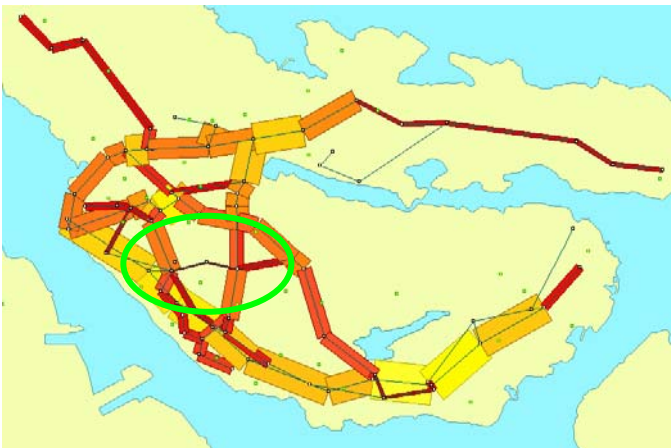
Figur 2. Iteration 2



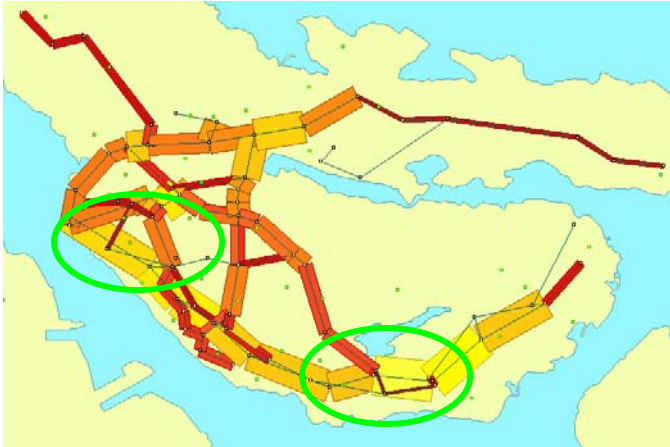
Figur 3. Iteration 3



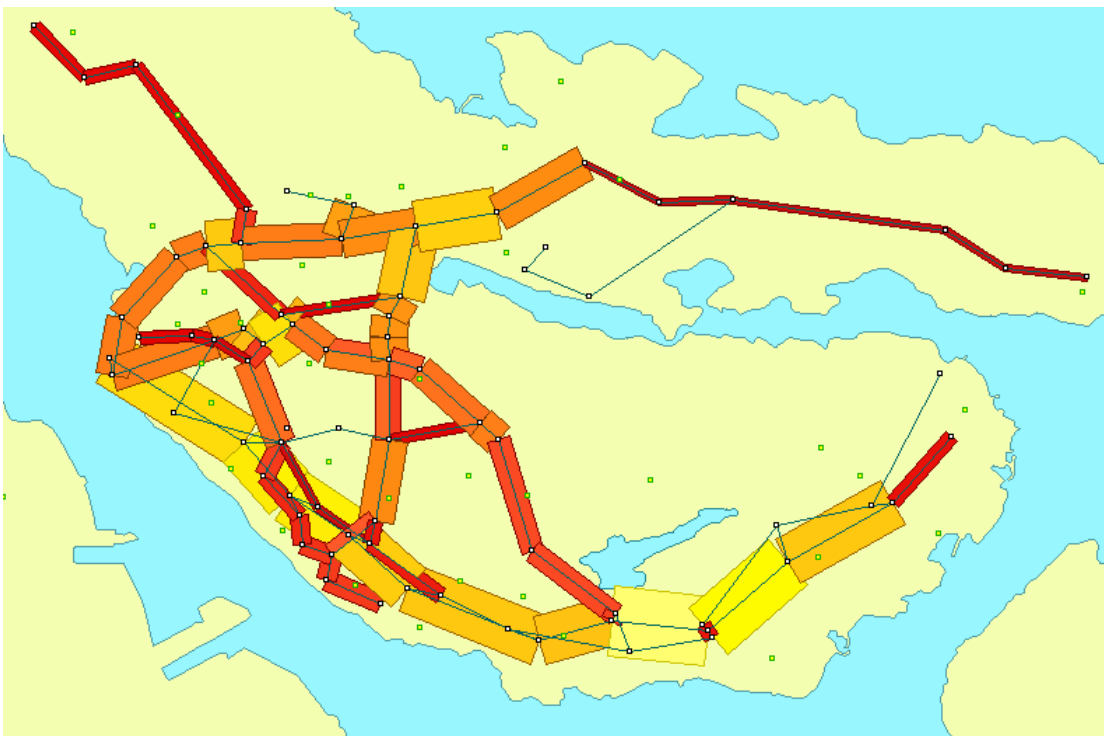
Figur 4. Iteration 4



Figur 5. Iteration 5



Figur 6. Iteration 6



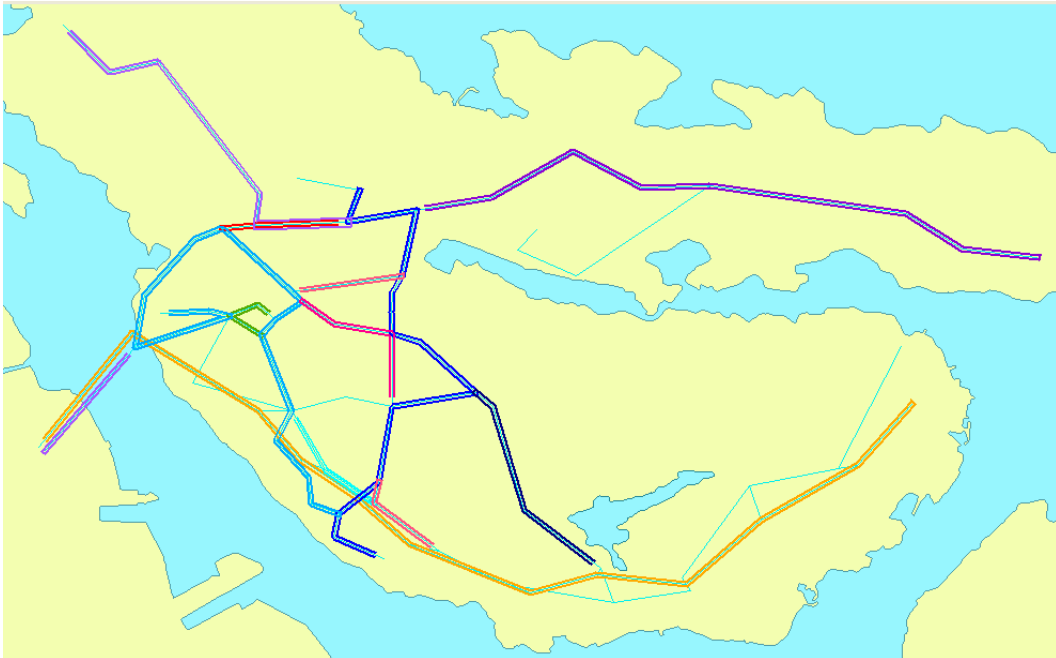
Resandeflödena fokuseras som förväntat till några stråk. Sträckor med liten belastning väljs bort successivt.

7.3 Linjeextraheringen

Linjeextraheringen resulterade i linjerna som visas i Figur 7. De olika färgerna representerar olika linjer. En del av de resulterande linjerna ser ut att ge stora omvägar och onödigt många byten. Den ljusblå linjen snirklar sig nästan i en spiral, se figur 8 där några linjer visas tillsammans med den fokuserade efterfrågan. Vid korsningen som markeras av den gröna cirkeln skulle det troligen vara bättre om linjerna korsade varandra i stället för att som nu bara tangera varandra för att sedan svänga tvärt. Även kapacitetsmässigt skulle linjerna troligen få en bättre beläggning om de korsade varandra, eftersom de korsande strömmarna har liknande belastningar.

Två fordonsggrupper användes: spår och väg. För spår sattes minsta antalet passagerare till 1, minsta återstående volymen till 100, minsta linjelängden till 10 km och minsta utnyttjandegraden till 0,25. För väg sattes dessa till 1, 50, 4 km och 0,25. Att ändra minsta återstående volymen för väg från 50 till 0 påverkade inte resultatet.

