

Kontextmedvetet resestöd vid störningar i kollektivtrafiken (juli 2021-oktober 2022)

**Slutrapport forskningsprojekt
TRV 2021/40633**

Innehåll

Projektbeskrivning	3
Projektresultat.....	5
Intervjustudie.....	5
Systemlösning reseplanerare.....	9
Systemarkitektur.....	9
Osäkerhetsfaktorer	11
Resenärens integritet.....	15
Möjligheter med ny reseplanerare	15
Alternativa lösningar för kontextdetektering.....	20
Alternativa lösningar för osäkerhetsfaktorer	23
Avgränsningar och utökningar	24
Erfarenheter, lärdomar och fortsatt arbete	25
Referenser.....	27
Bilaga A: intervjufrågor.....	30
Bilaga B: Ovanligare orsakskoder.....	31

Projektbeskrivning

Smarta telefoner skapar nya förutsättningar inom kollektivtrafiken (KT) att både förse resenären med mer individanpassad information och ge resenären möjlighet att bidra med egen information, exv. om var resenären befinner sig (Stelzer et al. 2016). Om den här typen av dubbelriktad kommunikation används för överföring av information (inklusive realtidsinformation) under oplanerade trafikstörningar, kan såväl resenärens beslutsunderlag för den fortsatta resan, som aktörernas beslutsunderlag för störningshanteringen förbättras. Tidigare forskning visar att information om störningar och alternativa resrutter prioriteras högt av resenärerna (Currie och Muir 2017; Hörold et al. 2014). Dessutom föredrar resenärerna att få denna information på en individanpassad nivå, framför en aggregerad nivå (som exv. ger en översikt över all aktuell störningsinformation inom ett visst område) (Hörold et al. 2014). Tidigare forskning visar även att information från resenären har potential att förbättra operatörens beslut och åtgärder, framförallt i trafikledningen (Mayas et al. 2015).

Det här projektet undersöker hur man kan realisera en dubbelriktad kommunikation mellan resenärer och aktörer för överföring av realtidsinformation under oplanerade trafikstörningar. Projektet baserar sig på resultat från följande tidigare studier:

- Jevinger och Persson (2016) och Jevinger och Persson (2020) undersöker vilken information och vilka kommunikationsflöden som saknas under oplanerade störningar i KT, både hos olika resenären och hos olika aktörer. Studierna föreslår även ett antal lösningar för att tillgodose dessa informationsbehov. Bl.a. föreslås ett checkin-system som är integrerat med reseplaneraren och som används för att samla in information om resenärens resplaner och var resenären befinner sig. En sådan incheckning kan antingen utformas som obligatorisk om helt korrekt information krävs, eller som frivillig med olika incitament för resenären att checka in, exv. tillgång till mer individanpassad information.
- Jevinger och Persson (2019a) undersöker hur olika typer av information om resenären kan stödja de beslut som fattas av aktörerna vid oplanerade störningar. Baserat på tidigare forskning identifierar studien även olika tekniska lösningar som kan användas för att samla in den här typen av information. Studien fokuserar därmed på aktörernas perspektiv.
- Jevinger och Persson (2019b) undersöker hur information om resenärens aktuella kontext kan användas för att förbättra det resestöd som reseplaneraren tillhandahåller till resenären, vid oplanerade störningar. Studien fokuserar därmed på resenärens perspektiv.

Syftet med projektet är att förbättra stödet för både resenärer och aktörer vid beslut under oplanerade störningar, och på så vis bidra till en attraktivare kollektivtrafik och ökad systemeffektivitet (exv. mer effektiv störningshantering och bättre

nyttjande av resurser). En prototyp i form av en app tas fram för att validera genomförbarheten. Appen utvecklas fristående men funktionaliteten är tänkt att kunna integreras i befintliga reseplanerare. Vid en störning ges resenären möjlighet att begära individanpassad information genom appen. Denna begäran innebär även att resenären går med på att dela information om nuvarande kontext (i det här projektet: vilket tåg eller perrong resenären ev. befinner sig på) och önskad destination, med aktörer inom KT. Baserat på resenärens kontext, destination, störningsinformation och tidtabeller ger appen förslag på alternativa fortsatta resvägar, vilka kan innefatta en kombination av buss och tåg. Dagens reseplanerare tar normalt inte hänsyn till att resenären befinner sig på ett specifikt tåg (eller buss), utan ger förslag på resa baserat på vilken hållplats/station resenären vill avresa från, alternativt vilken hållplats/station som ligger i närheten av resenärens geografiska position. Det här gör det svårt för resenären att hitta alternativa resvägar för den fortsatta resan, då resenären exv. befinner sig ombord på ett tåg under störningar. Vidare ger dagens reseplanerare vanligtvis endast förslag på resvägar som är relevanta i ostört läge (om än med uppdaterade tider), dvs. nya resvägar som kan bli relevanta vid en störning visas normalt inte.

Varje alternativ resväg som visas i appen åtföljs av en osäkerhetsfaktor för den uppskattade restiden. Resenären kan välja mellan de olika resalternativen baserat på personliga behov (exv. hur bråttom hen har) och på så vis fatta ett mer välinformerat beslut om fortsatt resa, än vad som är möjligt idag. Tidigare studier visar att Trafikverket väntar med att ge resenärerna längre prognoser tills man är relativt säker på tillförlitligheten i prognoserna (Jevinger och Persson 2016). Genom att förse prognoserna med tillhörande osäkerhetsfaktorer kan informationen levereras tidigare. Den här typen av osäkerhetsfaktorer kan även fungera som ett stöd till trafikledare och trafikinformatörer. Trafikledare skulle kunna använda informationen om prognoser och osäkerhetsfaktorer för förbättrad störningshantering (exv. vid prioritering av tåg och beställning av ersättningstrafik) och trafikinformatörer skulle kunna använda information för att förmedla en bättre bild av nuvarande status och möjliga transportalternativ till resenärerna. En undersökning av trafikledarnas och trafikinformatörernas roller och kommunikation i relation till ovan ingår därför också i projektet.

De huvudsakliga skillnaderna i förhållande till dagens lösningar som det här projektet adresserar är följande:

1. Appen är kontextmedveten och kan därmed förse resenären med individanpassad information om alternativa resvägar, i förhållande till ursprunglig resplan (exv. bör gå av vid nästa stopp och ta en buss därifrån)
2. KTs aktörer får tillgång till information om resenärers kontext och slutdestination, vilken kan användas i störningshanteringen
3. Resenärer och aktörer får tillgång till osäkerhetsfaktorer vilka både kan användas i störningshanteringen och ge resenärer snabbare och mer utförlig information

Projektresultat

Projektresultaten innefattar följande delar:

- Intervjustudie med syfte att undersöka hur osäkerhet i prognoser beräknas idag och vilken information man har om resenärens kontext och destination, samt hur ny information om osäkerhetsfaktorer, resenärers kontext och resenärers destination skulle kunna användas och påverka resenärer och aktörer
- Prototyp av ny reseplanerare i form av en implementerad app som detekterar resenärens kontext och som visar alternativa resvägar med tillhörande osäkerhetsfaktorer vid oplanerade störningar
- Prototyptestning som undersöker möjligheterna med den nya reseplaneraren i jämförelse med nuvarande reseplanerare, i olika scenarier
- Utredning av alternativa sätt att detektera resenärens kontext, samt deras för- och nackdelar
- Utredning av alternativa sätt att identifiera olika format/mått på osäkerhetsfaktorer

Den framtagna appen använder öppna APIer som omfattar trafik i hela Sverige, för att identifiera alternativa resvägar. Därmed fungerar denna funktion för alla tåglinjer i Sverige. Osäkerhetsfaktorerna har beräknats med hjälp av historisk data från Trafikverket. I en framtida publik realisering av den här funktionaliteten skulle man kontinuerligt kunna uppdatera osäkerhetsfaktorerna baserat på historisk och ny inkommande data, om denna fanns tillgänglig genom de öppna APIerna. Man skulle även kunna implementera en maskininlärningsfunktion som ger ännu säkrare osäkerhetsfaktorer. Lösningar för att beräkna osäkerhet med hjälp av öppen data ska dock ses som vidareutveckling som ligger utanför det här projektets ram.

Projektet har valt att främst fokusera arbetet med osäkerhetsfaktorer och prototyptestning på tåglinjerna mellan Lund och Malmö. Eftersom en stor mängd resenärer dagligen utnyttjar denna tågsträcka (upp till 60 000 resenärer per dygn enligt Skånetrafiken (2020)), skapar oplanerade störningar stora problem. Dessutom finns ett relativt stort utbud av alternativa resvägar runt tågsträckan. Projektets fokus på tåglinjerna mellan Lund och Malmö medför att en framtagna funktionen för osäkerhetsfaktorer endast fungerar på denna tågsträcka.

Intervjustudie

Projektet har genomfört semistrukturerade intervjuer med följande tjänstemän:

- Verksamhetsutvecklare inom trafikinformation järnväg, Trafikverket
- Projektledare trafikinformation, Trafikverket
- IT-arkitekt, Skånetrafiken
- Verksamhetsutvecklare, Skånetrafiken
- Chef över åkande personal, SJ Öresund

- Två trafikinformatörer, Trafikverket

IT-arkitekten och Verksamhetsutvecklaren vid Skånetrafiken intervjuades tillsammans, vid samma intervjutillfälle. Trafikinformatörerna vid Trafikverket intervjuades var för sig, vid olika intervjutillfällen. Intervjufrågorna återfinns i bilaga A. Under varje intervju har två forskare ställt frågor och antecknat svar. Efter varje intervju har resultaten sammanställts i skriftlig form och skickats till respondenten för validering. Härefter har flertalet respondenter återkommit med en bekräftelse på sammanställningens riktighet, medan några har återkommit med förtydliganden och korrigeringar vilka har förts in i sammanställningen.

