

BaaS – Bus as a Service

Publik rapport



Författare: Anders Fromell, ITxPT
Christian Berger, Chalmers
Håkan Burden, RISE
Gloria Chepngeno och Jonas Valkonen, Consat
Gunnar Ohlin och Jonas Höglund, Lindholmen Science Park
Marcus Anemo, Volvo Bussar
Marcus Berglund, Pilotfish
Mathias Jansson, Hogia
Mats Johansson och Jonas Stiborg, Triona
Patrik Henriksson och Sture Hedin, Västtrafik
Patrik Nilsson, Luminator Technology Group

Datum: 20250328

Projekt inom *Effektiva och uppkopplade transportsystem – EUTS*



Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary	4
3 Ordlista	8
4 Bakgrund	9
5 Syfte, forskningsfrågor och metod	11
6 Mål	12
7 Resultat och måluppfyllelse	14
8 Spridning och publicering	29
9 Slutsatser och fortsatt forskning	30
10 Deltagande parter och kontaktpersoner	32

Kort om FFI

FFI, Fordonsstrategisk forskning och innovation, är ett samarbetsprogram mellan staten och fordonsindustrin som sedan 2009 finansierar forskning och innovation inom vägtransporter.

Läs mer på www.ffisweden.se

1 Sammanfattning

Traditionellt har trafikhuvudmännen (PTA) ägt och upphandlat IT-system samtidigt som man valt att upphandla trafiken och låtit ägandeskap av fordon ligga hos trafikoperatörer/-företag (PTO). PTA har därför en begränsad kontroll över fordonsflottan, vilket innebär att installationer, underhåll och sedermera demonteringar blir dyrare och svårare att koordinera då flera parter är involverade. Parallellt har PTO och fordonstillverkare (OEM) byggt motsvarande nätverk för egna tjänster. Följden har blivit att det i kollektivtrafikfordon byggs parallella hårdvarusystem för att realisera olika tjänster ombord och en buss kan därför vara utrustad med ett flertal datorer, antenner och positioneringssystem, såsom GPS. Upplägget kan innebära förseningar i samband med leverans och eftermontage vid leverans av fordonen, samt vid trafikutförande kan onödig stress för förarna uppstå, då de blir tvungna att logga in på flera olika system och funktioner vid uppstart av fordon, som ägs och förvaltas av olika roller, PTA, PTO och OEM.

Branschen ser därför att det finns stora möjligheter och vinster med att gå över till ett mjukvarubaserat system med färre hårdvarukomponenter som bygger på att de olika parternas tjänster delar hårdvara och tjänsteutveckling kan ske på ett enklare, billigare och snabbare sätt, jämför med hur persondatorer eller mobiltelefoner uppdateras och hur olika appar kan köras i samma hårdvara. För att detta ska kunna realiseras inom kollektivtrafiken krävs ett mått av standardisering.

En målsättning för projektet och dess horisontella arbetspaket har därför varit att med ett öppet sinnelag diskutera, spana kring samt provtrycka olika frågor kring ansvarsroller kring utrustning, teknik och tjänster ombord på fordon för förare och resenärer i första hand. Olika affärsmodeller tillämpas redan idag inom branschen.

Med avseende på omvärldsläget har även frågan kring cybersäkerhet diskuterats och vilka applikationer och tjänster som kan påverkas av detta. Sårbarheter kring kommunikation och mandat kring vem som gör vad och får göra vad har diskuterats.

Ur ett upphandlingsperspektiv har frågan kring och målsättningen för hur att göra upphandlingsunderlagen tydligare och enklare att räkna på diskuterats. Kan man med viss standardisering och att generellt kunna enas kring vissa kommunikationslösningar och regelverk kring nätverkstopologi ombord på fordon göra det tydligare utan att slå undan konkurrensregler kan det bli enklare att upphandla vissa tjänster.

ITxPT är en internationell, icke vinstdrivande organisation som arbetar för att uppnå en harmonisering och standardisering inom kollektivtrafikens IT-arkitektur. Tack vare ett tidigare lyckat samarbete inom FFI-projektet RIVSILOn har organisationen etablerat ett labb i Göteborg, där BaaS-konsortiet nu har kunnat testa och utveckla nya digitala tjänster baserade på ITxPT-specifikationer.

BaaS-projektet har i olika piloter utvecklat och testat nya tjänster byggda utifrån ITxPT-specifikationerna. I vissa fall har detta till och med resulterat i kommersiella tjänster. Testerna har utförts i flera steg:

- In house hos respektive part/industripart/leverantör respektive medlemsorganisation, hos Västtrafik, PTO och produktleverantör.
- i ITxPT-lab på Lindholmen Science Park
- i en av Volvo Bussars testbäddsbussar, från ett parallellt projekt finansierat av VGR, den av testbussarna som byggts om med ett gemensamt kommunikationsnätverk ombord och med

gemensam mjukvarulösning med brandväggsregler som vidmakthållit säkerheten ombord i en ny state of the art IT-arkitektur.

Bus-as-a-Service (BaaS) har genererat insikter om nya affärsmöjligheter, utifrån ett gemensamt nätverk på fordonen, med fokus på drift och tjänsteutveckling av en harmoniserad IT-plattform. Projektet har stärkt konsortiets gemensamma kompetens på området och stärkt Sverige som ett skyltfönster för framgångsrika innovationer och produktiva samarbeten mellan samtliga aktörer i värdekedjan, inklusive konkurrerande leverantörer. Specifikt har BaaS genom ITxPT påverkat pågående och kommande internationella standardiseringsinitiativ.

BaaS relaterar till följande programområden: fordonskoncept, mobilitetstjänster, policy, affärsmodeller samt människan i systemet samt följande FFI-mål: öka forsknings- och innovationskraften i Sverige, att stärka svensk innovationskraft genom att vidareutveckla internationellt konkurrenskraftiga forsknings- och innovationsmiljöer. I projektet har industri, akademi och offentlig verksamhet i form av kollektivtrafikmyndighet, Västtrafik, med direkt medverkan av underleverantörer, samverkat. Konsortiet vill särskilt betona det stora värdet av att få möjligheten att samarbeta i den här projektformen där flera parter kan samverka i en neutral testmiljö.

I projektet har följande industriparter deltagit: Consat Telematics, Ericsson, Hogia Public Transport Systems, LTG, Pilotfish, Transdev, Triona, Tronteq, Volvo Bussar och Västtrafik. RISE och Chalmers har medverkat som forskar- och utförarparter. Lindholmen Science Park koordinerat projektet.

2 Executive summary

IT services in the public transport sector have become more complex and the number and scope of systems on board continues to increase. The different systems owned by the vehicle manufacturer (OEM), the public transport authority (PTA) or the public transport operator (PTO) are usually locked in their own silos with limited or no system integration. To enable new services and shape a more efficient public transport system, there is a need to share data in a standardized way, as well as to facilitate new services without introducing new hardware. ITxPT - Information Technology for Public Transport - is an international association that promotes the implementation of standards for IT systems in the public transport sector. ITxPT also strives for an open data-centric model where different actors and different systems can provide and access all relevant information efficiently for a wide range of purposes.

Traditionally, transport authorities have owned and procured IT systems while choosing to procure traffic and leaving ownership of vehicles with transport operators/companies. Transport authorities therefore have limited control over the vehicle fleet, which means that installations, maintenance and later dismantling become more expensive and more difficult to coordinate when several parties are involved. In parallel, operators and vehicle manufacturers have built corresponding networks for their own services. The result has been that parallel hardware systems have been built in public transport vehicles to implement different services on board and a bus can therefore be equipped with several computers, antennas and GPS systems. This arrangement can mean delays and unnecessary stress for drivers as they are forced to log in to several different systems when starting the vehicle.

The industry therefore sees great opportunities and benefits in moving to a software-based system with fewer hardware components that is based on the fact that the different parties' services share hardware. Service development can be done in a simpler, cheaper and faster

way, similar to how personal computers or mobile phones are updated and how different apps can run on the same hardware. In order for this to be realized in public transport, a measure of standardization is required.

One goal of the project and its horizontal work package has therefore been to discuss, explore and test various issues regarding responsibilities regarding equipment, technology and services on board vehicles for drivers and passengers in the first place. Different business models are already being applied today in the industry.

With regard to the external situation, the issue of cybersecurity has also been discussed and what applications and services can be affected by this. Vulnerabilities around communication and who does what and who is allowed to do what have been discussed.

From a procurement perspective, the issue and goal of how to make the procurement documents clearer and easier to calculate have been discussed. If, with some standardization and being able to generally agree on certain communication solutions and regulations regarding network topology on board vehicles, it can be made clearer without setting aside competition rules, it may be easier to procure certain services.

ITxPT is an international, non-profit organization that works to achieve harmonization and standardization within the IT architecture of public transport. Thanks to a previous successful collaboration within the FFI project RIVSILOn, the organization has established a lab in Gothenburg, where the BaaS consortium has now been able to test and develop new digital services based on ITxPT specifications.

The BaaS project has developed and tested new services built on the ITxPT specifications in various pilots.

The 9 pilots that have been completed are the following. The responsible organization is first in each title.

1. Västtrafik - Signage control

Within the framework of BaaS, Västtrafik were given the opportunity to further develop the proprietary software we had used in the test lab for evaluating signs to a more open and generic solution. Identifying possible components in a system with modular sign control, and the information these components need to exchange, formalizing the information exchange into something that could become the open protocol for sign control that we had been missing. Testing in the BaaS-laboratory and then test run an implementation of the protocol in the project's test vehicles.

2. Luminator - Screen control

This pilot focused on demonstrating how current legacy systems can be integrated into an ITxPT-compliant architecture, while testing and validating a new generation of HTML5-based internal displays and web-based software solutions.

3. Hogia – Bus stop detection on board a virtual environment

With this pilot, Hogia wanted to test and show how to keep track of the location onboard the vehicle, i.e. where the bus is geographically and at what time during a certain bus trip, in order to be able to communicate this, among other things to passengers, but also to the back office. This was done in a virtual environment, i.e. with Hogia's software located in another party's hardware.

4. ITxPT - Shared network

The main focus of “Shared Network” is the architecture on board vehicles, but with the knowledge that data needs to be exchanged with multiple parties' back office systems in a secure manner.

5. Pilotfish - Integration architecture and information logistics

During this pilot, we have been able to set requirements, implement and, above all, verify a concept that aims to facilitate daily work with on-board equipment in open architectures.

6. Consat - Air conditioning and energy consumption

Public transport is undergoing a sustainability transition in the energy area with the introduction of electric buses and an increased focus on energy efficiency. HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) is a critical system for the experience on board the bus and in some situations when it is very cold or hot outside, the HVAC system can account for over half of the energy consumption on the bus.

7. Chalmers - Vehicle-related data

A modern public transport system operating in metropolitan areas consists of buses, trams, metros, flexible on-demand lines and taxis. The majority of these vehicles provide their services to the public on predefined routes on a frequent and regular schedule - only every few minutes during rush hour. For some time now, this transport system has been facing an ongoing digitalization on board these vehicles and outside these vehicles to improve operations, maintenance and to enhance the customer experience.

8. Triona - Implementation of Docker in vehicle equipment

In this pilot, the fact that solutions for virtualization have developed greatly, where the Docker concept now has a clear leading position in the field, it was decided to test whether and how this can be used in vehicles.

9. ITxPT – ITS power management and power distribution

This pilot aimed at testing the control and distribution of power supply to ITS systems through multiple PDUs (Power Distribution Units) to gain better control when equipment is on and off.

In some cases, this pilot work has even resulted in commercial services. The tests have been carried out in several stages:

- In-house at the respective party/industry party/supplier and the respective member organization, PTA, PTO and product supplier.
- in the ITxPT lab at Lindholmen Science Park
- in a Volvo Bus testbed bus.

The project partners emphasize that the breadth of the actor constellation has enabled technical advances in a short time that would otherwise have taken longer. A strength is the cluster and the composition of the consortium itself, but also the method with short lead times for lab tests, bus tests in real traffic, etc.

The lab environment serves as a neutral meeting place where parties in the consortium can address common problems, experiences and challenges. The specific ITxPT lab also allows for the implementation of certain tests without the direct participation of PTOs, which is important as these often have limited resources to participate in this type of innovation projects.

