



Digital tvilling inom sophantering

Ett kandidatarbete på Chalmers tekniska högskola i samarbete med Volvo Group Trucks om digital tvilling inom Göteborgs sophanteringssystem

Kandidatarbete vid Industri- och materialvetenskap

Hanna Bengtsson, Fabian Fällman

Mohammad Khesraw Hasem, Samuel Magnusson

Hugo Reman, Benjamin Zubovic

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2026

www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2026

Digital tvilling inom sophantering

Ett kandidatarbete på Chalmers tekniska högskola i samarbete med Volvo Group Trucks om digital tvilling inom Göteborgs sophanteringssystem

Hanna Bengtsson

Fabian Fällman

Mohammad Khesraw Hasem

Samuel Magnusson

Hugo Reman

Benjamin Zubovic



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

Göteborg 2026

Digital tvilling inom sophantering

Ett kandidatarbete på Chalmers tekniska högskola i samarbete med Volvo Group Trucks om digital tvilling inom Göteborgs sophanteringssystem

Hanna Bengtsson

Fabian Fällman

Mohammad Khesraw Hasem

Samuel Magnusson

Hugo Reman

Benjamin Zubovic

© Hanna Bengtsson, 2026.

© Fabian Fällman, 2026.

© Mohammad Khesraw Hasem, 2026.

© Samuel Magnusson, 2026.

© Hugo Reman, 2026.

© Benjamin Zubovic, 2026.

Handledare: Kristina Wärmefjord, Institutionen för Mechanical Engineering

Examinator: Erik Hultén, Institutionen för Mechanical Engineering

Erkännanden, dedikationer och liknande personliga uttalanden återspeglar författarens egna åsikter.

Kandidatarbete 2026

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: AI-genererad visualisering av stadsmiljö i skymning, där uppkopplade sopkärl, sopbilar och rutter illustrerar hur en digital tvilling kan stödja effektivare sophantering.

Skriven i L^AT_EX

Göteborg 2026

Digital Twin for Waste Management

A bachelor's thesis at Chalmers University of Technology in collaboration with Volvo Group Trucks on a digital twin within Gothenburg's waste management system

Hanna Bengtsson

Fabian Fällman

Mohammad Khesraw Hasem

Samuel Magnusson

Hugo Reman

Benjamin Zubovic

Department of Industrial and material science

Chalmers University of Technology

The report has been written in Swedish

Förord

Detta kandidatarbete har genomförts under våren 2026 på Chalmers tekniska högskola i samarbete med Volvo Group Trucks. Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare, Kristina Wärmefjord, för värdefull vägledning och stöd under arbetets gång samt vår examinator, Erik Hultén, för ytterligare viktiga insikter och diskussioner. Vi vill även tacka vår handledare på Volvo Group Trucks, Martin Claesson, för stort engagemang i arbetet samt övriga medarbetare som bidragit med kunskap och insikter som har varit viktiga för arbetets genomförande.

Abstract

In connection with increasing urbanization and growing demands for sustainable resource utilization, higher requirements are being placed on the optimization of systems in urban environments. A central aspect of all urban environments is waste management, and this study investigates how digital twins can be used to improve waste management in Gothenburg Municipality. The project was carried out on behalf of Volvo Group Trucks and aims to analyze how data integration between stakeholders can enable improved route planning and create new business opportunities.

The study is based on a design science approach with an iterative working method, where interviews with employees from Volvo Group Trucks, Renova, and the City of Gothenburg were conducted. The information from these interviews is combined with literature studies, service blueprints, and the development of a simplified simulation model. The simulation compares the current state with a demand-driven model based on the fill levels of bins, which could potentially be measured using sensors.

The results demonstrate that there is room for efficiency improvements through increased data sharing and dynamic route optimization. The simulation model shows how demand-driven collection can reduce unnecessary emptying operations and help prevent overflowing bins. The economic analysis also indicates potential cost savings, although assumptions have been made and the results should therefore be interpreted with some caution.

Furthermore, the recommendations suggest a phased implementation in which the initial focus should be on utilizing existing data and establishing simpler forms of data-driven route planning before more advanced functions are implemented. In the longer term, a solution integrating real-time data, sensors, and optimization algorithms can be developed. However, the results also show that successful implementation requires not only technical solutions but also collaboration between stakeholders and access to relevant shareable data.

Keywords: Digital twin, Waste management, Route optimization, Simulation, Circular economy

Sammandrag

I samband med ökad urbanisering och växande krav på hållbar resursanvändning ställs högre krav på effektivisering av system i stadsmiljöer, däribland avfallshantering. Denna studie undersöker hur digitala tvillingar kan användas för att effektivisera sophantering i Göteborgs kommun. Arbetet genomfördes på uppdrag av Volvo Group Trucks och syftar till att analysera hur dataintegration mellan aktörer kan möjliggöra förbättrad ruttplanering samt skapa nya affärsmöjligheter.

Studien baseras på en design science-ansats med ett iterativt arbetssätt, där intervjuer med anställda från Volvo Group Trucks, Renova och Göteborgs Stad har genomförts. Informationen från intervjuerna kombineras med litteraturstudier, service blueprints samt utvecklingen av en enklare simuleringsmodell. Simuleringen jämför nuläget med en behovsstyrd modell baserad på fyllnadsgraden i kärl, vilken potentiellt kan mätas med hjälp av sensorer.

Resultaten visar att det finns potential för effektivisering genom ökad datadelning och dynamisk ruttoptimering. Simuleringsmodellen indikerar att behovsstyrd hämtning kan minska antalet onödiga tömningar samt förebygga överfulla kärl. Den ekonomiska analysen pekar också på möjliga kostnadsbesparingar, även om resultaten bör tolkas med viss försiktighet på grund av gjorda antaganden.

Vidare ges rekommendationer om ett stegvis införande där fokus initialt bör ligga på att utnyttja redan befintlig data och etablera enklare former av datadriven ruttplanering innan mer avancerade funktioner implementeras. På längre sikt kan en lösning utvecklas där realtidsdata, sensorer och optimeringsalgoritmer integreras. Dock visar resultaten även att en framgångsrik implementering inte enbart kräver tekniska lösningar utan även samarbete mellan aktörer och tillgång till relevant delbar data.

Begreppslista

Tabell 1: Begrepp som används i rapporten (del 1)

Begrepp	Förklaring
<i>Digital tvilling</i>	En virtuell modell av ett fysiskt objekt, system eller process som uppdateras kontinuerligt med realtidsdata från den fysiska motsvarigheten. Definition enligt (Wang m. fl., 2024).
<i>API</i>	(Application Programming Interface) Ett programmeringsgränssnitt som tillåter två programvaror att kommunicera med varandra automatiskt utan manuell inblandning.
<i>Fyllnadsgrad</i>	Anger hur fullt ett sopkärl är, vanligtvis i procent (0% = tomt, 100% = fullt). Ett vedertaget begrepp inom avfallshandling.
<i>Volvo Connect</i>	Volvos molnbaserade plattform för hantering av fordonsdata, inklusive positionsspårning, bränsleförbrukning, förartidsdata och geofences (Volvo Group, 2026).
<i>Geofence</i>	En virtuell zon på en karta som utlöser en händelse (exempelvis en varning) när ett fordon passerar in eller ut ur zonen.
<i>Cost-of-doing-nothing</i>	Den kostnadsnivå som kvarstår om optimeringsåtgärder inte implementeras, det vill säga kostnaden av att inte agera.
<i>Price-to-be-won</i>	Det ekonomiska värde som kan realiseras genom optimeringsåtgärder, det vill säga den besparingspotential som finns att hämta hem.

Tabell 2: Begrepp som används i rapporten (del 2)

Begrepp	Förklaring
<i>Behovsstyrd sophämtning</i>	En metod där tömning av sopkärl sker baserat på faktisk fyllnadsgrad snarare än fasta tömningsintervall.
<i>Dynamisk ruttplanering</i>	Ruttplanering som kontinuerligt uppdateras baserat på realtidsdata, såsom trafikförhållanden, väderprognoser och fyllnadsgrad i kärl.
<i>Avvikelse</i>	Problem som uppstår och förhindrar tömning av sopkärl. Dessa problem rapporteras och sparas i form av avvikelser.
<i>Business Model Canvas</i>	Ramverk för att beskriva en affärsmodell utifrån exempelvis värdeerbjudande, kundsegment, nyckelpartners, intäkter och kostnader.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund och problembeskrivning	1
1.2	Syfte	1
1.3	Forskningsfrågor	2
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Uppdragsgivare: Volvo Group Trucks	3
1.6	Disposition	3
2	Bakgrund och begrepp	4
2.1	Digitala tvillingars utveckling och grundprinciper	4
2.2	Befintliga likartade digitala system och tillämpningar	5
2.3	Logistiska utmaningar inom avfallshantering	6
2.4	Potential för digital tvilling inom avfallshantering	7
2.5	Aktörer i avfallshanteringssystemet	7
2.6	Kostnadsstruktur	8
2.7	Sammanfattning av bakgrund och begrepp	9
3	Metod	10
3.1	Forskningsansats	10
3.2	Datainsamling	10
3.3	Urvalskriterier	10
3.4	Intervjupersoner	11
3.5	Intervjuteknik och genomförande	12
3.6	GDPR	12
3.7	Service blueprinting	13
3.8	Simuleringsmodell	15
3.8.1	Framtagning och verktyg	15
3.8.2	Uppbyggnad	15
3.9	Analysmetoder	16
3.9.1	Ekonomisk analysmetod	16
3.9.2	Analys av affärsfall	17
3.9.3	Analys av dataflöden	18
4	Resultat	19
4.1	Information från intervjuer	19
4.2	Nuläge	24
4.3	Kartläggning av nuvarande dataflöden	25
4.4	Idealt scenario	27

4.5	API:er för en digital tvilling	28
4.6	Service Blueprint	30
4.7	Simulering	32
4.8	Cost-of-doing-nothing	33
4.9	Affärsfall	39
5	Analys	41
5.1	Analys av nuläget	41
5.2	Analys av det dynamiska systemet	41
5.3	Ekonomisk analys	43
5.4	Koppling till teori	44
6	Diskussion	46
6.1	Metoddiskussion	46
6.2	Resultatdiskussion	47
6.3	Etiska och samhälleliga aspekter	50
7	Slutsats	52
7.1	Sammanfattning av arbetets resultat	52
7.2	Svar på forskningsfrågorna	53
7.2.1	Forskningsfråga 1	53
7.2.2	Forskningsfråga 2	54
7.2.3	Forskningsfråga 3	54
8	Rekommendationer	56
8.1	Volvo Group Trucks	56
8.2	Renova	56
8.3	Göteborgs Stad	57
	Källförteckning	58
A	Nulägets flödesschema	I
B	Idealt scenario flödesschema	II
C	Business Model Canvas	III
D	Sopkärlens placering	IV
E	Övergripande Interface	V
F	Illustration av ruttplanering	VI

1 Inledning

Digitalisering och datadrivna arbetssätt har de senaste åren fått en allt mer central roll i utvecklingen av effektiva och hållbara samhällen. I takt med att städer växer och kraven på resurseffektivitet ökar, uppstår behovet av att bättre förstå och optimera processer i stadsmiljö. En sådan process är sophantering, som innefattar samverkan mellan flera aktörer, tekniska system och logistiska flöden.

Samtidigt skapar den teknologiska utvecklingen nya möjligheter att integrera och analysera data från olika källor i syfte att förbättra beslutsfattande och operativ effektivitet. Detta arbete tar sin utgångspunkt i dessa möjligheter och undersöker hur digitala verktyg kan bidra till en mer sammanhållen och optimerad hantering av sophämtningsprocessen i en stadsmiljö.

1.1 Bakgrund och problembeskrivning

Ökad urbanisering och växande krav på hållbarhet medför högre krav på hur städer hanterar sina resurser och infrastrukturer. Avfallshantering utgör en central del av denna utmaning, där ineffektiv planering och bristande informationsflöden kan leda till onödigt höga kostnader, ökade utsläpp och suboptimal resursanvändning (Randhawa m. fl., 2020). Trots att stora mängder data genereras inom sophämtningsprocessen är denna information ofta fragmenterad mellan olika aktörer, vilket försvårar möjligheten att fatta välgrundade och samordnade beslut (Randhawa m. fl., 2020).

Samtidigt har den teknologiska utvecklingen inom digitalisering och uppkopplade system skapat nya möjligheter att arbeta mer datadrivet. Ett sådant koncept är digitala tvillingar, som möjliggör skapandet av virtuella representationer av fysiska system med kontinuerlig uppdatering baserad på realtidsdata (Wang m. fl., 2024). Genom att integrera och analysera data från flera källor kan dessa system bidra till förbättrad planering, simulering och optimering av komplexa processer (Kritzinger m. fl., 2018).

1.2 Syfte

Mot denna bakgrund undersöker arbetet hur en konceptuell digital tvilling kan tillämpas och realiseras inom sophantering i en stadsmiljö. Med fokus på ett begränsat antal aktörer analyseras hur data kan samlas in, delas och användas för att möjliggöra mer dynamisk och effektiv ruttplanering. Arbetet syftar vidare till att utvärdera vilket värde en digital tvilling kan skapa. Detta innefattar att undersöka potentiella effekter i form av förbättrad ruttplanering och minskade kostnader. Studien avser därmed att bidra med ett konceptuellt förslag på hur en digital tvilling kan utformas och användas inom sophantering.

1.3 Forskningsfrågor

För att tydliggöra arbetets mål har följande forskningsfrågor formulerats:

1. Vilken relevant data finns att tillgå som kan delas mellan aktörer för att möjliggöra en konceptuell digital tvilling inom sophantering?
2. Hur kan en digital tvilling skapa affärsmöjligheter för aktörer inom sophantering i Göteborgs kommun?
3. Hur kan en digital tvilling effektivisera och underlätta sophanteringsprocessen och vilka hinder samt möjligheter finns det?

1.4 Avgränsningar

Detta arbete avgränsas till konceptuella och analytiska metoder, med fokus på att utforma och analysera en digital tvilling för sophantering i Göteborgs kommun. Arbetet syftar inte till att utveckla en digital tvilling, utan till att ta fram ett teoretiskt och tekniskt underbyggt förslag på hur en sådan lösning kan utformas och fungera i praktiken. Fokus ligger därmed på att undersöka vilka typer av data, system och integrationslösningar som krävs för att möjliggöra en mer datadriven och dynamisk sophanteringsprocess.

Enklare simuleringsmodeller som utvecklas avgränsas till att vara illustrativa verktyg och inte en komplett teknisk implementation. Någon fullständig systemintegration, realtidsdata från externa aktörer eller industrianpassad mjukvara har inte utvecklats. Fokus ligger istället på att demonstrera konceptets potential och möjliggöra jämförelser mellan nuläge och framtida scenarier.

Dessutom avgränsas arbetet till ett begränsat antal aktörer inom sophämtningsprocessen, då arbetets tidsram begränsar en fullständig kartläggning av samtliga aktörer som potentiellt skulle kunna bidra till eller dra nytta av lösningen. Fokus ligger främst på att resonera kring vilka fördelar en implementering av en digital tvilling kan innebära för de involverade aktörerna. Dessa fördelar kommer, i den mån det är möjligt, att uppskattas och beskrivas i form av ekonomiska effekter, tidsbesparingar och kundnöjdhet, i linje med arbetets forskningsfrågor.

1.5 Uppdragsgivare: Volvo Group Trucks

Kandidatarbetet genomfördes på uppdrag av Volvo Group Trucks, som härnäst kommer att benämnas som Volvo. Företaget var intresserat av att undersöka hur digitala tvillingar kan ligga till grund för nya tjänster och affärsmodeller utöver traditionell fordonsförsäljning, med särskilt fokus på sophämtningsprocessen i Göteborgs kommun.

Tillämpningsområdet för arbetet, som tidigare nämnts i Avgränsningar, är sophantering, där många repetitiva ruttor förekommer och där effektiv planering kan bidra till förbättringar (Randhawa m. fl., 2020). Detta gör området särskilt relevant för att se hur en digital tvilling kan bidra till förbättrad samordning av data, optimering av ruttor och ökad resurseffektivitet. För Volvo innebär detta en möjlighet att vidareutveckla befintliga digitala plattformar och komplettera hårdvaruerbjudandet med datadrivna tjänster som stödjer kundernas operativa verksamhet.

1.6 Disposition

Rapporten är indelad i åtta kapitel. Första kapitlet utgör inledningen och presenterar studiens bakgrund, syfte, forskningsfrågor och avgränsningar. Det andra kapitlet redogör för den teoretiska bakgrunden och de centrala begrepp som krävs för att förstå studien. Det tredje kapitlet beskriver de metoder som använts för informationsinsamling och analys. Det fjärde kapitlet presenterar studiens resultat. Det femte kapitlet analyserar resultaten i relation till forskningsfrågorna och den teoretiska bakgrunden. Det sjätte kapitlet diskuterar metodvalens styrkor och svagheter samt diskuterar resultatens betydelse. Sjunde kapitlet sammanfattar studiens slutsatser. Det åttonde och sista kapitlet tar upp rekommendationer för respektive aktör för framtida arbete.

2 Bakgrund och begrepp

Kapitlet redogör för den teoretiska grund som krävs för att förstå studien, inklusive centrala begrepp, tidigare forskning och tekniska koncept. Syftet är att skapa ett teoretiskt ramverk för de analyser och resultat som presenteras senare i rapporten.

2.1 Digitala tvillingars utveckling och grundprinciper

Det som idag kallas digitala tvillingar har sitt ursprung i USA och National Aeronautics and Space Administration (NASA) under 1960-talet och tidens Apollo rymdprogram (Zhang m. fl., 2026). NASA utvecklade då ett omfattande system av simulatorer som speglade den faktiska rymdfarkostens tillstånd så exakt som möjligt. Rymdfarkosten och dess system byggdes upp och återskapades på marken för att möjliggöra simuleringar och felsökningar på potentiella scenarier som skulle kunna uppstå (Zhang m. fl., 2026). De fullskaliga modellerna av rymdfarkosten och dess system användes framgångsrikt under Apollo 13-uppdraget år 1970 då ingenjörer kunde använda fysiska modeller av farkostens system för att simulera scenarier och utfall av olika lösningar (Allen, 2021). Med dagens mått framstår dessa stora fysiska modeller som primitiva och klumpiga, men de utgjorde startskottet för utvecklingen av det som idag definieras som digitala tvillingar och dess fundamentala principer (Zhang m. fl., 2026).

Konceptet med en digital tvilling, till skillnad från de fysiska modeller som NASA använde, introducerade Michael Grieves informellt år 2002 under en presentation om product lifecycle management (PLM). Grieves modell över en digital tvilling var uppbyggd av tre huvudsakliga byggstenar; 1) ett fysiskt verkligt objekt, 2) en digital miljö med en virtuell modell av objektet, 3) en förbindelse mellan det fysiska objektet och det virtuella objektet med dataflöde åt båda håll (Barricelli m. fl., 2019).

Idag kan man definiera en digital tvilling som en virtuell modell av ett fysiskt objekt, system eller process som bygger på ett kontinuerligt utbyte av data mellan den fysiska världen och dess digitala motsvarighet (Wang m. fl., 2024). Denna definition omfattar de tre byggstenar Grieves introducerade redan 2002 (Barricelli m. fl., 2019). Redan idag används digitala tvillingar inom många företag och verksamheter för att optimera arbete i form av effektivitet, kostnadsreducering och riskhantering (Kritzinger m. fl., 2018). Vidare beskriver Kritzinger m. fl. (2018) en digital modell som en virtuell version av verkligheten men utan automatiska dataflöden.

Nutida utmaningar företag ställs inför är att fortsatt leverera eftertraktade produkter med hög prestanda, vilket enligt Ostaeeyen och Duflou (2010) medför ökade krav på teknisk och affärsmässig

innovation. Författarna visar även att fokus i allt högre grad förskjuts från produktens inköpspris till de totala kostnaderna som uppstår under hela dess livscykel, vilket gör lösningar som reducerar långsiktiga kostnader särskilt viktiga inom teknikdrivna branscher. Detta kan exempelvis ses i konkurrensutsatta branscher såsom transportsektorn, där företag i allt högre grad differentierar sig genom att erbjuda lösningar som minimerar totala kostnader över hela livscykeln, snarare än enbart genom lägre inköpspris.

2.2 Befintliga likartade digitala system och tillämpningar

Inom det geografiska området som studien avgränsats till, Göteborgs kommun, finns en digital tvilling benämnd Virtuella Göteborg, framtagen av Göteborgs Stad. Den används för att på ett mer lättillgängligt sätt visualisera och simulera olika stadsutvecklingsprojekt, samt för att utföra mer precisa analyser och effektivisera stadens processer. Den digitala tvillingen är en tredimensionell avbildning av staden som byggs upp genom parametrisk modellering, det vill säga att de uppbyggda modellerna bygger på parametrar som kan styras och varieras för att skapa en så verklighetstrogen avbildning som möjligt (Göteborgs Stad, u. å-b).

När Virtuella Göteborg jämförs med den tekniska definitionen av en digital tvilling som beskrivs i tidigare stycken, kan man konstatera att modellen i dagsläget främst fungerar som en digital modell snarare än en fullvärdig digital tvilling. Anledningen är att Virtuella Göteborg i dagsläget saknar ett kontinuerligt datautbyte mellan den fysiska staden och den digitala representationen, vilket är ett grundläggande krav för att uppnå den synkronisering som kännetecknar en digital tvilling.

