

[Mottagare]

PM

## Validering och kalibrering för analyser med Sampers

### Inledning

Denna handledning beskriver hur trafikanalytiker bör genomföra validering och kalibrering av nulägesprognoser inför objektanalyser med Sampers. Den även beskriver översiktligt metoder för mer övergripande kalibrering av färdmedelsandelar inom en region och/eller kalibrering av reslängdsfördelning och flöden över ett snitt.

Sampers används vid komplicerade objektanalyser och analyser av ekonomiska åtgärder som påverkar resefterfrågan. Trafikverket släpper vartannat år prognoser både för nuläget och för två framtida år. Inför fastställande av en sådan prognos genomför Trafikverket övergripande validering och eventuell kalibrering av modellresultat för nuläget. Denna validering har inte som syfte att trafik- och passagerarflöden stämmer med mätningar för varje mätpunkt utan att trafik- och researbete stämmer på en övergripande nivå för varje region.

Vid objektanalyser med Sampers är man intresserad av dels hur många resenärer som kommer att använda objektet i framtiden, dels om restidsvinster för resenärerna. Med syftet att kvalitetssäkra och åstadkomma förtroende för prognosresultat bör modellresultat för nuläget relateras till trafik- och passagerarmätningar som ger tillförlitlig information om hur transportsystemet används idag.

Att validera nulägesprognosen innebär att undersöka hur bra prognosen stämmer överens med tillgängliga data relevanta för aktuella analysen. Ifall avvikelserna är relativt små så kan man anta att även prognosberäkningen för framtida år kommer att vara tillförlitlig under antagna förutsättningar. Vid dålig överensstämmelse bör man försöka hitta fel i indata som orsakar avvikelsen och fixa det både för nuläget och för framtiden och sedan validera igen. Om avvikelsen är fortfarande för stor så bör man överväga kalibrering av nulägesprognosen och justering av framtida resultat.

Kalibrering och justering av prognosen innebär att man förändrar modellen. För att det skulle vara möjligt att relatera resultat av modifierad modell till andra analyser är det därför viktigt att både validering och kalibrering är noggrant dokumenterade inklusive syftet, motivation, data och metod som använts vid kalibreringen.

Det bör noteras att överensstämmelse mellan nulägesprognosen och observationer inte ska åstadkommas till varje pris. Det är tillåtet och befogad att göra relativt små förändringar i resematriser men inte stora ingrepp i indata som skulle ifrågasätta relevans av modellen för uppgiften.

## Validering

Validering av modellen är en jämförelse mellan resultat av modellen för en viss period och resultat av tillförlitliga observationer för samma period. Det finns tre huvudsyften med valideringen:

1. Hitta fel i indata
2. Upptäcka brister i modellen
3. Skapa underlag för beslut om eventuell kalibrering

### Hitta fel i indata

En avancerad trafikmodell som Sampers använder stora mängder av indata som kommer från olika källor och bearbetas för att passa till format som modellen kräver. Fel kan dels finnas i ursprungsmaterialet dels införas vid bearbetningar som ofta bygger på antaganden och förenklingar. Analytikern bör rätta fel i indata om detta är möjligt. Det bör understrykas att upphittade fel bör både meddelas till Trafikverket så snabbt som möjligt och dokumenteras i rapporten.

Vid kontroll av indata tittar man på markanvändning i de trafikzoner som starkt påverkas av objektet och på nätkodning av objektet och runtomkring och fixar eventuella fel. Det kan vara svårt att bedöma rimligheten i markanvändningsdata. Däremot vägnätkodningen är ofta lätt att stämma av mot lokal kännedom och bilderna på karttjänster på Internet. Viktigt att kontrollera är konnektivitet<sup>1</sup> i nätverket, längden och VDF nummer på länkarna. Längden på länkarna kan jämföras med avståndet mellan start- och slutnoden som är enkelt att beräkna i network editor. Vid behov kan kapacitet eller hastighet justeras med hjälp av länktribut @jukap eller @juhas. Dessa justeringar används när det inte finns en lämplig VDF för att beskriva länkens egenskaper, t ex ovanligt störd eller krokig väg.

För studier av kollektivtrafikobjekt rekommenderas att kolla linjer som trafikerar objektet, konkurrerande linjer, deras turtäthet, hastighet och uppehåll. För alla slags objekt kan skafningen ha stor påverkan på resultatet. I städerna bör stora parkeringsplatser beaktas vid skafningen till bilnätet.