Vad gäller dagens *information om resenärens destination och kontext*, visar resultaten att man arbetar med estimat av antal resenärer på tåg, och att man har relativt lite information om resenärens övriga kontext och destination. Framförallt gör järnvägsföretagen kontinuerligt uppskattningar av antal passagerare ombord, vilka exv. används för att ge resenären prognoser för trängsel eller för att underlätta evakuering, för det fall en sådan behöver genomföras. Dessa uppskattningar baseras på information från exv. ombordpersonalens manuella beräkningar, biljettvisering eller registrering av aktiverade biljetter i reseplanerarapp. De av dessa metoder som använder resenärsbiljetter ger ofta information om vilka zoner en resenär reser genom, men inte lika ofta vilken resväg och vilka avgångar som resenären har valt. Härutöver har Trafikverket tillgång till kameror på vissa perronger, som endast aktiveras vid behov. Dessa kameror används bl.a. för att kontrollera att resenärerna verkar ha uppfattat och därmed reagerat på vissa utrop, exv. om spårändring. Kamerorna används ibland även för att manuellt uppskatta hur många resenärer som befinner sig på en perrong, för att bättre kunna avgöra hur lång tid tågets uppehåll för påstigning kommer att ta. Information om att resenärer är rullstolsburna eller har cykel/barnvagn/etc. med sig, tas fram manuellt via tågets ombordpersonal (om inte särskild biljett exv. för rullstolsplats har bokats). Det här innebär att aktörerna saknar all kontextuell information utöver den som visuellt kan uppfattas av ombordpersonalen, exv. om övriga funktionshinder. Trafikverket, som i huvudsak inte arbetar direkt mot resenären, har nästan obefintlig information om resenärens kontext. Dock händer det att lokförare kan ringa tågklarare vid Trafikverket för att berätta att man exv. har en rullstolsburen passagerare ombord.

Vad gäller dagens *information om osäkerhet i prognoser*, visar resultaten att Trafikverket anser sig ha relativt god kännedom om vilka prognoser som är säkra och vilka som är osäkra. Exv. kan man ofta med större säkerhet ange när en saknad lokförare kommer att vara på plats, medan det kan vara mer osäkert hur lång tid som krävs för att undanröja spårspning och dess konsekvenser. Uppskattningar av osäkerhet i prognoser baserar sig framförallt på personalens (dvs. de som arbetar vid Trafikverkets driftledning och vid övriga trafikledningar) personliga erfarenheter. Idag är man något restriktiv med att kommunicera osäkra prognoser till resenären, eftersom komplikationer som medför att prognosen inte håller, kan uppstå, exv. i entreprenörens arbete. Det finns en risk att resenären uppfattar prognoser som löften, och när dessa inte uppfylls kan frustration och krav på ersättningsuppkomma. Det finns dock en motsättning i att resenären vill ha så tidig och korrekt information som möjligt, eftersom bra prognoser kräver bra

underlag, vilka vanligtvis tar lite längre tid att få fram. För att i viss mån ge uttryck för osäkerhet i prognoser har man tagit fram ett antal nyckelord som anges i kommunikationen med resenären, exv. ”avgår tidigast”, ”invänta tid” (används när man inväntar en tid för ett tåg kan köra igen), och ”preliminär tid”. Angivelsen tas bort när man har en säker prognos.

Respondenterna från Skånetrafiken uppgav att man bl.a. arbetar med en vidareutveckling av Skånetrafikens reseplanerarapp, som innebär att resenären ska kunna få information om flera alternativa resvägar vid en sökning. Dessa alternativa resvägar tar hänsyn till störningar på så sätt att endast möjliga resvägar och uppdaterade restider (baserade på prognoser och inte ursprungliga tidtabeller) kommer att visas. Realtidsinformationen till appen kommer att tas från Trafikverket (precis som idag). Dessutom undersöker man hur egen statistik, exv. om hur lång tid olika störningar brukar vara och hur lång tid det brukar ta innan de får prognos från Trafikverket, ska kunna användas för att hjälpa nya medarbetare att uppskatta osäkerheter.

Tabell 1 visar en sammanfattning av hur tillgång till ytterligare information relaterad till osäkerhetsfaktorer samt resenärens kontext och destination, skulle kunna tillämpas och skapa nytta.

Tabell 1 Ytterligare information (i jämförelse med vad man har tillgång till idag) relaterad till osäkerhetsfaktorer samt resenärens kontext och destination, som respondenterna anser kan användas och skapa nytta

Information	Tillämpning/nytta
Resenärens destination och om resenären befinner sig på visst tåg eller perrong	Uppskattning av nödvändig tid för avstigning och påstigning => tidig uppskattning av och kommunikation om försening (och ev. följd-förseningar)
	Spårplanering (för att minska avståndet och tiden vid tågbyte)
	Tågprioritering (exv. prioritering av fullsatt tåg framför relativt tomt tåg)
	Beställning av korrekt kapacitet av ersättningsbussar
	Förbättrad planering av ersättningstrafik, exv. taxi till enstaka orter som få resenärer ska åka till och direktbussar till andra orter som fler resenärer ska åka till
	Förbättrad planering vid evakuering
	Långsiktig trafikplanering
Osäkerhetsfaktorer	Resenär ges bättre stöd för att värdera olika transportalternativ, vilket kan vara till stor nytta för pendlare men kanske lite mindre nytta exv. för de turister som ändå måste åka med visst tåg
	Tidigare prognoser till resenär
	Förbättrat internt stöd vid annonsering av störningar

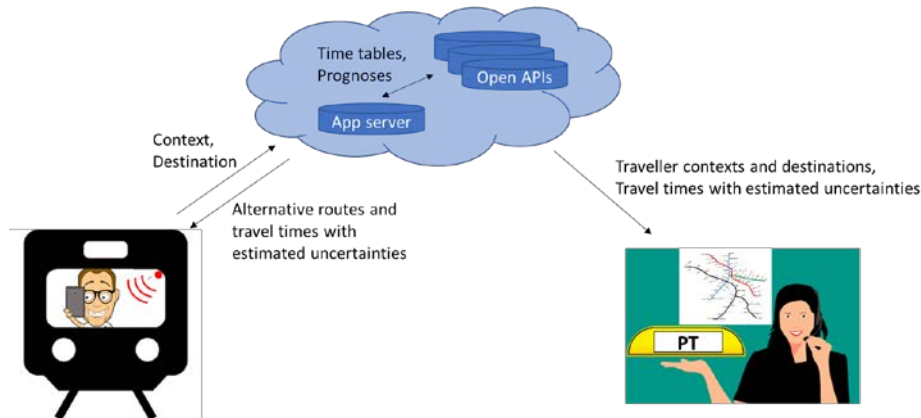
	Underlättat arbete för nya medarbetare utan erfarenhet (då tillräcklig dokumentation idag saknas)
	Underlag för ökad bemanning (exv. kundservice) och ökade kommunikationskanaler vid större störningar
Flera resenärer med större/många väskor	Uppskattning av nödvändig tid för avstigning och påstigning => tidig uppskattning av och kommunikation om försening (och ev. följdförseningar)
	Spårplanering (för att minska avståndet och tiden vid tågbyte)
Resenärer med cykel/rullstol/barnvagn/etc.	Möjlighet att ge tidig information om att det saknas plats på det tåg som resenärer planerat att åka med (kräver metod för beräkning antal lediga platser)
	Uppskattning av nödvändig tid för avstigning och påstigning => tidig uppskattning av och kommunikation om försening (och ev. följdförseningar)
	Spårplanering (för att minska avståndet och tiden vid tågbyte samt fungerande hiss i närheten alt. undvikande av trappor)
	Beställning av ersättningstrafik som medger cykel/rullstol/barnvagn etc.
Funktionsnedsättning, exv. syn- eller hörselnedsättning hos resenär	Förbättrat stöd och information till resenär i både störningssituation och normal situation (exv. för hjälp med att hitta rätt sittplats, för information om vilka tåg och vagnar som är mindre fullsatta samt för verifiering att resenär har stigit på korrekt tåg)
	Förbättrad planering vid evakuering

Sammanfattningsvis visar intervjustudien att aktörerna idag arbetar med estimat av antal resenärer på tåg och att kunskapen om osäkerhet i prognoser framförallt baserar sig på personalens personliga erfarenheter. Information om resenärernas destination kan endast tas fram för de resenärer som har valt att köpa en biljett som specificerar hela resvägen, vilket exv. innebär att man vanligtvis inte har tillgång till information om pendlares destination. Dessutom saknar aktörerna all kontextuell information utöver den som visuellt kan uppfattas av ombordpersonalen, om exv. övriga funktionshinder.

Med hjälp av den app som har utvecklats inom ramen för det här projektet kan information om såväl resenärens destination som om resenären befinner sig på visst tåg eller perrong förbättras. Ju fler resenärer som väljer att använda appen, desto säkrare information kan uppnås. Tabell 1 visar att den här typen av information, tillsammans med osäkerhetsfaktorer för alternativa resvägar, kan vara användbar för en rad olika situationer, för både resenärer och aktörer.

Systemlösning reseplanerare

Systemarkitektur



Figur 1 Systemarkitektur för appen, där röd, ifylld cirkel symboliserar beacon och pilarna symboliserar kommunikationen mellan resenärens mobiltelefon och applikationsservern, samt mellan applikationsservern och kollektivtrafikaktören (där PT står för Public Transport).

Appen använder beacons för att detektera vilket tåg eller vilken perrong resenären för tillfället ev. befinner sig på. Dessa beacons lagrar tågets fysiska ID, vilket läses av och därefter används för att, tillsammans med GTFS Regional, identifiera vilken tågtur det aktuella tåget som resenären sitter på kör just nu. Om resenären befinner sig på en perrong lagras ID för perrongen i beacons. Avläsningen görs i båda fallen av resenärens mobiltelefon. De främsta anledningarna till att beacons valdes är dels att Bluetooth har kort räckvidd vilket det lättare att identifiera rätt fordon när två fordon befinner sig bredvid varandra, och dels att flertalet resenärer idag har mobiltelefon med bluetooth-kommunikation. Figur 1 illustrerar systemlösningen för appen.