The parties are very positive about the fact that FFI Vinnova has been able to co-finance the innovation project. The project has given the parties an opportunity to look beyond our daily operations and, under expert guidance, develop and test together. Below are some fragments and suggestions for areas to be developed and investigated further as a continuation of BaaS.

Virtualization is still not implemented in IT for public transport, but the sector is on the right track. The various public transport authorities (PTAs) in Sweden work in different ways with requirements for PTOs and their vehicle fleets, and national harmonization is desirable. For example, a PTA can apply the model of not specifying, let alone owning, the equipment on board at all, but only being interested in the data sent from vehicles and operators to follow up on contract terms and how the operation works, number of passengers, punctuality, etc. Another PTA can set very specific requirements for equipment on board and also install its own equipment. The different procurement requirements create different business models that the traffic operators (PTO) must relate to. The project has addressed this in the thematic work packages, but work should continue with harmonization and preferably standardization of how, among other things, data communication should take place in a complex network architecture.

Responsibilities are changing through virtualization and it needs to be clarified who is responsible for ensuring that the various systems on board function and deliver. Västtrafik (regional PTA) will soon test placing more of the responsibility for traffic and disruption information on the operator.

Since the change work is about an operational application of technology issues in a real environment, the continued work also includes how to handle so-called legacy systems, i.e. how new and old systems, both in the form of hardware and software, can coexist during a transition period.

Enabling a kind of standardization and raising the technical lowest common denominator, without thereby overturning competitive conditions, could give both PTA and PTO, as well as their subcontractors, clearer frameworks and specifications and make it cheaper to procure and produce. This is an area that the parties consider important to continue working on. To facilitate continued virtualization, the parties propose that ITxPT should prepare and set regulations for multiple MQTT brokers.

Docker and networks/VLANs – how to manage service advertising and inventory as well as sharing services on a shared network has been. Authentication and addressing are interesting to look at in more depth in this case, in collaboration.

Modularized signage control works well but is based on agreeing on a standard protocol for graphic-based sign control. Work on the MOMS specification continues after the project. This with minor adjustments based on observations made along the way, and with the goal of being able to agree with relevant actors (former signage suppliers) on a specification that they believe they can implement in the screens. When this is achieved, there will finally be an open protocol for graphic-based sign control.

It has long been well known that HVAC systems can consume a lot of energy, sometimes even more than the propulsion of the vehicle. The integration of smart control of HVAC with other systems is therefore important. In order to improve energy efficiency, data from the bus's HVAC system and other local ITS systems needs to be able to be shared locally in the bus.

Finally, cyber security is a very important area where there is much more to both learn and do regarding what is safest and smartest. Major PTAs in Sweden will work together on what the PTAs can develop together. Tests and external analyses show that models and methodology should be investigated/researched on an ongoing basis, preferably in a format similar to BaaS.

Bus-as-a-Service (BaaS) has generated insights into new business opportunities, based on a interconnected network on the vehicles, with a focus on operation and service development of a harmonized IT platform. The project has strengthened the consortium's joint expertise in the area

and strengthened Sweden as a showcase for successful innovations and productive collaborations between all actors in the value chain, including competing suppliers. Specifically, BaaS has influenced ongoing and upcoming international standardization initiatives through ITxPT.

BaaS relates to the following program areas: vehicle concepts, mobility services, policy, business models and people in the system as well as the following FFI goals: increase research and innovation power in Sweden, to strengthen Swedish innovation power by further developing internationally competitive research and innovation environments. In the project, industry, academia and public sector here represented by the public transport authority, Västtrafik, with direct participation of subcontractors, have collaborated. The consortium would particularly like to emphasize the great value of having the opportunity to collaborate in this project format where several parties can collaborate in a neutral test environment.

The following industrial partners have participated in the project: Consat Telematics, Ericsson, Hogia Public Transport Systems, LTG, Pilotfish, Transdev, Triona, Tronteq, Volvo Bussar and Västtrafik. ITxPT has participated as a central part reflecting their role as a non profit organisation with the aim to enable interoperability between IT systems in public transport. RISE and Chalmers have participated as research partners. Lindholmen Science Park has coordinated the project.

3 Ordlista

ADAS	Advanced Driver Assist System
AEB	Automated Emergency Braking
AVMS	Advanced Vehicle Monitoring System
Adapter	Här: teknik för översättning av protokoll
Back office	Interna funktioner och processer som stöder företagets kärnverksamhet
Back end	Den del av IT-systemet som inte finns ute i bussen men som kommunicerar/utbyter data med bussen
Broker	En central funktion som tar emot alla meddelanden och vidarebefordrar dem, med de anpassningar som behövs, till rätt mottagande system
Container	Programvarupaket som paketerar koden för ett program tillsammans med relaterade konfigurationsfiler och bibliotek, och med de beroenden som krävs för att appen ska köras
Dashboard	Gränssnitt för övervakning av tjänster och utrustning
mDNS	multicast Domain Name System
DNS-SD	Domain Name System Service Discovery
Docker	Docker är ett verktyg som används för att automatisera distributionen av applikationer i containers så att applikationer kan arbeta effektivt i olika miljöer isolerat.
FHD	Full High Definition (upplösning antal pixlar skärm)
Frontend	Den del av IT-systemet som finns ute i bussen och som kommunicerar/utbyter data med back end
Gateway	En enhet som fungerar som en koppling mellan olika tillgängliga nätverk
GenAI	Generativ AI är en artificiell intelligens som bygger på mönster och strukturer som den har lärt sig från befintliga data och tidigare input. GenAI använder sedan modeller och algoritmer för att generera nytt innehåll eller data.
GNSS	Global Navigation Satellite Systems – GNSS – är ett samlingsnamn för satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystem.
GUI	Ett grafiskt användargränssnitt, graphical user interface, är en metod för att underlätta interaktion mellan människa och dator.
HTML	HTML (Hypertext Markup Language) är en textbaserad metod för att beskriva hur innehållet i en HTML-fil är strukturerat. Denna markering talar

	om för en webbläsare hur man visar text, bilder och andra former av multimedia på en webbsida.
Host	Värd för tjänst
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning
ICU602	Styrenheten ICU602 behandlar alla protokoll och information för alla Luminator-displayer
IP	Internet Protocol
Image	Avbildning av arbetsmiljö(digital) för applikation eller operativsystem
ITXPT	Information Technology for Public Transport
Legacyssystem	Befintliga och ibland även gamla system som finns i fordon och i back office
MOMS	Modular Matrix Display System
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport är ett standardbaserat meddelandeprotokoll, eller uppsättning regler, som används för maskin-till-maskin-kommunikation. Smarta sensorer, bärbara enheter och andra Internet of Things-enheter (IoT) måste vanligtvis sända och ta emot data över ett resursbegränsat nätverk med begränsad bandbredd.
NN	Neurala nätverk
OEM	Original Equipment Manufacturer
On demand	Beställningstrafik
PDU	Power Distribution Unit
POC	Proof of Concept, testutförande
PTA	Public Transport Authority
PTO	Public Transport Operator
Renderare	Funktion som bygger en grafisk bild baserat på mallar och annan digital input
SD-WAN	Software Defined - Wide Area Network. Med SD-WAN separerar man styrning, inställningar och övervakning (kontrollplanet) från den utrustning som kopplar kommunikationen (dataplanet).
TFT	Thin Film Transistor
THM	Trafikhuvudman (Public Transport Operator)
TID	Trafikinformatiönsdator (fordonsdator med enbart THM-funktioner)
URL	En URL, eller Uniform Resource Locator, är adressen till en hemsida eller webbsida på nätet.
Use case	Användarfall
VCG	Vehicle Communication Gateway
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Association of German Transport Companies)
VLAN	Virtual Local Area Network
VLM	Vision Language Model

4 Bakgrund

Historiskt sett har kollektivtrafikhuvudmännen (Public Transport Authority, PTA) ägt och upphandlat IT-system och nätverk som de behövt för sin verksamhet ombord på fordonen. Detta kan vara ett kostnadseffektivt alternativ om man som huvudman även äger fordonen. I dagsläget upphandlar de flesta PTA trafiken och ej fordonen och har därmed en begränsad kontroll över fordonsflottan.

Detta innebär att installationer, demonteringar och underhåll blir avsevärt dyrare och svårare att koordinera då flera parter är involverade. Sedan ett antal år tillbaka har PTA i trafikupphandlingar börjat lämna över ägandeskap av delar av IT-systemen och vissa funktioner till operatörer (Public Transport Operator, PTO), som även äger fordonen.

Parallellt bygger även PTO och i förekommande fall även fordonstillverkare (Original Equipment Manufacturer, OEM) motsvarande IT-nätverk i fordonen för egna tjänster. Ett och samma fordon kan därmed ha tre olika nätverk som drivs av olika aktörer. Dessa nätverk kan ha överlappande funktionalitet utan att nödvändigtvis kunna dela data och tjänster. Upplägget innebär tex att föraren vid uppstart av fordon är tvungen att logga in på flera olika system. Detta tar tid och leder ibland till försenad avgångstid från första hållplats. Inloggning sker även vid förarbyte under omloppet vilket kan orsaka onödig stress för föraren.

Både PTA och PTO önskar att OEM:er kan leverera en mer standardiserad basplattform med en flexibel IT- och kommunikationsmiljö som ger förutsättning att utgöra värd för olika tjänster, likt en applikationsmiljö i en smartphone. Fordonen skulle således kunna utnyttjas effektivare under sin förväntade livslängd. Detta skulle möjliggöra för PTA och PTO att, vid inköp av fordon, kravställa en standardiserad plattform för att säkerställa funktion utan att begränsa eller sätta konkurrensmöjlighet ur spel samt minimera behovet för eftermontering av utrustning vid leveranser och trafikstart.

Harmoniseringen av IT-arkitekturen öppnar i förlängningen upp kollektivtrafiken för snabbare, mjukvaruorienterad, tjänsteutveckling av fler aktörer. En jämförelse kan göras med hur appindustrin fick fart när mobiltelefonerna fick tydliga gränssnitt för dataåtkomst och därmed kunde fungera som standardiserade plattformar för tjänsteutvecklare.

På samma sätt finns ett behov att harmonisera den information som hanteras så att befintliga och nya aktörer enkelt kan hitta och i realtid ta del av all för dem relevant information och detta på ett entydigt sätt med informationen uppdelad och utformad så att den enkelt kan användas för olika syften.

Den icke-vinstdrivande organisationen ITxPT (Information Technology for Public Transport, itxpt.org) arbetar för att uppnå interoperabilitet och standardisering inom kollektivtrafiken. Organisationen växer snabbt och har medlemmar bestående av PTA, PTO, OEMer och IT-leverantörer från hela världen som tillsammans utvecklar en öppen IT-arkitektur som främjar datatillgänglighet och interoperabilitet mellan olika IT-system, baserat på existerande standarder och nya specifikationer. ITxPT, som har sitt huvudkontor i Bryssel, valde 2019 att vid sidan av ett laboratorium i Paris etablera ett andra kontor och laboratorium och valet föll på Lindholmen i Göteborg mycket tack vare ett lyckat samarbete mellan flera aktörer inom FFI-projektet RIVSILOn ¹ finansierat av Vinnova respektive Västra Götalandsregionen. I RIVSILOn samarbetade ITxPT tillsammans med Västtrafik, AB Volvo, Ericsson, RISE och ett flertal underleverantörer med test och utveckling av nya digitala tjänster baserade på ITxPT-specifikationerna. Projektet visade på vikten av att få konkurrenter, köpare och säljare, att mötas i en gemensam ansats att driva utvecklingen framåt, från proprietära och inlåsta IT-silos till gemensamma och harmoniserade system. Tester och demonstrationer genomfördes i labb men även i verklig operativ miljö på linje 55 och EL16 i Göteborg under ramen för ElectriCity-samarbetet.

¹ <https://www.vinnova.se/p/rivsilon---regionalt-initiativ-till-virtuella-och-samverkande-informationsystem-for-lokaltrafiken/>

5 Syfte, forskningsfrågor och metod

BaaS-projektet är en direkt fortsättning på RIVSILOn, med likartat syfte, likartade forskningsfrågor och likartad metod men där av naturliga skäl innehåll, frågeställningar och partnerskap skiljer sig något på grund av den utveckling branschen är mitt inne i. Nedan följer en kortfattad beskrivning av respektive punkt.