Kontroll av parametrar omfattar ekonomisk tillväxt, tidsvärden, avståndsfaktorer antalet yttre iterationer och avbrottskriterier i nätverksutläggningen. Antalet iterationer och avbrottskriterier kan behöva anpassas till uppdraget så att ruttvalet i det studerade området är stabilt. Boyce et al<sup>2</sup> rekommenderar att använda avbrottskriterium  $Relative\ gap < 0,0001$  som kan ta ganska lång beräkningstid att åstadkomma i nätverk med hög trängsel. För att undersöka länkflödenas stabilitet m a p antalet yttre iterationer kan backup på högtrafikscenariot göras m h a ett insatt makrosteg efter varje nätverksutläggning.

<sup>1</sup> Ett verktyg för kontroll av konnektivitet av nätverk finns i Transcad som upptäcker och markerar noder som ligger inom en given avståndströskel från länkar men inte är kopplade till dem. Emme saknar f n en sådan möjlighet förutom ett fall då man importerar nätverk från en shapefile.

<sup>2</sup> Boyce, D., Ralevic-Dekic, B., and Bar-Gera, H. (2004). "Convergence of Traffic Assignments: How Much is Enough?" J. Transp. Eng., 130:1(49), 49-55.

## Upptäcka brister i modellen

Ibland leder valideringen till att problem upptäcks i själva beräkningsmetoden. Sådana problem kan ibland lösas med modifiering av Emme-makro eller python-skript men kan även orsakas av mer grundläggande brister i efterfrågemodellen som bygger på förenklade samband mellan resekostnader och beteende. I sådana fall bör enhet på Trafikverket som förvaltar modellen (f n enheten Trafikprognoser inom Expertcenter, VO Planering) involveras. En kvalificerad analytiker kan ofta föreslå en metod för att lösa problemet och diskutera den med förvaltaren. Ibland kan dock modellen inte anpassas till uppgiften och i sådana fall bör det övervägas att antingen använda en annan befintlig modell eller inom lämplig tid utveckla en särskild beräkningsmetod för att skapa ett beslutsunderlag till planeringen. Resultat av valideringen kan användas av analytikern för att bedöma hur relevant är prognosen som beslutsunderlag.

## Skapa underlag för beslut om eventuell kalibrering

Oftast används Sampers för att göra samhällsekonomiska nyttoberäkningar (cost-benefit analyser, CBA) av åtgärder i transportsystemet där utredningsalternativet (UA) ställs mot jämförelsealternativet (JA). Förändring av konsumentöverskott mellan JA och UA innebär en stor del av nyttan. Denna förändring beräknas i Samkalk med "Rule of the half" (ROH) som antalet resor (medelvärde mellan JA och UA) multiplicerad med kostnadsskillnad och summerad över alla OD-par, färdmedel och reseärenden. Beräkningen görs med matriser som resulterat från efterfrågemodellen (antalet resenärer), fasta matriser (yrkestrafik) och utläggningen (kostnad). För biltrafik beräknas kostnaden m h a volume-delay funktioner som är konvexa d v s växer snabbare vid höga än vid låga flöden. Överskattning av antalet resenärer påverkar inte bara första faktorn i ROH utan även andra faktorn eftersom kostnadsskillnaden beräknas vid högre flöden och därmed är högre än utan överskattningen. Likaså påverkas de beräknade nyttorna negativt om trafikflödena är underskattade. Det innebär att det är viktigt för CBA att flödena stämmer någorlunda bra i första hand i de reserelationer för vilka resekostnader påverkas av objektet. Vid valideringen bör man därför titta i första hand på avvikelser mellan uppmätta och modellerade flöden på den aktuella länken om den existerar redan i nuläget och på konkurrerande länkar annars.

Jämförelse mellan modellerade och uppmätta flöden kan göras dels genom att plotta skillnaderna på nätet dels som spridningsdiagram (scattergram). Urvalet av mätpunkter för jämförelse bör göras med hänsyn till mätningars kvalitet och mätningens period. Det är viktigt att använda observation för det år som motsvarar tillstånd av nätverket. På stora vägar mäts trafiken normalt vart 3-4 år, men på mindre vägar mindre regelbundet. Vägtrafikflödeskartor visar inte bara flöden vid mätplatser utan även flödena extrapolerade till mätavsnitt. Sådana extrapolerade värden bör man använda med försiktighet eftersom de bygger på subjektiva bedömningar. Också viktigt att hålla koll på enheterna årsmedelvardagsdygn, höst/vårmedelvardagsdygn (används ofta i kommuner) och årsmedeldygn (trafikverkets mätningar).