När appen vet vilket tåg eller vilken perrong resenären befinner sig på, används denna information för att söka efter alternativa resvägar till resenärens destination. Om användaren befinner sig på ett tåg söker appen efter nya resvägar från varje kommande station fram till slutstationen (eller resenärens destination, om den ligger på vägen), baserat den prognostiserade tiden för när tåget kommer fram till de olika stationerna. De snabbaste av dessa resvägar presenteras sedan för resenären, tillsammans med eventuella osäkerhetsfaktorer för resan (se avsnittet om osäkerhetsfaktorer nedan).

Följande externa API:er används i implementeringen:

- **Trafikverkets öppna API**
Härifrån hämtas de kommande stationerna för det tåg som användaren sitter på, samt orsakskoder vid störningar för tåg.

- **Resrobots Reseplanerare**
Denna används för att planera resor från den nuvarande stationen, eller de kommande stationerna, för det nuvarande tåget.
- **Resrobots Stolptidtabeller**
Härifrån hämtas realtidsdata för delresor, så att resvägar kan uppdateras eller gallras bort. Här finns realtidsdata för alla tåg, samt annan trafik från SL, Skånetrafiken och Västtrafik.
- **GTFS Regional**
Härifrån hämtas vilken tågtur ett visst tåg kör just nu. Mer specifikt används VehiclePositions-flödet och en extrafil, "trips_dated_vehicle_journey.txt".

Appens front-end är implementerad i HTML, CSS och Javascript, i Apache Cordova-ramverket. Back-end är implementerad i Java och Spring-ramverket. Appen fungerar som följer:

1. Första gången appen öppnas behöver användaren godkänna att appen använder Bluetooth för att kunna detektera användarens kontext.
2. Appen söker efter beacons kontinuerligt medan appen är aktiv.
3. Ett sökfält låter användaren ange önskad destination. Destinationer föreslås när användaren börjar skriva, eller kan väljas från en meny.
4. Beaconsignalen hanteras. Skulle det finnas flera beacons inom räckvidd väljs en av dessa ut slumpmässigt. ID:t från beaconsignalen skickas tillsammans med den valda destinationen till applikationsservern.
5. Om användaren befinner sig på ett tåg görs en sökning för att hitta vilken tågtur det nuvarande tåget kör. Här används API:et GTFS-rt för att hitta tågturen för det detekterade ID:t.
6. Om användaren befinner sig på ett tåg görs en sökning mot Trafikverkets API:er för att hitta de kommande stationerna för detta tåg, till och med tågets slutstation.
7. Sökningar görs mot Resrobots reseplanerare för att hitta alternativa resvägar. Om användaren befinner sig på en station görs sökningen från den stationen. Om användaren istället befinner sig på ett tåg, görs en sökning från varje kommande station för tåget fram till resenärens destination, eller fram till tågets slutstationen om destinationen inte finns bland de kommande stationerna.
8. De tre snabbaste alternativen för varje kommande station returneras från API:et. Dessutom söks ett alternativ per station fram som är specificerat att inte innehålla tågtrafik; detta för att minska risken att inga giltiga resor hittas vid en störning i tågtrafiken, och för att potentiellt kunna hitta snabbare vägar än de försenade. Då Resrobots reseplanerare inte tar hänsyn till störningsdata behöver resvägarna kontrolleras.

9. De tre snabbaste resalternativen totalt sett kontrolleras enligt steg 10-11 nedan. Dessa steg utförs iterativt; om någon resa plockas bort kontrolleras även den fjärde snabbaste resan, därefter den femte och så vidare. Således kan de tre snabbaste giltiga resorna hittas utan att alla returnerade resor behöver kontrolleras, något som kan vara tids- och resurskrävande.
10. Samma resa kan dyka upp flera gånger i sökningen ovan. Dubblettresor plockas därför bort.
11. Ett anrop görs till resrobots stolptids-API för varje delresa, i syfte att få fram realtidsdata för resorna. Inställda resor gallras bort, liksom ogiltiga sådana. Med ogiltiga resor avses resor där ankomsttiden för en delresa är senare än avgångstiden för nästa, eller avståndet mellan dem är mindre än ett givet tidsspann (just nu 3 minuter med anledning av att Resrobot använder detta tidsspann, men detta skulle man troligen kunna ändra).
12. Osäkerhetsfaktorer för de olika resorna tas fram.
13. De kommande stationerna och de alternativa resvägarna med osäkerhetsfaktorer visas för användaren.

Osäkerhetsfaktorer

Nedanstående resultat är endast giltiga för tåg. Projektet har tyvärr ännu inte lyckats ta fram några osäkerhetsfaktorer för bussar (se avsnitt om avgränsningar och utökningar nedan).

Som nämnts ovan har osäkerhetsfaktorerna beräknats med hjälp av data från Trafikverket. Projektet erhöll fullständig störningsdata från 3 månader: juli 2021, december 2021 och februari 2022, för tågsträckan Lund - Malmö. För varje störningstillfälle (dvs. för varje störd avgång) innehöll datafilerna en eller flera rader som bl.a. angav orsakskod (dvs. orsaken till störningen), annonserad tidpunkt (dvs. tidpunkt för avgång/ankomst enligt tidtabell), rapporteringstidpunkt (dvs. tidpunkt då ny prognos annonserades) och felmarginal i prognosen (dvs. skillnaden mellan prognos och faktisk avgång/ankomst som absolutbelopp). Med hjälp av denna information genomfördes regressionsanalyser, i syfte att undersöka sambanden mellan felmarginalen i prognosen och andra variabler. Dessa undersökningar visade att det inte finns något signifikant samband mellan tiden på dygnet då störningen inträffar och felmarginalen i prognosen, dvs. prognosen är lika säker/osäker oavsett när på dygnet störningen inträffar. Dock fanns signifikanta samband mellan felmarginalen i prognosen och orsakskoden samt tidsskillnaden mellan rapporteringstidpunkt och annonserad tidpunkt. Det här innebär att om man har information om orsakskoden kan man säga lite mer om prognosens tillförlitlighet, dvs hur stort felet i prognosen kan förväntas vara. Dessutom påverkas osäkerheten i prognosen av tidpunkten för när prognosen bestäms i förhållande till den ankomsttid som anges av tidtabellen.

Eftersom projektets tillgång till störningsdata var begränsad samtidigt som datamängden behöver vara tillräckligt omfattande för att ge trovärdiga resultat,

genomfördes regressionsanalyser endast för de orsakskoder som förekom mer än 1000 gånger i datafilerna. Detta kriterium uppfylldes av följande orsakskoder: OUT 01, IBÖ 02, OMÄ 03, DPR 03, OMÄ 02, DPS 01, OUT -, JTP -, IBÖ 01, JTP 13 och ONA -. För övriga orsakskoder beräknades endast medelvärdet av felmarginalen i prognoserna (se bilaga B). Innan dataanalyserna påbörjades, tvättades datafilerna enligt följande:

- Alla rader som saknade data för rapporteringstidpunkt, orsakskod och felmarginal i prognosen togs bort
- För DPR 03 togs 5 rader bort, för ONA – och OUT – togs 2 rader bort, för JTP -, JDM – och JDM 06 togs 1 rad bort. Dessa rader innehöll uppenbart felaktig data (exv. tidpunkten 17:xx istället för 07:xx).

Regressionsanalysen visade att F-värdet och p-värdet var mindre än 10^{-11} för samtliga de orsakskoder som regressionsanalys genomfördes för, dvs. minst en av de framräknade koefficienterna är större än noll med en signifikansnivå på högst 10^{-11} och samtliga variabler är statistiskt signifikanta med en signifikansnivå på högst 10^{-11} (det finns alltså en tydlig korrelation mellan felmarginalen i prognosen och tidsskillnaden mellan rapporteringstidpunkt och annonserad tidpunkt). Med hjälp av resultaten från regressionsanalysen, kunde medelvärdet för felmarginalen i prognoserna beräknas, givet ett visst tidsintervall mellan rapporteringstidpunkt och annonserad tidpunkt. Dessutom kunde ett prediktionsintervall för detta medelvärde beräknas samt determinationskoefficienten. Prediktionsintervallet motsvarar det intervall som felmarginalen med viss sannolikhet ligger inom, givet ett visst tidsintervall mellan rapporteringstidpunkt och annonserad tidpunkt.

Determinationskoefficienten anger hur stor andel av variationerna i felmarginalen som kan förklaras av tidsintervallet mellan rapporteringstidpunkt och annonserad tidpunkt. I de fall den nedre gränsen i prediktionsintervallet var negativ, ändrades denna gräns till värdet 0, eftersom felmarginalen i prognosen är som lägst 0 (då vi endast fokuserar på skillnaden mellan prognos och faktisk avgång/ankomst som absolutbelopp, se ovan). Tabell 2 visar resultaten av denna statistiska analys.

