

OPGØRELSE AF PASSAGERREGULARITET I S-TOG

Elsebet Seest, Trafikanalytiker

Trafikanalyse og -planlægning, DSB S-tog
Sølvgade 40, opg. D lok. 215, DK - 1349 København K
Tlf. 33 54 23 87 - E-mail: eseest@s-tog.dsb.dk

Otto Anker Nielsen, Professor

Centrer for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)
Bygning 115, st. tv. 2800 Lyngby, Denmark
Tlf.: +45 45 25 15 14 – Fax: +45 45 93 64 12 – E-mail: [oan@ctt.dtu.dk](mailto: oan@ctt.dtu.dk)

Rasmus Dyhr Frederiksen, Civil Ingeniør, Partner

Rapidis Aps.
Jægersborg Allé 4. 2920 Charlottenlund
Tlf.: +45 39 96 59 60 – E-mail: rdf@rapidis.com

1 Introduktion

Hidtil er regularitet (forsinkede tog) og pålidelighed (aflyste tog) i DSB S-TOG A/S alene opgjort på tog-niveau. Imidlertid har DSB S-TOG længe ønsket også at kunne opgøre passagerregulariteten, det vil sige de samlede forsinkelser som passagerne oplever for deres samlede tur. Passagerregulariteten er forskellig fra togregulariteten, fordi antallet af passagerer per tog varierer, samt fordi forsinkelser enten kan indhentes ved skift mellem tog eller øges yderligere, hvis næste forbindelse mistes. Opgørelse af passagerregularitet og sammenligning heraf med tog-regularitet giver dels et bedre planlægningsgrundlag for DSB S-TOG, dels muliggør det en mere detaljeret afrapportering af regularitet til Trafikministeriet og den interne opfølgning på ansvarsområdet.

Metodemæssigt er der taget udgangspunkt i en detaljeret køreplansbaseret rutevalgsmodel. Men hvor det normalt - f.eks. i forbindelse med trafikmodeller - antages at rejsende har fuld information, og derfor vælger optimale ruter, så har udfordringen i dette projekt været at opbygge en rutevalgsmodel for en situation med forsinkelser og aflysninger. Her arbejdes der ud fra en antagelse om, at rejsende vælger rute ud fra mangelfulde eller delvist forkerte informationer.

Datagrundlaget for beregningerne er DSB S-togs data-warehouse, der dels indeholder de planlagte køreplaner, dels de reelt afviklede køreplaner for hver driftsdag. Det var et ønske fra DSB S-TOG, at beregningsmodellen skulle kunne afvikles automatisk hver nat, så der opnås en kontinuert opgørelse af passagerregularitet baseret på faktiske målinger af togdriften.

Artiklen beskriver i afsnit 2 baggrunden for projektet, dernæst i afsnit 3 adfærdsmæssige antagelser, afsnit 4 den benyttede beregningsmodel og løsningsalgoritme, afsnit 5 den praktiske implementering og afsnit 6 eksempler på brug af modellen. Artiklen afsluttes med

konklusioner og perspektiver for det videre arbejde. Dele af de metodiske beskrivelser i afsnit 4 bygger på Nielsen & Frederiksen (2005a).

2 Baggrund

Diskussionerne omkring udviklingen af en model for passagerregularitet går helt tilbage til 1999, hvor DSB S-tog a/s fik sin første kontrakt med trafikministeriet ”Kontrakt om S-togstrafik udført som offentlig service i perioden 2000-2004”. Heri stod der direkte, at ”DSB S-tog a/s forpligter sig til at udvikle et system, så regularitetsmålsætningerne fra den 1. januar 2001 kan baseres på passagerforsinkelser frem for tog forsinkelser”

De første modelforslag var meget simple og tog udgangspunkt i den traditionelle togregularitet, som blev vægtet med antallet af passagerer henholdsvis i og uden for myldretiden. Det endte med en simpel model, som kunne laves i Excel på basis af enkle dataudtræk fra allerede eksisterende systemer. DSB S-tog a/s opfyldte dermed sin kontraktlige forpligtelse til Trafikministeriet. Men på sigt var det imidlertid ikke en tilfredsstillende løsning for DSB S-tog a/s, idet modellen ikke bidrog med yderligere information til analyse- og markedsføringsformål. På sigt ønskede DSB S-tog a/s derfor en model, der kunne fortælle noget om de forsinkelser kunderne reelt oplevede.

Ret tidligt i processen var man i DSB S-tog a/s klar over, at skulle man få en brugbar regularitetsmodel til at fungere, så var det nødvendig at opbygge et datawarehouse med registreringer pr. stationsankomst målt i forhold til en hovedplan. Allerede i slutningen af 1999 begyndte diskussionerne omkring udviklingen af et sådan regularitets datawarehouse. Men først i foråret 2001 kom det for alvor gang i processen, og fra maj 2003 har DSB S-tog a/s regularitets datawarehouse kørt i daglig drift.

I efteråret 2003 var DSB S-tog a/s så langt fremme med de interne diskussioner omkring udviklingen af en passagerregularitetsmodel, at de kontaktede Center for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)¹ for få hjælp til den videre udvikling af en beregningsmodel, der skulle virke på data fra datawarehouseet. CTT valgte at benytte underrådgiveren Rapidis Aps. til at assistere med programmering og implementeringen af modellen.

I august 2005 var den første version af en passagerregularitetsmodel testet over et halvt år, hvormed der dagligt kan opgøres en passagerregularitet og antal forsinkelsesminutter. Ses tilbage på hele udviklingsprocessen, kan det konstateres, at den mest ressourcekrævende del af processen har været at få etableret IT-plattformen og datawarehouseet, sikret den nødvendige datafangst og ikke mindst hele datavalideringen. Kun ca. 20% af ressourceforbruget er gået til udviklingen af den egentlige passagerregularitetsmodel hos CTT, Rapidis og DSB S-tog, endda inkl. et opdateringsprojekt, som forventes gennemført i efteråret 2005.

¹ I det følgende forkortet til CTT.

Da S-tog i efteråret 2003 kontaktede CTT, var man internt i DSB S-tog a/s meget afklaret med, at en fremtidig model skulle kunne bruges til;

- En tilfredsstillende rapportering til trafikministeriet, med nøgletal som beskriver en reel udvikling.
- Intern driftsoptimering set i forhold til antallet af forsinkede kunder, i modsætning til i dag hvor der alene fokuseres på antal forsinkede stationsankomster.
- Markedsføringen, ønsket om at kunne fortælle den gode historie, som fx hvor mange procent af de rejsende, der fra Hillerød i morgenmyldretiden er inde i det centrale København inden for x minutter rejsetid.

3 Adfærdsmæssige antagelser

Passagerers regularitet adskiller sig fra togregularitet af en række årsager;

- Antallet af passagerer per tog varierer – typisk er passagerintensiteten større i myldretiden, hvor togtætheden og derved også forsinkelserne er hyppigere. Dertil kommer, at tættere passagerinteraktion ved på og afstigning også i sig selv er en medvirkende årsag til forsinkelser.
- Hvis passagererne skifter mellem linier, vil en forsinkelse betyde mindre, såfremt næste linie alligevel nås, mens den vil betyde mere, hvis korrespondancen mistes. Dette overses ved opgørelse af tog-regularitet. I særlige tilfælde kan passagerne opnå en bedre korrespondance i et irregulært system².
- I dele af nettet vil passagerer på korte ture ofte blot kunne tage en anden linie, såfremt hele systemet er forsinket. Dette gælder i særlig grad ”røret” fra Hovedbanegården til Østerport, hvor togene kører i en tæt følge efter hinanden.

Når artiklen i det følgende omtaler passagerers rute, omfatter rutevalg både sekvensen af stationer, f.eks. Lyngby til Husum via ringbanen med skift Hellerup og Flinthold versus en rute over Hovedbanegården, samt sekvensen af linier, f.eks. linie A versus B fra Holte til Nørreport. To forskellige ruter kan således i den benyttede terminologi godt forløbe ad samme gren mellem de samme to stationer.

3.1 Simple, men problematiske principper

Der er to oplagte opgørelsesmetoder, der er meget lette at implementere, men som begge er problematiske.

² I modeldesignfasen var dette vurderet som en relativt hypotetisk situation, der dog blev medtaget for at modellen skulle være komplet og teoretisk konsistent. Som det vil fremgå af afsnit 6 viste det sig – noget overraskende – at en hel del passager opnår bedre korrespondancer og/eller når et tidligere – men forsinket – tog, og derved sparer tid.