Det finns idag kommersiella system som kan liknas vid en digital tvilling inom sophantering. Exempel på företag som arbetar med att digitalisera sophanteringsbranschen är Enevo och Bigbelly. Dessa företag har plattformar som skapar digitala representationer av kärl och insamlingsaktiviteter (Bigbelly, u. å; Enevo, 2024). Plattformarna kombinerar vanligtvis sensorer med mjukvara för att kunna planera och optimera insamling av sopor. Bigbellys system består av soptunnor som är utrustade med sensorer som läser fyllnadsnivå, GPS-data och insamlingsaktivitet (Bigbelly, u. å). Ett annat företag som använder data för att optimera sophantering är AMCS (AMCS, u. å). Genom att skapa plattformar för att samla in stora mängder data kan de optimera upphämtningsrutterna och på så sätt kan kostnaderna sänkas, miljöpåverkan minskas samt öka effektiviteten (AMCS, u. å).

I Växjö bedrevs ett projekt under perioden 2021-2023 i samarbete med SSAM, Bintel AB, PreZero och Wexnet (SSAM m. fl., 2023). Projektet som är benämnt "Smarta sopkärl" genomfördes inom ramen för EU-finansierade Diaccess i syfte att undersöka behovsstyrd avfallshämtning. Må-

let var att minska hämtningar av kärl med låg fyllnadsgrad, effektivisera resursanvändningen samt bidra till lägre kostnader och minskad miljöpåverkan från avfallstransporter. Projektet fungerade även som ett exempel på hur digital teknik och datainsamling kan användas inom kommunal avfallshantering för att utveckla mer hållbara och smarta samhällslösningar.

Inom projektet utrustades 1 400 kärl med sensorer i 400 miljörum. Sensorerna kopplades upp trådlöst till staden vilket gjorde att fyllnadsgraden av sopkärlen kunde spåras. Projekten fann att vid behovsstyrd tömning så kunde mängden kärl som var under 60% fulla minskas med 12 procentenheter för restavfall och 9 procentenheter för matavfall. Antalet tömningar minskade även med 12% per månad och adresserade hämtställen minskade med 9%. Dock så fann projektet en ökning i körsträcka med 0,85 mil ökning per dag i snitt och en ökad bränsleförbrukning på 0,1 L/ton för insamlat material.

Även om projektet visade på något högre bränsleförbrukning och längre körsträckor var den sammantagna slutsatsen att behovsstyrd avfallshämtning visade god potential. Detta eftersom dessa faktorer inte med säkerhet orsakats av just denna teknik, utan kunde bero på nya arbetssätt och rutiner. För att få full effektivitet av tekniken så framhåller rapporten att systemet är i behov av fortsatt utveckling och optimering.

2.3 Logistiska utmaningar inom avfallshantering

Enligt Hess m. fl. (2024) är avfallshantering ett område som präglas av betydande logistiska utmaningar, som kan uppstå till följd av flera samverkande faktorer. Utmaningarna varierar avsevärt mellan olika geografiska kontexter, då förutsättningar såsom stadsstruktur, infrastruktur och lokala regelverk kan skilja sig markant mellan olika städer. En central utmaning rör den övergripande utformningen av insamlingsystemet, där beslut om lokalisering av exempelvis insamlingspunkter, depåer och behandlingsanläggningar påverkar hur nätverket kan byggas upp. En annan viktig utmaning gäller den operativa ruttplaneringen, där insamlingsstopp och besöksordningen planeras med hänsyn till start och slutpunkter samt tillgängliga resurser och restriktioner. Slutligen behöver planeringen även omfatta tidsmässiga aspekter, såsom hämtningsfrekvens, tidsfönster och variationer i avfallsmängd, vilka kan skilja sig mellan olika platser över tid (Hess m. fl., 2024).

I artikeln ”Weather-Related Disruptions in Transportation and Logistics: a systematic Literature Review and a Policy Implementation Roadmap” framhåller Touloumidis m. fl. (2025) att väderförhållanden är en viktig faktor som försvårar planeringen av transporter. Eftersom vädret är svårt att förutse och hantera kan det leda till ökade operativa kostnader och minskad effektivitet för företag

inom transport och ruttplanering. Dessutom kan förseningar, stopp och längre transportsträckor bidra till ökad miljöpåverkan genom högre utsläpp.

Vidare skriver Mamoun m. fl. (2023) att trafikförhållanden är ytterligare en faktor som påverkar det logistiska arbetet med ruttplanering men som är svår att förutse och ta hänsyn till vid planering av rutter. Många traditionella modeller som utgår ifrån fixerade restider kan inte tillämpas eftersom trafikflöden och deras natur är oregelbundna och oförutsägbara. Kumar m. fl. (2023) visar att traditionella, statistikbaserade metoder har en begränsad förmåga att hantera dessa oförutsägbara situationer, vilket motiverar behovet av realtidsbaserade system för trafikövervakning och dynamisk omdirigering av fordon.

2.4 Potential för digital tvilling inom avfallshantering

Förutsättningen för att kunna skapa en digital tvilling ämnad för optimering av avfallshantering innebär att data behöver samlas in från olika aktörer. Vilken data som finns att tillgå och vilka aktörer som är relevanta ligger till grund för hur komplett en eventuell digital tvilling kan bli och hur väl den underlättar arbetet inom sophantering. Genom att undersöka hur väl man kan samordna de olika aktörerna och deras data kan man skapa förutsättningar för en mer datadriven planering av insamlingen. Detta möjliggör en bättre överblick av systemet samt ett förbättrat beslutsunderlag för planering och koordinering mellan aktörer. En sådan utveckling kan även bidra till att effektivisera arbetet och förbättra resursutnyttjandet inom avfallshantering över tid.

De potentiella fördelarna som en digital tvilling kan generera innefattar bland annat minskade utsläpp (SSAM m. fl., 2023). I takt med att världen blir allt mer medveten om klimatpåverkan och utsläppens konsekvenser utgör detta ett viktigt steg mot ett mer hållbart samhälle. Tänkbara aktörer såsom Renova och Göteborgs Stad har båda mål som innefattar en reduktion av deras klimatpåverkan (Göteborgs Stad, u. å-a; Renova AB, 2024). Där kan en digital tvilling utgöra en viktig byggsten i arbetet med att effektivisera verksamheten och möjliggöra datadrivna processer som bidrar till minskade utsläpp.

2.5 Aktörer i avfallshanteringssystemet

En digital tvilling inom sophämtning förutsätter samverkan mellan flera aktörer, där varje aktör besitter unika datatyper och har olika incitament för att delta i ett gemensamt ekosystem. Nedan beskrivs de centrala aktörerna som identifierats i detta projekt.

Tabell 3: Centrala aktörer och deras roll i ekosystemet

Aktör	Beskrivning
Volvo Group Trucks	Tillverkare av lastbilar och leverantör av fordonsdata via Volvo Connect. Relevanta datatyper inkluderar fordonsposition, bränsleförbrukning, körbeteende och larm. Volvos intresse är att utveckla nya tjänster och affärsmodeller utöver traditionell fordonsförsäljning.
Renova	Avfallsoperatör som utför sophämtning i Göteborg på uppdrag av kommunen. Renova hanterar ruttplanering, tömningsfrekvens och operativ logistik. Deras primära mål är kostnadseffektivitet och att uppfylla miljömål.
Göteborgs Stad	Kommun som äger ansvaret för avfallshanteringen och sätter regelverk för insamling. Staden har data om placering av sopkärl, tömningszoner, tillstånd och miljöklasser.
Trafikverket	Förvaltar vägnätet och tillhandahåller öppen data via Trafiklab. Relevanta datatyper inkluderar trafikflöden i realtid, vägarbeten och olyckor. Denna data är kritisk för dynamisk ruttplanering.
SMHI	Tillhandahåller väderprognoser och varningar, vilket påverkar körförhållanden, framkomlighet och planering av insamlingsrutter.

2.6 Kostnadsstruktur

Avfallshantering präglas av höga operativa kostnader, där insamling och transport utgör en betydande del av den totala kostnadsbilden (Li m. fl., 2023; Renova AB, 2025). Verksamheten i Göteborgs kommun är upphandlingsdriven där sophanteringsföretag lämnar offerter med pris och sedan poängsätts de olika sophanteringsaktörerna utöver priset baserat på miljö, erfarenhet och effektivitet (Göteborgs Stad 1, personlig kommunikation, 26 februari 2026). Traditionellt baseras insamlingen på statiska rutter och fasta tömningsintervall, vilket innebär att kärl töms oberoende av fyllnadsgrad. Detta leder till ineffektiv resursanvändning i form av onödiga transporter och arbetstid. Enligt Göteborgs Stad 1 (personlig kommunikation, 26 februari 2026) är hälften av avvikelserna som rapporteras under ett år sammankopplade med att tomma kärl töms.

Genom att integrera realtidsdata möjliggörs en övergång till behovsstyrd insamling. Detta möjliggör en övergång från schemabaserad till datadriven insamling av avfall. I kombination med

ruttoptimering kan detta reducera både körsträcka och arbetstid, vilket i sin tur påverkar centrala kostnadsposter såsom personal och bränsle.

För att kvantifiera konsekvenserna av att inte implementera ett sådant system används begreppet Cost-of-doing-nothing, vilket beskriver den kostnadsnivå som kvarstår i frånvaro av optimering, och därmed den besparingspotential som inte realiserar. Samtidigt kan den potentiella nyttan av optimeringen beskrivas som Price-to-be-won, vilket avser det ekonomiska värde som kan realiserar genom effektiviseringar. I denna studie används dessa två begrepp för att analysera och kvantifiera den ekonomiska potentialen av optimering inom avfallshantering, med fokus på ruttoptimering och fyllnadsgrad.

2.7 Sammanfattning av bakgrund och begrepp

Bakgrundskapitlet har etablerat de centrala begrepp och den kontext som krävs för att förstå arbets syfte och resultat. Digitala tvillingar definieras som virtuella representationer av fysiska system med kontinuerligt datautbyte, och tekniken har sina rötter i NASA:s Apollo-program. Vidare har de logistiska utmaningarna inom avfallshantering beskrivits, där faktorer som ruttplanering, trafik och väderförhållanden bidrar till ineffektivitet och ökade kostnader.

Befintliga system såsom företagen Enevo och Bigbelly samt Virtuella Göteborg visar på teknikens potential, men få lösningar uppnår idag en fullvärdig digital tvilling med realtidsdata från flera aktörer. Vidare präglas avfallshanteringens av höga operativa kostnader, där insamling och transport utgör en betydande del av kostnadsbilden. Samtidigt baseras insamlingen i stor utsträckning på statiska ruttor och fasta tömningsintervall, vilket leder till en ineffektiv resursanvändning. För att analysera den ekonomiska potentialen av att optimera verksamheten introduceras begreppen Cost-of-doing-nothing och Price-to-be-won, vilka beskriver den kostnadsnivå som kvarstår i nuläget samt det värde som realiserar genom optimering.

Slutligen har de centrala aktörerna i sophämtningsekosystemet identifierats: Volvo Group, Renova, Göteborgs Stad, Trafikverket samt SMHI. Sammantaget visar bakgrunden att en digital tvilling har potential att adressera flera av de identifierade logistiska utmaningarna, men att realisering kräver samordning kring data och aktörssamverkan. Detta projekt syftar till att undersöka hur en sådan samordning kan utformas konceptuellt.

3 Metod

I detta kapitel beskrivs studiens forskningsansats, datainsamlingsmetoder och analysverktyg. Även urvalskriterier, intervjuteknik, eventuella etiska överväganden samt metodens begränsningar diskuteras för att säkerställa transparens och stärka reproducerbarhet.

3.1 Forskningsansats

Studien genomfördes som en utforskande studie av affärs- och IT-system med ett iterativt arbetssätt grundat i design science (Gregory & Muntermann, 2014). Design science är en forskningsansats som syftar till att lösa konkreta problem genom att ta fram en välgrundad lösning, i detta fall ett förslag på systemdesign. Det iterativa arbetssättet innebar en löpande växling mellan kvalitativa undersökningsmetoder och tekniska modelleringsverktyg, där nya insikter kontinuerligt återfördes till tidigare steg i processen. Målet var inte teknisk utveckling, utan att skapa ett väl underbyggt förslag på systemdesign, dataintegration och ett affärsfall.

3.2 Datainsamling

Data samlades in från flera olika källor för att få en helhetsbild och för att säkerställa trovärdigheten. Primärdata genererades huvudsakligen genom kvalitativa forskningsintervjuer och möten med nyckelpersoner från de inblandade aktörerna. Intervjuerna genomfördes med ett kvalitativt tillvägagångssätt som fokuserade på att förstå deltagarnas erfarenheter och perspektiv i deras arbetskontext, se kapitel 3.5. Sekundärdata samlades in genom litteraturstudie av befintliga rapporter, processbeskrivningar och systemdokumentation. Kompletterande datainsamling skedde i dialog med systemägare och tekniska experter för att förstå datakällor, flöden och datakvalitet.

3.3 Urvalskriterier

Studien tillämpade primärt ett målstyrt urval. Enligt Bryman (2018) innebär detta att urvalet görs strategiskt, där forskaren väljer ut respondenter utifrån deras relevans för studiens syfte. Urvalsprocessen genomfördes därefter sekventiellt, vilket enligt Bryman (2018) innebär att ett initialt urval gradvis utökades med nya informanter allt eftersom det stod klart att de kunde bidra till att besvara forskningsfrågorna. Initialt användes de organisationer och aktörer som bildar avfallshanteringsnätverk i Göteborg. För att skapa en bredd i urvalet intervjuades personer med olika roller inom varje organisation. Målet var att identifiera olika behov som olika intressenter har.

3.4 Intervjupersoner

Intervjuerna genomfördes med representanter från Volvo, Renova samt Göteborgs Stad för att få en bred förståelse för både strategiska, tekniska och operativa perspektiv inom sophanteringens ekosystem. Nedan följer en sammanställning av intervjupersonerna.

Tabell 4: Intervjupersoner från Volvo

Roll	Syfte med intervjun
1. Affärs- och partnerstrateg	Fördjupa förståelsen för Volvos nuvarande arbetssätt kring samarbeten med påbyggare och kunder samt hur digitala tjänster kan utvecklas i anslutning till dessa.
2. Produktägare Volvo Connect	Undersöka hur fordonsdata från Volvo Connect kan integreras i en digital tvilling samt vilka tekniska möjligheter och begränsningar som finns kopplade till plattformens API:er och datatillgång.

Tabell 5: Intervjupersoner från Renova

Roll	Syfte med intervjun
1. Projektledare digitalisering	Identifiera brister i nuvarande ruttplaneringsprocesser samt undersöka hur realtidsdata skulle kunna bidra till effektivisering genom en digital tvilling.
2. Trafikledare	Skapa förståelse för hur rutter planeras i praktiken samt vilka parametrar och begränsningar som påverkar planeringsarbetet.
3. Gruppchef trafikledning	Få ett ledningsperspektiv på operativa utmaningar och informationsflöden.
4. Tre chaufförer	Identifiera operativa utmaningar i det dagliga arbetet samt få insikt i hur informationsflöden och planeringsbeslut påverkar verksamheten i praktiken.

Tabell 6: Intervjupersoner från Göteborgs Stad

Roll	Syfte med intervjun
1. Strateg avfallsrelaterade frågor	Klargöra kommunens roll inom sophanteringssystemet samt dess ansvar i relation till planering, styrning och samverkan mellan olika aktörer.

3.5 Intervjuteknik och genomförande

Genomförandet av intervjuerna skedde i form av semistrukturerade intervjuer, vilket Bryman (2018) definierar som en flexibel process där samtalet utgår från ett antal fastställda teman. Dessa teman låg till grund för utformningen av en intervjuguide som säkerställde att alla relevanta områden berördes, utan att frågornas ordningsföljd behövde vara förutbestämd. Detta möjliggjorde ett naturligt samtalsflöde där respondenten gavs utrymme att fritt utforma sina svar. Frågor som inte fastställts i förväg kan också ställas då de anknyter till det respondenten sagt tidigare (Bryman, 2018). Detta skapade möjligheten att ställa följdfrågor och ta upp nya frågor som uppkom under intervjun.

Intervjuguiden utformades med öppna frågor för att undvika att styra respondenten till förutbestämda svar och för att möjliggöra att respondenten formulerade sig med egna ord. Enligt Bryman (2018) lämnar öppna frågor möjlighet för respondenten att kunna tolka frågan, betona det som önskas och ge oförutsedda svar. Öppna frågor är särskilt fördelaktiga tidigt i arbetet då nya områden utforskas (Bryman, 2018).

3.6 GDPR

Vid genomförandet av intervjuerna beaktades dataskyddsregler enligt Dataskyddsförordningen (GDPR). Intervjupersonerna informerades om studiens syfte samt hur insamlad data skulle användas, lagras och hanteras. Deltagandet var frivilligt och respondenterna gav sitt samtycke innan intervjuerna genomfördes, i enlighet med etablerade forskningsetiska principer (Bryman, 2018). Deras personuppgifter behandlades konfidentiellt och anonymiserades, varvid all identifierbar information avlägsnades för att förhindra koppling till enskilda individer. Enligt dataskyddsförordningen ska personuppgifter behandlas lagligt, korrekt och på ett transparent sätt, samt begränsas till vad som är nödvändigt för ändamålet (European Parliament and Council, 2016).

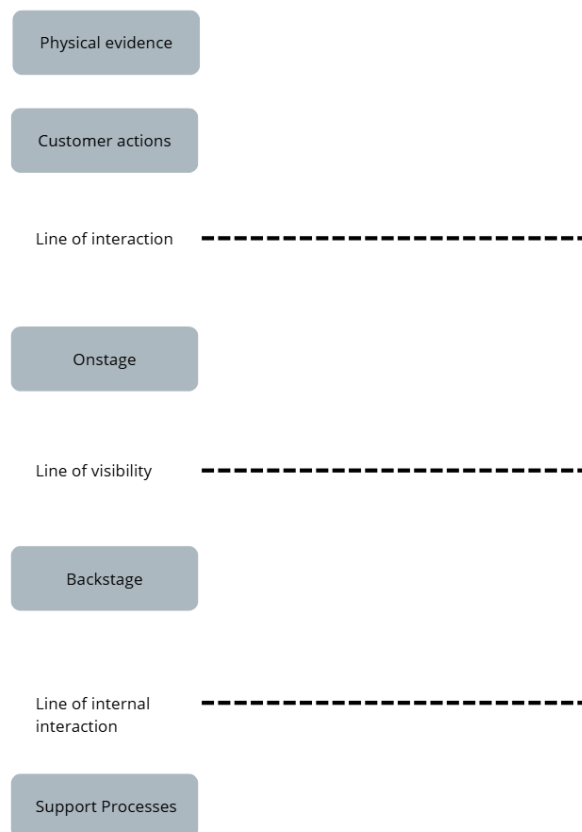
Inspelat material och anteckningar lagrades i enlighet med relevanta principer i Dataskyddsförordningen och användes enbart för forskningsändamål inom ramen för studien. Data sparades fram

till arbetets slut och åtkomsten begränsades till arbetets deltagare, i enlighet med principer om lagringsminimering och integritetsskydd (European Parliament and Council, 2016). Respondenterna gav sitt samtycke innan intervjuerna genomfördes och informerades tydligt om sina rättigheter, inklusive möjligheten att när som helst avbryta sitt deltagande. Anonymiseringen av data genomfördes genom att alla identifierbara uppgifter, såsom namn och ålder, ersattes med endast roll och organisationstillhörighet. Efter att studien avslutats raderades allt identifierbart material i enlighet med dataskyddsförordningen.

3.7 Service blueprinting

För att kartlägga tjänstprocessen med en digital tvilling i avfallshantering har metoden Service Blueprinting använts. Enligt Bitner m. fl. (2008) är metoden en kundfokuserad teknik för att skapa och förbättra tjänster. Den används för att visualisera användarprocesser och koppla detta till bakomliggande processer och stödfunktioner som krävs för tjänstens genomförande.

En traditionell service blueprint består enligt Bitner m. fl. (2008) av fem grundläggande delar, som separeras av tre interaktionslinjer, se [Figur 1](#). Överst placeras physical evidence, vilket avser de artefakter som användaren möter i respektive steg av processen. Därefter följer customer actions, vilket innefattar de steg och val användaren gör under processen. Den tredje delen är onstage vilket separeras från de tidigare delarna genom line of interaction. Denna del representerar den del av tjänsten som användaren interagerar direkt med. Onstage skiljs från backstage genom line of visibility. Backstage omfattar de aktiviteter som sker utom synhåll för användaren, men som är nödvändiga för att stödja användarens interaktion med tjänsten. Längst ned placeras support processes, vilka separeras från backstage genom line of internal interaction. Dessa innefattar aktiviteter som utförs av aktörer eller system utan direkt användarkontakt, men som krävs för att tjänsten ska kunna levereras.



Figur 1: Översiktlig struktur för service blueprinting, baserad på Bitner m.fl. (2008).

Bitner m. fl. (2008) poängterar att en av styrkorna i service blueprinting är dess flexibilitet och anpassningsbarhet. Författarna lyfter särskilt att onstage kan behöva modifieras vid blueprinting av internetbaserade tjänster för att bättre spegla digitala gränssnitt. Traditionellt består onstage av de aktiviteter som utförs av synlig personal i direkt kontakt med kunden. Då ett digitalt gränssnitt saknar mänsklig frontpersonal har onstage ersatts med begreppet frontstage i detta arbete. Physical evidence i blueprinten består främst av de gränssnitt där chauffören tar del av ruttinformation, avvikelser och uppdateringar. Dessa behandlas därför som en del av tjänstens frontstage snarare än som ett separat huvudsakligt analysområde. I detta arbete används service blueprinting för att visualisera hur den digitala tvillingen kan användas i det operativa arbetet. Metoden användes för att identifiera vilka steg i processen som är synliga för chauffören, vilka aktiviteter som sker i systemets bakomliggande nivåer och vilka stödprocesser som krävs för att tjänsten ska fungera.