Tabell 2 Medelvärde för felmarginalen i prognoserna givet ett visst tidsintervall mellan rapporteringstidpunkt och annonserad tidtabellstidpunkt (x, mätt i dygn), prediktionsintervall för detta medelvärde och determinationskoefficient, för de mest frekvent förekommande orsakskoderna

Orsakskod	Antal registrerade värden	Medelvärde felmarginal	80% prediktionsintervall för medelvärde felmarginal	Determinationskoefficient (r^2)
DPR 03	8091	$3,17 + 95,23 * x$	$\pm 6,89 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,01)^2}{3,93}}$	0,13
DPS 01	1610	$3,72 + 83,82 * x$	$\pm 8,37 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,01)^2}{0,84}}$	0,08
IBÖ 01	2263	$4,81 + 93,02 * x$	$\pm 12,38 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,04)^2}{8,06}}$	0,25
IBÖ 02	1368	$3,87 + 97,08 * x$	$\pm 6,35 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,01)^2}{0,38}}$	0,10

JTP -	1817	$3,63 + 106,54 * x$	$\pm 12,29 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,01)^2}{0,59}}$	0,04
JTP 13	1066	$2,61 + 162,06 * x$	$\pm 13,40 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,01)^2}{0,68}}$	0,13
OMÄ 02	1885	$5,33 + 116,43 * x$	$\pm 7,83 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,00)^2}{0,63}}$	0,11
OMÄ 03	1087	$4,42 + 81,59 * x$	$\pm 6,53 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,01)^2}{0,49}}$	0,10
ONA -	1452	$8,37 + 179,21 * x$	$\pm 14,26 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,01)^2}{0,69}}$	0,11
OUT -	3043	$4,38 + 101,58 * x$	$\pm 10,07 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,01)^2}{1,25}}$	0,06
OUT 01	2446	$3,36 + 189,65 * x$	$\pm 5,64 * \sqrt{1,00 + \frac{(x - 0,01)^2}{0,29}}$	0,18

Det här innebär exv. att då $x = 0,007$ resp. $x = 0,028$ dygn, dvs. då det är 10 respektive 40 minuter mellan rapporteringstidpunkt och annonserad tidtabellstidpunkt, kan man med 80% säkerhet säga att felmarginalen i den givna prognosen för de olika orsakskoderna ligger inom de intervall som anges i Tabell 3.

Tabell 3 80% prediktionsintervall i minuter för medelvärdet på felmarginalen vid olika orsakskoder, då skillnaden mellan rapporteringstidpunkt och annonserad tidpunkt är 10 min. resp. 40 min.

Orsakskod	80% prediktionsintervall för medelvärde felmarginal, då $x = 0,007$ (10 min.)	80% prediktionsintervall för medelvärde felmarginal, då $x = 0,028$ (40 min.)
DPR 03	0 - 10,72	0 - 12,70
DPS 01	0 - 12,68	0 - 14,43
IBÖ 01	0 - 17,83	0 - 19,77
IBÖ 02	0 - 10,89	0,21 - 12,92
JTP -	0 - 16,67	0 - 18,89
JTP 13	0 - 17,14	0 - 20,52
OMÄ 02	0 - 13,97	0,73 - 16,40
OMÄ 03	0 - 11,52	0,15 - 13,23
ONA -	0 - 23,88	0 - 27,62
OUT -	0 - 15,15	0 - 17,27
OUT 01	0 - 10,32	2,99 - 14,28

Tabell 3 visar att prediktionsintervallen är olika stora för olika orsakskoder. För ONA – och OUT 01 är intervallen 23,88 respektive 10,32 då x motsvarar 10 minuter. Samma mönster kan urskiljas då x motsvarar 40 minuter. Det här innebär att orsakskoden, dvs. skälet till störningen, har relativt stor inverkan på hur säker en

given prognos är. Tillgång till information om orsakskoden kan därmed ge stöd i uppskattning av prognosers tillförlitlighet vid oplanerade störningar.

En jämförelse mellan kolumn 2 och 3 i Tabell 3 visar att prediktionsintervallen är något större då x motsvarar 40 minuter än då x motsvarar 10 minuter. Detta resultat visar, tillsammans med determinationskoefficienterna i Tabell 2, att en viss del av variationerna i felmarginalen som kan förklaras av tidsintervallet mellan rapporteringstidpunkt och annonserad tidpunkt. Det här innebär att tillgång till information om tidsintervallet mellan rapporteringstidpunkt och annonserad tidpunkt också kan ge stöd i uppskattning av prognosers tillförlitlighet vid oplanerade störningar.

Ovanstående beräkningar visar, tillsammans med Appendix B, hur Trafikverkets interna orsakskoder skulle kunna användas för att ta fram osäkerhetsfaktorer vid störningar. Dessa orsakskoder skiljer sig dock från de störningsorsaker som kommuniceras till resenären. Projektet har erhållit en mappning mellan dessa (se bl.a. Trafikverket 2022) och med hjälp av den kunnat genomföra motsvarande beräkningar som ovan, men med fokus på de störningsorsaker som kommuniceras till resenären istället. Av de orsakskoder som listas i Tabell 3 fanns ett tydligt ett-till-ett-förhållande endast för följande orsakskoder: IBÖ 01, IBÖ 02, OMÄ 02 och OMÄ 03. I appen genomförs därmed ovanstående beräkningar endast för dessa orsakskoder. För övriga orsakskoder beräknas osäkerhetsfaktorerna baserat på en normalfördelning med medelvärde och standardavvikelse för felmarginalen över samtliga störningar.

Appens funktion för orsakskoderna IBÖ 01, IBÖ 02, OMÄ 02 och OMÄ 03 ser ut som följer. Vid en störning visar appen förslag på alternativa resvägar. Om en sådan resväg endast innefattar en tåglänk utan störning, görs ingen beräkning. Om resvägen innefattar en tåglänk med störning, beräknas och visas prediktionsintervallet för felmarginalen, givet aktuellt värde på x . Resenären kan då räkna med att den givna prognosen för tåglänken har en felmarginal som med 80% sannolikhet ligger inom det framräknade prediktionsintervallet. För alternativa resvägar som innefattar flera tåglänkar, används ovanstående beräkningsmetoder ”baklänges”, dvs. appen beräknar sannolikheten för att prediktionsintervallet plus den givna prognosen ska vara mindre än den tid som krävs för att resenären ska hinna med transportbytet, givet det aktuella värdet på x . Därmed kan en sannolikhet för att en hel resväg med flera byten ska kunna genomföras, visas för resenären. Om den sista tåglänken innefattar en störning visas, på samma sätt som ovan, dessutom prediktionsintervallet för felmarginalen för slutlig ankomsttid, där felmarginalen med 80% sannolikhet ligger inom prediktionsintervallet.

Appens funktion för övriga orsakskoder följer samma mönster som ovan, men beräkningarna är som sagt istället baserade på en normalfördelad felmarginal, med ett medelvärde och standardavvikelse som motsvarar samtliga störningar.

Resenärens integritet

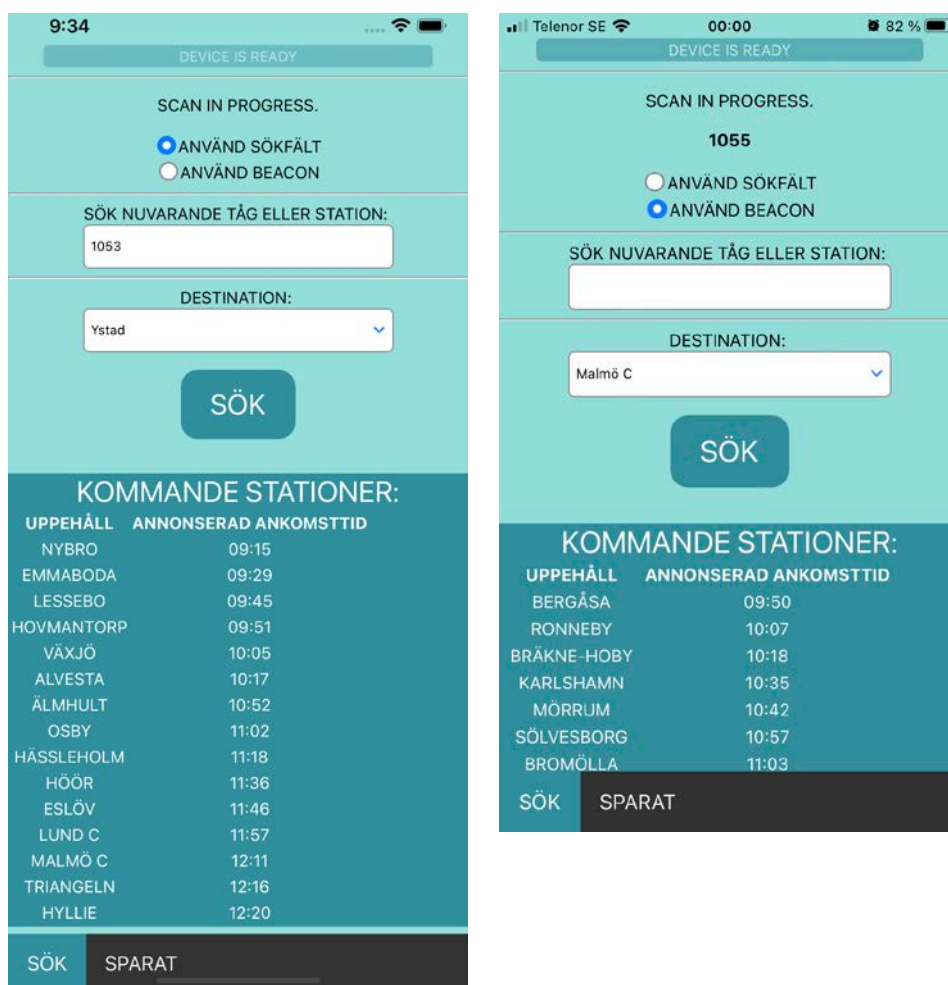
Som nämnts ovan skapas en dubbelriktad kommunikation mellan en resenär och en aktör endast om resenären går med på att dela information om nuvarande kontext och önskad destination, med aktören. Detta medgivande sker via appen.

Informationen skickas, tillsammans med nödvändig information för att upprätthålla kommunikationen, till en server. Servern lagrar endast informationen under den dubbelriktade kommunikationen mellan resenärens mobiltelefon och servern samt den tid som krävs för att ta fram antal personer i samma kontext (exv. ombord på ett tåg). Resenärens identitet kommer inte att identifieras eftersom det inte kommer att ske någon mappning mellan information och resenär.