5.1 Syfte

Projektets syfte har varit att förbättra och effektivisera hanteringen av IT-system för vägbunden kollektivtrafik samt att stärka den svenska innovationsförmågan genom samarbete med små och stora företag, både regionalt och internationellt.

5.2 Forskningsfrågor

Utvecklingen av IT-system för kollektivtrafik går mot ett mer mjukvarubaserat ekosystem där system kan uppdateras och förbättras löpande. Samtidigt ökar mängden system och funktioner /tjänster i fordonen när ny teknik i form av sensorer, kameror, skärmar mm blir billigare att införa och kan skapa värde för resenärer, operatörer och huvudmän. Traditionellt har de olika systemen i fordonen byggts upp parallellt och mjukvara har varit kopplat till separat hårdvara. Komplexiteten har ökat. Mängden datorer i fordonen har ökat, likaså antalet antenner och GPS-mottagare. Fordonen är numer uppkopplade mot back office hos tillverkare, operatör och huvudman. Sammantaget är varje uppkopplat fordon idag en del av en PTAs datasystem. Därmed är systemet känsligt för cyberintrång då varje fordon i sig utgör en möjlighet att via fordonet göra intrång i back office/datahall.

De tidigare siloliknande IT-systemen ersätts gradvis av ett nätverksbaserat system där tillverkarens, operatörens och huvudmannens IT-system kopplas ihop och där mjukvara kan frikopplas från hårdvara (virtualisering). Genom att koppla ihop de olika nätverken möjliggörs datadelning, med bibehållen säkerhet, inom fordonet mellan olika system vilket i sin tur möjliggör nya tjänster. Virtualisering innebär ett samnyttjande av datorer och att antalet fordonsdatorer potentiellt kan minskas. Antalet GPS-mottagare och antenner kan också potentiellt minskas. Men denna utveckling mot ett sammankopplat IT-nätverk öppnar också för nya risker och hot.

Fyra huvudsakliga forskningsområden har identifierats för BaaS:

- Cybersäkerhet – hur kan uppkopplade kollektivtrafikfordon förbli skyddade mot dataintrång?
- Virtualisering – hur kan proprietär mjukvara skyddas och samtidigt fungera säkert i systemet med delade hårdvaruresurser?
- Resiliens/Robusthet – hur bygger man ett robust nätverksbaserat system med bra redundans till låg kostnad?
- Affärsmodeller – hur säkerställer man att någon tar ansvar för att systemet fungerar när gränser för ägande blir mindre tydliga i ett nätverksbaserat system?

5.3 Metod

Metoden är i princip samma som användes i RIVSILOn med praktiska piloter som testar och demonstrerar samt gemensamma möten för att diskutera erfarenheterna från piloterna i ett större perspektiv.

Processen för test i labmiljö och i kollektivtrafikfordon (i förekommande fall) görs i följande steg:

0. Förberedande test i projektparts egen miljö i den utsträckning det är möjligt.

1. Integrationstestning i ITxPT-labbet, i samråd med ITxPT.
2. Säkerställande av överensstämmelse med existerande eller kommande ITxPT-specifikationer. För vidare test i kollektivtrafikfordon i linjelagd trafik och med riktiga passagerare:
3. Godkännande av huvudman utifrån resenärens perspektiv (intern tjänstedesignprocess).
4. Godkännande enligt operatören utifrån påverkan på verksamheten och föraren.
5. Godkänd enligt fordonstillverkaren utifrån produktens helhetsperspektiv.
6. Integrationstest och acceptanstest i fordon för att säkerställa att systemet gör rätt på rätt sätt.

Projektet har varit del av ElectriCity-samarbetet i Göteborg där Västtrafiks del härbärgerats under utvecklingsenheten samt innovationsarenan där service design-metoden tillämpas. Metoden baseras på respons från djupintervjuer med resenärer av olika bakgrund och preferenser. Västtrafiks innovationsarena har därigenom haft en direkt påverkan på projektet eftersom pilottester i verklig trafik behövt godkännas av Västtrafiks innovationsarena för att kunna demonstreras på fordon i Västtrafiks regi. Samtidigt vill vi betona att just dessa tester i linjelagd trafik gett resultat som annars varit mycket svårt att återge i lab-miljö. I vissa testfall har vi gett resenärer tillfälle att få åka med, fast vi då blockerat första dörren m a p att teknikutrymmet då har spärrat vägen vid föraringången där den är placerad i taket. Detta har uppskattats av flera resenärer som nyfiket frågat om vad vi gjort. Även vi som utfört dessa flertalet tester har också vi uppskattat den närhet till slutkund vi upplevt.

6 Mål

Huvudmålen med projektet enligt ansökan har inte förändrats. Dessa har varit

- att generera insikter om nya affärsmöjligheter, utifrån ett gemensamt nätverk på fordonen, med fokus på drift och tjänsteutveckling av en harmoniserad IT-plattform.
- att stärka vår kompetens på området och etablera Sverige som ett skyltfönster för framgångsrika innovationer och produktiva samarbeten mellan samtliga aktörer i värdekedjan, inklusive konkurrerande leverantörer
- att utifrån projektresultaten påverka pågående och kommande internationella standardiseringsinitiativ, men också på nationell nivå.

I ansökan beskrevs att projektets innovationshöjd bestod i att bygga ny kunskap. Den gemensamma IT-plattformen skulle skapa förutsättningar för att erhålla ny kunskap om både teknik och affär relaterade till ett nytt fordonskoncept. Cybersäkerhet var ett tema som skulle utforskas mer konkret och ett exempel på hur teknik och affär hänger ihop. Detta har inte förändrats nämnvärt under projektiden. Cybersäkerhet är ett område som samtliga projektparter tvingats arbeta mer med också vid sidan av projektet, bland annat beroende på ökad kravställning i upphandlingar.

Konkreta exempel på hur (ITxPT-)specifikationerna kan användas för demonstration av nya tjänster och produkter skulle visas. I relation till RIVSILOn var det dels utifrån en ny IT-arkitektur med delad nätverksinfrastruktur i fordon och nya tjänster med erbjudanden mot delvis nya intressenter i ekosystemet.

Målsättningen i relation till Delprogrammets (EUTS) programområde var enligt ansökan att BaaS skulle relatera till fem av delprogrammets områden - fordonskoncept, mobilitetstjänster, policy, affärsmodeller samt människan i systemet, se nedan.

- I. Anpassade fordonskoncept: Genom att demonstrera piloter på en buss med en standardiserad IT-plattform kommer dels ett nytt fordonskoncept visas för omvärlden, dels visas hur det konceptet kan anpassas för olika aktörers behov och ändamål. Målsättningen har inte förändrats under projektiden.

- II. Fordons- och mobilitetstjänster:
 - a. Hur data kan samlas in och behandlas på bussen och/eller back-office för att ge underlag för service- och underhållstjänster till stödsystem utanför bussen skulle undersökas. Hur den informationen tillgängliggörs för tredje part så att inte personuppgifter eller affärskritiska detaljer blir allmänt tillgängliga men nya affärer möjliggörs skulle vara en aspekt av arbetet. Målsättningarna här har inte förändrats.
 - b. Förarstöd-tjänster som minskar den kognitiva belastningen samt effektiviserar förarbyte när bussen är i linjetrafik skulle undersökas i förhoppningen att förarna skulle uppleva mindre stress i situationer där tid är en begränsad resurs. Piloten som skulle testa enkel inloggning för förare har tyvärr inte kunnat genomföras.
 - c. Ytterligare en pilot skulle visa på nya tjänster för resenärer (för skyltstyrning) –

- III. Regelverk, standardisering och styrmedel: Ett område ofta hänvisat till som policy, vilket berör ansvarsfrågor och avtalsrätt avseende komplexa produkter samt myndigheters och övriga parterns åtkomst, användande och spridande av information kopplat till förare och fordon, samt konkreta inspel för att validera och inspirera det internationella standardiseringsarbete som ITxPT bedriver. Målsättningarna har inte förändrats.

- IV. Affärsmodeller kopplat till ny innovativ teknik: Målsättningen att vidareutveckla modeller för en förenklad upphandling av IT-system för kollektivtrafiken samt hur systemet ska underhållas och driftas över tid har inte förändrats.

- V. Människan i det förändrade systemet: Nya tjänster framtagna utifrån viljan att begränsa hur det uppkopplade transportsystemet påverkar säkerheten samt upplevelsen av stress såväl för förarna som resenärerna. Målsättningen har ej förändrats avseende resenärernas upplevelse, men piloten som skulle testa enkel inloggning för förare har tyvärr inte kunnat genomföras, se II b ovan.

FFI-målen

BaaS relaterar först och främst till fyra av FFIs övergripande mål. De två första är att *öka forsknings- och innovationskraften i Sverige* samt att *stärka svensk innovationskraft genom att vidareutveckla internationellt konkurrenskraftiga forsknings- och innovationsmiljöer*. Huvudsakligen har målen uppfyllts genom användningen av det etablerade labbet i ITxPTs regi (ett resultat av RIVSILOn) på Lindholmen samt testbädden i form av fordon i linjetrafik i Göteborg för test och validering av nya tjänster och standardiseringsinitiativ. Projektet har varit ett samarbete mellan industri, akademi och offentlig verksamhet (Västrafik) med direkt medverkan av underleverantörer i det praktiska arbetet såväl som i de seminarier och workshops som genomförts. Genom den starka kopplingen av projektet till ITxPT-organisationen som framför allt europeisk men också internationell aktör och genom att samtliga industriparter är internationellt verksamma har arbetet i projektet relaterat till de globala trender och förändringar som branschen genomgår.

Till sin natur är har projektet i enlighet med ansökan varit utmaningsdrivet och projektets resultat förväntas direkt påverka framtida standardiseringsinitiativ, både i form av inriktning och konkreta specifikationer. Projektet kommer därmed påverka kommande specifikationer från ITxPT under 2025/2026.

I ansökan antogs att de privata aktörerna skulle använda resultaten från projektet för att utveckla sitt erbjudande på marknaden inom ett år efter att projektet avslutats. Målsättningen här har inte förändrats och i vissa fall har nya tjänster redan kommersialiserats, se vidare pilot 2, 3 och 5. I vilken takt en offentlig aktör kan realisera resultaten beror på hur upphandlingen av de existerande avtalen ser ut och kan därför ta längre tid att realisera. Utrullningen kan därför komma att ske etappvis allt eftersom de olika avtalsområdena upphandlas.