3.8 Simuleringsmodell

För att visa hur en verklig modell av systemet skulle kunna se ut samt för att möjliggöra jämförelser mellan teorier och hur systemen fungerar i praktiken, har det varit viktigt att ta fram en simuleringsmodell. Denna modell gör det möjligt att underbygga resonemang genom simuleringar och illustrationer som visar på systemets effekter i en kontrollerad miljö.

3.8.1 Framtagning och verktyg

Eftersom simuleringsmodeller ofta är omfattande och tekniskt komplexa samt kräver avancerade kunskaper inom programmering har utvecklingen av modellen genomförts med stöd av artificiell intelligens (AI). Användningen av AI har möjliggjort utveckling av mer avancerade och realistiska simuleringar än vad som annars hade varit möjligt inom arbetets ramar. Det AI-verktyg som använts inom arbetet är Claude AI av företaget Anthropic. Claude är en familj av stora språkmodeller utvecklad av Anthropic, primärt utformad för konversation och textbearbetning, med ett särskilt fokus på AI-säkerhet och tillförlitlighet (Bergmann, 2026). Verktöget har använts för prototyputvecklingen av den simuleringsmodell som används i detta projekt.

Tidigare forskning visar att AI-baserade verktyg kan fungera som ett effektivt stöd i komplexa utvecklingsprocesser. Detta gäller särskilt inom programmering och modellering, där de kan bidra till ökad produktivitet, förbättrad kodkvalitet och snabbare prototyputveckling (Deniz m. fl., 2023). Detta stärker motiveringen för att använda AI som ett komplement i denna typ av projekt. Framtagandet av modeller och prototyper hade varit svårt att genomföra utan dessa hjälpmedel.

3.8.2 Uppbyggnad

Idén med att bygga simuleringsmodellen var att skapa något där det var möjligt att visa på skillnaderna mellan traditionell sophämtning och mer dynamisk sådan styrd av fyllnadsgrad i sopkärl. Därför var det viktigt att börja med att få ut flera punkter på en karta över Göteborg som skulle symbolisera sopkärlen samt att skapa ett program som baserat på vilka kärl som behövde tömmas, kunde beräkna en optimerad rutt att åka för att tömma dessa kärl. För att kunna generera kärlna på en karta över Göteborg användes en karta från OpenStreetMap (u. å). Totalt placerades 150 sopkärl ut som koordinatpunkter på denna karta med fokus på centrala Hisingen i Göteborg. Kärlen grupperades i geografiska kluster för att efterlikna hur sopkärl finns placerade i verkliga bostadsområden enligt Renova (Renova 1, personlig kommunikation, 19 februari 2026). Denna struktur är viktig då den påverkar ruttoptimeringens effektivitet och möjliggör en mer realistisk simuleringsmodell jämfört med slumpmässigt utsatta punkter eller punkter jämnt fördelade över ett visst område. För att se kärlnas positioner se [Bilaga D](#) i appendix.

Kärlden skulle dagligen öka en viss procent i fyllnad baserat på att kärlden skulle vara fulla inom ett intervall av en till tre veckor. Variationen i fyllnadstakt hos respektive kärl används för att få en verklighetstrogen spridning i hur fyllnadstakten förändras över tid. Fyllnadsgraden uppdaterades dagligen i simuleringen med 100% som max fyllnadsgrad. Baserat på den aktuella fyllnadsgraden beräknades en optimerad hämtningsrutt för de kärl som identifierats som redo för tömning. Ruttoptimeringen formuleras som ett vägproblem och löses med en nearest neighbour-algoritm där sopbilen vid varje steg förflyttar sig till det närmaste ännu ej tömda kärlet tills samtliga aktuella kärl besökts, varefter fordonet återvänder till startpunkten. Efter tömning återställdes de berörda kärrens fyllnadsgrad till 0%.

Sophämtningssystemet styrdes av två centrala parametrar. Den första, fyllnadströskel, definierar vid vilken fyllnadsgrad ett enskilt kärl betraktas som redo för tömning. Den andra, andel fulla kärl, definierar vid vilken andel av det totala antalet kärl som överstiger tröskelvärdet som en hämtningsrutt initieras. Dessa parametrar används för att ge systemet flexibilitet och deras inverkan på modellens utfall undersöktes genom att variera parametrarna och observera effekten på tre huvudsakliga punkter: total körsträcka, antal genomförda hämtningar samt antal tillfällen då kärl nått full kapacitet. Målet var att identifiera en konfiguration där dessa tre mått balanseras på ett fördelaktigt sätt.

För referens mot det dynamiska sophämtningssystemet användes en mer traditionell sophämtningsprocess där samtliga 150 kärl töms med ett fast intervall om 14 dagar. Anledningen till detta är att det är ett vanligt förekommande intervall i dagens process (Göteborgs Stad, [u. å-b](#)). Simuleringen utfördes över en tidsperiod på 100 dagar, vilket bedömdes tillräckligt för att ge ett stabilt jämförelseunderlag med flera hämtningscykler för båda systemen. En slutgiltig bild över simuleringsprogrammets användargränssnitt kan observeras i [Bilaga E](#) i appendix.

3.9 Analyismetoder

3.9.1 Ekonomisk analysmetod

För att uppskatta Cost-of-doing-nothing genomfördes en kvantitativ analys baserad på sekundärdata från årsredovisningar, litteraturstudier och intervjuer. Då en faktisk implementering av en digital tvilling inte genomförts, baseras analysen på en scenarioansats där effekterna av optimering uppskattas utifrån tidigare gjorda studier. Beräkningarna baseras på ett antal förenklingar och generaliseringar, bland annat avseende effektiviseringsfaktorer och kostnadsuppdelning. Resultaten bör därför tolkas som indikativa snarare än exakta.

Data avseende kostnadsstrukturen hämtades från Renovas årsredovisning, medan kompletterande information kring verksamhetens upplägg och ineffektiviteter hämtades från intervjuer. Effektiviseringspotentialen baserades på tidigare studier inom ruttoptimering och behovsstyrd insamling. Analysen avgränsades till kostnadsposterna bränsle och personal, då dessa direkt påverkas av förändringar i körsträcka och arbetstid. Vidare fokuserades analysen på ruttoptimering och fyllnadsgrad, eftersom dessa identifierades som centrala parametrar för en eventuell första optimering av verksamheten.

Enligt Renova ([Renova 1, personlig kommunikation, 19 februari 2026](#)) utgör cirka 70% av personalstyrkan operativ personal, vilket är den del som direkt påverkas av optimeringen. Bränslekostnaden uppskattades genom en litteraturbaserad härledning där bränslets andel av transportkostnader multiplicerades med transportens andel av totala kostnader. För att säkerställa en konservativ uppskattning användes en lägre andel än den teoretiskt framräknade.

Effektiviseringspotentialen, baserad på litteratur, applicerades i tre scenarier: låg, medel och hög. För att undvika överskattning valdes genomgående konservativa procentsatser. Den totala kostnadsreduktionen för respektive post beräknades med en multiplikativ modell enligt ekvation 1, där f_1, f_2, \dots, f_n representerar effektiviseringsfaktorerna som togs fram och metoden säkerställer att överlappande effekter inte dubbelräknas.

$$\text{Ny kostnad} = \text{Gammal kostnad} \cdot (1 - f_1)(1 - f_2) \dots (1 - f_n) \quad (1)$$

Den resulterande kostnadsreduktionen tolkas som den ekonomiska konsekvensen av att inte implementera optimeringsåtgärder, det vill säga Cost-of-doing-nothing. För att sätta resultaten i ett ekonomiskt sammanhang jämfördes den beräknade kostnadsreduktionen med en uppskattad investeringskostnad för sensorer.

3.9.2 Analys av affärsfall

I syfte att analysera hur en digital tvilling kan skapa affärsmöjligheter inom sophantering har metoden Business model canvas använts. Business Model Canvas är ett ramverk för att beskriva en affärsmodell genom nio byggstenar. Ramverket inkluderar vilka nyckelresurser, partners och aktiviteter som krävs för att utveckla och leverera lösningen, samt vilket värde som skapas för kunder

och användare. Vidare används modellen för att visa på kundrelationer, kanaler för leverans, möjliga kundsegment samt hur intäkts- och kostnadsstrukturerna ser ut.

3.9.3 Analys av dataflöden

För att analysera dataflöden användes enklare dataflödesscheman. Det är en metod för att visualisera informationsflöden inom system och används för att visa hur data rör sig mellan olika aktörer (Tao & Kung, 1991). En typ av dataflödesschema som används specifikt för API:er är API-skiss som visar vilken information som skickas mellan systemen och hur API:er är sammankopplade och skickar information.

4 Resultat

Kapitlet redovisar studiens empiriska och analytiska resultat. Resultaten presenteras deskriptivt, och vid behov med stöd av figurer, tabeller och citat. Syftet är att utgöra ett underlag för den efterföljande analysen.

4.1 Information från intervjuer

Nedan följer en sammanställning av de viktigaste insikterna från de genomförda intervjuerna, kopplade till arbetets forskningsfrågor om databehov, värdeskapande och utmaningar.

Tabell 7: Volvo: Affärs- och partnerstrateg
(Volvo 1, personlig kommunikation, 13 februari 2026)

Tema	Insikt
Data	Volvo efterfrågar bearbetad information om fordonstillgänglighet och produktivitet. Idag delas ingen data mellan Volvo och andra aktörer, vilket innebär att viss relevant underhållsdata är otillgänglig.
Värdeskapande	Volvo ser digitala tvillingar som framtiden och datadelning som en nödvändighet för effektivisering. Mätetal som tillgänglighet, kostnadseffektivitet och antal verkstadsbesök används för att följa upp fordonens drift.
Utmaningar	Ett centralt hinder är att stora företag har tröga processer och att affärsmodeller för datadelning fortfarande är under utveckling.

Tabell 8: Volvo: Produktägare Volvo Connect
(Volvo 2, personlig kommunikation, 10 mars 2026)

Tema	Insikt
Data	Volvo Connect erbjuder positionsspårning, förartidsdata, bränsleförbrukning och geofences (virtuella zoner på karta som utlöser varningar vid passage). Plattformen saknar dock integration med väder- och trafikdata, vilket är nödvändigt för dynamisk ruttoptimering.
Värdeskapande	Plattformens unika styrka är mängden fordonsdata och god API-åtkomst. En digital tvilling skulle kunna möjliggöra integration av data och skapa nya affärsmöjligheter.
Utmaningar	Ingen inbyggd integration med externa datakällor som Trafikverket och SMHI.

Tabell 9: Renova: Projektledare digitalisering
(Renova 1, personlig kommunikation, 19 februari 2026)

Tema	Insikt
Data	Renova arbetar i allra högsta grad med statisk ruttplanering vid tömning av sopkärl. Rutterna körs baserat på erfarenhetsbaserade genomsnittsvärden. Vagnarbeten som Västlänken påverkar verksamheten men finns inte inbyggt i systemet. Historisk data om avfallsvikt per kärl finns men används inte.
Värdeskapande	Realtidsdata och en digital tvilling skulle möjliggöra dynamisk ruttotimering, minskad körsträcka och lägre utsläpp.
Utmaningar	Manuell hantering av avvikelser (exempelvis när en lastbil blir full i förtid) samt utmaningar kopplade till att förändra ett redan etablerat arbetssätt.

Tabell 10: Renova: Trafikledare
(Renova 2, personlig kommunikation, 5 mars 2026)

Tema	Insikt
Data	Trafikledaren arbetar med långsiktig planering av fasta rutter med ett optimeringsprogram som använder erfarenhetsbaserade parametrar (väghastigheter, bemanning, kärlstorlek, dörrar, lås). Medelvikten per kärl efterfrågas som en önskad parameter. Historisk data från fordonen finns men används inte i planeringssystemet.
Värdeskapande	En digital tvilling skulle möjliggöra dynamisk styrning baserad på realtidsdata, vilket skulle ersätta dagens fasta rutter.
Utmaningar	Trafikledningen använder ett föråldrat textbaserat system utan kartstöd, vilket leder till suboptimala beslut.

Tabell 11: Renova: Gruppchef trafikledning
(Renova 3, personlig kommunikation, 5 mars 2026)

Tema	Insikt
Data	Kommunikationen mellan trafikledning och förare sker främst via telefon. Standardiserade avvikelser rapporteras via integrerat system i fordonet. Chaufförer får adresslistor (endast gata och nummer, ingen karta).
Värdeskapande	Automatiserad kommunikation och realtidsdata skulle minska manuellt handpålägg och förbättra resursutnyttjandet.
Utmaningar	Föråldrat system som saknar stöd för automatisering och förbättring. Tillgång till låsta utrymmen utan digitala nycklar kan vara problematiskt eftersom nycklar är specifika till fordonet och dess tömningsområde. Digitala nycklar är fortsatt under införande. En typisk sopbil för rest- och matavfall tömmer cirka 200-300 kärl per dag.

Tabell 12: Renova: Tre chaufförer
(Renova 4, personlig kommunikation, 5 mars 2026)

Tema	Insikt
Data	Chaufförer får körlistor med adresser samt information om typ av kärl. Vid behov används kartapplikation på personlig mobiltelefon för specifik navigering. Avvikelser rapporteras via integrerat system.
Värdeskapande	Bättre navigationsstöd och realtidsdata om trafik och väder skulle minska stress och optimera körvägar.
Utmaningar	Vanligaste problemen är trafik, krångliga system och klagande kunder. Vintertid är snö och halka extra problematiskt. Den dagliga körsträckan är typiskt 2-2,5 mil. En tömningsrutt är planerad att genomföras på 6 timmar varav största delen av arbetet sker utanför lastbilen med tömningsarbete.
Praktiska insikter	Arbetet är i hög grad erfarenhetsbaserat, där chaufförernas lokalkännedom och individuella arbetssätt spelar en central roll i hur rutterna genomförs. Många chaufförer uppskattar att lägga upp sitt arbete på det sätt som de finner passande baserat på erfarenhet och tycker inte om att känna sig övervakade eller kontrollerade. Planeringssystemen upplevs som föråldrade och rutterna genereras inte automatiskt utan baseras på listor över adresser. En stor del av arbetet sker utanför fordonet, vilket innebär att faktorer som tillgänglighet till soprum och hinder i den fysiska miljön, exempelvis snövallar, påverkar arbetets effektivitet. Under körning är det framförallt trafikförhållanden, exempelvis köer och avstängningar, som påverkar framkomligheten och därmed arbetets effektivitet. Chaufförerna uppskattar arbetskulturen och kollegorna.

Tabell 13: Göteborgs Stad: Strateg avfallsrelaterade frågor
(Göteborgs Stad 1, personlig kommunikation, 26 februari 2026)

Tema	Insikt
Data	Göteborgs Stad har data om sopkärlsplacering, tömningszoner, tillstånd och miljöklasser. Staden får månadsvis rapporter från Renova om fordonsdata och avvikelser. Avvikelse rapporterna innehåller information om typ av avvikelse och antalet rapporterade avvikelser. Dock saknas direkt integration mellan stadens system och Renovas planeringssystem för vägarbeten och trafikstörningar. Många avstängningar och omdirigeringar av trafiken upptäcks först på plats. Staden efterfrågar direkta digitala signaler via en digital tvilling för att bättre kunna planera och informera om vägarbeten.
Värdeskapande	Staden har i sina avtal med Renova målsättningen att insamlingsprocessen ska bli 10 procent mer effektiv samt att nå uppsatta CO ₂ -mål. En digital tvilling skulle kunna bidra till att nå dessa mål genom bättre ruttoptimering och minskad körsträcka. Staden ser positivt på ny teknik och effektiviseringar. Om Volvo erbjuder tjänster som effektiviserar sophämtningen är detta intressant. Digitala nycklar har införts och förklarar arbetet avsevärt.
Utmaningar	Från början till slut tar upphandlingsprocessen cirka 1,5 år tills att avtalet börjar gälla, vilket kräver långsiktig planering. Från 2027 ska staden ta fullt ansvar för insamling av förpackningar, vilket innebär att 150 000 sopkärl ska bytas ut. Samtidigt byggs Göteborg allt tätare, vilket ger mindre utrymme för stora sopbilar att manövrera på. En potentiell framtida lösning anses vara fler mindre avlastningsstationer för att möjliggöra fysiskt mindre fordon.

Sammanfattning av intervjuer

Intervjuerna visar att samtliga aktörer ser potential i en digital tvilling för att effektivisera sophämtningen genom bättre datadelning, ruttplanering och beslutsstöd. Det framgår även att dagens data ofta är fragmenterad, outnyttjad eller inte integrerad i de system där planering och operativa beslut fattas. Aktörerna efterfrågar därför inte främst mer rådata, utan bearbetad och användbar information.

Skillnaderna mellan aktörerna ligger främst i vilket värde de ser. Volvo betonar affärsmöjligheter kopplade till fordonsdata och digitala tjänster, Renova fokuserar på operativ effektivisering och minskat manuellt arbete, medan Göteborgs Stad ser potential i bättre samordning, uppföljning och måluppfyllelse. Sammantaget visar intervjuerna att viljan finns, men att datadelning, incitament och förändrade arbetssätt är centrala utmaningar för att realisera en digital tvilling.

4.2 Nuläge

För att skapa en tydlig utgångspunkt för arbetet genomfördes en kartläggning av nuläget inom Göteborgs sophanteringsprocess, med särskilt fokus på hanteringen av restavfall där Renova utgör den centrala avfallsaktören. Kartläggningen i nulägesanalysen baserades på intervjuer med flera personer verksamma inom branschen, huvudsakligen representanter från Göteborgs Stad och Renova. Resultatet av den insamlade datan visar att sophanteringssystemet är omfattande och präglas av en komplex struktur med flera aktörer och faktorer som påverkar processens utformning. Nulägesanalysen visualiserades i [Bilaga A](#), där sophämtningsprocessens huvudsakliga aktörer och informationsflöden illustrerades. Figuren visar samspelet mellan kund, Göteborgs Stad och Renova, samt hur beställning, planering och genomförande av sophämtning sker.

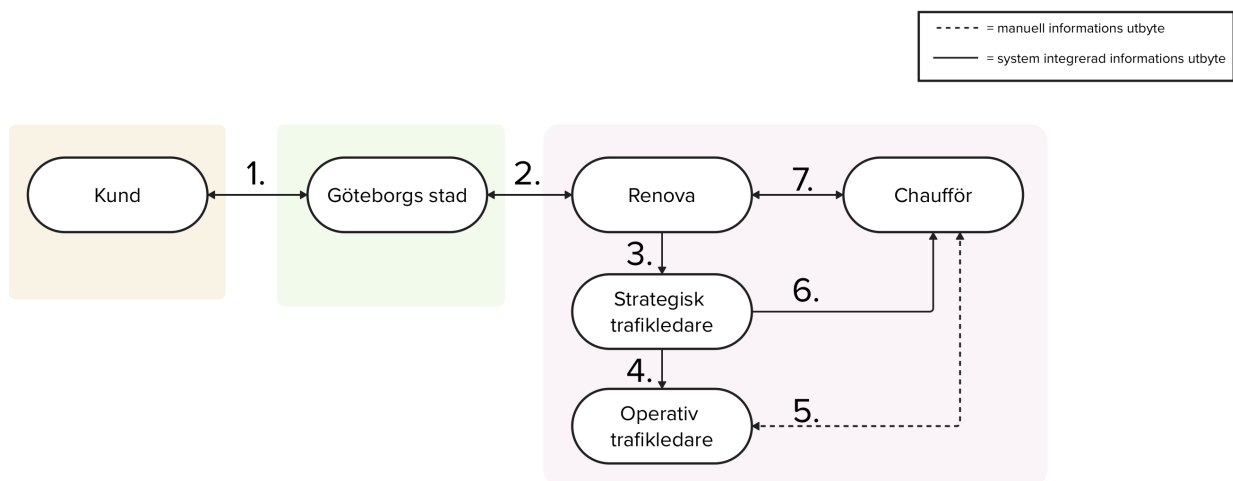
Processen inleds med att kunden beställer sophämtning via Göteborgs Stad, som därefter ansvarar för att tilldela uppdraget till Renova ([Göteborgs Stad 1, personlig kommunikation, 26 februari 2026](#)). Renova planerar och organiserar sedan hämtningen med hjälp av en så kallad strategisk trafikledare. Den strategiska trafikledarens uppgift är att arbeta med ett optimeringsprogram för att bestämma framtida rutter på två till tre års sikt. Beräkningarna baseras bland annat på uppskattad tid för att tömma kärl, vägnät samt hastighetsdata. Med hjälp av beräkningen optimeras den totala tiden för ruten. I dagsläget baseras rutterna på adresslistor snarare än dynamiskt optimerade rutter. De optimerade rutterna med adresser och beräknad total tid skickas sedan ut till chaufförerna samt en operativ trafikledare ([Renova 2, personlig kommunikation, 5 mars 2026](#)). Den operativa trafikledarens uppgift är att hantera avvikelser inom den dagliga operativa verksamheten. När chaufförer stöter på avvikelser eller hinder som gör att de inte kan följa sin rutt kontaktar de en operativ trafikledare för att få återkoppling och nya direktiv. Kommunikation mellan chaufförer och trafikledning sker via telefon ([Renova 3, personlig kommunikation, 5 mars 2026](#)).