Möjligheter med ny reseplanerare

För att undersöka möjligheterna med den nya reseplaneraren har projektgruppen under ett par veckor sökt efter olika tågresor innefattande sträckan Lund - Malmö (då osäkerhetsfaktorerna är beräknade för denna sträcka). Vid oplanerade störningar har reseförslagen från Skånetrafikens nuvarande reseplanerare jämförts med reseförslagen från den nyutvecklade appen.

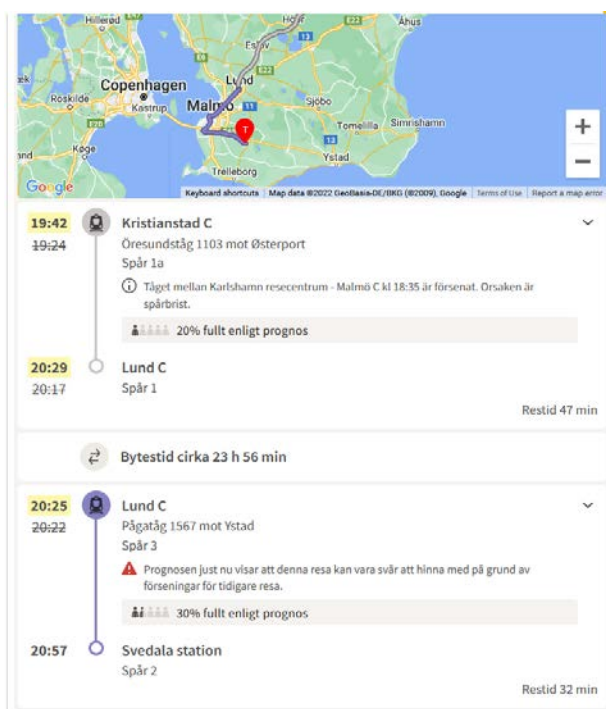
Figur 2 visar hur information om aktuellt tåg eller tågstation hanteras av appen. I den första bilden har resenären manuellt i appen skrivit in tågnumret för det tåg resenären för tillfället befinner sig på. Om resenären befinner sig vid en tågstation skriver resenären istället in aktuell tågstation i samma ruta. I den andra bilden detekterar appen själv vilket tåg eller vilken tågstation resenären befinner sig på, genom att läsa av tågets fysiska ID, respektive tågstationens ID, från en närbelägen beacon. I en verklig implementering av tjänsten är dessa beacons fastmonterade i tåget, respektive vid stationen.



Figur 2 Detektering av aktuellt tåg. I det första fallet skriver resenären själv in aktuellt tåg-id. I det andra fallet läser appen automatiskt av tåg-id från närbelägen beacon.

Figur 3 och 4 visar exempel på de olika apparnas reseförslag då en oplanerad störning medför att resenären sannolikt missar sin förbindelse. Resenären sitter på tåg 1103 från Kristianstad och ska åka till Svedala. Skånetrafikens app (Figur 3) föreslår ett tågbyte i Lund. Dock kommer detta tågbyte troligen inte att vara möjligt eftersom tåg 1103 beräknas anlända till Lund först efter att tåget till Svedala har avgått (kl. 20:29 respektive 20:25). Den nya appen (Figur 4) föreslår istället tre alternativa resvägar med olika säkerhetsfaktorer. Alternativ 1 föreslår resa med buss 165. Denna buss avgår 7 minuter efter tågets beräknade ankomst till Lund. Baserat på tidigare osäkerhet i prognoser tilldelas det här alternativet osäkerhetsfaktorn 0,715 (osäkerhetsfaktorn varierar mellan 0 och 1, där 1 är högst säkerhet och 0 är lägst). Alternativ 2 föreslår resa med tåg 1287. Eftersom det här alternativet innefattar en längre bytestid, är värdet på osäkerhetsfaktorn högre. Alternativ 3 föreslår också resa med tåg 1287, men resenären uppmanas här att gå

av nuvarande tåg i Malmö istället för i Lund. Även detta alternativ innefattar en längre bytestid och därmed ett högre värde på osäkerhetsfaktorn.

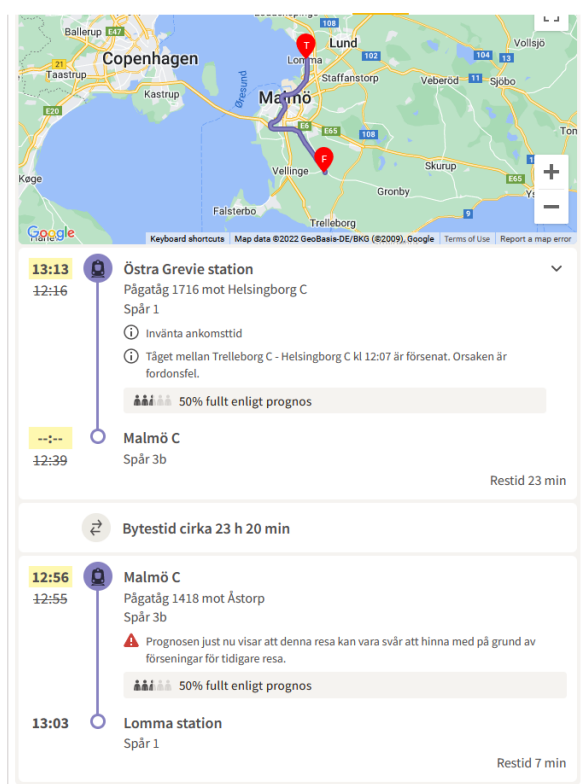


Figur 3 Nuvarande reseplanerare från Skånetrafiken vid sökning från Kristianstad C till Svedala station, under en oplanerad störning.



Figur 4 Appens förslag på alternativa resvägar under den oplanerade störning som visas i Figur 3.

Figur 5 och 6 visar exempel på apparnas reseförslag då en oplanerad störning medför att det tåg som resenären befinner sig på ställs in för de sista stationerna. Resenären ska åka från Östra Grevie till Lomma och sitter på tåg 1716. Skånetrafikens nuvarande reseplanerare föreslår resa via Malmö men eftersom tåget är inställt för den sista stationen (Malmö C) är denna resa inte genomförbar (Figur 5). Inga alternativa resvägar visas. Den nya appen visar tre alternativa resvägar (Figur 6). Samtliga resvägar innefattar tåg 1420 och deras osäkerhetsfaktorer är i samma storleksordning. Det som skiljer resvägarna åt är var resenären går av nuvarande tåg och går på tåg 1420.



Figur 5 Nuvarande reseplanerare från Skånetrafikens vid sökning från Östra Grevie station till Lomma station, under en oplanerad störning.

13:13 SÖK NUVARANDE TÅG ELLER STATION:
1716

DESTINATION:
Lomma

SÖK

KOMMANDE STATIONER:

UPPEHÅLL	ANNONSERAD ANKOMSTTID	
ÖSTRA GREVIE	12:16	13:13
VÄSTRA INGELSTAD	12:19	13:16
SVÅGERTORP / MALMÖ SYD	12:26	13:23
HYLLIE	12:31	13:28
TRIANGELN	12:35	13:32

ALTERNATIV 1: Spara

ANKOMST OM: 0H, 50M
SITT KVAR TILL: MALMÖ SVÅGERTORP STATION
RESANS SÄKERHET: 0.938
DELRESOR:

FRÅN: MALMÖ SVÅGERTORP STATION 13:41
TILL: LOMMA STATION 14:03
RESTID: 0H, 22M
FORDON: SKÅNETRAFIKEN LÄNSTRAFIK - TÅG 1420
SÄKERHET: 0.938

ALTERNATIV 2: Spara

ANKOMST OM: 0H, 50M
SITT KVAR TILL: MALMÖ HYLLIE STATION
RESANS SÄKERHET: 0.938
DELRESOR:

FRÅN: MALMÖ HYLLIE STATION 13:46
TILL: LOMMA STATION 14:03
RESTID: 0H, 17M
FORDON: SKÅNETRAFIKEN LÄNSTRAFIK - TÅG 1420
SÄKERHET: 0.938

ALTERNATIV 3: Spara

ANKOMST OM: 0H, 50M
SITT KVAR TILL: MALMÖ TRIANGELN STATION
RESANS SÄKERHET: 0.924
DELRESOR:

FRÅN: MALMÖ TRIANGELN STATION 13:49
TILL: LOMMA STATION 14:03
RESTID: 0H, 14M
FORDON: SKÅNETRAFIKEN LÄNSTRAFIK - TÅG 1420
SÄKERHET: 0.924

Figur 6 Appens förslag på alternativa resvägar under den oplanerade störning som visas i Figur 5.

Ibland väljer en resenär att gå på ett tåg som står vid plattformen, utan att först söka efter en fullständig resa i reseplaneraren. Figur 7 visar den nya appens förslag på fortsatt resa i en situation där resenären vill resa till Lomma och har gått på ett försenat tåg i Hyllie som är på väg till Karlskorna. Skånetrafikens reseplanerare hänvisar vanligtvis resenärer som ska åka södifrån via Hyllie till Lomma, att byta från tåg till buss i Malmö alternativt Lund. Normalt hade resenären på det här tåget haft möjlighet att hinna med en buss från Lund till Lomma som avgår kl. 10:42. På grund av förseningen behöver resenären dock hitta en annan resväg. Appen föreslår att resenären ska gå av i Hyllie och där ta ett tåg till Lomma istället. Resenären kommer då att anlända till Lomma kl. 11:03. Hade resenären istället följt den vanliga planen och åkt med till Lund och därefter väntat på nästa buss till Lomma, hade resenären anlänt till Lomma kl. 11:33 (enligt normal busstidtabell utan störningar). Hade resenären åkt buss från Malmö istället hade resenären anlänt till Lomma kl. 11:28 (enligt normal busstidtabell utan störningar).