3.1.1 Opgørelse på vognløbsniveau

Et særligt simpelt princip er at opgøre den samlede passagerforsinkelse ved at gange antal passagerer i et vognsæt med forsinkelsen af vognsættet. Dette princip er benyttet på Køgestrækning i forbindelse med opgørelser til Roskilde Amts Trafikbarometer, og var tænkt som fremtidig rapporteringsmodel til Trafikministeriet. Det samlede antal forsinkelsesminutter bliver derved fejlvurderet, idet der ikke tages hensyn til at rejsende kan skifte rute (eller linie).

På trods af en evt. forsinkelse når en passager måske alligevel en korresponderende linie ved skiftestationen, og vedkommende forsinkes således ikke i forhold til ankomst ved slutdestinationen. Omvendt kan det være, at andre passagerer ikke når korresponderende forbindelser, og derved påtvinges en yderligere forsinkelse. Sidstnævnte hænder dog relativt sjældent i S-togssystemet, fordi en forsinket linie ofte vil forsinke de efterfølgende linier på grund af manglende overhalingsmuligheder. Mistede korrespondancer forekommer derimod ofte ved helt aflyste eller afkortede vognløb. Forlængelsen af Ringbanen til Ny Ellebjerg øger dog muligheden for valg af alternative ruter.

Derudover er der situationer, hvor hele systemet forsinkes, men hvor passagerer på dele af nettet med parallelle forbindelser (f.eks. mellem Hovedbanegården og Svanemøllen station) blot kan tage en anden linie, og derved nå frem på samme tid. Princippet tager således ikke hensyn til, at forsinkelser i systemet kan medføre, at passagerne skifter rute for at reducere konsekvensen af forsinkelser.

Hvorvidt opgørelsen på vognløbsniveau samlet set vil over- eller undervurdere passagerforsinkelserne afhænger af den konkrete køreplan og fordelingen af forsinkelserne, selvom antagelsen om passagerers faste rute vil have en tendens til at overvurdere forsinkelserne.

3.1.2 Opgørelse ved hjælp af rutevalg med fuld information

Problemerne beskrevet ovenfor kan afhjælpes ved at opgøre den samlede passagerforsinkelse ud fra den enkelte rejsendes samlede rejsetid. Denne kan beregnes ved at benytte en kollektiv rutevalgsmodel. En traditionel rutevalgsmodel, hvor det antages, at rejsende vælger en optimal rute ud fra fuld information har dog også visse problemer i forhold til en situation med driftsforstyrrelser. "Fuld information" vil groft sagt betyde, at en rejsende allerede hjemmefra vil planlægge sin rejse ud fra en viden om en driftsforstyrrelse, der først forekommer på et senere tidspunkt. Heller ikke brugen af en stokastisk rutevalgsmodel vil kunne undgå disse problemer. En opgørelse baseret på en traditionel rutevalgsmodel vil derfor undervurdere de samlede passagerforsinkelser.

3.2 Rutevalg ud fra delvis information

For at kunne sikre en bedre opgørelse af den samlede passagerforsinkelse, var det nødvendigt at udvikle en rutevalgsmodel, der bedre kunne simulere S-togs rejsendes rutevalg i en situation med uplanlagte driftsforstyrrelser. Der er to hovedelementer i et sådant rutevalg:

1. Indtil en rute når til det tidspunkt, hvor en driftsforstyrrelse forekommer, må en driftsforstyrrelse ikke påvirke rutevalget.
2. Da det er umuligt at vide hvornår og hvordan rejsende informeres om driftsforstyrrelser, er det nødvendigt at benytte nogle antagelser om informationsniveauet. Modellen antager, at alle rejsende informeres i det øjeblik en driftsforstyrrelse forekommer, men ikke før. Og at de derefter først overvejer at ændre adfærd, hvis forsinkelsen overskrider en tærskelværdi (der beskrives nærmere i det følgende).

For at kunne opfylde disse krav er der anvendt en 2 trins tilgang til bestemmelse af rutevalget:

1. Ud fra en reference køreplan bestemmes en planlagt rute ved hjælp en rutevalgsberegning med fuld information i referencekøreplanen.
2. Så vidt muligt dannes den planlagte rute i transportnettet baseret på den afviklede køreplan (fremgangsmåde er beskrevet mere detaljeret nedenfor).

For at afspejle usikkerhederne ved modellen, opgøres den samlede passagerforsinkelse både baseret på rutevalg med fuld information (*optimistisk opgørelse*) og baseret på det ovenfor beskrevne rutevalg med delvis information (*pessimistisk opgørelse*). Hermed fås en øvre og nedre grænse for den samlede passagerforsinkelse, idet det pessimistiske rutevalgs dog anses for mest sandsynligt.

3.3 Rutevalgskriterier

Ovennævnte principper danner grundlag for modellens rutevalgskriterier, der som nævnt sammenligner et planlagt rutevalg ud fra den planlagte køreplan med den realiserede køreplan. Valgstrategien bygger på en antagelse om, at passagererne følger den planlagte rute, men starter at genoverveje ruten, når forsinkelserne når over en vis grænse (tærskelværdi).

3.3.1 Rutevalg for rejser uden skift

Ca. 9 ud af 10 rejser med S-tog involverer ikke skift mellem S-tog. Som udgangspunkt er der altid beregnet en rute (fra station A til station B) i en reference-køreplan (planlagte køreplan eller produktionskøreplanen). Herfra vides hvilken S-togs linie S, det planlægges at benytte, samt planlagte afgang- og ankomst tidspunkter. Følgende fremgangsmåde benyttes for at beregne valget af rute:

1. På station A vælges første afgang med linie S, fra det planlagte afgangstidspunkt. Findes ingen afgang med linie S indenfor et vist tidsrum, X, tillades frit optimalt rutevalg fra station A. X beskriver således, hvor hurtigt passagerer begynder at ændre rute, såfremt de opdager at togene er forsinkede. Des hurtigere reaktion, des mere optimal adfærd, og derved des mere hensigtsmæssig respons på forsinkelsen.

2. Såfremt S kan benyttes, beregnes den optimale rute, med følgende begrænsninger: Udstigning fra linie S tillades kun på station B, eller fra sidste station på vognløbet (hvis det er afkortet, før station B nås). Herfra er der frit, optimalt rutevalg.

Herved sikres, at en rute så vidt muligt forsøges gennemført som planlagt ifølge referencekøreplanen, også selvom bedre alternative ruter eksisterer (ifølge rutevalg med fuld viden). Generelt vil mindre forsinkelser ikke i så høj grad påvirke folks valg af rute i retning af at benytte alternative S-togs linier eller andre afgang end den planlagte.

3.3.2 Rutevalg for rejser med skift

For en mindre gruppe af rejsende, involverer rejsen i S-togsnettet et eller flere skift. Som udgangspunkt er der altid beregnet en rute (fra station A til station C, over stationerne B_i (i er indeks)). Herfra kendes den planlagte sekvens af S-togslinier S_i (i er indeks), skift, samt tidspunkter for af- og påstigning. Så vidt muligt ønskes det, at det endelige rutevalg fastholder den planlagte sekvens af stationer og linier, der er baseret på referencekøreplanen. Under visse omstændigheder (meget store forsinkelser på en del af rejsen i forhold til den planlagte rute), tillades frit rutevalg med fuld information for resten af ruten. Følgende fremgangsmåde etablerer valget af rute:

1. På station A vælges første afgang med linie S_1 , fra det planlagte afgangstidspunkt. Findes ingen afgang med linie S_1 , indenfor et vist tidsrum, tillades frit rutevalg fra station A.
2. For hvert efterfølgende planlagt rejse-segment (mellem 2 stationer, f.eks. fra station A til B_1), udføres rutevalg mellem de to stationer, med samme begrænsninger som omtalt i rutevalg uden skift: Udstigning fra det benyttede vognløb tillades kun på destinations-stationen, eller hvis ruten er afkortet og destinations-stationen ikke kan nås.
3. For hver startstation, B_i , benyttes første mulige afgang for den planlagte linie (S_i for segment i af rejsen). Dersom rejsetiden for det pågældende rejse-segment er meget større end planlagt (f.eks. 30 minutter), udføres der frit rutevalg med fuld information for resten af ruten.