När chauffören har tömt ett kärl skickas en automatisk rapportering in till Renovas integrerade system. Rapporteringen innehåller information om hämtningen och avfallets vikt. Även fordonsstatus skickas till Renova via Volvo Connect. Vid avvikelser skickar chauffören en manuell rapportering till Renova. Informationen som skickas till Renova lagras i deras datasystem och vidarebefordras

därefter till Göteborgs Stad. Göteborgs Stad ansvarar i sin tur för att informera kunden om relevant data från hämtningen samt tar betalt för tjänsten ((Renova 2, personlig kommunikation, 5 mars 2026); (Göteborgs Stad 1, personlig kommunikation, 26 februari 2026)).

4.3 Kartläggning av nuvarande dataflöden

Nulägets dataflöde är till stor del systemintegrerat men delvis manuellt, där automatiskt genererad fordondata skickas parallellt med erfarenhetsbaserad kommunikation mellan chaufför och operativ trafikledare. [Figur 2](#) illustrerar hur data flöden rör sig mellan de tre huvudaktörerna: Kund (beige zon), Göteborgs Stad (grön zon) och Renova (lila zon).

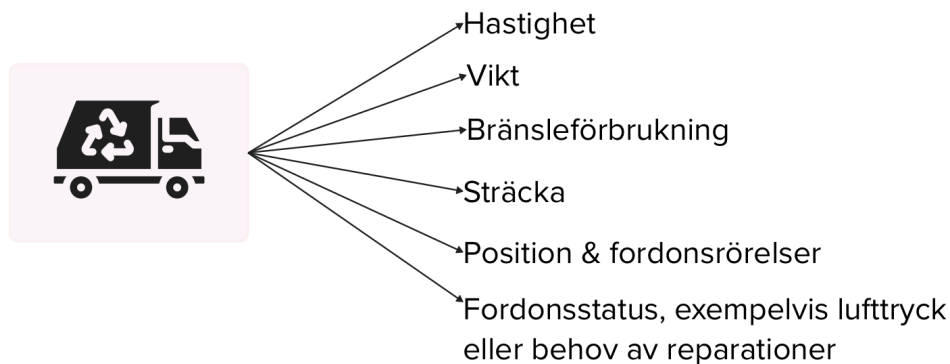


Figur 2: Dataflöde i nuläget

För att tydliggöra hur information utbyts mellan aktörerna beskrivs [Figur 2](#) i [Tabell 14](#). Varje steg i figuren representerar ett informationsutbyte mellan olika aktörer i sophämtningsprocessen, och dessa beskrivs i kronologisk ordning utifrån i figuren.

Tabell 14: Sammanställning av nuvarande dataflöden

Dataflöde	Beskrivning
Kund → Göteborgs Stad	Processen initieras när kunden beställer sophämtning via Göteborgs Stad. Informationen som registreras inkluderar adress, typ av avfall samt eventuella instruktioner och utgör grunden för den fortsatta hanteringen.
Göteborgs Stad → Renova	Informationen överförs digitalt till Renova och omfattar kunduppgifter, adressdata och schemalagd hämtning. Dessa data ligger till grund för Renovas planering av sophämtningen.
Renova → Strategisk trafikledare	Uppdragsinformationen vidarebefordras internt till strategisk trafikledare som planerar rutter med hjälp av optimeringsverktyg baserade på historisk data såsom tömningstider, vägsträckor och hastigheter.
Strategisk trafikledare → Operativ trafikledare	De planerade rutterna och adresslistorna kommuniceras vidare och används som underlag för daglig operativ planering.
Chaufför → Operativ trafikledare	Vid avvikelser sker kommunikation manuellt via telefon. Informationen används för att hantera problem i realtid, exempelvis trafikstörningar eller blockerade kärl.
Strategisk trafikledare → Chaufför	Chauffören får tillgång till planerad rutt, adresslistor och tidsuppskattningar som vägledning inför arbetsdagen.
Chaufför → Renova	Under utfört arbete skickas automatiskt fordonsdata såsom tömningsstatus, avfallsvikt och fordonsstatus till Renovas system. Manuella rapporter kompletterar vid behov. Informationen lagras i Renovas system och vidarebefordras därefter till Göteborgs Stad, som ansvarar för uppföljning samt kommunikation med kunden.



Figur 3: Lastbilsdata

Fordonen registrerar data, se [Figur 3](#), som blir tillgänglig via systemet Volvo Connect för Renova. Trots att stora mängder fordonsdata samlas in används informationen i dagsläget i begränsad omfattning i den operativa planeringen av sophämtningen. Data som exempelvis avfallsvikt, körsträcka och bränsleförbrukning skulle potentiellt kunna användas för analyser av ruttens effektivitet eller som underlag för framtida optimering.

4.4 Idealt scenario

Utifrån det kartlagda nuläget och de möjligheter som har identifierats har ett idealt scenario byggts upp. Detta scenariot, som utgör arbetets konceptuella lösning, illustrerar hur sophämtningsprocessen kan underlättas av en digital tvilling. Syftet med den framtagna modellen är att visa hur det operativa arbetet kan gå till att vara förutseende och dynamiskt.

Denna konceptuella målbild visualiseras genom ett flödesschema, se [Bilaga B](#). Till skillnad från nuläget utgår detta scenario från en digital tvilling som fungerar som en central enhet för insamling, bearbetning och distribution av data i realtid. Den digitala tvillingen utgör därav kärnan i systemet för att möjliggöra ett effektivare arbetssätt.

Den digitala tvillingen aggregerar data från flera olika källor. Den första kategorin utgörs av externa datakällor såsom väderprognoser, trafikinformation och vägförhållanden. Vägförhållanden inkluderar vägarbeten, avstängningar och hastighetsbegränsningar. Därutöver används information som geodata för att skapa en mer reell och heltäckande lägesbild. Slutligen läggs även information in om lokala händelser och evenemang för att den digitala tvillingen bättre ska kunna spegla verkligheten. I Göteborg är denna information tillgänglig i kommunens API:er samt hos SMHI för väderprognos.

Den andra kategorin består av data som har genererats av lastbilen. Denna data innefattar information om lastbilens GPS-position, hur långt fordonet kört, fordonets hastighet och tiden fordonet är stillastående. Kategorin innefattar även information om fordonets status som dess bränslenivå, motortemperatur, däcktryck med mera. Vidare samlas även information om fyllnadsgraden av lastbilen. Insamlingen av denna typ av fordonsdata sker redan idag genom digitala plattformar såsom Volvo Connect.

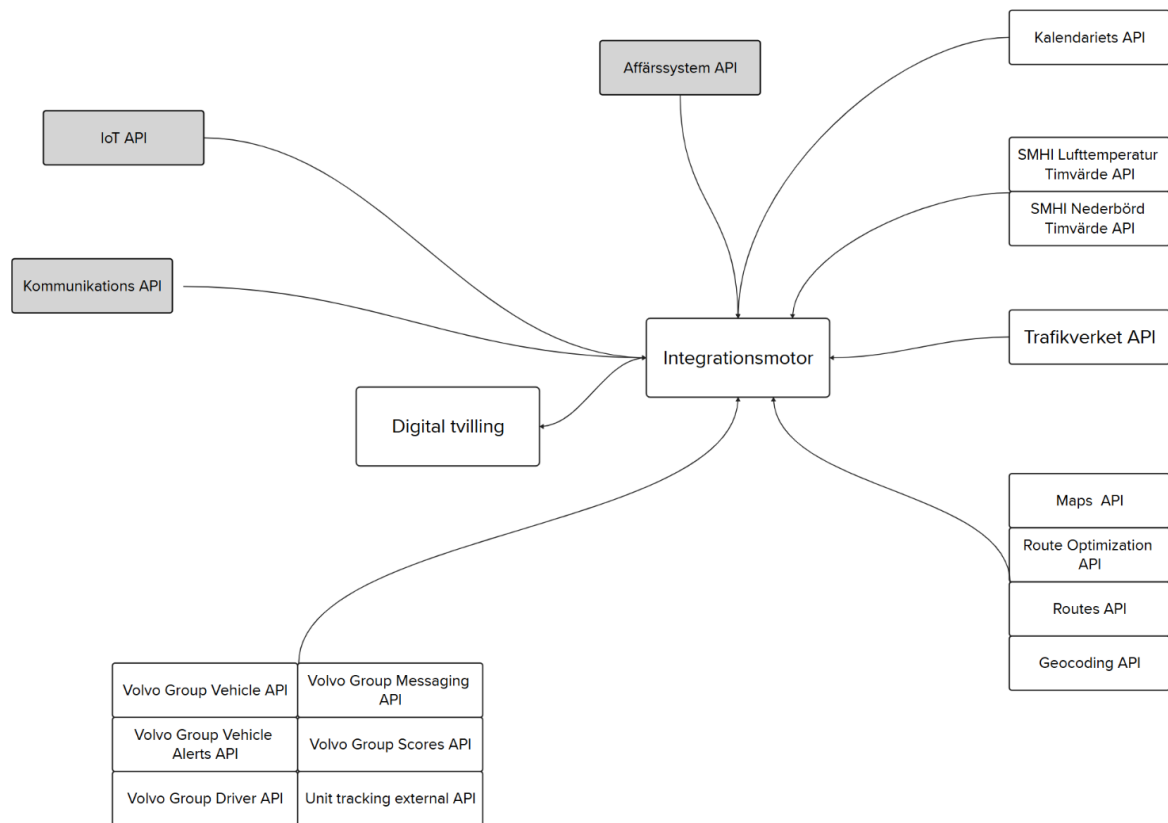
Den tredje kategorin är data från chauffören som rapporteras under arbetsdagen. Denna data inkluderar främst avvikelser som uppstår under dagen. Dessa avvikelser inkluderar väghinder som felparkerade fordon, snö eller is och dåliga vägar vilket kan förhindra upphämtningen av sopkärl. Chauffören rapporterar även information från hanteringen av sopkärl såsom trasiga kärl eller då de inte kommer in genom en grind eller miljörum. Även felplacerade sopkärl rapporteras av chauffören. Slutligen blir även problem med utrustningen eller fordon rapporterat av chaufförerna.

Den fjärde och sista kategorin utgörs av data om fyllnadsgraden i sopkärlen. Detta kan ske på två sätt: antingen genom att statistiskt beräkna hur fullt kärlet bör vara eller genom att ha placerat sensorer i kärlet som kan läsa av kärlets fyllnadsgrad. Den vanligaste avvikelserna som uppstod i det operativa arbetet var att kärl som skulle tömmas var tomma. Av totalt 306660 avvikelser som rapporterades under 2024 utgjorde 57,1% av dem tömning av tomma kärl ([Göteborgs Stad 1, personlig kommunikation, 26 februari 2026](#)). Genom att den digitala tvillingen har tillgång till fyllnadsgraden av sopkärlen kan denna typ av avvikelse undvikas. Detta hade i sin tur lett till effektiviserat arbetet genom att spara tiden som krävs för att tömma de tomma kärlet.

Genom att sammanställa all denna data ska den digitala tvillingen kunna generera en optimerad ruttplanering som kommunicerar direkt till chauffören genom fordonssystemet. Systemet möjliggör samtidigt kontinuerlig återkoppling av avvikelser och uppdateringar som förändrar arbetsdagens förutsättningar. Till skillnad från nuläget reaktiva och manuella optimeringar sker optimeringen i detta scenario kontinuerligt genom att programvaran ständigt uppdaterar data.

4.5 API:er för en digital tvilling

För att realisera den digitala tvillingen krävs att man hämtar data från flera källor. Eftersom olika mjukvarusystemen kommunicerar på olika sätt så används API:er som gränssnitt däremellan. Den konceptuella modellen av den digitala tvillingen och dess API:er har kartlagts i [Figur 4](#).



Figur 4: Konceptuell skiss över API-integrationer mellan aktörer i den digitala tvillingen.

Centralt i [Figur 4](#) är integrationsmotorn, dess primära funktion är att agera tolk och översätta data från API:erna så att alla pratar samma “språk”. Integrationsmotorn hanterar även datahämtningen vilket den matar in i den digitala tvillingen då relevant information uppdateras. Genom att avlasta den digitala tvillingen med dessa funktioner så sparar processorkraften vilket gör att tvillingen istället kan fokusera på ruttoptimeringen.

Till höger i [Figur 4](#) visas kalendariets API vilket hämtar data från Göteborgs Stad evenemangskalendarer. Genom att integrera detta kan den digitala tvillingen förutspå var stora folkmassor samlas och med det undvika platser med begränsad framkomlighet. Under kalendariets API finns två API:er från SMHI. Den ena är kopplad till lufttemperatur och den andra är kopplad till nederbörd. Genom att kombinera dessa kan den digitala tvillingen förutspå halka vid plötsliga temperaturfall eller oframkomlighet vid kraftigt snöfall. Detta möjliggör anpassningar av rutten för att förhindra onödiga körningar till platser där tömning inte är möjligt.

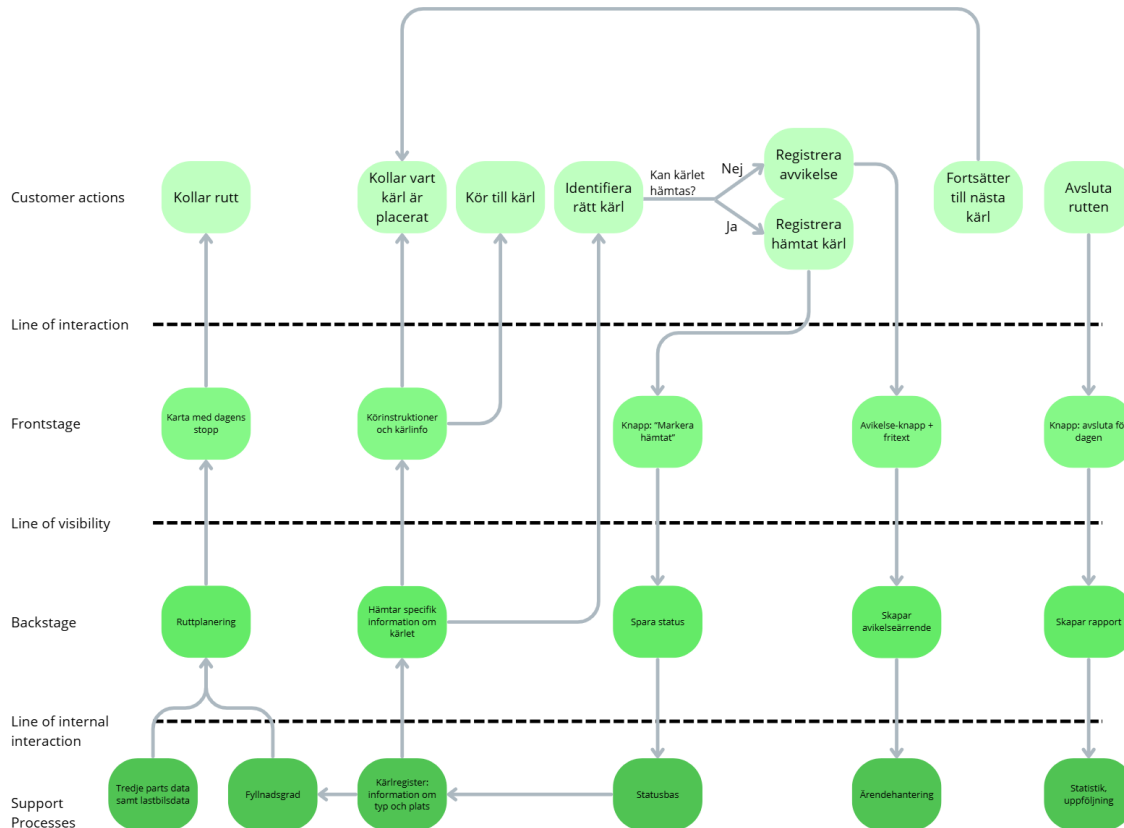
Volvo använder idag Google:s kartsystem ([Volvo 2, personlig kommunikation, 10 mars 2026](#)). För att den digitala tvillingen skulle nyttja sig av deras system behövs det fyra API:erna som visas nere i högra hörnet. Maps API är den API som målar upp kartan och det som är på kartan. Route optimization API är den som optimerar rutterna. Den kan göra det för flera punkter. Den kan ta tidspreferenser, viktbegränsning och fordonets typ i beaktande. Den inkluderar både prediktiv trafikdata men också realtidstrafik. Routes API är den API som målar upp själva linjen på kartan. Den beräknar även om vägen om hinder uppkommer längre fram. Slutligen så är Geocoding API vilket gör om adresser till koordinater. Denna är viktig då aktörer inom avfallshantering som Renova använder adresser för platser där kärl ska tömmas medan Googles system bygger på koordinater. För att dessa ska kunna användas tillsammans så krävs Geocoding API för att omvandla adress till koordinater och vice versa.

Längst ner i [Figur 4](#) visas sex API:er från Volvo Connect. Det är dessa API:er som möjliggör att information kan hämtas från lastbilarna som fordonsstatus, plats och bränslenivå men även information om förarens körstil. Förarens körstil innebär exempelvis hastighetsöverträdelser, kraftiga inbromsningar eller möjligheter till att köra på ett mer miljövänligt sätt. Volvo Group Score API kan därefter omsätta detta till en poängskala för snabbare överblick över chaufförernas körbeteenden och vart förbättringspotential finns.

Slutligen illustrerar de gråmarkerade lådorna i [Figur 4](#) att API:erna antingen inte existerar i dagsläget eller kommer förändras beroende på vilken sophämtningsaktör som använder tjänsten. Kommunikations API möjliggör kontakt mellan slutkund och digital tvilling. Detta gör att automatiserade notiser mellan slutkund och den digitala tvillingen kan ske. IoT API (Internet of things) är en nödvändig framtida komponent för att kunna hämta sensordata från sopkärl. IoT avser uppkopplade fysiska objekt, exempelvis sopkärl med sensorer, som kan samla in och överföra data automatiskt till digitala system. Slutligen finns även en API för affärssystemet som aktörer inom avfallshantering har. Beroende på vilken aktör så kommer denna att vara olika då olika aktörer använder olika affärssystem.

4.6 Service Blueprint

För att konkretisera hur den digitala tvillingen ska integreras i det operativa arbetet har en service blueprint upprättats. Denna visualisering bygger på det tidigare presenterade målscenariot och syftar till att beskriva tjänsteprocessen och hur en renhållare interagerar med systemet samt vilka bakomliggande processer som krävs för tjänstens utförande.



Figur 5: Bild på service blueprint, baserad på Bitner m.fl. (2008).

Resultatet visar en användares, i detta fall en chaufförs dag. Den är uppdelad i fyra horisontella lager som skiljer sig med tre linjer. Det översta lagret är customer actions, vilket visar en chaufförs arbetsdag med interaktion med systemet under en arbetsdag. Nästa lager är frontstage vilket är gränssnittet som användaren interagerar med. Backstage är det tredje lagret vilket visar vilka processer som möjliggör användarens aktiviteter. Det fjärde och sista lagret är support processes. Detta innefattar system som förser programvaran med nödvändig information för att mjukvaran ska fungera.

Processen inleds med att chauffören granskar sin rutt i frontstage-gränssnittet där en överskådlig karta presenteras. Denna karta har genererats av systemets ruttplanering i backstage. För att optimera rutten används tredjeparts data som t.ex väder samt data av kärlets fyllnadsgrad. Genom att tillämpa denna datan kan systemet optimera rutten automatiskt.

När chauffören påbörjar navigeringen mot ett kärl förser frontstage användaren med körinstruktion samt detaljerad information om kärlet som placering och kärltyp. Denna information hämtas med support processes som innehåller ett internt register på kunder och information om kundernas kärl. Då kärlet har identifierats behöver användaren utvärdera om hämtning är möjlig. Om kärlet inte är möjligt att hämta, exempelvis om kärlet blockeras av ett annat fordon, rapporterar användaren en avvikelse. I backstage skapas då ett avvikelseärende vilket överförs till stödprocesser för ärendehantering. Om hämtning kan genomföras anmäler användaren godkänd hämtning. Efter hanteringen av ett kärl, loopar processen tillbaka till navigering mot nästa kärl. Vid arbetsdagens slut avslutar chauffören ruten i frontstage vilket skapar en rapport över dagen i backstage. Rapporten kan ligga som ett underlag för utvärdering och uppföljning.

4.7 Simulering

Simuleringen av det dynamiska systemet utvärderades utifrån två centrala styrparametrar, som kalibrerades för att uppnå en optimal balans mellan servicenivå och körsträcka. För att se hur simuleringen optimerar ruten se exempel i [Bilaga F](#) där en exempelrutt genererats. De två styrparametrarna, fyllnadströskel och andelen fulla kärl, påverkar systemet på olika sätt. Ett högre tröskelvärde leder till fler överfyllda sopkärl vid hämtning. Ett lägre tröskelvärde leder till färre överfyllda kärl men fler tömningsrundor och därmed längre körsträcka. Andelen fulla kärl som krävs för att generera tömningsrutt påverkar i hög utsträckning hur ofta tömningsrundor genereras och därmed körsträcka och överfyllda kärl. Ett lägre värde leder till fler tömningar och färre överfyllda kärl medan ett högre värde ger färre tömningar och fler överfyllda kärl. En kombination av dessa två parametrar ger ett välbalanserat värde. Efter iterativ testning, beskrivet i metoddelen, resulterade detta i ett tröskelvärde på 80% och en andel fulla kärl på 40%. Detta resulterar i följande jämförelse mellan det dynamiska systemet styrt av fyllnadsgrad jämfört med det traditionella systemet, vilket visas i [Figur 6](#).