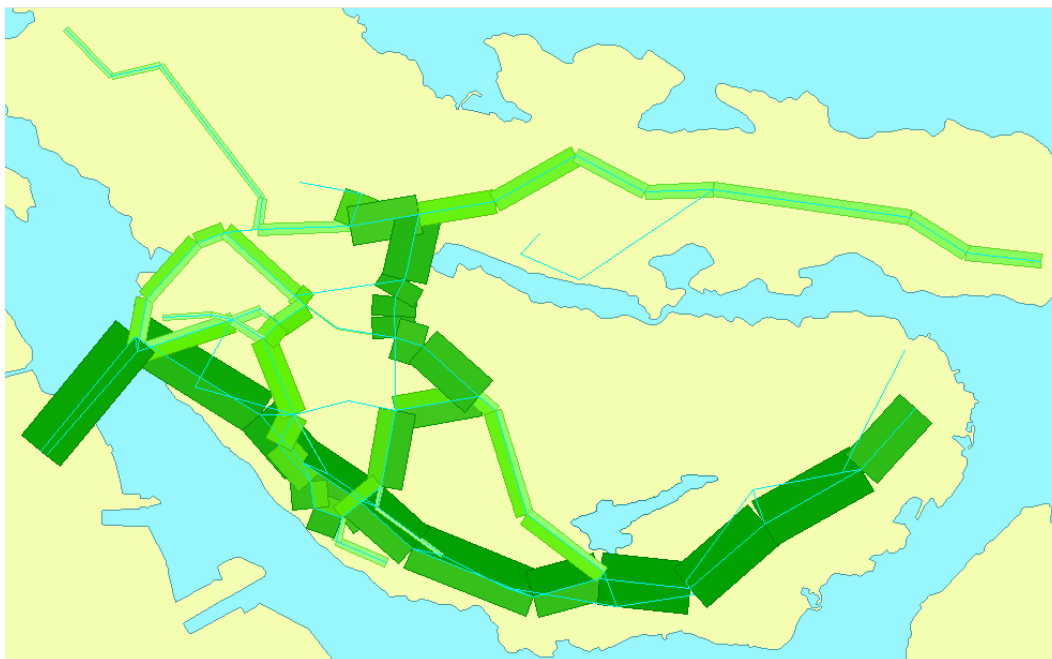
Figur 7. Resulterande linjer



Figur 8. Exempel på linjer som troligen ger stora omvägar och onödigt många byten.