4 Løsningsalgoritme og beregningsmodel

Den foreslåede løsningsmetode beregner således først en *á priori* sekvens af vognløb i den planlagte køreplan. For at udregne det foretages et optimalt rutevalg baseret på afgangstidspunkt i den samlede køreplan. Dernæst foretages for hver station i sekvensen en sammenligning mellem den realiserede køreplan og den planlagte, og eventuelle nye ruter genereres.

Da beregninger i køreplansbaserede trafiknet er meget tidskrævende, var der i starten af projektet stor fokus på at udvikle effektive løsningsalgoritmer. Eksempelvis er der i tidligere projekter – f.eks. København-Ringsted modellen (Nielsen, m.fl., 2001) – set beregningstider

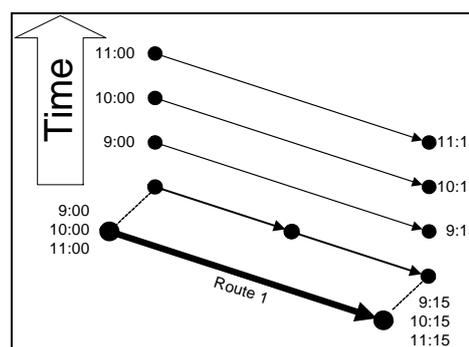
på over en uge. Som nævnt i indledningen var det imidlertid forudsat, at modellen skulle kunne køre over en nat. I det følgende beskrives i overordnede termer, hvordan denne beregning gennemføres.

4.1 Beregning af rute i køreplansbaserede net

Grundlaget for rutevalgsberegningerne er beregningen af ruter gennem et køreplansbaseret netværk. Der er forskellige tilgange til dette. I dette tilfælde er det køreplansbaserede netværk modelleret ved hjælp af en udfoldet (diakron) graf (jf. Nuzzolo m.fl. 2001), hvor hver kant er tildelt en række omkostninger, der generaliseres til en samlet omkostning pr. kant. Dette gør det muligt at anvende gængse algoritmer (såsom Dijkstras algoritme) til beregning af korteste veje i grafen, hvilket viste sig mere effektivt end at opbygge grafen dynamisk under beregningen.

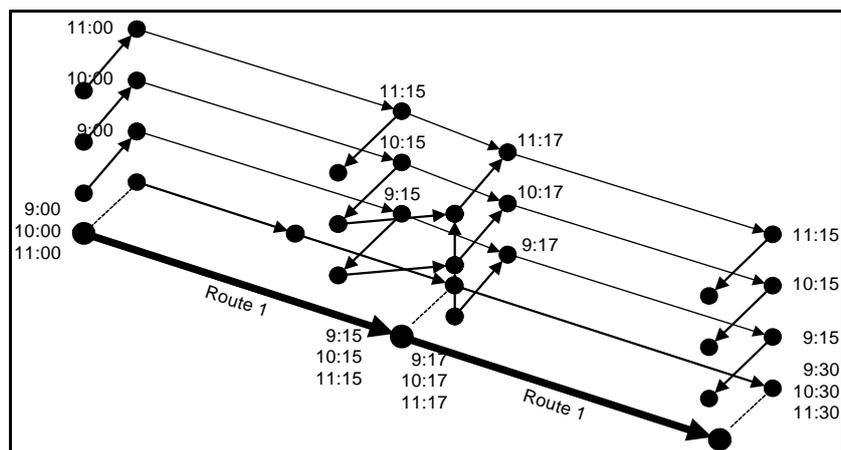
Det er relativt nyt, at store køreplansbaserede trafikmodeller er funktionelle i praksis. Bogen redigeret af Wilson & Nuzzolo (2004) giver et overblik over den seneste udvikling af den type modeller. Arbejdet i nærværende projekt er en videre udvikling af en model, der oprindeligt blev præsenteret i Nielsen (2004) og optimeret i Nielsen & Frederiksen (2005b), hvortil der henvises for yderligere detaljer. For at illustrere hvorledes en beregningsgraf opbygges, gives her et kort eksempel.

Figur 1 illustrerer, at en køreplan består af flere afgang (vognløb) på forskellige tidspunkter langs ruten. Beregningsgraf kan opfattes 3-dimensionelt, hvor x og y akser beskriver geografien og z-aksen tiden. Ruten kan følge en sekvens af kanter, som indikeret i den nederste del af figuren med to kanter. I beregningen er det dog kun nødvendigt at opbygge en "pseudokant" mellem to stationer – f.eks. hvis et tog er gennemgående og ikke standser ved mindre stationer samt forgreninger af banen.



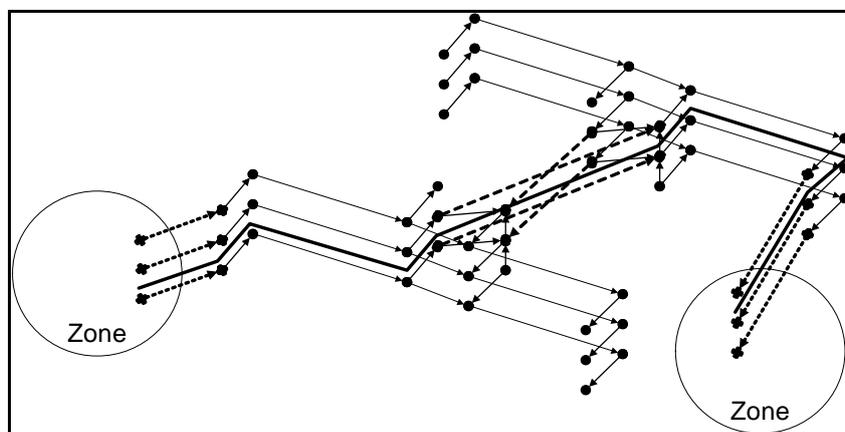
Figur 1. Eksempel af køreplan

Figur 2 vises et mere kompliceret uddrag af en rute, hvor 3 afgang forbinder 3 stop. I stoppet i midten er der mulighed for at fortsætte i samme tog, eller stå af og stige på et senere tog.



Figur 2 Simpelt eksempel, 3 stop

Nedenfor vises i figur 3 et andet eksempel, med 2 ruter, hvor der er muligheder for at skifte mellem 2 stop. Som det ses stiger antallet af kanter og knuder hurtigt, når antallet af afgangsvokser.



Figur 3 To ruter, mulighed for skift

For at undgå at beregningsnettet “eksploderer” i størrelse benyttes derfor en såkaldt grafreducerende teknik. Denne er beskrevet i Nielsen & Frederiksen (2005a), som er delvist inspireret af Florian (2004).

5 Implementering

En meget stor del af arbejdsindsatsen i forbindelse med etableringen af systemet til opgørelse af passagerregularitet har ligget i selve implementeringen af datawarehouseet og trafikmodelsoftwaren, samt til at få de to til at spille sammen. Disse anstrengelser beskrives i det følgende.

5.1 Datawarehouse

Kernen i hele projektet er datawarehouseet, hvortil der dagligt sker en automatisk overførsel af køreplaner, faktiske ankomstregistreringer og andre driftsrelaterede data til en central database ”datawarehouse” i DSB S-tog

Udviklingen af S-togs datawarehouse har været en af de større udfordringer. Litteraturen omkring datawarehouseudvikling viser, at udfordringerne har været klassiske, og kan beskrives ved overskifterne:

- Data viser sig ikke at være i overensstemmelse med specifikationerne.
- Datakvaliteten var dårligere end forventet.
- Første version af datawarehouse blev kasseret.
- Modstand i organisationen mod udviklingen af systemet.

Alle fødekilder til DSB S-tog a/s datawarehouse er af ældre dato, dokumentationen er yderst begrænset, og data viste sig at være meget anderledes end forventet. Ambitionsniveauet for første datawarehouse iteration viste sig at være alt for højt og burde have været reduceret til test af processer omkring datafangst, opbygning af grundstrukturer efterfulgt af en testperiode med eneste formål at tolke data. Først herefter havde S-tog det nødvendige datakendskab til en korrekt tolkning af data og udvikling af de mange automatiske fejlretningsruter, som har været nødvendige for at kunne sikre en tilfredsstillende datakvalitet til analyseformål. Et studie af litteraturen viser, at det er en klassisk faldgrube, at man tror man kender sine data, og arbejde ud fra den overbevisning indtil man faktisk står med en række nøgletal, som ikke kan bruges til noget pga. fejlfortolkning af data. Herefter er det nødvendigt at gå flere trin tilbage og begynde forfra.