UPPEHÅLL	ANNONSERAD	ANKOMSTTID
HYLLIE	10:13	10:24
TRIANGELN	10:22	10:27
MALMÖ C	10:26	10:31
LUND C	10:40	10:45
HÄSSLEHOLM	11:11	
KRISTIANSTAD C	11:31	
BROMÖLLA	11:51	
SÖLVESBORG	11:58	
MÖRRUM	12:12	
KARLSHAMN	12:20	
BRÄKNE-HÖBY	12:35	
RÖNNEBY	12:46	
BERGÅSA	13:07	
KARLSKRONA C	13:12	

ALTERNATIV 1:	Spara
ANKOMST OM: 0H, 39M	
SITT KVAR TILL: MALMÖ HYLLIE STATION	
RESANS SÄKERHET: 0.975	
DELRESOR:	
FRÅN: MALMÖ HYLLIE STATION 10:46	
TILL: LOMMA STATION 11:03	
RESTID: 0H, 17M	
FORDON: SKÅNETRAFIKEN LÄNSTRAFIK - TÅG 1414	
SÄKERHET: 0.975	

ALTERNATIV 2:	Spara
---------------	-------

Figur 7 En av appens förslag på fortsatt resväg under oplanerade störning.

Ovanstående exempel visar hur appen, genom kännedom av resenärens kontext (i detta fall vilket tåg resenären är ombord på), kan ge en uppdaterad resplan som är svår för resenären att identifiera med nuvarande reseplanerare. Exemplet illustrerar också hur resenären kan få information om osäkerhet för de olika resalternativen.

Alternativa lösningar för kontextdetektering

Tidigare forskningsstudier visar att det finns olika lösningar för hur man skulle kunna detektera vilket fordon eller vilken station en resenär befinner sig på. En del använder sådan detektering för biljettdatering. För ett antal år sedan lanserade exempelvis Deutsche Bahn ett biljettsystem där resenären kunde checka in och ut från en resa på ett flertal olika sätt: telefonens GPS kunde användas för att detektera aktuell station, resenären kunde scanna av en lokal QR-kod som identifierade stationen eller kunde telefonen användas för att läsa av en lokal NFC-tag som identifierade stationen (McLean 2011). Finžgar och Trebar (2011) presenterar en liknande lösning. Ett annat alternativ kan vara att kombinera resenärens position med positioneringsdata från transportsystemet. Stenneth et al. (2011) har exempelvis undersökt hur den buss som en resenär för närvarande åker med, kan identifieras med hjälp av resenärens GPS-position från telefonen och information om busstrafiken, i form av realtidsinformation om bussens position

och spatial information om busshållplatserna. Ytterligare en annan lösning har föreslagits av Handte et al. (2016). De använder en app på resenärens telefon för att kontinuerligt upprätta WiFi-anslutningar till omgivande bussar. Om resenären lämnar bussen sjunker signalstyrkan. Ändringen i WiFi-signalen, i kombination med timeouts och triggers för omscanning, används för att upptäcka vilken buss resenären åker på. En liknande lösning kan vara att detektera det aktuella fordonet baserat på lokala beacons installerade inuti fordonen, som kommunicerar med resenärens telefon genom Bluetooth.

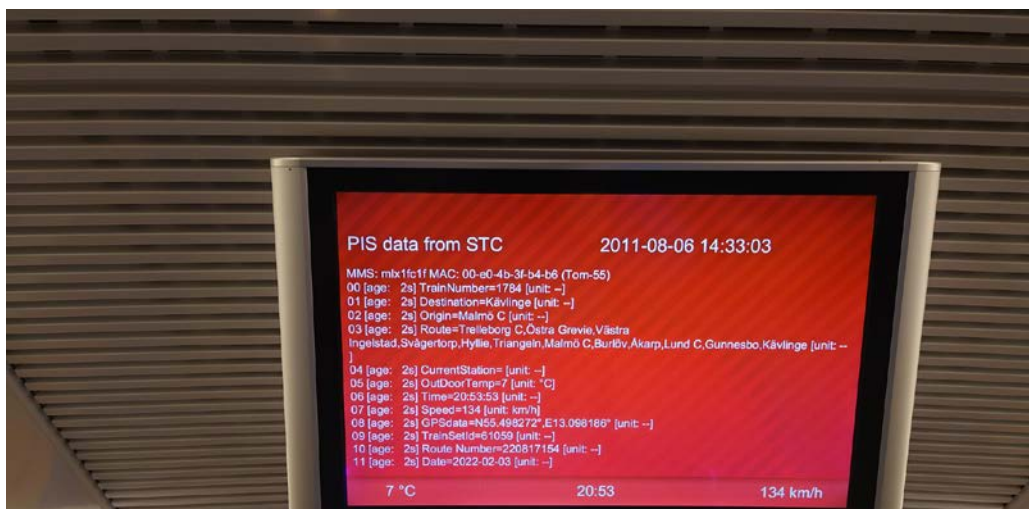
Det här projektet har arbetat med att identifiera en lösning för att automatiskt detektera den tågtur som resenärens för tillfället reser med eller den perrong som resenären för tillfället befinner sig på, dvs. utan att resenären behöver agera aktivt på något sätt, exv. skanna en QR-kod ombord på tåg. Framförallt har projektet fokuserat på lösningar baserade på tre olika teknologier: GPS, WiFi och beacons. Tabell 4 visar de möjligheter och utmaningar som projektet har identifierat med var och en av dessa teknologier. Tabellen fokuserar endast på detektering ombord, eftersom detektering av aktuell perrong är enklare (då den exv. kan lösas med hjälp av den GPS-funktionalitet som finns i dagens reseplanerare). Innehållet i Tabell 4 baserar sig på erfarenheter från tidigare forskningsstudier och kommunikation med aktörerna.

Tabell 4 Möjligheter och utmaningar för olika teknologier vid automatisk detektering av den tåglinje som resenären för tillfället reser med.

Teknologi	Möjligheter	Utmaningar
GPS – matchning mellan tågets position och resenärens mobiltelefon position	<p>Flertalet resenärer har mobiltelefon med GPS.</p> <p>En hel del tåg och nästan alla bussar har GPS idag.</p> <p>GTFS Regional innehåller positioneringsdata för en del länstrafiktåg, data uppdateras vad 1-3:e sekund.</p> <p>Forskningslitteratur innehåller en del algoritmer för den här typen av GPS-matchning (exv. Stenneth et al. 2011).</p>	<p>Tillgänglig öppen data saknar positioneringsdata för fordon kopplade till vissa operatörer.</p> <p>En lösning som matchar tågets position och resenärens position kan orsaka integritetsproblem, om matchningen måste göras centralt.</p> <p>Ibland kan det vara omöjligt att identifiera rätt fordon då två fordon befinner sig bredvid varandra, pga. precision och signalstörningar.</p> <p>Ev. tidsfördröjning i positionering av tåg kan utgöra ett problem.</p> <p>Tågens konstruktion och externa hinder (exv. tunnlar, berg) kan försvåra tillförlitlig GPS-signal från resenärens telefon (och från tåget).</p>
WiFi – resenärens mobiltelefon detekterar aktuell tågtur via tågets lokala nätverk	<p>Flertalet resenärer har mobiltelefon med WiFi.</p> <p>Det finns indikationer på att information som kan användas för att detektera aktuell tågtur finns i digital form ombord på tågen. Exv. visar SJ troligen aktuell tågtur i samband med</p>	<p>Även om information om aktuell tågtur ser ut att finnas tillgänglig i en del tåg idag, verkar det vara svårt att erhålla den som ren datasträng.</p>

	<p>att resenären kopplar upp datorn mot SJs WiFi, och de digitala skärmarna inne i Pågatågen visar aktuellt, annonserat tågnummer.</p> <p>Med rätt programvara bör man som resenär kunna läsa av MAC-adressen för tågets router. Om APIerna tillhandahöll en mappning mellan MAC-adresser och aktuella tågturer, skulle man på så sätt kunna ta fram aktuell tågtur.</p>	<p>Projektet har inte hittat någon mappning mellan MAC-adresser och aktuella tågturer.</p> <p>WiFi har längre räckvidd än exv. Bluetooth, vilket gör att det kan vara svårt att identifiera rätt fordon när två fordon befinner sig bredvid varandra.</p> <p>Inte alla resenärer har WiFi påslaget – detta kan dock lösas genom att appen aktivt frågar efter detta</p>
<p>Beacons – resenärens mobiltelefon detekterar aktuell tågtur med hjälp av beacons som finns installerade på tåget, och som lagrar ID för det fysiska tåget</p>	<p>Flertalet resenärer har mobiltelefon med bluetooth.</p> <p>Bluetooth har kort räckvidd vilket gör det lättare att identifiera rätt fordon när två fordon befinner sig bredvid varandra.</p> <p>Med hjälp av GTFS kan man mappa ID för det fysiska tåget till aktuell tågtur.</p> <p>Även det öppna APIet Oxify Vehicle Positions medger en mappning mellan ID för det fysiska tåget till aktuell tågtur.</p> <p>Beacons kommunicerar via BLE, vilket innebär att telefonen inte behöver ha bluetooth påslaget (beacon sänder aktivt ut data som en app kan lyssna av, även om telefonens bluetooth inte är påslaget).</p>	<p>Beacons måste installeras på tågen, vilket medför en kostnad. Den korta räckvidden gör dessutom att ett flertal beacons måste installeras, så att signaler kan detekteras i hela tåget.</p> <p>Inte alla operatörer lämnar nödvändig information till GTFS. För Skånetrafiken finns exv. data för Pågatågen men inte för Öresundstågen.</p> <p>Oxify Vehicle Positions innehåller data från andra operatörer än vad GTFS gör. Dock innehåller den endast data för mindre operatörer. Exv. är Skåne, Göteborgsregionen och Stockholmsregionen inte representerade.</p> <p>Beacons kan drivas med batteri eller fast kabel. Livslängden för ett batteri är endast några månader upp till ett halvår. För att undvika underhåll krävs att fast kabel installeras.</p>

Projektet har valt att implementera en lösning baserad på beacons, med anledning av dels den korta räckvidden och dels den tillgängliga mappningen i GTFS. Utöver en lösning baserad på beacons, har projektet särskilt undersökt möjligheter att använda tågens wifi-nätverk för att detektera vilket tåg eller vilken perrong resenären för tillfället befinner sig på. Figur 8 visar ett foto tagen av en av projektdeltagarna inuti ett tåg i Skåne, när informationen i en av ombordskärmarna inte fungerade. Bilden indikerar att det ombord på tåget finns tillräcklig information i digital form för kunna identifiera den tågtur som det aktuella tåget som resenären sitter på kör just nu (dvs. samma mappning som i projektet görs med hjälp av beacons och öppna APIer). Dock har projektet inte lyckats få tillgång till den här informationen genom de öppna gränssnitt som finns tillgängliga.



