

Predictive Movement (steg 3)



Christine Große, Johan Wenngren, Simon Andersson,
Zeyad Haroun, Anton Holmström, Magdalena Pfaffl,
Wiebke Reim, Shaghayegh Shirkhani, Jaap van de Beek

Predictive Movement (steg 3)

Christine Große, Johan Wenngren, Simon Andersson,
Zeyad Haroun, Anton Holmström, Magdalena Pfaffl,
Wiebke Reim, Shaghayegh Shirkhani, Jaap van de Beek

Datum: 2026-03-31

Projekt inom Transport- och mobilitetstjänster

Bidrag från:

Edstav, Johan (iBoxen), Hammarström, Roger (Tillväxt Gotland), Ljungquist, Alexander (A Beautiful Soup), och Bota, András; Dabbous, Ahmed; Elmistikawy, Yomn; Gupta, Payal; Lindberg, Johanna; Moradi, Amirreza samt Bedrosian, Agvan; Fingal, Adrian; Follinger, Anton; Hedlund, Hugo; Johansson, Oscar; Järvi, Ludvig; Kaniecki, Mikola och Tibaduiza, Santiago (Luleå tekniska universitet).

Luleå tekniska universitet, 2026

ISSN 1402-1528

ISBN 978-91-8142-016-6 (pdf)

Luleå 2026

www.ltu.se

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	2
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	5
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	7
4.1 Pilot 1 - Samordning av pakettleveranser	8
4.2 Pilot 2 - Samordning av transporter inom en region	9
4.3 Metoder för datainsamling, analys, prototyping och test	9
5 Mål	15
6 Resultat och måluppfyllelse	15
6.1 Systemets grunder som utgångspunkt	16
6.2 Innovationsprocesser och affärslogiker	19
6.3 Intressenternas behov och utmaningar inom transportsystemet	23
6.4 Användningsfall för samordning av transporter	26
6.5 Nyutveckling av plattform, baserat på identifierade aspekter	28
6.6 Digital tvilling för simulering av transporter	32
6.7 AI-baserat optimering av transporter, med avstamp i pilot 2	34
6.8 Index för jämlika transporter.....	35
6.9 Summering	38
7 Spridning och publicering	39
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	39
7.2 Publikationer.....	39
8 Slutsatser och fortsatt forskning	40
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	41

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

Forskningsprojektet som beskrivs i denna rapport genomfördes mellan hösten 2023 och våren 2026 med finansiellt stöd av Vinnova, Region Norrbotten, Region Gotland, Luleå och Boden kommun samt bidrag från A Beautiful Soup, iBoxen och Tillväxt Gotland, vilket möjliggjorde ett brett samarbete mellan offentliga och privata intressenter, både på Gotland och i Norrbotten. Investeringar i infrastruktur är av stor betydelse för regional utveckling. Med anledning av detta behöver också möjligheter till analys, planering och samverkan mellan aktörer utvecklas. Projektet syftade till att utveckla en neutral digital plattform för samordning av transporter i glesbefolkade områden så som Norrbotten och Gotland. Målet var att öka effektiviteten, minska miljöpåverkan och skapa jämlika transporttjänster genom att kombinera teknisk innovation med affärsmodellsutveckling. Utgångspunkten för projektet var att transportsystemet kan anses inkludera såväl de fasta anläggningarna, exempelvis i form av vägar, järnvägar och paketboxar, och det underhåll som är en förutsättning för att anläggningarna ska fungera. Systemet inkluderar även olika typer av service, såsom kollektivtrafik, godstransporter samt informationssystem som stödjer samordning och effektivisering av transportarbetet. En förutsättning för såväl anläggningar, underhåll och service är de policier som skapas och beslut som fattas inom samhällsplanering. Regional utveckling relaterar till förändringar exempelvis rörande befolkning, arbetsmarknad, företagande och offentlig verksamhet samt besöksnäring. Projektet genomfördes i två pilotstudier. I Norrbotten fokuserade Pilot 1 på paketleveranser och placering av paketboxar i samverkan med Regionen, kommuner och iBoxen, medan Pilot 2 på Gotland analyserade affärsmodeller för och visualisering av regionala transporter i samverkan med Regionen, Tillväxt Gotland och företagare. Metodiken inkluderade datainsamling, analys av transportflöden och möjliga affärsmodeller, utveckling av en digital tvilling för simulering och test av en decentraliserad plattform kallad Fraktal. Plattformen bygger på blockkedjeteknik (Hyperledger Fabric) och ett applikationslager (Hyperledger FireFly) för att säkerställa transparens och spårbarhet. Dessutom utvecklades AI-baserade algoritmer för ruttoptimering och ett index för att mäta jämlikhet i transporttjänster. Projektet resulterade i flera konkreta framsteg. Fraktal-plattformen möjliggör samordning av transporter genom att utnyttja överskottskapacitet och optimera rutter. Analyser inom Pilot 2 har visat att den totala körsträckan på Gotland skulle kunna minskas med upp till 56,5 procent jämfört med traditionell ruttoptimering. Den digitala tvillingen, baserad på Eclipse SUMO, validerades genom tre testscenarier och visade potential för att simulera komplexa transportflöden i en riskfri miljö. Pilotstudierna identifierade flera affärsmodeller för samordnade transporter, inklusive användning och efterfrågan av paketboxar i landsbygden, överlämningspunkter vid verksamheter och transport mellan paketboxar. Dessutom utvecklades ett nytt ruralitetsmått och ett index för jämlika transporter, vilket ger underlag för att analysera och åtgärda ojämlikheter i tillgång till transporttjänster. Projektet visade att samordnade transporter kan öka effektiviteten och minska miljöpåverkan, men att framgång kräver tillit, tydliga ansvarsfördelningar och integritetsskyddande lösningar. Strukturella utmaningar, såsom brist på standardiserade data och behovet av regional samordning, framhävdes som hinder för storskalig implementering. Trots detta har projektet lagt en gedigen grund för fortsatt utveckling och demonstrerat konceptets värde, från förbättrad service i glesbygd till effektivare godskejdor för lokala producenter. För att skala upp och implementera projektets resultat rekommenderas att etablera en neutral samverkansorganisation med tydliga principer för ansvar och datahantering. Det är också viktigt att bygga vidare på befintliga nätverk och initiativ, stärka den digitala infrastrukturen och kompetensen, samt vidareutveckla Fraktal-plattformen med fokus på användarvänlighet och skalbarhet. Ett reputationssystem och en administrativ portal bör införas för att förbättra systemhanteringen, och ekonomiska incitament måste etableras för att säkerställa långsiktig hållbarhet. Slutligen rekommenderas att implementera och utvärdera plattformen i mindre skala innan fullskalig drift för att säkerställa dess funktionalitet och anpassning till verkliga förhållanden.

2 Executive summary in English

The Predictive Movement (Steg 3) project was a research project conducted between autumn 2023 and spring 2026, supported by Vinnova, Region Norrbotten, Region Gotland, Luleå kommun, Boden kommun, and contributions from private partners such as A Beautiful Soup, iBoxen, and Tillväxt Gotland. The project aimed to address transport challenges in sparsely populated regions, specifically Norrbotten and Gotland, by exploring the coordination of transport tasks and associated business models. Its scope included the development of technical conditions for a neutral collaboration platform to facilitate transport coordination, with a focus on inter-organisational information management and the broader transport system beyond individual actors.

The project was structured around three primary objectives: the technical development of a neutral collaboration platform, the exploration of business models and actor collaboration in transport, and the analysis of policy and societal impacts. These objectives were pursued through two pilot studies—one in Norrbotten focusing on package deliveries and another on Gotland examining regional transport coordination. In addition to a neutral collaboration platform and a rurality index, the project sought to develop a digital twin to visualize and analyse real transport conditions, enabling better decision-making and planning without serving as an operational control system.

Through a combination of technical development, business modelling, and policy analysis, the project achieved its goals. The neutral collaboration platform, Fraktal, was designed using blockchain technology (Hyperledger Fabric) and an application layer (Hyperledger FireFly) to ensure transparency, traceability, and trust among participants. The platform's decentralised architecture allows for modular expansion and adaptability to different operational environments. Governance of the platform was structured to ensure neutrality, with a steering body enabling users to participate in decision-making regarding its purpose, rules, and future development.

The innovation process pursued in the pilot studies involved several phases, including pre-development, development, implementation, acceleration, and stabilisation. Knowledge exchange was facilitated through networks created with municipalities, researchers, and transport industry actors. The project also contributed to the formulation of collective expectations and strategic visions aligned with Sweden's transport policy goals, which aim to ensure a socio-economically efficient and sustainable transport supply nationwide.

The pilot studies in Norrbotten and Gotland provided empirical insights into coordinated transport solutions. In Norrbotten, 21 package boxes were placed in Luleå and Boden to test new delivery setups, while Gotland explored business models and cases for decentralised and centralised transport coordination. The findings highlighted challenges such as achieving sufficient utilisation rates, optimal placement of package boxes, and securing external investments. The project also identified the need for a neutral platform to coordinate freight data while protecting information ownership, leading to the development of the Fraktal platform.

The Fraktal platform incorporates modules for peer-to-peer data sharing, a private data bus for confidential information exchange, and a Software Development Kit for managing interactions with the decentralised backend. The platform's modular architecture allows for future expansion, including AI-optimised route planning. The project's outcomes include the identification of data-specific limitations and the potential for further development in AI and rurality measurement.

The digital twin, developed using Eclipse SUMO, employed a multi-agent approach to model various vehicle types and traffic volumes efficiently. It was validated through three test scenarios: multimodal interactions in urban environments, public transport in Norrbotten, and Gotland's transport system. Additionally, the project demonstrated an AI-based proof-of-concept for optimising transport routes, using a reinforced genetic algorithm to address capacity-

constrained vehicle routing problems, particularly for shared deliveries and heterogeneous fleets.

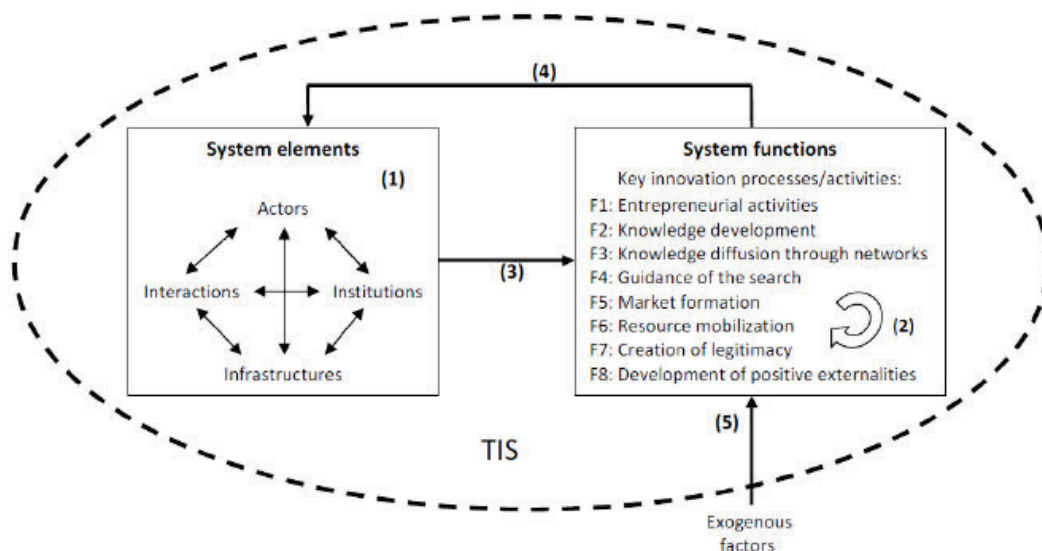
An additional key aspect of the project involved addressing the digital divide between urban and rural areas. The research developed a Gini-index to measure inequalities in transport services, applying it to create maps of rurality and service value. This index, derived from open data, provided a robust measure of remoteness and rurality, offering insights into equitable transport solutions. The project also emphasised the importance of neutrality and data integrity in the collaboration platform, ensuring that all actors could participate on equal terms without favouring specific business models or actors.

The project concludes with recommendations for further technical and organisational development to ensure the platform's scalability and reliability. Key actions include enhancing the digital infrastructure, improving platform stability, and integrating a reputation system and administrative portal. The project also stressed the need for economic sustainability and the testing of business models to support long-term viability. The findings provide a foundation for future policy work, business modelling, and technological advancements in the transport sector, advocating for the institutionalisation and scaling of the platform to create a more sustainable and equitable transport system, especially in the more sparsely populated areas in Sweden.

3 Bakgrund

Projektet hade som utgångspunkt att bygga vidare på de utvecklade tekniska lösningar som togs fram under tidigare projekten Predictive Movement steg 1 (PM1) och steg 2 (PM2). I dessa projekt utvecklades bland annat prototyper av plattform för att konkurrensneutralt samordna transporter med tankar om att möjliggöra realtidsruttoptimering (bland annat med hjälp av AI) och att synliggöra effekter av samordning på transportsystems- och samhällsnivå. Den experimentella fasen visade sig dock varit svagt förankrad i tidigare forskning, systematiska arbetssätt och dokumenterade modelleringsbeslut vilket försvårade den planerade vidareutveckling, särskilt då den individuella kunskapen hos personer involverade i detta utvecklingsarbete inte längre fanns tillgänglig hos de olika partnerorganisationerna. Med denna anledning behövde projektet börja med att ta ett steg tillbaka för att gå framåt och startade med att utifrån ett systemperspektiv analysera både status på det teknologiska innovationssystemet som avser den digitala plattformen för samordning av transporter och de designaspekter som bör ligga till grund för en moderniserad prototyp. Viktiga lärdomar från tidigare projekt som togs i beaktande för fortsatt utveckling kan sammanfattas som: utveckling med ett systemperspektiv, betydelsen av plattformens neutrala egenskaper, och en problematisering av plattformens huvudsyfte. Den svenska transportsektorn är i mångt och mycket en väl utvecklad och mogen sektor, men där problemförståelse och möjlighet till förbättring snarare kan nås på en systemnivå, än genom förändring rörande enskilda aktörer. Det som tidigare kunde beskrivas som en leverantörskedja bör i dagsläget snarare beskrivas som ett värdenätverk eller ekosystem. I denna kontext är den enskilda aktörens integritet en viktig faktor som måste tas i beaktande och därför måste betydelsen av neutralitet undersökas vidare för att förstå vad det innebär för den svenska transportsektorn. För att en digital/teknisk lösning ska kunna bidra till detta system behöver syftet med samordning problematiseras och förstås i dess kontext.

För att undersöka hur nya innovationer uppstår, utvecklas och så småningom blir en del av samhälleliga socio-tekniska strukturer kan ramverket *tekniska innovationssystem (TIS)* användas. Figur 1 illustrerar den strukturella grunden för TIS och dynamiken mellan systemelement, systemfunktioner och exogena faktorer som formar de förhållanden som präglar systemets utveckling och vilka typer av experiment, lärande och samordning som är möjliga.



Figur 1: Det tekniska innovationssystemet.¹

¹ Hellmark, H. (2010). *Unfolding the formative phase of gasified biomass in the European Union: The role of system builders in realising the potential of second-generation transportation fuels from biomass*. Chalmers Tekniska Högskola, Sweden.

Inom detta ramverk betonas att innovation formas av dynamiska interaktioner mellan olika aktörer, institutioner, nätverk och tekniska artefakter.^{2,3} Detta återspeglar i synnerhet situationen inom transportsystemet, där nya teknologier måste utmana och förändra etablerade socio-tekniska system. Befintliga system består av etablerade infrastrukturer, affärsmodeller, regleringar och kulturella normer som skapar kraftfulla hinder för förändring.^{4,5} Andra studier av innovation har länge betonat att interaktivt lärande, osäkerhet och cyklar av återkoppling mellan intressenter iterativt skapar innovation.^{6,7} Konceptet är därför en bra utgångspunkt för att förstå framgången i det här projektet som arbetat med ett nytt socio-tekniskt system, särskilt när framgång av det tekniska systemet inte enbart bero på prestandaförbättringar utan på utvecklingen av ett stödjande innovationssystem som har inverkan på legitimitet, resurser, kunskapsflöden och institutionell anpassning.

En utmaning som har identifierats även i de föregående projekt handlar om inter-organisationell hantering av information kopplat till exempelvis varu- och transportflöden. En förutsättning för att närma sig problemet är att etablera en grundläggande nivå av riskhantering inom organisationer som bland annat beskrivs i informationssäkerhetsstandarden ISO 27002,⁸ där en förståelse för värdet av informationen som hanteras inom och mellan företag är en väsentlig förutsättning. Denna förståelse finner vanligtvis uttryck som resultat av en kallad informationsklassning, en bedömningsprocess som ofta genomförs i workshopform. I sådana sammanhang analyseras olika informationsmängder utifrån hur allvarliga konsekvenserna skulle bli om informationen förloras, förstörs eller manipuleras. Bedömningen görs vanligen med hjälp av en konsekvensskala om tre till fem nivåer, där den lägsta nivån innebär ingen påverkan på organisationen och den högsta nivån motsvarar mycket allvarliga konsekvenser. För att fastställa en klassningsnivå krävs ofta omfattande diskussioner, där deltagarna väger olika perspektiv på informationens värde och betydelse. Trots detta dokumenteras ofta enbart den slutliga klassningen utan någon redovisning av de resonemang som lett fram till beslutet. Avsaknaden av sådan kontext försvårar senare förståelse och minskar transparensen i verksamhetens informationssäkerhetsarbete. Det är problematiskt, då transparens i beslut förloras, och det går heller inte att återbesöka tidigare beslut för utvärdering.⁹ Med anledning att detta är en av de största hinder för en mer utvecklad samverkan mellan aktörerna inom transportbranschen introducerades och prövades en metod, kallad dialogmappning, för strukturerad identifikation och dokumentation av uppfattade problem, lösningsförslag och motiv för beslut inom ramen för fallbeskrivningar som analyserades i projektet.

En annan utmaning som projektet adresserade handlade om svårigheten att bilda sig en uppfattning om problem av och inom transportsystemet bortom enskilda aktörernas perspektiv.¹⁰ Det är vanligt att aktörer och intressenter har en omfattande förståelse för sin egen verksamhet och sina behov och önskemål men samtidigt svårt att uppfatta konsekvenser som det egna

² Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, 37(3), 407–429.

³ Hekkert, M.P., Suurs, R.A.A., Negro, S.O., Kuhlmann, S., & Smits, R.E.H.M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), 413–432.

⁴ Geels, F.W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8–9), 1257–1274.

⁵ Markard, J., & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*, 37(4), 596–615.

⁶ Kline, S. J., & Rosenberg, N. (1986). An overview of innovation. In R. Landau & N. Rosenberg (Eds.), *The positive sum strategy: Harnessing technology for economic growth* (pp. 275–305). National Academy Press.

⁷ Lundvall, B.Å. (1992). *National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning*. Pinter Publishers.

⁸ ISO/IEC 27002. (2022). *Information security, cybersecurity and privacy protection - information security controls* (Standard No. ISO/IEC 27002:2022). International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.

⁹ Barraza de la Paz, J.V., Rodríguez-Picón, L.A., Morales-Rocha, V., & Torres-Argüelles, S.V. (2023). A systematic review of risk management methodologies for complex organizations in industry 4.0 and 5.0. *Systems*, 11(5), 218.