Organisatorisk har nedennævnte enheder været involveret i processen

- Banedanmark; Dataleverandør
- Produktion (DSB S-tog a/s); Dataleverandør
- DSB Informatik; Udvikling af råudtræk fra produktionssystemer
- IT og Dokumentation (DSB S-tog a/s); IT-udvikling - Integration og arkitektur
- Trafikanalyse og Planlægning (DSB S-tog a/s); Projektkoordinator, modelbeskrivelse
- Økonomi og Administration (DSB S-tog a/s); Sponsor

Samarbejdet på tværs af så mange organisatoriske enheder var lidt af en større udfordring, og S-tog valgte at håndtere problemerne omkring modstanden i driftsorganisationen ved at udvikle automatiske processer til tolkning og fejlretning af data, frem for at bede dataleverandørerne om at ændre adfærd. Det sidste har været så succesfuldt, at dataleverandørerne i dag foretrækker at bruge data fra datawarehouse frem for deres egne datakilder.

5.2 Udtræk af Model data

Fra datawarehouse skal data "automatisk" kunne overføres til rutevalgmodellen. Dette gav også en række udfordringer, idet trafikmodeller typisk arbejder i enkeltbrugermiljøer og på små databaser, mens modellen nu skulle integreres i en større edb-løsning. For at sikre, at den

kunne køre gnidningsfrit, fik Rapidis en overgang en fast arbejdsplads hos DSB S-tog, hvor selve interfacet mellem modellerne blev kodet.

5.3 Beregningsmodel

Af praktiske og modelmæssige hensyn benyttes en række simplifikationer i beregningsmodellen:

- Det er ikke hele det kollektive system i Hovedstadsområdet der modelleres, kun S-tognettet. Dette blev valgt for at få en overskuelig netstørrelse, fordi de øvrige transportmidler (busser, andre tog og metro) ikke har et datawarehouse for opgørelse af regularitet integreret med S-togs' løsning, samt fordi opgørelse af passagerers eventuelle alternative rutevalg i andre kollektive trafikmidler politisk kunne opfattes som et forsøg på at reducere generne ved togforsinkelser.
- Rutevalgsmodellen er deterministisk (ej stokastisk). Dette blev i første omgang valgt for at spare regnetid samt ressourcer til programmering, idet der var en a priori forventning om langt højere regnetid (en nat) end den endelige model endte med (10-20 min). Men derudover gjorde en deterministisk model i testfaserne det lettere at analysere konsekvenserne af forskellige parametre – f.eks. tærskelværdien – idet man fik de rene effekter uden stokastiske overlejringer.
- Der benyttes en fast station-til-stations turmatrix baseret på Østtællingen. Turmatricen er ikke segmenteret i flere turformål (se beskrivelsen af rutevalgsparemetre nedenfor).

Den endelige model indeholder 104 zoner (eller rettere sagt stationer). Turmatricen er opdelt i 42 tidsintervaller (af 20 minutters størrelse i myldretidsperioder, og ellers 1 times intervaller). Men der er "kun" ca. 60.000 elementer i matricen (en tynd³ matrix). Grunden til de få elementer er, at Østtællingens matrix (en enkelt tælledag i oktober) antages at gælde for hele året. Således vil en lang række relationer i matricen have meget små værdier (nul, en eller to passagerer). Det enkelte segments afgang i matricen fordeles derefter stokastisk på mindre tidsintervaller.

Som beskrevet ovenfor, hentes hhv. planlagte og afviklede køreplansdata fra et datawarehouse. Generelt er der ca. 1.200 togafgange per driftsdage. Dette resulterer i en beregningsgraf på ca. 200.000 kanter og 120.000 knuder.

5.4 Software

Beregningsmodellen er udviklet i C++, og er baseret på funktionsbiblioteker udviklet i forbindelse med TRIP-projektet (udført for det Strategiske Miljøforskningsprogram, SMP). Datawarehouseet er opbygget i Microsofts SQL og afvikles på en Microsofts SQL Server 2000, og modulet, der håndterer input og output mellem beregningsmodel og datawarehouse, er udviklet i C# under Microsofts .Net udviklingsplatform.

³ På engelsk "Sparse matrix"

5.5 Rutevalgsparmetre

Den benyttede model for rutevalg med fuld information er baseret på en nytte-værdi tilgang. Dette vil sige, at rutevalget baseres på en række omkostningsvariable, der ved hjælp af en række rutevalgsparmetre sammenvejes til en generel omkostning (se tabel 1).

Variabel	Beskrivelse
$t_{k\ddot{o}re}$	Køretid i minutter
t_{vente}	Ventetid i minutter
$t_{vent_i_zone}$	Ventetid i start-zone, før første påstigning
C_{skift}	Skiftestraf, i kroner. Ekstra omkostning ved skift, der beskriver det ekstra besvær involveret i et skift, i forhold til blot at kunne blive siddende.

Tabel 1. RutevalgsvARIABLE

Herefter defineres et sæt rutevalgsparmetre (P_x), der angiver hvordan disse omkostningsparametre vægtes indbyrdes:

$$C = P_{k\ddot{o}retid} * t_{k\ddot{o}re} + P_{ventetid} * t_{vente} + P_{ventetid_i_zone} * t_{vent_i_zone} + P_{skift} * \text{antal_skift}$$

Hvor C er den generelle omkostning. Den optimale rute er den rute der minimerer C .

Som rutevalgsparmetre benyttes et sæt værdier for S-Togs rejsende etableret i forbindelse med opbygningen af København-Ringsted modellen (Nielsen, m.fl. 2001). Da denne model dog segmenterede vægtene efter turformål (svarende til at forskellige turformål har forskellige tidsværdier), mens Østtællingen kun rummer en samlet matrix, blev vægtene for de enkelte turformål sammenvægtet relativt i forhold til deres andel af passagertallet. Resultatet heraf fremgår af tabel 2:

Variabel	Værdi
$P_{k\ddot{o}retid}$	0.42 kr. pr. minut
$P_{ventetid}$	0.72 kr. pr. minut
$P_{ventetid_i_zone}$	0.22 kr. pr. minut
P_{skift}	7 kr. pr. skift

Tabel 2. Rutevalgsparmetre

En vigtig egenskab ved brugen af nytte-værdi baserede modeller, er at det er let at opsamle den generaliserede omkostning for rejsende, og benytte denne omkostning til at sammenligne alternativer. Hvis den generaliserede omkostning for en rejsende stiger med 7 kr. pga. af et ekstra skift, er det let at sætte dette i forhold til at eksempelvis 10 minutter ekstra ventetid eller 16-17 minutter ekstra rejsetid.

6 Eksempler på brug af modellen

Først og fremmest viser testene, at det er praktisk muligt at benytte en køreplansbaseret rutevalgsmodel som skitseret i artiklen. I den nuværende version af modellen tager en – dog kun deterministisk – beregning mellem 10 og 20 minutter. Grunden til den forskellige regnetid er, at graden af genberegning af ruter stiger, når køreplanen er mere forsinket. Dette opfylder til fulde kravet om at modellen skulle kunne køre over en nat. I det følgende beskrives nogle af de trafikale resultater af de indledende tests med modellen.

6.1 Eksempel på samlet beregning for en dag

Tabel 3 viser et eksempel på resultater for en dag (I dette tilfælde 7/6-2004).

Tærskel værdi (min)	Periode	Morgen		Dagtimer		Eftermiddag		Øvrige tid		Total	
		99,6	95,4	94,5	90,6	99,3	95,4	98,6	91,4	97,6	92,7
	Togpålidelighed og regularitet										
	Udlægning (min) ⁴	10	5	20	10	10	5	20	10	10/20	5/10
0,50	Pålidelighed ⁵	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	98,1	99,7	99,7
	Regularitet ⁶	84,0	84,3	80,5	80,6	90,3	89,1	86,8	83,0	85,0	84,3
	Heraf før tid	15,7	14,1	17,3	15,3	22,5	19,3	25,5	22,6	19,6	17,3
	Forsinkelse (min) ⁷	8,2	7,9	9,0	7,7	7,9	6,7	7,5	7,5	8,4	7,5
1,50	Pålidelighed	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	98,1	99,7	99,7
	Regularitet	82,7	83,4	79,8	79,2	88,9	87,9	86,6	82,7	84,1	83,2
	Heraf før tid	15,3	13,9	16,8	14,9	22,4	19,1	24,8	22,6	19,2	17,0
	Forsinkelse (min)	8,4	7,9	9,1	8,0	8,2	7,0	7,8	7,7	8,6	7,7
2,48	Pålidelighed	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	98,1	99,7	99,7
	Regularitet	81,3	82,4	79,2	78,1	87,9	86,3	86,1	80,7	83,2	81,9
	Heraf før tid	14,9	13,7	16,5	14,7	22,1	18,9	24,7	22,5	18,9	16,8
	Forsinkelse (min)	8,9	8,1	9,4	8,1	8,8	7,3	8,3	7,5	9,0	7,8
4,00	Pålidelighed	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	98,1	99,7	99,7
	Regularitet	80,1	80,7	78,8	76,6	87,0	84,7	85,4	80,1	82,4	80,4
	Heraf før tid	14,6	13,4	16,2	14,5	22,0	18,5	24,2	22,2	18,6	16,5
	Forsinkelse (min)	9,4	8,6	10,1	8,6	10,0	7,8	8,6	7,8		

Tabel 3. Eksempel på resultater for en enkelt dag, 7/6-2004 (tal uden enhed i procent).