När alla upptäckta fel är rättade och utläggningsresultat är stabil så kan det fortfarande finnas betydande avvikelser mellan observerade och modellerade länkflöden. Förklaringen kan vara fel ruttval eller fel i efterfrågematriser. För att särskilja mellan dessa är det värt att jämföra summan av flöden över ett snitt. När det visar sig att flödet över snitt är korrekt är det troligt att felet ligger i

ruttvalet som kan bero på detaljer i kodningen, bl a besvärliga korsningar eller skaftning. När flödet över snittet är fel så kan man vara säker att orsaken ligger i efterfrågematrisen.

Det kan också vara bra att göra en select link analys av den avvikande länken. Man kan se från vilka start- och målpunkter länken får sitt flöde och bedöma om ruttvalen och förhållanden mellan flöden från olika startpunkter kan anses rimliga.

Jämförelserna bör göras både med avseende på personbil- och lastbilsflöden där det finns data.

Personbilsflöden för regionerna SAMM OCH VÄST beräknas i riggningen genom att göra utläggningar för flera perioder (en representativ timme per period för högtrafik fm, lågtrafik, högtrafik em och, för SAMM, avgiftsfri period). Resultat av dessa utläggningar kan jämföras med tillgängliga räkningar för motsvarande perioder och därifrån kan andelar justeras i parameterfilen för utläggningen ifall det finns belägg för att fördelning av trafiken i studieområdet avviker från den fördelning som gäller generellt för regionen.

Om betydande avvikelser mellan modellresultat för nuläget och observationer förekommer trots att indata är korrekta och modellen är lämplig för uppgiften så ska kalibrering av modellen övervägas. Resultat av valideringen ger ett viktigt underlag för valet av kalibreringsmetoden. Kalibreringsmetoder beskrivs i nästa kapitel.

## Kalibrering

### Övergripande beskrivning

Kalibrering av modellen är en justering av indata eller mellanliggande resultat av modellen. Kalibreringen genomförs med syftet att bättre uppskatta konsekvenser av planeringsåtgärderna på framtida användning av infrastruktur och tidsvinster. Tanken med kalibrering av efterfrågematriser är att minska felet i prognosen och därmed i resultat av samhällsekonomiska beräkningar genom att delvis ersätta resultat av modellen med tillförlitliga data om aktuella trafik- eller passagerarflöden.

Kalibrering kan bara genomföras efter validering av modellresultat för nuläget. Kalibrering kan bara övervägas när alla tre förutsättningar är uppfyllda:

- det finns inga uppenbara fel i indata
- det finns avvikelser mellan modellresultat för nuläget och observationer för samma period som inte kan förklaras av statistisk spridning i observationerna
- avvikelserna kan starkt påverka beslutsunderlag som analysen syftar till att skapa

Kalibrering alltid innebär ingripande i modellen och därmed kan påverka tillämpbarhet av modellen i andra analyser. Därför kalibrering genomförd för en specifik objektanalys ska inte automatiskt överföras till en annan analys.

Kalibreringen består av två delar:

- Justering av en eller flera efterfrågematriser i basåret
- Överföring av justeringar till prognoskörningar

## Justering av basårsmatriser

Justeringen görs utifrån kompletterande data från trafikräkningar, passagerarräkningar eller resvaneundersökningar (RVU).

Om RVU används för justeringen så kan efterfrågematriser för varje kombination av reseärende och färdmedel justeras separat. Eftersom RVU är urvalsbaserad är antalet resor mellan specifika zoner behäftat med stora relativa fel. Därför ska justeringen utgå från antalet resor mellan grupper av zoner (t ex kommuner eller stadsdelar) och eventuellt från antal resor i olika avståndsklasser. Justeringen tillämpas på otransponerade matriser.