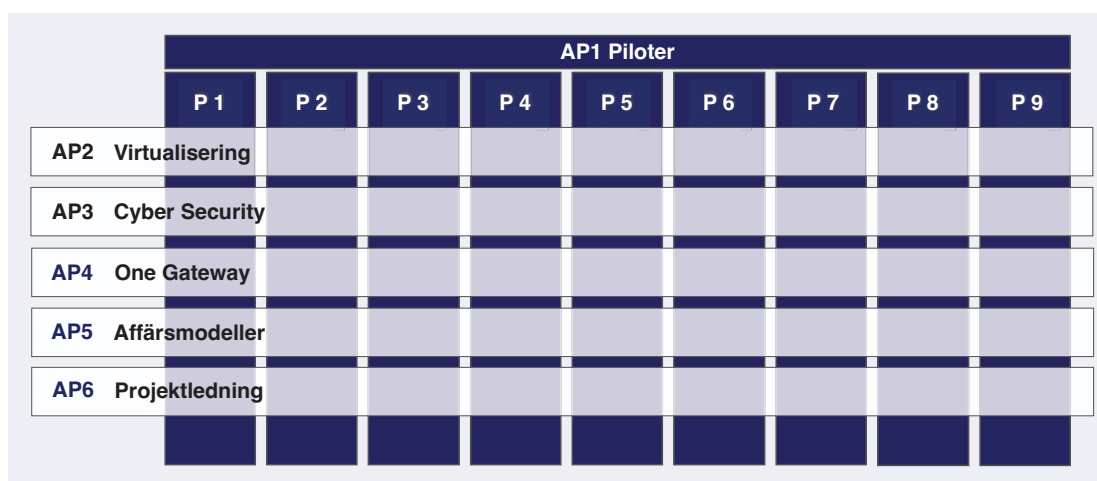
Koppling av BaaS-innehåll till EUTS-mål och FFIs övergripande mål:

BaaS	EUTS	FFI / Samhälle
Förbättrad skylt- och skärmstyrning	Tillfredsställa människors mobilitetskrav genom att göra kollektivtrafiken mer effektiv för resenärer samt stötta förarna i deras nya arbetsrutiner	Minskar vägtransporternas miljöpåverkan genom att göra kollektivtrafiken mer attraktiv
Virtualisering och delat nätverk	Möjliggöra nya tjänster för elektrifierade fordon samt analys av delade data, tex förbättrad energy management genom delning av data i ett nätverksbaserat IT-system	Minskar vägtransporternas miljöpåverkan genom en effektivare hantering av fordon, fordonsflottor och persontransporter samt genom nya tjänster och möjligheter för elektrifierad mobilitet
Virtualisering Delat nätverk Affärsmodeller	Förbättrad samhälls- och företagsekonomi genom förenklade och mjukvarubaserade IT-system vilket förenklar för OEM och PTO samt ger ett effektivare användande av skattemedel	Minskar vägtransporternas miljöpåverkan genom en effektivare hantering av fordon, fordonsflottor och persontransporter samt genom nya tjänster och möjligheter för elektrifierad mobilitet
Virtualisering Delat nätverk One Gateway Affärsmodeller Cyber Security	Fördjupad förståelse av kollektivtrafikens kravbild för IT-infrastruktur i form av gränssnitt för datadelning, affärsmodeller samt styrning av trafik	Stärker Sveriges internationella konkurrenskraft inom kollektivtrafiken

7 Resultat och måluppfyllelse

Projektet har, i likhet med det tidigare projektet, lett till ett antal konkreta resultat, och i vissa fall till och med till kommersialisering av produkt/tjänst. Projektets natur av samverkansprojekt med testbäddskaraktär har också bidragit till andra, indirekta resultat som är minst lika viktiga. Den kunskap som delats och det erfarenhetsutbyte som skett inom projektet och externt har uppskattats av projektparterna.

Projektet har varit organiserat i vertikala och horisontella arbetspaket enligt figur nedan.



Figur 1 Projektets organisation med vertikala och horisontella arbetspaket.

Ambitionen i ansökan 2021 var att genomföra 8 piloter. Under projektets gång har två av de ursprungligen planerade piloterna inte kunnat genomföras samtidigt som 3 nya, icke planerade piloter tillkommit.

De 9 piloter som genomförts är:

1. Västtrafik - Skyltstyrning
2. Luminator - Skärmstyrning
3. Hogia - Hållplatsdetektion ombord på virtuell miljö
4. ITxPT - Delat nätverk
5. Pilotfish - Integrationsarkitektur och informationslogistik
6. Consat - Klimatisering och energiförbrukning
7. Chalmers - Fordonsrelaterad data
8. Triona - Implementation av Docker i fordonsutrustning
9. ITxPT – ITS Power management och power distribution

7.1 Resultat av piloter

Piloterna har huvudsakligen genomförts med två eller flera projektparter som samarbetat för att kunna realisera funktionen. Nedan redovisas resultat från genomförandet av projektets piloter.

Pilot 1 Västtrafik - Skyltstyrning

Västtrafik har idag en lösning för styrning av matrisskyltar ombord – framför allt exteriöra skyltar för visning av linje och destination.

Denna har existerat och varit i framkant i snart 20 års tid, då den på ett rationellt sätt hanterar det faktum att den ger lågupplösta matrisskyltar en enastående förmåga att presentera information med god läsbarhet.

Förutsättningen för detta är att man arbetar med presentationstekniken utifrån just att det är en lågupplöst matris där varje pixel måste tas tillvara – men dagens lösning är inte fri från komplexitet.

Presentation på en lågupplöst matrisskylt är inte nödvändigtvis komplext, men mycket speciellt. Komplexiteten uppstår dels i att presentationslogiken idag bor helt och hållet i trafikinformationsdatorn, TID, som också innehåller många andra funktioner. TID'en är i sig är en specifik produkt från en specifik leverantör, och startsträckan för en annan leverantör för att åstadkomma något likvärdigt är mycket lång. Den stora fördelen med dagens lösning är att där trafikinformations-

datorn i realtid producerar varje budskap och förser varje skylt med grafik – att det inte finns något öppet protokoll för att just förse matrisskyltar med grafiska bilder i realtid.

Inom ramen för BaaS fick vi möjlighet att vidareutveckla den egenutvecklade mjukvara vi använt i testlabb för utvärdering av skyltar, identifiera möjliga komponenter i ett system med modulär skyltstyrning och den information dessa komponenter behöver utbyta, formalisera informationsutbytet till något som kan bli det öppna protokoll för skyltstyrning som vi saknat och sedan testköra en implementation av protokollet i projektets testfordon. Arbetet har i första hand skett tillsammans med ITxPT.

Vår slutsats är att det koncept vi testat är fullt genomförbart – det är möjligt att införa modulär skyltstyrning utan att ge avkall på funktion och/eller prestanda, och det utkast till protokoll som vi tagit fram har potential att bli ett öppet protokoll för skyltstyrning.

För mer info och vidare läsning se Bilaga 1 - Pilot 1 - Skyltstyrning, Västtrafik

Pilot 2 Luminator - Skärmstyrning

Pilot 2 fokuserade på att demonstrera hur nuvarande legacy-system kan integreras i en ITxPT-kompatibel arkitektur, samtidigt som en ny generation av HTML5-baserade inre skärmar och webbaserade mjukvarulösningar testades och validerades. Syftet var att utveckla en flexibel och framtidssäker plattform för dynamisk passagerarinformation, möjliggöra en gradvis migrering till ITxPT-standarder och stödja digitalisering och innovation inom kollektivtrafiken.

Genomförande och resultat

Projektet omfattade både labbtester och live-tester i en riktig bussmiljö för att validera lösningens funktionalitet och anpassningsförmåga i olika scenarier. De viktigaste resultaten inkluderar:

- **Hybridintegration mellan legacy och ItxPT** – att äldre system och moderna ITxPT-standarder kan samexistera, vilket möjliggör en stegvis migrering av fordonsflottor till ItxPT
- **Användning av HTML5-baserade inre skärmar** vilket gav möjlighet till flexibel och användarvänlig innehållshantering.
- **Användning av verktyg** som ger huvudmännen full kontroll över innehållet och förenklade hanteringen av flera HTML-baserade källor, vilket förbättrade både effektivitet och flexibilitet.
- **Plug and play-funktionalitet** och användning av ITxPTs DNS-SD (service discovery) för snabb installation och enkel automatisk integration i nätverket vilket minskar behovet av manuell konfiguration och gör underhåll av systemet snabbare och enklare.
- **Digital tvilling och diagnostik via MQTT vilket ger möjlighet till** realtidsövervakning via webapp där användare kunde spegla skärminnehållet, även om de inte var anslutna till bussens lokala nätverk.

Lärdomar från projektet

Plug and play. Standardisering är avgörande för att uppnå plug and play-funktionalitet, inte bara för data enligt ITxPT men även för innehåll. För att uppnå detta med webb-baserat innehåll krävs det en tjänst i fordonen för att dela ut URL till rätt skärm. Här kan ITxPT spela en viktig roll genom att tillsammans med VDV arbeta för att förbättra och utveckla en gemensam standard för skyltstyrning och integration.

Webbaserade skärmar kräver robust hantering. Flexibiliteten med webbaserade skärmar kräver stabila lösningar för att hantera vilken webapp som ska visas när, samt hur felhantering hanteras

Serverplacering påverkar prestanda. Lokala, centrala och molnbaserade servrar har olika för- och nackdelar. Valet påverkar prestanda, underhåll och flexibilitet. Standardiserad kommunikation och konfiguration behövs för att säkerställa en smidig lösning oavsett placering.

Hybridlösningar möjliggör övergång till ITxPT. ICU602i-enheter visade att legacy-system kan kombineras med ITxPT-standards, vilket gör det möjligt att gradvis migrera till modernare lösningar utan stora investeringar.

Webbaserat innehåll är framtiden. Webbaserade lösningar är framtiden för passagerarinformation, men fortsatt arbete med standardisering och förbättrad innehållshantering krävs för att göra systemen robusta och användarvänliga.

För mer info se Bilaga 2 - Pilot 2 - Skärmstyrning med bilder, Luminator

Pilot 3 Hogia - Hållplatsdetektion ombord på virtuell miljö

Med piloten ville Hogia testa och visa hur man ombord fordonet, och i en virtuell miljö, dvs Hogias mjukvara ligger i en annan parts hårdvara, kan hålla reda på hur man ligger till under en viss busstur, dvs var är man geografiskt och i är man rätt i tid för att kunna kommunicera detta, bland annat till passagerare, men även till back office.

Virtualisering genom containerisering används alltmer inom både molnlösningar och fordonsindustrin. Hogias mål var att undersöka möjligheten att arbeta hårdvaruneutralt och undvika specialanpassade applikationer för olika processorarkitekturer. Detta förenklar hantering, minskar kostnader och säkerställer enhetlig drift oavsett plattform.

Projektet genomfördes i tre steg: initiala tester, provkörning i ITxPT-labb och slutligen tester i en buss. Mjukvaran integrerades i befintliga system och utvärderades av en kund. Positiva resultat ledde till beslut om produktifiering och fortsatt utveckling.

En viktig aspekt var att TransitClouds beräkningslogik flyttades till en egen AVMS-modul, som detekterar hållplatsstopp och skapar tidsstämplade rapporter. Mjukvaran paketerades i Docker-containerar för att stödja flera processorarkitekturer, men detta ökade storleken och prestandakraven. För att hantera detta skapades specifika byggen för olika processorer.

End-integrationen möjliggjorde uppföljning via TransitClouds kartmodul. Genom att använda en gemensam MQTT-specifikation kunde rapporter delas mellan olika intressenter, vilket främjade systemets flexibilitet och interoperabilitet.

För mer info se Bilaga 3 – Pilot 3 – Hållplatsdetektion ombord på virtuell miljö, Hogia.

Pilot 4 ItxPT – Delat nätverk

Piloten är central för projektet då dess huvudfokus är IT-arkitekturen ombord på fordon och hur data kan och behöver utbytas med flera olika parter back office-system och med vetenskapen om att det måste ske på ett säkert sätt. Historiskt har flera parallella IT-infrastrukturer installerats i fordonen, utan eller med högst begränsade möjligheter till lokal delning/utbyte av data. Genom ITxPT's första generation av IT-arkitektur integrerades flera olika parter system i samma IP-nätverk. I denna pilot testas en mer avancerad och skalbar IT-arkitektur som innefattar en delad gemensam fysisk nätverksinfrastruktur samt användande av flera lokala virtuella nätverk (VLAN) inklusive sätt att dela data mellan dessa. Även säker fjärraccess genom SD-WAN (Wide Area Network) testas.

Basen i den delade nätverksinfrastrukturen är användandet av styrda nätverksswitchar (växlar) som är sammankopplade med gigabit-länkar för att minimera risken för flaskhalsar i kommunikationen också med viss framtidssäkerhet. Switcharna använder en konfiguration med flera VLAN (baserat på standarden IEEE 802.1q). Genom användandet av VLAN möjliggörs flera olika sätt att ansluta system och tjänster till olika nätverk och tjänster utifrån behov av delad data, säkerhet eller brist på säkerhet i ett system. System som inte kan hantera VLAN kan anslutas till

en switch som kan hantera detta. System som kan hantera VLAN kan använda en fysisk nätverksport för att ansluta till flera virtuella nätverk. Med detta som bas i arkitekturen möjliggörs flera olika sätt att dela data på mellan de olika nätverken, till exempel en tjänst som är ansluten till flera olika nätverk, eller genom routing / inter-vlan-filtering. I piloten fokuserades arbetet kring datadelning på hur en MQTT-broker kan nyttjas i fordon som har flera virtuella nät och bryggning av data via MQTT genom SD-WAN länk genom routing.

I tillägg till ovanstående utfördes även tester av hur existerande standard för inventering och tjänsteannonsering genom mDNS/DNS-SD fungerar samt hur det fungerade i VLAN-miljö och om eventuella gap fanns.