Figur 8 Foto av ombordskärm på tåg i Skåne

Alternativa lösningar för osäkerhetsfaktorer

Det finns en hel del vetenskapliga studier om olika sätt att förutspå ankomsttider och omplanera trafik vid förseningar inom KT (exv. Josyula (2020), Xu och Ying (2017)) men betydligt färre studier om hur man kan beräkna och kommunicera osäkerheten i sådana prognoser. Många av de studier som finns om metoder för att estimerar osäkerhet i prognoser, baserar beräkningarna på statistiska metoder. O'Sullivan et al. (2016) har exv. ett angreppssätt som i stora delar liknar vårt. De ser estimerade ankomsttider från resenärsinformationssystem som svarta lådor, och beräknar prediktionsintervall baserat på historisk data över estimerade ankomsttider, i kombination med data över verkligt utfall (dvs. verkliga ankomsttider). Beräkningarna tar dock inte hänsyn till olika störningsorsaker. Rahman et al. (2018) använder också statistiska metoder men fokuserar både på estimering av ankomsttid och på osäkerheten i denna estimering. Studien jämför två olika tidsintervaller för osäkerheten: fast intervall på 3 minuter och estimerat intervall baserat på 80% konfidensintervall. Framförallt undersöker de hur prognoser för ankomsttid och osäkerheten i prognoserna ändras vid olika geografiska punkter längs en buslinje.

Andra studier använder osäkerheten i prognoser för att identifiera alternativa resvägar. Botea and Braghin (2015) tar exv. fram stokastiska resplaner som, till skillnad från vanliga resplaner med sekventiellt ordnade transportsträckor, kan innefatta flera resalternativ. Dessa resplaner tar därmed redan i förväg höjd för att exv. resenären kanske missar en anslutning pga. försening. Studien jämför resenärens ankomsttid till slutdestination då vanliga resplaner används respektive då stokastiska resplaner används, där osäkerheten för ankomst enligt tidtabell för varje transportsträcka motsvaras av ± 2 minuter och ± 4 minuter. Dessa osäkerhetsintervall baseras på antagandet att osäkerheten är normalfördelad med

medelvärde 0 och standardavvikelse 80 sekunder (+-4 min. med konfidensintervall på 99,7%), respektive att osäkerheten är normalfördelad med medelvärde 0 och standardavvikelse 40 sekunder (+-2 min. med konfidensintervall på 99,7%).

En del studier fokuserar mer på hur osäkerhet i prognoser bör presenteras för resenären. Fernandes et al. (2018) och Kay et al. (2016) undersöker exv. resenärers attityder till framförallt olika grafiska representationer. Fernandes et al. (2018) inkluderar även textuell representation. Osäkerhetsberäkningarna baseras på regressionsanalys av historisk data. Även Zhao et al. (2019) använder historisk data över tidigare ankomsttider, tillsammans med statistiska metoder, för att beräkna sannolikheten för olika förseningar. Därefter visualiseras osäkerheten genom fioldiagram and ringdiagram, vilka utvärderas i användarstudier. Wunderlich et al. (2017) använder ingen historisk data alls, utan förutsätter att fördelningen över förseningar är känd. Istället fokuserar studien helt på presentationen för resenären. Osäkerheten representeras genom grafiskt illustrerade intervall, med olika färgskiftningar för sannolikheten för olika långa förseningar.

Slutligen finns det en del studier som tillämpar optimering eller maskininlärning för estimering av såväl ankomsttid som osäkerhet. Coffey et al. (2011) använder exv. Nearest neighbor på både historisk data och realtidsdata över ankomsttider, för att prediktera ankomsttider för bussar till olika hållplatser. Den här metoden genererar relativt varierande estimeringar vid långsiktiga estimeringar, eftersom dessa är mer osäkra. Författarna rekommenderar därför att dessa variationer kommuniceras i form av tidsintervall till resenärerna, vid långsiktiga estimeringar. Kortsiktiga estimeringar, exv. ankomsttid till nästa hållplats, är mer stabila och författarna menar därför att dessa istället kan kommuniceras i form av en fast tidpunkt. Yu et al. (2017) använder Relevance vector machine för att estimerar ankomsttiden för bussar, samt undre och övre gränser för denna, baserat på konfidensintervall. Härfter jämförs utfallet med fem traditionella maskininlärningsmetoder: Support vector machine, Genetic algorithm-support vector machine, Kalman filter, K-nearest neighbor, och Artificial neural network. I den här jämförelser visar resultaten att Relevance vector machine är överlägset övriga metoder, med avseende på noggrannhet och konfidensintervall.

Avgränsningar och utökningar

Arbetet i projektet har medfört följande avgränsningar och utökningar i relation till projektansökan:

- Projektet har inte lyckats hitta lösningar för att identifiera vilken buss/busshållplats en resenär för tillfället befinner sig på. Bussar kan dock ingå i appens förslag på alternativa resvägar.
- Projektets undersökningar av prognoser och orsakskoder vid oplanerade störningar i busstrafiken, visar att operatörerna lagrar den här typen av data. Den är dock inte tillgänglig genom öppna APIer. Framförallt finns

ingen realtidsdata från busstrafiken om orsakskoder och prognoser, vilket innebär att projektet inte har kunnat ta fram några osäkerhetsfaktorer för prognoser, kopplade till olika orsakskoder, vid aktuella störningar.

- Projektet har intervjuat fler personer än beräknat, i syfte att ge en mer mångfacetterad bild.

Erfarenheter, lärdomar och fortsatt arbete

Projektet har framförallt visat att den här typen av tjänster kan skapas med hjälp av dagens teknologi och att den skapar nytta för såväl resenär som aktör. Den framtagna prototypen använder GTFS öppna API för att mappa det fysiska tågets ID med tågets aktuella tågtur. Projektet har inte helt kunnat säkerställa att den data som ligger till grund för denna mappning är tillförlitlig, även om de sista kontakterna med Trafiklab har pekat på tillförlitlighet. För att även busstrafiken ska kunna ingå i tjänsten behöver möjligheten att mappa ID för den fysiska bussen med den busstur som den aktuella bussen för tillfället kör, skapas i de öppna APIerna. Dessutom har projektet identifierat svårigheter att översätta de orsakskoder som finns för tåg i de öppna APIerna till de orsakskoder som används internt för att exv. dokumentera felmarginaler i prognoser. Vad gäller bussar, visar projektets undersökningar att historisk data om prognoser och orsakskoder finns tillgänglig, även om den inte kan nås via öppna APIer, men att realtidsdata saknas. Det har därmed inte varit möjligt att ta fram osäkerhetsfaktorer för bussar. Alla de här bristerna skulle behöva korrigeras för att den här typen av tjänster ska kunna implementeras. För att kunna ge en fullständig bild över alternativa resvägar och deras osäkerheter skulle man även behöva ta fram prognoser och osäkerhetsfaktorer för ersättningsbussar.

En framtida vidareutveckling av tjänsten kunna innefatta följande:

- Lastbalansering mellan alternativa resvägar, för att undvika att alltför många resenärer väljer samma fordon (exv. en lokalbuss) vid en störning (inkl. simulering av effekter).
- Undersökning av resenärers och aktörers inställningar och beslutsfattande i relation till tillgänglighetsförändring av den information som appen tillhandahåller. Två examensarbeten om resenärsperspektivet har genomförts inom ramen för projektet (Ringkvist och Peric 2022; Steen och Zreim 2022), vilka kan bidra till fortsatt arbete i det här området.
- Vidareutveckling av alternativa färdmedel (utöver tåg och buss), exv. taxi, hyrcykel/egen cykel, gång.
- Utökning av kontexten till andra miljöer, exv. i hemmet, på väg till hållplats etc.
- Utökning av kontexten till särskilda behov, exv. funktionsnedsättning.

- Beaktande av personliga preferenser, exv. angående trängsel och färdmedel.
- Undersökning av möjligheter, fördelar och risker med att även låta resenärens val av alternativ resväg kommuniceras till aktörerna.
- Detektering av aktuellt stationsspår som resenär befinner sig vid (dvs. inte bara aktuell station).
- Integrering med biljettköp och information om vilka alternativa resvägar som ingår i redan inköpt biljett.