Om trafik- eller passagerarräkningar används så behöver matriser som används i utläggningen först justeras så att resultat av utläggningen stämmer tillräckligt bra med räkningarna. Denna justering kan genomföras med en gradientmetoden implementerad i Emme som makro samt, i Emme Modeller, som ett särskilt verktyg. Det finns varianter som gör gradientjustering för biltrafik och för kollektivtrafik med en eller flera klasser av resenärer. Metoden utgår från startmatriser och en uppsättning av uppmätta bil- eller passagerarflöden på länkar eller segment. Som startmatriser används matriser som producerats av efterfrågemodellen, eventuellt med pålagda tilläggsmatriser och eventuellt skalade ner till motsvarande tidsperiod under dygnet. Med andra ord används den bästa gissningen som modellsystemet kan producera för nuläget utan användning av räknedata. Målet med kalibreringen är att justera startmatriserna så att resultat av nätverksutläggning med justerade matriser stämmer bättre överens med observerade flöden. Mer formellt, försöker man minimera målfunktionen, dvs summa av kvadratavvikelser mellan modellerade och observerade flöden över alla länkar i uppsättningen. Målfunktionen är aldrig negativ, och i idealfallet när modellerade flöden stämmer perfekt med observerade flöden är funktionen lika med 0.

Eftersom celler i matriserna är mycket fler än observationer finns det många sätt att justera matriserna på. Gradientmetoden innebär att startmatriserna förändras så lite som möjligt. I varje steg av gradientjusteringen beräknas riktning i vilken matriserna bör förändras (sk gradient) och en steglängd som ger optimal storlek på förändringen. Vid varje steg minskar målfunktionen samtidigt som förändringar i matriserna blir större jämfört med startmatriserna. Vid tillräckligt många gradientsteg kan nästan perfekt överensstämmelse åstadkommas mellan modellerade och uppmätta flöden men matriserna kan ha förändrats så mycket att de blir helt orealistiska eftersom det inte finns någon koppling i processen till modellens indata. T ex kan antalet resor som startar från vissa områden överstiga antalet boende i dessa. Därför rekommenderas det inte att genomföra många gradientsteg, helst inte fler än 3 iterationer. Tio steg får betraktas som en övre gräns för antalet iterationer vid gradientjusteringen.

Ett sätt att kolla att matriserna inte förändras för mycket är att jämföra radsummor och kolumnsummor i startmatrisen med respektive radsummor och kolumnsummor i den justerade matrisen. Detta kan göras t ex med hjälp av matrix skattergram. Trafikzoner där matrisen har förändrats kraftigt bör undersökas närmare. Ibland signalerar det om fel i markanvändning eller vägnätet eller om inkonsistenta räknevärden.

En viktig information ger också skillnadsbilderna och skattergram efter genomförd gradientjustering. Ibland förbättras inte överensstämmelse på vissa länkar. Detta kan orsakas av kodningsfel, olämplig

skaftning och/eller inkonsistenta räknevärden, t ex att de baseras på mätningar vid olika tidsperioder, felplacerade eller inte omfattar hela länken utan bara vissa körfält.

Som startmatris för justeringen i alla regioner utom SAMM och Väst kan de matriser användas som läggs ut i scenariot Indata till Samkalk utan justeringen. Baserat på justerad matris till utläggningen måste sedan otransponerade justerade matriser per ärende tas fram. Det finns dock oändligt många matriser som efter symmetrisering är lika med en given symmetrisk matris. Dessutom är resultat av gradientjustering inte nödvändigtvis symmetrisk även om startmatrisen är det. En lämplig metod kan vara att multiplicera varje cell i otransponerade ärendevisa matriser med kvoten mellan resultat av gradientjusteringen och startmatrisen i respektive cell. Efter justeringen av otransponerade matriser behöver en kontroll göras genom att symmetrisera och vikta de enligt riggingen, lägga ut och jämföra resultat med räkningarna.

I riggingen för regionerna SAMM och Väst läggs ut personbilresor för varje period för sig (förmiddag maxtimme, lågtrafik osv.). Om räkningar finns för varje period så kan man genomföra gradientjusteringen för varje period för sig. Ett problem uppstår när man ska justera otransponerade ärendevisa matriser. Det existerar normalt inte sådana otransponerade ärendevisa matriser som efter transponering, viktning och utläggning skulle återskapa räkningar i alla perioder. Därför behöver de periodvisa utläggningarna ersättas i kalibreringsförfarandet med en utläggning för dygn och gradientjusteringen ska genomföras mot dygnräkningar<sup>3</sup>.

I alla regioner finns ett makrosteg i riggingen som lägger ut lastbilsmatriser på bilvägnätet för dygn med särskilda volume-delay funktioner för lastbilar. För alla regioner utom SAMM och Väst sparas länkflöden från denna utläggning och användas sedan i Samkalk för effektberäkningar. Om gradientjustering av lastbilsmatriser behöver göras i någon av dessa regioner så ska den därför genomföras oberoende av gradientjustering för personbilar.