För mer info se bilaga 4 Pilot 4 – Delat nätverk, ITxPT.

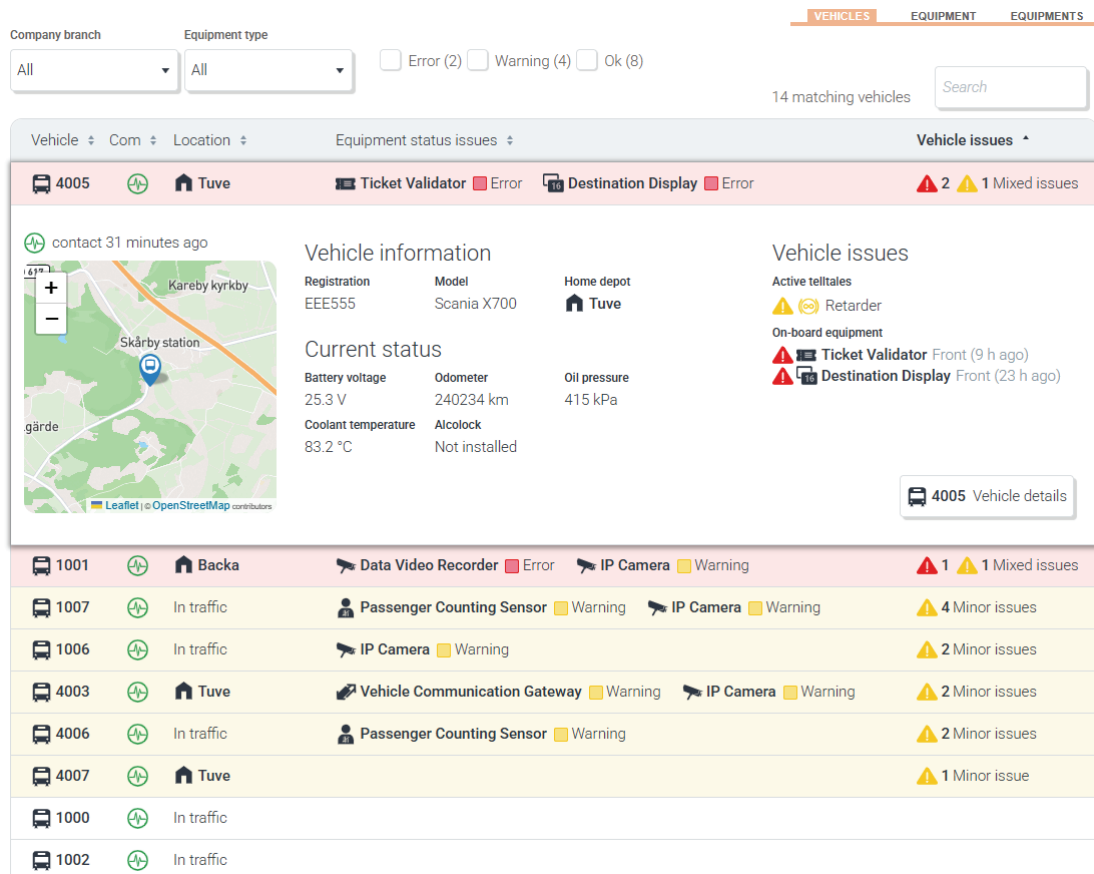
Pilot 5 Pilotfish - Integrationsarkitektur och informationslogistik

Pilotfish Networks AB har under projektet kunnat kravställa, implementera och framförallt verifiera ett koncept, som syftar till att underlätta det dagliga arbetet med ombordutrustning i öppna arkitekturer. Detta har under senhösten 2024 kunnat lanseras som en produkt, vilket inte hade varit möjligt utan Baas-Projektet och tillgång till labb och buss för att verifiera lösningen mot ett stort antal system från olika leverantörer. Västtrafik har bidragit med krav och feedback, samt tillgång till den data/enhet som finns i BaaS-labbet.

Problemet som identifierats i arbetspaketet **Integrationsarkitektur och informationslogistik** handlar om utmaningen i att som huvudman eller trafikoperatör hantera den dagliga driften av ett heterogent landskap av leverantörer och utrustningstyper. Pilotfish har med detta arbete presenterat ett tänkbart sätt att minska denna börda, genom att skapa ett homogent lager av monitorering av all ombordutrustning som är kopplat till en ITxPT Vehicle Gateway. Detta har skett genom att, tillsammans med ITxPT, förfina de mekanismer som används för att rapportera status och funktion ombord (ITxPT Inventory Service). Baserat på detta, har en tjänst med en slags Dashboard över flottans utrustning och dess tillstånd utvecklats. Här kan användaren definiera målvärden och larm vid avvikelser. Ett exempel är att det alltid skall finnas minst två biljett-validatorer ombord på en buss som kör linje 16. Om någon av dessa två rapporterar dålig status/fel, alternativt inte syns alls, kan larm skapas.

De funktioner som förfinats under BaaS-projektet kan sammanfattas:

- Dashboard med en översikt över samtliga fordon, och vilka av dessa som har larm eller varningar relaterat till ombordutrustning.
- Detaljvyer för varje fordon, dess utrustning och status på själva fordonet (tex för hög motortemperatur)
- Detaljvyer för varje utrustning, dess serienummer, status, placering i fordon, mjukvara etc.
- Dashboard med översikt över all utrustning, oavsett i vilket fordon den är monterad, som ett hjälpmedel för planering, logistik, inköp etc.



Figur 2 Pilotfish Onboard Insight

Ett avancerat regelsystem har även utvecklats för att definiera beroenden och logik för larm, men är i skrivande stund primärt ett verktyg för Pilotfish att nyttja, det har ännu inte produktifierats.

Detta arbete kopplas även till två fokusområden i övriga arbetspaket:

Cybersäkerhet – att ha en dashboard, som även kan larma när något oväntat dyker upp ombord, eller att få en överblick över att all utrustning har fått den senaste mjukvaran, har visat sig vara intressanta funktioner utifrån ett cybersäkerhetsperspektiv. Detta kan lösas med hjälp av det utvecklade konceptet.

Affärsmoeller – ägandeskapet av utrustning är ibland delat. En huvudman kan tex utrusta en flotta med biljettsystem, men i sin upphandling mot trafikoperatör kräva vite om denna utrustning inte fungerar. Denna typ av delat ansvar blir lättare att följa upp med ett enhetligt system som fler aktörer kan använda och ha olika rättigheter i. Detta stöds i det utvecklade konceptet.

Merparten av arbetet har skett under 2024, och det rör framförallt programvaruutveckling, tester, verifiering och slutlig paketering av konceptet till en färdig produkt. Produkten, som lanserades på Persontrafikmässan, i Oktober 2024, heter Pilotfish Onboard Insight. Ett produktblad för den lanserade tjänsten bifogas som bilaga. Programvaran lever kvar i BaaS- och ITxPT-labben för framtida bruk och demonstrationer.

För mer info se Bilaga 5 - Pilot 5 - Onboard Insight product sheet, Pilotfish

Pilot 6 Consat – Klimatisering och energiförbrukning

Kollektivtrafiken genomgår en hållbarhetsomställning inom energiområdet med införandet av elbussar och ökat fokus på energieffektivitet. HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) är ett kritiskt system för upplevelsen ombord på bussen och i vissa situationer då det är väldigt kallt eller varmt utomhus, kan HVAC-systemet stå för över hälften av energiförbrukningen på bussen. Tillsammans med andra förbättringar så kan energieffektiviseringsförbättringar inom HVAC-system på bussar möjliggöra att fler bussar kan bli helt elektrifierade.

Mot denna bakgrund gjordes en rapport (Bilaga 6) med huvudmål att föreslå vilken data som kan delas mellan HVAC-systemet och andra system på bussen för att förbättra energieffektiviteten och förenkla användandet av elbussar. Ett antal use-cases presenterades som förslag:

- HVAC-styrning baserat på förutsägelser om dörröppning
- Energibesparingsläge vid låg batterinivå
- Granulär styrning av klimatzoner i bussen
- Prediktiv styrning baserat på framtida passagerarförändringar

Bedömningen är att det kan finnas intressanta energibesparingar att göra och att tester av use-casen borde utföras i lab eller verklig miljö i samarbete mellan ett antal relevanta parter, inklusive en leverantör av HVAC-system. Förutom att utveckla use-caset självt krävs även en utökad standardisering av integrationen mellan HVAC-systemet och andra system på bussen i linje med pågående arbete inom virtualisering och integration inom exempelvis ITxPT.

För mer info se Bilaga 6 - Pilot 6 - Klimatisering och energiförbrukning, Consat

Pilot 7 Chalmers - Fordonsrelaterad data

Ett modernt kollektivtrafiksystem som fungerar i storstadsområden består av bussar, spårvagnar, tunnelbanor, flexibla linjer på begäran (on-demand) och taxibilar. En stor del av dessa fordon tillhandahåller sina tjänster till allmänheten på fördefinierade rutter efter ett frekvent och regelbundet schema - bara med några minuter emellan vid rusningstid. Sedan ett tag har detta transportsystem genomgått en digitalisering ombord på och utanför dessa fordon för att förbättra driften, underhållet och för att förbättra kundupplevelsen och göra kollektivtrafiken mer attraktiv.

Förbättringar ombord inkluderar förarassistanssystem för att stödja ett kollektivtrafikfordon i tex hanterandet av flöden av människor vid in-/utgångsdörrar, men även avancerade förarassistanssystem (ADAS) kända från vanliga bilar som dödavinkeldetektorer och autonom nödbromsning (AEB) för att förbättra trafiksäkerheten. Men en buss transporterar inte bara människor mellan busshållplatser, den kan också ses som en kontinuerligt ansluten "mätsond" in i "storstadsorganismen", som dels består av statisk infrastruktur såsom vägar, byggnader och vegetation och dels deltagare i rörelse inklusive utsatta trafikanter (fotgängare, elscooterförare, cyklister, motorcyklister och andra, tex trafikanter med rörelsehinder) samt rörliga fordon av varierande storlek. Därför erbjuder kollektivtrafikfordon en utmärkt möjlighet att kontinuerligt monitorera en storstadsorganism med avseende på trafiksystemanvändning, dess slitage över tid, hur olika trafikanter interagerar för att identifiera områden för förbättrad trafiksäkerhet, eller för att ge insikter i en stads infrastruktur avseende eventuella energiförluster, vilket är utmanande att inhämta från kameror installerade endast på ljusstolpar.

Denna pilot utvärderade systematiskt tekniska krav och begränsningar för att ta fram designen för en prototyp för att monitorering av stadsmiljön via en buss inklusive automatisk dataanonymisering, klassificering och märkning. Vi planerade och genomförde en proof-of-concept i en testkörning genom en utvald rutt i Göteborg, Sverige, och utvärderade ombord och off-board hårdvara och mjukvara för databehandling och dataanalys. Vi visade att förutbildade, toppmoderna neurala nätverk (NN) gjorde det möjligt att upptäcka dynamiska trafikanter i

närområdet runt bussen och utvärderade även generella multimodala generativa AI (GenAI)-modeller för att identifiera element i fordonets dataströmmar.

Våra resultat visar att "mätsonder" i kollektivtrafiksystemet har en enorm potential för att stödja olika kommunala, miljömässiga eller trafiksäkerhetsrelaterade områden: Insikter från trafikflöden och interaktioner mellan trafikagenter har potential att stödja stadsplanering och att förbättra befintliga förarassistanssystem för operatören, vilket påverkar den kollektivtrafiken positivt. Piloten visade att även en blygsam hårdvarukonfiguration, modulära mjukvarukomponenter som är förberedda för spårbar, containeriserad distribution och drift, och toppmodern maskininlärning (ML) med förutbildade NN:er och GenAI möjliggör kontinuerliga insikter i en storstadsorganism. Våra slutsatser tyder på att bredare datainsamlingar över tid för att avslöja säsongseffekter avseende energiförlust, vegetation, såväl som att analysera prestandan för de senaste multimodala GenAI-modellerna i realtidsinställningar är meningsfulla och lovande som nästa steg för att bygga på och utöka resultaten från detta pilotprojekt.