¹⁰ Große, Christine (2022). Towards a Holistic Perspective on Future Transportation Systems: A Swedish Case and a Conceptual Framework. *Future Transportation*, vol. 2(4), 846–867.

handlande ger på en högre systemnivå.¹¹ I transportsystemet kan det ge sig uttryck i att olika transportföretag kör paket till samma målpunkt även om det finns outnyttjad kapacitet i fordonet. En mer utvecklad samverkan mellan dessa aktörer kunde innebära ökad lönsamhet och mindre utsläpp men kräver samordning inom en gemensam systemförståelse. Då det sistnämnda innebär en inte obetydlig kostnad / risk för den enskilda aktören utgör detta en barriär till samverkansinitiativ, i synnerhet då det finns en stor osäkerhet om hur systemnyttan kommer att fördelas bland de enskilda deltagarna och vilka ansträngningar görs för att skapa och bibehålla systemets varaktighet. Utöver intressenternas behov och möjligheter måste därför också förutsättningar för och möjliga effekter av ett samarbetssystem undersökas. Ett verktyg för att analysera transportarbetet och synliggöra möjligheter för samordning är en så kallad digital tvilling. I det här projektet var målet att utforma och implementera en digital tvilling som är skräddarsydd för visualisering och analys av verkliga förhållanden och transporter i heterogena glesbefolkade landsbygdsområden. Dessa områden står inför unika utmaningar, särskilt behovet av att täcka stora geografiska avstånd samtidigt som man upprätthåller tillgänglighet till samhällsservice.¹² En återkommande fråga inom logistik handlar därför om ruttplanering, som i huvudsak försöker att hitta den optimala uppsättningen rutter för en fordonsflotta för att tillgodose kundernas transportbehov och samtidigt minimera den totala körsträckan.¹³ Detta är av betydelse för att kunna reducera emissionerna från transporterna, säkerställa lönsamhet för transportbranschens aktörer och bibehålla en lämplig servicenivå för kunderna, särskilt i mer glesbefolkade områden med långa avstånd. Delstudier inom projektet fokuserade därför på att simulera person- och godstransport på lokal nivå, en möjlig optimering av transporter i en regional kontext och en indexering av jämlikhet gällande transporter i nationellt sammanhang.

Under projektet har dessutom forskningen om olika mekanismer bakom de ökande digitala klyftorna mellan stad och land intensifierats. En av slutsatserna från PM 2 var att klyftorna förklarades tidigare mest med tekniska barriärer men att det nu är allmänt accepterat att anledningen till att invånare på landsbygder berövas av viktiga samhällstjänster och infrastruktur med urban standard finns i den ekonomiska dimensionen, i affärsmodellerna, värdekedjorna, marknadsmekanismerna och operatörsmodellerna som definierar den dagliga verkligheten i samhälleliga system. Däremot är dessa frågor omfattande och komplex med långa tidsramar. I föregående projekt PM2, utvecklade vi därför en initial affärsmodell för användningsfall av samverkan för transporter inom Ljusdals kommun och ett Gini-index för att mäta ojämlikheter. För det sistnämnda lutade vi oss mot nya resultat för att mäta ojämlikheter för mobiltäckning och antydde att dessa kunde tillämpas på andra samhällstjänster, i synnerhet transporttjänster. I det här projektet har vi generaliserat, fördjupat och vidareutvecklat dessa insikter.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Det övergripande syftet med projektet var att utveckla kunskap både om möjligheter för samordning av transporter och tillhörande affärsmodeller och om tekniska förutsättningar och krav gällande en plattform för att samordna transporter. I synnerhet fokuserade projektet på att utveckla och testa digitala lösningar som möjliggör bättre problemförståelse och samordning av transporter mellan olika aktörer inom området. Detta baserades på analyser av tekniska förutsättningar, system och processer, aktörernas behov av samordning, innovation av affärsmodeller, fördelning av transporttjänster mellan stad och land och policyprocesser som kan stödja förändring inom transportsystemet.

¹¹ Große, C. (2023). A Review of the Foundations of Systems, Infrastructure and Governance. *Safety Science*, vol. 160, 106060.

¹² Große, C. (2024). Envisioning sustainable rural development: A narrative on accessibility and infrastructure from a Swedish region. *Journal of Rural Studies*, vol 109, 103319.

¹³ Se exempelvis Dantzig, G.B. & Ramser, J.H. (1959).. The truck dispatching problem. *Management Science*, 6:80–91.

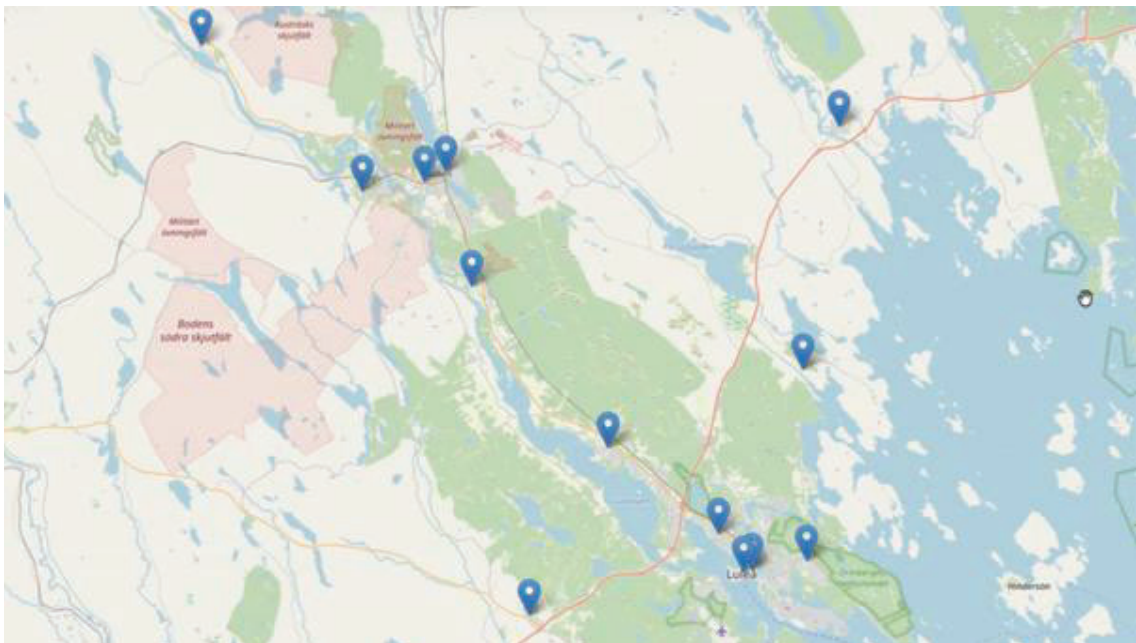
Ramen för projektet bildades av ett övergripande intresse för frågan huruvida digital transformation i transportsektorn kan påverka organisationer och samhälle och vice versa. För att närma sig denna breda frågeställning genomfördes olika delstudier och utvecklingsaktiviteter inom ramen för projektets två pilotarenor, samt en mer övergripande svensk kontext. Dessa två piloter valdes för att utveckla och testa metoder och teknologier i två olika områden med olika förutsättningar och användningsfall gällande transportsamordning. Valet av dessa piloter var också viktigt för förståelse för hur nya typer av aktörer i transportsektorn, såsom autonoma paketboxar, eller andra typer av affärsmodeller kan medföra utmaningar och möjligheter för transportsektorn.

Projektpartnererna deltog som aktiva och kompetenta användare och som experter på sina områden i projektet. Utgångspunkten för utvecklingen var att piloter måste genomföras i miljöer där de systemen sedan ska användas. Här bör det nämnas att projektet togs fram i samverkan med partnererna iBoxen och Energinätverket på Gotland som tog kontakt med tidigare projekt där de första idéerna om en digital plattform för samordning av transporter utvecklades. Projektets empiriska studier och tekniska utvecklingar förankrades därför i två pilotområden.

4.1 Pilot 1 - Samordning av pakettleveranser

I Pilot 1 riktades fokus på att utveckla den digitala plattformen utifrån användarfall och affärslogik i relation till iBoxens verksamhet. iBoxen tillhandahåller infrastruktur i form av obemannade paketboxar och arbetar med ett digitalt verktyg för transportföretag och deras kunder som säkerställer att slutleveransen till kunderna fungerar så smidigt som möjligt för alla aktörer. iBoxens verksamhet hade innan projektet koncentrerat sig på städer och syftet var att utforska efterfrågan och möjligheter till nya affärsmodeller och samverkansformer gällande transporter inom mer glesbefolkade områden, därför föll valet på Norrbottens län.

I början av projektet fördes dialog med Luleå och Boden kommun för att hitta lämpliga uppställningsytor för paketboxarna och teckna avtal om markanvändning. Slutligen valdes uppställningsplatserna enligt kartbilden i Figur 2.



Figur 2: Uppställningsplatser paketboxar

Implementering och test under piloten visade bland annat på skillnader i leveranstäthet mellan stad och glesbygd, vilket nödvändiggjorde specifika anpassningar i systemförutsättningarna för leverantörerna för att kunna nyttja boxarna optimalt. Dialogerna mellan projektpartner och transportaktörerna under studien hjälpte att utforska nya partnerskap och frågeställningar.

4.2 Pilot 2 - Samordning av transporter inom en region

I Pilot 2 fokuserades arbetet på att synliggöra transportbehovet och utmaningar med samordning inom en hel region. Gotland blev utvald, dels för att det handlar sig om en ö, som gör att färjetrafik blir ett avgörande nålsöga för transporterna till och från ön, dels för att färjetransporterna är anledning till att Gotlands transportsektor bidrar omfattande till emissionerna i länet. Intresset för att sänka emissionerna från transporterna är därför stort, dock är strukturen på transportsektorn på Gotland en utmaning. Även om några stora företag måste sköta pakettleveranser på Gotland på grund av villkor i avtal med storkunder, det är i stor utsträckning småföretag som utför transporterna. Det finns alltså ett behov från båda aktörsgrupper att samverka kring frakt och rutter samtidigt som affärskritiska data, exempelvis om avtalskunder, prismodeller och tidsramar, behöver lämnas utanför en neutral samarbetsplattform.

Region Gotland har medverkat som regional medfinansiär och möjliggörare av Pilot 2, där Tillväxt Gotland haft ansvar för regional mobilisering, företagsdialog och förankring av projektarbetet i näringslivet. Gotlands särskilda förutsättningar som ö-region var av särskilt intresse för projektet: långa avstånd i relation till befolkning, stort beroende av fungerande godstransporter och en tydlig koppling mellan transporter, energiomställning och regional konkurrenskraft kan ses som ett exempel för en glesbefolkad region med heterogen struktur. Projektet har på Gotland genomförts genom Tillväxt Gotlands etablerade företagsnätverk, framförallt Energinätverket, där transportintensiva företag, grossister, åkerier, producenter och energibolag ingår. Detta har fungerat som bas för piloten, i linje med projektets ambition att testa digitala lösningar i syfte att stödja samordning av transporter i en regional kontext med både stad och landsbygd. Upplägget möjliggjorde en nära och bred dialog med relevanta intressenter för att både identifiera faktiska behov och förutsättningar och säkerställa kontinuerlig informationsspridning och förankring av projektet i den regionala kontexten.

I pilot 2 genomfördes utöver en löpande mobilisering av relevanta företag och organisationer, ett antal intervjuer, workshoppar och studiebesök för identifiering av behov och regionala förutsättningar, dialogmappning för att utveckla en gemensam bild om dataflöden och informationssäkerhet, samt gemensam innovation, utveckling och validering av användningsfall för den digitala tvillingen och samverkansplattformen. Arbetet har präglats av iterativa processer där tekniska lösningar, affärsmodeller och organisatoriska förutsättningar och samverkan mellan olika intressentgrupper har utvecklats parallellt.

4.3 Metoder för datainsamling, analys, prototyping och test

I arbetet med en neutral samverkansplattform och pilotstudierna i Norrbotten och Gotland har arbetet använt olika metoder för datainsamling och analys. Nedan redogörs för de huvudsakliga tillvägagångssätten för:

- Kartläggning och revision av systemets grunder som utgångspunkt för teknikutveckling
- Innovationsprocess för modellering av affärslogiker
- Analys av behov och risker för olika intressenter inom transportsystemet
- Nyutveckling av digital samverkansplattform, baserat på identifierade nyckelkriterier
- Utveckling och test av användningsfall för samordning av transporter inom pilot 1
- Utveckling av digital tvilling, baserat på pilot 2
- AI-baserat optimering av transporter, med avstamp i pilot 2
- Utveckling av index för jämlika transporter

Kartläggning och revision av systemets grunder som utgångspunkt för teknikutveckling

Utvecklingen av den neutrala samverkansplattformen utgick från tidigare projekts lärdomar. Tidigare projekts experimentella tillvägagångssätt har skapat en nödvändig grund för att i detta projekt kunna fastställa nyckelkriterier som en central utgångspunkt för vidare utveckling av konceptet och den tekniska realiseringen.

Detta första steg kan beskrivas som en orienteringsfas där tidigare projektresultat tillsammans med undersökningar av existerande plattformslösningar och andra forskningsstudier, ledde fram till en problematisering och djupare förståelse för de nyckelkriterier som ligger till grund för en digital plattform i detta projekt.

I ett andra steg anpassades och antogs utifrån nyckelkriterierna en process för plattformsutveckling.^{14,15,16} Denna process baserades till största delen på tidigare forskning om digital plattformsutveckling men behövdes också anpassas till projektets kontext, det vill säga utveckling utan en central aktör som äger och ansvarar för plattformen. Processen bestod av fyra steg: (i) värdeskapande, (ii) struktur, (iii) styrning och (iv) utvärdering. Arbetet byggde på ett socio-tekniskt angreppssätt som användes genom en iterativ process där problemområden, behov och lösningsförslag utvecklats parallellt med varandra i iterationer.

Dessa steg skedde parallellt med andra aktiviteter i projektet såsom pilotutveckling, riskanalyser, prototyping, affärsmodellering, med mera, vilket möjliggjorde att grundläggande aspekter för den tekniska lösningen tilläts framträda (även kallad agil utveckling). Iterationerna resulterade i ett antal grundläggande aspekter för den digitala plattformen som användes för utvecklingen av konceptet, användningsfall inom piloterna och den digitala realiseringen.

Innovationsprocess för modellering av affärslogiker

Projektet har tillämpat en innovationsprocess för modellering av affärslogiker parallellt med den tekniska utvecklingen. Inledningsvis genomfördes en analys av det tekniska innovationssystemet kring den digitala plattformen för samordning av transporter. Med denna systemförståelse genomfördes sedan en innovationsprocess för utvecklingen av cirkulära affärsmodeller inom transportbranschen som en del i arbetet med piloterna i Norrbotten och på Gotland. Arbetet utgick från nära samarbeten mellan alla aktörer. Det empiriska materialet som samlades in och användes i analyserna bygger på olika typer av dokument, grupparbeten, intervjuer och workshops. Innovationsprocessen för modellering av affärslogiker var en central del av arbetet i både Pilot 1 och Pilot 2 och genomfördes i nära samverkan mellan forskare, projektpartner och externa intressenter.

I initieringsfasen av denna process samlade vi in information och skapade uppmärksamhet för området i respektive pilotområde genom möten med intressenter och projektpartner. Processen tog sin utgångspunkt i affärsmodellskonceptet, där affärsmodellen förstås som helheten av hur värde skapas, levereras och fångas genom samspelet mellan erbjudande, aktörsroller, aktiviteter, resurser, intäktsmodeller, kostnadsstruktur och riskhantering. Inledningsvis kartlades befintliga affärslogiker och organisatoriska förutsättningar hos aktörerna i respektive pilotområde, vilket möjliggjorde en analys av styrkor, svagheter och utvecklingspotential i rådande arbetssätt. Under den andra fasen kartlades befintliga affärsmodeller, deras svagheter och utvecklingspotential. Därefter utvecklades och diskuterades alternativa affärsmodellupplägg genom en iterativ och användardriven process baserad på flera omgångar av möten, intervjuer och workshops. I Pilot 1 fokuserade arbetet på affärslogiker kopplade till paketboxlösningar och samordning av leveranser i glesbefolkade områden, med särskild tonvikt på utnyttjandegrad, placering och samspel mellan privata och offentliga aktörer samt den så kallade sista milen. I Pilot 2 låg fokus på regional samordning av transporter på Gotland, där flera olika modeller –

¹⁴ Tura, N., Kutvonen, A., & Ritala, P. (2018). Platform design framework: conceptualisation and application. *Technology Analysis & Strategic Management*, 30(8), 881–894.

¹⁵ Hadzic, M., Chang, E., & Dillon, T. (2007, October). Methodology framework for the design of digital ecosystems. In 2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 7-12.

¹⁶ Fürstenau, D., Auschra, C., Klein, S., & Gersch, M. (2019). A process perspective on platform design and management: evidence from a digital platform in health care. *Electronic Markets*, 29(4), 581–596.

såsom decentraliserade eller centraliserade lösningar inom ramen för en ekonomisk förening eller via transportföretag – analyserades utifrån de gotländska aktörernas behov och förutsättningar. Genom jämförelser mellan piloterna identifierades återkommande utmaningar, bland annat kopplade till tillit, ansvarsfördelning, kostnader och incitament för deltagande, men även gemensamma framgångsfaktorer såsom användarvänliga digitala verktyg, möjligheten att utnyttja befintlig transportkapacitet och behovet av tydliga och transparenta organisationsformer. Affärsmodellerna och användningsfall för den digitala plattformen utvecklades stegvis tillsammans med användarna för att den ska kunna stödja en långsiktig hållbar implementering.

Analys av behov och risker för olika intressenter inom transportsystemet

Sammantaget har den metodologiska ansatsen varit att tillsammans med användarna utforska och konkretisera hur en neutral samverkansplattform kan integreras i verkliga transportflöden och vilka affärslogiker och funktionaliteter som kan stödja en långsiktigt hållbar implementering. I pilotområdena har arbetet utgått från ett praktisknära och behovsdrivet angreppssätt, där befintliga företagsnätverk använts som primär arena för dialog, datainsamling och gemensam problemformulering. Utöver utveckling av konceptuell grund för den digitala plattformen och modellering av relaterade affärslogiker har genom ett workshop- och intervjubaserat format fokus legat på informationssäkerhet och informationsklassificering.

Bland annat har två workshops genomförts med syftet att introducera och pröva en metod för strukturerad dokumentation av beslut, kallad dialogmappning.¹⁷ Metoden erbjuder ett sätt att systematiskt strukturera och visualisera diskussioner där deltagarna väger olika perspektiv på informationens värde och betydelse. Metoden innebär att problemformuleringar, förslag samt tillhörande argument för och emot dokumenteras i en visualisering, antingen digital eller analog. På så vis möjliggör dialogmappning att den information som ligger till grund för beslut, som annars riskerar att gå förlorad, bevaras och kan användas som stöd vid framtida beslut. Workshopparna hölls våren 2025 på Gotland, tillsammans med medarbetare från Destination Gotland och Schenker, och hösten 2025 digitalt, med deltagare från Destination Gotland och flera gotländska transportbolag. Upplägget innehöll fyra steg: (1) en presentation av projektet, (2) en genomgång av vad som kan betraktas som information, följt av en gruppdiskussion om vilken information som används i det dagliga arbetet och på vilket sätt den är betydelsefull, (3) en introduktion till informationsklassning och dialogmappning, inklusive förklaring av klassningsnivåer, konsekvensperspektiv och varför organisationer bör arbeta med informationsklassning, och (4) en praktisk övning att tillämpa dialogmappning vid en informationsklassning av den information som identifierats i tidigare steg.

Utveckling och test av användningsfall för samordning av transporter

I samband med utvecklingen av den tekniska realiseringen av samverkansplattformen utvecklades flera användningsfall. Framtagandet av dessa scenarier utgick från de behoven som identifierades i samverkan med deltagarna i projektet. Baserat på intervjuerna och workshopparna med intressenterna i pilotområden i Norrbotten och Gotland undersöktes både befintliga transportmönster och innovativa idéer för att skapa möjligheter för samordning av transporter för områden med mer utspritt transportarbete. Scenarierna utvecklades genom en iterativ process av identifiering av krav och möjligheter, modellering, evaluering och revidering. De väsentliga kriterier som lades till grund för vidareutveckling av användningsfall var enkelhet, tydliga transport- och dataflöden, hög säkerhet, särskilt gällande integritet av kund- och ruttinformation, och närhet till de olika aktörers/användarnas verklighet. Utifrån denna interaktiva process fördjupades arbetet kring två användningsfall, en i respektive pilotområde, vilka beskrivs mer utförligt i resultatkapitlet. De scenarier som utvecklades användes senare som grund för att utveckla prototypen av den digitala plattformen.

¹⁷ Conklin, J. (2005). *Dialogue mapping: Building shared understanding of wicked problems*. John Wiley & Sons, Inc.