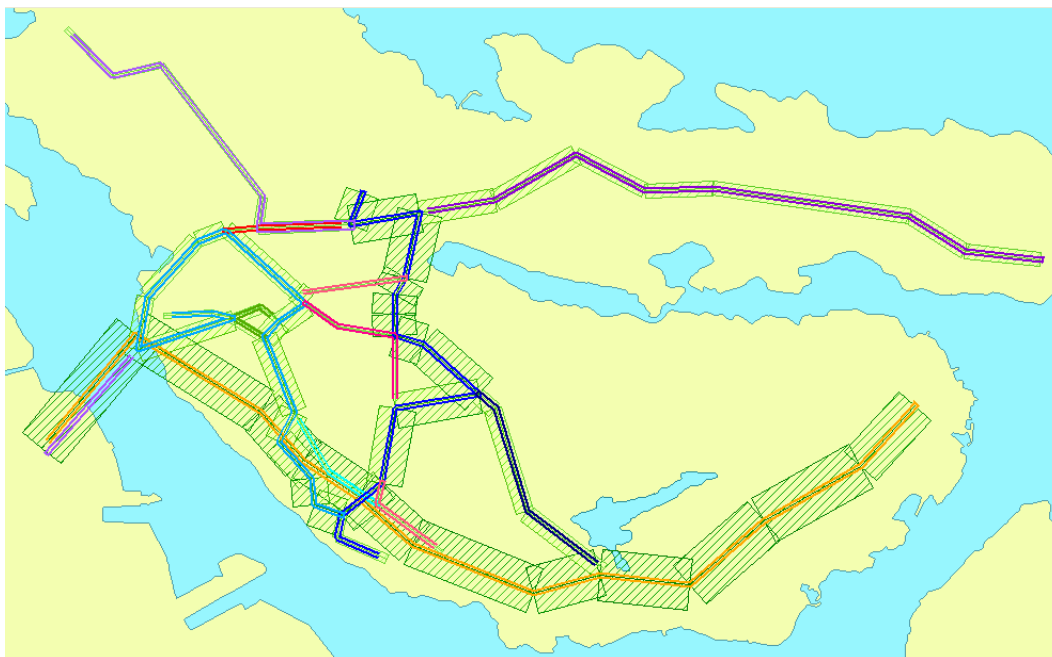


Figur 9. Utlagd efterfråga

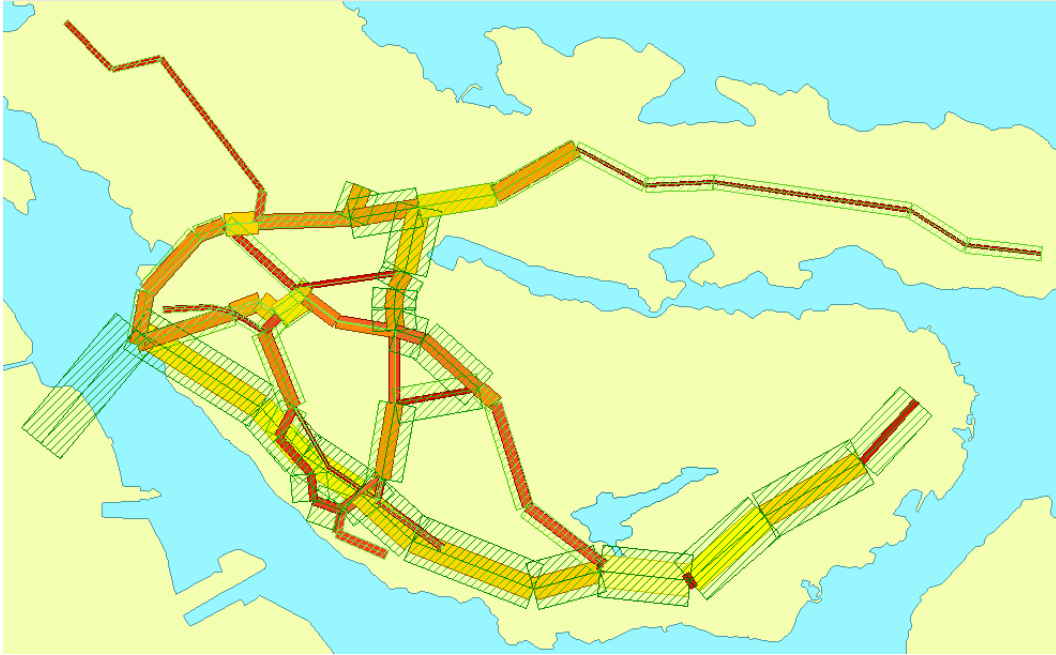


De genererade linjerna testades genom att lägga ut efterfrågan på dem. De resulterande flödena visas i Figur 9. I Figur 10 visas de resulterande flödena tillsammans med linjerna. En slutsats som kan dras är att långa linjer attraherar många resenärer.

Figur 10. Linjer och utlagd efterfråga



Figur 11. Utlagd och fokuserad efterfråga



Den stora skillnaden mellan den utlagda efterfrågan och den resulterande efterfrågan som visas i Figur 11, visar ett problem med fokuseringen och linjeextraheringen. I fokuseringen modelleras inte några byten, vilket inte heller är möjligt då linjerna då ännu inte är planerade. När byten införs påverkar detta dock hur resenärerna väljer att resa vilket förklarar skillnaden mellan flödena i Figur 11. Eftersom linjeextraheringen inte använder någon information om flödenas start- och målpunkter, skapas linjer som ger onödigt många byten.

7.4 Resursallokering

Resurallokeringen har inte utvärderats i detta test, eftersom vi inte haft tillgång till viss programvara som krävs.

8 Problem

Nedan beskrivs en del problem som vi ser med denna metod.

8.1 Efterfrågematriser

Metoden förutsätter att en matris med antalet kollektivresor mellan områden är tillgänglig. Duff-Ridell rekommenderar att inte använda matrisen med det aktuella antalet resor utan utgå från en viss relativ ökning av resor. Denna ökning skulle helst baseras på en marknadsundersökning. Alltså krävs data som inte alla trafikhuvudmän kan tillhandahålla. För Stockholm kan resultat av resvaneundersökningar och trafikmodeller användas för att estimeras dessa data. Däremot för Göteborg och Malmö kan resefterfrågan bara uppskattas mycket grovt.

8.2 Reguljära resenärer på expressbusslinjer

Ett problem är att expressbussarna under linjeextraheringen inte finns tillgängliga för de reguljära resenärerna, som inte uppfyllde kraven för att hamna i expressbussmatrisen. Extraheringen av de reguljära linjerna baseras på att alla reguljära resenärer kommer åka med dem, och deras kapacitet anpassas därefter. Men när