För mer info se Bilaga 7 - Pilot 7 - Fordonsrelaterad data, Chalmers

Pilot 8 Triona - Implementation av Docker i fordonsutrustning

Inom projektdeltagarnas verksamhetsområde är numera virtualisering ett "hett" ämne, både för back office funktionalitet såväl som i "embedded" miljö som typiskt används i fordon. I detta arbetspaket fokuseras det på virtualisering i fordonsmiljön. ITxPT har tidigare (2018-2019) initierat en arbetsgrupp i ämnet. Resultatet från denna var i stora drag att de dåvarande tekniska lösningarna inte enskilt stödde tillräckligt mycket funktionalitet inom ITS-segmentet och ingen tydlig standard eller lösning kunde pekats ut. Med detta som input och det faktum att lösningar för virtualisering utvecklats kraftigt, där nu Docker-konceptet har en tydligt ledande position inom området, så beslutades att testa om och hur detta kan nyttjas i fordon.

Målbild:

- Minst en implementation av Docker i fordonsutrustning (Värd)
- Minst två av varandra oberoende leverantörer av funktionell mjukvara (image) som körs i en tredje parts hårdvara (värd)
- Data skall utbytas via MQTT-broker

Utförande:

Triona har implementerat en Docker-baserad lösning på sin Gateway-hårdvara för att stödja virtualisering.

Initialt användes pilot 3 som testobjekt, vilket senare utökades till att även omfatta pilot 1.

Mjukvara från Hogia (pilot 3) migrerades till en Docker image som kördes i Trionas hårdvara. Mjukvaran kunde konsumera lokal data som indata via MQTT, samt dela sin utdata till andra lokala och externa applikationer.

Mjukvara från Västtrafik som implementerar MOMS-konceptet har migrerats till en Docker-container, i första fasen kördes den i Västra trafikens ursprungliga hårdvara där funktionen validerades korrekt. I steg två konverterades och flyttades funktionen till att köras i Trionas hårdvara (samma som för pilot 3). Detta inkluderar en containeriserad MOMS-adaptör, MOMS data provider som kan läsa data från Consats realtidssystem via MQTT, samt en renderare och protokoll adapter för skyltar som inte direkt kan använda MOMS.

Resultat:

Triona har delvis framgångsrikt implementerat MOMS-konceptet i en Docker-container på sin hårdvara. Detta möjliggör flexibel och effektiv hantering av destinationsskyltning i fordon. MOMS-

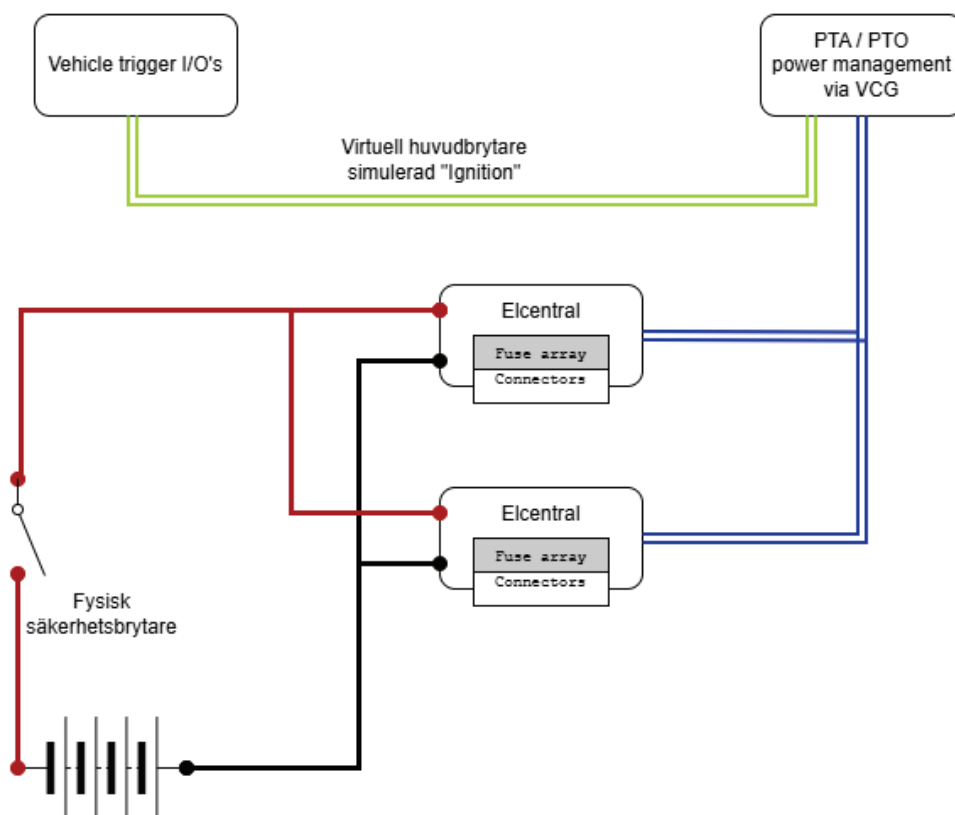
adaptorn kan nu prenumerera på relevanta MQTT-topics, översätta data till lämpligt protokoll för destinationsskylten och möjliggöra korrekt visning enligt Västtrafiks layoutspekificationer.

MOMS-Docker implementering faktiska status:

Implementeringen är funktionell i första fasen dock missades några saker vid flytten till Trionas hårdvara, tex. ITxPT module inventory och serviceannonsering som kördes i Västtrafiks hårdvara samt bryggning av MQTT topics mellan Västtrafiks broker och Trionas lokala MQTT broker. I det stora hela påvisar detta tillvägagångssätt möjligheten att köra komplexa ITS-applikationer i containeriserade miljöer i fordon, vilket öppnar upp för mer flexibla och skalbara lösningar inom kollektivtrafiken. ITxPT:s roll i detta projekt har varit att tillhandahålla riktlinjer och standarder för interoperabilitet inom kollektivtrafiksystem.

Pilot 9 ITxPT - ITS power management och power distribution

Test av styrning och distribution av strömförsörjning till ITS-system genom flera PDU (Power Distribution Unit) för att få bättre kontroll när utrustningar är på och av samt att säkerställa att optimera energikonsumtionen och att den sker vid rätt tillfälle utan att riskera möjligheten att operera fordonet eller skada batterier etc. Denna kontroll är viktig för att elektriska fordon inte har de traditionella triggers som fordon med termisk motor har för att säkerställa att systemen är igång när de behövs. PTA och PTO har behov av att på distans kunna väcka alla eller enskilda utrustningar, sk remote wake up, för att tex kontrollera fordonets system innan det ska tas i bruk för dagen.



Figur 3 Övergripande implementerad arkitektur för Power Distribution

Use case och funktionella krav samt identifierade gap har rapporterats till ITxPTs arbetsgrupp för Power Management där stora fordonstillverkare deltar.

För mer info se:

Bilaga 9.1 - Pilot 9 - ITS Power Management och Power Distribution, ITxPT

Bilaga 9.2 - Pilot 9 - ITS PowerManagement_FunctionalRequirements, ITxPT

7.2 Resultat från horisontella/tematiska arbetspaket

Nedanstående arbetspaket Virtualisering, Cyber Security, One Gateway och Affärsmodeller har löpt parallellt med genomförandet genom piloterna. De tester som genomförts i piloterna kopplar på olika sätt till de horisontella arbetspaketens olika teman.

AP2 Virtualisering (ITxPT)

Här sammanställer vi några lärdomar kring virtualisering med Docker-teknik och skapande av ny funktionalitet samt konvertering av existerande lösningar. Det har varit mycket hjälpfullt att kunna testa, prova och validera funktion i labbet före tester i fordon.

Utförande:

Basen utgörs av en implementering av Docker som hostas i Trionas hårdvara som nyttjas av både Hogia och Västtrafik för att köra deras applikationer.

Sammanfattning från piloterna kopplade till virtualisering:

Pilot 1: Skyltstyrning, se Bilaga 11 TR-BAAS/Virtualisering skyltstyrning A

Skapandet av en image komplicerades av att olika delar av funktionerna utvecklats i olika programmeringsspråk, detta påvisar dock typfallen man kan råka ut för vid konvertering av existerande komplexa funktioner. Möjligen hade det varit fördelaktigt att skapa flera mindre image's

Pilot 3: Hållplatsdetektion, se Bilaga 3 - Pilot 3 - Hållplatsdetektion ombord på virtuell miljö. Gränser mellan server och fordon suddas ut. Containern kan testköras enkelt. Underlättar vår utveckling. Man behöver inte låsa sig vid specifik hårdvara. Behöver en MQTT-broker ombord på fordonet.

Pilot 8: Implementation av Docker-stöd i fordonsutrustning

Utmaningar:

- Det gick inte att använda den minsta Linux imagen, Alpine, eftersom den inte fanns med paket för OpenJDK-17 for 32-bit ARM
- Debian:11-slim OS image valdes istället vilken är avsevärt större (Alpine är 5 MB och Debian:11-slim är 56 MB)
- Python3.9 med nödvändiga bibliotek lägger till ytterligare 70 MB till imagestorleken
- Java OpenJDK-17 lade till ytterligare 40 MB
- MOMS-moduler ytterligare 30 MB
- Totalt ~200 MB av okomprimerad imagestorlek

- Imagestorleken hölls nere, men i framtiden skulle vi tex. kunna nå bättre resultat genom att ändra några saker:
- Ta bort Python3.9 beroenden och bara använda Java (sparar ca 70 MB)
- Välja en annan Java JDK skulle göra det möjligt att använda Alpine OS image som bas (sparar 50 MB)
- Resulterar i ~75 MB av okomprimerad imagestorlek

Viktiga lärdomar från piloterna kopplade till virtualisering:

- Att få med ITxPT DNS-SD baserad inventering ökar storleken på Docker-imagen avsevärt.
- Användandet av en lokal MQTT-broker som sammanhållande integrationspunkt underlättar avsevärt för Docker-värden, dock ställer det krav på hur brygging av topics mellan brokers skall ske.
- Det kan vara fördelaktigt att bygga mindre och separata image's om man använder olika utvecklingsspråk i samma funktion.
- Lättare att bygga en ny funktion från scratch med Docker-stöd än att konvertera en redan existerande implementering.
- Docker erbjuder många olika alternativ för nätverksaccess, detta behöver undersökas mer, speciellt i kombination med användandet av VLAN.
- Hur hanterar man uppstartsberoenden mellan Docker-image's
- Hur hanterar man på ett standardiserat sätt access till en Docker-image som körs i någon annans hårdvara?
- Vem ansvarar för övervakning och resursfördelning / prioritering?

Virtualisering med Docker i kollektivtrafikfordon har kommit för att stanna! En form av bekräftelse på detta kan vara att ITxPT's kommande Cloud lab, som skall användas för certifiering av implementeringar samt att medlemmar själva skall kunna verifiera sina implementeringar genom dynamiskt skapade virtuella testmiljöer, tex. under utvecklingsfasen. Hela denna lösning är uppbyggd av Docker-baserade komponenter.

AP3 Cyber Security (Västtrafik)

Västtrafik har lett detta arbetspaket och vi har träffats vid 5 tillfällen under vår, sommar och höst 2024 och i workshop-format diskuterat och utbytt erfarenheter mellan industri, akademi och offentlig förvaltning inom BaaS-projektet.

Intresset för och kraven kring cybersäkerhet i både samhället i stort som hos kollektivtrafik-huvudmän i vårt fall har höjts radikalt de senaste åren.

En fungerande infrastruktur och fordonsflotta är ett måste för att få hjulen att rulla.

Risken för att skapa trafikinfarkt med stillastående kollektivtrafikfordon i en storstad som tex Göteborg skulle kunna orsaka stor skada och oro.

Olika perspektiv i fråga om Cybersäkerhet har behandlats enligt nedan;

- Bakgrund
- Omvärlds- och branschanalys
- Erfarenheter från medverkande företag och organisationer
- Hot om penetration i fordon och applikationer
- Möjligheter och förslag till att kunna höja säkerhet i fordonsnätverk och kommunikation
- Metodik för mer generella tester av Cybersäkerhet
- Provtryckt säkerhet kring mjukvaruprotokollet MQTT (open source) som nyttjas av flera medlemsföretag och flera andra områden.
- Genomgång av testverktyg för mer djupgående analyser av nätverk o applikationer
- Metodik och behov av periodiskt arbete kring ämnet
- Lagar o förordningar kring ämnet
- Möjlighet att dela vår erfarenhet och vårt resultat med fler

För mer info se bilaga 10, AP3 Cybersäkerhet.