Om gradientjustering av lastbilresor behöver göras i SAMM eller Väst så ska man observera att den separata lastbilutläggningen av lastbilsmatriserna används i riggingen endast för att beräkna matrisen med restider och avstånd. Lastbilflödena från denna utläggning skrivs över av resultat från periodvisa utläggningar där personbilar och lastbilar läggs ut simultant och lastbilflödena från olika perioder viktas ihop på samma sätt som personbilflödena. Gradientjustering av lastbilsmatriser ska därför i dessa regioner inte genomföras oberoende av personbilflödena. Antingen ska de justeras simultant med personbilsmatrisen eller personbilsmatrisen ska gradientjusteras först och sedan ska de justerade personbilflödena användas som bakgrundsflöden vid gradientjustering av lastbilsmatrisen.

Överensstämmelse mellan modellen och observationerna ska inte åstadkommas till varje pris. Även en kalibrerad modell är bara en approximation av verkligheten. Om kalibreringen drivs för långt kan grundläggande relationer mellan storheterna i modellen (t ex antalet resande från och befolkning i vissa prognosområden) förvrängas så mycket att de inte längre kan användas i prognosen.

<sup>3</sup> Ett exempel av sådan kalibrering för region SAMM finns i PM:et Tvärförbindelse Södertörn. Framtagning av kalibreringsmetod. M4Traffic, 2018. Publicerat i Dokumentarkivet på [www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se).

## Överföring av justeringar till prognoskörningar

### Effekt av kalibreringen för CBA

Samkalk beräknar nyttan av åtgärd genom att jämföra JA och UA. Beräkningen består av två delar: förändring av externa effekter och förändring av konsumentöverskott. Den första delen baseras på flöden av bilar på länkar och passagerare på segment. Om de justerade prognosmatriserna för JA respektive UA används för nätverksutläggningen i det nätverksscenario från vilket Samkalk hämtar trafik- och passagerarflöden så kommer kalibreringen att ha avsedd påverkan på resultat av beräkningen av externa effekter. Detta gäller även om Samkalk hämtar flödena från en länk extra attribut där dygnsflödena har beräknats som kombination av resultat av utläggningar med de justerade matriserna i olika scenarier.

För beräkning av förändring av konsumentöverskottet används dels kostnads- och restidsmatriser, dels resematriser. Samkalk använder de kostnads- och restidsmatriser som använts vid beräkning av efterfrågan i det prognosmodellsteg som är markerad "Ingår i Samkalk" samt de resematriser som beräknas i samma steg. Överföring av justeringarna måste göras till de matriser i prognoskörningar som är input till konsumentöverskottberäkningar i Samkalk.

### Metoder för överföringen

Som sagt ovan, målet med kalibreringen är att få mer tillförlitliga resultat av CBA. För detta behöver justeringen av matriserna överföras till situation i vilken den studerade åtgärden genomförs (UA) eller inte genomförs (JA). Skillnaden mellan modellberäknad och justerad matris i nuläget ger en värdefull information om modellfel. Denna information bör användas för att justera prognosen för både JA och UA.

I beskrivning av överföringsmetoder utgår vi från tre grundmetoder:

- Differensmetod
- Kvotmetod
- Inkrementell metod

Metoderna listas i tabellen nedan med deras fördelar, nackdelar och rekommenderad användning. Efter tabellen definieras och förklaras alla dessa metoder.

#### *Fördelar och nackdelar med olika kalibreringsmetoder*

Metod	Fördelar	Nackdelar	När kan metoden tillämpas
Differensmetoden	Enkelhet	Kan resultera i negativa värden i resematrisen. Vid trunkering till positiva värden kan resultera i att totala antalet resor ökar mer än önskat. Problemet kan reduceras om metoden tillämpas för grupper av zoner men denna aggregering kan påverka precision av matchning mot räkningar i basåret. Metoden är inkonsistent med valmodellen.	Vid tillägg av resor som inte genereras av modellen, t ex anslutningsresor och utrikesresor.
Kvotvetoden utan normering	Enkelhet	Kan resultera i att totala antalet resor med färdmedlet minskar vid minskning av kostnader i UA jämfört med JA. Kan inte tillämpas för tomma celler i matrisen.	Vid kalibrering av lastbilsmatriser