linjenätet skapats och testas i en kollektivtrafikutläggning, eller verkligheten, kommer troligen vissa reguljära resenärer använda expressbusslinjer, till exempel genom att ta sig till en expressbusshållplats med en reguljär linje för att byta. Detta innebär att linjeextraheringen kommer att överskatta resandeunderlaget för de reguljära linjerna och underskatta kapacitetsbehovet på expressbusslinjerna.

Ett annat problem kan uppstå om områdena är små, så att det är naturligt att passagerare från flera områden går till samma hållplats. Då kan det finnas potentiella expressbussefterfrågan som inte kommer med i expressmatrisen därför att varje områdes efterfråga för sig är för liten. Potentiella expressbussar kommer därmed aldrig att skapas.

8.3 Fokusering till motorvägar

Ett problem som vi ser med fokuseringen är att resenärerna väljer den väg som tar dem snabbast till destinationen utan att ta hänsyn till var andra resenärer vill bli upplockade. Detta gör att resenärer kan fokuseras till en motorväg, när det bästa givet information om efterfrågan i flera zoner i områden kanske är att bussen åker på mindre vägar vid sidan om motorvägen. Modellen kommer i stället vilja lägga en linje på motorvägen med matarbussar från områdena i närheten, fast än det kanske inte är möjligt med hållplatser där.

8.4 Främjar matarbussar

Det kan finnas sträckor med stor belastning där det ändå inte bör finnas en högkapacitetslinje som hanterar större delen av efterfrågan, till exempel då många små linjer sammanstrålar under en del av sträckan. Vi tror att det finns risk för att den här metoden tenderar att skapa högkapacitetslinjer med matarbussar i stället för många linjer med medelkapacitet.

8.5 Hållplatser

Metoden bygger på att det är möjligt för passagerarna att byta på alla ställen där linjer korsar varandra. I verkligheten kanske det inte går att lägga hållplatser vid eller i närheten av alla dessa ställen, vilket kan göra att vissa resenärer inte kan byta till någon linje och därmed inte kan komma till sin målpunkt.

8.6 Ingen hänsyn till OD-relationer i linjeextraheringen

Linjeextraheringen har ingen information om resenärernas start eller målpunkter. Linjerna extraheras enbart utifrån länkarnas belastning. Detta kan resultera i att linjesegment kombineras så att onödigt många resenärer får byta eller så att linjerna blir snirklande och resenärer får åka onödigt stora omvägar, se Figur 8. Detta problem skulle kanske kunna minskas om programmet hade tillgång till och tog hänsyn till hur resenärerna svänger i korsningar. Denna typ av information går att få fram ur Emme/2. Detta problem skulle eventuellt även minska om hänsyn togs till befintligt nät, se nedan.

8.7 Resursallokeringen

Minimering av resenärernas restid, som borde vara ett av de primära målen, ingår inte i resursallokeringens målfunktion. Orsaken till detta är troligen att den informationen inte finns tillgänglig för det program som gör resursallokeringen.

9 Vidareutveckling

Nedan beskrivs några förslag till vidareutveckling av metoden.

9.1 Befintligt nät i fokuseringen och i extraheringen

Så som metoden fungerar nu tar den ingen hänsyn till hur linjenätet ser ut idag, utan skapar ett helt nytt nät enbart utgående från hur efterfrågan ser ut. I en stad som redan har ett kollektivtrafiknät som invånarna är vana vid är detta dock inte aktuellt. Därför vore det intressant att vidareutveckla metoden för att låta dagens nätverk påverka metodens resultat.

För att uppnå detta måste både fokuseringen och linjeextraheringen ta hänsyn till hur dagens system ser ut. I fokuseringen skulle ett straff kunna läggas på de länkar som inte trafikeras idag. Då krävs det att en rutt som innehåller delsträckor som inte trafikeras idag är betydligt bättre än en rutt som redan är trafikerad för att resenärerna ska välja den. Alternativt kan efterfrågestraffet, som läggs på de länkar som har för liten efterfråga, kunna bero på huruvida länken är trafikerad idag.

Vid förgreningar väljer linjeextraheringsprogrammet den väg som har störst efterfråga. Det befintliga linjenätet skulle kunna påverka detta om efterfrågan på de länkar som trafikeras av samma linje multipliceras med en faktor, så att chansen ökar att befintlig linjes rutt följs.

9.2 Flera perioder i resursallokeringen

Duff-Riddell beskriver i sin avhandling hur design för flera perioder kan hanteras i fokuseringen, men inte i linjeextraheringen. Att hänsyn tas till flödena i de andra perioderna i fokuseringen är ingen garanti att liknande linjer extraheras. Ganska små skillnader i flödena kan resultera i helt olika linjer. Troligen skulle det räcka med ganska små justeringar av extraheringsprocessen för att få betydligt mer överensstämmande linjenät för de olika perioderna. Dessutom är det möjligt att linjenätets likhet mellan de olika perioderna har hög prioritet för planeraren. Vi ser åtminstone två olika möjligheter att generera linjenät som till större delen är lika i alla perioder (nattrafiken bör troligen specialbehandlas).

Vår idé är att göra linjeextraheringen i två steg. Antingen görs extraheringen först för lågtrafiktimmarna för att skapa ett grundutbud. Sedan görs en ny extrahering för högtrafiktimmarna för att lägga till de linjer som endast krävs i då. Svårigheter som vi inte löst är hur den högtrafikefterfråga som inte tillfredsställs av lågtrafikutbudet identifieras, samt hur avvägningen bör ske mellan att öka turtätheterna på en lågtrafiklinje och att lägga till en ny linje. Nackdelen är att grundutbudet då kommer att anpassas till efterfrågan i lågtrafik.

Ett linjenät som är mer anpassat till högtrafiksituationen skulle kanske kunna åstadkommas om linjeextraheringen först gjordes för högtrafiken. Sedan skulle de linjer som utnyttjades dåligt under lågtrafiken kunna tas bort eller ges lägre turtäthet.

9.3 Resursallokering

Resursallokering kan bestämmas på olika nivåer. Den slutliga resursallokeringen görs i Sverige alltid av operatören och tar hänsyn till fordons-, drifts- och personalkostnaden genom planering av omlopp. Tidtabeller läggs på vissa ställen

av operatören och på andra av trafikhuvudmännen. Trafikhuvudmän gör egna beräkningar av fordons- och driftskostnader för linjetrafik för att beräkna samhällsekonomisk nytta av olika trafikeringssalternativ. SL använder sig av överslagsberäkningar baserade på genomsnittliga kostnader per fordonskilometer medan Västtrafik bestämmer det nödvändiga antalet bussar inom förhandlingsprocess med operatörer. Skånetrafiken planerar själva tidtabellerna och ersätter operatören per vgnkilometer eller vagntimme.

I svenska förhållanden, trafikeras varje linje av enbart en typ av fordon. Detta gör resursallokeringsproblemet enklare än det som Duff-Riddell försöker lösa. När typ av fordon är given för varje linje, reduceras beräkning av frekvenserna till beräkning av hur många fordon som ska trafikera varje linje. Problem med resursallokeringen i Duff-Riddells metod är att den inte tar hänsyn till resenärernas tidsuppspoffring. För att göra detta måste resursallokeringen baseras på resefterfrågan och kopplas till en utläggningsalgoritm som finns i EMME/2 eller i VIPS/VISUM.

10 Alternativa metoder

10.1 Fokusering av en del av efterfrågan med ett givet kollektivtrafiknät

I de flesta kollektivtrafikplaneringssituationer i Sverige är det ett begränsat område som ska trafikförsörjas eller en enstaka linje som ska ändras. I stort sett hela nätverket ska således vara oförändrat. Det vore därför önskvärt att hitta en metod för att göra begränsade förändringar i ett kollektivtrafiknät. Nedan beskrivs en idé till en metod som påminner om fokuseringen i Duff-Riddells metod, men där den större delen av nätet är givet och ligger kvar oförändrat.

Områden eller relationer med undermålig kollektivtrafikstandard identifieras enligt något mått. I relationer eller områden där standarden är dålig samtidigt som det finns en stor efterfråga, bör kollektivtrafiken troligen förstärkas. Förstärkningen skulle kunna ske genom att lägga till en matarlinje, förlänga en existerande linje eller genom att dra om en existerande linje så att den täcker in det aktuella området eller relationen.

Efterfrågan som förändringen ska anpassas till analyseras i ett modifierat kollektivtrafiknät. Där den nya trafiken ska planeras kodas ett nät med alla väglänkar där den nya trafiken skulle kunna gå. Efterfrågan får sedan ta sig till sin målpunkt via väglänkarna (med kollektivresors genomsnittliga hastighet) och kollektivtrafiknätet. De väglänkar som används av få resenärer beläggs med ett straff, på ett liknande sätt som i Duff-Riddells metod, och efterfrågan fokuseras successivt. Med denna metod vägs både vägen fram till en existerande hållplats och restiden med det existerande linjenätet in i resenärernas val av väg.

10.2 Frekvensoptimering

Det finns flera metoder för frekvensoptimering baserade på iterationer mellan frekvensberäkningar och utläggningar. Iterationerna krävs eftersom de optimala frekvenserna beror på hur folk reser (antalet påstigande på varje linje) medan resvägar i sin tur beror på frekvenserna.

Beräkningen kan ske enligt Figur 12. Man utgår från vissa initiala frekvensen och gör en utläggning. Resultat från utläggningen används för att optimera frekvenserna givet resvägar. Utläggning görs med nya frekvenserna och så vidare tills frekvenserna slutar ändra sig. Frekvensoptimeringen ska ta hänsyn till

- Medelrestiden
- Det tillgängliga antalet fordon av varje typ
- De minimala policy-frekvenserna på varje linje
- Den maximala och/eller minimala beläggningen på varje fordon
- Den totala driftskostnaden.

Om uppgiften är att minimera medelrestiden med hänsyn till det tillgängliga antalet fordon kan de optimala antalen fordon per linje beräknas enligt den så kallade "kvadratrotregeln": antalet fordon på linjen ska vara proportionellt med kvadratroten av produkten av tidsomloppet och antalet påstigande på linjen. Policyfrekvenserna kan lätt involveras i beräkningen. Beräkningen har implementerats som ett EMME/2-makro och körts på ett exempel som bygger på kollektivtrafiklinjer på Lidingö (Stockholms län). Resultat visar att konvergensen uppnås snabbt. Till metodens fördelar kan även räknas att de resulterande frekvenserna alltid ger kortare total restid än de initiala frekvenserna. Ett problem är dock att de resulterade frekvenserna beror på de initiala frekvenserna. Alltså måste man göra flera beräkningar baserade på olika initiala frekvenser för att sedan välja den bästa lösningen.

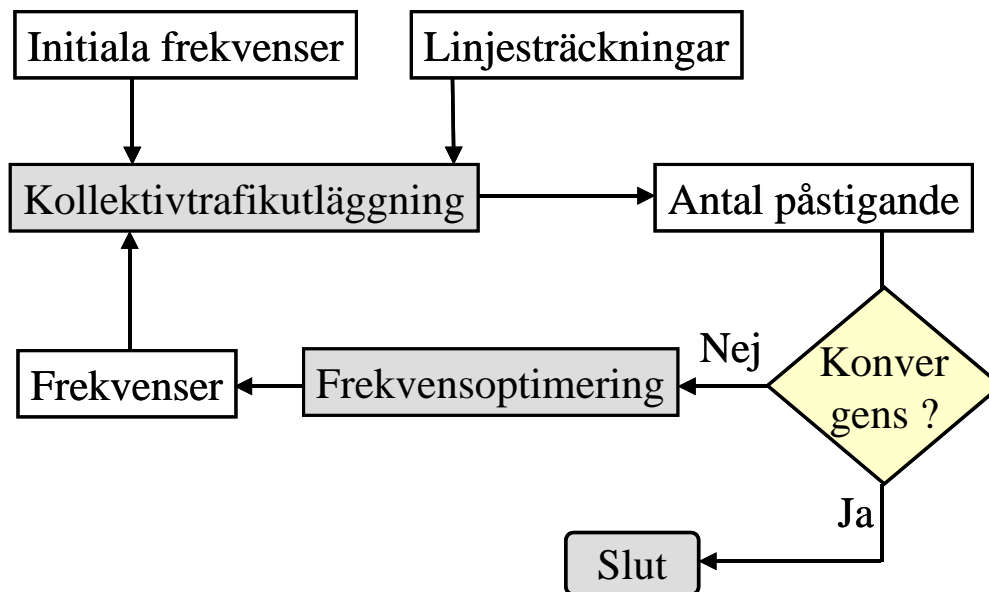
I våra tre numeriska experiment utgick vi ifrån (a) de aktuella frekvenserna under morgonens maxtimme, (b) lika frekvenser för alla linjer och (c) slumpmässigt valda frekvenser. En tur per 60 minuter har använts som policyfrekvens för alla linjer. Tabell 1 visar att vi fått det bästa resultatet i fallet (a) och det sämsta i fallet (c). Tabellen visar även att den totala restiden bara förbättras marginellt jämfört med de aktuella frekvenserna.

Tabell 1. Resultat av numeriska experiment med frekvensoptimering

Linje	201	201	202	203	203a	204	204	205	205	206	206	211	212	212	213	213a	222	225	LB	LB	Medelrestid
Mot	W	E	W	E	E	W	E	E	W	W	E	E	E	W	W	W	W	W	E	W	
Nuläget	10	10	60	20	20	60	60	30	20	10	10	60	60	20	30	20	15	20	10	10	44.02
Opt från Nuläget	8	13	60	20	28	60	60	14	17	22	14	60	60	17	17	23	13	16	12	9	43.59
Opt från lika frekvenser	12	15	35	23	34	20	21	17	17	25	16	25	25	18	19	25	16	18	12	9	43.69
Opt från slumpmässiga frekvenser	9	17	20	60	60	21	24	18	18	17	20	26	27	19	14	17	20	23	6	60	48.75

Notera att det i beräkningen inte tagits hänsyn till den maximala/minimala beläggningen eller driftkostnaden. Det skulle troligen bara kräva en liten justering av algoritmen.

Figur 12. Tillämpningsschema för beräkning av frekvenserna.



10.3 Hasselströms heuristik

Frekvensoptimering kan även användas för att bestämma vilka linjer som ska vara med av en stor mängd meningsfulla linjer. Denna metod är bekväm eftersom den undviker heltalsvariabler i optimeringen. Hasselström föreslog i sin avhandling (1981) en metod för samtidig bestämning av linjestruktur och frekvenser, som består av lösning av flera optimeringsproblem. I alla dessa problem försöker man maximera det totala antalet kollektivresenärer som beräknas som en funktion av resekostnaderna. Som restriktioner används det totala antalet fordon av olika typer samt för varje zon den minsta sammanlagda frekvensen av alla linjer som servar zonen. Metoden omfattar följande steg.

Nivå 1.

- Resenärernas rutter estimeras först på ett nät utan linjestruktur. Väntetid och bytestid beräknas under estimeringen schablonmässigt med hjälp av kvadratrotformeln på den första och den sista länken samt på länkar som innebär byten mellan fordonstyp (till exempel mellan buss och spårvagn). Problemet formuleras som ett icke-konvext optimeringsproblem och en algoritm utvecklas som resulterar i flöden på länkar.
- Linjer genereras som uppfyller vissa kriterier (startar och slutar vid förbestämda terminaler, får inte korsa sig själv, får inte överstiga den kortaste ruten med mer än, säg, 20 %, linjens längd ska vara inom vissa gränser, passagerarflöde på svängar måste överstiga ett visst tal). En algoritm för linjegereringen som skisserats i avhandlingen vidareutvecklades senare av Ceder & Wilson (1985).
- Av den oerhört stora mängden av potentiella linjer väljs genom frekvensoptimering en begränsad mängd som minimerar det totala antalet byten för resenärerna. Detta görs genom att lösa ett linjärt optimeringsproblem.

Nivå 2.

- En linjeutläggning görs på det nät som resulterar från Nivå 1 och frekvensoptimering utförs med syftet att maximera kollektivresandet. Sedan upprepas utläggningen och så vidare. Om det fortfarande är för många linjer, tas vissa överlappande linjer bort manuellt.
- På en vald korsning kopplas korsande rutter ifrån och efter en linjeutläggning och frekvensoptimering kopplas de ihop igen på ett sätt som minimerar den genomsnittliga restiden eller antalet byten (vid fixerad resefterfrågan). Hasselström har utvecklat en algoritm för kopplingen som dock inte alltid fungerar bra utan behöver ett visst manuellt ingripande.
- Efter omkopplingen upprepas linjeutläggning och frekvensoptimering och en ny korsning väljs för att testa om en omkoppling skulle minska antalet byten. Processen fortsätter tills omkopplingarna inte kan förbättra situationen.

Metoden har testats på Göteborgs spårvagnsnät (med bibehållet bussnät) och visat bra resultat (jämfört med det befintliga nätet minskar väntetid och bytestid medan gångtiden ökar något).

En viktig slutsats är att ett flexibelt paket av verktyg för planerare är att föredra före en helt datorbaserad design av nät. Den främsta orsaken är att det är mycket svårt att formulera den mängd restriktioner som planeraren önskar uppfylla samt att samla in alla nödvändiga data.

11 Slutsatser

För att det ska vara möjligt att överhuvudtaget använda Duff-Riddells metod krävs ett tillräckligt detaljerat emme/2-nät med vägar och spår, samt resmatriser med det resande som linjenätet ska utformas för. Stockholmsregionen har tillgång till resmatriser av god kvalitet samt ett tillräckligt detaljerat emme/2-nät. Västtrafik och Skånetrafiken har båda tillgång till emme/2-nät, men dessa två regioner har inte lika bra tillgång till resmatriser som SL (särskilt för biltrafiken), vilket kan göra det svårt att använda metoden.

Experimentet med metoden på Lidingö har visat att fokuseringen ger rimliga resultat. Linjeextraheringen gav dock i experimentet linjer som var snirkliga och troligen gav onödigt många byten.

Fokuseringen i Duff-Riddells metod är intressant. Trafikhuvudmännen säger sig vara intresserade av en metod som genererar alternativa linjenät, även om det inte är intressant att ändra hela nätet över en natt. Metoden skulle kunna ge idéer inför mer gradvisa förändringar av nätet, genom att visa på lösningar som kanske inte är uppenbara för en planerare. Fokuseringen skulle kunna användas på delar av nät och är troligen mest intressant där det finns många olika alternativa vägar att dra busslinjerna på.

Det vore intressant att titta mer på idén om fokusering av en del av efterfrågan med ett givet kollektivtrafiknät, se kapitel 10.1. En sådan metod kan användas för att lösa en typ av problem som planerare ofta ställs inför; komplettering och förändring av ett existerande nät.

Linjeextraheringen i Duff-Riddells metod tror vi inte är intressant att använda eller vidareutveckla. Den uppgift som programmet utför i linjeextraheringen

skulle utföras bättre manuellt av en planerare. Det skulle ta lite längre tid, men inte orimligt lång tid, och resultatet skulle bli betydligt bättre. En människa skulle kunna väga in en typ av information, t ex lokalkännedom och information om geografin, som är svår att operationalisera i algoritmen. En algoritm utförd av en dator kan oftast bara överträffa människan om den hanterar stora mängder data eller utför likartade uppgifter många gånger.

Duff-Riddells metod för resursallokering, där även frekvenserna fastställs, anser vi inte heller är intressant för de svenska kollektivtrafikhuvudmännen. Anledningen är att minimering av resenärernas restid inte ingår i resursallokerings målfunktion, vilket vi anser bör vara ett krav på en sådan algoritm. Eftersom denna information inte finns tillgänglig för det program som utför resursallokeringen i Duff-Riddells metod, ser vi inte heller någon möjlighet att lösa problemet genom vidareutveckling av metoden.

I stället för resursallokeringen i Duff-Riddells metod föreslår vi att andra metoder för optimering av linjefrekvenser undersöks, exempelvis den som beskrivs ovan. Förändring av frekvenser oftast det lättaste sättet att dra ner på driftskostnaden i ett system, eftersom försämring av frekvenser oftast accepteras lättare av resenärerna än indragningar och omdragningar av linjer. Ett verktyg för frekvensoptimering skulle således kunna hjälpa planeraren att utföra en uppgift som idag utförs helt eller delvis manuellt.

Vår slutsats är att vissa delar av Duff-Riddells metod kan vara intressanta att tillämpa i svenska städer. Även andra metoder eller vidareutvecklingar av Duff-Riddells metod är intressanta. I stället för en helt automatiserade linjeplanering bör man satsa på utveckling av en flexibel verktygslåda med bland annat generering av nya linjer och frekvensoptimering i det befintliga nätet. Utveckling av sådana verktyg kräver ett nära samarbete mellan planerare och forskare.