Den første række i tabellen viser togpålidelighed og togregularitet. Sammenlignes denne med de følgende rækker for passagerregularitet ses først og fremmest, at passagerregulariteten er langt dårligere end togregulariteten. Eksempelvis er kun 4,6% af togene forsinket mere end 2,5 min, om morgenen den viste dag, men alligevel er 16% af passagererne forsinket.

Derimod er passagerpålideligheden (forstået som det antal passagerer, der slet ikke når frem) langt bedre end togpålideligheden. Dette er dog ikke overraskende, da disse passagerer typisk henvises til næste afgang. Derfor er det kun i den øvrige tid, at der er passagerer, der slet ikke

⁴ Udlægning vil sige hvor små intervaller udlægningen af matricens delintervaller yderligere splittes op i. Inden for hvert interval simuleres det faktiske afgangstidspunkt for ikke at dette skal virke i "resonans" med køreplanen (f.eks. ved 10 eller 20 minutters drift)

⁵ Antal stationsankomster, der afvikles uden aflysninger, i procent.

⁶ Antal stations ankomster med forsinkelser mindre end 2,5 minutter (150 sek.), i procent.

⁷ Gennemsnitlig forsinkelse.

når frem – typisk fordi aflysninger eller forsinkelser i de sene aftentimer gør, at de ikke når det sidste tog. Derudover foregår planlagte infrastrukturarbejder med tilknyttet busdrift normalt i øvrig tid

Et interessant aspekt i forbindelse med opgørelsen af passagerregularitet er, at en del passagerer når tidligere frem som følge af de nye muligheder, der opstår i den irregulære køreplan. I procent er det faktisk nær det samme antal (f.eks. næsten 16 % om morgenen) som forsinkede passagerer. Dog er gevinsten typisk mindre, således at passagerne samlet set får en forsinkelse; i det viste eksempel på gennemsnitligt ca. 8 min.

Tabellen viser også betydningen af tærskelværdien (hvornår passagerne begynder at skifte rute). Som forventet bliver regulariteten bedre, jo hurtigere passagererne begynder at skifte rute. Imidlertid er betydningen af tærskelværdien ikke så høj, som man måske kunne tro. Dette skyldes primært, at en stor del af passagererne i S-tog (90%) ikke skifter fra S-tog til S-tog, ligesom der ved forsinkelser ofte ikke er bedre alternativer. Det at modellen tillader passageren at overveje andre ruter, betyder ikke, at vedkommende finder et bedre alternativ, og derved heller ikke at vedkommende vælger en anden rute. Man kan dog forestille sig, at tærskelværdien har større betydning, hvis nettet udvides til at omfatte andre tog (metro, regionaltog, lokalbaner), samt ultimativt også busnettet.

Tabellen viser også betydningen af segmenteringen af udlægningen; her 5 eller 10 min. Som det fremgår, har denne ikke stor betydning for det endelige resultat, om end resultaterne heller ikke er helt ens – særligt ved de store tærskelværdier.

6.2 Eksempel på analyse af driftsproblemer

En anden type analyse er at aggregere resultaterne over en længere tidsperiode. F.eks. har S-togs driften i perioden juni-juli 2005 været kraftigt generet af hastighedsnedsættelser på flere delstrækninger, som følge af nedslidte skinner. For at vurdere betydningen af dette i forhold til de rejsende på S-banen, er der kørt en simulering på perioden 31. maj 2005 til 24. juli 2005, sammenholdt med en tilsvarende periode i 2004. Der er kun regnet på hverdage. Det vurderes at mængden af hændelser udover hændelser, der kan relateres til de nedskidte skinner, har været på samme niveau for de 2 perioder.

Som grundlag for simuleringen er opstillet en passagermatrice (OD-matrix) svarende til en gennemsnitshverdag for 2005. Matricen er opstillet på grundlag af Østtælling 2004, med undtagelse af Klamborgstrækningen, hvor der er brugt data fra Østtællingen 2003, idet der var busdrift på strækningen under Østtællingen 2004. Til sidst er matricen rensset for relationer, som en indledende testsimulering har vist, giver åbenlyse forkerte rejsetider. Disse relationer giver problemer i forbindelse med reglen nævnt under punkt 2 afsnit 3.3.1, og findes ved at køre 2 simuleringer; én efter optimistisk opgørelse og én efter pessimistisk opgørelse. Der skal i alt angives 3 køreplaner og for alle planer benyttes publiceret køreplan. De relationer, som i de 2 simuleringer giver forskellige rejsetider, slettes, svarende til knap 3 %.

Simuleringsperioden 1. juni 2004 til 25. juli 2004 defineres som referenceperiode, og den egentlige analyseperiode 31. maj 2005 til 24. juli 2005 er underopdelt i 3 perioder svarende til

planlægningen af den daglige drift. I den første periode blev driften planlagt ud fra den publicerede køreplan, i periode 2 aflyses linie A+ og Ex dagligt, og i periode 3 blev der kørt efter en ny publiceret særkøreplan. Underopdeling af simuleringsperioder fremgår af Tabel 4

For alle simuleringer med referenceplan er tærskelværdien sat til 2,48 minut. 2,48 er valgt, da det svarer til den tilladte forsinkelse før et tog defineres som forsinket.

Simuleringsperioder	
01-06-2004 – 25-07-2004	Referenceperiode
31-05-2005 – 30-06-2005	Daglig drift kørt efter publiceret plan
01-07-2005 – 10-07-2005	A+ og Ex aflyst dagligt
11-07-2005 – 24-07-2005	Ny og publiceret særkøreplan med forlængelse af rejsetider

Tabel 4. Simuleringsperioder og kendetegn

I Tabel 5 er vist togregularitet og –pålidelighed samt gennemsnitlig forsinkelse for ankomster, der er mere end 02:29 min forsinket for de 4 simuleringsperioder. Togregularitet og pålidelighed er defineret som følger:

- Togregularitet: Rettidige stationsankomster / Gennemførte ankomster (i %)
- TogPålidelighed: Gennemførte ankomster / Planlagte ankomster (i %)
- Vægtet: Rettidige Stationsankomster / Planlagte ankomster (i %)

Periode	Regularitet (%)	Pålidelighed (%)	Vægtet (%)	Gns forsinkelse for ankomst > 2:29 min. efter planen
01-06-2004 - 25-07-2004	92,7	98,8	91,5	6,0
31-05-2005 - 30-06-2005	82,2	94,2	77,4	6,4
01-07-2005 - 10-07-2005	74,3	88,9	66,0	6,0
11-07-2005 - 24-07-2005	85,5	96,5	82,5	5,4

Tabel 5. Togregularitet og -pålidelighed

For at kunne opgøre passagerregularitet og –pålidelighed køres 2 simuleringer.

- 1) Den rejsende har delvis information (pessimistisk opgørelse), og hvor den primære køreplan svarer til faktisk drift og reference køreplanen til dagsproduktionsplanen.
- 2) Den rejsende har fuld information (optimistisk opgørelse) og den primære køreplan sættes til dagsproduktionsplanen.

Rejsetider estimeret ved optimistisk opgørelse, punkt 2 defineres som normtider, og en rejse defineres som forsinket når:

- (Rejsetid pessimistisk opgørelse, punkt 1 minus rejsetid optimistisk opgørelse, punkt 2) > 02:29 svarende til grænsen for togregularitet.