SYSTEMJÄMFÖRELSE Dag 100 ✕

	DYNAMISKT	TRADITIONELLT var 14:e dag
Tömningar totalt	961	1050
Körtillfällen	14	7
Kärl per tur (snitt)	68.6	150
Total körsträcka	323.2 km	226.1 km
Snittfyllnad vid tömning	94.2%	87.1%
Överfyllda kärl (100%)	770	1186

Traditionellt system tömmer alla 150 kärl var 14:e dag oavsett fyllnadsnivå.

Figur 6: Jämförelse dynamiskt respektive statiskt system

Detta visar att det behovsstyrda systemet genererar ett dubbelt så högt antal körtillfällen (14 mot 7), som medför ett lägre genomsnitt av antal kärl per tur (68,6 mot 150 kärl). Trots det ökade antalet turer resulterar systemet i ett lägre antal totala tömningar (961 mot 1 050), vilket indikerar att det traditionella systemet utför ett flertal onödiga tömningar det vill säga att kärl töms vid lägre fyllnadsnivåer än vad som annars krävs.

Fyllnadsgraden vid tömning är väsentligt högre i det dynamiska systemet (94,2 mot 87,1 procent), vilket visar på högre effektivitet och att kärlets kapacitet nyttjas i största möjliga mån. Att antalet registrerade överfyllnadshändelser minskar markant, från 1 186 till 770, vilket motsvarar en reduktion om cirka 35 procent är även det en direkt konsekvens av denna ökade effektivitet med det dynamiska systemet. Den primära avvägningen utgörs av en ökad total körsträcka på 323,2 km jämfört med 226,1 km för det traditionella systemet, en ökning om cirka 43 procent.

4.8 Cost-of-doing-nothing

Utifrån Renova ABs årsredovisning (Renova AB, 2025) beräknades hur stora teoretiska besparingar företaget kan åstadkomma genom optimering av verksamheten. Dessa beräkningar grundade sig i genomförda litteraturstudier samt material och siffror erhållna från Renova och Göteborgs Stad.

Eftersom en fullskalig digital tvilling inte utvecklats och därmed utgör en svårighet för beräkningar valdes det att fokusera på optimering av två områden: ruttplanering och fyllnadsgrad. Genom att beräkna och undersöka hur optimeringen av dessa två områden kan påverka kostnadsstrukturen för Renova kan man i nästa steg argumentera för hur ytterligare optimering av andra områden skulle kunna göra en eventuell skillnad.

Renovas totala kostnader låg år 2025 på 915 786 tkr varav personalkostnaden stod för 299 843 tkr och bränslet för 137 368 tkr, se [Tabell 15](#). Eftersom inte hela personalstyrkan påverkas av optimeringen, uppger Renova ([Renova 1, personlig kommunikation, 19 februari 2026](#)) att den operativa delen av verksamheten utgör cirka 70%. Detta gör att kostnaden för personal blir 209 890 tkr istället för 299 843 tkr. På samma sätt har kostnaden för bränsle behövt bestämmas baserat på litteratur då den exakta kostnaden inte återges i årsredovisningen. Putri m. fl. (2018) menar att 27.15% av transportkostnaderna utgörs av bränsle samtidigt som Li m. fl. (2023) hävdar att 60-80% av de totala kostnaderna utgörs av hämtning och transport, där valet gjordes att använda medelvärdet 70%. Genom att multiplicera 27.15% med 70% ges andelen som utgörs av bränslet, för att sedan multipliceras med de totala kostnaderna, se [Ekvation 2](#).

$$0,2715 \cdot 0,7 = 0,19005 = 19\% \quad (2)$$

Tabell 15: Kostnadöversikt

Kostnadspost	Belopp (tkr)
Personalkostnader	209 890
Bränslekostnader	137 368
Totala kostnader	915 786

För beräkningen av Cost-of-doing-nothing valdes ett restriktivt tillvägagångssätt och därmed att procentsatsen för bränslet valdes till 15%. Detta baseras dels på övergången från bränslelivna fordon till eldrivna samt att bränsleförbrukningen är en stor del i Renovas verksamhet ([Renova 1, personlig kommunikation, 19 februari 2026](#)). Detta ger den uppskattade totala kostnaden för bränsle enligt [Ekvation 3](#).

$$0,15 \cdot 915\,786 = 137\,368\,tkr \quad (3)$$

Genom att optimera rutten blir den primära effekten att körsträckan och tiden i lastbilen minskar, vilket påverkar bränsle- och personalkostnaderna. Shafik m. fl. (2022) kom fram till att ruttopti-

mering leder till en minskning av restiden med 26.5%. På samma sätt kom Kwikima och Ngole (2025) fram till att motsvarande optimering utförd på annan geografisk plats minskade bränsleförbrukningen med 25% samt reducerade arbetstiden för chaufförer per dag med 30%. Samtidigt kom Maraqa m. fl. (2018) fram till att reduktionen av bränsleförbrukning endast blev 5% i en liknande studie. I dessa fall där rutter optimerats och effekterna av dessa undersökts i länder med mindre teknologisk utveckling jämfört med Göteborgs kommun. Ansattes procentsatserna, se [Tabell 16](#), för den ekonomiska analysen inom ett konservativt intervall.

Tabell 16: Procentuell kostnadsbesparing vid optimering av rutter

Ruttoptimering	Bränsle	Personal
Låg	5%	10%
Medel	10%	15%
Hög	15%	20%

Genom att optimera fyllnadsgraden blir den primära effekten att antalet turer minskar vilket påverkar bränsleförbrukningen samt personalkostnaden. Ferrer och Alba (2019) visar i sin studie att körsträckan minskar med 20% och att rutterna som genereras baserat på fyllnadsgrad blir 33.2% kortare. Ferrer och Alba (2019) visar i sin studie att bränsleförbrukningen minskar med 15.5% genom användandet av AI och maskininlärning för att förutspå fyllnadsgraden. Med hjälp av dessa siffror fördes ett resonemang som bygger på att färre onödiga tömningar leder till färre stopp som i sin tur leder till reducerad tidsåtgång som resulterar i färre arbetstimmar. Detta är resultatkedjan som gäller i fallet då allt är konstant och fortlöper som på nuvarande sätt men att skillnaden då utgörs av att fyllnadsgraden är en parameter som påverkar var man behöver stanna och inte. På samma sätt som för ruttoptimeringen valdes det att konservativt ansätta procentsatser för fyllnadsgraden enligt [Tabell 17](#).

Tabell 17: Procentuell kostnadsbesparing vid optimering av fyllnadsgrad

Fyllnadsgrad	Bränsle	Personal
Låg	5%	5%
Medel	10%	7%
Hög	15%	9%

De nya bränsle- respektive personalkostnaderna beräknas baserat på [Ekvation 1](#) med ingångsvärden enligt [Tabell 16](#) och [Tabell 17](#). De slutgiltiga beräkningarna för kostnadsbesparingar inom bränslekostnader visas i [Tabell 18](#) och personalkostnader i [Tabell 19](#).

Tabell 18: Nya bränslekostnader per fyllnadsgrad

Fyllnadsgrad	Beräkning	Bränslekostnad (tkr)
Låg	$137\,368 \cdot (1 - 0.05)(1 - 0.05)$	123 974
Medel	$137\,368 \cdot (1 - 0.10)(1 - 0.10)$	111 268
Hög	$137\,368 \cdot (1 - 0.15)(1 - 0.15)$	99 248

Tabell 19: Nya personalkostnader per fyllnadsgrad

Fyllnadsgrad	Beräkning	Personalkostnad (tkr)
Låg	$209\,890 \cdot (1 - 0.10)(1 - 0.05)$	179 456
Medel	$209\,890 \cdot (1 - 0.15)(1 - 0.07)$	165 918
Hög	$209\,890 \cdot (1 - 0.20)(1 - 0.09)$	152 800

Efter dessa beräkningar kunde reduceringen av de totala kostnaderna beräknas genom att subtrahera kostnaden innan optimering för bränsle respektive personal med kostnaden efter optimering. Detta gav följande reducereing i tkr.

Tabell 20: Total besparing per fyllnadsgrad

Fyllnadsgrad	Besparing (tkr)	Andel av totala kostnader
Låg	43 828	$\frac{43\,828}{915\,786} \approx 4.79\%$
Medel	70 072	$\frac{70\,072}{915\,786} \approx 7.65\%$
Hög	95 210	$\frac{95\,210}{915\,786} \approx 10.4\%$

Resultatet indikerar att optimering av rutter och fyllnadsgrad kan reducera de årliga kostnaderna med ca 4.79%–10.4% vilket är de årliga kostnaderna som uppstår om motsvarande optimeringsåtgärder inte implementeras. För att denna optimering skulle kunna ske på rutter och fyllnadsgrad är

sensorer något som skulle behöva implementeras. Nedan följer beräkningarna som gjordes för att undersöka om en eventuell investering i sensorer skulle vara en lönsam affär.

Baserat på Sensoneo (2024) samt Pires m. fl. (2025) är ultraljudssensorer typen av sensorer som lämpar sig bäst för avfallshantering. Inköpspriset för sensorer kan variera från 300 till 5000 SEK samt att kostnaden för att koppla upp sensorerna mot ett nätverk och där lagra data kostar mellan 5-20 SEK/sensor/månad vilket är en maximal årlig kostnad på 240 SEK/år. Livslängden på sensorerna antas ligga i linje med batteriets livslängd på 7 år och priset antas vara 2500 SEK då ett medelvärde beräknas utifrån Malathy m. fl. (2022) och Alnanih m. fl. (2025) samt en allmän undersökning av inköpspriset på ultraljudssensorer.

I Göteborgs stad finns det 30 080 kärl ämnade för restavfall som Renova ansvarar för att tömma (Göteborgs Stad 1, personlig kommunikation, 26 februari 2026) och detta gör att den totala investeringen som skulle behövas för att utrusta sopkärlen med sensorer är:

$$30\,080 \text{ sopkärl} \cdot 2500 \text{ SEK} = 75\,200 \text{ tkr}$$

Det annualiserade värdet blir då:

$$\frac{75\,200 \text{ tkr}}{7 \text{ år}} = 10\,743 \text{ tkr/år}$$

Kostnaden för drift av systemet per år blir:

$$30\,080 \text{ kärl} \cdot 240 \text{ SEK} = 7\,219 \text{ tkr}$$

Vilket ger den årliga kostnaden:

$$10\,743 + 7\,219 = 17\,962 \text{ tkr}$$

Detta motsvarar att en kostnadsökning på cirka 1.96% krävs för att täcka den årliga kostnaden för implementeringen, eftersom:

$$\frac{17\,962}{915\,786} \approx 0.0196 = 1.96\%$$

För att ytterligare undersöka om investeringen skulle vara rimlig beräknades det hur mycket extra privatpersoner skulle behöva betala i månaden. Siffror erhållna från Göteborgs Stad används för beräkningarna nedan ([Göteborgs Stad 1, personlig kommunikation, 26 februari 2026](#)). I dagsläget kostar det 3600 SEK/år för hushåll i villor och 2440 SEK/år för hushåll i flerbostadshus. Sedan behövdes antalet kärll översättas till antalet hushåll. Det finns 28 289 kärll från villor, vilket utgör 28 289 hushåll. På samma sätt finns det 1 791 kärll från flerbostadshus, men här gjordes ett antagande att ett kärll används av 10–40 hushåll, vilket resulterar i spannet 17 910 till 71 640 hushåll.

Det totala antalet hushåll blir då:

$$28\,289 + 17\,910 = 46\,199 \quad \text{till} \quad 28\,289 + 71\,640 = 99\,929 \text{ hushåll}$$

Kostnaden beräknades sedan genom att dividera total kostnad med antalet hushåll:

$$\frac{17\,962\,000 \text{ kr}}{46\,199 \text{ hushåll}} = 388 \text{ kr/hushåll}$$
$$\frac{17\,962\,000 \text{ kr}}{99\,929 \text{ hushåll}} = 180 \text{ kr/hushåll}$$

Alltså leder investeringen av sensorer för 2500 SEK/st till en årlig kostnad på 180 till 388 SEK ytterligare för hushållen per år, vilket är 15 till 32 kr per månad ($\frac{180}{12} = 15$ och $\frac{388}{12} \approx 32$). Procentuellt blir ökningen per hushåll enligt [Tabell 21](#).

Tabell 21: Kostnadsökning per hushållstyp och antal hushåll

Hushållstyp	Antal hushåll	Beräkning	Kostnadsökning
Villa	Låg	$\frac{180}{3600}$	0.05 = 5%
	Hög	$\frac{388}{3600}$	$\approx 0.108 = 10.8\%$
Flerbostadshus	Låg	$\frac{180}{2440}$	$\approx 0.074 = 7.4\%$
	Hög	$\frac{388}{2440}$	$\approx 0.159 = 15.9\%$

Som visas i [Tabell 21](#) blir kostnadsökningen 5-10.8 procent för villor och 7-15.9 procent för flerbostadshus beroende på antalet hushåll per kär i flerbostadshus.

4.9 Affärsfall

Syftet med affärsfallet är att undersöka den ekonomiska och strategiska potentialen en digital tvilling hade kunnat skapa. Eftersom arbetet inte omfattar en fullskalig teknisk implementation ska affärsfallet inte betraktas som en komplett investeringskalkyl utan som en indikativ bedömning av vilka värden som kan skapas genom behovsstyrd sophantering. Denna bedömning grundas i en sammanställning av de kvalitativa intervjuerna, ekonomisk analys i form av Cost-of-doing-nothing och den framtagna konceptuella systemarkitekturen.

Utifrån de kvalitativa intervjuerna framgick det att de olika aktörer fångar olika värde från den digitala tvillingen. För Volvo innebär detta en möjlighet till att utveckla en ny digital lösning kopplad till Volvo Connect. Idag består Volvo Connect av flera digitala lösningar där vissa ingår utan extra kostnad medan andra är prenumerationstjänster för fordonsägare. Intervjuerna med Volvos representanter indikerade på att Volvo inte längre efterfrågar rådata utan vill att denna ska vara bearbetad ([Volvo 2, personlig kommunikation, 10 mars 2026](#)). Eftersom Volvo Connect redan är en etablerad plattform som fordonsägare använder idag går det att bygga vidare på Volvo Connect. Då kan de använda redan tillgänglig fordonsdata och kombinera dessa med externa datakällor. Detta gör att Volvo Connect utvecklas från ett verktyg för fordonsuppföljning till ett mer avancerat beslutsstöd. Den digitala tvillingen blir därmed inte ett fristående system, utan en vidareutveckling av Volvos befintliga digitala tjänsteerbjudande.

För sophämtningsaktörer som Renova ligger värdet främst i att effektivisera det dagliga arbetet inom planering och kommunikation ([Renova 2, personlig kommunikation, 5 mars 2026](#)). Genom bättre beslutsunderlag kan rutter optimeras utifrån faktiska behov och anpassas efter trafikläge och framkomlighet. Detta minskar antalet onödiga körningar, reducerar bränsleförbrukning och förbättrar utnyttjandet av både personal och fordon. För Göteborgs Stad ligger värdet främst i bättre uppföljning, ökad transparens och förbättrade möjligheter att nå miljö- och effektiviseringsmål ([Göteborgs Stad 1, personlig kommunikation, 26 februari 2026](#)). En digital tvilling kan även ge kommunen ett bättre underlag för upphandlingar.

För att tydliggöra affärsmodellen bakom den digitala tvillingen, används business modell canvas (se [Bilaga C](#)). Modellen används för att strukturera hur lösningen skapar, levererar och fångar värde för aktörer. Affärsmodellen bygger på att erbjuda den digitala tvillingen som en mjukvarutjänst (SaaS) vid sidan av nuvarande produktutbud hos Volvo Connect. Systemet riktar sig till två tydliga segment med skilda behov, avfallsaktörer och kommuner. Avfallsaktörernas primära värdeerbjudande är att minska de operativa kostnaderna genom ruttoptimering samt att eliminera onödiga tömningar. För kommunerna å andra sidan ligger värdet i en digital tvilling i bättre underlag vid upphandlingar och uppföljning av miljömål.

För att möjliggöra detta krävs ett tätt samarbete med strategiska nyckelpartner. Avfallsbolagen agerar inte bara kunder utan är även en nyckelpartner då de genererar stor del av primärdatan genom sensorer på fordonen. Därtill krävs externa tredjeparts-API:er för karttjänster, väderförhållanden och trafikinformation. Volvo roll i detta blir plattformsägare och sköter utvecklingen av systemet. Därmed blir deras nyckelaktiviteter utveckling av systemet med tillhörande data integration samt analys av data för ruttoptimering, körstil och utsläpp. De viktigaste nyckelresurser för Volvo är Volvo Connect, då detta är plattformen som den digitala tvillingen ska integreras i samt rådata som ska aggregeras.

Affärsmodellens kostnadsstruktur består initialt av betydande utvecklingskostnader för mjukvaruutveckling och systemintegration. Därefter kommer löpande kostnader i form av IT- och molntjänster för att hålla den digitala tvillingen i drift. Det uppkommer även löpande kostnader i form av underhållskostnader samt fortsatta utvecklingskostnader. Slutligen uppkommer det en rörlig kostnad för API-användningen. Intäktsmodellen ska balansera dessa kostnader genom återkommande intäkter. Volvo tar betalt genom prenumeration av tjänsten för användandet av plattformen.

5 Analys

I detta avsnitt analyseras studiens resultat utifrån flera perspektiv. Inledningsvis analyseras nuläget för att identifiera centrala brister och ineffektiviteter, följt av en analys av det dynamiska systemets prestanda i förhållande till det traditionella. Därefter genomförs en ekonomisk analys av optimeringsåtgärdernas potentiella besparingar, varefter resultaten slutligen kopplas till relevant teori.

5.1 Analys av nuläget

Analys av nuläget visar att sophanteringssystemet i stor utsträckning styrs av manuella processer med låg grad av datadrivna beslut och optimeringar samt utdaterade systemstöd. Resultaten från intervjuerna visar att ruttplaneringen i dagsläget grundas på förutbestämda scheman och adresslistor snarare än realtidsdata, vilket leder till ineffektivitet. Ett exempel på denna ineffektivitet är att tömningar sker tidsbestämt oberoende av faktisk fyllnadsgrad vilket kan leda till onödiga tömningar.

En viktig insikt i nuläget är avsaknaden av dataflöde mellan olika aktörer. Fordonsdata, fyllnadsgrad och trafikrelaterad information existerar i separata databaser men används inte i någon större utsträckning. Detta innebär att planeringen till stor del är statisk, där planeringen i vissa fall sker flera år i förväg. En konsekvens av detta är att systemet är känsligt för oförutsedda förändringar, även att vissa kärl töms tomma då den statiska ruttplaneringen inte tar hänsyn till fyllnadsgrad.

Vidare visar intervjuerna att det operativa arbetet är beroende av erfarenhetsbaserad kunskap, särskilt hos chaufförer och trafikledare. Avsaknaden av optimerade rutter och beslutsstöd innebär att effektiviteten varierar beroende på individens erfarenhet, vilket gör systemet sårbart. Nuvarande arbetssätt saknar därför standardisering och systematiskt stöd. Samtidigt finns det delar av nuläget som fungerar väl. Den befintliga infrastrukturen för sophämtning är etablerad och fungerande. Det finns även tillgång till stora mängder data inom respektive organisation, problemet ligger således inte i mängden data, utan i hur data används. Sammanfattningsvis visar analysen att nuläget präglas av ineffektivitet kopplad till statisk planering och bristande dataintegration. Dessa brister utgör grunden för behovet av en mer datadriven och dynamisk lösning, vilket vidare analyseras i nästkommande avsnitt.

5.2 Analys av det dynamiska systemet

Simuleringsresultaten visar att ett behovsstyrt system, styrt av fyllnadsgrad, förändrar sophämtningen på ett grundläggande sätt jämfört med det traditionella statiska systemet. Det dynamiska

systemet genererar dubbelt så många körtillfällen (14 mot 7) men med betydligt färre kärl per tur (68,6 mot 150). I ett större sammanhang där fler kärl ingår och fler fordon kan samordnas visar detta på möjligheten för varje enskilt fordon att täcka ett större område. I simuleringen tar varje enskilt fordon betydligt färre kärl per körtillfälle under behovsstyrd tömning vilket indikerar att fordonets fulla lastkapacitet inte utnyttjas. För att utnyttja fordonets fulla lastkapacitet behöver den täcka ett större geografiskt område med fler kärl under varje körtillfälle.

En viktig indikator på systemets effektivitet är snittfyllnaden vid tömning, som i det dynamiska systemet uppgår till 94,2 procent jämfört med 87,1 procent i det statiska. Detta innebär att kärnen i genomsnitt utnyttjas bättre innan de töms, vilket reducerar antalet onödiga tömningar. Att totalt antal tömningar minskar från 1 050 till 961 trots fler körtillfällen bekräftar att det statiska systemet regelbundet tömmer kärl som inte behöver tömmas. Detta kan direkt kopplas till det faktum att 57 procent av alla avvikelser är kopplade till tömning av tomma kärl ([Göteborgs Stad 1, personlig kommunikation, 26 februari 2026](#)). Därmed kan det konstateras att tömning av tomma kärl är ett problem som leder till minskad effektivitet där reduktion av onödiga tömningar genom data om fyllnadsgrad direkt höjer effektiviteten.