Referenser

- Botea, A. & Braghin, S. (2015). Contingent versus deterministic plans in multi-modal journey planning. *International Conference on Automated Planning and Scheduling*, 25, pp. 268-272.
- Coffey, C., Pozdnoukhov, A. & Calabrese, F. (2011). Time of arrival predictability horizons for public bus routes. *ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Transportation Science*, pp. 1-5.
- Currie, G. & Muir, C. (2017). Understanding passenger perceptions and behaviors during unplanned rail disruptions. *Transportation research procedia*, 25, 4392-4402.
- Fernandes, M., Walls, L., Munson, S., Hullman, J. & Kay, M. (2018). Uncertainty displays using quantile dotplots or cdfs improve transit decision-making. *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1-12.
- Finžgar, L. & Trebar, M. (2011). Use of NFC and QR code identification in an electronic ticket system for public transport. *IEEE International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, pp. 15–17.
- Handte, M., Foell, S., Wagner, S., Kortuem, G. & Marrón, P.J. (2016). An internet-of-things enabled connected navigation system for urban bus riders. *IEEE Internet Things*, 3, 735–744.
- Höroid, S., Mayas, C. & Krömker, H. (2014). Passenger needs on mobile information systems—field evaluation in public transport. *Advances in Human Aspects of Transportation: Part III, AHFE Conference*, pp. 115-124.
- Jevinger Å. & Persson, J.A. (2016). *Information-based disturbance management for public transport*. Projektrapport.
https://www.k2centrum.se/sites/default/files/fields/field_uppladdad_rapport/information-based_disturbance_management_for_public_transport_2016_15.pdf
- Jevinger, Å. & Persson, J.A. (2019a). Exploring the potential of using real-time traveler data in public transport disturbance management. *Public Transport*, 11(2), 413-441.
- Jevinger, Å. & Persson, J.A. (2019b). Potentials of Context-Aware Travel Support during Unplanned Public Transport Disturbances. *Sustainability*, 11(6), 1649.
- Jevinger, Å. & Persson, J. A. (2020). Disturbance Management and Information Availability in Public Transport, with Focus on Scania County, Sweden. *Urban and Transit Planning, Advances in Science, Technology & Innovation*, 305-311, Springer.
- Josyula, S.P., Krasemann, J.T. & Lundberg, L. (2020). Parallel computing for multi-objective train rescheduling. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 9(4), 1683-1696.

- Kay, M., Kola, T., Hullman, J.R. & Munson, S.A. (2016). When (ish) is my bus? user-centered visualizations of uncertainty in everyday, mobile predictive systems. *Chi conference on human factors in computing systems*, pp. 5092-5103.
- Mayas, C., Hörold, S., Stelzer, A., Englert, F. & Krömker, H. (2015). Evaluation of dispatcher requirements on automated customer feedback in public transport. *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, 537-541, Springer.
- McLean, H. (2011). Deutsche Bahn to roll out Touch&Travel across Germany. *NFC World 2011*. <https://www.nfcw.com/2011/08/25/39363/deutsche-bahn-to-roll-out-touchtravel-across-germany/> [2022-10-17]
- O'Sullivan, A., Pereira, F.C., Zhao, J. & Koutsopoulos, H.N. (2016). Uncertainty in bus arrival time predictions: Treating heteroscedasticity with a metamodel approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(11), 3286-3296.
- Rahman, M.M., Wirasinghe, S.C. & Kattan, L. (2018). Analysis of bus travel time distributions for varying horizons and real-time applications. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 86, 453-466.
- Ringkvist, H. & Peric, S. (2022). Digitala lösningar av resestöd inom kollektivtrafiken utifrån resenärers perspektiv. Kandidatuppsats, Malmö universitet. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mau:diva-52624> [2022-10-17]
- Skånetrafiken (2020). *Lyckat tågstopp mellan Malmö och Lund*. <https://www.mynewsdesk.com/se/skanetrafiken/pressreleases/lyckat-taagstopp-mellan-malmoe-och-lund-3030112> [2022-05-31]
- Steen, A. & Zreim, A. (2022). Mockup - Kontextmedvetet resestöd vid oväntade trafikstörningar i kollektivtrafiken. Kandidatuppsats, Malmö universitet. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mau:diva-53306> [2022-10-17]
- Stelzer, A., Englert, F., Hörold, S. & Mayas, C. (2016). Improving service quality in public transportation systems using automated customer feedback. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, 259-271.
- Stenneth, L., Wolfson, O., Yu, P. S. & Xu, B. (2011). Transportation mode detection using mobile phones and GIS information. *19th ACM SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems*, pp. 54-63.
- Trafikverket (2022). *Vägledning – Annonseringstexter*. FO Trafikinformerare Järnväg, L/TR/2022:0188.
- Wunderlich, M., Ballweg, K., Fuchs, G. & von Landesberger, T. (2017). Visualization of delay uncertainty and its impact on train trip planning: A design study. *Computer Graphics Forum*, 36(3), 317-328.

Xu, H., & Ying, J. (2017). Bus arrival time prediction with real-time and historic data. *Cluster Computing*, 20(4), 3099-3106.

Yu, H., Wu, Z., Chen, D. & Ma, X. (2016). Probabilistic prediction of bus headway using relevance vector machine regression. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(7), 1772-1781.

Zhao, W., Jiang, H., Tang, K., Pei, W., Wu, Y. & Qayoom, A. (2019). Knotted-line: A Visual explorer for uncertainty in transportation system. *Journal of Computer Languages*, 53, 1-8.

Bilaga A: intervjufrågor

Inledningsvis introducerades projektet för respondenterna och begreppet ”osäkerhetsfaktorer” förklarades. Härefter ombads respondenterna att berätta om sin tidigare och nuvarande yrkesroll och tillhörande arbetsuppgifter. Efter detta ställdes följande frågor:

1. Hur arbetar ni med osäkerhet i prognoser idag:
 - a. Vilken information har ni tillgång till?
 - b. Hur används denna information internt och till resenär?
2. Om ni idag inte har tillgång till information motsvarande ”osäkerhetsfaktorer”, hur skulle sådan information kunna påverka:
 - a. Hur skulle sådan information kunna användas (internt och till resenär)?
 - b. Vilka effekter skulle detta få?
3. Vilken information har ni idag om resenärerna:
 - a. Vilken information har ni om resenärens destination och om resenären befinner sig på visst tåg eller perrong?
 - b. Vilken information har ni om annan typ av kontext?
4. Om ni idag inte har tillgång till information om resenärens destination och om resenären befinner sig på visst tåg eller perrong, hur skulle sådan information kunna påverka:
 - a. Hur skulle sådan information kunna användas?
 - b. Vilka effekter skulle detta få?
5. Hur skulle ytterligare annan information om resenärens kontext (medhavd cykel, funktionsnedsättning etc.) kunna påverka:
 - a. Hur skulle sådan information kunna användas?
 - b. Vilka effekter skulle detta få?

Bilaga B: Ovanligare orsakskoder

Orsakskod	Medelvärde	Standardavvikelse	Antal registrerade värden
DOG -	4	6,12	17
DOS -	3,07	5,34	29
DPS -	5,35	6,05	217
DPS 02	4,01	4,63	214
DPS 03	4,00	3,30	22
DTB -	21,96	27,05	21
DTT -	3,33	3,64	64
IBA 02	11,34	17,69	32
IBA 03	6,29	4,94	14
IBT -	8,78	13,13	580
IEA -	2,62	1,83	26
IEA 01	5,17	6,68	663
IEA 02	6,66	6,24	140
IEA 12	1,42	1,30	19
IFK 02	4,84	5,02	172
ISA -	4,45	4,95	135
ISA 01	4,16	4,81	260
ISA 02	4,26	5,69	185
ISA 03	7,48	12,52	854
ISA 04	5,86	7,59	456
ISA 05	5,95	7,90	731
ISA 10	8,38	12,02	76
ITA 01	1,67	0,82	6
ITA 02	3,00	2,27	8
JAS -	3,10	1,52	10
JAS 02	8,38	19,60	45
JAS 03	6,10	4,77	72
JAS 04	1,00	0	1
JAS 06	3,90	5,31	70
JDE -	6,01	18,88	80
JDE 10	1,75	1,29	12
JDE 13	2,00	1,41	14
JDE 14	3,50	0,71	2
JDE 15	2,02	2,00	62
JDE 20	5,14	3,78	14
JDE 24	1,2	1,30	5

JDE 25	4,65	4,96	78
JDM -	4,52	8,88	721
JDM 01	4,06	5,99	530
JDM 03	5,55	6,27	100
JDM 04	6,80	7,85	5
JDM 05	3,99	4,03	241
JDM 06	2,52	2,82	188
JDM 08	5,94	7,21	869
JDM 09	4,90	6,21	314
JFÖ -	5,02	5,95	223
JFÖ 01	5,60	6,91	489
JFÖ 02	4,82	5,15	76
JFÖ 03	4,45	4,92	53
JJF -	4,30	5,83	980
JOM -	2,53	2,79	38
JOM 01	5,17	12,01	163
JOM 02	1,33	0,52	6
JPR -	1,59	1,25	27
JPR 01	3,57	4,80	56
JPR 02	1,00	1,41	2
JST -	1,29	0,99	14
JTP 01	4,16	8,15	38
JTP 02	3,77	4,32	162
JTP 06	3,40	3,80	159
JTP 07	5,21	8,00	205
JTP 08	3,85	2,27	13
JTP 16	1,00	0,89	6
JVA -	3,74	3,40	46
JVA 01	6,17	8,31	93
JVA 02	5,30	6,04	33
JVA 03	7,08	6,72	26
JVA 06	4,91	5,34	22
ODJ 01	5,24	5,22	173
ODJ 02	8,51	12,15	152
OMÄ -	5,46	5,63	701
OMÄ 01	6,09	8,82	910
OMÄ 04	5,79	14,10	288
ONA 01	14,33	14,66	24
ONA 02	8,40	6,54	10
ONA 03	7,32	9,29	873

OSY -	7,59	7,30	452
OSY 01	4,95	5,16	202
OSY 02	6,57	6,10	37
OTÅ -	2,00	1,41	2
OTÅ 01	5,60	5,47	96
OTÅ 02	5,60	9,10	94
OTÅ 03	7,83	8,52	36
OTÅ 04	4,61	4,93	103
OTÅ 05	13,92	30,23	196