

Drivkrafter och utmaningar vid automatisk lastning och lossning av autonoma lastbilar

Robin Hanson¹, Tarun Agrawal¹, Konstantina Katsela², Pia Wijk³, Måns Isacsson⁴, Nils Andersson⁵ och Henrik Bäcklund⁶

- 1. Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
031-7721000
robin.hanson@chalmers.se; tarun.agrawal@chalmers.se*
- 2. Göteborgs Universitet
411 24 Göteborg
031-7860000
konstantina.katsela@gu.se*
- 3. Einride AB
Regeringsgatan 65
111 56 Stockholm
076 785 63 69
pia.wijk@einride.tech*
- 4. SKF
Sven Wingquists gata 2
41505 Göteborg
070 637 20 67
mans.isacsson@skf.com*
- 5. MariTerm
Sporthallsvägen 2a
263 35 Höganäs
042 -33 31 00
nils.andersson@mariterm.se*
- 6. Toyota Material Handling
Pumpgatan 1
417 55 Göteborg
0730245693
henrik.backlund@toyota-industries.eu*

SAMMANFATTNING

I takt med att automationsgraden ökar i logistikkedjorna, så att fabriker, lager och även transporter i ökande utsträckning automatiseras, blir det alltmer viktigt att även hitta lösningar för automatisk lastning och lossning. Vid tillämpning av autonoma transporter kan situationen uppstå att ingen människa finns på plats för att manuellt genomföra lastning och lossning. Denna artikel syftar till att identifiera både drivkrafter och utmaningar kopplade till tillämpning av automatiserad lastning och lossning av autonoma lastbilar. Artikeln baserar sig

huvudsakligen på en kvalitativ fallstudie, och data har samlats in genom observationer, intervjuer samt en fokusgruppsdiskussion. Genom fallstudien identifieras utmaningar vid automatiserad lastning och lossning. I tillägg till detta presenterar artikeln även drivkrafter för att utveckla lösningar för automatiserad lastning och lossning. Detta görs utifrån flera olika parterers perspektiv: ett tillverkningsföretag, en leverantör av autonoma transportlösningar, en leverantör av materialhanteringsutrustning, och ett företag som är specialiserat på lastsäkring. Artikeln visar att det finns starka drivkrafter för att utveckla lösningar för automatiserad lastning och lossning. Det finns potentiella fördelar relaterade till miljö, säkerhet och effektivitet, där automation kan bidra till jämna och förutsägbara flöden. Samtidigt visar artikeln också att en automatisering av lastning och lossning är en komplex uppgift som är förknippad med många utmaningar. Utmaningarna grupperas i artikeln samman utifrån fem teman: 1) utmaningar kopplade till godsets fysiska egenskaper, 2) utmaningar kopplade till planering och interaktion med informationssystem, 3) utmaningar kopplade till transport på och av trailern, 4) utmaningar kopplade till placering på lastbilen och lastsäkring, samt 5) utmaningar kopplade till ansvar och juridiska frågor.

1. INLEDNING

Autonoma transporter har på senare tid fått alltmer uppmärksamhet och anses ha stor potential att förbättra säkerhet, hållbarhet och kostnadseffektivitet inom transportsektorn. Dessutom erbjuder de en lösning på det ständigt ökande problemet med förarbrist. En avgörande aspekt av autonom transport är utformningen av lastnings- och lossningsprocesserna, som i många sammanhang har varit förarnas ansvar. I en värld där ingen mänsklig förare är närvarande vid lastning och lossning, uppstår ett behov av andra lösningar.

En enkel strategi skulle vara att överlåta lastnings- och lossningsuppgifterna till personal på avlämnande och mottagande anläggningar. Men denna lösning är inte alltid tillgänglig, och den kan också bli mindre praktisk i framtiden. Automationen sprider sig snabbt även i produktions- och lagermiljöer, vilket innebär att det inte längre är en självklarhet att det finns personal på plats för att hantera dessa processer. Lastnings- och lossningsmomenten involverar emellertid flera komplexa steg, inklusive fysisk hantering av gods, lastsäkring, informationsutbyte och administration. Att automatisera dessa steg innebär utmaningar som måste adresseras noggrant.

Denna artikel syftar till att identifiera både drivkrafter och utmaningar kopplade till tillämpning av automatiserad lastning och lossning av autonoma lastbilar. Därmed ger artikeln en fördjupad förståelse för de komplexa frågorna kring automatisering av lastning och lossning inom ramen för autonoma transporter. Genom att känna till och förstå dessa utmaningar blir det lättare att förbereda sig för en framtid där både transporter och lastnings- och lossningsprocesser blir alltmer automatiserade.

Artikeln bygger på en fallstudie vid SKF:s fabrik i Göteborg, där autonoma lastbilar har testats för genomförandet av transporter från fabrik till ett närliggande lager. Fallstudien baserar sig även på ett pilotprojekt där lastning och lossning hos SKF automatiseras med hjälp av självkörande truckar (AGV:er). Inom ramen för fallstudien genomfördes en kartläggning av nuvarande flöden, både fysiska och informationsmässiga. Vidare genomfördes intervjuer med relevant personal och en fokusgruppsdiskussion. Genom fallstudien identifieras i artikeln de utmaningar som måste övervinnas för att uppnå fullständig automatisering av lastnings- och lossningsprocesserna. I pilotprojektet med fokus på automatisk lastning och lossning deltar, förutom SKF, även Einride, Toyota Material Handling och MariTerm som aktiva parter,

tillsammans med forskare från Chalmers och Göteborgs universitet. I artikeln redogör företagen även för de drivkrafter de ser för automatisk lastning och lossning.

Härnäst, i avsnitt 2, presenteras artikelns teoretiska ramverk. Därefter presenteras i avsnitt 3 artikelns metod, som huvudsakligen bygger på en fallstudie. I avsnitt 4 presenteras drivkrafter för de olika parterna som är involverade i godsflödet som studeras. Därefter presenteras i avsnitt 5 fallbeskrivningen samt artikelns analys. I avsnitt 6 diskuteras resultaten. Slutligen presenterar avsnitt 7 slutsatserna från artikeln.

2. TEORETISKT RAMVERK

Avsnittet 2.1 ger en kort genomgång av relevant litteratur inom området samt lyfter fram befintliga luckor. Detta följs i 2.2. av en kort översikt över studiens teoretiska ansats, vilket är en systemansats.

2.1 State of the art

Marknaden för logistikautomation förutspås växa avsevärt under de kommande åren, med en ökad automationsgrad i lager, materialhanteringssystem och transport. Trots denna utveckling har relativt lite uppmärksamhet hittills ägnats den potentiella automationen av processerna för lastning och lossning, som fungerar som gränssnitt mellan lager och transporter och som därmed utgör en avgörande aspekt av logistiken. En del forskning har berört området, ofta genom att föreslå lösningar för att hantera avgränsade aspekter av lastning och lossning. Shen et al. (2019) föreslår ett ramverk för automatiserad lastning och lossning, som använder parallellt utförande av ett fysiskt och ett konstgjort system. Zhu et al. (2021) tillämpar digital tvillingteknologi vid design och utveckling av ett intelligent styrsystem för automatisk lastning och lossning. Cao och Dou (2021) föreslår en metod för implementering av automation av lastning och lossning av containrar med hjälp av en automatiserad gaffeltruck. Wilhelm et al. (2022) utvärderar en föreslagen lösning för semi-autonom containerlossning. Stoyanov et al. (2016) tar också upp området för lossning av containrar och beskriver utmaningar i samband med robotlossning. Studien behandlar till stor del robothantering av varor, inklusive aspekter av perception, rörelseplanering och grepp. Med sitt fokus på containerlossning tar studierna av Wilhelm et al. (2022) och Stoyanov et al. (2016) inte upp aspekter som exempelvis att automatiskt öppna lastbilens lucka eller säkra lasten. Dessa aspekter beaktas däremot i den här artikeln, som har ett brett perspektiv som inkluderar alla processer relaterade till lastning och lossning, inklusive lastsäkring.

Sammantaget saknas fortfarande en omfattande implementering av lösningar för automatiserad lastning och lossning och det råder otydlighet kring vilken tekniktyp man ska välja, inte minst i samband med autonoma lastbilstransporter. Ytterligare kunskap behövs med tanke på de stora variationerna och begränsningarna i hanteringen av olika typer av godsenheter och utmaningar vid val av lämplig utrustning baserat på anläggningsbegränsningar och driftosäkerhet.

2.2 Systemansats

Tillämpningen av en systemansats har sin grund i förståelsen att processer och aktiviteter är sammankopplade och bildar en komplex helhet. I ett system är element beroende av varandra och interagerar med varandra för att producera ett enhetligt resultat. För att illustrera består en försörjningskedja av partnerföretag, som vart och ett kan ses som ett system med olika delsystem, inklusive produktion, inkommande och utgående. Enligt Checkland (1999)

kännetecknas ett system av flera nyckelegenskaper. För det första har ett system framväxande egenskaper, vilket betyder att det har egenskaper som gör det möjligt att se det som en enda enhet, separerad från sin omgivning. För det andra uppvisar den en skiktad struktur, så att den kan omfatta mindre delsystem eller utgöra en del av ett större system. För det tredje, för att framgångsrikt interagera med sin omgivning har ett system processer för kommunikation och kontroll. Genom att anta en systemansats försöker studien identifiera och hantera beroendeförhållandena mellan olika komponenter i lastnings- och lossningssystemen.

3. METOD

Den övergripande forskningsdesignen för denna studie är en kvalitativ fallstudie. Valet av fallstudie som metod motiveras av flera faktorer, inklusive komplexiteten och mångfacetterade naturen av ämnet, behovet av att undersöka det i dess naturliga kontext, samt möjligheten att få djupgående insikter i ett specifikt praktiskt scenario.

Automatisering av lastning och lossning vid autonoma transporter är en komplex och mångfacetterad process. Den påverkas av en mängd olika faktorer, inklusive teknologisk mognad, logistikstrukturer och den fysiska miljön. En fallstudie möjliggör en noggrann utforskning av denna komplexa process i en verklig miljö. Genom att observera och analysera det praktiska genomförandet av lastnings- och lossningsprocesserna kan en djupare inblick nå gällande de utmaningar och möjligheter som är unika för detta specifika sammanhang.

Fallstudier erbjuder en unik möjlighet att uppnå djupgående och kontextuell förståelse av ämnet. Genom att fokusera på ett specifikt fall och dess unika utmaningar är det möjligt att gräva djupt och få insikter som kan vara svåra att uppnå med en mer kvantitativt orienterad metod. Det ger oss möjlighet att utforska de detaljer och nyanser som är specifika för den valda arbetsmiljön och som kan vara avgörande för att förstå hur automatiseringen påverkar lastning och lossning i praktiken.

En av de mest avgörande fördelarna med att välja en fallstudie är möjligheten att genomföra forskningen i en verklig miljö där autonoma lastbilar används för transporter. Det ger oss en autentisk forskningskontext där det är möjligt att observera och analysera hur automatiseringen faktiskt fungerar i praktiken. Detta ger en realistisk och tillämpbar bild av hur automatisering påverkar lastnings- och lossningsprocesserna, och det kan bidra till utvecklandet av praktiska riktlinjer och lösningar för framtida tillämpningar inom logistik- och transportsektorn.

3.1 Fallbeskrivning

Som tidigare nämnt är artikeln baserad på en fallstudie vid en produktionsanläggning där autonoma lastbilstransporter testas. Den autonoma lastbilen används för att transportera varor från en fabrik till ett närliggande lager, och avsikten är att även utveckla en lösning för automatisk lastning och lossning.

Studien är ett samarbete mellan forskare från två universitet och representanter från flera företag som är involverade i projektet, inklusive tillverkningsföretaget vars flöden studeras (SKF), leverantören av de autonoma lastbilarna (Einride), ett företag som tillhandahåller utrustning för automatiserad materialhantering (Toyota Material Handling) och ett företag som specialiserar sig på lastsäkringslösningar (MariTerm). Även om studien fokuserar på ett specifikt fall, gav deltagandet från dessa olika företag möjlighet till detaljerade insikter i fenomenet med lastning och lossning, från olika perspektiv.

Data samlades in först genom observationer av materialflödet och de befintliga, icke-automatiserade, lastnings- och lossningsprocesserna. Detta bidrog till en förståelse för de nuvarande lastnings- och lossningsprocesserna såväl som för de sammanlänkade processer som ingår inom systemgränserna. Dessa processer skulle direkt eller indirekt kunna påverka automatiseringen av lastnings- och lossningsprocessen. Observationerna kompletterades med djupgående intervjuer med aktörer som var involverade i de nuvarande flödena. Slutligen genomfördes en fokusgruppsdiskussion där forskare och representanter från företagen som var involverade i projektet deltog för att sammanställa en utförlig lista med utmaningar.

3.2 Datainsamling

För att samla in data gällande utmaningar förknippade med automatisk lastning och lossning användes två huvudsakliga metoder: direkta observationer och intervjuer med personal. Här är en beskrivning av hur dessa metoder användes:

Observationer och kartläggning av materialflödet

Användningen av observationer utgör en värdefull metod för datainsamling som innebär noggrann undersökning av beteenden, händelser eller fysiska egenskaper i deras naturliga miljö. Denna teknik kan ge rika och nyanserade insikter i en rad olika fenomen, vilket gör den till ett populärt val inom forskningen. För att skapa en detaljerad förståelse för materialflödet och de tillhörande aktiviteterna utfördes en noggrann kartläggning, baserad på information från observationerna samt kompletterande intervjuer. Metodiken materialflödeskartläggning tillämpades, baserat på Finnsgård et al. (2011) som föreslog metodiken för kartläggning av materialflöden som en utveckling av värdeflödeskartläggning (Rother and Shook, 1999).

Materialflödeskartläggningen som används i artikeln är något modifierad jämfört med den som används av Finnsgård et al. (2011) och belyser följande detaljer i det studerade materialflödet: aktiviteter för hantering och transport samt punkter i flödet där materialen väntar, illustrerade som lager/buffertar i flödeskartan. En transportaktivitet syftar enligt metodiken till att transportera varor mellan två punkter. En hanteringsaktivitet innebär istället en kortare förflyttning av varorna och har ett annat syfte, till exempel en förflyttning mellan två olika transportslag eller en sortering. Utöver att beskriva rörelsen av materialen beaktar kartläggningen även kompletterande aktiviteter som stödjer och möjliggör rörelse och kontroll av materialflödet. Specifikt belyses administration, beslut och möjliggörande aktiviteter, där de två senare kategorierna inte ingår i metodiken som den beskrevs och tillämpades av Finnsgård et al. (2011). Administration avser aktiviteter för hantering av information, som till exempel märkning eller scanning av streckkoder. Beslut rör frågor som att välja vilken pall som ska plockas först eller vilken bana pallar ska placeras i. Frågor som dessa kan ses som triviala i ett manuellt flöde men kan vara avgörande i en kontext av automatisering. Möjliggörande aktiviteter är fysiska aktiviteter som är nödvändiga för materialflödet men som inte fokuserar på varorna själva. Ett exempel på en möjliggörande aktivitet är att öppna en port för att materialflödet ska kunna passera.

Intervjuer och fokusgruppsdiskussion

Intervjuer användes i den här studien för att samla in information från personer som direkt eller indirekt var involverade i lastnings- och lossningsprocesserna. Frågor ställdes huvudsakligen för att skapa förståelse för vilka aktiviteter som genomförs i det aktuella materialflödet samt för

hur dessa aktiviteter hänger samman. Efter intervjuerna genomfördes en fokusgruppsdiskussion med de olika intressenterna som var involverade i det studerade flödet. Diskussionen inkluderade därmed representanter från SKF, Einride, Toyota Material Handling och MariTerm. Alla dessa företag har olika roller och huvudsakliga kompetensområden i relation till det studerade flödet, och de kunde därför bidra med olika perspektiv. Diskussionen inkluderade även forskare från Chalmers och Göteborgs universitet. Alla i fokusgruppen besökte först SKF för att få en förståelse för det aktuella materialflödet samt lastnings- och lossningsprocesserna. Inför fokusgruppsdiskussionen fick deltagarna även se en första version av kartläggningen av materialflödet, som input till diskussionen. Diskussionen generade en sammanställning av utmaningar som kunde förväntas vid automation av lastnings- och lossningsprocesserna i det aktuella fallet.

4. DRIVKRAFTER FÖR AUTOMATISK LASTNING OCH LOSSNING

Den här artikeln har två huvudsakliga bidrag. Utöver att identifiera utmaningar vid automatiserad lastning och lossning, i linje med metoden som redogjordes för i kapitel 3, så presenterar den även drivkrafter för att automatisera lastning och lossning. Drivkrafterna återfinns i detta kapitel och presenteras utifrån olika parterers perspektiv. Nedan presenteras därmed tillverkningsföretagets perspektiv, följt av transportörens perspektiv, ett materialhanteringsperspektiv samt ett lastsäkringsperspektiv. Dessa perspektiv presenteras i artikeln av SKF, Einride, Toyota Material Handling respektive MariTerm.

4.1 Tillverkningsföretagets perspektiv (SKF)

Som företag strävar vi hela tiden att förbättra våra processer längs hela värdekedjan. Här kan det röra sig om allt från snabbare och mer precisa kundleveranser, lägre klimatpåverkan, bättre arbetsmiljö och säkerhet för medarbetarna, lägre produktionskostnader och bundet kapital etc. I denna strävan är automation, elektrifiering, digitalisering och flödeseffektivisering väldigt relevanta begrepp och verktyg.

När det gäller specifikt automation, inklusive automatiserade materialförflyttningar, så har vi kommit längre inom olika delar i värdekedjan, där vi i vissa fall har en relativt hög grad av automation inom produktion och lagerverksamheterna, men vi ser också att det finns en potential att knyta samman dessa verksamheter med autonoma elektrifierade transporter i framtiden. Här knyter vi ihop den ”digitala tråden”, skapar möjlighet till ett kostnadseffektivt och mer kontinuerligt flöde av gods (vilket skapar förutsättningar för minskat bundet kapital). Samtidigt reduceras klimatpåverkan, relativt konventionella fossila transporter.

När det gäller autonoma transportlösningar med lastbil så kommer man snabbt in i lastningsproblematiken, där man helst vill undvika att ha ett bemannat gränssnitt om möjligt. Ett bemannat gränssnitt kan i dessa fall ha en ojämn men över dygnet utspridd belastning som kan bli svår att bemanna på ett effektivt sätt. Lyckas man med att hantera denna autonomt så kan man få en bättre kontinuitet till en lägre kostnad och man tar dessutom effektivt bort manuellt arbete med tung och farlig utrustning, med risk för exempelvis påkörnings- och klämskador. Autonom lastning har naturligt potential att appliceras på alla transporter även icke autonoma vilket också kan ha liknande, men mer isolerade, fördelar som de som nämns ovan.

4.2 Transportörens perspektiv (Einride)

Traditionellt och enligt lag har föraren i ett fordon uppgifter utöver att framföra fordonet. I vissa fall ska föraren hantera lastning och lossning av godset och föraren är ansvarig för att säkra godset för att undvika olyckor och skador kopplat till otillbörlig lastsäkring. Utöver det ska föraren exempelvis genomföra säkerhetskontroll av fordonet.

Logistikkedjan är komplex med många partner, gränssnitt och ansvar. När Einride automatiserar transporten mellan punkt A och B och därmed tar bort den fysiska föraren från fordonet adderas utmaningar med olika lösningar.

För att minska på komplexiteten och för en enklare implementering av den autonoma transporten i ett transportflöde som inte är fullt digitaliserat och automatiserat har Einride introducerat möjligheten till att använda en fjärroperatör, en remote operator för att lösa vissa uppgifter, såsom kommunikation till eventuell person på lastbryggan, övervakning av lastning/lossning, visuell kontroll av lastsäkring och även möjligheten att legalt vara ansvarig för lastsäkringen.

Då fjärroperatören inte är på plats kan den uppenbarligen inte lösa alla utmaningar, till exempel själva lastningen och lossningen av godset, utan där behövs en annan affärsässig eller teknisk lösning.

Från Einrides perspektiv finns primärt följande drivkrafter för att införa en automatiserad lastnings och lossning-process i relation till en automatiserad transport:

- När transporten automatiseras blir det uppenbart att även angränsande aktiviteter behöver gå samma väg för att full effekt ska kunna uppnås. En automatiserad fabrik i ena änden och ett automatiserat lager i den andra gör detta mycket tydligt. Föraren kan inte längre ta ansvaret för lastning och lossning.
- Minska skador på utrustning och gods. Det har visat sig att manuell lastning och lossning sliter på lastutrymmet i fordonet samt kan även leda till godsskador. Anledningen till detta är att det ibland saknas nödvändig precision och denna då ersätts av mer forcerade metoder som kan skada lastbärare och gods.
- Gränssnittet lastkaj/foron är riskabelt. Genom att ta bort människor från denna farliga miljö minskar risken för allvarliga arbetsrelaterade skador.
- Ett användningsfall för automatiserade fordon är korta och repetitiva transporter. Aktiviteten lastning och lossning av godset är därför en stor del av den totala användningen av fordonet. Det är av den anledningen viktigt att denna aktivitet kan gå relativt snabbt eller att tillståndet kan nyttjas till alternativa aktiviteter, såsom exempelvis laddning vid lastkajen.
- Genom att automatisera hela kedjan kommer det att bli möjligt att skapa ett mer eller mindre kontinuerligt flöde vilket i sin tur kommer att möjliggöra lägre hastigheter på transporten (och därmed energianvändning per tonkm) utan att övergripande produktivitet minskas. När människor behövs finns det en tendens att arbeta med större batcher och i skift. Detta medför i sin tur en pulseffekt som fortplantar sig till angränsande system som då behöver kompensera med buffertlager eller ökade hanteringsytor mm. Automatiseringen möjliggör ett mer "slimmat" system som då också blir mer ekonomiskt fördelaktigt för transportköparen.

4.3 Materialhanteringsperspektiv (Toyota Material Handling)

Toyota ser att automatiserade truckar generellt sett kan bidra till att förbättra logistiken på flera sätt, och att dessa fördelar gäller även när truckarna tillämpas för att automatisera lastning och lossning. En av fördelarna är att skador på gods kan minskas. Vidare är det möjligt att förbättra ergonomi och arbetsmiljö, dels genom automatisering av tunga och monotona arbetsuppgifter, dels genom att automatiska transporter kan vara mer förutsägbara än manuella transporter och därmed säkrare för omgivningen. Genom förbättringar i ergonomi och arbetsmiljö kan det dessutom bli lättare att rekrytera och behålla personal.

Potentiellt är det också möjligt att förbättra effektiviteten i en kedja av processer om samtliga processteg automatiseras. Även i detta avseende finns det nämligen fördelar med den ökade standardisering och förutsägbarhet som automation kan medföra, eftersom förutsättningar på detta sätt skapas för jämna flöden med en hög utnyttjandegrad.

En ytterligare fördel som automation medför är den data som kan loggas automatiskt, till skillnad från i icke-automatiserade flöden. Med denna data ökar spårbarheten i flödena. Dessutom, genom god tillgång på data förbättras möjligheten att mäta hur flödena presterar och, i förlängningen, att förbättra dem.

4.4 Lastsäkringsperspektiv (MariTerm)

Det övergripande målet med lastsäkring är att dels skydda godset från att bli skadat under transporten. Dels att minska och helst minimera risken för olyckor orsakade av bristfällig lastsäkring. Förutom ekonomiska förluster kan fordonsförare, lastnings- och lossningspersonal och medtrafikanter komma till skada samt även egendom och miljö. I princip går det att säkra godset hur mycket som helst men för den som utför lastsäkring av godset blir det primära målet att göra det så effektivt som möjligt med en så liten arbetsinsats och materialåtgång som möjligt. Befintlig lagstiftning på området får då bli den acceptabla nivå som lastsäkringsarbetet minst ska uppnå.

I dagsläget utförs lastsäkringen av godset i en lastbärare, i de flesta fall, manuellt av antingen utlastaren på industrin eller vid en terminal eller av fordonets förare. Om någon eller båda dessa roller automatiseras ställer det krav på andra lösningar på hur godset ska säkras. Att finna en lämplig lösning beror på en mängd parametrar såsom typ av gods, lastmönster, typ av lastbärare och grad av automation. Dessutom ökar svårighetsgraden ju generellare godsets egenskaper, lastmönster och typ av lastbärare får vara.

Ytterligare en aspekt kopplad till lastsäkring av godset är vem som är juridiskt ansvarig för att den är korrekt utförd. Nuvarande offentligrättslig lagstiftning kan skilja sig mellan olika länder. I vissa länder ligger ansvaret för lastsäkring på den som lastar godset medan det i andra länder är förarens ansvar. En tredje variant som tillämpas är att ansvaret delas mellan olika aktörer i transportkedjan, vilket innebär att även till exempel åkerier och speditörer kan bli ansvariga. Ansvarsfrågan blir inte mindre komplicerad i en autonom transportkedja när rollerna, utlastare och fordonsförare tas bort.

Med detta som bakgrund är MariTerms drivkrafter:

- att få en förståelse för vilka parametrar som påverkar valet av lastsäkringsmetoder i en autonom transportkedja.

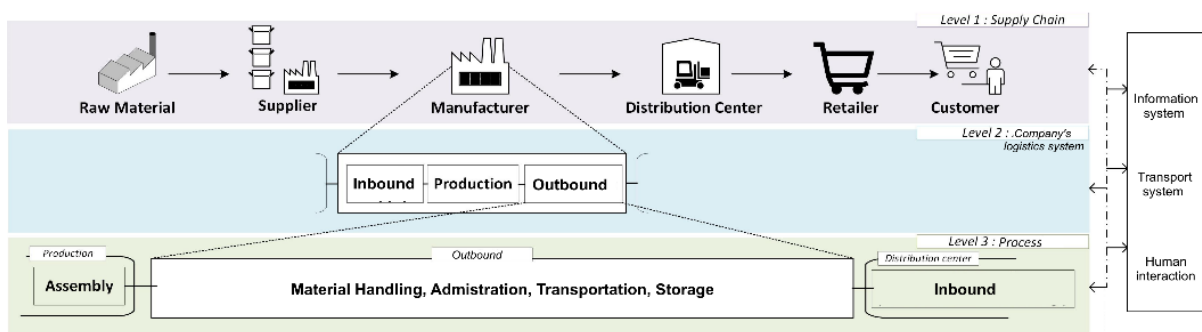
- att få en förståelse hur olika nivåer av automation av både lastning, lossning och transporter påverkar vilka lösningar att säkra godset som kan bli aktuellt.
- att undersöka befintliga lösningar på lastsäkring och i viss mån ta fram nya idéer samt att förstå i vilka situationer dessa kan passa in i en autonom transportkedja.
- att kartlägga hur det offentligrättsliga ansvaret för lastsäkring regleras i dagsläget främst i olika länder i Europa och om det finns någon lagstiftning som även täcker autonoma transporter.
- att vara med och påverka utvecklingen på lastsäkringsområdet för autonoma transportkedjor båda vad gäller tekniska lösningar och lagstiftning på området.

5. FALLBESKRIVNING OCH ANALYS AV UTMANINGAR

Det här avsnittet presenterar resultaten från observationerna, intervjuerna och fokusgruppsstudien. Den presenterar först den bredare systemiska beskrivningen av caseföretaget och fokalsystemet som i detta är det utgående logistiksystemet, för att sätta systemgränserna.

5.1 Systembeskrivning

Som beskrevs i metodavsnittet fokuserar fallstudien på det utgående materialflödet från en produktionsprocess, med tillhörande aktiviteter som informationsflöden, administration, inventering och transport av färdiga varor från en tillverkningsanläggning till ett närliggande lager. Detta skulle också vara vårt systems gränser, det vill säga från utgående materialflöde från produktion och slutar vid inkommande av det närliggande lagret. Detta kan ytterligare visualiseras genom figurerna 1 och 2. Anläggningen producerar industriella komponenter i en B2B-miljö för kunder över hela världen. Produkterna är gjorda av stål och är därför tunga. De varierar i storlek, men i det studerade flödet hanteras alla produkter på pallar med storleken 800 mm x 600 mm. Lagret drivs av det tillverkande företaget självt, medan transporter mellan anläggningen till lagret sköts av en extern part. För närvarande används vanliga lastbilar för transporter, men parallellt pågår en pilot där autonoma lastbilar, som drivs av en annan extern part, används. Fallstudien använder till stor del data från de ordinarie flödena och de aktiviteter som ingår där, men som beskrivs i metodavsnittet använder den också insikter från piloten.



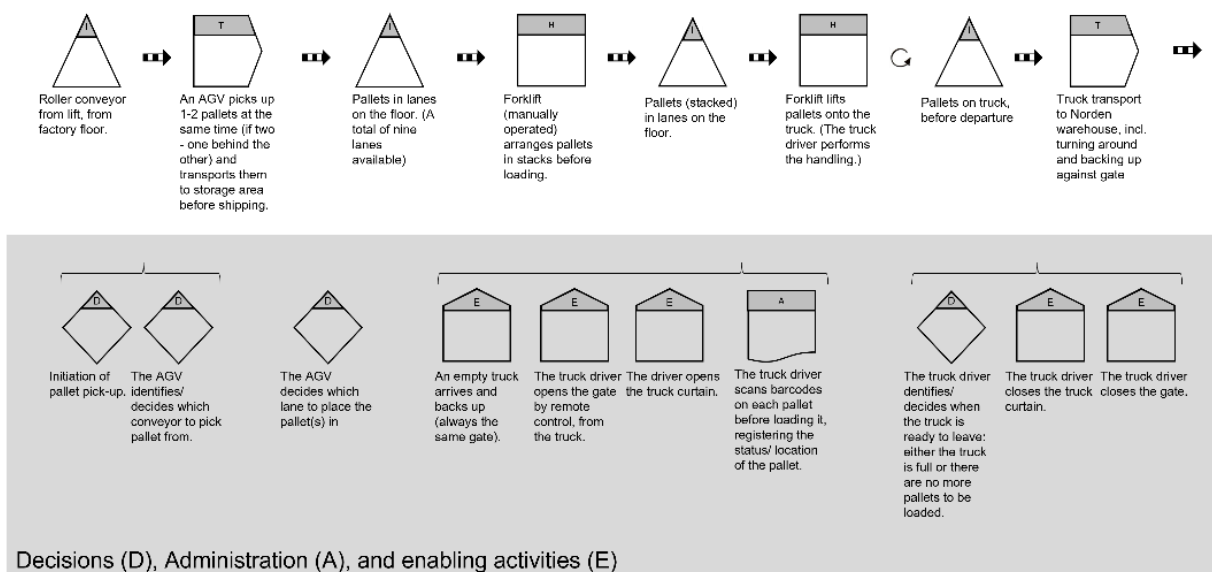
Figur 1: Visualisering av caseföretaget och systemet i fokus

5.2 Flödeskartläggning

De färdiga varorna flyttas först från produktionsverkstadsgolvet till ett internt expedieringsområde, beläget en våning under verkstadsgolvet, varifrån de lastas på lastbilarna. Fallstudien följer flödet från att godset precis har lämnat verkstadsgolvet tills att det har lastats av och organiserats på lagret. Materialflödet, tillsammans med tillhörande aktiviteter och informationsflöden, representeras i materialflödeskartan som presenteras i figur 2 och 3 och beskrivs nedan.

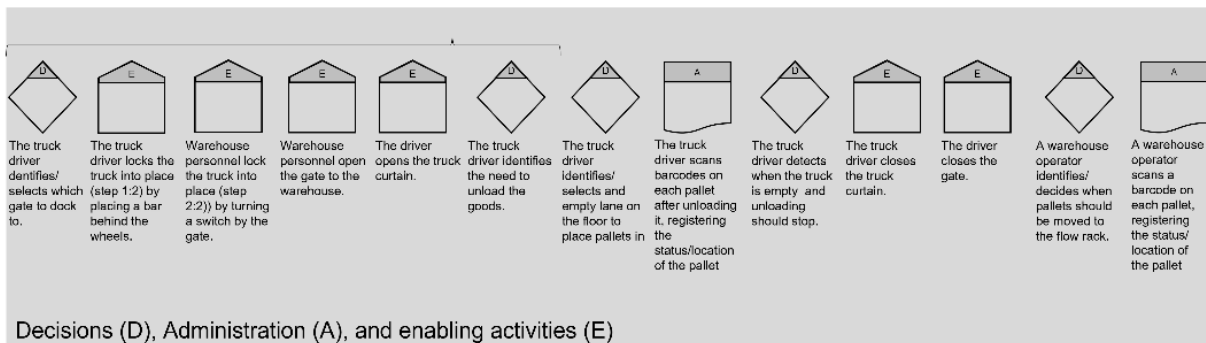
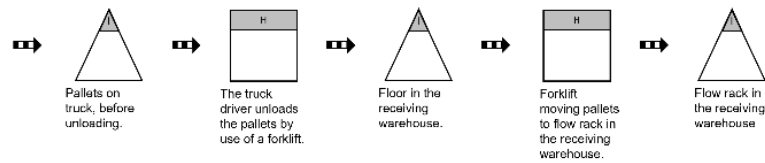
I det första steget som ingår i materialflödeskartan väntar godset på en rullbana, som är belägen i fabriken leveransområde. Dessförinnan, och alltså inte inkluderat i materialflödeskartan, har godset transporterats ner från verkstadsgolvet, till rullbanan, med hjälp av en automatisk hiss, som i sin tur försörjs med gods med gaffeltruckar (både automatiska och manuella) i verkstaden. Som framgår av figurerna 2 och 3 genomgår godset flera processteg på vägen från rullbanan till lagret, inklusive flera steg av transport (T) och hantering (H). Godset behöver också vänta på flera punkter i flödet, vilket i flödeskartorna har markerats med symboler för "inventory" (I). Som också indikeras i materialflödeskartorna i figur 2 och 3 pågår ett flertal indirekta aktiviteter, som är nödvändiga i flödets nuvarande utformning, men som inte direkt involverar förflyttning av godset. Detta handlar om administrativa aktiviteter (A), beslut som fattas (D för "decisions") och möjliggörande aktiviteter som genomförs (E för "enabling activities").

Material flow: Transport (T), Handling (H), and Inventory (I)



Figur 2: Den första delen av materialflödeskartan, som illustrerar materialflödet och tillhörande aktiviteter inom fabriken samt transporten till lagret. Flödeskartan inkluderar enheter som symboliserar hantering (H), transport (T), lager (I), Beslut (D), Administration (A) och Möjliggörande aktiviteter (E).

Material flow: Transport (T), Handling (H), and Inventory (I)



Figur 3: Den andra delen av materialflödeskartan, som illustrerar materialflödet och tillhörande aktiviteter inom fabriken samt transporten till lagret. Flödeskartan inkluderar enheter som symboliserar hantering (H), transport (T), lager (I), Beslut (D), Administration (A) och Möjliggörande aktiviteter (E).

5.3 Utmaningar vid automatisk lastning och lossning

Genom fokusgruppsdiskussionen, vilken utgick från analyserna av materialflödet i det studerade fallet, identifierades flera utmaningar förknippade med automation av lastning och lossning. Dessa utmaningar grupperades samman i teman som presenteras i detta avsnitt. Utmaningarna presenteras inom följande fem teman: 1) godsets fysiska egenskaper, 2) planering och interaktion med informationssystem, 3) transport på och av lastbilen, 3) placering på lastbilen och lastsäkring samt 5) ansvar och juridiska frågor. Nedan presenteras ett avsnitt och en tabell med utmaningar för vart och ett av de fem temana.

Godsets fysiska egenskaper

Godsets fysiska egenskaper medför förutsättningar för automation av lastning och lossning i autonoma lastbilstransporter. Utmaningar kopplade till godsets fysiska egenskaper presenteras i tabell 1:

Tabell 1: Utmaningar kopplade till godsets fysiska egenskaper

Utmaning	Beskrivning
Godsenheterna skiljer sig åt i fråga om yttre dimensioner.	Dimensionerna skiljer mellan olika godsenheter, vilket försvårar en säker och effektiv lastning.
Godsenheterna skiljer sig åt i fråga om vikt.	Vikten skiljer mellan olika godsenheter, vilket gör viktfordelningen på lastbilen utmanande.
Godsenheternas dimensioner och vikt behöver identifieras.	För att kunna genomföra lastningen med hänsyn tagen till skillnader i godsensheternas yttre dimensioner och vikt behöver dessa egenskaper kunna identifieras i samband med lastningen, vilket kan vara utmanande.

Planering och interaktion med informationssystem

Processen för planering och interaktion med informationssystem är avgörande för framgångsrik automation av lastning och lossning i autonoma lastbilstransporter. Tabell 2 sammanfattar utmaningarna inom detta område.

Tabell 2: Utmaningar kopplade till planering och interaktion med informationssystem

Utmaning	Beskrivning
Val av typ och placering av informationsbärare (t.ex. streckkod eller RFID-tag).	Godsenheterna behöver kunna identifieras automatiskt, vilket kräver att information om identitet måste finnas tillgänglig i ett tillförlitligt format och i en förutsägbar position.
Rollfordelning mellan olika parter.	Tydliga regelverk behövs som fastslår hur olika aktiviteter initieras och avslutas samt hur information utbyts mellan olika parter.
Interoperabilitet mellan olika informationssystem.	Transport av gods mellan olika parter innefattar informationsutbyte mellan olika system, vilka därmed måste kunna interagera med varandra.
Planering av lastsekvens.	Det kan vara utmanande att skapa en lämplig sekvens för lastning av de olika godsensheterna.

Transport på och av lastbilen

Ett flertal utmaningar identifierades i relation till transporten av gods på och av lastbilen. Dessa utmaningar presenteras i tabell 3.

Tabell 3: Utmaningar kopplade till transport på och av trailern

Utmaning	Beskrivning
Lastning och lossning i en dynamisk miljö.	Vid lastning och lossning är många objekt i rörelse i samma miljö, vilket är utmanande både med avseende på precision och säkerhet. Personssäkerhet kan vara en utmaning, om människor är närvarande i miljön.
Automatisk koppling mellan lastbrygga och lastbil.	Alla aktiviteter förknippade med sammankoppling mellan lastbil och lastbrygga måste antingen undvikas eller automatiseras. I det studerade fallet används exempelvis en tröskel som placerades i skarven mellan lastbrygga och lastbil, för att överbrygga höjdskillnader och därmed underlätta transporter på och av lastbilen. Om denna ska användas även vid automatisk lastning och lossning behöver den kunna placeras ut automatiskt.
Automatiskt beslutsfattande.	Alla beslut som fattas av en förare/operatör vid manuell lastning och lossning behöver antingen undvikas eller automatiseras.

Placering på lastbilen och lastsäkring

Det finns även utmaningar kopplade till hur godset placeras på lastbilen samt hur lastsäkringen genomförs. Tabell 4 presenterar de utmaningar som identifierades inom detta område.

Tabell 4: Utmaningar kopplade till placering på lastbilen och lastsäkring

Utmaning	Beskrivning
Uppnå en tillfredsställande fyllnadsgrad på lastbilen.	Lösningen för automatisk lastning behöver kunna placera godsenheter så tätt på lastbilen att fyllnadsgraden når uppsatta mål. En AGV kan t.ex. ha svårt att placera godsenheter tillräckligt tätt för att nå en hög fyllnadsgrad. Godsensheternas olikhet i dimensioner kan bidra till utmaningarna eftersom inte alla godsenheter är stapelbara.
Automatisera lastsäkringen.	Lastsäkringen är en process av central betydelse, men det är utmanande att genomföra den automatiskt, inte minst när godsensheterna inte är enhetliga i fråga om dimensioner eller vikt. En lösning krävs som är antingen generellt tillämpbar eller anpassningsbar.
Automatisera frikopplingen av lastsäkringen inför avlastning.	Vid avlastningen behöver godsensheterna vara åtkomliga, vilket ställer krav på lastsäkringen och hur denna kan frikopplas.

Ansvar och juridiska frågor

Ett viktigt område är hur ansvaret fördelar sig mellan olika parter samt hur ansvarsfördelningen säkerställs i praktiken. I Tabell 5 presenteras de utmaningar som identifierades i fråga om ansvar och juridiska frågor.

Tabell 5: Utmaningar kopplade till ansvar och juridiska frågor

Utmaning	Beskrivning
Ansvarsfördelning.	Det måste vara tydligt hur ansvaret fördelar sig mellan olika parter i kedjan.
Spårbar information kopplad till ansvar.	Vid eventuella skador måste det vara möjligt att spåra var dessa uppstod och under vems ansvar.
Godsets säkerhet och undvikande av stöld.	Lösningarna för automatisk lastning och lossning får inte medföra risk för godsets säkerhet.

6. DISKUSSION

I det följande diskuteras flera viktiga aspekter baserade på de drivkrafter och utmaningar som har presenterats i kapitel 4 respektive 5.

Det är tydligt från de medverkande företagen att det finns starka drivkrafter för att utveckla lösningar för automatiserad lastning och lossning, inte minst i ett sammanhang där transporterna är autonoma. Situationer kan uppstå där ingen personal finns på plats för att genomföra lastning och lossning, vilket då gör det nödvändigt att kunna genomföra dessa processer automatiskt. Vidare finns det potentiella fördelar relaterade till miljö, säkerhet och effektivitet, där automation kan bidra till jämna och förutsägbara flöden.

En av de främsta utmaningarna som har identifierats är variationen i godsets fysiska egenskaper, såsom dimensioner och vikt. Denna variation kan göra det svårt att skapa en universell automatiserad lösning. För att övervinna detta hinder måste tekniker för identifiering och anpassning implementeras. Det är också viktigt att säkerställa att automatiserade system kan hantera dessa skillnader på ett säkert och effektivt sätt.

Informationshantering och interoperabilitet är också av avgörande betydelse för automatiseringen av lastning och lossning. Tydliga regler och standarder för informationsutbyte mellan olika parter måste etableras för att undvika onödiga hinder och fel. Dessutom måste teknologier för informationsidentifiering och -hantering, som streckkoder eller RFID, användas på ett effektivt sätt.

Säkerheten i en automatiserad miljö är av största vikt. När människor och maskiner arbetar tillsammans i samma utrymme, vilket potentiellt kan vara fallet vid automatiserad lastning och lossning, måste säkerhetsprotokoll vara strikta för att minimera risker för personskador. Detta inkluderar att säkerställa att automatiserade system kan upptäcka och reagera på närvaron av människor.

Lastsäkring är en annan central del av processen som måste tas i beaktande. Automatisering av lastsäkring är utmanande, särskilt när godsensheterna varierar i dimensioner och vikt. Lösningar som är flexibla och anpassningsbara behöver utvecklas för att hantera dessa variationer på ett tillfredsställande sätt.

När det gäller ansvar och juridiska frågor är det viktigt att tydligt definiera och fördela ansvar mellan olika parter i logistikprocessen. Spårbar information måste finnas tillgänglig för att fastställa ansvar i händelse av skador eller förluster.

Teknologiska framsteg och innovation kommer att spela en avgörande roll i att övervinna dessa utmaningar. Ny teknik, som avancerade sensorer och AI-algoritmer, kan bidra till att förbättra automationsprocessen och öka säkerheten. Dessutom kan pilotprojekt och samarbete med teknikleverantörer vara användbara för att testa och implementera nya lösningar.

Framtiden för automatisering inom utgående logistik är lovande, men den kommer att kräva samarbete mellan företag, teknikleverantörer och regleringsorgan för att utveckla effektiva och säkra lösningar. Hållbarhetsaspekter måste också tas i beaktande för att minska miljöpåverkan av logistikprocesserna.

Sammanfattningsvis visar den här artikeln att det finns starka drivkrafter för att utveckla lösningar för automatisk lastning och lossning, men den visar också att en automatisering av dessa processer är en komplex uppgift som är förknippad med många utmaningar. Genom att noggrant överväga och adressera dessa utmaningar kan företag och organisationer utveckla effektiva och hållbara automationslösningar som kan förbättra effektiviteten och säkerheten i logistikprocesserna.

7. SLUTSATSER

Tillverknings- och logistikindustrin står inför olika utmaningar som hög efterfrågan, konkurrens, kostnadstryck, avbrott och begränsningar på arbetsmarknaden, vilket påverkar leveranskedjorna. Att införa automation inom intern logistik, såsom materialhantering, kan bidra till ökad konkurrenskraft. På samma sätt har autonoma vägtransporter potential att förbättra transportprestandan. Trots detta, för att fullt ut realisera fördelarna med autonoma transporter, bör även lastnings- och lossningsprocesserna vid leverans- och mottagningsanläggningar automatiseras. Den här artikeln tar en systemansats för att utforska utmaningar vid automatiserad lastning och lossning i en miljö med autonom lastbilstransport, i en tillverkningskontext. De huvudsakliga utmaningarna som identifierades kan kategoriseras i fem kluster: (a) godsets fysiska egenskaper; (b) planering och interaktion med informationssystem; (c) transport på och av lastbilen; (d) placering av godset på lastbilen och lastsäkring (e) ansvar och juridiska frågor. Genom att adressera de associerade utmaningarna blir det möjligt att fullt ut dra nytta av autonoma transporter och därmed förbättra den övergripande transportprestandan.

Artikeln rapporterar om en djupgående fallstudie där det var möjligt att noggrant studera processerna för lastning och lossning och därmed fånga detaljerna i materialflödet och de aktiviteter som stöder det. Med denna metod var det möjligt att få en omfattande förståelse för kraven och utmaningarna som är förknippade med lastnings- och lossningsprocesserna i det studerade materialflödet. Även om metoden som används i artikeln möjliggjorde en hög detaljnivå, var studien begränsad till ett enda fall och en enda processdesign. Framtida forskningsinsatser kan bredda perspektiven genom att studera ytterligare fall. Genom att göra det kan ytterligare utmaningar potentiellt identifieras, och ytterligare insikter kan nås angående potentiella samband mellan utmaningar å ena sidan och processdesignen och miljön å den andra.

REFERENSER

Cao, W. och Dou, L. (2021) Implementation method of automatic loading and unloading in container by unmanned forklift. *In 2021 International Conference on Machine Learning and Intelligent Systems Engineering (MLISE)*, 503-509. IEEE.

Checkland, P. (1999) Systems thinking. *In: Currie, W. och Galliers, B. (red) Rethinking management information systems*, 45-56. Oxford University Press.

Finnsgård, C., Medbo, L. och Johansson, M.I. (2011) Describing and assessing performance in materials flows in supply chains: a case study in the Swedish automotive industry. *In: Proceedings of the 4th International Swedish Production Symposium*, 329-338.

Rother, M. och Shook, J. (1999) *Learning to see*, Brookline: The lean enterprise institute.

Shen, D., Hu, J., Zhai, T., Wang, T. och Zhang, Z. (2019) Parallel loading and unloading: smart technology towards intelligent logistics. *In 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 847-851. IEEE.

Stoyanov, T., Vaskevicius, N., Mueller, C.A., Fromm, T., Krug, R., Tincani, V., Mojtahedzadeh, R., Kunaschk, S., Mortensen Ernits, R., Canelhas, D.R., Bonilla, M., Schwertfeger, S., Bonini, M., Halfar, H., Pathak, K., Rohde, M., Fantoni, G., Bicchi, A., Birk, A., Lilienthal, A.J. och Echelmeyer, W. (2016) No more heavy lifting – Robotic solutions to the container-unloading problem. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 23(4), 94-106.

Wilhelm, J., Hoppe, N.H., Petzoldt, C., Rolfs, L. och Freitag, M. (2022) Evaluation of Performance and Cargo-Shock of an Autonomous Handling System for Container Unloading. *Logistics Research* 15(1).

Zhu, Z., Xu, X. och Zhu, J. (2021) Intelligent Management and Control of Automatic Loading and Unloading System Based on Digital Twin. *In 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture*, 328-332.