Minskningen av antalet överfyllda kärl från 1 186 till 770, en reduktion om cirka 35%, är särskilt relevant efter intervjuerna med trafikledarna på Renova ([Renova 2, personlig kommunikation, 5 mars 2026](#)). Där lyftes bristen på fyllnadsgrad som en konkret förbättringspunkt att få med i planeringssystemet. I detta fall var det mer fokus på statistisk fyllnadsinformation då det finns historisk data att tillgå för att implementera detta idag, men i en förlängning en förhoppning om fyllnadsgrad i realtid. Vidare framgick det i intervju med chaufförer på Renova att det inte finns några fasta rutter att följa, utan endast listor på adresser. Detta gör arbetet beroende utav erfarenhet vilket är något som en digital lösning med ruttoptimering kan minska beroendet av. Det dynamiska systemet möjliggör den typ av behovsbaserad planering som trafikledarna efterfrågade. Frånvaron av navigeringsstöd i nuläget förstärker också värdet av ett sådant system, ett digitalt verktyg som kombinerar fyllnadsdata med ruttoptimering för ett mer strukturerat beslutsunderlag.

Den primära avvägningen i systemet är den ökade körsträckan på 323,2 km mot 226,1 km, en ökning om 43 procent. Detta är en merkostnad som inte bör bortses från. Däremot kan det till följd av införandet av batterielektriska fordon vara en aspekt som trots ökad körsträcka inte påverkar miljön negativt. Men huruvida denna ökning är acceptabel beror på kostnaden per kilometer jämfört med kostnaden per tömning, samt vilket värde som tillskrivs minskad överfyllnad ur ett serviceperspektiv. Denna ekonomiska avvägning behandlas vidare i den ekonomiska analysen.

5.3 Ekonomisk analys

Resultatet visar att de identifierade optimeringsåtgärderna kan reducera de årliga kostnaderna med 4.79-10.4 procent. Detta beror på att en betydande del av dagens kostnadsstruktur är kopplad till ineffektivitet i ruttplanering och resursutnyttjande. Som nämnt i nulägesanalysen baseras ruttplaneringen i stor utsträckning på statiska scheman och erfarenhetsbaserade parametrar snarare än realtidsdata och datadrivna beslut. Eftersom historisk data används i begränsad utsträckning innebär det att det finns en stor optimeringspotential som inte utnyttjas.

Vidare visar resultatet att den årliga kostnadsreduktion som krävs för att täcka investeringen i sensorer uppgår till 1.96 procent. Detta innebär att endast en begränsad del av den totala effektiviseringspotentialen behöver realiseras för att investeringen ska vara ekonomiskt försvarbar. Givet att den uppskattade besparingspotentialen uppgår till 4.79-10.4 procent indikerar detta att det finns en betydande säkerhetsmarginal i kalkylen.

En central fråga är hur kostnaden för implementationen bör fördelas mellan aktörer inom systemet. När det gäller utvecklingskostnaden av den digitala tvillingen bör Volvo stå för den kostnaden enligt resultatet av affärsfallet. För Renova som direkt påverkas av effektiviseringar i form av minskade kostnader, finns det tydliga anledningar för dem att investera i tekniken. Samtidigt har Göteborgs Stad i nuläget uppsatta mål om ökad effektivitet och minskade utsläpp, vilket innebär att en investering i denna typ av lösning även kan motiveras ur ett samhällsperspektiv. Detta öppnar upp för att kostnaden kan delas mellan aktörerna eller integreras i framtida upphandlingar. Alternativt kan kostnaden för implementeringen av sensorer i kärl också föras vidare till hushållen, i form av ökade priser av avfallshämtning. Resultatet visar att den årliga kostnadsökningen per hushåll är relativt liten i relation till den totala nyttan. Däremot behandlas inte frågan om hushållens betalningsvilja, vilket innebär att acceptansen för en sådan kostnadsökning är osäker.

Cost-of-doing-nothing kan därmed tolkas som den kostnad som uppstår till följd av att verksamheten fortsätter att operera enligt nuvarande arbetssätt. I praktiken innebär detta ineffektiva körsträckor, onödiga tömningar och att suboptimerad resursanvändning kvarstår, vilket genererar en kontinuerlig ekonomisk förlust över tid. Ur ett strategiskt perspektiv innebär detta att aktörer som inte implementerar dessa lösningar riskerar att hamna i ett kostnadsmässigt underläge gentemot aktörer som effektiviserar sina processer.

Samtidigt bör resultatet tolkas med viss försiktighet. De uppskattade effektiviseringsnivåerna baseras på tidigare studier och generaliseringar, vilket innebär att den faktiska besparingen kan variera beroende på lokala förutsättningar, implementeringsgrad och organisatoriska faktorer. Trots dessa

osäkerheter indikerar resultatet att den ekonomiska konsekvensen av att inte implementera optimeringsåtgärder är betydande. Detta stärker argumentet för att investeringar i datadrivna lösningar, såsom en digital tvilling, kan vara motiverade ur ett kostnadsperspektiv.

5.4 Koppling till teori

Resultaten från studien kan förstås och tolkas genom flera olika perspektiv. Systemteori, digitalisering samt hållbarhetsprinciper utgör centrala utgångspunkter för att analysera resultaten.

Ur ett teoretiskt perspektiv är sophertering ett stort och invecklat system bestående av sammankopplade delsystem såsom: fordon, infrastruktur, personal och informationsflöden. I det traditionella statiska systemet präglas dessa delsystem av minimal integration mellan systemen, där beslut fattas baserat på långsiktig planering snarare än realtidsdata. Detta leder till suboptimering där enskilda delar av systemet fungerar bra för sig, men där helheten inte är optimerad. Det dynamiska systemet, där fyllnadsgrad används som styrande parameter kan istället ses som ett mer integrerat system där datautbyte möjliggör återkoppling i realtid. Enligt systemteori är återkoppling en central mekanism för att möjliggöra adaptiva och självreglerande system, vilket även stöds av Kritzinger m. fl. (2018) som betonar vikten av kontinuerligt datautbyte mellan fysiska och delar system inom digitala tvillingar.

En digital tvilling definieras som en virtuell representation av ett fysiskt system som uppdateras kontinuerligt med realtidsdata (Kritzinger m. fl., 2018). Detta möjliggör inte enbart bättre överblick genom visualisering, utan möjliggör även simulering och förutsägelse. Till skillnad mot dagens system där beslut fattas baserat på prognoser snarare än historiska mönster och realtidsdata. Wang m. fl. (2024) nämner att digitala tvillingar kan användas för att optimera beslutsfattande i stadsmiljö, vilket innebär ett skifte från reaktiv till proaktiv planering. Resultaten från simuleringen illustrerar denna potential, då det dynamiska systemet efterliknar ett datadrivet beslutsstöd där resurser flyttas runt utifrån aktuella behov.

Ur ett hållbarhetsperspektiv kan studiens resultat analyseras utifrån de tre dimensionerna: ekonomisk, miljömässig och social hållbarhet. Den ökade fyllnadsgraden och minskningen av onödiga tömningar bidrar till en mer effektiv resursanvändning, vilket gör lösningen mer hållbar. Samtidigt innebär den ökade körsträckan en potentiell negativ miljöpåverkan, vilket är i konflikt med miljömålen som oftast finns i stadsutveckling, vilket även (Randhawa m. fl., 2020) nämner. Dock kan denna effekt reduceras genom elektrifiering av fordonsflottan, vilket kan kopplas till omställningen mot mer hållbara transportsystem. Det minskade antalet av överfyllda kärl bidrar dessutom till

förbättrad servicekvalitet, vilket kan relateras till social hållbarhet i form av ökad livskvalitet för invånarna i Göteborgsområdet.

Slutligen kan resultaten även relateras till beslutsstöds- och optimeringsteori, där användning av data för att förbättra operativa beslut är central. Precis som Wang m. fl. (2024) nämner möjliggör digitala system en högre grad av automatisering och optimering genom kontinuerlig analys av stora datamängder. Systemet i denna studie kan ses som ett steg mot mer avancerade optimeringsmodeller, där realtidsdata används för att justera rutter och prioriteringar, vilket minskar beroendet av individuell erfarenhet. Sammantaget visar kopplingen till teori att det dynamiska systemet inte enbart innebär en praktisk förbättring, utan även representerar en övergång från ett statiskt och fragmenterat system till ett integrerat, datadrivet och adaptivt system som sker på alla plan i samhället just nu.

6 Diskussion

I detta kapitel behandlas resultatens betydelse samt metodvalens styrkor och svagheter. Vidare diskuteras etiska aspekter och förslag till framtida arbete, samtidigt som studien sätts in i ett bredare sammanhang genom en analys av teoretiska och praktiska implikationer.

6.1 Metoddiskussion

Studiens metodval har påverkat resultatens pålitlighet och i vilken utsträckning allmänna slutsatser kan dras. Studien har blandat intervjuer med litteraturstudier och arbetet har skett iterativt, det vill säga genom att växla mellan olika steg och kontinuerligt uppdatera slutsatser när nya insikter tillkommit. Nedan diskuteras metodens olika delar, inklusive styrkor, svagheter och motiveringar till de val som gjorts.

Valet av en utforskande studie var nödvändigt för att hålla arbetet inom den givna tidsramen. En verklighetsbaserad analys hade krävt tillgång till flera aktörers system och realtidsdata, vilket inte var möjligt. Nackdelen är att en utforskande studien begränsar studiens förhållande till verkligheten och påverkar trovärdigheten negativt. Utan denna avvägning hade man dock inte kunnat besvara forskningsfrågorna, eftersom en fullskalig implementation hade krävt mer tid och resurser än vad arbetet tillät. Urvalet av aktörer begränsas till tre organisationer: Volvo, Renova och Göteborgs Stad. Detta är en medveten avgränsning för att hålla arbetet relevant för Göteborgsområdet. En styrka i urvalet är att olika arbetsområden inom Renova nås, från trafikledare till chaufförer, vilket ger en helhetsbild av verksamheten. En utmaning med urvalet av aktörer är dock att det blir svårt att dra generella slutsatser om sophanteringssystemet utanför den studerade kontexten.

För att undersöka hur ett mer dynamiskt system för sophämtning påverkar verksamheten används en simuleringsmodell. Simuleringens styrka är att den tillåter en analys av systemets scenariobaserade utfall i form av förändringar i exempelvis körsträcka, antal genomförda hämtningar, samt graden av överfulla kärl. Dessutom kan olika scenarier och parameterinställningar på ett relativt enkelt sätt implementeras och testas i modellen. Därmed kan simuleringen användas för att undersöka möjliga utfall samt få en överblick över vilka parametrar i processen som har störst potential för effektivisering. Vidare bygger simuleringen på ett antal antaganden och förenklingar, vilket innebär att modellen inte fullt ut kan spegla den komplexitet som den verkliga verksamheten bygger på. De rutter och den data som används i simuleringen baseras på exempelbaserade scenarier och kan därför avvika från hur verkliga situationerna ser ut i praktiken. Vidare betraktas inte faktorer som väderförhållanden och variationer i trafikflöden i modellen, trots att dessa i verkligheten kan ha en betydande påverkan på ruttplanering och genomförandet av sophämtningen.

Simuleringen utvecklas med stöd av artificiell intelligens(AI), vilket möjliggör mer avancerad modellering av samband mellan olika parametrar i systemet. Genom användningen av AI kan större datamängder analyseras och hanteras på ett mer systematiskt sätt, vilket kan bidra till en mer dynamisk och flexibel simulering av sophämtningsprocessen. Samtidigt innebär användning av AI-baserade metoder att modellens tillförlitlighet i hög grad är beroende av den data som används som underlag vid modellens utveckling. Begränsningar i datatillgång eller datakvalitet kan därmed påverka hur väl simuleringen speglar de verkliga förhållandena. Detta innebär att resultaten bör tolkas med viss försiktighet, då modellens utfall i stor utsträckning reflekterar de antaganden och den data som ligger till grund för simuleringen.

Den ekonomiska analysen bygger på uppskattningar från tidigare studier samt antaganden om möjliga effektiviseringsnivåer. Detta innebär att resultaten i stor utsträckning är beroende av de antaganden som gjorts kring exempelvis minskad körsträcka och förbättrad resursanvändning. Analysen baseras även på sekundärdata från årsredovisningar och intervjuer, vilket ger en övergripande bild av kostnadsstrukturen.

Vidare fokuserar den ekonomiska analysen främst på kostnadsposter kopplade till bränsle och personal, då dessa bedömdes vara de mest direkt påverkbara faktorerna vid förändringar i ruttplaneringen. Detta val grundar sig i att både litteraturen och den analyserade årsredovisningen tydligt pekar ut dessa poster som centrala kostnadsdrivare i verksamheten. Andra potentiella kostnadseffekter inkluderas däremot inte i analysen, exempelvis kostnader kopplade till underhåll och reparationer. Detta innebär att den totala ekonomiska påverkan kan vara både större eller mindre än vad de genomförda beräkningarna indikerar. Resultaten bör därför främst tolkas som uppskattningar av den ekonomiska potentialen snarare än som exakta prognoser. För att öka metodens tillförlitlighet hade verklig driftdata kunnat implementeras samt kopplas till simuleringsvärdena.

6.2 Resultatdiskussion

Resultaten visar att det finns betydande ineffektivitet i nuvarande system, men också en tydlig potential för optimering genom dataintegration och dynamisk ruttplanering. Vidare framgår det att mycket data existerar och finns att tillgå, att en effektivisering hade kunnat uppnås baserat på vad som saknas i nuvarande simuleringsverktyg och att en start på en digital tvilling hade kunnat generera minskade kostnader för inblandade aktörer.

Data som i nuläget finns att tillgå delas inte mellan inblandade aktörer vilket gör att den inte kan

utnyttjas fullt ut, samtidigt som resultatet indikerar på att det hade skapat fördelar ur olika perspektiv, för de olika aktörerna. Detta indikerar att den begränsade faktorn inte främst är teknisk, utan organisatorisk. Trots att aktörer som Renova är medvetna om datans potentiella värde saknas resurser för att möjliggöra effektiv användning av den. Detta kan tolkas som att värdeskapandet av data i hög grad är beroende av samverkan och tillämpning, snarare än enbart tillgång till data. Ett konkret exempel på detta är att Renova i dagsläget har tillgång till historisk data om kärkens fyllnadsgrad genom vägning, men att denna data inte används. Om denna information istället hade använts för planeringen av rutter hade tömningen av redan tomma kärl kunnat minimeras, vilket hade minskat antalet onödiga stopp och förbättrat resursutnyttjandet.

Vidare väcker resultatet frågor kring ansvarsfördelningen mellan aktörerna. Eftersom nyttan av en digital tvilling fördelas mellan flera parter, exempelvis genom minskade kostnader för Renova, ökat värdeerbjudande för Volvo och bättre beslutsunderlag för Göteborgs Stad blir det oklart var den finansiella bördan ska läggas. Rimligtvis hamnar utvecklingskostnaden för den digitala tvillingen på Volvo då denna kommer kunna bredda deras produktutbud inom Volvo Connect. Dock bör kostnaden av implementeringen av sensorer i slutändan hamna på hushållen. Däremot bör initiativet till att införa sensorer i avfallskärnen komma från Göteborgs Stad, då avfallshanteringen inte enbart bedrivs av Renova.

En potentiell risk ur Volvos perspektiv är att en digital tvilling för sophämtning kan bidra till en minskad efterfrågan av lastbilar inom sophanteringsbranschen. Om ruttplaneringen optimeras, fyllnadsgraden i kärnen utnyttjas bättre och onödiga tömningar reduceras, kan samma volym sopor hanteras med ett färre antal fordon. För Volvo innebär det en målkonflikt vars affärsmodell bygger på försäljning av lastbilar. Samtidigt bör denna risk ställas mot att kunna erbjuda digitala tjänster och plattformslösningar som komplement till fordonen och de intäktsströmmar som de genererar.

Resultatet från simuleringen visar att dynamisk ruttplanering förbättrar vissa parametrar, såsom minskade överfyllnadshändelser och färre onödiga tömningar, samtidigt som den totala körsträckan ökar. Detta problematiserar bilden av optimering, då förbättringen inom ett område kan leda till försämring inom ett annat. Det indikerar att effektivitet kan definieras olika beroende på vad målet med optimeringen är. I detta fall har fokus legat på kostnader och främst servicegrad, medan miljöpåverkan inte prioriterats i optimeringen. Istället förutsätts miljöpåverkan kunna hanteras genom exempelvis en ökad andel eldrivna fordon.

Det bör nämnas, att simuleringen är begränsad till ett mindre geografiskt område, vilket kan ha en påverkan på resultatet. Det kan argumenteras för att ett större geografiskt område hade kunnat leda

till mer effektiv resursanvändning genom bättre utnyttjande av fordonens kapacitet. Däremot hade ett större område sannolikt även resulterat i längre körsträckor. Samtidigt hade även större områden som täcks av färre fordon, tack vare behovsstyrd upphämtning, eventuellt kunnat resultera i att den totala körsträckan hade jämnat ut sig om man ser till antalet fordon som behöver användas under en dag, och deras sammanlagda körsträcka. Exempelvis hade ett fordon kunnat täcka två eller fler områden som vanligtvis täcks av flera fordon, vilket möjligtvis hade kunnat jämna ut skillnaden i körsträcka. Detta visar att utfallet är starkt beroende på utgångspunkt, mål med optimeringen och geografisk omfattning, och bör därför tolkas med försiktighet.

I kontrast till simuleringens resultat, där den totala körsträckan ökar, utgår de ekonomiska beräkningarna från att körsträckan minskar till följd av färre tömningar. Detta innebär att de två analyserna bygger på olika antaganden, vilket kan förklara skillnaden i resultat. Eftersom de ekonomiska beräkningarna inte tar hänsyn till geografiskt område, utan enbart utgår från att tomma kärl inte behöver tömmas, genererar modellen ett positivt utfall under förutsättningarna att övriga faktorer hålls konstanta. Därmed är det rimligt att anta, baserat på litteratur, att körsträckan kan minska och leda till ökad effektivitet, men resultatet bör samtidigt tolkas med försiktighet då det bygger på förenklade antaganden.

Det som framkom som mest relevant för Renova på kort sikt är implementeringen av fyllnadsgrad som parameter för ruttplaneringen. I dagsläget sker många stopp där kärl töms trots att de är tomma, vilket tyder på ineffektiv resursanvändning. Även om investering i sensorer framstår som lönsam enligt beräkningarna, vore ett mer kostnadseffektivt initialt steg att utnyttja befintlig data kring kärlets vikt för att uppskatta fyllnadsgrad. Eftersom denna data redan finns tillgänglig kräver det främst bearbetning snarare än nya investeringar, vilket gör det till ett realistiskt första steg mot en mer datadriven lösning.

Till sist behöver chaufförernas inställning till nya arbetssätt och system beaktas, då de är den grupp som påverkas mest av en eventuell implementering. Intervjuerna visar att chaufförerna i dagsläget inte uppskattar att känna sig övervakade och föredrar att ha frihet att planera sin arbetsdag samt lösa problem självständigt. Detta kan stå i kontrast till syftet med en digital tvilling, där beslutsfattande i högre grad baseras på systemstöd och datadriven optimering. Samtidigt behöver det inte nödvändigtvis innebära en fullständig förlust av autonomi, utan beror på hur systemet utformas och implementeras i praktiken. Om systemet används som ett hjälpmedel kontra något man ska följa strikt kan vara avgörande.

En implementering av sensorer och därmed optimerade rutter skulle sannolikt inte innebära en drastisk förändring i det dagliga arbetet, utöver justeringar i rutter och områden. Däremot kan en omfattande digital tvilling, som den beskrivs i [underavsnitt 4.4](#), uppfattas som mer styrande och därmed minska den upplevda friheten. Detta indikerar att acceptansen för en digital tvilling i hög grad är beroende av hur väl systemet anpassas till användarens behov. Eftersom verksamheten är beroende av chaufförerna som utför det operativa arbetet, bör deras perspektiv utgöra en central del i utformningen av en sådan lösning. Detta visar att implementeringen av en digital tvilling inte enbart är en teknisk, ansvarsmässig eller ekonomisk fråga, utan även i hög grad beroende av användbarhet och acceptans hos de inblandade parterna. Det indikerar i sin tur att systemet behöver utvecklas iterativt och successivt anpassas till inblandade aktörers behov och mål.

6.3 Etiska och samhällsliga aspekter

Arbetet berör flera centrala etiska värden. Grundläggande är att arbetet syftar till att göra nytta och inte orsaka skada, samt att respektera berörda parter autonomi och integritet. Syftet är att bidra med kunskap och föreslå lösningar som kan ge samhällsförbättringar i form av effektivare resursanvändning och potentiellt minskad miljöpåverkan. Beroende på hur resultaten används och implementeras kan arbetet även beröra frågor om integritet och autonomi, vilket diskuteras vidare nedan.

En digital tvilling av det slag som beskrivs i det ideala scenariot, se [underavsnitt 4.4](#), innebär kontinuerlig insamling och behandling av data som kan vara känslig, exempelvis realtidspositionsdata för sopbilar och chaufförer, avvikelserapporter kopplade till enskilda fordon samt potentiellt personrelaterade uppgifter såsom körbeteende och arbetstid. Det finns därmed en risk att systemet upplevs som övervakande av de anställda. Denna spänning mellan effektivitet och den anställdes upplevelse av autonomi och integritet är en central del i de etiska avvägningarna inom arbetet.

Datainsamlingen i arbetet skedde huvudsakligen genom semistrukturerade intervjuer med anställda på Volvo, Renova och Göteborgs Stad. För att hantera de etiska risker som är förknippade med intervjuer som metod beaktades dataskyddsförordningen (GDPR), se [underavsnitt 3.6](#) för en mer djupgående beskrivning av metoden enligt GDPR. Intervjupersonerna informerades om studiens syfte och hur deras uppgifter skulle hanteras, och deltagandet var frivilligt med möjlighet att när som helst avbryta. All identifierbar information anonymiserades, och inspelat material användes enbart inom ramen för studien och raderades efter avslutad studie, i enlighet med principerna om lagringsminimering (European Parliament and Council, [2016](#)).