Resultatet for de definerede simuleringsperioder fremgår af tabel 6, og der ses en markant stigning i den samlede forsinkelse fra 2004 til 2005. Som nævnt tidligere i notatet, er det en overværdi, og der er et kendt problem med, at modellen belaster lokale rejser på det Centrale afsnit for hårdt (Strækningen Valby – Hellerup). En rejsende må først tage et andet tog efter en ventetid på 02:29. For at få en vurdering af, hvor stort problemet reelt er, er det lavet en ekstra opgørelse, se tabel 7, hvor alle lokale rejser på det centrale afsnit håndteres som rettidige.

Periode	Passager regularitet (%)	Passager pålidelighed (%)	Vægtet (%)	Samlet forsinkelse (timer)	Gns forsinkelse for rejser > 2:29 min. forsinket (min)	Antal rejser
01-06-2004 - 25-07-2004	88,0	99,4	87,4	188.328	8,3	10.994.122
31-05-2005 - 30-06-2005	69,7	99,4	69,3	326.432	9,9	6.483.713
01-07-2005 - 10-07-2005	55,2	99,2	54,8	112.828	8,9	1.691.403
11-07-2005 - 24-07-2005	77,2	99,2	76,5	121.006	11,0	2.819.006
31-05-2005 - 24-07-2005				560.267	9,9	10.994.122
<i>11-07-2005 - 24-07-2005</i>	<i>62,1</i>	<i>99,9</i>	<i>62,0</i>	<i>188.091</i>	<i>10,6</i>	<i>2.819.006</i>
<i>31-05-2005 - 24-07-2005</i>				<i>627.351</i>	<i>9,9</i>	<i>10.994.122</i>

Tabel 6. Passagerregularitet og pålidelighed – pessimistisk opgørelse. For værdier i kursiv er normtider estimeret i forhold til oprindelig publiceret køreplan

For passagerregulariteten er forskellen mellem de 2 opgørelser op til 6,0 %-point. For de samlede passagerforsinkelsesminutter er forskellen på 8 %, hvilket indikerer, at man bør overveje at få modellen opdateret vedr. dette forhold.

Periode	Passager regularitet (%)	Passager pålidelighed (%)	Vægtet (%)	Samlet forsinkelse (timer)	Gns forsinkelse for rejser > 2:29 min. forsinket (min)	Antal rejser
01-06-2004 - 25-07-2004	90,7	99,4	90,1	159.129	9,0	10.994.122
31-05-2005 - 30-06-2005	73,9	99,4	73,4	301.030	10,5	6.483.713
01-07-2005 - 10-07-2005	61,3	99,2	60,8	102.855	9,3	1.691.403
11-07-2005 - 24-07-2005	81,0	99,2	80,4	111.145	12,1	2.819.006
31-05-2005 - 24-07-2005				515.030	10,5	10.994.122
<i>11-07-2005 - 24-07-2005</i>	<i>66,3</i>	<i>99,9</i>	<i>66,2</i>	<i>177.669</i>	<i>11,3</i>	<i>2.819.006</i>
<i>31-05-2005 - 24-07-2005</i>				<i>581.554</i>	<i>10,5</i>	<i>10.994.122</i>

Tabel 7. Passagerregularitet og pålidelighed - pessimistisk opgørelse, hvor lokale rejser på det centrale afsnit håndteres som rettidige. For værdier i kursiv er normtider estimeret i forhold til oprindelig publiceret køreplan

For at fastlægge den nedre grænse er der også, se (tabel 8) kørt en simulering på faktisk drift efter optimistisk opgørelsesmetode, dvs. at den rejsende på forhånd antages at have fuldt kendskab til dagens faktiske forsinkelser og aflysninger. Det sande resultat ligger altså et sted mellem estimererne i tabel 6 hhv. tabel 8. Det bemærkes også, at regulariteten i tabel 8 ligger relativt tæt på resultatet i tabel 7. Det kræver imidlertid flere analyser for at kunne vurdere, om det skyldes det nævnte problem omkring det centrale afsnit, at passagerregulariteten er så lav i tabel 6.

Periode	Passager regularitet (%)	Passager pålidelighed (%)	Vægtet (%)	Samlet forsinkelse (timer)	Gns forsinkelse for rejser > 2:29 min. forsinket (min)	Antal rejser
01-06-2004 - 25-07-2004	90,7	99,7	90,4	130.049	7,6	10.994.122
31-05-2005 - 30-06-2005	75,9	99,9	75,8	232.154	9,0	6.483.713
01-07-2005 - 10-07-2005	64,2	99,9	64,1	73.956	7,3	1.691.403
11-07-2005 - 24-07-2005	81,1	99,9	81,0	93.745	10,6	2.819.006
31-05-2005 - 24-07-2005				399.856	8,9	10.994.122
<i>11-07-2005 - 24-07-2005</i>	<i>67,6</i>	<i>99,9</i>	<i>67,5</i>	<i>156.863</i>	<i>10,3</i>	<i>2.819.006</i>
<i>31-05-2005 - 24-07-2005</i>				<i>462.974</i>	<i>9,1</i>	<i>10.994.122</i>

Tabel 8. Passagerregularitet og pålidelighed - optimistisk opgørelse. For værdier i kursiv er normtider estimeret i forhold til oprindelig publiceret køreplan

6.3 Andre modeller til opgørelse af forsinkelsesminutter

Oprindelig opererede S-tog med en simpel model for passagerregularitet. Den er som nævnt tidligere i notatet brugt til beregninger for Roskilde Amt. Passagerregularitet estimeres ved at vægte stationsankomster med udstigere, og forsinkelsesminutter som antal udstiger * forsinkelse pr. forsinkede stationsankomst. Til sammenligninger er passagerregularitet og forsinkelsesminutter opgjort efter dette princip (Udstiger modellen) i tabel 9.

Periode	Schedule	ReferenceSchedule	Passager regularitet (%)	Samlet forsinkelse (timer)	Gns forsinkelse for ankomst > 2:29 min. efter planen (min)	Udstiger
01-06-2004 - 25-07-2004	FAK_ANK	PL_ANK_PROD	91,0	81.833	6,5	11.697.634
31-05-2005 - 30-06-2005	FAK_ANK	PL_ANK_PROD	72,0	263.208	8,1	7.004.041
01-07-2005 - 10-07-2005	FAK_ANK	PL_ANK_PROD	60,9	83.300	7,0	1.835.381
11-07-2005 - 24-07-2005	FAK_ANK	PL_ANK_PROD	79,6	67.032	6,5	3.045.762
31-05-2005 - 24-07-2005				413.540		11.885.184

Tabel 9: Passagerregularitet og forsinkelsesminutter estimeret ved udstigermodellen, opgjort ud fra simuleringen hvor den rejsende har delvis information (pessimistisk opgørelse),

I viste opgørelse er der taget udgangspunkt i simuleringen hvor den rejsende har delvis information (pessimistisk opgørelse), og hvor det udnyttes, at det med den nye simuleringmodel er muligt at beregne alternativ tog for aflyste tog.

Forskellen i antal udstiger i forhold til antal rejser (10.994.122 – se evt. tabel 6) er en konsekvens af, at nogle rejser har haft skift undervejs.

Sammenlignes forsinkelsesminutter i tabel 9 med tabel 8, hvor de er opgjort efter ny optimistisk opgørelse og tabel 6 pessimistisk opgørelse, må man formode at tidligere udmeldte opgørelser af passagerforsinkelsestimer sandsynligvis har været underestimeret, til tros for som nævnt i afsnit 3.1.1 en forventning om det modsatte.

6.4 Grenanalyser

En anden type analyse er at se på de enkelte grene af S-banen. I tabel 10 er vist et udtræk fra det Centrale afsnit og Køgestrækningen.

Det ses, at med særkøreplanen, der blev udsendt 11. juli 2005, stiger den gennemsnitlige rejsetid for en rejse på Køgestrækningen med 3,7 minut, men evnen til at kunne overholde planen forbedres markant, så den rejsende opnår faktisk totalt set en forbedring i forhold til perioden lige før. Den faktiske gennemsnitlige rejsetid falder fra 32,3 til 29,7 minutter.

Ved at sammenligne resultaterne i tabel 10, pessimistisk opgørelse med tabel 11, optimistisk opgørelse, bekræftes hvad der egentligt var ventet. For lokale rejser på det Centrale afsnit er straffen, en rejsende udsættes for ved brug af den pessimistisk opgørelses metoder, alt for stor, og de lokale rejsende på strækningen er ikke særlig følsomme overfor irregularitet. På Køgestrækningen er der modsat ikke den store forskel på om det benyttes pessimistisk eller optimistisk metode

Periode	Centrale Afsnit, Lokalt			Køge		
	Regularitet (%)	Gns rejsetid (min)	Gns forsinkelse (min)	Regularitet (%)	Gns rejsetid (min)	Gns forsinkelse (min)
01-06-2004 - 25-07-2004	82,4	8,0	1,3	88,0	23,4	1,1
31-05-2005 - 30-06-2005	73,4	7,9	2,0	53,3	23,8	6,8
01-07-2005 - 10-07-2005	60,8	7,9	2,9	21,4	23,8	8,5
11-07-2005 - 24-07-2005	75,1	8,0	1,9	74,3	27,5	2,2

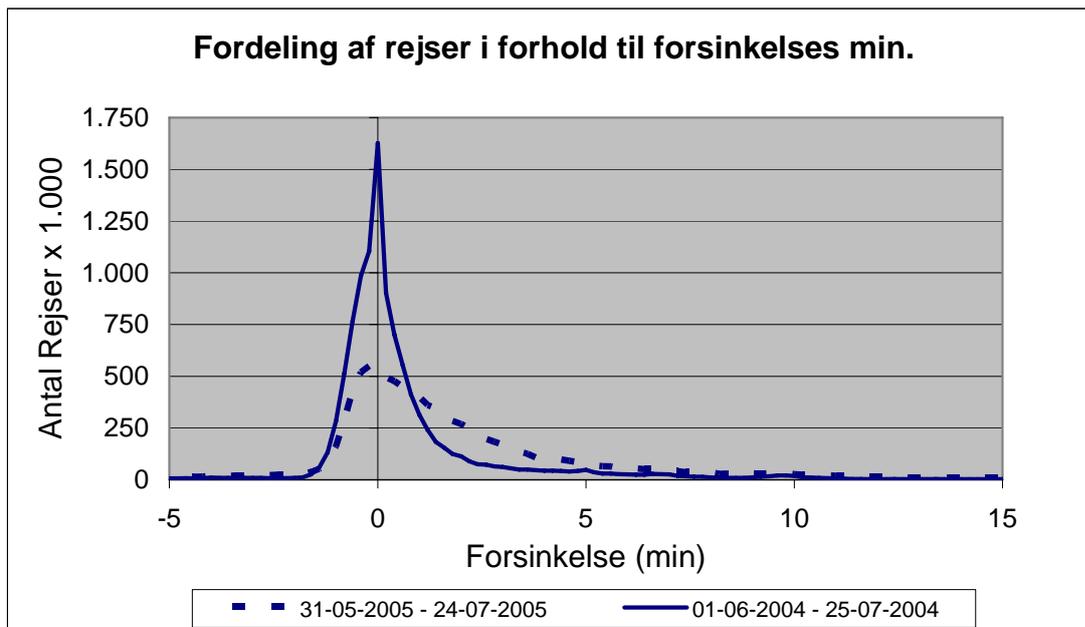
Tabel 10. Regularitet, gns. rejsetid og forsinkelsesminutter for Centrale afsnit og Køge strækningen, pessimistisk opgørelse.

Periode	Centrale Afsnit, Lokalt			Køge		
	Regularitet (%)	Gns rejsetid (min)	Gns forsinkelse (min)	Regularitet (%)	Gns rejsetid (min)	Gns forsinkelse (min)
01-06-2004 - 25-07-2004	94,0	8,0	0,5	89,1	23,4	0,8
31-05-2005 - 30-06-2005	89,2	7,9	0,7	59,4	23,8	5,2
01-07-2005 - 10-07-2005	83,4	7,9	1,1	30,6	23,8	5,6
11-07-2005 - 24-07-2005	89,0	8,0	0,7	75,7	27,5	1,7

Tabel 11. Regularitet, gns. rejsetid og forsinkelsesminutter for Centrale afsnit og Køge strækningen, optimistisk opgørelse.

6.5 Analyse af fordeling af forsinkelser

Som bemærket i de indledende afsnit, er der i løbet af arbejdet med modellen konstateret, at en del passagererne faktisk kommer hurtigere frem end planlagt. Til illustration af dette er medtaget figur 4, som viser forsinkelse per rejse som funktion af antal rejser for de 2 simuleringsperioder. For 2004 var forsinkelserne fordelt relativt pænt omkring 0, mens kurven for 2005 er noget fladere, og der er en klar overvægt af forsinkede ankomster.

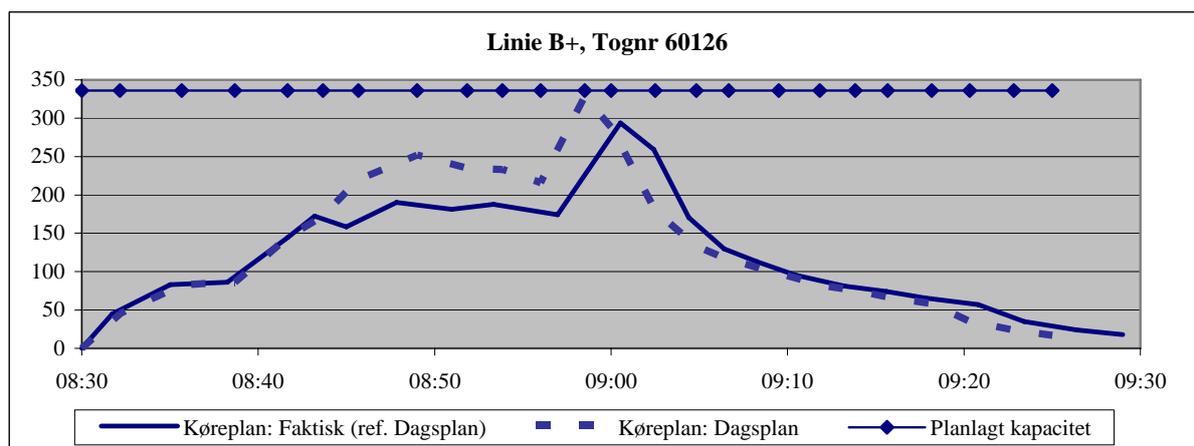
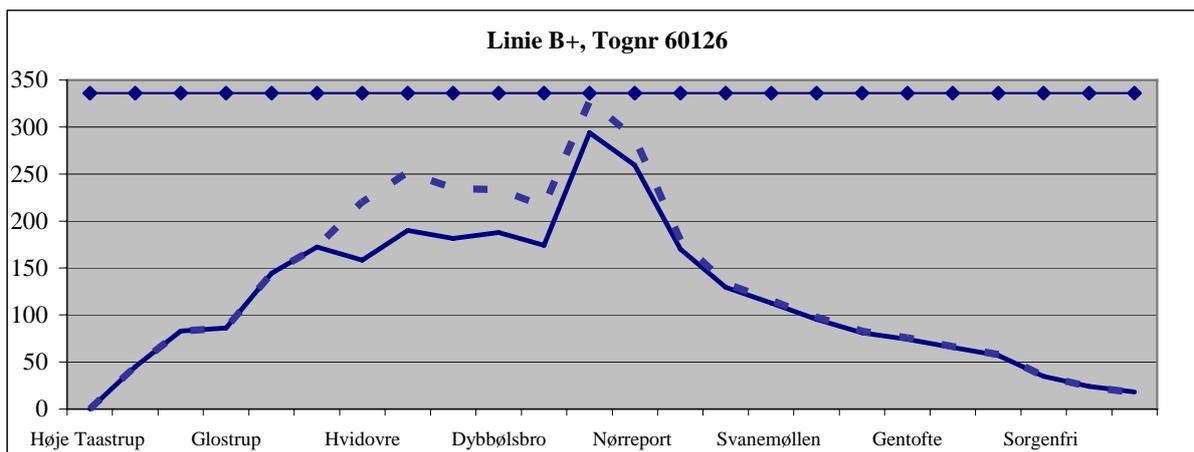


Figur 4. Sammenligning af forsinkelser i 2004 og 2005, juni-juli hverdage på S-banen.

6.6 Eksempel på analyser langs et vognløb

Figur 5 viser resultater langs et vognløb med en given linie om morgenen. Passagertallet øges mens toget nærmer sig centrum (Nørreport), hvorefter det reduceres idet toget forlader byen igen. Det forsinkede tog har i dette tilfælde færre passagerer, end hvis det ikke var forsinket, hvilket skyldes en mulig alternativ rute. Hvis der ikke er alternative ruter, vil der derimod typisk være flere passagerer med et forsinket tog, idet ankomstprocessen for passagerer når at akkumulere flere passagerer på stationerne. Dette ses (meget svagt) efter Hellerup.

I forhold til udarbejdelse af materielplaner er grafer som vist i tabel 5 også er givtigt værktøj, over hvor mange stationer hhv. hvor mange minutter, der kan være problemer med at alle rejsende kan få en siddeplads. I princippet skal alle rejsende kunne tilbydes en siddeplads, men hvis problemet kun er aktuelt nogle få minutter, bør man af økonomiske årsager måske ikke altid opformere togene.



Figur 5 Antal passagerer med et specifikt vogntog som funktion af antal stationer. Den vandrette linie er siddepladskapaciteten med toget. Den blå kurve er antal passagerer med det forsinkede tog, og den gule med det planlagte.

6.7 Praktiske erfaringer med modellen

De foreløbige praktiske erfaringer med passagerregularitetsmodellen omfatter følgende problemstillinger:

- *Virksomhedsanalyser:* I forbindelse med planlagte infrastrukturarbejder (busdrift i forbindelse med etablering af Ny Ellebjerg) er modellen brugt til at beregne et forventet passagertab, og dermed forventet indtægtstab for S-tog.
- *Samfundsøkonomiske analyser:* Tilsvarende fortæller modellen, hvor meget den samlede rejsetid forlænges for alle kunder samt geneffekter ved evt. ekstra skift. Dermed kan modellen bruges til at vurdere forskellige investeringsalternativer.
- *Driftsplanlægning:* Beregning af belægningsgrader per delstrækninger og tidsbånd kan benyttes til driftsplanlægningen, f.eks. til op- og nedformering af togene (antal togstammer per tog).
- *Systematiske driftsforstyrrelser:* Analyser af betydningen af de her i sommer meget dårlige driftsforhold på bl.a. Køgestrækningen (se afsnit 6.3).

Ret praktisk viser foreløbige erfaringer med modellen, at integrationen af modellen med S-togs datawarehouse fungerer effektivt, og modellen er meget let at arbejde med. Dataudtræk kan defineres både på sum- og detailniveau afhængig af, hvilke analysebehov man har.

De resterende opgaver som skal løse før modellen kan implementeres i daglig drift er defineret og der forventes at modellen kører automatisk i daglig drift inden årets udgang.

7 Konklusion

Artiklen viser først og fremmest, at det er muligt at modellere passagerregularitet på et detaljeringsniveau, hvor alle afgang og vognløb beskrives. Artiklen viser eksempler på sådanne opgørelser, og diskuterer resultaterne heraf. Modellen kan nu benyttes til en daglig opgørelse af passagerregularitet.

Først og fremmest viser testene af modellen, at passagerregulariteten er langt ringere end togregulariteten. Derudover vistes det, at passagerregulariteten – som forventet – er ringere, når man ikke blot benytter det optimistiske rutevalg med fuld information og nytteoptimering, men i stedet først tillader passagererne at ændre planlagte ruter, når de selv oplever forsinkelser. Der er en vis forskel på resultatet, afhængig af, hvor hurtig reaktion passagerne antages at have i forhold til forsinkede køreplaner.

Ved at modificere en køreplansbaseret rutevalgsmodel, er det lykkedes at implementere en beregningsmodel, der på detaljeret niveau giver en god beskrivelse af driftsforstyrrelsers indvirkning på rejsendes rutevalg. Samtidig er det lykkedes at leve op til det oprindelige ønske fra DSB S-tog om et praktisk værktøj, der kan bidrage til en mere præcis opgørelse af passagerforsinkelser, og som kan køre i den daglige drift. Dette er et eksempel på, at fremskridtet i løsningsalgoritmer, metoder, software og hardware i stigende grad gør det muligt at benytte trafikmodeller til operationel planlægning og ikke kun på det mere strategiske planlægningsniveau.

7.1 Perspektiver for videreudvikling

Østtællingsmatricen er et meget usikkert grundlag for opgørelse af passagerregularitet; og i øvrigt i al almindelighed for planlægningsformål. Derfor er der igangsat et pilotprojekt, hvor rutevalgsmodellen kombineres med data fra veje og/eller tælletoget, hvorved der dagligt kan estimeres mere nøjagtige turmatricer. Ud over at give en bedre nøjagtighed for estimation af årstrafikken, vil det også give data for sæson-, uge- og dagsvariationer, der kan danne grundlag for mere nøjagtige opgørelser af passagertal.

Selve modellen for passagerregularitet er inde i en testfase. Det overvejes at opbygge differentierede tærskelværdier, så der f.eks. gælder en værdi, når passagerer er i et tog (vognløb) og en anden ved påstigning. Herunder kan måske også benyttes geografisk differentierede tærskelværdier, så passagerer ad ruter med parallelle linier tager førstkommande linier, mens passagerer med skift i højere grad følger den planlagte rute.

En anden udvidelse efter at tærskelværdien er raffineret, vil være at indbygge stokastiske rutevalgsprincipper, som kendes fra trafikmodeller (f.eks. Nielsen, 2000, og Kbh.-Ringstedmodellen, Nielsen m.fl., 2001). Disse vil dels beskrive passagerers manglende kendskab til nettet og andre usikkerheder (det såkaldte fejllid), dels beskrive forskelle i passagerers præferencer, f.eks. at nogle lægger mere vægt på at undgå skift og andre mere vægt på den mindst mulige rejsetid.

En tredje udvidelse er at inkludere rutevalgsmodellen i metoden til dynamisk estimation af turmatricer ud fra tælle- og vejetoget. Dette vil forbedre denne metode, idet den da vil bygge på en mere realistisk rutevalgsmodel, end f.eks. alt-eller-intet.

Inddragelse af stokastiske elementer vil dog øge regnetiden, ligesom også dynamisk estimation af turmatricer vil indbefatte matrixestimation og rutevalg i en iterativ algoritme, der også øger regnetiden. Derfor er der også – trods den initialt lave regnetid – et vist behov for fortsat optimering af løsningsalgoritmen for at reducere rutevalgsmodellens regnetid yderligere.

Tak til

Først og fremmest til Bjarke Brun, Rapidis Aps., som har implementeret udvekslingsrutinerne til DSB S-togs datawarehouse. Derudover takkes DSB S-tog for at have finansieret arbejdet.

8 Referencer

Florian, M. (2004). Finding shortest time-dependent paths in schedule-based transit networks. Schedule-based dynamic transit modelling – Theory and applications. Edt. N.H.M. Wilson & A. Nuzzolo, Kluwer Academic Publisher, pp.43-52.

Nuzzolo, A, Crisanni, U & Russo, F (2001). Schedule-Based Dynamic Path Choice and Assignment Models for Public Transport Networks. 9th World Conference on Transportation Research (WCTR), Presentation/abstract, Special Session on Route Choice models, 26/7.Seoul, Korea.

Nielsen, O.A. (2000). A Stochastic Transit Assignment Model Considering Differences in Passengers Utility Functions. Transportation Research Part B Methodological. Vol. 34B, No. 5, pp. 337-402. Elsevier Science Ltd.

Nielsen, Otto Anker; Hansen, Christian Overgaard & Daly, Andrew (2001). A Large-scale model system for the Copenhagen-Ringsted railway project. Paper in Travel behaviour Research: The Leading Edge. Chapter 35, in book edited by David Hensher. Pergamon press, Elsevier. pp 603-626.

Nielsen, O.A (2004). A large scale stochastic multi-class schedule-based transit model with random coefficients. Schedule-Based Dynamic Transit Modelling – Theory and Applications. Chapter 4 in book edited by Nigel Wilson & Agostino Nuzzolo. Kluwer Academic. pp. 51-77.

Nielsen, O.A. & Frederiksen, R.D. (2005a). Modelling Train Passenger Delays. TRAIL Conference The Reliability of Travelling and the Robustness of Transport Systems. Proceedings, pp- 137-156. The Netherlands Research School for Transport, Infrastructure and Logistics. May 9th, Town Hall, Delft, The Netherlands.

Nielsen, O.A. & Frederiksen, R.D. (2005b). Optimisation of timetable-based, stochastic transit assignment models based on MSA. Paper accepted for Annals of Operations Research special issue on Optimisation in Transportation. Forthcoming, Elsevier.

Wilson, N. & Nuzzolo, A. editors (2004). Schedule-Based Dynamic Transit Modelling – Theory and Applications. Kluwer Academic Publishers.