Nyutveckling av en neutral samverkansplattform, baserat på identifierade nyckelkriterier

Grunden för den tekniska utvecklingen av en neutral samverkansplattform utgick från en identifiering och definition av nyckelkriterier, som gjordes i början av detta projekt. Dessa nyckelkriterier låg sedan till grund för det fortsatta arbetet med affärslogiker, behov och riskanalyser, test och användningsfall. Med stöd av ett ramverk för digital plattformsutveckling identifierades sedan ett antal grundläggande aspekter för vidare teknisk utveckling. Dessa aspekter togs fram för att på ett användarcentrerat och utforskande sätt kunna hantera tekniska krav och avgränsningar¹⁸, och kan liknas med agila användarhistorier¹⁹ samt designprinciper för systemutveckling.²⁰

Utifrån aspekterna skapades en första prototyp som utformades som ett enkelt men komplett flöde för att demonstrera hur transportuppdrag kan skapas, delas och hanteras mellan olika aktörer. Byggt på insikterna från test och utvärdering av denna första prototyp tillsammans med utvecklare och involverade transportsystemaktörer har arbetet därefter gått vidare med att utveckla en mer avancerad version av plattformen, *Fraktal*. Utgångspunkten har varit att behålla kärnprinciperna från det initiala konceptet – tydliga arbetsflöden, neutral samverkan och minimal datadelning mellan aktörer – och anpassa funktionaliteten till aktörernas verklighet och skapa en robust och skalbar digital lösning. Genom att vidareutveckla idéerna som demonstrerades i den första prototypen har nästa steg i projektet fokuserat på att närma sig ett system som inte bara illustrerar potentialen, utan också kan börja möta de krav som verkliga tillämpningar ställer.

Fraktal – är en ny typ av neutral samverkansplattform som bygger på en decentraliserad arkitektur vilket medför fördelar för samverkan mellan organisationer. Plattformen bygger på blockkedjeteknik (Hyperledger Fabric) och ett applikationslager (Hyperledger FireFly), där fokus lades på att utveckla logiken i det decentraliserade modulära systemet, i synnerhet kopplat till ett "backend" och möjligheter att koppla ihop aktörerna i systemet (privatpersoner, paketboxar, transportörer, etc). En enklare administrativ portal och olika användargränssnitt för *Fraktal* utvecklades inom projektet men ytterligare "frontend"-gränssnitt prioriterades ej. Detta gjorde det möjligt att fokusera på kärnsystemarkitekturen och den decentraliserade logiken, samtidigt som en viktig insikt från projektet är att ett mer användarvänligt administrativt gränssnitt skulle behövas för implementering i verkligheten.

Den utvecklade plattformen och dess logik testades och utvärderades i ett realistiskt scenario kopplat till Pilot 1. Testet utgick på att analysera hur plattformen stödjer transport av ett paket från ett ombud till en obemannad paketbox i Norrbotten, samt hur interaktionen mellan transportör, plattform och mottagare sker. Målet var att verifiera funktionaliteten i den tekniska processen och tillhörande dataflödet samt att identifiera eventuella tekniska hinder inför en framtida fullskalig drift. Paketöverlämningar simulerades med hjälp av deltagare, registrering och bearbetning av transportuppdrag och dess status med hjälp lokala datorer samt manuell överföring av paket mellan rollerna (kund, ombud / paketbox och transportör).

Utveckling och test av digital tvilling

Pilotstudierna i Norrbotten och på Gotland låg till grund för utveckling av en digital tvilling skräddarsydd för de speciella regionala förhållandena. För att vara ett effektivt operativt verktyg är kravet att den digitala tvillingen spegla verkligheten med lämplig noggrannhet. Utvecklingen av tvillingen för transportsimulering baserades på fallbeskrivningar och behov från företag och användningsfall anpassade till Norrbottens och Gotlands struktur (landsbygd, små flöden, säsongsvariationer). Målet var att facilitera en dialog om hur simuleringar kan användas som besluts- och planeringsstöd snarare än operativt styrsystem samt att öka medvetenhet och samarbete mellan transportaktörerna.

¹⁸ Davis, A. M. (1993). *Software requirements: objects, functions, and states*. Prentice-Hall, Inc..

¹⁹ Cohn, M. (2010). *Succeeding with agile: software development using Scrum*. Pearson Education

²⁰ Hevner, A., & Chatterjee, S. (2010). *Design science research in information systems*. In *Design research in information systems: theory and practice*, Boston, MA: Springer US, 9–22.

Den tekniska realiseringen krävde ett system som kunde hantera trafikvolymen och modellera olika fordonstyper, från tunga lastbilar till lokala bussnätverk, utan att det medförde ett orimligt krav på beräkningskapacitet. En kritisk begränsning var hårdvaran; då det eftersträvades en lösning utan dyra backend-servrar som kunde köras lokalt på standardhårdvara. Kravet utmynnade i att använda en multiagentansats där varje fordon och fotgängare modelleras som en oberoende "agent" med sitt eget ursprung, destination och beteendelogik. En sådan granularitet möjliggör simulering av komplexa interaktioner och realistiska scenarier i en kontrollerad, riskfri digital miljö. Dessutom var utgångspunkten att tvillingen skulle vara öppen källkod och omfattande dokumenterad.

Eclipse SUMO (Simulation of Urban MObility)²¹ valdes som ramverk för vår digitala tvilling. SUMO är en modulär verktygssvit som ger transparens och finjusterad kontroll över simuleringsprocessen med hjälp av en multiagent-simuleringsmetod.²² Beslutet att använda SUMO grundades på dess modulära arkitektur, som eliminerar komplexa beroenden. Till skillnad från den tidigare versionen av den digitala tvillingen lagrar SUMO all scenariodata – nätverk, rutter och konfigurationsfiler – lokalt. Detta uppfyller kravet på en serverlös drift. Sviten tillhandahåller dessutom specifika verktyg som tillgodosåg våra behov av datainhämtning för de scenarier vi planerat att simulera och visualisera. Utöver de operativa mekanismerna har SUMO även starka analytiska komponenter som stöder verklig multimodalitet för att modellera exempelvis fotgängare, cyklar och järnvägstrafik tillsammans med bilar med hjälp av etablerade mikroskopiska modeller (t.ex. Krauss modell för bilföljande²³). Detta möjliggör extrahering av mätvärden på tre olika detaljnivåer: på fordonsnivå, på ruttnivå och på systemnivå.

Utvecklingen av den digitala tvillingen nödvändiggjorde specifika modelleringsbeslut för att balansera mellan realism och tillgänglighet av data. När det gäller interaktioner mellan enskilda aktörer så simulerade vi dessa under antagandet att standardkörlogik gäller, det vill säga att om inget annat anges följer aktörerna de vanliga trafikreglerna, håller säkra bromsavstånd och anpassar körd hastighet till skyltade hastighetsbegränsningar. Dessutom ansågs att OpenStreetMap-data tillhandahöll en tillräckligt noggrann topologi för ruttplanering. Vi var dock medvetna om att data om landsvägar kan vara ofullständiga, vilket krävde ett valideringssteg för att säkerställa att "körbara" vägar på kartan verkligen var sammankopplade i simuleringen. Slutligen utgick vi från några statistiska antaganden om efterfrågan för bakgrundstrafiken. I avsaknad av omfattande ursprungs-destinationsmatriser för varje landsväg utgick vi från en statistisk fördelning av trafiktätheten för att representera "bruset" från den allmänna trafiken. Antalet genererade fordon var en uppskattning baserad på data som samlats in från SCB:s statistik.

För att validera den digitala tvillingen genomfördes slutligen tre olika testscenarier för att analysera simuleringsmiljöns användbarhet: ett som fokuserade på multimodal interaktion i en stadsmiljö, ett som simulerade kollektivtrafik i Norrbotten och ett som tillämpades på Gotlands transportsystem.

AI-baserat optimering av transporter, med avstamp i pilot 2

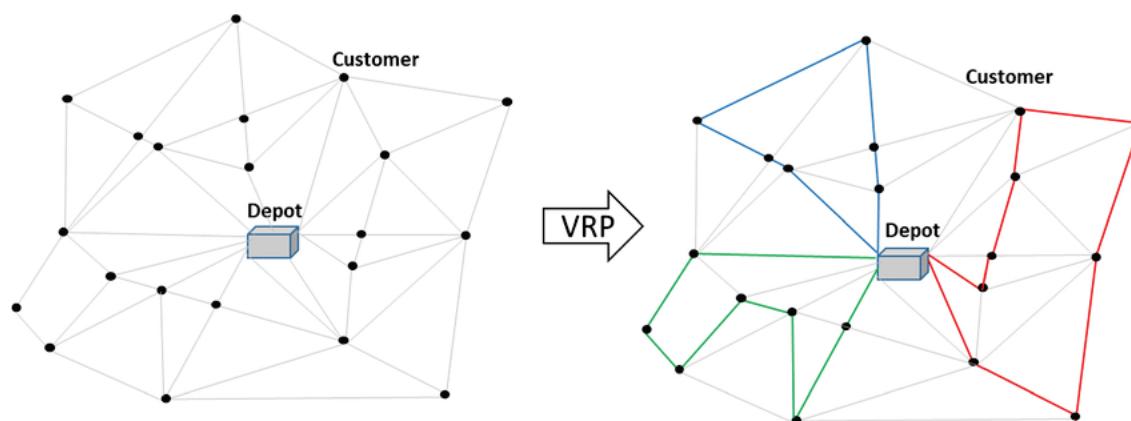
Piloten med transportföretag på Gotland låg till grund för en studie om möjligheter till AI-baserat ruttoptimering. Vi utgick från en idealiserat struktur av transportsystemet där depåer och kundnoder sammanlänkas genom körsträckor (se Figur 3) som förknippas med olika egenskaper, exempelvis transportkostnader.

En vanlig variant av problemet, som är särskilt relevant i projektets sammanhang, rör kapacitetsbegränsningar för fordonen. Här fokuserade vi på två mindre kända varianter: en med

²¹ <https://eclipse.dev/sumo/>

²² Lopez, P.A. et al. (2018). Microscopic Traffic Simulation using SUMO, "21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Maui, HI, USA, 2018, 2575-2582

²³ Krauß, S. (1998). Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics. PhD Thesis, University of Cologne.



Figur 3: Schematisk exempel på ett ruttnproblem som lösas genom tre parallella rutten.

delade leveranser, där flera fordon kan leverera till en enskild kund, och en annan med heterogen flotta, där en flotta av fordon med olika kapacitet kan betjäna kunder. Båda dessa varianter modellerar realistiska situationer gällande transporter på Gotland och är därför särskilt relevanta här.

I denna proof-of-concept utvecklades och testades en förstärkt genetisk algoritm för förstärkt inlärning för att lösa ett kapacitetsbegränsat fordonsruttningsproblem med både delade leveranser och en heterogen fordonsflotta. Vår lösning använder en ny kromosomrepresentation och introducerar ett par operatörer på dessa. Vi använder förstärkt inlärning för att dynamiskt lära algoritmen valet av genetiska operatörer. Vi demonstrerar prestandan hos vår metod på en anpassad dataset inspirerad av leveranser av jordbruksprodukter på Gotland.

Vi använde en ny anpassad dataset baserad på öppet tillgängliga data om jordbruksbyggnader och vägnätet på Gotland. 250 leveransplatser valdes ut från alla platser som markerats som jordbruksmark i OpenStreetMaps-databasen. Det parvisa avståndet mellan kundnoder och avstånden mellan kunder och depåer beräknades medan efterfrågan för varje kund antogs från en likformig fördelning i intervallet $[1, 10]$, och fordonskapaciteten likaså i intervallet $[100, 200]$. Målet var att utforma en uppsättning rutten, var och en tilldelad exakt ett fordon, så att varje rutt börjar och slutar vid depån och den totala efterfrågan på en rutt inte överstiger kapaciteten för det tilldelade fordonet. Flera fordon får besöka samma nod. Syftet var att minimera den totala sträckan, definierad som summan av alla körkostnader över alla nodpar som passerats.

Utveckling av index för jämlika transporter

Under projektet har forskningen om mekanismer bakom de ökande digitala klyftorna mellan stad och land intensifierats. Arbetet har utgått från resultat i PM 2, där vi utvecklade ett Gini-index för att mäta ojämlikheter. Vi såg att dessa resultat kunde tillämpas på andra samhällstjänster, i synnerhet transporttjänster. och nu har vi generaliserat, fördjupat och vidareutvecklat dessa insikter.

Ett index bestäms av två separata kartor över en region eller ett land:

- *En karta över "ruralitet"*. Varje plats i ett land tilldelas ett mått av ruralitet. Därmed kan platser i landet jämföras och "ordnas" i en ruralitetsordning. Detta krav på att kunna ordna platser efter ruralitet är kritiskt för att sedan använda kartan som underlag för ett jämlikhetsindex. Vi har under projektets gång insett att det finns flera mått och att det saknas en vedertagen förståelse för ett sådant mått. För att ett index ska ha någon betydelse och auktoritet behövde vi säkerställa att denna ruralitetskartan definieras meningsfullt.
- *En karta över landets population* som beskriver antingen tjänstens värde på varje plats, eller tjänstens kostnad. För transporttjänster kan en sådan karta till exempel beskriva distansen från en plats till närmaste utlämningspunkt (distanst är då ett mått för kostnaden förknippat med tjänsten, en större distans speglar då en större kostnad).

Vårt arbete har inriktats på att definiera dessa kartor på ett sätt som är unikt, möjliggörs med öppet tillgängliga data, är enkelt att beräkna och därmed tillåter en potentiellt bred användning. Inledningsvis har vi analyserat vanligt förekommande mått på avlägsenhet [*remoteness*] och ruralitet [*rurality*] med bred global spridning, utvecklade av myndigheter i Europa, Nordamerika och Australien. Denna analys visade att de befintliga ruralitetsmåten i litteraturen inte uppfyller kraven på att antingen kunna ordna platser efter ruralitet eller att kunna beräkna detta med hjälp av öppna data. Därför har vi sedan utvecklat ett nytt ruralitetsbegrepp och ett mått för ruralitet som bara behöver en befolkningskarta som input. Resultaten redovisas i kapitel 6.

5 Mål

Arbetet mot projektets syfte fokuserade på ett antal mål som kan sammanställas under tre huvudområden: den tekniska utvecklingen av den neutrala samverkansplattformen, affärsmodeller och aktörssamverkan kopplade till transporter, och kunskap om effekter på policy och samhällsnivå. Konkret har studierna inom projektet fokuserat på följande mål:

Utveckling och anpassning av tekniken

- Digital plattform är utvecklat och testad i verklig miljö i Pilot 1 för samordning av transporter.
- Digital tvilling är anpassad och testad i Pilot 2 för att synliggöra transportsystemet.
- Potential för omställningen av transportsystemet är demonstrerat genom pilotprojekten där nyttan för användare är exemplifierat.
- Tekniska lösningar är förnyade och dokumenterade under beaktande av användarvänlighet och att de lätt ska kunna tillämpas inom nya områden.

Affärsmodeller och samverkan

- En affärsmodellslogik har testats i båda piloter med utgångspunkt i avnämares behov.
- Affärsmodeller för samordning av transporter som stödjer fortsatt implementering är beskrivit.
- Kommunikationsarbetet i projektet har spridit resultat till olika intressenter och aktörer.

Policy, standardisering och regelverk

- En modell för säker datadelning är inarbetad i den tekniska utvecklingen baserat på dialog med avnämare och under beaktan av lagar och regelverk inom området.
- Ett index för jämlika pakettleveranser över landet är framtagna.
- En analys av hur möjligheter för digital samordning av transporter och insikter från pilotstudierna kan informera transportpolitiken och policyprocesser är genomfört.

Alla dessa mål anses vara uppfyllda genom projektets aktiviteter. Nedan beskrivs resultaten i mer detalj.

6 Resultat och måluppfyllelse

I detta kapitel beskrivs projektresultat utifrån systemutvecklingslogiken som beskrevs ovan i relation till projektets mål. Det första målområdet avser den digitala kärnan - den tekniska utvecklingen som baseras på resultat presenterat i avsnitt 6.1 och konkretiseras i 6.4 till 6.6. Det andra målområdet fokuserar på systemanvändning och användarnas perspektiv, avsnitt 6.1 till 6.3 presenterar resultaten. Det tredje målområdet intar en bredare perspektiv på säkerhet, jämlikhet och möjliga samhällseffekter; medan avsnitt 6.1 till 6.4 lägger grunden visar avsnitt 6.5 och 6.6 på tekniska realiseringarna, 6.7 på möjliga framtida utvecklingar med hjälp av AI och 6.8 på ett index för att bedöma jämlikhet gällande transporter över hela landet. Arbetet byggde på ett socio-tekniskt angreppssätt som användes genom en iterativ process där problemområden, behov och lösningsförslag utvecklats parallellt med varandra i iterationer.

6.1 Systemets grunder som utgångspunkt

Projektet antog tidigt en tydlig riktning med hjälp av ett antal nyckelkriterier. En väsentlig utgångspunkt var att följa ett **ekosystem**-perspektiv.^{24, 25, 26} Det ansågs viktigt för utveckling av den digitala samverkansplattformen eftersom transportsektorn består av många olika typer av aktörer som alla måste tillåtas ha autonomi och självorganisering för att kunna attraheras till att delta i samverkan kring transporter med hjälp av en teknisk lösning.

Neutralitet och **integritet** (av data) visade sig vara centrala egenskaper som aktörer i tidigare och detta projekt återkommande poängterade som grundläggande. Däremot var det oklart hur dessa skulle säkerställas och vad de innebar för en teknisk lösning. **Samverkan** eller samarbete lyftes också regelbundet som ett annat viktigt kriterium. Här utvecklades detta vidare till att bli huvudändamål för den tekniska lösningen kring en neutral samverkansplattform, det vill säga att **koordinera data** för att möjliggöra samordnade transporter.

En samlad bild av de aspekter som är viktiga att beakta vid utveckling av en digital plattform för samordning av transporter i Sverige diskuteras nedan och struktureras som en cyklisk process som innehåller fyra steg: (i) värdeskapande, (ii) struktur, (iii) styrning och (iv) utvärdering. Motivet för att börja med värdeskapande som första steget är att plattformens existensberättigande utgår från att hela systemet och dess aktörer får en (potentiell) nytta när plattformen implementeras. Utan värdeskapande finns ingen grund för vare sig struktur, styrning eller utvärdering. Resultatet presenteras nedan sekventiellt men har under projektets gång tagits fram i iterationer.

Värdeskapande

Värdeskapandet i systemet uppstår genom komplementaritet mellan aktörer, nätverkseffekter, samt gemensamma nyttor som inte uppnås individuellt. För att transportsektorn ska bli mer hållbar, mer delaktig och effektivare behöver plattformen främja samarbete och minskat svinn. Plattformsspecifika aspekter som är viktiga för detta är:

- *Incitament*: För att skapa ett livskraftigt ekosystem måste plattformen utformas så att aktörer gynnas mer av samarbete än av konkurrerande beteende.²⁷ Aktörer behöver få hjälp med överflödesproblematik och transport av paket som inte lönar sig. Aktörer vill dock inte dela data som gör att någon annan aktör kan kapitalisera på de. Primärt leder detta till att plattformen främjas av att ha en neutral affärsmodell, i meningen att inte kapitalisera på användardata eller ens hantera användardata. Syftet, och huvudfunktionen med plattformen, kan därför beskrivas som att koordinera data om behov och kapacitet av transport på lika villkor. I linje med Axelrod och Hamilton²⁴ måste det också finnas incitament för att data är korrekt, för belöning av samarbetsinriktad beteende och för att reducera negativa effekter för beteenden som motverkar eller skadar systemets funktion.
- *Inkludering*: Värdeskapande ökar när fler aktörer kan ansluta sig och integrera sina system. Plattformen bör därför stödja att alla som vill kan ansluta sig, inklusive stöd för olika typer av affärsmodeller och roller. Transportsektorn består idag av många olika typer av aktörer, digitala system och standarder. Vår analys synliggör att en integration eller anslutning av nya typer av aktörer kan främja transport, särskilt inom områdena med låg tillgänglighet.

Värdeskapande driver i sin tur behovet av en struktur för samverkan och koordinering.

²⁴ Ardener, E. (2012). "Remote areas". *Some theoretical considerations. Journal of Ethnographic Theory*, 2(1), 519–533.

²⁵ Tan, F. T. C., Ondrus, J., Tan, B., & Oh, J. (2020). *Digital transformation of business ecosystems: Evidence from the Korean pop industry. Information Systems Journal*, 30(5), 866–898.

²⁶ Jacobides, M. G., Cennamo, C., & Gawer, A. (2018). *Towards a theory of ecosystems. Strategic Management Journal*, 39, 2255–2276.

²⁷ Axelrod, R., & Hamilton, W. D. (1981). *The evolution of cooperation. science*, 211(4489), 1390–1396.

Struktur

Strukturen definieras av hur aktörer, aktiviteter och data hänger samman. I denna fas konkretiseras vilka aktörer som deltar, vilka roller som är relevanta och vilka typer av data och information som måste utbytas och på vilket sätt. För denna typ av plattform som projektet avser blir frågan om en centraliserade versus en decentraliserade struktur viktig. Strukturen måste kunna skilja mellan vilka data som måste vara central och vilka som måste hållas decentraliserad för att motverka otillåten aggregering (i enlighet med neutralitetskravet). I relationer mellan människor (eller organisationer) ses detta oftast som en självklarhet, men det blir betydligt svårare att realisera genom en digital tjänst på grund av den digitala verklighetens natur. I och med att den digitala tjänsten utvecklas av någon i ett syfte finns en inbyggd hierarki som inte kan bortses ifrån. I det digitala är således en viss centralisering ofrånkomlig, men kan hanteras på sätt och vis genom en decentraliserad arkitektur. Exempel på decentraliserade digitala lösningar är internet, kryptovaluta, eller peer-to-peer file sharing (torrenting). För en plattform för samordning av transporter måste dock strukturen vägas mot andra aspekter som syftesriktighet, hur tjänsten drivs, att ansvar fördelas mellan parter, affärsmodell, med mera.

För denna typ av plattform ser vi därför ett behov av en centraliserad arkitektur som hanterar och säkerställer praktiska aspekter kring hur aktörer kan ansluta sig, hur regler skapas och förändras, och att plattformen uppfyller syftet. Denna del av plattformen får dock inte ha möjlighet att kapitalisera på enskilda aktörers verksamhet, vilket nödvändiggör en decentraliserad del som är helt transparent för medverkande aktörer. Denna del hanterar koordinering av data, att regler följs och att aktörer kan till en viss mån se andra aktörers beteende.

Ytterligare aspekter som kan främja användarmedverkan är att det finns ett visst mått av autonomi och möjlighet till återkoppling från aktörer för att stödja lärande och anpassning till förändringar. Två viktiga aspekter som identifierats i detta fall kopplat till plattformens struktur är:

- *Integritet:* Ett uttryckt behov bland transportföretag är att data om kunder inte ska samlas och aggregeras på plattformen för att säkerställa att enskilda aktörer inte ska kunna kapitalisera på kunddata eller företagets transportmönster. Kunddata får inte heller kunna härledas eller rekonstrueras, exempelvis genom att en aktörs rörelsemönster kartläggs av andra aktörer (också kopplat till enskilda chaufförers integritet). Att möjliggöra koordination av transporter och samtidigt bibehålla rätt dataintegritet är därför en väsentlig aspekt för plattformen, och bygger till ett neutralt förhållningssätt till medverkande aktörer och en förutsättning för att skapa lika villkor. För plattformen är viss typ av data nödvändig för att uppfylla dess funktion. På en övergripande nivå behöver åtminstone några datatyper vara synlig på plattformen, såsom identitet och roll, (organisationens namn och dess uppgift på plattformen), behov (skicka ett paket eller har ledig transportkapacitet), beteende (grad av uppfyllda åtaganden). Annan data som behövs för att möjliggöra transporter måste sedan ske på ett decentraliserat sätt.
- *Integrerbarhet och öppenhet:* Strukturen måste vara flexibel nog att rymma olika typer av aktörer och processer i den svenska transportsektorn. I våra pilotstudier deltog många olika typer av aktörer, allt från stora transportbolag med etablerade rutiner och system, till små enskilda företag med mer manuell hantering. Plattformen bör därför stödja att aktörer kan ansluta sig samt att olika standarder och system ska kunna användas, genom tex öppna API:er. Plattformen bör vidare fungera som en infrastruktur snarare än en slutprodukt, så att flera tjänsteleverantörer kan bygga värde ovanpå, det vill säga plattformen behöver stödja interoperabilitet mellan system. Integrerbarhet är en förutsättning för innovation, skalbarhet och långsiktig livskraft.

Systemet behöver styrning vars utformning beror på systemets struktur.

Styrning

Styrningen formar reglerna dels för hur samverkansplattformen fungerar, dels för hur den koordineras och utvecklas. Detta får en än större innebörd i ett decentraliserat system, jämfört med en mer centraliserad systemarkitektur. Ett av nyckelkriterierna i detta projekt har från början varit att skapa en neutral samverkansytta för transportsektorn och dess olika aktörer på grund av att det setts som en förutsättning för att nå en förbättring på samhällets transportsystemnivå. Som ett resultat av projektet framstår neutralitet som en central aspekt, även gällande styrningen av samverkansplattformen. Decentralisering och neutralitet får i hög grad konsekvenser för samverkansplattformens affärsmodell, vilket är i linje med hur digitalt ekosystem fungerar men detta skapar samtidigt utmaningar för hur plattformen kan drivas och styras i praktiken. I detta projekt har därför en konceptuell modell antagits för hur plattformen drivs och styrs. Modellen bygger på ett styre (exempelvis i form av en ekonomisk förening där även användare har möjlighet att ingå), som kan besluta om vitala delar av plattformens syfte, ansvar, regelverk, drift och vidareutveckling, etc. Denna övergripande del drivs av intäkter från plattformens verksamhet, exempelvis genom en merkostnad. Denna fördelning, mellan styrning och teknisk realisering av plattformen, är i slutet av projektet en självklarhet för att kunna förverkliga en neutral samverkansplattform men visar också på vikten av att plattformen och dess styrning lever upp till sitt syfte. Följande två aspekter måste därför tas i beaktande:

- **Neutralitet:**
 - **Styrningsneutralitet:** För att undvika skapandet eller förstärkning av maktpositioner och för att bidra till likvärdiga villkor är neutralitet en avgörande egenskap. Plattformen måste kunna främja och vidmakthålla en neutral ställning till övriga aktörer. För denna kontext är det av vikt att det finns ägar- och styrningsneutralitet, att plattformen inte drivs i första hand i ett kommersiellt syfte utan främjar en bättre koordinering av transportbehov och -kapacitet. För detta är det viktigt att detta representeras i styrningformen, exempelvis genom att viktiga aktörsgrupper finns representerade.
 - **Konkurrensneutralitet:** Som beskrivit ovan måste det finnas en rimlig affärsmodell för att driva plattformen och dess utveckling. För att bidra till konkurrensneutralitet måste modellen dock stödja en icke-diskriminerande prissättning gällande avgifter och villkor. På liknande sätt relaterar neutralitet till data som plattformen hanterar, de måste finnas tillgänglig för alla aktörer på lika villkor, och får inte användas i andra eller dolda syften. Det måste vara tydligt vem som äger, kontrollerar och får använda data (se också ansvarskriteriet nedan).
 - **Funktionsneutralitet:** När det kommer till lika villkor för aktörer finns det också ett behov av funktionsneutralitet, det vill säga att plattformens logik och funktioner inte gynnar vissa aktörer (by design). I likhet med andra identifierade aspekter inbegriper detta att plattformen bör sträva efter öppna gränssnitt (API:er) och standarder. Plattformen bör fungera som en möjliggörare som kan vidareutvecklas och anpassas mer än en färdig slutprodukt.

För neutralitet är transparens och öppenhet viktiga faktorer, vilket innebär att regler kring hur data används och plattformen fungerar behöver genomtänkas. Det är också viktigt att för plattformen gynnsamma aktörsbeteenden främjas medan beteenden med negativa effekter motverkas. Detta leder till en annan viktig faktor relevant för styrning av samverkansplattformen.

- **Ansvar:** På samma sätt som incitament behöver finnas för samverkansplattformen behövs ett sätt att upprätthålla rätt typ av aktörsbeteenden. För denna kontext har projektet identifierat ett viktigt behov i att upprätthålla en rimlig säkerhetsnivå genom ansvarsfördelning mellan deltagande aktörer. Likvärdiga villkor betyder här att ingen

aktör bör ha fördelar gentemot andra aktörer men innebär också att plattformen måste bygga på en tydlig ansvars- och befogenhetsfördelning. I och med nödvändigheten av en decentraliserad arkitektur finns ingen central enhet som har möjlighet eller vill ta ansvar för enskilda aktörers beteende. En ansvarsfördelning måste följa med i varje aktivitet och lämnas över mellan deltagande aktörer. Detta innebär att det måste finnas en spårbarhet och mekanismer för att motverka negativt beteende.

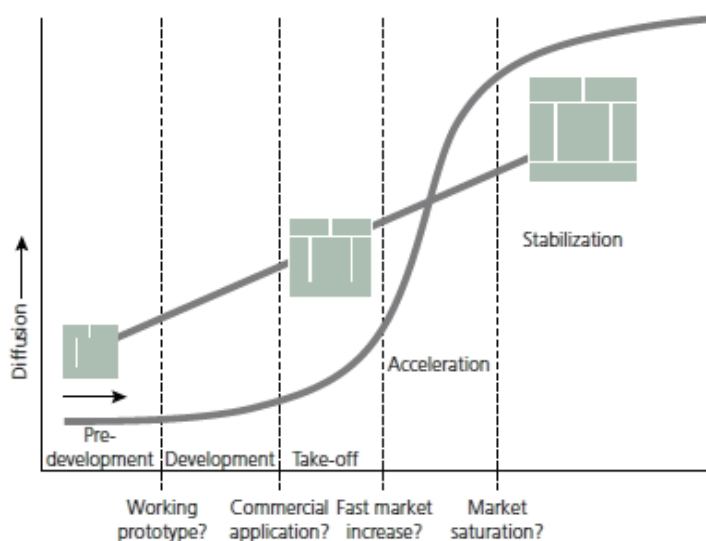
Utvärdering

Resultatet av interaktionen mellan de tre stegen, värdeskapande, struktur och styrning, utvärderas iterativt i ett sista steg (kan även beskrivas som ett nav). I projektet pågick denna cykliska modell för plattformsutveckling parallellt med övriga aktiviteter och utvärderade de aspekter som plattformen måste hantera. Det iterativa förfarandet sågs som en nödvändighet på grund av projektet och den tekniska lösningens komplexitet, där en iterativ process tillåter att ett resultat av en förändring framträder. En ytterligare aspekt som tillkom i denna fas var tillit. Tillit byggs bland annat genom transparens, stabila och förutsägbara regler, beteendebaserad spårbarhet, neutralitet gällande både plattformens funktion och ägande. När tilliten ökade under projektets gång, ökade också aktörernas vilja att bidra och delta, vilket kommer att öka värdeskapandet, vilket i sin tur förstärker cykeln som beskrevs ovan. För fortsatt utveckling rekommenderas att detta steg utvärderar och problematiserar användandet av plattformen mot tilliten för det digitala systemet.

6.2 Innovationsprocesser och affärslogiker

Det tekniska Innovationssystemet för att möjliggöra samordnade transporter

Tekniska innovationer utvecklas inte i ett svep från en tidig idé till bred implementation i samhället. Istället brukar de genomgå flera, alltmer strukturerade och ömsesidigt beroende, faser. I denna rapport skiljer vi mellan 5 faser (se Figur 4)²⁸ : före-utveckling, utveckling, implementering, acceleration och slutligen stabilisering. Dessa faser beskriver både mognaden av tekniken och relationen till det sociotekniska systemet som kopplar samman teknik, utveckling och användning genom att tydliggöra distinkta mönster av aktörsbeteende, systemfunktioner och återkopplingsmekanismer.



Figur 4: Mognadsfaser inom teknikutveckling

²⁸ Hekkert, M., Negro, S., Heimeriks, G., & Harmsen, R. (2011). *Technological innovation system analysis: A manual for analysts*. Utrecht University, 16.

De tidiga faserna präglas av osäkerhet, utforskande och fragila nätverk, medan de senare faserna kännetecknas av ökad legitimitet, marknadsutveckling, institutionell anpassning och en bredare implementering. Övergångarna mellan faserna är i hög grad beroende av att både de tekniska och innovativa funktionerna stärks, särskilt entreprenöriellt experimenterande, kunskapsutveckling och spridning, marknadsbildning och legitimitet.

I början av det här projektet karakteriserades den tekniska utvecklingen av mönstret för ett innovationsinitiativ i ett tidigt skede, det vill säga aktiviteterna är preliminära, utforskande och ojämnt fördelade över de sju TIS-funktionerna (se Figur 1). Ett typiskt mönster för fas 1 är att en begränsad uppsättning funktioner börjar fungera, framför allt kunskapsutveckling (F2), kunskapsspridning (F3), vägledning (F4) och tidiga former av resursmobilisering (F6), medan entreprenörsaktivitet (F1), legitimitetsskapande (F7) och marknadsbildning (F5) förblir minimala eller obefintliga.

Under projektets gång har vi lyckats med att accelerera kunskapsutveckling (F2) som nu utgör ett av de mer aktiva elementen jämfört med initiativets tidiga konfiguration. Kunskapen som fanns att utgå ifrån i början av det här projektet var ostrukturerat och utspridd, vilket återspeglar innovationssystemets formativa position. Däremot gav den en meningsfull inledande inblick i kontexten av transportplanering och logistik och organisatoriska förhållanden som i sin tur formar förhållanden för digitala lösningar för att samordna transporter. Även om denna kunskapsmängd inte var uttömmande var den en lämplig utgångspunkt i arbetet med att definiera omfånget, den tekniska inriktningen och rimliga operativa krav. Kunskapen från tidigare projekt PM1 och 2 saknade dock detaljerade beskrivningar eller ett designorienterat perspektiv, vilket också föranledde några målsättningar för det här projektet (se tidigare avsnitt). Det saknades tekniska specifikationer, dataarkitekturer, operativa och styrningsmodeller som skulle krävas för att gå vidare mot en integrerad prototyp. Allteftersom förståelsen fördjupades blev det alltmer viktigt att utveckla precisionen och detaljerna i kunskapen om det specifika socio-tekniska systemet och hur kunskapen tas fram. Under det här projektet blev det tydligt att dessa mer avancerade kunskaps typer blev mer och mer relevant i takt med att konceptet om en neutral digital samordningsplattform för transporter utkristalliserades. Att ytterligare stärka kunskapens omfattning kommer därför också vara en central faktor för framtida framsteg.

Kunskapsutbyte (F3) tog fart under projektets gång, men omfattningen kan ses fortfarande vara begränsad. De viktigaste nätverken för kunskapsutbyte är de som skapats genom projektaktiviteterna som involverade kommuner, forskare och aktörer inom transportbranschen både i Norrbotten och på Gotland. Dessa nätverk är värdefulla och skulle behöva vidareutvecklas i takt med att plattformen tas i bruk och skalas upp. Hittills är dessa nätverk mestadels projektbundna och icke-institutionaliserade. Deras räckvidd är därför begränsad och interaktionsintensiteten varierar mellan aktörerna. Utbytet mellan forskning och praktik är etablerade med hänsyn till pilotprojekten genom att analysera aktörernas behov och förutsättningar samt reflektera över egenskaper av möjliga lösningar, vilket stödjer ömsesidigt lärande. Paradoxen var dock att avsaknaden av en konkret, integrerad teknisk lösning eller lättillgänglig prototyp medförde att diskussionerna med intressenterna alltför ofta stannar vid en otydlig problembild och ostrukturerade krav. Under projektets gång har vi därför arbetat fram en mer konkret kravställning som utgångspunkt för en moderniserat prototyp av plattformen. Vägledningen (F4) innebär att kollektiva förväntningar, politiska mål, strategiska visioner och branschplaner är formulerade. Det övergripande målet för Sveriges transportpolitik är i stort sett oförändrat sedan 90-talet (Prop. 1997/98:56): "Transportpolitikens övergripande mål är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet". Detta bör vara utgångspunkt för utvecklingen av nya lösningar för att reducera emissionerna från transporterna och samtidigt se till att främja grundläggande tillgänglighet med god kvalitet och användbarhet som bidrar till utvecklingskraft i hela landet. De transportpolitiska målen behöver dock konkretiseras och leda till ett mervärde för aktörer inom transportsystemet för att initiera innovation. Projektaktörerna delar uppfattningen att en förbättrad samordning av transporter kan påverka tillgänglighet, transporteffektivitet och miljöeffekterna. När det gäller frågor om branschkonsolidering, marknadsförändring eller teknisk design har dock ingen tydlig vision ännu framkommit, även om vi har sett andra digitala initiativ

för att möjliggöra hanteringen av över- och underbeläggning mellan transportföretag. Under projektet blev det tydligt att aktörer har olika uppfattningar om vad en digital plattform för samordning av transporter kan vara, det vill säga. dess omfattning, form och ambitioner, vilket återspeglar deras olika intressen, kapacitet, ansvar och problemförståelse. Detta är vanligt för ett innovationsinitiativ i ett relativt tidigt skede: aktörerna är villiga att utforska möjligheter, men de har ännu inte skapat sig en gemensam detaljerad riktning. Detta begränsar i viss mån transportsystemsaktörernas förmåga att mobilisera resurser för att gemensamt engagera sig i specifika utvecklingsarbeten.

Resursmobilisering (F6) i området för det här projektet återspeglar ett tidigt skede, där fokus ligger på utforskande samt konceptuell och teknisk prototyping. Teknikutvecklingen, ökade krav på informationssäkerhet och på en arkitektur som är bättre anpassningsbar till och integrerbar i transportföretagens befintliga digitala lösningar gjorde att prototypen som utvecklades i tidigare projekt behövde moderniseras och gestaltas mer modulärt för att kunna stödja samordnade transporter. Projektets finansiella ram möjliggjorde utvecklingen av kunskap, samverkan mellan forskning och praktik samt den digitala plattformens nuvarande stadium, men var inte anpassat för en mer omfattande teknisk utveckling, test och implementering. Att stärka tillgången till teknisk expertis, etablera den digitala infrastrukturen och definiera affärsmodeller för att säkerställa servicenivån kommer att bli viktiga framgångsfaktorer för att överföra de digitala lösningarna som skapade under projektet till framtida av anpassat design, experimentering och implementering.

Innovation för modellering och utveckling av affärslogiker

Innovationsprocessen bidrog till att konkretisera affärsmodellernas roll i utvecklingen av samordnade transporter och gav ett empiriskt underlag för vidare teknisk utveckling, fortsatt affärsmodellering och framtida implementering i båda pilotområden.

Under pilot 1 placerades 21 paketboxar (se exempelvis Figur 5) ut i Luleå och Bodens kommuner i samråd med kommunerna (markavtal tecknades och platser valdes ut i samverkan). Dessa boxar fungerade som testbädd för nya samordnade leveransupplägg.



Figur 5: Exempel från Pilot 1 – iBoxens paketboxar utplacerade i Norrbotten (foto från projektet).

Inom Pilot 1 identifierades och diskuterades flera tänkbara affärsmodeller för att öka nyttan av paketboxar på landsbygden:

- *Boxlösningar i landsbygdsmiljö:* Placera paketboxar nära där människor bor för att möjliggöra leveranser "nära hem" utan behov av bemannade utlämningsställen. Boxarna skulle stå på strategiska platser och kunna användas av alla paketleverantörer (dvs. en oberoende infrastruktur). *Utmaningar:* att uppnå tillräcklig utnyttjandegrad (antal leveranser per box) samt att välja optimal placering för boxarna. Glesbefolkade områden innebär färre paket, vilket kan göra lönsamheten utmanande. *Framgångsfaktorer:* Ökad servicegrad för boende (paket nära hemmet) samt offentligt stöd/bidrag – exempelvis medfinansiering från stat eller kommun – för att täcka initiala kostnader i områden där kommersiell lönsamhet är låg.
- *Boxlösningar för överlämningar:* Använd paketboxar som smidiga överlämningspunkter vid specifika verksamheter där många paket/utskick behöver byta hand. Exempel kan vara sjukhus, hantverkare eller andra platser med frekventa varuleveranser och returer. I denna modell finansierar en extern aktör (till exempel företaget som behöver överlämningspunkten) installationen av boxen och kan sedan, om man vill, göra den tillgänglig för allmänheten för paketutlämning. I utbyte får aktören då eventuella intäkter eller nyttor kopplade till ökad service för allmänheten. *Utmaningar:* att uppnå lönsamhet för den investerande aktören samt att säkerställa tillgänglighet för allmänheten om boxen ska vara öppen för fler användare. *Framgångsfaktorer:* Externa investeringar (att någon annan än plattformsägaren finansierar paketboxen) samt teknisk integrering i det övriga box-nätverket (så att boxen fungerar sömlöst med iBoxens digital infrastruktur för hantering av tillgång till fack i paketboxen).
- *Transport mellan boxar:* Skapa en tjänst där privatpersoner och företag kan beställa transport av paket mellan olika paketboxar. I praktiken innebär det att om paketboxar finns utplacerade på många orter kan exempelvis invånare i en by lämna in paket i sin lokala box för transport till en annan box nära mottagaren. Detta kräver ett system för att matcha transportkapacitet av en tredje part med efterfrågan för transportuppdrag mellan boxarna. *Utmaningar:* att avgöra vem som får utföra transporterna (endast etablerade transportörer eller även privatpersoner i en "crowdsourcing"-modell) och att hantera försäkring och ansvar för paket på väg. *Framgångsfaktorer:* möjligheten att utnyttja befintlig underkapacitet (såsom ledigt utrymme i fordon som ändå kör en sträcka), flexibla och snabba transportlösningar för kunderna, samt eventuell öppning för privatpersoner att delta i transportnätverket, exempelvis genom att de mot ersättning tar med sig paket när de ändå ska köra en viss sträcka.

Som exempel på hur PM-plattformen kan användas i Norrbotten togs ett scenario fram för samordnad paketleverans mellan två paketboxar (se avsnitt 6.4). Scenariot gav alltså konkreta insikter om krav på plattformen och avtalsmässiga aspekter vid samordnade leveranser med paketboxar.

Under Pilot 2 identifierades tre huvudsakliga affärsmodellupplägg för samordnade transporter inom regionen, som analyserades utifrån Gotlands förutsättningar:

- *Decentraliserad samordning i ekonomisk förening:* Här tänker man sig att en medlemsägd ekonomisk förening bildas, där alla medlemmar både kan erbjuda transporttjänster och köpa transporttjänster av varandra. Föreningen tillhandahåller den konkurrensneutrala digitala plattformen för samordning av transporter samt gemensamma funktioner såsom försäkring, administration och teknisk support. Varje aktör bidrar med sin lediga kapacitet och kan boka transporter via plattformen när de själva har gods att skicka. *Utmaningar:* Planeringssäkerhet (svårt att garantera att

transportbehov och kapacitet matchar i tid och rum när allt är decentraliserat) samt tillit mellan medlemsföretagen. Alla måste känna förtroende för att systemet är rättvist och att samverkan inte missbrukas, vilket kan kräva tydliga regler och transparens.

Framgångsfaktorer: Ett användarvänligt bokningssystem som sänker tröskeln för att använda plattformen, samt samordning med befintliga resor – dvs. att man tar vara på transporter som ändå sker och fyller ledig kapacitet i fordon som redan rullar.

- *Centraliserad transport i ekonomisk förening:* I detta alternativ finns också en ekonomisk förening, men istället för att alla medlemmar kör när det passar var och en organiserar föreningen transporterna centralt. Föreningen äger eller leasar en eller flera lastbil/ar som går enligt ett schema och medlemmarna bokar in sitt gods på dessa gemensamma turer. Föreningen står för plattform, fordon, förare och försäkring. *Utmaningar:* Höga kostnader för fordon, drivmedel och drift som föreningen måste bära, osäker utnyttjandegrad (kommer lastbilen att gå full eller mestadels tom?) samt behov av relativt höga medlemsavgifter eller avgifter per skickat paket/gods för att täcka kostnaderna. *Framgångsfaktorer:* även här ett användarvänligt system, men framförallt en stark ekonomisk förening med tillräckligt kapital och antal medlemmar för att kunna bära kostnaderna initialt. Om många går ihop kan kostnader delas och nyttan realiseras, men om underlaget är för litet blir modellen svår att bära.
- *Centraliserad transport genom transportföretag:* Detta alternativ överlåter den operativa samordningen till en eller flera befintliga transportör(er). Istället för en medlemsstyrd förening som sköter transporterna skulle ett åkeri eller ett konsortium av åkerier koordinera samfrakterna. Tanken är att främst nyttja överkapacitet hos etablerade företag – lastutrymme i returfordon eller turer som går med låg beläggning – för att effektivisera transporterna på ön. Vår plattform kan i detta scenario antingen tillhandahållas av en extern part eller av transportföretaget självt. *Utmaningar:* att säkerställa lönsamhet och rätt incitament för den transportör som ska köra extra gods – om företaget inte ser ekonomisk vinning kan det tveka att upplåta plats åt andras gods. Även frågan om transportgarantier uppkommer: är transportören skyldig att köra även om det bara finns lite gods, eller kan turer ställas in? Dessutom finns risk för kanal-konflikt eller konkurrens med transportörens vanliga affär (om samordningen gör att någon annans gods åker billigare). *Framgångsfaktorer:* utjämning av över- och underkapacitet (att man lyckas fylla annars tomma körningar med extragods så att alla vinner på det), samt att man tar vara på befintliga transporter istället för att sätta in nya fordon. Det minskar kostnader och miljöpåverkan.

Genom pilotarbetet har kunskapen stärkts om både hinder och möjligheter för samordnade transporter i Norrbotten och på Gotland, vilket ger ett viktigt underlag för att justera affärsmodellerna inför framtiden. Dialogerna mellan projektpartnererna och transportaktörer har initierat både nya direkta samarbeten och värdefulla samtal om delvis nya frågeställningar som har kommit fram under pilotstudierna, vilket upplevdes av deltagare som värdefulla lärdomar om transport-relaterade särdrag i glasbygdsområden i jämförelse till mer tätbefolkade områden.

6.3 Intressenternas behov och utmaningar inom transportsystemet

Jämförelsen mellan pilotprojekten i Norrbotten och på Gotland visar att vissa utmaningar är gemensamma oavsett lokal kontext. En central faktor är tillit – aktörerna måste lita på varandra och på den gemensamma plattformen för att dela resurser, transportbehov och kapacitet med varandra. I båda piloterna uttryckte deltagare oro kring ansvar för och kvalitet av utfört transportarbete och hur detta kunde påverka ett företags eget rykte och möjligheter till framtida affärer. Kopplat till detta är frågan om incitament och kostnadsfördelning återkommande. För att

alla parter ska vilja delta i samordnade transporter måste affärsmodellen utformas så att vinster och kostnader fördelas rättvist. Om exempelvis en aktör tar risken eller extra arbete medan en annan tar hem vinsten, skulle detta leda till att samverkan avtar eller till och med upphör. Under workshopparna om informationsklassning och dataflöden tillsammans med representanter från intressenterna i transportsystemet kom diskussioner i hög grad att kretsa kring hur deltagarna värderar information i sina respektive verksamheter. Ett återkommande tema var den stora mängd information som används i det dagliga arbetet, och hur svårt det kan vara att överblicka vilka informationsmängder som faktiskt är kritiska och framför allt varför de är kritiska. Ett annat centralt inslag i diskussionerna rörde tillgänglighet till information. Flera deltagare hade så kallade aha-upplevelser när de, genom den gemensamma reflektionsövningen, diskuterade vardaglig information i ett bredare sammanhang. Ett exempel kretsade kring både intern och extern kommunikation. Om företagets mejl skulle sluta fungera hade det blivit svårt för verksamheten att fortsätta vara operativ, detta var något som många inte tänkt på tidigare. Det gjordes även försök till att preliminärt klassificera den identifierade informationen utifrån den klassningsmatris och dialogmappningsmetod som presenterats. Trots att övningen gav upphov till värdefull diskussion upplevdes själva klassificeringsmomentet av många deltagare som utmanande. En del av problematiken låg i kända svårigheter kopplade till att klassificera information, såsom olika individuella åsikter, varför en informationsmängd bör vara på en särskild nivå och hur man definierar själva informationsmängden.

Ytterligare utmaningar kretsade kring dialogmappning som metod, och hur man kan formulera informationsklassning till ett problem, mycket fokus hamnade därför på hur man ska utföra dialogmappning och det ansågs därför inte vara till särskilt stor hjälp. Dock så uppmuntrades det till ytterligare försök med dialogmappning kopplat till informationsklassning om en person som är kunnig i dialogmappningsmetoden skulle kunna lyssna in och visualisera de diskussionerna som hölls.

Sammantaget anser vi delstudien som lyckade, både vad gäller engagemanget hos deltagarna och det empiriska underlaget den genererade för utvecklingen av den digitala plattformen. Diskussionerna gav värdefulla insikter kring hur organisationer resonerar kring värdet av information. De bidrog även till att klargöra ett bredare behov av gemensamma organisatoriska lösningar. Deltagarna uttryckte en tydlig önskan och vilja att bidra till utvecklingen av en samverkansplattform, och många betonade att en sådan lösning skulle kunna stärka både informationsdelning och effektivitet i transportsektorn. En observation var att företag är villiga att dela data med andra aktörer inom ramen för en gemensam plattform, under förutsättning att det finns tydliga principer för ansvar, kvalitet och användning. Samtidigt lyftes ett antal orosmoment som är viktiga att beakta i det fortsatta utvecklingsarbetet. Det mest framträdande rörde ansvarsfrågan, det vill säga vem är egentligen ansvarig för kvaliteten ut mot kund i en leveranskedja som innehåller flera aktörer? Deltagarna lyfte behovet av tydliga ansvarsfördelningar och en viss tveksamhet till att medverka innan det skulle finnas en sådan lösning. Slutligen kan nämnas kulturella och organisatoriska utmaningar, såsom att vissa företag var ovana vid att samarbeta med konkurrenter då transport ofta ses som en del av affärens kärnvärde, det vill säga som en konkurrensfördel i kundrelationer. Skepsis mot att "släppa in" andra på ens körningar eller dela med sig av kundinformation behöver övervinnas genom att visa på ömsesidig nytta och neutralitet i plattformen. Denna information togs vidare till projektets övriga delar. Bland annat som motivation för designen av samverkansplattformen och transportsценарier som beskrivs nedan mer utförligt.

Transportbranschen präglas av hård konkurrens, vilket gör det viktigt för aktörerna att vara öppna för nya möjligheter. Konkurrensfaktorer har länge varit just-in-time-leveranser eller korta leveranstider och leveranser till låg kostnad, men på senare tid har trenden alltmer gått mot att kunna leverera paket så nära slutkunden som möjligt, särskilt för privatpersoner och med införandet och tillgängligheten av obemannade paketboxar. Denna förändring förklaras av transportföretagen som en förändrad norm där kunderna föredrar närmare leveranser framför snabba leveranser.

Mindre miljöpåverkan eftersträvas främst genom att bli mer effektiva gällande fyllnadsgrad och ruttplanering, använda mer miljövänliga bränsletyper och genom samarbete med andra företag. Samarbete mellan organisationer sker främst genom långsiktiga avtal med specifika underleverantörer eller, för vissa frakttyper, genom att lägga ut dem på egna så kallade overflow-plattformar. Befintliga överflödesplattformar förvaltas och ägs dock av enskilda organisationer, vilket innebär att de är centraliserade och partiska.

Transportföretagen ser många möjligheter i att kunna samordna transporterna bättre och är öppna för förslag på nya lösningar. De tvekar dock att gå vidare på grund av försiktighet när det gäller att släppa eller dela information som potentiellt skulle kunna gynna andra logistikföretag. Integritetsfrågan ses därför som särskilt viktig, delvis på grund av branschens karaktär (inklusive geografiska begränsningar, hård konkurrens och låg marginal), men också för att det måste finnas en låg tröskel för organisationer att våga prova nya metoder. I likhet med många andra branscher har vissa aktörer en stor marknadsandel men vill inte ta några risker, medan mindre organisationer är mer villiga att prova nya saker.

På kundsidan har detta projekt specifikt fokuserat på företag och individer utanför stadsområden. Landsbygdssinvånare är vanligtvis vana vid lägre nivåer av samhällsservice, inklusive transport, jämfört med stadsinvånare. Landsbygdssbyar talar om en "nedmontering" av landsbygdssamhället, som pågått i årtionden, till exempel stängning av lokala livsmedelsbutiker, färre postrundor, centralisering av skolor etc. Oavsett orsaken är (o)lönsamhet ett vanligt argument för en lägre servicenivå i landsbygdssamhällen. I detta projekt har så kallade lokala initiativ varit av intresse, där människor och företag har gått samman i lösa organisationer och samarbeten på grund av bristen på alternativa tjänster. Exempel för detta är lokala livsmedelsproducenter på Gotland som startat en ekonomisk förening för att hantera kooperativ transport, eller kooperativa obemannade livsmedelsbutiker i Norrbotten. Trots goda exempel på behovsdriven entreprenörskultur möter dessa samarbeten fortfarande utmaningar som gör det svårt att upprätthålla initiativen. En utmaning är till exempel att "bottom-up"-initiativ är svåra att hantera och ofta beroende av enskilda entusiaster som håller organisationen samman. Om dessa personer försvinner kommer organisationen inte heller att fungera. Ett annat exempel är att sådana organisationer bildas kring ett huvudsyfte, till exempel transport av grödor från småskalig produktion. När vissa förhållanden förändras uppstår svårigheter för organisationen att vidareutveckla syftet och affärsidén utan att skada samarbetet. Sammanfattningsvis har kooperativa initiativ många fördelar, men är också ömtåligt i den meningen att det är svårt att fördela risker, vinster och ansvar.

Om man betraktar hela den svenska transportsektorn ur ett systemperspektiv finns det å ena sidan potential för förbättringar och behov av samarbete, till exempel när det gäller olönsamma rutter, och å andra sidan ett stort hinder för samarbete i form av att olika aktörer inte vill riskera förlora full kontroll över sina egna data. För att uppnå en förbättring för systemet som helhet krävs dock en högre grad av samarbete eller samordning mellan aktörerna, samtidigt som de enskilda företagens integritet behöver bevaras.

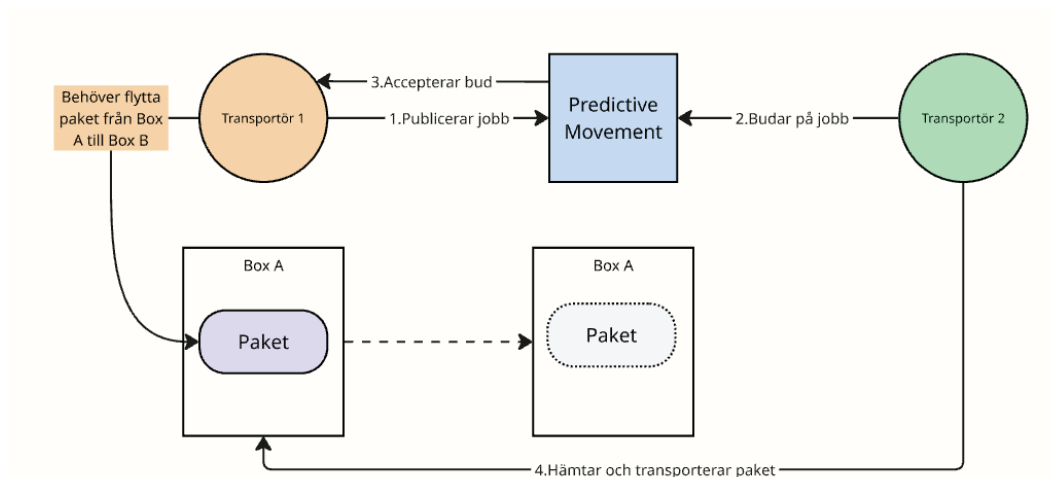
Behov som behöver stödjas genom utformning av digital plattform:

- *Samarbete.* Samordning över organisationsgränserna är en nyckelfaktor för att kunna rikta in sig på problem relaterat till transportsektorn, till exempel miljöpåverkan och tillgänglighet av tjänster. Denna samordning behöver dock stöttning inriktad på frågor gällande ansvarsfördelning, riskhantering, kommunikationskanaler, etc.
- *Lika villkor.* Aktörerna är ovilliga/oförmögna att dela information utan att ha full insikt i hur informationen används av andra aktörer.
- *Möjliggöra deltagande och anslutning för olika typer av aktörer.* Uppmuntra nya typer av aktörer att ansluta sig. Tillåt olika typer av standarder och system.
- *Öka flexibiliteten och kommunikationen.* Öka kommunikationsförmågan inom leveranskedjan, exempelvis mellan avsändare, transportör och mottagare.

6.4 Användningsfall för samordning av transporter

Scenario Pilot 1: Paketleveranser mellan paketboxar i Norrbotten

Under projektets gång sammanställdes flera användningsfall för piloterna parallellt med behovsinsamling och teknisk utveckling. Dessa modeller användes för att utveckla, testa och validera lösningsskoncept mot en slutgiltig decentraliserad digital samverkansplattform.



Figur 6: Modell av transportproblemscenario

Användningsfallen för Pilot 1 var centrerade kring de nya möjligheter som obemannade transportboxar medför i den norrbottniska kontexten. Genom att kombinera scenarier där paketboxar och traditionella paketombud samverkade med transportörer av olika slag utvecklades en bred förståelse för problematik men också möjliga lösningar. Två huvudanvändningsfall i Pilot 1 kan beskrivas som företag-till-företag och privatperson-till-privatperson, båda med sina specifika behov och krav på pakettransporter. Scenariot i Figur 6 beskriver en generell transport av ett paket från en paketbox till en annan med hjälp av en transportaktör (företag och/eller privatperson). Inledningsvis skapades scenariot med hjälp av ett "swimlane"-diagram²⁹ med fem primära aktörer: avsändare, mottagare, iBoxen, transportaktör och den digitala plattformen. Denna modell möjliggjorde en överblick över de fysiska och dataflöden vilka låg som grund till säkerhetsanalysen.³⁰

Under utvecklingen uppdagades ett antal utmaningar, främst om hur paketets integritet säkerställs och hur systemet kan bekräfta att paketet skickats och anlänt mellan de olika boxarna. Från ett informationssäkerhetsperspektiv, så synliggjorde kartläggningen dataflöden längs transportprocessen och vilka data som hanteras av vilken aktör. Här blir det tydligt att kommunikationen mellan, i det här fallet, iBoxen (som säkerställer tillgång till paketboxarna) och plattformen (som möjliggör samordning av transportarbete), sker via API-anrop vars data bör vara krypterad både i transit och vila. Krav ställs således på både aktör och plattform att känsliga data hanteras enligt GDPR. En initial riskanalys som gjordes på scenariot visas i Tabell 1. En viktig insikt var att data som är synligt i systemet bör endast vara tillgänglig för aktörer som deltar i samverkan för transportsamordning.

²⁹ Jeyaraj, A.N.A.N.D., Sauter, V.L., & St, M. (2014). Validation of business process models using swimlane diagrams. *Journal of Information Technology Management*, 25(4), 27–37.

³⁰ Schneider, S., Ferreyra, N.E.D., Queval, P.J., Simhandl, G., Zdun, U., & Scandariato, R. (2024, March). How dataflow diagrams impact software security analysis: an empirical experiment. In *2024 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER)*, 952–963.

Tabell 1: Översikt riskanalys

Data	Risk	Åtgärd
Kunddata (avsändare, mottagare)	Exponering av personuppgifter vid intrång eller otillbörlig åtkomst.	Kryptering i vila och under transport. Strikt behörighetsstyrning. Minimera delning till aktörer.
Paketdata (innehåll, mått, värde)	Manipulation som påverkar avgifter, försäkring eller hantering.	Integritetskontroller, checksummor, loggning av ändringar.
Transportörers rutter	Exponering av känsliga transportmönster, risk för riktade stölder.	Delning endast av till- och från-punkter. Pseudonymisering av ruttdata.
Realtidsspårning	Stöldrisk om angripare följer paket i realtid.	Fördröjd eller aggregerad spårning för externa aktörer.

Med hjälp av dessa modeller av olika transportscenarier förtydligades kravbilden för utvecklingen av en moderniserat prototyp av en neutral plattform för samordning av transporter. Analysen av databehov och informationssäkerhetsaspekter tydliggjorde att alla system för samordning av transporter kräver medveten hantering av persondata, platsinformation och åtkomsträttigheter. Vidare framkom att en mer avancerad, datadriven tjänst ställer betydligt högre krav på säkerhet, integritet och kontroll över hur data och tillgänglighet till dessa hanteras mellan aktörer. Detta gav en konkret riktning för vilka funktioner som kan utvecklas, vilka risker som måste hanteras och vilka begränsningar som styr hur tjänsten och den tekniska realiseringen av plattformen bör utformas.

Scenario Pilot 2: Samordning av transport från lokalproducerade varor till butiker

I arbetet med pilot 2 på Gotland diskuterades olika affärsmodeller ingående med de lokala aktörerna och integrerades med existerande initiativ. Som exempel undersöktes synergieffekter med Goda Gotland, en ekonomisk förening som driver en marknadsplattform för gotländska livsmedelsproducenter. Goda Gotland hade som idé att starta en gemensam e-handelsplattform för lokala varor, och insåg behovet av en samordnad fraktlösning för att distribuera produkterna utanför ön. Under projektets gång inleddes därför en konkret användningsfall där man testade att via den digitala plattformen samlasta gods från flera små producenter på Gotland för leverans till utvalda delikatessbutiker i Stockholm. Detta gav ett konkret användningsfall: lokala gårdar (lammkött, grönsaker m.m.) lade upp sina leveranser i systemet, och en gemensam transport arrangerades som tog varorna från Gotland till butikerna på fastlandet. Pilotförsöket planerades att köras fram till årsskiftet för att utvärdera upplägget. I detta exempel blev Goda Gotland-föreningen en slags mellanhand som organiserade producenternas e-handelsordrar och samordnade transporterna, utan att varje producent behövde organisera frakten på egen hand. Det visade sig viktigt att sänka trösklarna – till exempel krävdes inget medlemskap i Goda Gotland för att få vara med i pilotens e-handels- och transportlösning, just för att locka bred medverkan och visa nyttan av en gemensam plattform. I Pilot 2 utforskades också möjligheterna för andra typer av aktörer att bidra till transportsektorn, till exempel hur tidningsbud kan bidra till second hand-försäljning av textilier. Även i scenario P2 fick obemannade paketboxar en stor betydelse. Potentialen för en vidareutveckling av obemannade paketboxar till större "boxar" med kylmöjligheter modellerades för att kunna stödja lokala producenter men också transportföretag. Lärdomar från denna pilotstudie bidrog bland annat till förståelsen för hur ansvarsfördelningen måste hanteras av den digitala plattformen, exempelvis gällande försäkringen om obruten kylkedja, eller krav på obemannade överlämningar.

6.5 Nyutveckling av plattform, baserat på identifierade aspekter

Förberedande prototyp

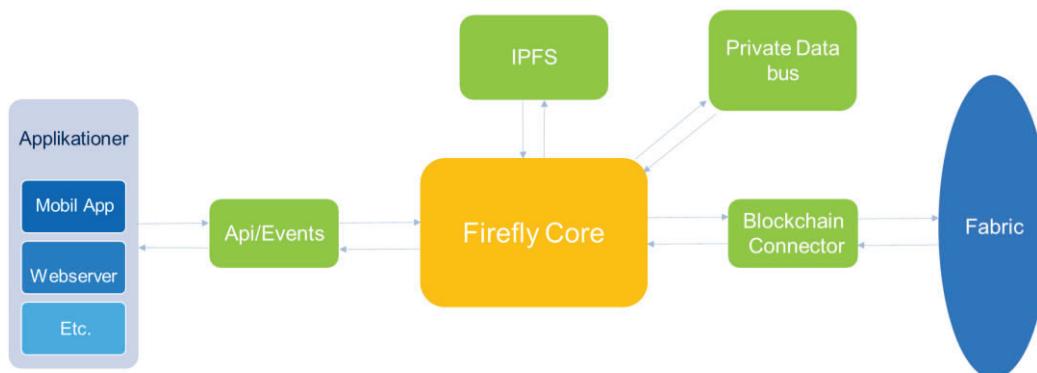
Den första prototypen av plattformen var utformad som ett enkelt men komplett flöde för att demonstrera hur transportuppdrag kan skapas, delas och hanteras mellan olika aktörer. I synnerhet användes denna prototyp för att facilitera dialog mellan systemutvecklare och användare för att skapa samsyn kring transportkedjan, processlogiken, informationsflöden och ansvarsfördelning mellan aktörerna som bas för den slutgiltiga designen av den moderniserade plattformen.

Prototypen bestod av tre centrala delar: ett användargränssnitt, ett API för logik och kommunikation, samt kopplingar till en databas för lagring av information.

Användargränssnittet presenterade en lista över tillgängliga transportuppdrag samt en karta över den planerade ruten för varje uppdrag. En användare kunde välja ett uppdrag i listan, se dess geografiska sträckning och aktivera olika steg i processen via tydliga knappar. Dessa knappar representerade hela kedjan från att skapa ett uppdrag till att publicera en förfrågan, ta emot och lämna bud, acceptera ett bud och slutligen genomföra de två överlämningsmomenten. Varje steg skulle uppdatera uppdragets status och illustrera hur flera aktörer agerar i samma transportkedja. API-lagret hanterade all logik bakom dessa funktioner, exempelvis tar det emot kommandon från användargränssnittet, uppdaterar data och ansvarar för kommunikationen mellan systemets olika delar. Detta möjliggjorde att behandla varje uppdrag som separat process med tydliga statusövergångar, vilket speglar aktörernas beslut och åtgärder i deras dagliga arbete. Slutligen används en databas för att lagra uppdragsinformation, rutter, bud och statusändringar. Den gör det möjligt att både hantera flera uppdrag samtidigt och bevara historik. Här var databasen konfigurerad för enkel felsökning och vidareutveckling, men samtidigt realistiskt nog för att demonstrera hur ett framtida system skulle kunna fungera. Prototypen var inte avsedd som ett färdigutvecklat system, utan som ett konkret exempel som visar hur konceptet kan fungera i praktiken och som utgångspunkt för vidare utveckling av en teknisk lösning som kan användas för att skapa mer effektiv samverkan mellan transportsystemets aktörer.

En ny neutral samverkansplattform – Fraktal

I samverkan med aktörerna i piloterna utvecklades inom ramen för projektet en ny neutral samverkansplattform för transporter, som kallades Fraktal då den adresserar behovet för en digital lösning som kan koordinera fraktdata och ansvar mellan flera aktörer, samtidigt som integritet och äganderätt till information skyddas. Arbetet utgick från de aspekter som identifierats genom projektets iterativa arbetssätt (se 6.1). Genom en decentraliserad arkitektur baserad på Hyperledger Fabric och Hyperledger FireFly fungerar plattformen som en hubb där ombud kan ta del av transportuppdrag, utan att någon enskild part har tillgång till all data. Detta möjliggör transparens, spårbarhet och förtroende mellan aktörer i systemet, samtidigt som varje deltagare behåller kontrollen över sin information.



Figur 7: Övergripande schematisk representation av systemarkitektur

Figur 7 illustrerar den utvecklade systemarkitekturen. Systemet kan samordna aktörer, hålla reda på hos vem/var paketet är vid en viss tidpunkt och se till att åtgärder i verkligheten återspeglas digitalt. Detta innebär att viss information måste finnas tillgänglig, men utan att kontrollen tas ifrån de enskilda aktörerna eller att deras integritet kränks. En decentraliserad struktur medför utmaningar gällande en konsistent koordinering och ansvarsfördelning mellan deltagande aktörer. En blockkedje-baserat lösning valdes framför allt för att den gör det möjligt för olika aktörer att se och verifiera samma systemstatus utan att behöva lita på en specifik aktör. Plattformen består av en blockkedjebaserad decentraliserad arkitektur som använder en privat blockkedje-organisation (baserad på Hyperledger Fabric). Hyperledger Fabric valdes som blockkedjeramverk eftersom det är baserat på öppen källkod och svarade mot kraven för företags- och logistikorienterade system, där deltagarna måste vara identifierbara och samverkan kunna styras av tydligt definierade regler. Eftersom *Fraktal* är utformat för samarbete mellan kända organisationer såsom transportföretag, kunder och en administrativ enhet för det den digitala plattformen, är en tillståndsbaserad blockkedjemodell mer lämplig än ett offentligt och anonymt nätverk. En sådan privat blockkedja skiljer sig från de mer välkända publika blockkedjorna (som används för exempelvis kryptovaluta) genom att inte samma konsensusmekanism måste finnas tillgänglig. På en privat blockkedja tilldelas alla medlemmar (noder) en viss nivå av tillit från början och därför behövs inte en konsensusmekanism på samma sätt.

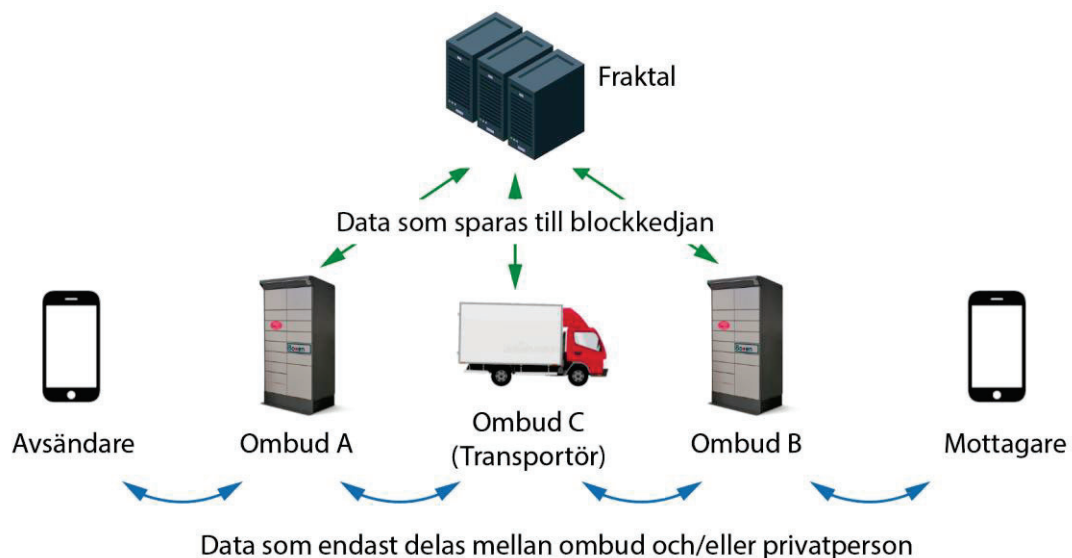
På *Fraktal*-blockkedjan blir alla som ansluter sig till nätverket en nod som kan läsa och skriva till blockkedjan om förutbestämda förutsättningar uppfylls. En styrgrupp beslutar vem som kan få ingå i nätverket. Medlemmarna kallas *ombud* på plattformen, såsom utlämningsställen, paketboxar och fraktbolag. För att kunna läsa och skriva till blockkedjan utvecklades ett gränssnittslager, så kallat middleware, baserat på Hyperledger Firefly. Detta gränssnitt gör att ombud kan bygga applikationer via API:er mot blockkedjan men upprätthåller framför allt:

- Regelverket – styr hur ombud kan spara information på blockkedjan och vilken information som finns tillgänglig, till exempel att ansvaret för ett paket går att spåra till ett visst ombud
- Logik och automation – hur transporter och transaktionerna sker mellan ombud, och uppdateras baserat på ombudens aktiviteter
- Omdöme – visualiserar genom ett datadrivet omdömessystem ombudens beteende

En annan viktig faktor är Fabrics modulära och utbyggbara arkitektur. Komponenter som konsensusmekanismer, beställningstjänster och medlemshantering är utformade för att vara utbytbara eller konfigurerbara. Detta gör plattformen anpassningsbar till olika driftsmiljöer och framtida systemkrav, vilket är värdefullt för ett system som är avsett att utvecklas över tid. Hyperledger FireFly används som orkestreringslager i *Fraktal*'s backend. Det tillhandahåller standardiserade API:er, händelsehantering och tillgångshantering ovanpå Fabric, vilket avsevärt minskar mängden anpassad kod som krävs för blockkedjeintegration. Kommunikationen mellan Fabric och FireFly möjliggörs genom anslutningen Fabconnect. Fabconnect ansvarar för att hantera anslutningar till lämpliga blockkedjenoder och säkerställa att rätt certifikat används när smarta kontrakt anropas. Detta gör att vårt system inte behöver kunskap om hela nätverket. IPFS-modulen ger organisationer möjlighet att dela data mellan varandra via ett peer-to-peer-nätverk.³¹ Detta gör det möjligt för aktörer att utbyta information direkt utan att lagra data på blockkedjan. I *Fraktal* används denna modul för att hantera information som inte behöver ingå i historiken eller som inte är lämplig för lagring på blockkedjan på grund av storlek.

³¹ Linux Foundation Hyperledger Project, "FireFly Multiparty Usage Patterns." Accessed: Jan. 14, 2026.. Available: https://hyperledger.github.io/firefly/latest/overview/usage_patterns/

Figur 8 visualiserar på ett övergripande sätt hur data hanteras inom *Fraktal* arkitekturen för att möjliggöra ett samarbete över organisationsgränserna. Kortfattat kan det beskrivas som att data som finns på blockkedjan, och är synlig för alla medlemmar (ombud) är: paket ID, organisations ID för involverade ombud, samt tidpunkt för överföring mellan ombud. All annan data som behövs för transporten och för att säkerställa transporten sköts genom mellanlagret eller genom ombudens egna system.



Figur 8: Schematisk bild över ett transportförfarande och dataflöden

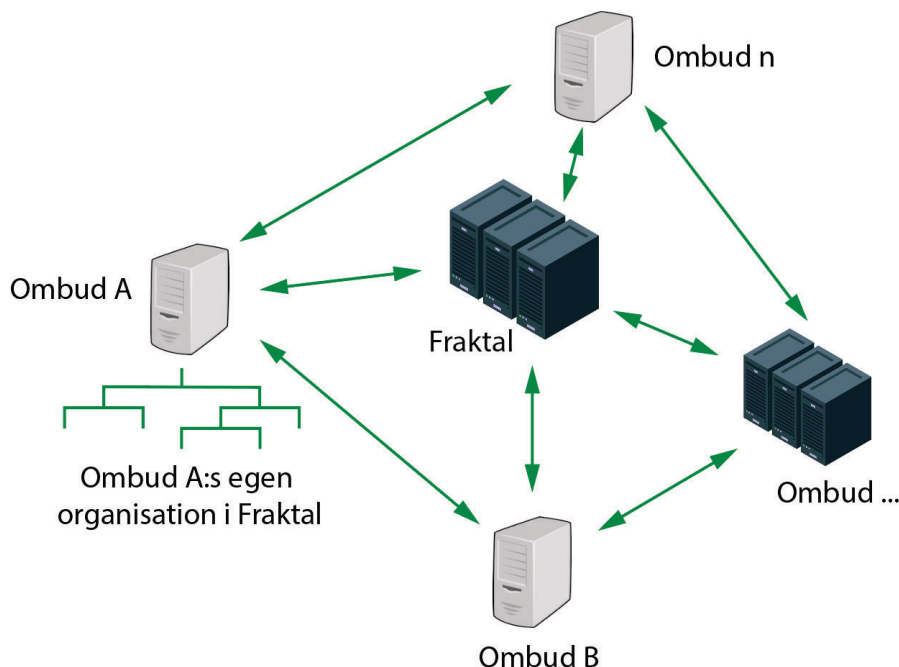
Exempel på data som delas i denna modul är vanliga gränssnittsdefinitioner och viktiga paketdetaljer. Dessa typer av data måste vara tillgängliga för alla berörda aktörer, men behöver inte lagras på blockkedjan. Detta ger oss en balans mellan data på och utanför blockkedjan. Datautbytesmekanismen (Private data bus) gör det möjligt för organisationer att dela information privat med varandra.³² I *Fraktal* tillämpas denna modul i scenarier där vi behöver hålla informationen privat, exempelvis prisuppgiften är privat mellan aktörer och hållas helt otillgänglig för resten av nätverket. Priset hålls privat under hela arbetsflödet, vilket garanterar konfidentialitet.

Här kunde ytterligare funktionalitet byggas in som kan stärka spårbarhet och möjlighet till ansvarsutkrävande. Ett exempel kan vara att varje ombud måste kunna visa upp ett foto av paketet där hash-värdet (det vill säga ett unikt fingeravtryck för fotot) lagras på blockkedjan och måste överensstämma med det faktiska fotot vid en kontroll.

Som en del av *Fraktal*-arkitekturen skapades ett dedikerat Software Development Kit (SDK) för att hantera komplexiteten i interaktionen med den decentraliserade backenden. Kitet fungerar som en bro mellan tjänster på applikationsnivå och blockkedjeinfrastrukturen. Det skapar en tydlig gräns mellan den decentraliserade infrastrukturen och resten av systemet. Tjänster interagerar inte direkt med FireFly- eller Fabric-API:er, utan kommunicerar uteslutande via SDK. FireFly döljer i sin tur blockkedjans komplexitet och tillhandahåller enkla API:er och uppdateringar i realtid via WebSockets. Denna struktur förbättrar separationen av funktioner, förenklar testningen och gör det lättare att anpassa systemet om driftskonfigurationer eller underliggande tekniker förändras i framtiden.

³² L. F. H. Project, "Private Data Exchange."

Sammanfattningsvis är SDK en central komponent i *Fraktal*. Den tillhandahåller ett tydligt och utvecklarvänligt gränssnitt till decentraliserad funktionalitet, minskar systemets totala komplexitet och säkerställer en konsekvent och säker interaktion med blockkedjelagret. Denna abstraktion var avgörande för att göra den decentraliserade arkitekturen praktisk och lätt att underhålla samt möjliggöra att ombud ska kunna bygga ytterligare funktionalitet via plattformen (se Figur 9)



Figur 9: *Fraktal* som ett decentraliserat nätverk som bygger upp plattformen.

Huvudfunktionen av *Fraktal* kan liknas vid de existerande overflow-plattformar som finns på marknaden: en hubb där företag lägger ut transportförfrågningar vid ett överflöde av gods. Den stora skillnaden är att *Fraktal*-plattformen genom sin decentraliserade arkitektur blir en neutral part i transport-ekosystemet. Plattformen agerar som en mellanpart som möjliggör att aktörer i transportsektorn kan minimera transporter som är ej vinstgivande genom att utnyttja transportkapacitet bättre, vilket ger möjlighet till ökad tillgänglighet till orter, aktörer eller tjänster. Förutom att möjliggöra ett samarbete mellan aktörer i transportsektorn så har *Fraktal* också andra fördelar: företag kan använda och ansluta sina egna befintliga system, tillhandahållande av automatiserade arbetsflöden, och möjligheten till att nya affärsmodeller kan realiseras. Ett exempel på nya affärsmodeller som *Fraktal* möjliggör är att privatpersoner kan tillåtas vara en del av transportkedjan genom ombud. Ombud som ansluter sig till nätverket kan i sin tur välja att skapa en större organisation under noden, exempelvis på nationell, regional eller lokal nivå. *Fraktal*s styrelseorganisation som tillhandahåller och driver plattformen, godkänner medlemmar och hanterar problem visas i figur 9 med en egen nod, märkt som *Fraktal*. Plattformen kan genom användandet av den decentraliserade arkitekturen, identiteten på ombud, samt regelverk upprätthålla en balanserad ansvarsfördelning, koordination och sparsamhet gällande data, för att möta aktörernas krav på sekretess.

Nedanstående stegen i en transportörskedja ger en bild av hur plattformen fungerar med ett anbudsfordrande för hur mycket transporten kostar. Det ger också en bild av hur privatpersoner kan agera transportör i transportkedjan.

1. Ett ombud (A) får en förfrågan om att transportera ett paket och gör i sin tur en förfrågan till *Fraktal* om att skapa en digital tvilling av det fysiska paketet på blockkedjan. Ombud A kan vara ett fysiskt utlämningsställe eller en obemannad paketbox där avsändaren beställer transport via paketbox-ombudets mobilapplikation. Den digitala tvillingen innehåller i detta skede bara ett ID kopplat till det specifika paketet.

2. Ombud A initierar en tyst auktion mellan sig och alla tillgängliga transportörer (andra ombud) via sina egna system om att det finns ett paket att hämta. Informationen som delas är metadata om paketet samt var det ska hämtas och lämnas.
3. Ombud A avslutar auktionen genom att acceptera ett erbjudande från en transportör (ombud B), dvs när båda ombuden möter varandras kriterier. I detta läge kan flera olika villkor läggas till förutom kostnad (tex tidsram för transporten, miljöpåverkan, etc)
4. När transportören (ombud B) hämtar upp paketet lämnar ombud A äganderätten till den digitala tvillingen när det fysiska paketet överförs. Transportören (ombud B) godkänner överlämnandet. Ombud B kan i detta fall också vara en privatperson. I projektet togs en mobilapplikation fram för att privatpersoner skulle kunna agera transportörer, exempelvis på landsbygd. Projektet agerade själv_ombud under testet.
5. Transportören (ombud B) levererar paketet till mottagaren (ombud C). Mottagaren behöver i detta fall inte vara ett ombud på Fraktal, utan kan vara en postadress, men säkerheten höjs om mottagaren är ett ombud.
6. Transportören (ombud B) överlämnar äganderätten till den digitala tvillingen när det fysiska paketet överlämnas till mottagaren (ombud C).
7. Mottagaren (ombud C) bekräftar att paketet har levererats, och den digitala tvillingen tas bort från blockkedjan men transaktionen finns kvar (paket ID, alla ombudens ID:n, samt tidpunkter. Även annan data kan lagras om så bestämts, tex för att verifiera sensordata, hash-värden, etc).

För att kunna genomföra presentationer och test tillsammans med pilotdeltagare utvecklades ett enklare användargränssnitt för att simulera en mobil eller web-baserad användarapplikation. Dessa påverkar inte *Fraktals* funktionalitet och vårt grundantagande var att transportföretag kommer att implementera egna gränssnitt baserat på deras befintliga system.

Testet med transportscenario P1 löpte i stort sett som förväntat, med alla kritiska funktioner fungerande enligt plan. Realtidsuppdateringar visades på alla gränssnitt, vilket synliggjorde en framgångsrik synkronisering över det decentraliserade nätverket och bekräftade att systemets blockkedjehändelser fungerade som avsett.

Testet uppenbarade att den nuvarande versionen av Fabconnect ställer till det vid fler än två aktörer. Det visade sig vara ett redan känt problem och att ingen befintlig version av FireFly löser valideringsproblemet i nuläget.³³ Att utveckla en uppdaterad version eller anpassa kommunikationslagret för att lösa problemet var teoretiskt möjligt, men skulle ha överskridit projektets tidsram.

En viktig komponent av plattformen är ett omdömessystem som samtliga aktörer har tillgång till. Detta system är viktigt för att kunna upprätthålla trovärdighet och neutralitet genom att positivt beteende kan främjas och tvärtom. Denna komponent har dock inte prioriterats i den nuvarande versionen av plattformen och kräver vidare studier för att realiseras till fullo. Som ett delsteg för vidare studier har ett grund till ett datadrivet omdömessystem tagits fram. I nuläget använder detta system endast data som finns lagrad på blockkedjan och realiseras genom mellanlagret Fireflys smarta kontrakt.

Slutligen framkom från arbetet med utveckling och test av den digitala samverkansplattformen insikten att en administrativ portal för paketövervakning, behörighetshantering och systemhantering kommer vara en viktig del för långsiktig användning av systemet. Detta behöver tas i beaktan vid vidareutveckling av Fraktal.

6.6 Digital tvilling för simulering av transporter

En digital tvillingen är beroende av kvaliteten på sina indata. Vår modell kombinerar därför två primära datakällor, som båda kräver rensning och bearbetning: geografiska data från OpenStreetMap (OSM) och transportdata från TrafikLab. OSM fungerar som "scen" för vår

³³ jt-nti, "firefly-fabconnect issue #97 - Migrate to new Fabric Gateway client." Accessed: Jan. 15, 2026.. Available: <https://github.com/hyperledger/firefly-fabconnect/issues/97>

simulering och tillhandahåller koordinater, landskapsdrag och vägnätet. Vi extraherade specifika regionala datamängder för Norrbotten och Gotland. Offentliga kartdata innehåller dock ofta topologiska fel, såsom "trasiga" noder där två vägar visuellt överlappar varandra men inte är matematiskt sammankopplade, vilket förhindrar ruttplanering. För att hantera detta utnyttjades de heuristiska funktionerna i simuleringsverktyget för att reparera dessa fel. För att modellera trafiken använde vi General Transit Feed Specification från TrafikLab. Detta dataset tillhandahåller "manuset" för simuleringen, med detaljerade uppgifter om busshållplatser, rutter och tidtabeller. Eftersom det råa datasetet täcker hela Sverige filterade vi ut data som var relevant för projektets pilotområden. En betydande teknisk utmaning var koordinatfel. Ofta stämmer GPS-koordinater i datasetet inte riktigt överens med vägbanan i OSM-kartan (till exempel kan en hållplats vara registrerad 5 meter från vägen). I en strikt simulering kan detta leda till att ett fordon "missar" hållplatsen. Vi anpassade konfigurationen för att mappa dessa hållplatser till närmaste giltiga sträcka för att synka med det fysiska vägnätet. För att säkerställa att den digitala tvillingen är anpassningsbar för framtida användningsfall etablerades ett standardiserat implementeringsflöde som omvandlar rådata till en funktionell simulering i fyra steg. Processen börjar med att extrahera och exportera det geografiska målområdet (t.ex. en kommun eller region) från OpenStreetMap. Den råa kartfilen bearbetas genom att kompilera den visuella kartan till en matematisk graf med noder och kanter som simuleringsmotorn kan använda. Sedan generas behovet i form av specifika transportflöden och bakgrundstrafik, vilket också säkerställer att fordon interagerar. Till sist laddas konfigurationen för att starta visualiseringen av transporterna. Detta möjliggör visuella inspektioner av trafikmönster och beteendet av transportsystemet samt efterföljande export av prestandaloggar.

Scenariot för Gotlands digitala tvilling fokuserade på multimodal interaktion mellan transportsystemets aktörer på Gotland. Med hjälp av OSM:s öppna dataset för området uppnåddes en nästan perfekt kopia av Gotlands vägnät. Genom att simulera trafik med en blandning av bilar, lastbilar och fotgängare validerade vi modellens fysik och dess förmåga att hantera mer komplexa scenarier, såsom paketboxscenariot, som är beroende av transportnav och paketboxar samt lastbilar för leveranser, vilka i sin tur samexisterar med personbilar och kollektivtrafik inom Gotlands transportsystem.



Figur 10: Modellering, simulering och visualisering av Gotlands transportsystem med hjälp av Eclipse SUMO

Insikterna från arbetet med den digitala tvillingen i pilotstudierna är många och synliggjorde några nyttor och begränsningar. Exempelvis är visualiseringen funktionell och schematisk snarare än fotorealistisk; som gör att den är bra för analyser men mindre tilltalande som

marknadsföring. Dessutom har systemet ett högt databeroende – simuleringen är bara så exakt som de underliggande uppgifterna. Till exempel om kartdata är föråldrad blir simuleringen också felaktig. Utöver en lämplig kunskapsnivå om programmeringsspråk, såsom Python och Java, kräver sen digitala tvillingen och simuleringsmiljön också gedigen kunskap om transportstandarder och matematiska modeller för att beskriva transportkoncept. Eftersom simuleringen hanterar hundratals till tusentals agenter i ett grafiskt gränssnitt kan den ibland kännas trög. Att använda grafikaccelererad hårdvara kan därför förbättra prestandan. En annan sak att tänka på är dataegenskaperna, det vill säga att använda standardformat och -kvalitet, vilket underlättar anpassning till ett specifikt område. Att använda proprietär data kan däremot visa sig vara en större utmaning i de fall där format och kvalitet behöver anpassas manuellt.

Resultaten från implementerings- och testfaserna visade därför både framgång avseende övergången till en mer modern simuleringsomgivning för digitala tvillingar och en del dataspecifika begränsningar avseende fraktmodellering.

En begränsning som återkommande påpekas i forskning och praktik är bristen på specifika frakttransportdata. En anledning till detta är att transportföretagens affärsmodeller bygger på dessa data, varför de inte finns tillgängliga i större omfattning. En annan anledning är att data som fraktbolag samlar in har olika egenskaper eller är ofullständigt, vilket gör de svår att använda. I projektet planerades en integration av specifika logistiska scheman från branschpartners för att modellera realistiska fraktrörelser, men det visade sig att dessa data inte tillhandahölls. Därför begränsades möjligheten att genomföra en ännu mer platsspecifik, realistisk simulering baserad på faktiska leveranser eller lastbilsscheman. Tvillingens funktionalitet validerades med hjälp av generiska parametrar, men den specifika ”verkliga” analysen av transporterna förblir ofullständig på grund av denna databrist. Trots dessa begränsningar i fraktdata uppnåddes de övergripande projektmål att anpassa och testa den digitala tvillingen i pilotområdet.

Det primära tekniska målet med arbetet med den digitala tvillingen var den framgångsrika övergången av den digitala arkitekturen från den gamla lösningen till den moderna Eclipse SUMO miljön. Valideringsscenarierna bekräftade att den nya digitala lösningen uppfyller alla kritiska framgångskriterier: Den nya tvillingen behåller alla visualiserings- och analysfunktioner från den ursprungliga artefakten och kan nu framgångsrikt spåra fordon, hantera rutter och generera utsläppsrapporter. Det nya systemet visade sig vara mycket effektivt och kunde köra komplexa regionala scenarier på standardhårdvara utan de latensproblem som var förknippade med den tidigare lösningen. Genom att övergå till en öppen källkodsarkitektur har vi dessutom kunnat eliminera licensavgifter och behovet av kostsam backend-infrastruktur, vilket säkerställer att den nya tvillingen är mer användarvänlig och kan lättare tillämpas inom nya områden.

Den främsta fördelen med den utvecklade digitala lösningen är att den är lättillgänglig för aktörer inom transportsystem särskilt på kommunal och regional nivå som vill driva förändring inom transportsystemet genom visualiseringar av trafikmönster. Den utvecklade digitala tvillingen medför inga licenskostnader och kan köras på standardhårdvara, vilket demokratiserar tillgången till avancerad simulering. Dessutom säkerställer öppen källkodens transparens, exempelvis kan sammanhanget mellan fordonens beteende och de bakomliggande mekanismer och matematiska beskrivningar av koncept förknippade med transport och ruttoptimering alltid kan granskas och anpassas till nyutvecklad kunskap och specifika kontext.

6.7 AI-baserat optimering av transporter, med avstamp i pilot 2

I detta proof-of-concept-arbete har vårt huvudmål varit att mäta och undersöka den prestandaförbättring som förstärkt inlärning kan ge för den genetiska algoritmen. Vi genomförde också en någon hyperparameteroptimering för både förstärkt inlärning och genetiska algoritmer. För att mäta prestandaförbättringen hos den förbättrade algoritmen genomförde vi experiment på Gotland-datasetet. Vi jämförde prestandan hos basalgoritmen med den förbättrade versionen, som syftar till att lära sig den optimala tripletten av parametrar relaterat till körsträckor, fordonskapacitet och uppdragsgivarens behov.

Våra resultat visade att den förbättrade algoritmen behöll en fördel genom att låta AI-agenten bestämma de genetiska crossover-operator-tripletterna under hela experimentet. Fram till tusen generationer följer båda metoderna ungefär lika banor, vilket att agenten befann sig i en utforskande fas där det är mer sannolikt att den väljer slumpmässiga åtgärder från åtgärdsutrymmet. Under följande utvecklingsprocessen fick AI-agenten en fördel när den började lära sig att välja crossover-tripletter. I slutändan var de bästa värdena för basalgoritmen och den förbättrade algoritmen 2616 km respektive 1671 km, vilket visar en förbättring på 56,5 procent på den totala körsträckan genom att använda en förbättrad algoritm för ruttoptimering. Beräkningstiden för basalgoritmen och den förbättrade algoritmen var 42,5 minuter respektive 45,1 minuter, vilket visar på endast en liten ökning för den förbättrade varianten. Detta beror på den extra beräkningsbelastning som inlärningen medför, men detta kan ses kompenseras av förbättringen i kvaliteten på den slutliga lösningen av det analyserade ruttnproblemet. Den utvecklade algoritmen har också testats, genom exempelvis hyperparameteroptimering för både förstärkningsinlärning och genetiska algoritmer för att hitta de värden som ger bäst prestanda. För detta har algoritmen tillämpats på ett annat dataset, det så kallade Augerat-benchmark.³⁴ Den optimala konfigurationen från experimenten på Gotland-datasetet kunde också överföras väl till testen med dessa benchmark-fall. Det förväntas dock att det kommer att finnas en viss avvikelse mellan det optimerade avståndsvärdet och det verkliga optimala värdet, särskilt när problemets storlek börjar växa i reala användningar. Resultaten i form av utveckling och test av algoritmen har presenterats och publicerats vid den internationella konferensen MATCOS (Multi-conference on Applied Theoretical Computer Science) i Koper, Slovenien. Framtida experiment och utveckling av AI-optimerade ruttplanering kommer därför också att utvidga olika delarna av algoritmen. Hittills har vi endast experimenterat med några operatörer, både andra traditionella operatörer och eventuellt nya behöver analyseras i mer detalj. Algoritmen för inlärning kan förbättras på flera sätt. Den kan användas för att dynamiskt optimera hyperparametrarna i den genetiska algoritmen under utvecklingsprocessen, såsom antalet eliter och korsnings- och mutationsfrekvenserna. Vi kan också experimentera med mer komplexa operatorsstrategier, eventuellt genom att lägga till fler operatörer i mixen. Slutligen, i sammanhanget med djupinlärning, kan neurala nätverk användas för att lära sig operatorernas hyperparametrar. Sådana modifieringar kan ytterligare förbättra prestandan hos vår algoritm.

6.8 Index för jämlika transporter

Resultaten från denna delstudie finns i tre dimensioner: (1) En gedigen sammanställning av befintliga sätt att mäta ruralitet, gleshet, glesbygd (som behövs för att skapa relevanta ruralitetskarter), (2) Ett nytt sätt att mäta dessa egenskaper (eftersom det saknas en ett enkelt sätt i litteraturen): (3) Ett Gini-index generaliserade till ett bredare begrepp av "koncentration", det vill säga hur tjänster är koncentrerade till urbana eller rurala ytor. Dessa tre dimensioner skapar ett ramverk för ett nytt index som visar om och hur mycket vissa transporttjänster, dess fördelar, eller kostnader är i obalans mot antingen städer eller landsbygd. Indexet kan ge en antydning om status eller utveckling i olika delar av landet och hjälpa beslutsfattare med kvantitativa underlag för att betänka åtgärder.

Hur mäts "ruralitet" eller "gleshet" i litteraturen?

Inledningsvis har vi analyserat vanligt förekommande mått på "remoteness" och "rurality" med bred global spridning, utvecklade av myndigheter i Europa, Nordamerika och Australien.

- I Australien har ABS (Australian Bureau of Statistics) förlitat sig på ARIA+ (Accessibility/Remoteness Index of Australia Plus), för att mäta ruralitet och tillgång till

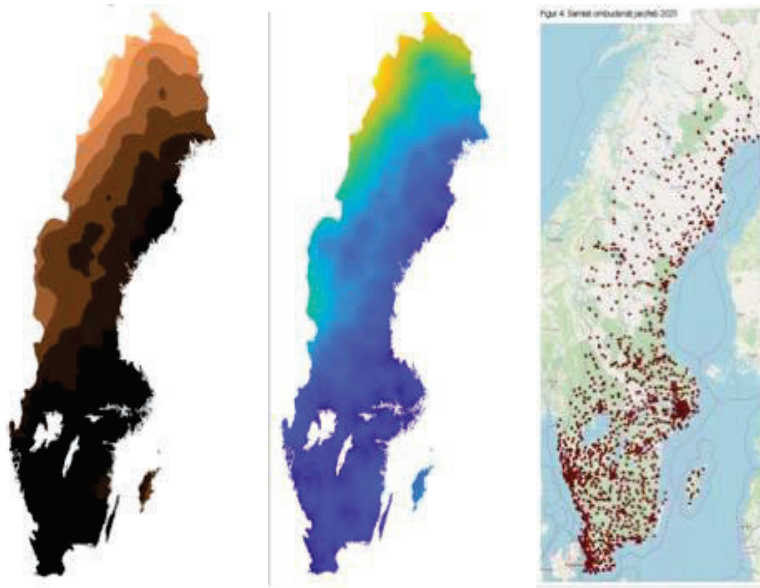
³⁴ Augerat, P. (1995). *Approche polyédrale du problème de tournées de véhicules*. Theses, Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, June 1995.

service. ARIA+, som ursprungligen utvecklades av University of Adelaide, fungerar som ett helt geografiskt verktyg och säkerställer ett nationellt enhetligt angreppssätt för att definiera grad av avlägsenhet i hela Australien. ARIA+ kvantifierar avlägsenhet genom ett index som sträcker sig från 0 (hög tillgänglighet) till 15 (hög remoteness). Poängen beräknas genom att mäta vägvstånd från över 12 000 befolkade orter till närmaste servicecentra. Dessa centra kategoriseras efter befolkningsstorlek, utifrån antagandet att större befolkningar erbjuder ett bredare utbud av tjänster. För att beräkna det slutliga ARIA+-värdet standardiseras avstånden mot nationella genomsnitt, begränsas för att minska påverkan av extrema värden och aggregeras därefter. Slutligen interpoleras dessa värden över ett nationellt rutnät med en kilometers upplösning, vilket möjliggör att exakta värden för avlägsenhet kan tilldelas varje plats i Australien.

- *Inom EU* är det mest använda sättet att mäta "remoteness" baserat på befolkningstäthetsbaserade kartor, på NUTS-2 nivå (Territorial Units for Statistics). Metodologin som är känd som "urbaniseringsgrad" (Degree of Urbanisation, DEGURBA) bygger vidare på dessa kartor genom att klassificera lokala administrativa enheter som städer, tätorter och förorter eller landsbygdsområden baserat på en kombination av geografisk sammanhängande struktur och befolkningstäthet. I detta sammanhang identifieras rurala rutceller som "rutceller som inte identifieras som urbana centra eller urbana kluster", det vill säga som har en befolkningstäthet på mindre än 300 invånare per kvadratkilometer eller färre än 5 000 invånare i ett sammanhängande kluster. DEGURBA-metodologin skiljer inte mellan olika typer av landsbygd och syftar inte heller till att kvantifiera landsbygdskaraktär.
- *I USA* tillhandahåller den amerikanska jordbruksmyndighetens (USDA) Economic Research Service ett klassificeringssystem, RUCA, (Rural–Urban Commuting Area Codes). Systemet används främst i USA för att definiera graden av urbanisering och sambandet mellan rurala och urbana områden baserat på pendlingsmönster. Klassificeringen kombinerar befolkningstäthet, stadens storlek och pendlingsflöden för att kategorisera olika typer av regioner. RUCA använder en tvåvnivåstruktur där urbana kärnor först fastställs, varefter de oklassificerade (rurala) census tracts som är ekonomiskt integrerade med dessa genom pendling identifieras. Områdeskoderna underindelas därefter i tio primära RUCA-koder beroende på befolkningsstorlek och andelen pendlingsflöden.
- *I Storbritannien* används måttet RUC (Rural Urban Classification), som tillhandahålls av Office for National Statistics och som är en statistisk klassificering som syftar till att erbjuda en statistisk och standardiserad metod för att kategorisera geografiska områden med hjälp av sammanslagna bebyggelseområden, bebyggda områden som ligger inom 200 meter från varandra och har en direkt vägförbindelse.
- *I de nordiska länderna* definieras urbana områden generellt utifrån befolkningströsklar och den rumsliga kontinuiteten i den bebyggda miljön, snarare än utifrån administrativa gränser. Även om minsta befolkningsstorlek är relativt konsekvent över regionen, skiljer sig länderna åt när det gäller hur bebyggda områden avgränsas och hur avståndet mellan byggnader mäts. De nordiska länderna delar en gemensam metod för att definiera urbana områden ('tätorter'), där en funktionell och morfologisk förståelse av urbanisering prioriteras framför juridiska eller administrativa beteckningar. Enligt dessa gemensamma principer definieras ett urbant område, ofta kallat en tätort, som ett sammanhängande bebyggt område med minst 200 invånare, identifierat oberoende av kommungränser. Denna metodik säkerställer att urban status bestäms av faktisk fysisk täthet och mänsklig aktivitet snarare än av statiska politiska gränser.

Ett nytt sätt att mäta "ruralitet"

De befintliga ruralitetsmått i litteraturen uppfyller inte kravet på att antingen kunna ordna platser efter ruralitet eller kunna beräknas med hjälp av öppna data. Därför har vi utvecklat ett nytt ruralitetsbegrepp.



Figur 11: Till vänster: Glesbygds-karta över Sverige enligt Glesbygdsverkets definition. Mitten: Glesbygds-karta över Sverige enligt vår definition. Till höger: Sveriges ombudsnät.

Till exempel har vi försökt använda definitionen från Glesbygdsverket, där ett glesbygdsmått för en plats definieras som medelavståndet till de närmaste tätortsklustren av olika befolkningsstorlekar, som sedan indexeras. Här behöver vi en lista med tätorter, som ofta inte direkt kan skapas från öppna data. Figur 11 visar Glesbygdsverkets karta, vår nya ruralitetskarta och Sveriges nätverk av ombud.

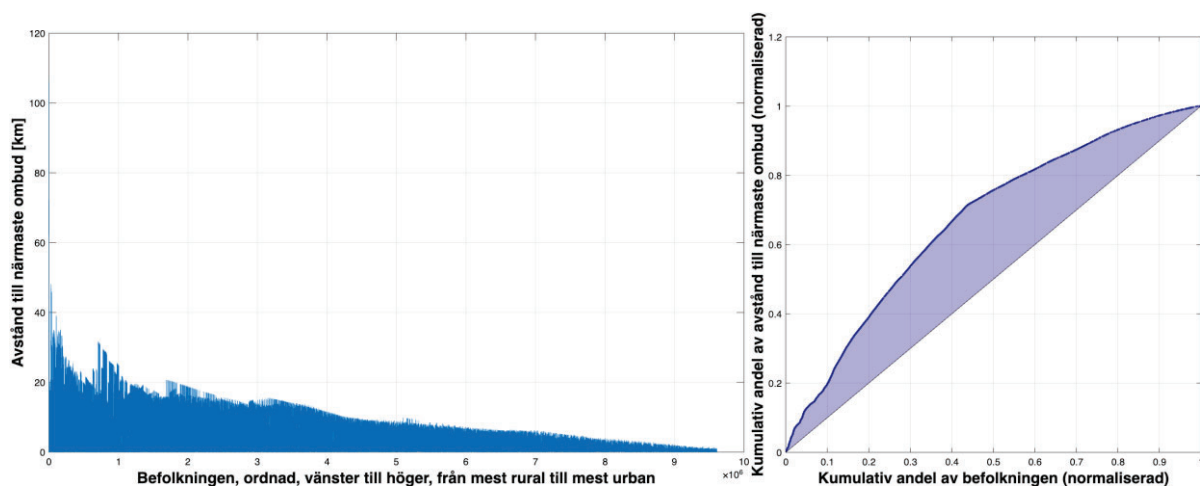
Istället har vi utvecklat ett mått för ruralitet som bara behöver en befolkningskarta som input. För varje plats definierar vi ruralitet som medelvärde av platsens distansspektrum. Detta matematiska mått uppfyller alla krav som vi ställer på ett distansspektrum, i synnerhet att platserna i ett land kan ordnas och rankas efter "glesheten". Dessutom är kartan enkelt att räkna ut och grundas på öppet tillgängliga befolkningstäthetskartor.

Koncentrationskurvor och index för att mäta hur "privilege" eller "cost" är distribuerade

Vi har här sammanfört tre forskningsdomäner: ekonomi (begrepp som 'koncentrationskurvor', 'Gini-index' och ekonomisk ojämlikhet), ingenjörsvetenskap och matematik (kvantitativa mått för mätbara nyckel-indikatorer) och samhällsvetenskap (insikter om samhälleliga ojämlikheter).

Med avstamp i ruralitetskartor som beskrivits ovan, samt Sveriges befolkningskarta, har vi utvecklat och studerat koncentrationskurvor på följande sätt. Varje person i Sverige kan associeras med ett mått för sin ruralitet, beroende var i landet personen är bosatt enligt befolkningskartan. Vi kan då ordna alla Sveriges invånare efter deras ruralitet, denna fördelning visas i Figur 12. Hur är då transportbördan fördelad mellan glesbygdsinvånarna och storstadsinvånarna? Sveriges glesbygdsbefolkning har i stort sett en längre distans till ombud än storstadsborna. Resultat är inte förvånande med hänsyn till ruralitetsbegreppet som utvecklats, men den definierade relationen möjliggör nu en kvantitativ analys.

Vi vidareutvecklade analysen till att omfatta begreppet 'koncentrationskurva' (se Figur 12). Distans till ombud blir här en kostnad som invånare betalar för tjänsten. Koncentrationskurvan visar hur denna kostnad är koncentrerad med avseende på ruralitet. Det blev tydligt att bördan är skevt fördelat; den är högre för glesbygdsinvånare (brantare kurva) än för storstadsinvånare (kurvan planar ut till höger). Den färgade ytans area är ett mått för denna skevhet, vilket i detta sammanhang ses som ett index: ett mått för skevheten i tillgänglighet till paketombud.



Figur 12: Hur är bördan fördelad över glesbygdsinvånarna versus storstadsinvånarna?

Till vänster: Sveriges befolkning ordnad efter "ruralitet" versus distans till ombud.

Till höger: Koncentrationskurvan visar att kostnadsbördan är skevt: bördan (distans till ombud) är högre för glesbygdsinvånare (brantare kurva till vänster) än för storstadsinvånare (kurvan planar ut till höger).

Storleken på den färgade ytan är ett mått för denna skevhet

Det nya ruralitetsmättet vi utvecklat möjliggör en kvantitativ kartläggning för ett brett utbud av transporttjänster. Ordningen av befolkningen efter ruralitet kombineras med en kostnad för en viss transporttjänst och på så sätt får skevheten i kostnadsfördelningen ett jämförbart mått. Detta mått kan sedan användas som underlag till exempelvis utveckling av affärsmodeller eller regionala utvecklingsstrategier.

Ruralitetsmättet som beskrivits ovan har presenterats för PTS och två tidskriftsartiklar är under framtagande som planeras skickas in med dessa konceptuella resultat. En viktig insikt är att, medan ruralitetsmättet kan relativt enkelt tas fram med hjälp av enbart en befolkningskarta eftersom öppna data är tillgängliga för nästan alla områden i Sverige, är tillgänglighet av data som beskriver "kostnaden" tydligt begränsat. För en omfattande och jämförande analys skulle kostnadsdata (som i exemplet ovan utgjordes av "distans till ombud") behöva vara tillgänglig. Dessutom skulle samma data i samma format behöva stå till förfogande för många år i rad för att möjliggöra en jämförelse av utveckling över tid. Detsamma gäller för både jämförbara regioner i Sverige och länder när det gäller möjligheten till nationella eller internationella jämförelser. Tillgängligheten till den typ av data förblir dock en utmaning.

6.9 Summering

Ett centralt resultat från studierna i pilotområdena är fördjupad kunskap om praktiska förutsättningar för samordning av transporter i glesbefolkade regioner med specifika geografiska förhållanden. Arbetet har tydliggjort att tekniska möjligheter måste kombineras med tillit, tydliga ansvarsfördelningar och ägarförhållanden samt integritetsskyddande lösningar för att skapa faktisk nytta både i transportbranschen och för tillgänglighet till leveranser i dessa områden. Piloterna har även synliggjort strukturella utmaningar, framför allt kopplade till tillgång till användbara data för simulering och optimering inom ramen för transportplanering och infrastrukturutveckling, vilket i sig utgör ett viktigt resultat för fortsatt utveckling och framtida implementering. Andra utmaningar som synliggjordes relaterar till låg standardisering inom branschen och ett behov av regional samordning snarare än enskilda tekniska lösningar. Resultaten ger ett tydligt underlag för fortsatt teknisk utveckling, affärsmodellering och policyarbete kopplat till samordnade transporter i både stad och landsbygd. Utöver det har projektet även bidragit med konceptuell grund och praktisk insikt som kan nyttjas i andra sammanhang, exempelvis smarta regionala utvecklingsstrategier.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	- presentation vid vetenskapliga och populärvetenskapliga arrangemang - olika typer av publikationer - Nyheter och andra pressmeddelanden i lokal och regional media - användning i utbildningssyfte
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	- IVA 100 nominering - samtal förs med aktörer i transportbranschen
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	- Anknytande forskningsprojekt planeras för att vidareutveckla plattformen med nya användningsfall
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

Projektet har genomförts i nära samarbete med privata och offentliga aktörer. Möten, workshoppar och seminarier har redan under projektets gång använts som tillfällen för resultat- och kunskapsspridning. Projektets resultat har presenterats vid nationella och internationella populärvetenskapliga och vetenskapliga konferenser. Projektresultat har också spridits genom media innehåll, pressmeddelanden och nyhetsartiklar i olika mediekkanaler.

7.2 Publikationer

Följande publikationer har färdigställts under projektet.

Dabbous, A.; Bóta, A. (2025). Hybrid Reinforcement Learning Enhanced Genetic Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem with Split Deliveries and Heterogeneous Fleet. Proceedings of the 28th International Multiconference INFORMATION SOCIETY – IS 2025: Volume N on the Middle-European Conference on Applied Theoretical Computer Science (MATCOS), 9–10 October 2025 Koper, Slovenia. 48-51. DOI: 10.70314/is.2025.matcos.

Moradi, A.; Gupta, P.; Van de Beek, J. (2025). Measuring Cellular Coverage Inequalities: A Novel Index, ICC 2025 - IEEE International Conference on Communications, 08-12 June 2025, Montreal, QC, Canada, 505-510. DOI: 10.1109/ICC52391.2025.11161651.

Dabbous, A. (2025) Solving the Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithms. Master thesis in Applied Artificial Intelligence. Luleå University of Technology. Diva: urn:nbn:se:ltu:diva-113331.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektets resultat och lärdomar ger upphov till följande slutsatser för fortsatt implementering av en konkurrensneutral digital plattform för samordning av transporter.

- a) *Att etablera en neutral samverkansorganisation:* För att skala upp en sådan digital infrastruktur som den som har utvecklats och testats under projektet bör man överväga att formalisera samarbetet. Pilotstudierna indikerade att en medlemsägd modell kan ge den transparens och det gemensamma ägarskap som krävs för att skapa och bibehålla tillit till varandra. Samtidigt behöver man besluta om juridisk form – på Gotland diskuterades redan olika varianter. Oavsett form måste fördelning av ansvar, kostnader och nyttor vara tydlig.
- b) *Att säkerställa principer för ansvar och datahantering:* Innan fullskalig drift bör tydliga reglerna etableras kring ansvarsfördelning, kvalitetskrav och dataanvändning i praktiken. Exempel är genomförande av transport, skadereglering, förseningar samt support vid tekniska problem. Sådana frågor bör regleras genom avtal eller gemensamma villkor för nyttjande av plattformens tjänster. Den utvecklade plattformen bygger på integritetsskyddande mekanismer för att företag ska känna sig trygga att använda den då ingen affärskritisk information samlas in. Dessa principer stödjer benägenheten att samverka för att samordna transportbehov och -möjligheter.
- c) *Att bygga vidare på befintliga nätverk och initiativ:* En framgångsfaktor i projektet var att koppla an till existerande nätverk (Tillväxt Gotlands företag, Energinätverket, iBoxens kundbas, kommuner och regioner, lokala företagsnätverk etc.) istället för att skapa ett helt nytt initiativ. Vi rekommenderar att fortsatt implementering sker i nära dialog med dessa (och andra) nätverk. Genom redan etablerade samverkansformer och relationer kan dessa stödja en bredare förankring och implementering av den digitala samverkansplattformen genom att ta vara på lokalkännedom och engagemang.
- d) *Att stärka digital infrastruktur och kompetens:* För att den utvecklade plattformen ska kunna driftsättas skarpt behövs fortsatt teknisk och organisatorisk utveckling. Projektet hade begränsad ram för fullskalig utveckling av det digitala ekosystemet nödvändigt för att kunna drifva plattformen i större skala. Ett nästa steg bör inkludera resurser för att specificera och bygga ut olika moduler av plattformen. Teknisk expertis och investeringar i driftssäker infrastruktur är relevanta framgångsfaktorer när de digitala lösningarna skalas upp.
- e) *Att skala upp testmiljön:* För att ännu bättre återspegla verkliga förhållanden bör framtida arbete fokusera på att skala upp testmiljön som kommer att ytterligare förbättra utveckling, felsökning och validering av den digitala plattformen under mer komplexa scenarier.
- f) *Att vidareutveckla och förbättra den digitala plattformen Fraktal:* För att öka stabiliteten, skalbarheten och användbarheten behövs fortsatt utveckling av systemet och viktiga moduler. Ett problem var exempelvis att blockkedjan ibland uppvisade oförutsägbart beteende, vilket nödvändiggjorde manuell hantering. Även utan kritisk inverkan på systemets övergripande funktionalitet, påverkar sådana fel användarupplevelsen negativt och bör förbättras ytterligare för att öka systemstabilitet. Ett annat område är att fullständig systemimplementering och onboarding av nya organisationer för närvarande är relativt komplex och tidskrävande. Det finns en betydande potential för framtida projekt att effektivisera och påskynda både driftsättningsprocessen och organisationsintegrering, särskilt om den digitala infrastrukturen förväntas skalas upp över tid.
- g) *Att integrera behörighetshantering med paketkontraktet:* För säker behörighetshantering innehåller det nyutvecklade systemet också ett särskilt smart kontrakt som dock ännu inte kunnat integreras fullt ut med paketkontraktet. En konsekvent integration i kommande projekt minskar risken för fel eller missförstånd om vilka aktörer som har tillstånd att utföra specifika åtgärder.
- h) *Att införa ett reputationssystem och en administrativ portal.* För att göra det lättare för intressenter att bedöma varandra, exempelvis vilka transportörer som håller god standard

och vilka som inte gör det, bör ett omdömessystem implementeras. Ur ett tekniskt perspektiv skulle detta kunna uppnås genom att utvidga de befintliga smarta kontrakten. Pilottestet visade att plattformen och dess hantering skulle gynnas av en administrativ portal. Denna portal skulle kunna ge översiktlig information om paket, möjliggöra deras spårning i systemet under transportprocessen, hantera behörigheter och stödja andra administrativa uppgifter. För närvarande kräver många av dessa åtgärder andra tekniska verktyg eller direkt interaktion med ett backend, vilket inte är hållbar när systemet skalas upp. En administrativ portal skulle därför göra systemet mer tillgängligt, användarvänligt och lättare att hantera i daglig drift.

- i) *Att etablera ekonomisk hållbarhet och incitament:* Slutligen bör den valda affärsmodellen testas ekonomiskt i skarp drift och justeras vid behov. Det kan vara klokt att inledningsvis söka offentliga stöd eller innovationsmedel för att delfinansiera implementationen, i synnerhet för landsbygdsdelarna där marknadsunderlaget är svagt. Samtidigt bör prissättnings- och intäktsmodeller utformas så att alla parter upplever det som förmånligt. Vi anser att ekonomiska simuleringar behöver göras för att specificera modellen på kort och lång sikt för ett konkret användningsområde. Resultat från pilotstudierna kan utgöra en grund för sådana beräkningar för varje alternativ.
- j) *Att implementera och evaluera plattformen:* I projektet testades plattformen framgångsrikt, dock under exemplariska förhållanden. Nästa steget bör vara en kontrollerad implementering i mindre skala med ett fåtal aktörer, exempelvis med småföretag i landsbygd. Detta skulle hålla driftkostnaden på en låg nivå och skulle möjliggöra att utforska utmaningar och nyttor under mer långvarig och återkommande användning. För att ett sådant utvärderingsprojekt ska kunna genomföras framgångsrikt behövs stöd till dessa småföretag så att de kan utveckla egna applikationer mot plattformen.

Avslutningsvis kan vi konstatera att projektet har lagt en gedigen grund för fortsatt utveckling. Resultaten ger ett tydligt underlag för nästa steg vad gäller teknik, affärsmodellering och även policyarbete för samordnade transporter i såväl stad som landsbygd. Piloterna har demonstrerat konceptets värde – från förbättrad service i glesbygd till effektivare godskejdor för lokala producenter – samtidigt som de belyst vad som krävs för framgångsrik implementering. Projektet har också genererat värdefulla kunskap och partnerskap i praktiken, särskilt med hänsyn till implementerade och testade anpassningar av transportlösningar till glesbygd som är redo för fortsatt användning. De förknippade erfarenheterna bidrar till en bättre förståelse för specifika förutsättningar som behöver tillgodoses för att möjliggöra en fortsatt adekvat tillgång till transportsystemet. Nästa fas bör därför inriktas på att institutionalisera och skala upp användning och utveckling av plattformen utanför forskningsprojektets ram. Med stöd av engagerade offentliga och privata aktörer finns goda förutsättningar att göra plattformen till ett bestående verktyg som bidrar till ett mer hållbart, effektivt och jämlikt transportsystem i Sverige.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Luleå tekniska universitet

Luleå tekniska universitet har varit projektledare för projektet och ansvarat för den övergripande koordineringen, genomförandet och vetenskapliga kvalitetssäkringen av arbetet. Projektgruppen har bestått av forskare från flera forskningsämnen, främst informationssystem i samarbete med entreprenörskap och innovation, signalbehandling och maskininlärning. Kombinationen av dessa kompetensområden har möjliggjort en integrerad analys av både tekniska och organisatoriska förutsättningar för samordning av transporter, inklusive utveckling av digital plattform, digital tvilling, affärsmodeller och ett ruralitetsindex.



A beautiful soup

A beautiful soup är en kommunikationsbyrå, specialiserad inom public affairs, samhällsbyggnad och hållbar stadsutveckling, som har ansvarat för projektets kommunikation och faciliterat processen med att identifiera digitaliseringens hinder i politiken och i regelverken.



Bodens kommun

Bodens kommun deltar i och bidrar till utvecklingsprojekt som detta som möjliggör en bättre vardag och ett starkt näringsliv i Boden. Projektets resultat anses kunna bidra till bättre tillgänglighet, trygghet och mindre klimatpåverkan. Det är en viktig del i Bodens gröna omställning och i arbetet med Agenda 2030 samt visionen "det goda livet"



**BODENS
KOMMUN**

iBoxen Infrastruktur Sverige AB

iBoxen utvecklar en helt ny nationell infrastruktur med utomhusboxar för alla former av paketleveranser från samtliga transportörer. Med boxarna utställda över hela landet och tillgänglighet dygnet runt bidrar iBoxen till att hela Sverige får tillgång till hållbara leveranslösningar. Användarfall och affärslogik i relation till iBoxens verksamhet bidrog till utveckling av de konceptuella och digitala lösningarna i projektet. Lärdomarna från piloten 1 i Norrbotten är av stor betydelse för iBoxens fortsatt verksamhet i stad och landsbygd samt för att kunna anpassa boxarna och digitala system till de specifika krav vid leveranser i olika områden.



Luleå kommun

Luleå kommun deltar i och bidrar till utvecklingsprojekt som detta tillsammans med andra aktörer, som sätter människan i centrum. Projektet bidrar med kunskap till den nationella innovationshubben som hjälper små och medelstora teknikföretag att utveckla säkra digitala produkter. Dessutom ser Luleå kommun stor nytta med detta unika samarbete för hållbar stadsutveckling i norra Sverige, som kan ge förutsättningar för innovation som förutsätter kompetens att ställa om och utveckla nya branscher, verksamhetsområden och arbetssätt.



**LULEÅ
KOMMUN**

Region Norrbotten

Region Norrbotten deltog i och medfinansierade projektet eftersom det är nära kopplat till Regionens uppdrag att samordna det regionala utvecklingsarbetet för en hållbar tillväxt i länet gällande regional utveckling, kultur, trafik och infrastruktur. Projektet bidrar till flera av de prioriterade områden och målbilder som definieras i Norrbottenstrategien 2040, såsom *En tillvaro av möjligheter* och *Ett närmare Norrbotten*, bland annat genom att bidra till livskraftiga landsbygder med tillgänglig service genom att bygga ett sammanhängande transportsystem och främja hållbara transporter.



Tillväxt Gotland

Tillväxt Gotland har varit ansvarig samverkanspart för genomförandet av pilotstudien 2 på Gotland. Arbetet har bedrivits i nära samverkan med projektledning och arbetspaket vid Luleå tekniska universitet samt med lokala företag och aktörer inom transport, logistik och energi. Särskilt har Gotlands Energinätverk fungerat som bas för piloten, i linje med projektets ambition att testa plattformen i en regional kontext med både stad och landsbygd. Tillväxt Gotland har bidragit till att förankra projektet i en verklig regional kontext och till att omsätta projektets övergripande ambitioner till konkreta, prövade och dokumenterade erfarenheter från Gotland. Resultaten ger ett tydligt underlag för fortsatt teknisk utveckling, affärsmodellering och policyarbete kopplat till samordnade transporter i både stad och landsbygd.