Resultatet av arbetet utgörs av ett konceptuellt förslag på hur en digital tvilling kan utformas för sophantering i Göteborg. Om detta förslag realiseras kan det medföra tydliga samhällsfördelar som lägre operativa kostnader och en mer resurseffektiv hantering av avfall. Dessa effekter är i linje med Göteborgs Stads klimatmål och Renovas egna hållbarhetsmål (Göteborgs Stad, u. å-a; Renova AB, 2024). Däremot innebär en implementering av systemet även potentiella risker. En utbyggd digital tvilling behandlar löpande personuppgifter, exempelvis platsspårning av fordon och individuell kördata, vilket kräver hantering enligt GDPR. Om dessa uppgifter inte hanteras på ett säkert sätt riskerar systemet att kränka chaufförernas personliga integritet. Ur intervjuerna framkom det att chaufförerna värdesätter sin yrkesmässiga autonomi högt och ett system som uppfattas som kontrollerande snarare än stödjande riskerar att möta organisatoriskt motstånd och försämra arbetsmiljön.

Ur ett bredare samhällsperspektiv finns även en fördelningsmässig dimension att beakta. Den ekonomiska analysen, se [underavsnitt 4.8](#), visar att en investering i sensorer delvis kan finansieras genom höjda sophämtningsavgifter för hushållen, med en uppskattad kostnadsökning på 15–32 kronor per månad. Denna kostnad drabbar alla hushåll oberoende av ekonomisk situation och frågan om betalningsvilja och skälighet bör beaktas i ett framtida beslut om implementering. Ytterligare en etisk dimension rör risken att en optimerad sophanteringsprocess minskar behovet av personal. Om systemet innebär att samma mängd avfall kan hanteras med färre fordon och ett reducerat antal arbetstimmar, kan det på sikt påverka sysselsättningen inom branschen negativt. Denna aspekt behandlas inte explicit i rapporten men utgör en relevant samhällelig konsekvens av det föreslagna systemet.

Slutligen berör arbetet ett flertal aktörer och grupper på olika sätt. De mest direkt berörda är de anställda hos Renova, särskilt chaufförer och trafikledare, vars dagliga arbete skulle förändras vid en implementering. Som nämnts ovan väcker detta frågor om autonomi, arbetsbelastning och upplevd övervakning. Göteborgs Stads invånare berörs både genom bättre servicenivå och genom eventuellt höjda avgifter. Renova och Göteborgs Stad som organisationer påverkas i sina roller som operatör respektive beställare, med potentiella vinster i form av lägre kostnader och bättre måluppfyllelse. Volvo berörs som möjlig leverantör och plattformsägare, med både affärsmässiga möjligheter och ett etiskt ansvar för hur den insamlade datan hanteras och skyddas. Sammantaget bedöms arbetet ha en övervägande positiv nytta för samhället men realisering av det föreslagna systemet förutsätter att integritets- och autonomifrågor hanteras aktivt och transparent och att berörda parter, såsom chaufförer, involveras i utformningen och att datadelning sker i enlighet med gällande dataskyddslagstiftning.

7 Slutsats

Slutsatsen sammanfattar studiens mest framträdande resultat. Genom att återkoppla till studiens syfte och forskningsfrågor diskuteras i vilken utsträckning en digital tvilling och dynamisk ruttopptimering kan bidra till ett mer effektivt sophanteringssystem.

7.1 Sammanfattning av arbetets resultat

Arbetet har undersökt hur en digital tvilling kan användas för att effektivisera sophämtningen i Göteborgs Stad. Detta genomfördes genom att inledningsvis kartlägga hur den nuvarande sophämtningsprocessen fungerar genom intervjuer med relevanta aktörer inom systemet. Resultatet visar att stora mängder data finns tillgängligt hos Renova och Göteborgs Stad. Inom studien har denna data använts för att analysera hur processerna ser ut i nuläget samt för att modellera hur informationsflöden och arbetsprocesser skulle kunna se ut i ett scenario där en digital tvilling används. Analysen indikerar att en digital tvilling skulle kunna ersätta delar av den manuella planering som idag utförs av trafikledare samt möjliggöra integration av fler datakällor, exempelvis sensorer och API:er, i systemet. Detta skulle i sin tur kunna bidra till ett mer resurs- och kostnadseffektivt system.

Resultatet visar även att sensorer kan vara en viktig komponent vid utveckling av en digital tvilling för sophantering. Genom att implementera sensorer i avfallskärl, kan realtidsdata om fyllnadsgrad samlas in. En realtidsövervakning av fyllnadsgraden hade möjliggjort en mer behovsstyrd sophämtning, där tömning endast sker vid behov. Med denna data hade insamlingsprocessen kunnat göras om som en dynamisk behovsstyrd sophämtning. Detta hade kunnat öka täckningsområdet per insamlingsfordon och därmed minska behovet av både fordon och personal. Sammantaget indikerar resultatet att användningen av sensorer kan bidra till en mer resurseffektiv sophämtningsprocess.

För att stärka denna analys genomfördes beräkning av vilka teoretiska besparingar som skulle kunna uppnås genom implementering av en digital tvilling. Analysen avgränsades till två centrala faktorer, ruttopptimering och fyllnadsgrad i sopkärl. Resultaten som presenteras i [Tabell 16](#) respektive [Tabell 17](#) visar att optimering inom dessa områden kan minska resursanvändningen i form av bränsle och personal. Beräkningarna indikerar att de årliga kostnaderna potentiellt skulle kunna reduceras med cirka 4,79–10,4 procent.

För att ytterligare konkretisera potentialen av behovsstyrd sophämtning utvecklades en simuleringsmodell för att visualisera hur systemet skulle kunna fungera i praktiken. Resultatet från simuleringsmodellen visar på en högre utnyttjande grad av kärlden samt färre onödiga tömningar och färre överfyllda kärl. Däremot visar simuleringsmodellen på fler körtillfällen och ökad total kör-

sträcka men kortare körsträcka per tur. Potentiellt kan fler områden knytas samman för att öka täckningsområdet per fordon.

En central utmaning kopplad till implementering av en digital tvilling är att relevant data är fragmenterad mellan olika aktörer, vilket försvårar möjligheten att skapa en sammanhängande digital representation av systemet som inkluderar all data. Dessutom hade införandet av ett datadrivet arbetssätt krävt förändring i etablerade rutiner, vilket kan möta organisatoriskt motstånd och kräva utveckling av ny kompetens.

7.2 Svar på forskningsfrågorna

7.2.1 Forskningsfråga 1

Vilken relevant data finns att tillgå som kan delas mellan aktörer för att möjliggöra en konceptuell digital tvilling inom sophantering?

Genom intervjuer och analys av den nuvarande sophämningsprocessen identifierades flera centrala datatyper som är i relevans vid skapandet av en digital tvilling. Resultatet visar att det finns en betydande mängd data tillgänglig hos Renova och Göteborgs Stad. Datan inkluderar bland annat fordonsdata, bränsleförbrukning och historisk viktdata från tömningar. Vidare identifierades data som finns tillgängliga genom API:er. Dessa API:er innehåller information som kan vara relevant att inkludera i en digital tvilling för att möjliggöra en dynamisk ruttplanering som är mer stads- och miljöanpassad. Exempel på sådana datakällor är väder- och trafikdata, vilka kan påverka den dagliga planeringen och genomförandet av sophämtningen.

Vidare indikerar resultatet att fyllnadsgradsdata i sopkärl är särskilt relevant för utvecklingen av en digital tvilling. Genom att implementera sensorer som mäter fyllnadsnivån i kärLEN kan kontinuerlig realtidsdata samlas in. Detta möjliggör informationsbaserade beslut om när och hur tömning bör genomföras. Sammanfattningsvis är data kopplad till fordonsposition, rutter, fyllnadsgrad i kärl och API:er av stor betydelse för att möjliggöra en fungerande digital tvilling. Genom att dela och integrera datan mellan aktörer kan en mer komplett digital representation av sophanteringssystemet skapas, vilket i sin tur möjliggör förbättrad analys, simulering och optimering av insamlingsprocessen.

7.2.2 Forskningsfråga 2

Hur kan en digital tvilling skapa affärsmöjligheter för aktörer inom sophantering i Göteborgs kommun?

En digital tvilling inom sophantering kan skapa affärsmöjligheter genom att omvandla dagens fragmenterade dataflöden till samordnade datadrivna beslut. Genom att integrera information om exempelvis fordonsposition, bränsleförbrukning, fyllnadsgrad, väderförhållanden och trafikflöden kan aktörer få ett bättre underlag för planering, uppföljning och optimering av sophämtningsprocessen.

För Volvo innebär det att utveckla en digital lösning inom Volvo Connect som vid sidan av traditionell fordonsförsäljning kan generera nya inkomstkällor. Detta kan stärka Volvos roll som tjänsteleverantör och differentiera dem från konkurrenter genom att erbjuda ett verktyg som sänker kundernas långsiktiga livscykelkostnad. För sophämtningsaktörer som Renova skapar en tjänst likt detta affärsmöjligheter i sänkta operativa kostnader. En digital tvilling hade minskat antalet onödiga körningar, minskad personaltid och förbättrad kundupplevelse. Detta kan leda till lägre operativa kostnader och bättre utnyttjande av resurser vilket visas i Cost-of-doing-nothing med besparingar på mellan 4,79% och 10,4% av de operativa kostnaderna. För Göteborgs Stad ligger affärsmöjligheter framför allt i ökad kostnadseffektivitet, bättre uppföljning och förbättrad måluppfyllelse. En digital tvilling kan även bidra till att staden når sina mål om effektivare sophantering och minskade utsläpp genom bättre kontroll av avfallssystemet. Dessutom kan även en digital tvilling skapa ett bättre beslutsunderlag för upphandlingar av aktörer.

Sammanfattningsvis kan en digital tvilling skapa affärsmöjligheter genom att skapa ett bättre beslutsunderlag, förbättrad resursanvändning och stärka aktörers arbete mot både miljömässiga och ekonomiska mål. Den största potentialen ligger därmed i att skapa ett samordnat och datadrivet arbetssätt inom sophantering.

7.2.3 Forskningsfråga 3

Hur kan en digital tvilling effektivisera och underlätta sophanteringsprocessen och vilka hinder samt möjligheter finns det?

En digital tvilling möjliggör en övergång från ett statiskt, schemabaserat system till ett dynamiskt och behovsstyrt sophanteringssystem. Genom att integrera data från flera källor, däribland fyllnadsgrad, fordonsdata och ruttinformation, skapas förutsättningar för att tömning sker baserat på faktisk

efterfrågan snarare än fasta intervall. Simuleringsresultaten indikerar att detta resulterar i en högre genomsnittlig fyllnadsgrad vid tömning, färre onödiga tömningar och ett minskat antal överfyllda kärl. Den mer effektiva resursanvändningen innebär även att utsläpp och kostnader kan reduceras, samtidigt som fordonsflottan kan omfördelas för att täcka fler och större områden utan att antalet fordon nödvändigtvis ökar.

Ur ett operativt perspektiv innebär ett digitalt tvillingsystem även en förenkling av arbetsprocessen. För förare reduceras behovet av erfarenhetsbaserad navigering, då optimerade rutter och beslutsstöd tillhandahålls direkt via systemet, vilket minskar den kognitiva belastningen och förenklar upplärning av ny personal. För trafikledare skapas bättre förutsättningar för datadrivet beslutsfattande, där realtidsinformation och visualiseringar ersätter manuella bedömningar.

Den digitala tvillingen möjliggör även ett ökat informationsutbyte mellan aktörer. Genom data-delning mellan exempelvis avfallsbolag och fordonstillverkare kan fordon och system utvecklas i samverkan och bättre anpassas efter verksamhetens faktiska behov. Plattformar såsom Volvo Connect kan i detta sammanhang fungera som en samlingsplats för datainsamling och analys. För Göteborgs Stad innebär detta ett verktyg för bättre överblick och möjlighet att nå uppsatta miljö- och hållbarhetsmål, där minskade utsläpp och effektivare logistik bidrar till en mer hållbar stadsutveckling.

Trots de identifierade möjligheterna finns flera hinder för implementering. En central utmaning utgörs av dataintegration, då relevant information i nuläget är fragmenterad mellan olika aktörer och system, vilket kräver både tekniska lösningar och organisatorisk samverkan. Dessutom medför implementeringen investeringar i sensorer, IT-infrastruktur och systemutveckling, samt regulatoriska hänsyn såsom dataskydd enligt GDPR. Slutligen innebär övergången till ett datadrivet arbetssätt krav på förändringsledning och kompetensutveckling, och systemets funktion är beroende av hög datakvalitet och teknisk robusthet. Sammantaget visar studien att en digital tvilling har potential att bidra till en mer effektiv, flexibel och datadriven sophanteringsprocess med värde för flera aktörer. För att realisera denna potential krävs dock att tekniska, organisatoriska och ekonomiska utmaningar hanteras strukturerat.

8 Rekommendationer

Utifrån analysen av resultaten och intervjuerna lämnas följande rekommendationer till respektive aktör.

8.1 Volvo Group Trucks

Baserat på denna studie kan konkreta rekommendationer ges för hur en digital tvilling bör utformas för att stödja sophanteringsbranschen. Samtidigt kan mer generella rekommendationer formuleras för utvecklingen av ett övergripande system som även kan tillämpas inom andra verksamheter.

För sophanteringsbranschen är den primära rekommendationen att stödja aktörer som Renova genom att minska gapet mellan teknisk utveckling och praktisk tillämpning. I nuläget har sophanteringsbranschen inte kommit lika långt i sin tekniska utveckling som aktörer likt Volvo, vilket indikerar en betydande potential för förbättring. Ett initialt steg är att identifiera flaskhalsar och behov hos de berörda aktörerna, där implementeringen av systemstöd kan skapa störst effekt.

Ett konkret exempel är implementeringen av ett integrerat system för ruttoptimering baserat på fyllnadsgrad, vilket enligt studiens resultat skulle kunna generera betydande nytta för aktörer som Renova. Genom att integrera en sådan funktion i Volvo Connect finns även potential att skapa värde för Volvo, samtidigt som verksamheternas operativa effektivitet förbättras.

På en mer övergripande nivå kan liknande rekommendationer tillämpas för Volvo som helhet. Detta innebär att vidareutveckla Volvo Connect till en plattform som kan hantera och skapa värde utifrån olika typer av indata, anpassade efter specifika branscher och verksamheters behov. Genom att möjliggöra för aktörer att integrera sin egen data och erhålla verksamhetsnytta skapas förutsättningar för både ökad konkurrenskraft och ekonomiskt värde för Volvo, samtidigt som användarnas operativa arbete kan effektiviseras.

8.2 Renova

För Renova rekommenderas det i första hand att börja bearbeta och utnyttja den historiska data som har samlats in. Ett centralt steg är att beräkna medelvärden för fyllnadsgrad per kärl, vilket kan användas som underlag för att förbättra simuleringar och ruttplanering. Vidare bör en kartläggning av chaufförernas arbete genomföras, med särskilt fokus på deras behov och krav, för att säkerställa att framtida systemlösningar överensstämmer med deras arbetsprocesser och förväntningar.

Slutligen bör det nuvarande systemet med adresslistor utan kartstöd ersättas med ett mer modernt system som inkluderar dynamiska kartor. Detta framstår som särskilt relevant då chaufförerna idag inte använder ett standardiserat tillvägagångssätt utan snarare arbetar baserat på erfarenhet, vilket indikerar ett tydligt behov av förbättrat systemstöd.

8.3 Göteborgs Stad

Utifrån studiens resultat är en rekommendation för Göteborgs stad att implementera och investera i sensorer. Resultatet indikerar att en sådan investering kan vara lönsam samt bidra till sänkta kostnader och ökad effektivitet. Vidare kan optimering med avseende på miljö möjliggöra minskade utsläpp, särskilt i de fall omställningen till eldrivna fordon inte sker i tillräckligt snabb takt. Utöver detta kan Göteborgs Stad spela en central roll genom att ta initiativ till utvecklingen av en digital tvilling. Ett sådant initiativ kan fungera som en drivande faktor för att möjliggöra samverkan mellan aktörer och därmed bidra till att realisera arbetet.

Källförteckning

- Allen, D. (2021). *DigitalTwinSummitKeynote_final*. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210023699/downloads/ASME%20Digital%20Twin%20Summit%20Keynote_final.pdf
- Alnanih, R., Elrefaei, L., & Al-Ahwal, A. (2025). Advancing Sustainability Through an IoT-Driven Smart Waste Management Framework. *Sustainability*, 17(21), 9803. <https://doi.org/10.3390/su17219803>
- AMCS. (u. å). *Waste Management Industry Solutions*. <https://www.amcsgroup.com/industries/waste-management/>
- Barricelli, B. R., Casiraghi, E., & Fogli, D. (2019). A survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953499>
- Bergmann, D. (2026). *What Is Claude AI?* <https://www.ibm.com/think/topics/claude-ai>
- Bigbelly. (u. å). *Bigbelly*. <https://bigbelly.com/products/bigbelly-smart>
- Bitner, M. J., Ostrom, A. L., & Morgan, F. N. (2008). Service Blueprinting: A Practical Technique for Service Innovation. *California Management Review*, 50(3), 66–94. <https://doi.org/10.2307/41166446>
- Bryman, A. (2018). *Samhällsvetenskapliga metoder* (3. utg.). Liber.
- Deniz, B. K., Gnanasambandam, C., Harrysson, M., Hussin, A., & Srivastava, S. (2023). *Unleashing developer productivity with generative AI*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/unleashing-developer-productivity-with-generative-ai>
- Enevo. (2024). *Enevo*. <https://enevo.com>
- European Parliament and Council. (2016). Regulation (EU) 2016/679 (General Data Protection Regulation). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0679>
- Ferrer, J., & Alba, E. (2019). BIN-CT: Urban waste collection based on predicting the container fill level. *BioSystems*, 186, 103962. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2019.04.006>
- Gregory, R. W., & Muntermann, J. (2014). Heuristic theorizing: Proactively generating design theories. *Information Systems Research*, 25(3), 639–653. <https://doi.org/10.1287/isre.2014.0533>

- Göteborgs Stad. (u. å-a). *Klimatmål och klimatstrategi för Göteborg*. <https://goteborg.se/wps/portal/enhetssida/miljo-och-klimat-goteborg/tillsammans-for-miljon/klimatneutrala-goteborg-2030?uri=gbglnk%3A20241206103305941>
- Göteborgs Stad. (u. å-b). *Om Göteborgs digitala tvilling*. <https://goteborg.se/wps/portal/start/goteborg-vaxer/sa-planeras-staden/goteborgs-digitala-tvilling/om-goteborgs-digitala-tvilling>
- Hess, C., Dragomir, A. G., Doerner, K. F., & Vigo, D. (2024). Waste collection routing: a survey on problems and methods. *Central European Journal of Operations Research*, 32, 399–434. <https://doi.org/10.1007/s10100-023-00892-y>
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification [Paper presentation]. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- Kumar, R., Kori, N., & Chaurasiya, V. K. (2023). Real-time data sharing, path planning and route optimization in urban traffic management. *Multimedia Tools and Applications*, 82, 36343–36361. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-15148-9>
- Kwikima, M. M., & Ngole, F. (2025). GIS-based optimization of solid waste collection points and routes: A case study of Majengo Ward, Sumbawanga Municipality, Tanzania. *Cleaner Waste Systems*, 12, 100372. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100372>
- Li, H., Tian, Y., Li, Z., Wu, C., & Liu, Y. (2023). Life-cycle economic and environmental impacts of reverse logistics in residential areas. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.04.016>
- Malathy, N., Kaviyaadharshani, D., & Ashifa, S. (2022). Smart trash bin level monitoring system. *International Journal of Health Sciences*, 6(S3), 5799–5820. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS3.7235>
- Mamoun, K. A., Hammadi, L., Ballouti, A. E., Novaes, A. G. N., & de Cursi, E. S. (2023). Modeling Uncertain Travel Times in Distribution Logistics. *Applied Sciences*, 13. <https://doi.org/10.3390/app132011242>
- Maraqqa, M. A., Swar Aldahab, E. Z., Ghanma, M., & Al Kaabi, S. K. (2018). Optimization of fuel consumption for municipal solid waste collection in Al Ain city, UAE. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 383(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/383/1/012026>
- OpenStreetMap. (u. å). Upphovsrätt och licens. <https://www.openstreetmap.org/copyright>