Dalys metod	Relativt enkel implementering . Kan tillämpas även för tomma celler och vid stark utveckling	Kan resultera i att totala antalet resor med färdmedlet minskar vid minskning av kostnader i UA jämfört med JA. Behöver vid prognoskörningen tillgång till basårets matriser för aktuella färdmedlet.	Vid kalibrering mot trafik- eller passagerarräkningar på detaljnivå.
Kvotmetoden med normering eller inkrementell metod	Konsistent med valmodellen	Mer komplicerad implementering än metoderna ovan. Kan inte tillämpas för tomma celler i matrisen. Kan producera orealistiskt stora värden för celler där justering av basårets matris innebär stor ökning och en stark utveckling prognosticeras mellan basåret och prognosåret. De negativa konsekvenserna dämpas om metoden tillämpas på grupper av zoner men denna aggregering kan påverka precision av matchning mot räkningar i basåret.	Vid kalibrering mot data från RVU

#### *Differensmetoden*

Differensmetoden innebär att skillnader mellan cellvärdena i justerade (B) och ojusterade (N) resematriser i nulägesprognosen används för att justera matriser (S) i prognoskörningen, d v s resultatmatrisen  $P$  beräknas som  $S + (B - N)$ . Man alltså subtraherar den modellberäknade nulägesmatrisen från den justerade matrisen och lägga differensen till modellproducerade matrisen i prognossituationen. Metoden är enkel att implementera men den kan resultera i negativa värden i prognosmatriserna. Om trunkering till positiva värden görs så kan det leda till konsistensproblem då olika många "negativa resor" kan kapas av i JA och UA. Flera källor rekommenderar användning av differensmetoden endast i undantagsfall, t ex vid tillägg av resor för vilka man inte har efterfrågemodell.

#### *Kvotmetoden*

Metoden innebär att man dividerar värden i varje cell av den justerade matrisen med respektive värde av startmatrisen och multiplicerar respektive värden i modellproducerade matrisen i prognossituationen med denna kvot. Metoden kan även tillämpas för block av celler istället för enstaka celler.

Kvotmetoden överför alltså kvoten mellan justerad och ojusterad matris till prognossituationen, d v s  $P_{IJ} = S_{IJ} \frac{B_{IJ}}{N_{IJ}}$  för varje cell eller grupp  $(I, J)$  av celler. Metoden genererar aldrig negativa värden i matrisen  $P$ . Metoden är förstas inte tillämpbar om  $N_{IJ} = 0$  för någon grupp av celler. Om värdet i modellprognosen  $S_{IJ}$  är mycket större än i motsvarande värde  $N_{IJ}$  i basåret kan en "explosion" av justerat värde ske i prognosen. För att motverka "explosionen" föreslår Daly et al (2012)<sup>4</sup> en kombination av kvot- och differensmetoderna som beskrivs nedan.

Vidare har kvotmetoden ett problem som kan påverka resultat av vissa analyser. Vid minskning av kostnad för ett resealternativ 1 (t ex färdmedlet kollektivt) kommer överflyttning att ske i modellen

<sup>4</sup> A. Daly, J. Fox, B. Partuni and F. Milthorpe. Pivoting in Travel Demand Models. Proceedings of Australasian Transport Research Forum, 26-28 September 2012, Perth, Australia.



från alternativ 2 ( t ex färdmedlet bil). Om kvoten för alternativ 1 är betydligt lägre än alternativ 2 kommer det totala antalet resor (summa kollektivt och bil) i den kvotjusterade modellen minska, trots den minskade kostnaden. Motsvarande orealistiska förändringar kan ske vid kostnad- och restidsökningar. Orsaken till dessa konstiga resultat är att kvotmetoden inte är konsistent med valmodellen som utgår från att varje individ väljer alternativ med lägsta kostnaden.

### *Dalys metod*

Resultat av kalibreringen kan bero starkt på vilken metod som tillämpas. Valet av metoden bör bestämmas med hänsyn till huvudsakliga orsaken till modellfelet. Till exempel, om felet beror på att modellen saknar en viss typ av resor som har ett annat resmönster jämfört med de resor som finns med ( t ex anslutningsresor) då är det lämpligt att använda differensmetoden. Om modellen däremot under- eller överskattar vissa typer av resor som finns med i efterfrågemodellen då är kvotmetoden mer lämplig.

Ofta är det svårt att bestämma vad felet beror på. I detta fall är det lämpligt att använda en kombination av differens- och kvotmetoden som ger mest stabila resultat m a p eventuella fel i indata till prognosen. Även om kalibrering av modeller genomförs vid många tillämpningar är det väldigt lite material om kalibreringsmetoder som finns publicerad. Daly et al (2012) rekommenderar att tillämpa kvotmetoden för värden i prognosmatrisen som inte är större än  $k$  gånger respektive värde i modellproducerade nulägesmatriser. De rekommenderar att tillämpa kvotmetoden vid relativt små förändringar mellan basåret och prognosåret och differensmetoden till den delen av prognosvärdet som överstiger den femdubbla av nulägesprognosen. Låt  $N$  beteckna ett cellvärde i den modellberäknade nulägesmatrisen,  $B$  respektive värde i den gradientjusterade matrisen och  $S$  värdet i den modellberäknade matrisen för prognosåret. Prognosmatrisen  $P$  beräknas enligt Dalymetoden som  $P = (B/N)S$  om  $S < kN$ , och  $P = S + k(B - N)$  annars<sup>5</sup>. Daly et al (2012) föreslår att använda  $k=5$  som ett lämpligt värde. Metoden undviker att antalet resor "exploderar" vid starka förändringar i markanvändningsdata mellan basåret och prognosåret och stora värden i kvotmatrisen. En annan fördel av metoden är att den aldrig genererar negativa värden i matrisen  $P$ . Liksom kvotvetoden kan Dalys metod resultera i konstig beteende i modellen då antalet resor minskar för färdmedel totalt när kostnaden för detta färdmedel minskar i en viss relation.

### *Aggregering*

Ett annat sätt att undvika extrema förändringar i enstaka celler av den justerade prognosmatrisen är att tillämpa kvotmetoden men beräkna kvoterna på basis av aggregerade värden i matriserna  $N$  och  $B$ . En lämplig aggregeringsnivå kan vara kommuner eller stadsdelar för trafikzoner som ligger nära objektet, län för trafikzoner som ligger längre bort. Beräkning av kvotmatrisen på aggregerad nivå kan göras i Emme genom att definiera motsvarande gruppering, aggregera båda matriserna  $N$  och  $B$  med modulen Matrix Partition Aggregation från Matrix Calculation Tool i Emme Modeller och dela den aggregerade  $B$  med den aggregerade  $N$ . Kvotmatrisen kan sedan användas till att justera prognosmatrisen enligt kvotmetoden. För att välja en lämplig aggregeringsnivå är det värt att dels undersöka värden i kvotmatrisen (de ska helst ligga mellan 0,7 och 1,3, annars bör aggregeringen göras grövre eller färre steg i gradientjusteringen köras), dels göra en utläggning med matrisen  $N$

<sup>5</sup> Notera att båda uttryck ger samma värde  $P = kB$  vid tröskeln  $S = kN$ , som implicerar kontinuitet m a p  $S$ . Detta är en viktig egenskap som garanterar att metoden inte ger plötsliga språng vid tröskeln som skulle kunna orsaka konstiga resultat vid jämförelsen mellan JA och UA.

multiplikerad med kvotmatrisen och jämföra med räkningar (vid dålig överensstämmelse kan en finare aggregering övervägas).

### Inkrementella metoden

Metoden innebär att man beräknar differens mellan resekostnaden som efterfrågemodellen använt för att generera efterfrågematriserna i nuläget och den resekostnad som modellen skulle behöva använda för att producera de justerade matriserna, och i prognossituationen justerar kostnaden som går in i efterfrågemodellen genom att dra av denna differens.

Inkrementella metoden undviker konstigheter som beskrivs ovan i samband med kvotmetoden och Dalys metod och är konsistent med antagandet om individens nyttomaximerande beteende. Den metoden är den teoretiskt mest underbyggda men dess tillämpning är tekniskt mer komplicerad än differens- och kvotmetoderna. Trafikverket tillämpar ett särskilt kalibreringsprogram för att producera kostnadsdifferenserna och spara de i kalibreringsfiler för varje region. Proceduren beskrivs i rapporten Sampers 3.3 och Autokalibrering publicerad i Dokumentarkivet på [www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se).

### Kvotmetoden med normeringar

Kvotmetoden med normeringar innebär att kvotmetoden används först på översta nivå i den nästlade efterfrågemodellen och sedan konsekvent på lägre nivåer. Efter varje kvotjustering normeras matriserna så att totala antalet resor stämmer med resultat av beräkningar på övre nivå. Daly et al (2012) har visat att kvotmetoden med normeringar tillämpade konsekvent "uppifrån och ner" i nästlad logitmodell är ekvivalent med den inkrementella metoden.

Alla efterfrågemodeller i Sampers med undantag för långväga modellen för tjänsteresor är strukturerade som nästlade logitmodeller med valet att resa/inte resa på översta nivå, färdmedelsvalet på mellanliggande nivå och destinationsvalet på nedersta nivå. Nedan förklaras tillämpning av kvotmetoden med konsekventa normeringar för just sådan modellstruktur för ett visst ärende.

Det är fördelaktigt att metoden inte tillämpas på enstaka zoner  $i, j$  utan på grupper av zoner  $I, J$ , t ex kommuner eller stadsdelar, för att undvika alltför hög känslighet av justeringar m a p värden i enstaka celler.

Beteckna  $N_{imj}$  antalet modellberäknade resor i basåret från zon  $i$  med färdmedel  $m$  till zon  $j$ . Summer över start- och destinationszoner inom varje grupp betecknas som  $N_{Imj}$ . Antalet resor från grupp  $I$  summerat över alla destinationer betecknas som  $N_{Im\cdot}$  och summerat över både destinationer och färdmedel som  $N_{I\cdot\cdot}$ . Matriser med antalet resor justerad för basåret utifrån kompletterande data (trafik- eller passagerarräkningar, lokal resvaneundersökning e. d.) betecknas som  $B$  och modellberäknad antal resor för prognosåret som  $S$ , med samma konventioner för beteckning av summer som för  $N$ . Det justerade antalet resor för prognosåret  $P_{imj}$  beräknas i 7 steg. Metoden kräver att man vid justering av resultat från prognosberäkningen har tillgång till matriserna för nuläget, både  $B$  och  $N$ , alternativt att kvoterna  $B_{I\cdot\cdot}/N_{I\cdot\cdot}$ ,  $B_{Im\cdot}/N_{Im\cdot}$ ,  $B_{Imj}/N_{Imj}$  är sparade för varje grupp av startzoner, färdmedel och grupp av destinationszoner, för varje ärende som ska justeras.

Steg 1. Gruppvis summering av antalet resor:

$$N_{ImJ} = \sum_{i \in I, j \in J} N_{imj}, B_{ImJ} = \sum_{i \in I, j \in J} B_{imj}, S_{ImJ} = \sum_{i \in I, j \in J} S_{imj}$$

Steg 2. Beräkning av prognosen för totala antalet resor från grupp  $I$  av zoner:

$$P_{I..} = S_{I..} \frac{B_{I..}}{N_{I..}}$$

Steg 3. Preliminär beräkning av prognosen för totala antalet resor från grupp  $I$  med färdmedlet  $m$ :

$$P'_{Im.} = S_{Im.} \frac{B_{Im.}}{N_{m.}}$$

Steg 4. Normering av resor från grupp  $I$  med färdmedlet  $m$ :

$$P_{Im.} = P_{I..} \frac{P'_{Im.}}{P'_{I..}}$$

Steg 5. Preliminär beräkning av prognosen för resor från grupp  $I$  med färdmedlet  $m$  till grupp  $J$ :

$$P''_{ImJ} = S_{ImJ} \frac{B_{ImJ}}{N_{ImJ}}$$

Steg 6. Normering av antalet resor från grupp  $I$  med färdmedlet  $m$  till grupp  $J$ :

$$P_{ImJ} = P_{Im.} \frac{P''_{ImJ}}{P''_{Im.}}$$

Steg 7. Proportionering av antalet resor med färdmedlet  $m$  inom grupperna:

$$P_{imj} = P_{ImJ} \frac{S_{imj}}{S_{ImJ}} \text{ för alla } i \in I, j \in J$$

För långväga tjänsteresor där färdmedelsvalet i efterfrågemodellen görs på nedersta nivån behöver index för destination och färdmedel kastas om och beräkningarna görs först per destinationsgrupp och sedan per färdmedel.

Implementering av metoden kan göras utanför Emme eller med ett skript som använder verktyget Matrix partition aggregation i Emme Modeller.

Metoden lämpar sig för kalibrering av färdmedelsandelar och/eller reslängd inom en region eller över ett snitt. Den är mindre lämplig för kalibrering inför en specifik objektanalys.