AP4 One Gateway med fokus på användandet av MQTT (ITxPT)

I detta arbetspaket testas och utvärderas vi hur MQTT kan användas och betes sig i fordon, med en eller flera MQTT brokers ombord, samt replikering till back office brokers. Då ITxPT också designar nya funktioner baserat på MQTT version 5.x så testas även detta.

Målbild:

- Replikering av MQTT-data mellan lokala brokers (bryggor)
- Replikering av MQTT-data mellan fordon och back office system
- Hur betes sig "retained" meddelanden vid bryggning i flera led mellan brokers
- Hur kan MQTT användas för att dela data mellan flera nätverkssegment på ett säkert sätt
- Hur kan MQTT användas i kombination med Docker (virtualisering) och flera nätverkssegment.

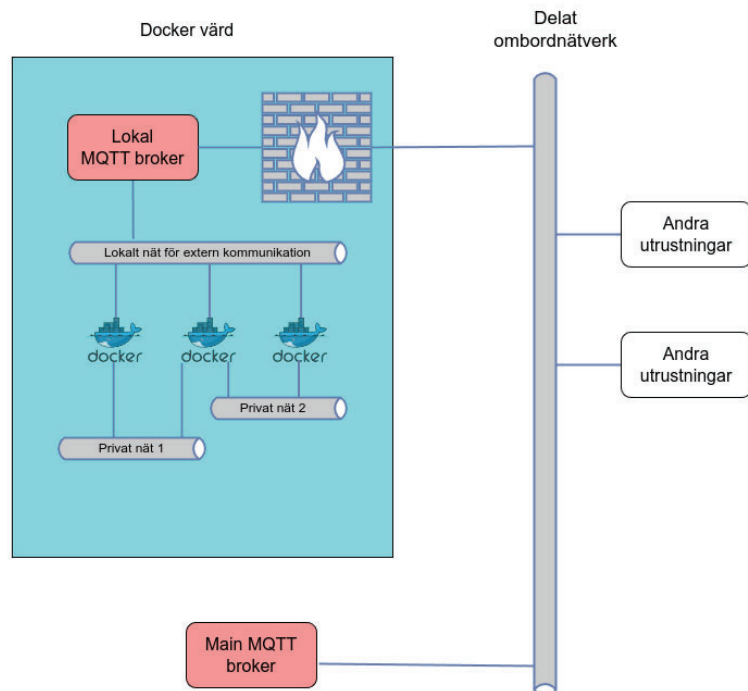
Utförande:

Lokal arkitektur (i fordon och LAB)

Som bas i MQTT-arkitekturen användes en broker som körs i Pilotfish VCG (VG211). Denna utrustning valdes då en VCG är designad för att alltid vara igång samt att den tillhandahåller WAN anslutning mot back office system. Tillsammans med denna användes också ytterligare flera lokala MQTT-brokers, som bryggade (replikerade data) mellan olika topics och riktningar. Totalt användes fyra MQTT-brokers i labb och fordonet, en master (i VCG) samt tre lokala (MX4, DynaGate, ICU602). Olika bryggningar av topics och riktningar testades.

Den lokala brokern i DynaGaten spelade en speciellt viktig roll då denna också agerade som en slags proxy mellan det delade ombordnätverket och de Docker-applikationer som kördes i hårdvaran. De lokala nätverken inom DynaGaten var inte direkt näbara från det delade nätverket. För att simulera datareplikering till back office-system användes två serverinstallationer i ITxPT's lokaler som kopplade ihop lab-bänken såväl som fordonet genom ett SD-WAN nätverk (VPN) med dessa två MQTT-brokers.

Bilden till höger visar ett exempel på hur Docker-applikationer kan kommunicera med en lokal MQTT broker som i sin tur replikerar data till fordonets "Main broker" utan att applikationerna behöver bekymra sig om replikeringen eller vem som konsumerar informationen. Applikationerna är då också skyddade från direkt access från det delade nätverket. Applikationerna kan lokalt kommunicera med varandra genom ett eller flera privata nätverk.



Resultat:

För att multipla MQTT brokers i fordon skall replikera relevant data mellan sig krävs tydliga regler hur bryggor skall konfigureras, samt monteringspunkter för bryggor. Detta påverkar själva designen av topic-strukturen, speciellt om designen tillåter dynamiskt skapade topics. Detta är något som ITxPT måste adressera i sina specifikationer. MQTT version 5 erbjuder många nya och förbättrade funktioner, tex indexering av topic-struktur vilket avsevärt minskar trafikvolym.

I tillägg testades följande med gott resultat:

- Brygging av meddelanden med "retain flagga"
- Request / responsfunktion (nytt i version 5)
- Användardefinierad "header data"
- "ContentType" header-data
- Olika kombinationer av säkerhet, certifikat, ACL mm.

Lärdomar av detta har varit mycket nyttiga och kommer direkt att nyttjas i ITxPT's kommande utgåva av specifikation (Chestnut) där det finns en hel grupp av MQTT-baserade tjänster och funktioner.

AP5 Affärsmodeller (Västtrafik)

Omvärldsanalys

Olika tillämpningar på affärsmodeller kring IT-lösningar och ägarskap för utrustningar och tjänster skiljer sig åt mellan städer och regioner, både på nationell och europeisk nivå.

Projektet har fokuserat på Sverige och Norge där de flesta PTA fortfarande äger stora delar av den IT-utrustning som krävs ombord på bussar. Västtrafik har idag en fordonsflotta på ca 2300 fordon och lånar ut ca 100 000 artiklar/saker/IT-relaterade utrustningar till PTO under avtalstidens längd. De flesta PTO äger sina fordon men vissa leasar av OEM. Många PTA ställer sig dock frågan vem som skall äga vad ombord på fordonen baserat vad de själva är bäst på respektive vad PTO är bäst på och därmed vilka tjänster som skall/bör ligga hos vem.

Vad som är smartast beträffande kvalitet, funktion, ekonomi avseende inköp av utrustning samt service och underhåll, service till förare och resenär kan variera från PTA till PTA beroende på olika förutsättningar. Ett fåtal PTA i Sverige och Norden har genomfört och/eller funderar på att genomföra en transition av ägande av utrustning och tjänster i samband med upphandlingar av busstrafik. Olika PTO har också olika mognadsgrad avseende förmåga att äga och drifta utrustning ombord på fordonen. Det finns därför fortfarande många olika tillämpningar av ägarskap av både utrustning, tjänster som fordon i branschen.

Projektet har, utifrån ovan omvärldsbevakning, diskuterat ansvarsroller och värdekedjors för- och nackdelar i workshop-format. Dessa frågor diskuteras också inom kollektivtrafikbranschen sedan några år tillbaka. Möjliga, tänkbara alternativa affärsupplägg avseende ägarskap av fordon och tjänster, som idag av tradition ligger hos trafikhuvudmannen, har prövats teoretiskt. Som ett resultat av bl a detta ser fler trafikhuvudmän, inklusive Västtrafik, på möjligheten att decentralisera ägarskapet av utrustning och tjänster. Resultaten av detta har vi inte sett ännu men representanter i projektet säger sig vara redo att kunna axla denna roll/detta ansvar.

I projektet har förverkligandet av olika ansvars- och/eller ägandestrukturer diskuterats. Bl a tillämpas ett decentraliserat ägarskap för tillfället hos RUTER, PTA i Oslo och Akershus och inom SLL, Stockholms lokaltrafikförvaltning och diskuteras hos Västtrafik. Västtrafik har bl a under 2024 utbytt erfarenheter och strategier med RUTER som ett led i detta.

Det bör även tas i beaktande att ingen region/område/stad/PTA är den andra lik. Det finns olika förutsättningar avseende ägarskap, geografisk omfattning/utbredning, täckning och kapacitet för kommunikation genom 4G, 5G, 6G som särskiljer städer och regioner. Politisk ledning och

inriktning avseende kollektivtrafikmyndigheter i olika delar av Sverige och Europa spelar också in på ägarskap och strategi.

Virtualiseringens påverkan på affärsmodeller och integrationsansvar

Frågan kring vem som har integrationsansvar ombord på fordonen samt underhåll på nätverk/cybersäkerhet/utrustning har diskuterats under denna punkt. Frågan återkommer i flera sammanhang och diskuteras även den i branschen. Flera trafikföretag säger sig vara beredda på att axla integrationsansvaret och ansvaret för utrustning och andra tjänster ombord och i och med detta stiga i värdekedjan.

Nya tjänster och ansvarsförhållanden testas av bl a Västtrafik i detta nu. Det handlar om att delegera viss resenärsledning till PTO med möjlighet att kunna ge resenär snabbare information om ev störningar eller avbrott i planerad trafik. Viktigt i detta är även att föraren, som ju är PTAs och PTOs ambassadör gentemot resenären, då skall ha samma information presenterad till sig som till resenären.

Det är inte självklart att ett gemensamt nätverk löser allas problem och tjänster ombord. Framförallt frågor kring mandat, säkerhets- och tillgänglighetsfrågor, vem som får läsa och skriva vad och var i nätverket måste definieras och hanteras. Projektet har inte svar på alla frågor men intresse för, och förslag på, arkitektur, säkerhetslösningar och applikationer samt erfarenheter av tillämpningar har delats och redovisas även i respektive pilot.

En ny kommunikationsplattform med gemensamt nätverk ombord skulle absolut kunna realiseras. Mycket testning återstår dock och avtal kring konfiguration och säkerhetsfrågor kvarstår att utredas. Projektet har gjort en del tester med grundläggande funktioner och tekniker, tex Docker och container. Partnerna i BaaS-projektet besitter en spetskompetens och ser möjligheter för fortsatt samarbete framgent.

Tjänsteutveckling

Projektet har visat att tredjepartsutveckling är möjlig. Idag finns ett par olika tjänsteprodukter, som utvecklats inom projektet, i sin linda och utrullade till PTA och PTO. Dessa tjänster håller reda på om ombord-utrustning fungerar eller ej vilket är viktigt för planering och utförande av trafik. Utifrån detta perspektiv kan de larma en eller flera aktörer med olika ansvar beroende på roll. Utöver detta finns mervärden i form av möjligheten till övervakning och/eller automatiserad avstängning/utestängning av vissa tjänster vid ev intrångsförsök eller -mönster.

Frågan om vad som är smartast avseende serviceorganisation hos trafikhuvudmannen, trafikföretaget eller fordonsägaren, beroende på vem som äger fordonet är relevant. Organisation, snabbhet, kompetens samt kostnader att kunna serva och åtgärda felaktigheter ombord på fordon ligger i allas intresse att kunna hållas nere. Samtidigt är det A och O att fordonen är hela, rena, säkra och funktionella när dom rullar i trafik.

Exempel på funktioner som diskuteras är realtidsinformation till resenär samt störningsinformation till både resenär och förare. Vid störning är det viktigt att kunna trygga både förare och resenär med snabb och relevant information om vad som sker på platsen samt att information om alternativa resvägar och prognos om åtgärder ges till förare och resenär.

Tjänster frikopplade från hårdvara (mjukvaruorienterade)

Framtidens Västtrafik har som ambition att vara tjänsteleverantör, inte en utrustningsleverantör. Vår målsättning är att våra tjänster är mjukvarubaserade och helt frikopplade från specifika fordon eller hårdvara. Detta gör Västtrafik flexibla och skalbara. Fordonen är uppkopplade och konsumerar Västtrafiks data för realtidsuppdateringar och tjänster, vilket innebär att innovation kan ske centralt utan att fordonet måste modifieras.

Dessa workshopar gav inte alla svar på de frågor och funderingar som ställts men representanter från trafikföretag och dess underleverantörer säger sig vara beredda på att ta det ansvar som det innebär att vara systemintegratör ombord på fordonen vilket kan ge en fingervisning om vart vi är på väg.

Samtidigt utreds det parallellt och väcks frågor kring om inte trafikhuvudmannen skall äga fordonen. Detta för att den utveckling som nu sker med elektrifieringen av bussar gör att dess livslängd förlängs och att bussarna då skulle kunna rulla/fungera över flera trafikavtals längder på samma rutter/linjer.

Denna fråga och detta ämne kommer att behöva beredas och knådas i andra sammanhang då den ju inte bara är en teknikfråga utan i allra största grad är en avtals- och strategisk fråga.

Datahantering, datadelning, EU-regler och ITxPT

Nu finns det ett tydligare regelverk om vem som genererar fordonsdata och vem som äger och får tillgång till data från fordonen. Ett förtydligande kring vem som genererar vilken data ombord och från fordonet har under projektets gång beretts inom EU.

Samtidigt som BaaS-projektet pågick initierades två förslag till att reglera data från uppkopplade produkter samt AI-system på EU-nivå. För att se hur sådan reglering skulle kunna påverka datadelningen som ITxPT möjliggör men också vilka nya tjänster som skulle kunna utvecklas utfördes en analys av de två förslagen.² Det kommer ha stor betydelse för hur affärsmodeller baserade på datadelning kommer att utvecklas.

Studien gjordes medan AI-förordningen och Dataförordningen var under förhandling. Analysen står sig dock i relation till de slutgiltiga versionerna av de båda förordningarna. Om något kan vi se hur man i Dataförordningen tydliggjort att "Denna förordning ska inte tillämpas på eller föregripa frivilliga arrangemang för utbyte av data mellan privata och offentliga enheter, i synnerhet frivilliga arrangemang för datadelning". Vi tolkar det som att man inte vill att Dataförordningen ska påverka t.ex. ITxPTs arbete kring datadelning. Rapporten har delats med tjänstemän på EU-kommissionen och Regeringskansliet under förhandlingens gång men det är svårt att säga att vi påverkat den slutgiltiga utformningen av texten.

Dataförordningen kommer innebära att ägare av vissa uppkopplade produkter har rätt till den data som genereras genom användandet av produkten. Ägare är den som köpt, hyrt eller leasat en produkt och till kategorin produkter som avses räknas fordon, inklusive datagenererande komponenter. Vår analys är då att data från bussbatterier (vilket vid analysens tillfälle inte ingick i den data som delas genom ITxPT) kommer delas gratis till ägarna av kollektivtrafikfordonen men andra aktörer inom ITxPT behöver dels bli utpekade som tjänsteleverantörer av ägarna, dels betala en standardiserad avgift för datan till busstillverkaren, för att få tillgång.

Vi ser också att AI-förordningen öppnar för att använda personuppgifter insamlade genom bevakningskameror på fordonen till utveckling av andra system, såsom passagerarräkningssystem. Det kräver ett samarbete med behöriga myndigheter. Det är alltså inte fritt fram för vem som helst att utveckla tjänster på personuppgifter insamlade för andra ändamål, utan en möjlighet under särskilda villkor.

Sammantaget ger de två EU-reglerna möjlighet till nya grunder för data-utbyte och tjänsteutveckling samtidigt som den etablerade verksamheten inom ITxPT kan fortsätta oförhindrat. De delar av AI-förordningen och Dataförordningen vi hänvisar till blir tillämpbara under 2026 så det finns (lite) tid för parterna i projektet att börja anpassa sina system och affärer

² H. Burden, S. Stenberg och M. Olsson, *Proposed EU Regulations' Impact on Data Utilisation– A Multi-Case Study within Public Transport*, RISE Rapport 2023:47, 2023.

till de nya spelreglerna. För de som är intresserade pågår nu ett arbete med att ta fram detaljerade regler av standardkontrakten som Dataförordningen hänvisar till. Det finns t.ex. en serie webinarier på temat (<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/events/series-webinars-data-act-contracts>).

8 Spridning och publicering

8.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	Spridning via ITxPT, bl a medlemsmöte i Oslo juni 2024, samt via respektive projektparts kanaler. Västtrafik och ITxPT genomförde kortseminarium på Persontrafikmässan i november 2024.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Exempel: Consat arbetar vidare med energieffektivisering tillsammans med tyska Eberspächer efter projektet. LSP undersöker möjligheterna att tillsammans med Chalmers, ITxPT och ytterligare aktörer vidareutveckla delar av BaaS, specifikt inom avancerad digitalisering och samhällsbyggnad och med finansiering från pågående innovationsprogram.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	Konkreta resultat finns från projektet, bland annat med Hogia, Pilotfish och Västtrafik.
Introduceras på marknaden	x	Konkreta resultat finns från projektet från Hogia och Pilotfish.
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/politiska beslut	x	Resultaten bidrar till arbetet inom ITxPT och de branschspecifikationer som arbetas fram där.

Resultat från projektet har främst spridits i ITxPTs medlemsmöten och tekniska arbetsgrupper, kontinuerligt genom projektet. Särskilt har återkoppling gjorts inom ITxPTs Requirements Committee (RC) och Technical Committee (TC) för stöd till framtida standardiseringsarbete. Insikter och resultat kommer fortsatt att spridas i ITxPT efter projektets slut, vid ITxPTs medlemsmöte sommaren 2025.

Projektet presenterades vid Persontrafikmässan i Göteborg i november 2024 i ett gemensamt seminarium arrangerat av Västtrafik och ITxPT. Temat var här datainsamling.

ITxPT planerar att hålla en nationell workshop med kollektivtrafikmyndigheter (PTA) och trafikoperatörer (PTO) under 2025, preliminärt i september. Sannolikt kommer även slutrapporten att omnämnas under ITxPT fysiska styr- och medlemsmöte som planeras till Paris 10-11 juni 2025. Vissa projektresultat att också preliminärt presenteras på InformNorden hösten 2025 i Oslo. InformNorden är en konferens som anordnas av de nordiska huvudstädernas PTAer och som har fokus på IT inom kollektivtrafik.

8.2 Publikationer

Projektet har bidragit till ett arbete om Data Act H. Burden, S. Stenberg och M. Olsson, Proposed EU Regulations' Impact on Data Utilisation– A Multi-Case Study within Public Transport, RISE Rapport 2023:47, 2023.

I det föregående projektet RIVSILOn gjordes ITxPT en rapport, se bilaga, för spridning inom ITxPTs medlemskrets. Om möjligt kommer en liknande rapport att skrivas om BaaS-projektet.

9 Slutsatser och fortsatt forskning

Parterna i projektet framhåller att bredden på aktörskonstellationen har möjliggjort tekniska framsteg på kort tid som annars skulle tagit längre tid. En styrka är klustret och partsammansättningen i sig, men också metoden med kort ledtid till labtester, busstester i verklig linjelagd trafik, mm.

Labmiljön fungerar som en neutral mötesplats där parter i konsortiet kan och vill dela med sig av sina gemensamma problemställningar, erfarenheter och utmaningar. Det specifika ITxPT-labbet medger också genomförande av vissa tester utan PTOs medverkan vilket är betydelsefullt då dessa ofta har begränsat med resurser att sätta in i den här typen av utvecklingsprojekt. En trygghet i detta har också varit det regelverk som vi tillämpar i anslutning till Vinnovas FFI-projekt.

Tester i buss har visat sig mycket värdefulla och det är önskvärt att det fortsatt kommer att finnas möjligheter till den typen av testning i Göteborg och/eller på andra ställen i Sverige. Konsortiet kommer att undersöka förutsättningarna för detta i olika avseenden, personellt, organisatoriskt och finansiellt. Tågordningen kring just att initialt testa i lab för att sedan ta till fordonet ger en trygghet i att det skall/bör fungera även där. Fordonet uppför sig aldrig riktigt likadant som labbänken.

Parterna ser mycket positivt på att FFI kunnat delfinansiera innovationsprojektet. Projektet har gett parterna en möjlighet att kunna lyfta blicken från vår dagliga verksamhet och under sakkunnig ledning kunna utveckla och testa tillsammans.

Nedan ges några brottstycken och förslag kring områden som vi ser skulle kunna utvecklas och undersökas i vidare utsträckning såsom en fortsättning på BaaS.

Virtualiseringen är fortfarande inte genomförd inom IT för kollektivtrafik men sektorn är på god väg. De olika kollektivtrafikmyndigheterna (PTA) i Sverige arbetar på olika sätt med kravställning på PTOerna och deras fordonsflotta och det är önskvärt med en nationell harmonisering. En PTA kan tex tillämpa modellen att inte alls specificera, än mindre äga, utrustningen ombord utan bara intressera sig för den data som skickas från fordon och operatör för att följa upp avtalsvillkor och hur verksamheten fungerar, antal resenärer, punktlighet, mm. En annan PTA kan ställa mycket specifika krav på **utrustning ombord** samt också installera sin egen utrustning. Genom de olika upphandlingskraven skapas olika affärsmodeller som trafikoperatörerna (PTO) måste förhålla sig till. Projektet har adresserat detta i de tematiska arbetspaketen men arbetet bör fortsätta med harmonisering och helst standardisering av hur bl a datakommunikation ska ske i en komplex nätverksarkitektur.

Ansvarsförhållanden förändras genom virtualiseringen och det behöver tydliggöras vem som ska ansvara för att de olika systemen ombord fungerar och levererar. Västtrafik kommer snart att testa att lägga ut mer av ansvaret kring trafik- och störningsinformation på operatören.

Eftersom förändringsarbetet handlar om en operativ tillämpning av teknikfrågor i verklig miljö omfattar också det fortsatta arbetet hur man kan hantera sk legacy-system, dvs hur nya och gamla system, både i form av hård- och mjukvara, kan samexistera under en övergångsperiod.

Att möjliggöra en slags **standardisering** och höja den tekniska minsta gemensamma nämnaren, utan att för den skull omkullkasta konkurrensförhållanden, skulle kunna ge både PTA och PTO, samt dess underleverantörer, tydligare ramverk och specifikationer och göra det billigare att upphandla och producera. Detta är därför ett område parterna anser angeläget att fortsätta arbeta med. För att underlätta fortsatt virtualisering föreslår parterna att ITxPT bör bereda och sätta regelverk för multipla MQTT-brokers.

Docker och nätverk/VLAN – hur sköter man annonsering av tjänster och inventering samt delning av tjänster på delat nätverk. Detta har stötts och blötts och vi har under de workshops som genomförts kommit en bit på väg. Autentisering och adressering är i detta fall intressant att se djupare på, gärna tillsammans.

Modulariserad **skyltstyrning** fungerar men bygger på att man kommer överens om standardprotokoll för grafikbaserad skyltstyrning. Arbetet med MOMS-specifikationen fortskrider efter projektet. Detta med mindre justeringar efter de observationer som gjort längs vägen, och med målet att kunna komma överens med relevanta aktörer (ff a skyltleverantörer) om en specifikation som de anser sig kunna implementera i skyltarna. När detta uppnås finns slutligen ett öppet protokoll för grafikbaserad skyltstyrning.

Energianvändning. Det är sedan tidigare välkänt att HVAC-system kan konsumera mycket energi, ibland till och med mer än framdrift av fordonet. Integrationen av smart styrning av HVAC med andra system blir därför viktig. För att kunna förbättra energieffektiviteten behöver data från bussens HVAC-system och andra lokala ITS-system kunna delas lokalt i bussen. Delar av detta speglas i power management-delen men behöver fördjupas och här finns mer att göra. Optimering av dessa delar ombord kan behöva styras på annorlunda sätt på elbussar jämfört med dieselbussar.

Cybersecurity

Avslutningvis är Cybersecurity ett område där det finns mycket mer att både lära och göra avseende vad som är säkrast och smartast. SLL, Skånetrafiken och VT möts hösten 2025 bland annat på temat CyberSec och om vad man som PTAer kan utveckla tillsammans. Tester och omvärldsanalyser ger att modeller och metodik kring rubricerat bör utredas/forskas kring löpande framgent, gärna i motsvarande format som BaaS.

10 Deltagande parter och kontaktpersoner

Chalmers, Christian Berger
Consat, Amir Skangic
Ericsson, Jonas Wilhelmsson
Hogia, Mathias Jansson
ITxPT, Anders Fromell
Lindholmen Science Park, Gunnar Ohlin
Luminator Technology Group, Patrik Nilsson
Pilotfish, Marcus Berglund
RISE, Håkan Burden
Triona, Mats Johansson
Tronteq, Juri Martinevski
Volvo Bussar, Marcus Anemo
Västrafik, Sture Hedin