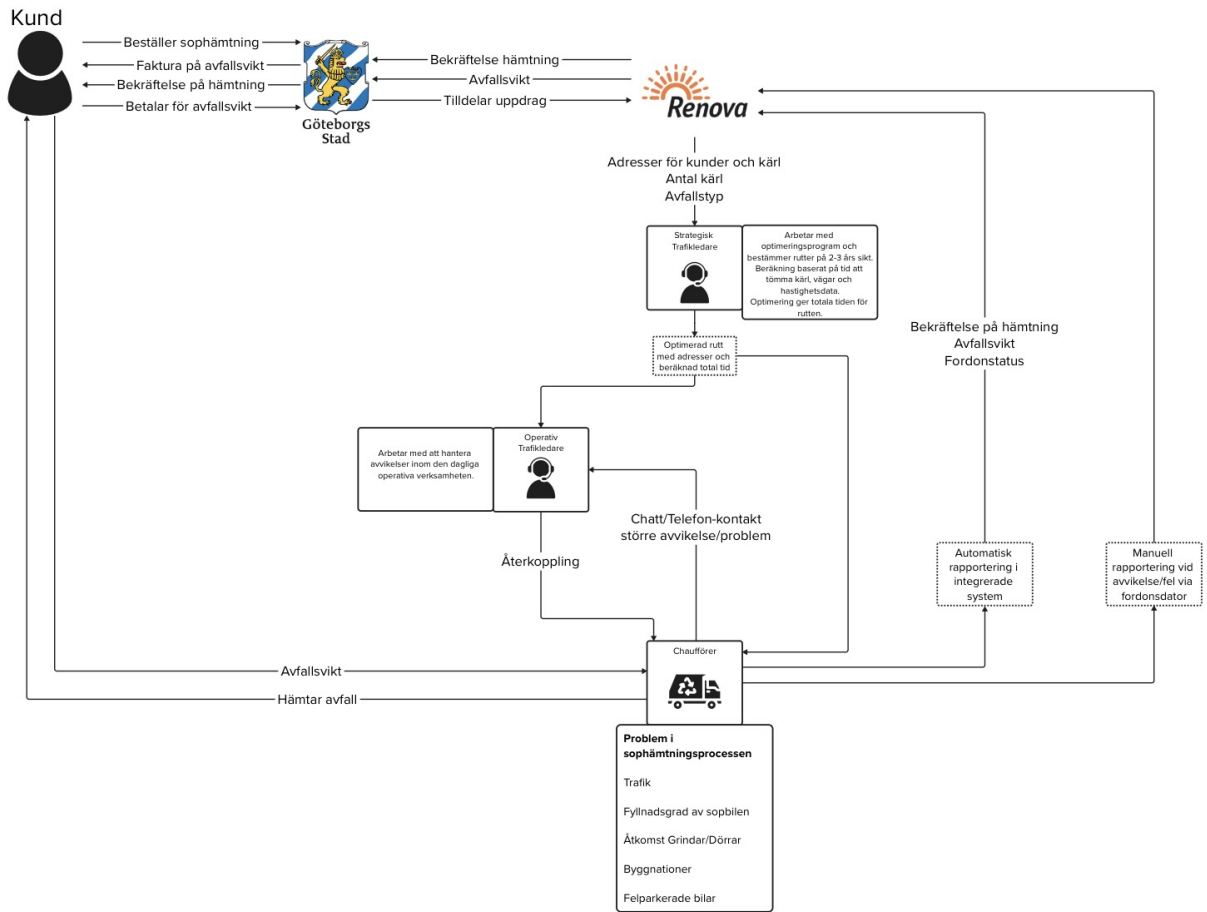
- Ostaeyen, J. V., & Duflou, J. (2010). Assessing the potential of business model innovation for investment goods through Life Cycle Costing. *Proceedings of the 2nd CIRP IPS2 Conference*, 527–534. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:377174/FULLTEXT01.pdf>
- Pires, L. M., Figueiredo, J., Martins, R., & Martins, J. (2025). IoT-Enabled Real-Time Monitoring of Urban Garbage Levels Using Time-of-Flight Sensing Technology. *Sensors*, 25(7), 2152. <https://doi.org/10.3390/s25072152>
- Putri, S. R., Muda, K., Saggaf, A., & Astuti, D. (2018). Municipal Solid Waste Transport Operational Cost of Seberang Ulu Area, Palembang City. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186801015>
- Randhawa, P., Marshall, F., Kushwaha, P. K., & Desai, P. (2020). Pathways for Sustainable Urban Waste Management and Reduced Environmental Health Risks in India. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2, 14. <https://doi.org/10.3389/frsc.2020.00014>
- Renova AB. (2024). *Program för klimatneutralt Renova*. <https://www.renova.se/hallbarhet/nu-fangar-vi-koldioxiden--for-klimatet-och-framtiden/tidigare-beslut-och-vagen-framat/>
- Renova AB. (2025). *Årsredovisning 2025 (Årsredovisning)*. Renova AB. Göteborg. https://www.renova.se/globalassets/11.-pdf-er/arsredovisningar/renova_ab_arsredovisning_2025.pdf
- Sensoneo. (2024). *Choosing Smart Waste Sensor: 6 Key Steps for Cities and Municipalities*. <https://www.sensoneo.com/waste-library/choosing-smart-waste-sensor/>
- Shafik, A. K., Elkhedr, M., Said, D., & Hassan, A. (2022). *Environmental Impacts of MSW Collection Route Optimization Using GIS: A Case Study of 10th of Ramadan City, Egypt*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.02652>
- SSAM, Bintel AB, PreZero & Wexnet. (2023). *Innovationsprojektet "Smarta sopkär!l" inom ramen för Diaccess*. SSAM. <https://ssam.se/download/18.6302a6dd1872c3f49b151b38/1680524294250/Slutrapport%20Smarta%20Sopk%C3%A4rl.pdf>
- Tao, Y., & Kung, C. (1991). Formal definition and verification of data flow diagrams. *Journal of Systems and Software*, 16(1), 29–36. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0164-1212\(91\)90029-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0164-1212(91)90029-6)
- Touloumidis, D., Madas, M., Zeimpekis, V., & Ayfantopoulou, G. (2025). Weather-Related Disruptions in Transportation and Logistics: A Systematic Literature Review and a Policy Implementation Roadmap. *Logistics*, 9. <https://doi.org/10.3390/logistics9010032>

Wang, W., Zaheer, Q., Qiu, S., Wang, W., Ai, C., Wang, J., Wang, S., & Hu, W. (2024). *Digital Twin Technologies in Transportation Infrastructure Management* (1. utg.). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-5804-7>

Volvo Group. (2026). *Volvo Connect - hantera din vagnpark*. <https://www.volvotrucks.se/sv-se/services/fleet-management/volvo-connect.html>

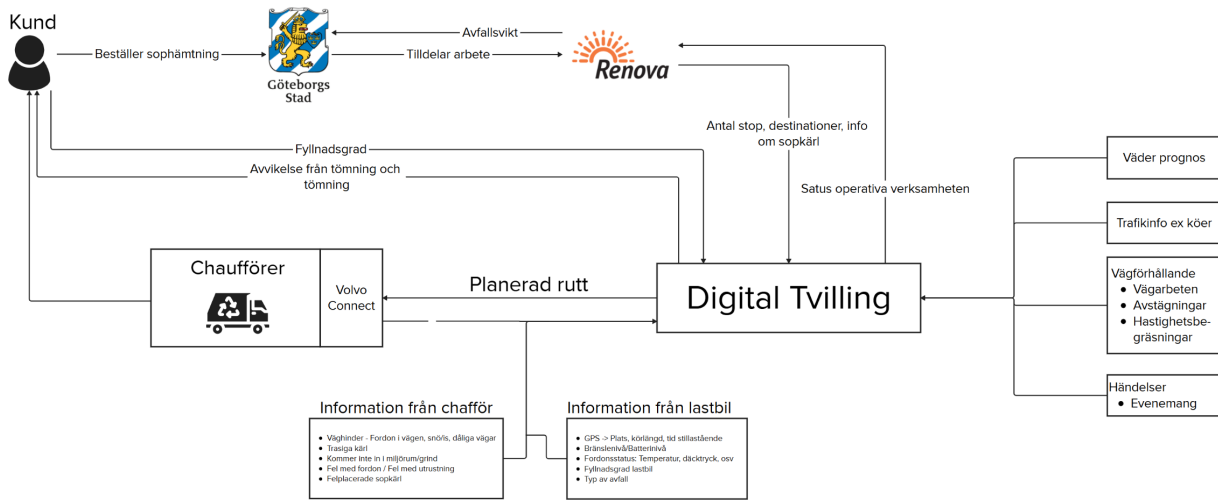
Zhang, Y., Shi, K., & Li, B. (2026). A Brief History of Digital Twin Technology. *PET Clinics*. <https://doi.org/10.1016/j.cpet.2025.09.006>

A Nulägets flödesschema



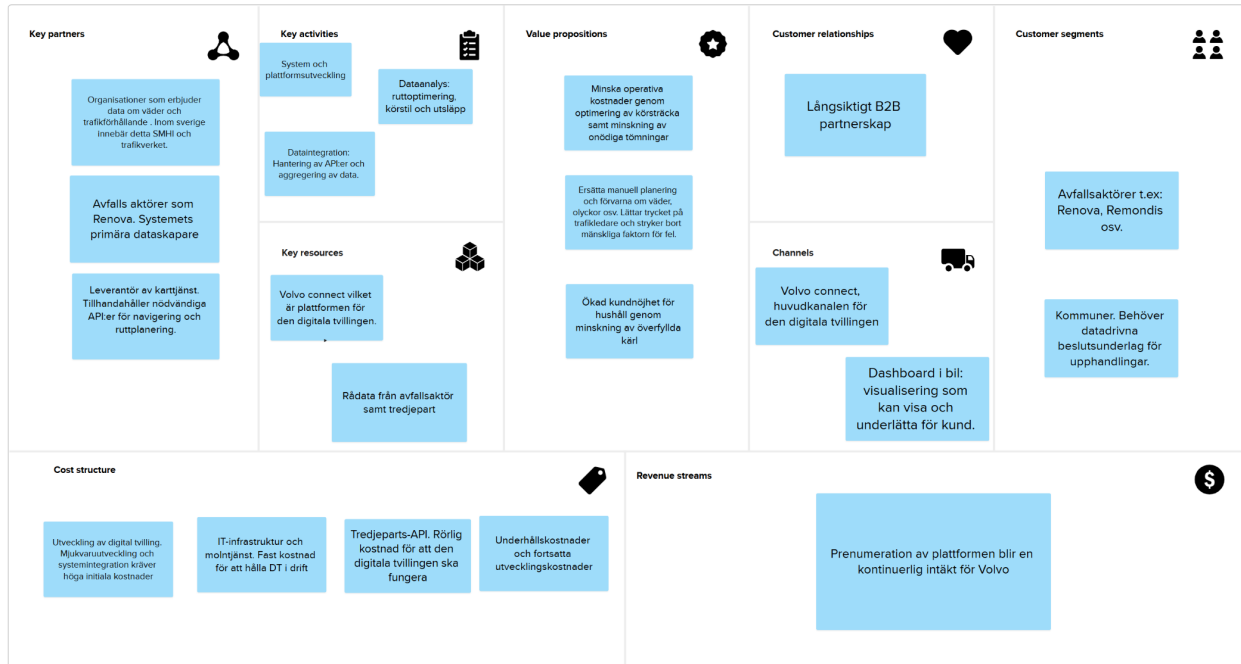
Figur 7: Nulägets flödesschema

B Idealt scenario flödesschema



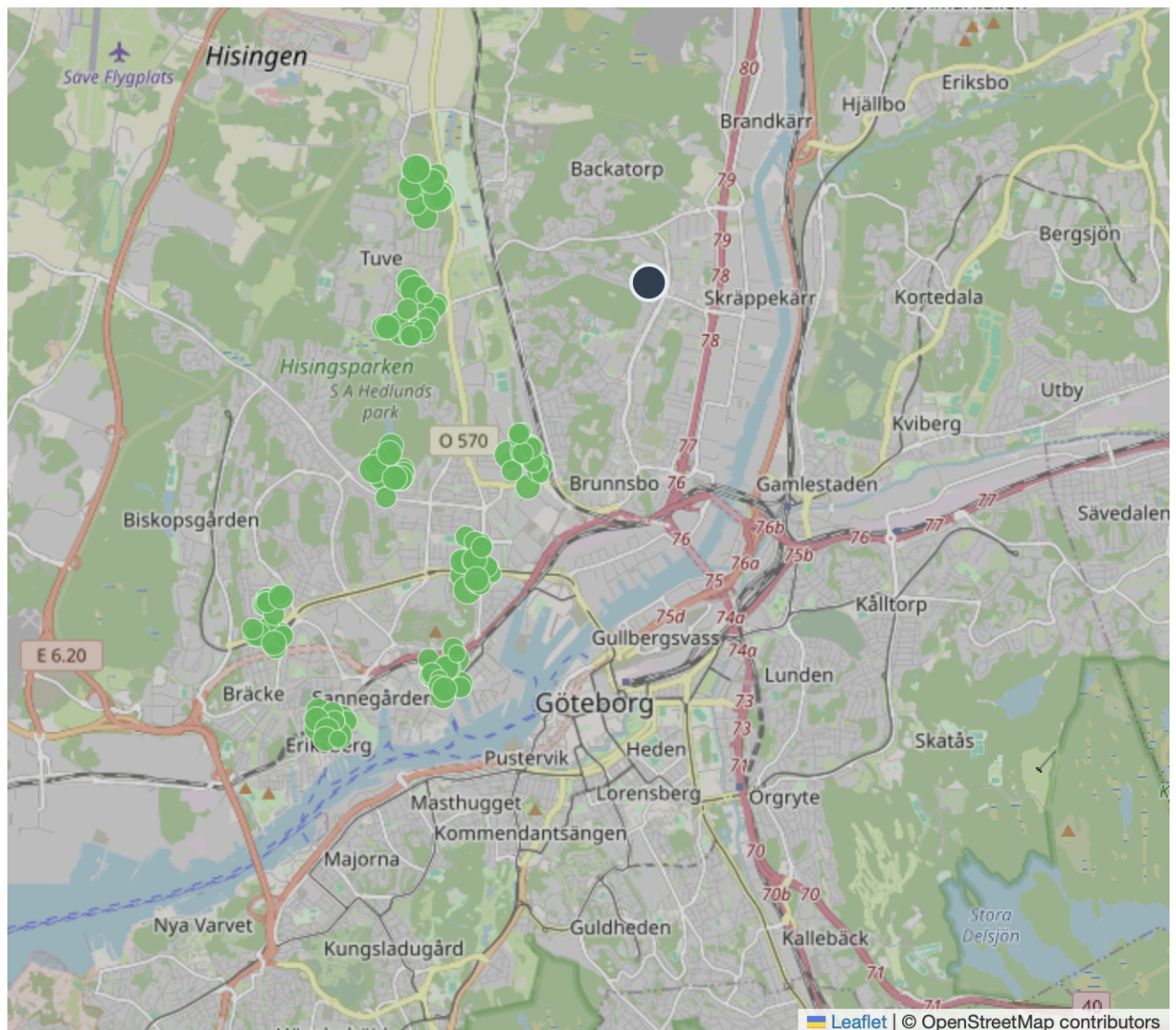
Figur 8: Bild på idealt scenario flödesschema

C Business Model Canvas



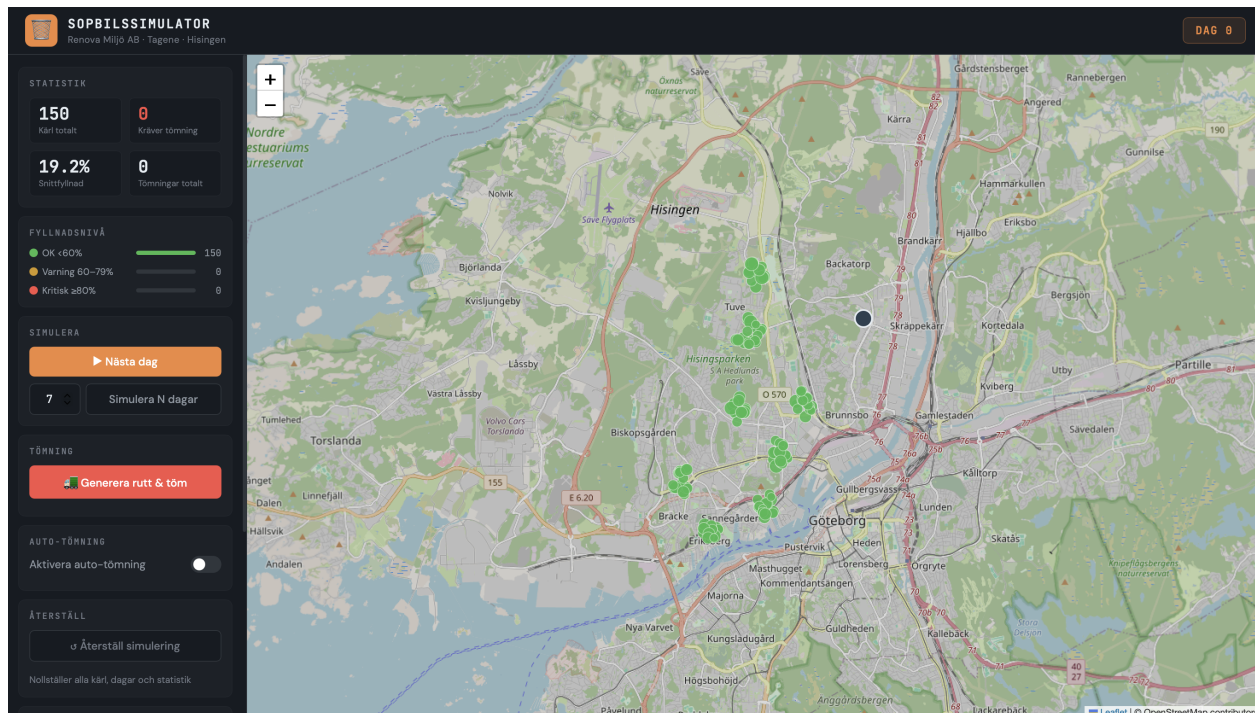
Figur 9: Business Model Canvas för Volvo

D Sopkärlens placering



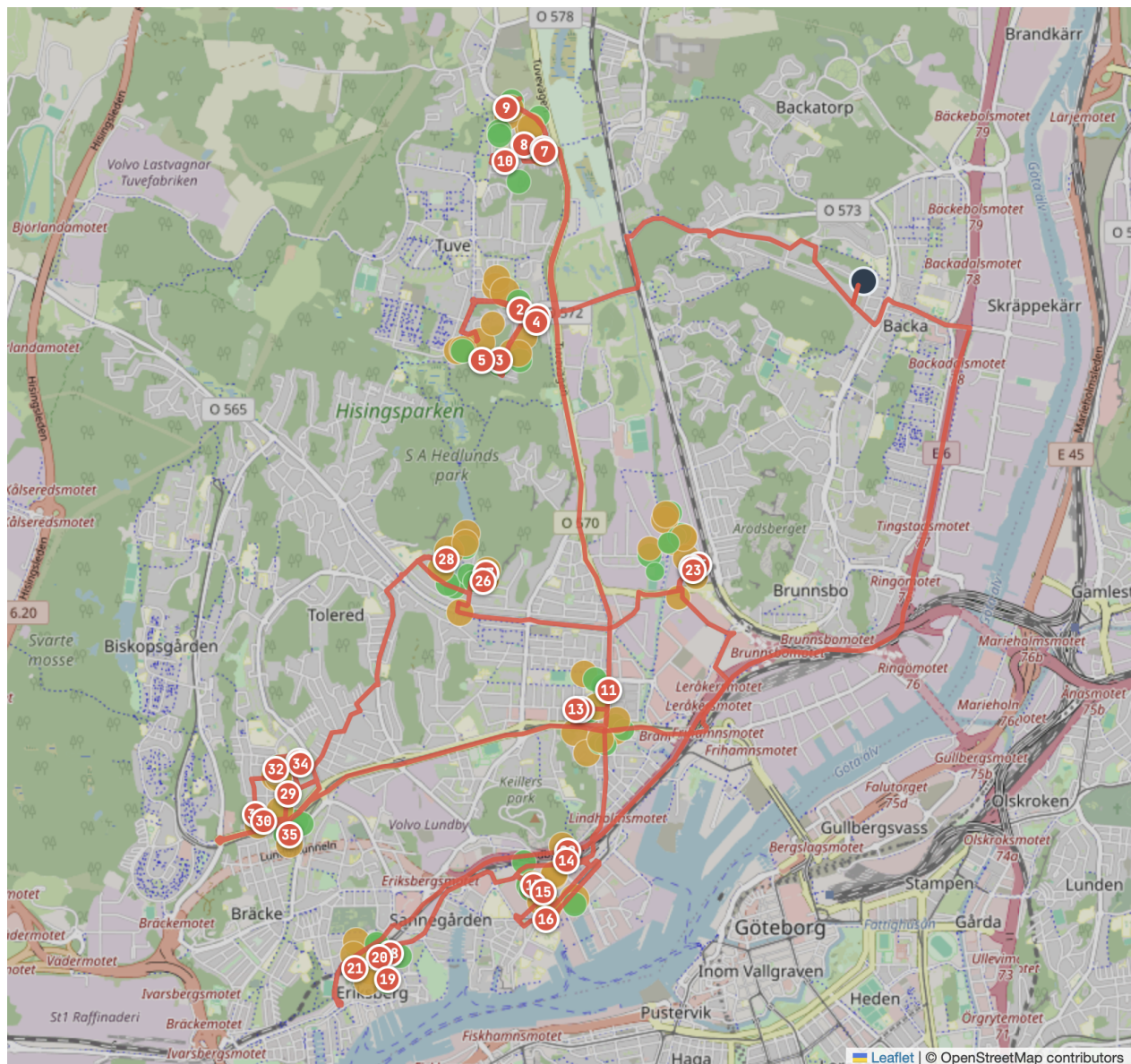
Figur 10: Sopkärlens placering i kluster, kärl illustreras med grön punkt och utgångspunkt som blå (OpenStreetMap, u. å) (CC BY-SA 2.0)

E Övergripande Interface



Figur 11: Simuleringsmodellens användarinterface (OpenStreetMap, u. å) (CC BY-SA 2.0)

F Illustration av ruttplanering



Figur 12: Simuleringsmodellen då tömningsrutt genererats (OpenStreetMap, u. å) (CC BY-SA 2.0)

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige

www.chalmers.se



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY