

2018-07-31

**RAPPORT**  
AutoLast – Automatisering av godshantering

# AutoLast

- Automatisering av godshantering



## Innehåll

Sammanfattning	4
Summary	5
Bakgrund	6
Syfte	7
Målet med genomförbarhetsstudien	7
Begränsningar	7
Genomförande	8
Resultat	9
Legala och organisatoriska förutsättningar	9
Business case för Autolast	9
Autonom lastning av pallgods	11
Case beskrivning	11
Kravspecifikation för automatiserad hantering av pallgods	13
Teknikplattform	13
Autonom lastning av pappersrullar	14
Case beskrivning	14
Kravspecifikation för automatiserad hantering av pappersrullar	15
Teknikplattform	17
Slutsatser	18
Fortsättning	19
Partners och kontaktpersoner	20

Projektet är en del av regeringens samverkansprogram Nästa generations resor och transporter och finansieras till delar av Vinnova, Sveriges innovationsmyndighet, inom ramen för Drive Sweden. Regeringen pekar genom samverkansprogrammen ut fem svenska styrkeområden där vi tillsammans med partners investerar i framtiden. Det handlar om nya sätt att resa, bo, göra affärer, leva, kommunicera och tillvarata och bevara jordens resurser och ekosystem.

Sverige behöver ett mer transporteffektivt samhälle där transporterna används smartare och med mer resurseffektiva fordon. Samverkansprogrammet Nästa generations resor och transporter inkluderar alla färdstätt och har ett övergripande perspektiv där alla trafikslag samverkar för att lösa kvinnors och mäns resor och behov av transporter av gods.

Projektet delfinansieras även av Region Örebro län.

---

The project is a part of the Swedish government's innovation partnership program "The next generation's travel and transport" and is funded in part by Vinnova, Sweden's innovation agency, through Drive Sweden. Through this program, the Swedish Government designates five Swedish areas of strength in which, together with our partners, we invest in the future. These programs involve new ways of travelling, residing, doing business, living, communicating, and using and preserving the world's resources and ecosystems.

Sweden needs a more transport-efficient society, where transport is used in a smarter way and uses more resource-efficient vehicles. The innovation partnership program "The next generation's travel and transport" includes all means of transport and has an overarching perspective in which all modes of transportation collaborate to provide solutions for travel by people and transportation of freight.

The project is also partly financed by Region Örebro County



Region Örebro län

# Sammanfattning

Automatisering ses som en stor möjliggörare för effektivare godstransportsystem och som hjälpmedel vid vanligtvis tunga yrken med hög risk för person- och materialskador. Det sker ständig utveckling av automation inom olika delar av logistiksystemet med bland annat automatiserad produktion, automatiserad lagerhantering och på senare år även automatiserad körning av gods på väg. Detta projekt tar upp frågeställningar kring en del av godstransportsystemet där automation ännu är ett relativt outforskat, nämligen automatisering av lastning och lossning av gods. Syftet med projektet har varit att studera potentialen och de tekniska förutsättningarna för att kunna driva på utvecklingen och förbereda för en eller flera demonstrationer med autonom körning av truck som kan utföra lastning och lossning av gods.

Det har under projektets gång identifierats främst två case som är intressanta för vidare utveckling och där automatiserad lossning och lastning av gods kan bidra till ökad effektivitet; 1) lastning och lossning av gods lastat på pallar, och 2) lastning och lossning av pappersrullar. Inom casen har flödesbeskrivning gjorts för att identifiera de uppgifter som en autonom truck måste klara av och för att kunna räkna på den effektivitet en autonom truck behöver uppnå. De två casen innefattar olika förutsättningar för truckarna gällande teknisk utveckling, krav på komponenter, precision och miljö vilket presenterats i de kravspecifikationer som ställs på prototyptruckarna i ett potentiellt demonstrationsprojekt. Detta har tillsammans med en marknadsundersökning av tillgänglig teknik legat till grund för att ta fram förslag på de sensorer och navigationssystem som kommer behöver integreras för att utföra de önskade aktiviteterna. Utifrån marknadsundersökningen har en grov kostnadsuppskattning och en översiktlig tidplan för att konvertera en truck som kan hantera pallar samt en truck som kan hantera pappersrullar fastställts. Det har också utifrån detta varit möjligt att fastslå att autonom lastning och lossning av pallgods är mer komplext än lastning och lossning av pappersrullar, som ligger närmare marknadsimplementering. Hantering av pallgods ställer högre krav på precision, navigering och innefattar mer komplexa rörelser vilket innebär att mer forskning och tester krävs innan en sådan lösning kan uppnå önskvärd effekt.

Samtidigt kan det fastställas att truckarna som kommer att utvecklas inte kommer att ha lika hög produktionstakt som manuella truckar. Därav har det inom ramen för projektet gjorts en ekonomisk kalkyl på när det blir ekonomiskt hållbart att införa autonoma truckar samt undersökt vilka effekter implementering av dessa kan ha då de kan utföra aktiviteterna alla timmar på dygnet. Det kan med denna kalkyl fastställas att det finns hög ekonomisk potential med utveckling av dessa truckar, men samtidigt måste det testas för att kunna uppmäta de verkliga effekterna.

Projektet har således resulterat i konkreta förslag på fortsättning för utvecklingen av autonoma truckar med detaljerade förslag på teknikplattformar och potentiella siter för test och demonstrationsprojekt som driver på utvecklingen mot implementering. Vidare behöver effekterna av att sätta in truckarna i ett större systemperspektiv studeras. De stora nyttorna beräknas på sikt kan uppstå när truckarna sätts in i ett system och rörelser och hantering av gods kan optimeras i tid och rum i samråd med andra fordon och IT-system.

# Summary

Automation is seen as a major enabler for more efficient freight transport systems and a tool for assistance in occupations with heavy lifting or where there are a high risk of personal injury or material damage. There is continuous development of automation in different parts of the logistics system, including automated production, automated warehousing and, in recent years, automated road transport. This project addresses a part of the freight transport system where automation is still relatively unexplored, namely automation of loading and unloading of goods. The purpose of the project has been to study the potential and the technical conditions for developing and preparing for one or more demonstrations with autonomous driving forklifts that can load and unloads goods.

During the course of the project, two cases has been identified that are interesting for further development where automated unloading and loading of goods can contribute to increased efficiency; 1) loading and unloading of goods loaded on pallets; and 2) loading and unloading of paper rolls. Within the cases, flow description has been made to identify the tasks an automated forklift has to be able to do and what potential obstacles there might be for future implementation. The two cases include different circumstances for the forklifts in terms of technical development, required components, precision and environment. Together with a top of the shelf investigation on available technology, it has been possible to make suggestions on sensors and navigation systems that needs to be integrated to perform the desired complex activities. Based on this, a rough cost estimate and a comprehensive timetable for converting a forklift that handles pallets and a forklift that handles paper rolls has been made. It has also been possible from this to establish that autonomous loading and unloading of pallet goods is more complex than loading and unloading of paper rolls, which is closer to market implementation. Handling of pallet goods require higher demands on precision, navigation and involves more complex movements, which means that more research and testing is required before such a solution can achieve the desired effect.

At the same time, it can be established that the forklifts that will be developed will not have the same production rate as manual trucks. However, a business case calculation has shown that introduction of autonomous forklifts can be economical profitable at rather low implementation rate as these can work around the clock and add to other values, such as lower damages on goods, forklifts and interiors.

The project has resulted in concrete proposals for continued development of autonomous forklifts for loading and unloading of goods with detailed proposals on technical platforms and suggestion of test sites. Furthermore, the effects of installing the forklifts in a larger system perspective needs to be further studied. The major benefits are estimated in the long term, may occur when the forklifts are implemented into a system and movements and handling of goods can be optimized in time and space in consultation with other vehicles and IT systems.

# Bakgrund

Automation ses allt mer som en förutsättning för att möjliggöra mer effektiva godstransportsystem. Den ökade graden av automation inne på lager och terminaler har bidragit till tidsvinster, sänkta kostnader och färre skador för människor och på gods. Även automation ute på vägnätet och även järnvägen ses som en framtida möjliggörare för mer effektiva transportsystem där utvecklingen pågår i snabb takt inom olika projekt världen över. Ett område som dock ännu är relativt outforskat är hur gränslandet mellan produktion och transport ska automatiseras, det vill säga materialhantering vid lastning och lossning av lastbärare som lastbilar och tågagnar. Detta är ett komplext område som kräver utveckling för att kunna utföras och integreras med övriga delar av det framtida effektiva och autonoma godstransportsystemet.

Det finns utifrån olika varuägares synvinklar ett intresse att undersöka möjligheterna och förutsättningarna för att automatisera processerna vid lastning, lossning och omlastning av gods där det finns potentiella effektiviseringspotentialer med tidsbesparing, minskade skador, förbättrad arbetsmiljö och minskad energiförbrukning i godshantering. På sikt skulle en effektivisering av denna process även öka förutsättningarna för multi-modala transportupplägg då de största kostnaderna och tidsförlusterna uppstår i terminaler vid just omlastning av gods. Skulle detta kunna utföras på ett mer kostnads- och tidseffektivt sätt med hjälp av automation skulle det bli mer attraktivt att transportera gods på järnväg och vatten.

Utmaningen för detta projekt ligger i att utföra processer som vanligtvis utförs manuellt och kräver stor precision i trånga och dynamiska utrymmen och miljöer. Samtidigt kan gods och lastbäres geometri variera och dess position i lager, på fordon och vagnar är inte alltid helt förutbestämd. Dessa processer bedrivs också vanligtvis under tidspress då ankommande och avgående lastfordon har en tidtabell att följa, vilket ställer än högre krav på ett autonomt system som kan utföra lastning och lossning inom givna tidsspann.

Detta projekt ser till att undersöka möjligheterna med att utveckla självkörande truckar som kan utföra lastning och lossning av lastbärare där det idag inte finns fungerande autonoma lösningar. Detta ser till att öka effektiviteten inom godstransportkedjor och på sikt bidra till en ökad konkurrenskraft. Genomförbarhetsstudien har som mål att fånga upp krav på funktionalitet som krävs för att åstadkomma en ökad grad av automation i gränslandet mellan produktion och transport av pappersrullar samt pallgods som har olika krav på funktionalitet och systemfunktioner. Vidare kommer den forskning- och utveckling som krävs, de system- och teknikplattformar som kan utnyttjas samt det integrationsarbete som behöver utföras att beskrivas. Inom ramen för projektet ingår även arbetet att göra en uppskattning av de resurser som krävs för att genomföra ett framtida demonstrationsprojekt som förväntas ta vid efter denna genomförbarhetsstudie.

# Syfte

Syftet med projektet är att ta fram förutsättningar för en eller flera demonstrationer med autonom körning av truck som kan navigera och hantera gods i dynamiska miljöer samt utföra lastning, lossning och omlastning av gods i terminaler och/eller produktionsanläggningar. Med dynamisk miljö menas platser som förändras över tid och att människor rör sig i närheten vilket ställer höga säkerhetskrav på trucken.

## Målet med genomförbarhetsstudien

Målet med projektet är att ta fram konkreta förslag på demoprojekt i verklig miljö med utvecklad kravspecifikation på truck samt fastställt förutsättningarna för att få fram en sådan prototyp. Detta innebär att undersöka lämpliga platser att utföra demonstrationer, sätta ambitionsnivå och ramar för genomförande samt undersöka de tekniska kraven för att kunna genomföra demonstrationsprojekt. För att det ska vara långsiktigt hållbart med utvecklingen och implementering av självkörande truckar som utför lastning och lossning av gods så är ett mål för detta projekt att räkna på kostnadseffekterna för införande av självkörande truckar. Vidare så kommer projektet undersöka om det finns potentiella hinder i rådande regelverk gällande leveransvillkor som komplicerar frågan kring ansvar och försäkring vid potentiella olyckor om processen utförs utav en robot. Långsiktiga mål med genomförbarhetsstudien är att säkerställa att lösningen är skalbar och att det finns affärspotential för utveckling av självkörande truckar som kan utföra lastning och lossning av gods.

## Begränsningar

Automation inom lager och terminaler har tidigare utforskats, utvecklats och implementeras på olika sätt, som automatiserade höglager eller kranar inom hamnar. Detta projekt fokuserar dock på processen att lasta och lossa specifika lastbärare som lastbilar och järnvägsvagnar som idag sker manuellt med truckar. Rent teoretiskt finns det andra sätt att automatisera denna process än att göra truckarna självkörande, dock skulle de alternativa lösningarna innebära stora förändringar i infrastruktur på både terminal och lastbärare vilket skulle bidra till höga investeringskostnader och lösningar anpassade för enbart vissa transporter. Då stor del av godsflöden i Sverige lastas och lossas med hjälp av truck finns det mer generell vinst i att se till hur just självkörande truckar kan utvecklas och bidra till det effektiva godstransportsystemet. Förstudien ser således inte till att:

- Utveckla nya typer av maskiner som kräver höga investeringskostnader och förändring i existerande system.
- Se till självkörande truckar som utanför aktiviteter inne på lagret eller utanför terminalens eller lagrets väggar, fokus ligger i detta skede på aktiviteter som relaterar till lastning och lossning av gods.
- Integrering av flera truckar i ett system eller att integrera truckarna med ett lagerhanteringssystem, utan fokus ligger på att kunna utföra processen för lastning och lossning.



# Genomförande

Genomförbarhetsstudien påbörjades december 2017 och pågick till juli 2018 som en del av en större satsning inom Regeringens samverkansprogram Nästa generations resor och transporter och finansieras till delar av Vinnova, Sveriges innovationsmyndighet, inom ramen för Drive Sweden. Projektet delfinansieras även utav Region Örebro län. Deltagande aktörer kommer från både näringsliv och akademi med intresse för automation och effektivitet inom logistik.

Det är primärt två olika typer av gods som har varit intressanta att undersöka närmare i relation till autonom lastning och lossning, pallgods och hantering av pappersrullar. De olika typerna av gods kräver olika förutsättningar gällande typ av truck, placering på lastbärare och godshantering. Genomförbarhetsstudien spänner över många teknikområden och har involverat expertis med erfarenhet från automation och konvertering av manuellt styrda fordon till fjärrstyrning.

Projektet har varit uppdelat i fyra arbetspaket som gemensamt bidrar till att uppnå syftet med att skapa förutsättningar för ett demonstrationsprojekt.

Arbetspaket	Leverabler	Metod/Aktiviteter
1. Legala, organisatoriska & ekonomiska förutsättningar	Affärspotential för att automatisera lastning och lossning samt se över hur legala aspekter gällande leveransvillkor kan påverka implementering	Framtagen modell för uträkning av affärspotential samt möten med aktuella transportbolag gällande leveransvillkor
2. Mappning av förutsättningar för automatiserade lastningar och lossningar	Identifiering och beskrivning av demonstration samt identifiera de krav som måste ställas på truck för att kunna genomföra demonstration som inspel till AP 3	Besök på sites som kan vara aktuella för demonstrationer för att se över förutsättningar, möjligheter och utmaningar för autonoma lastningar och lossningar
3. Teknisk arkitektur för genomförande	Teknisk kravspecifikation för truckar, sensorer och system som möjliggör demonstrationer	Undersöka marknaden på tillgänglig teknik som krävs för att möjliggöra demonstration
4. Projektledning	Praktisk koordinering av arbete, spridning och nyttiggörande av resultat samt se över möjligheter för fortsättningsprojekt	Förbereda och genomföra projektmötet samt planera inför fortsättningsprojekt med berörda aktörer och presentera projektet i lämpliga forum

Inom ramen för projektet har det gjorts besök på olika sites för att skapa en bild av förutsättningarna inom de olika casen. Detta innefattar bland annat typ av miljö, flödesbeskrivningar, specifikation på gods, potentiella risker och människorörelser. Detta har legat som grund till de teknikkraV som kommer att behöva ställas på de förarlösa truckarna samt en estimering av vad som är möjligt i närtid och vad som kan göras på sikt.



Genomförbarhetsstudien har också inneburit möten, workshops och intervjuer med leverantörer av sensorer och navigationssystem. Detta för att kunna presentera ett förslag på teknikplattform som möjliggör framtagning av en prototyptruck med hjälp av de system, komponenter och sensorer som är tillgängliga på marknaden. Studien har också involverat flera individer med erfarenhet och expertkunskap inom inbyggda system, konvertering av tunga fordon för fjärrstyrning och mjukvaruutveckling samt mekanik. Detta har bidragit till att skapa en översiktlig tidplan samt grov kostnadsuppskattning för att ta fram och utvärdera en prototyptruck i säker miljö.

För att möjliggöra definition av en rimlig kravbild har även erfarenheter från tidigare studier och forskningsprojekt ingått som underlag.

## Resultat

### Legala och organisatoriska förutsättningar

Samtliga transportuppdrag innefattar en potentiell risk för skador på godset vid hantering eller under transport. Därav finns det olika leveransvillkor som styr vem av säljaren eller köparen som bär risken för de potentiella skadorna och när under transportkedjan som ansvaret går över från säljare till köpare. Inom ramen för detta projekt har det varit intressant att studera närmare vad som gäller utifrån olika leveransvillkor och vem som är ansvarig om en olycka sker då godset lastas utav en autonom truck. Exempelvis vid leveransvillkor ex-works bär köparen risken från att godset lämnar kajen hos säljaren, varpå en olycka som sker inne på lastbäraren utav en autonom truck som tillhandahålls av säljaren men är utvecklad av truckleverantören kan väcka en del frågor kring vem som egentligen bär ansvaret för skadorna som uppstår.

Genom intervjuer med varuägare har det framkommit att leveransvillkoren vid transportförsändelser kan påverka möjligheterna med autonom lastning och/eller lossning. För att möjliggöra demonstrationsprojekt och senare implementering finns tre möjliga vägar framåt:

1. Inrikta sig på ett enkelt flöde som inte har legala utmaningar där köpare och säljare är samma bolag
2. Avtala bort eller göra ett tilläggsavtal för vem som ansvarar för lastningen
3. Ändra regelverket för de case där legala föreskrifter komplicerar implementering

För ett demonstrationsprojekt vore det främst aktuellt att rikta in sig på ett enkelt flöde där leveransvillkor inte utgör ett hinder. Då krävs inga förändringar i existerande avtal och det behövs inte heller några regeländringar. Detta kan dock vara av intresse på längre sikt.

### Business case för Autolast

Det finns en rad ekonomiska fördelar med att automatisera processer i produktion och materialhantering, så som, minskade skador på gods och maskiner, färre arbetsplatsolyckor och högre effektivitet och

produktivitet. För ett långsiktigt perspektiv behöver det finnas affärspotential i att utveckla truckar som autonomt kan utföra lastning och lossning av gods samt moment som har de svåraste tekniska randvillkoren.

Processerna är komplexa och kräver hög precision vilket innebär avancerade tekniska komponenter och system som behöver samspela och integreras. Aktiviteterna ska göras på ett säkert och kostnadseffektivt sätt och så att de kan följa produktionstakten för att hantera godsflödet hela tiden. Detta leder till en hög teknisk utvecklingskostnad samtidigt som truckarna initialt inte förväntas ha lika hög produktivitet som manuella truckar. Att följa produktionstakten kan även innebära att det erfordras extra manuella truckar, eller att förarlösa truckar körs manuellt vid maximal produktionstakt, eller vid oförutsedda operativa driftssituationer.

För ett marknadsintresse för utveckling av dessa truckar krävs det att antingen produktiviteten kan uppnå samma nivåer som idag eller att man med ett bredare systemperspektiv skulle kunna skapa förutsättningar för en successiv automatisering av hanteringsmomenten och erforderlig produktivitet.

Exempelvis på detta är hur autonoma truckar kan bidra till:

- Kontinuerlig produktion 7/24 vilket minskar personalkostnader från flera skift;
- Lasta nattetid så att lastbilarna är färdiglastade när chaufförerna påbörjar sitt arbetspass på morgonen;
- Spara på ytor i lager och terminaler om truckarna kan kopplas an till när lastfordonet beräknas anlända eller avgå från kajen vilket också optimerar lager-/terminalflödet;
- Minska kostnader för skador på gods och människor samt minskat underhåll och slitage på truckar och lokaler;
- Truckarna kan köras, optimeras och underhållas enligt användarens önskemål och villkor;
- Minskad energiförbrukning på truckar, terminaler och lager;
- Ökad teknisk livslängd på truckarna.

Samtidigt behöver produktiviteten på de autonoma truckarna uppnå en viss höjd för att kunna motverka besparingarna i personalkostnader. Följande KPIer har identifierats som aktuella för att mäta enskilda truckars prestanda:

- Antal flyttade pallar per timme;
- Tid att fylla ett standardsläp (för att begränsa KPI till att mäta enbart truckens prestanda);
- Andel pallflyttningar som misslyckats, för att trucken har stannat;
- Andel pallflyttningar som misslyckats, för att pallan har hamnat på fel ställe;
- Tid mellan händelser där en operatör måste ingripa;
- Kostnader för installation;
- Kostnader för drift;
- Antal kollisioner eller nästan-incidenter.

Ett sätt att minimera stillastående och därav förlorad produktion är att truckarna fortfarande ska gå att köra manuellt eller fjärrstyras när exempelvis tekniska fel uppstår eller situationer som de självkörande truckarna inte kan hantera.

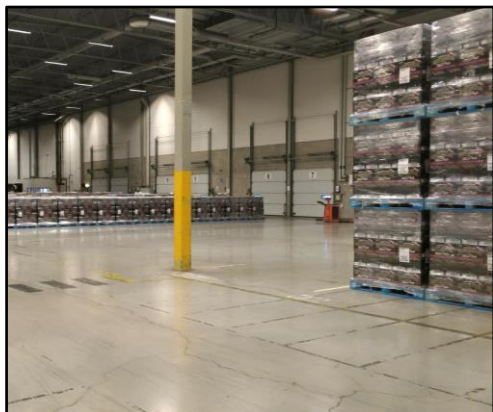
I och med komplexiteten i att utföra autonom lastning och lossning av gods har det i detta projekt inte varit möjligt att räkna på de individuella KPIerna då det är svårt att estimeras prestandan på de autonoma truckarna som ska utföra de föreslagna aktiviteterna. Något som behöver tas i beaktning i potentiellt demonstrationsprojekt.

### Autonom lastning av pallgods

Denna kravspecifisering ser till hur truckar autonomt ska kunna utföra lastning av pallar från avställningsyta nära lastkaj till lastbärare, till exempel container eller lastbil. Även om automation av lagerhantering inom lagret till viss del finns att tillgå redan idag, saknas helt lösningar för automatisk lastning av pallar in i container eller lastbil. Det här är något som i diskussioner med slutanvändare både i Sverige och utomlands uppgetts som något som vore mycket värdefullt. En av de största svårigheterna med det här momentet är att pallar måste ställas in på väldigt trånga utrymmen, så det går inte att köra efter fasta positioner, som annars är brukligt. Denna genomförbarhetsstudie har dock sett till att se över tillgänglig teknik, vad som behöver utvecklas och hur lastning av containrar eller lastbilar kan genomföras av självkörande truckar.

### Case beskrivning

Som case har hantering av pallar från Kopparbergs bryggeri på Hallsbergsterminalen tittats närmare på. Lagret håller mellan 100 och 14 000 pallar och hanterar vid högsäsong ca 2600 pallar per vecka, vilket motsvarar 100 containrar. Idag sköts pallhanteringen vid lastning utav truckar med långa gafflar som kan ta två pallar i taget vilket ökar produktiviteten.



Det finns främst tre huvudaktiviteter den självkörande truck ämnar utföra:

1. Lyfta ner pall från stuvplats i anslutning till lastningsytan och ställa upp pallan på uppställningsplats inför lastning (kräver en truck som kan lyfta upp till ca 3 m, samt längre gafflar)
2. Hämta pall från uppställningsplats och lasta i container/lastbil eller att lossa container/lastbil och ställa upp på uppställningsplats (kräver endast en låglyftande truck)
3. Ställa på utpekad yta om något är fel

Pallarna som står på stuvplatserna är oftast lastade på höjd och även med förskjutning. Med förskjutning menas att pallarna ej står över varandra utan den 'översta' pallan står på delar av två alt. fyra pallar. För att kunna hantera dessa pallar behövs gafflar som är längre än en lastpall för att kunna nå. När manuella truckar används med långa gafflar kan en truck ta fyra pallar på en gång (där ingen av pallarna är lastade på höjd).

Lastning görs på lastbil eller container som sedan ska skickas vidare internationellt med båt. Att godset ska skickas med båt innebär också att plastningen av pallarna går ned över hålen i pallan där gafflarna ska in vilket kan skapa problem för automatisk pallplockning. Godset lastas vanligtvis två pallar i bredd (sjöpall) eller tre pallar i bredd (standard EUR-pall). Som det visas på bilden nedan så är utrymmet på lastbärare begränsat vilket ställer höga positioneringskrav på den självkörande trucken vid lastning eftersom det inte går att köra utifrån fasta positioner.



Samtidigt är det inte säkert att pallan sitter rakt på gafflarna. Därför måste trucken i stället kunna "känna sig fram" för att styra in pallan med hjälp av lastbärarens väggar eller andra objekt i omgivningen (såsom befintliga pallar), och köra in sneda pallar så att de rätar upp sig mot containerns kant. Det är viktigt att kunna skilja på de krafter som ligger på gafflarna vid normal körning, och när pallan har fastnat eller kört på något. En extra utmaning är att skilja på glidkrafterna vid körning upp- och nedför rampen. Det kommer att kräva maskininlärning för att lära in nominella kraftmönster under körning, samt feldetektering (anomaly detection) för att upptäcka mönster som skiljer sig nämnvärt från normal körning, i kombination med nyutvecklade metoder inom reglerteknik med hjälp av kraftstyrning (force feedback).

## Kravspecifikation för automatiserad hantering av pallgods

Till skillnad från de manuella truckar som kör i dagsläget kommer målet för prototyptrucken i demonstrationsprojekt vara att hantera en pall i taget. Komplexiteten för att hantera en pall är tillräckligt hög varpå att få det att fungera är prioriterat i ett första skede. Då trucken kommer att köras i trånga utrymmen kommer det ställas höga krav på manövreringsfunktionaliteten. Samtidigt så är det en miljö som är föränderlig då gods flyttas runt och människor ibland rör sig i närheten. På grund av detta kommer trucken behöva ändra sitt körbeteende beroende på de aktuella förhållandena, såsom hastighet, acceleration och körvägar om det finns hinder eller människor inom truckens synfält.

För att kunna placera pallarna med sådan precision som krävs på lastbäraren behöver den självkörande trucken mäta in precis var på gafflarna som pallen står så att trucken bättre kan kompensera för pallar som har hamnat snett på gafflarna. Detta kan göras med djupseende (så kallade RGBD-kameror). Dock har de RGBD-kameror som finns tillgängliga idag en noggrannhet på centimeternivå, vilket inte riktigt räcker för körning i så trånga utrymmen som caset innebär. Det kan därav vara värdefullt att kombinera kameror med kraftstyrning och sensorer eller på annat sätt kombinera mätdata från de olika sensorslagen för bättre noggrannhet.

För att kunna utföra de efterfrågade bör trucken uppfylla följande krav:

- Trucken behöver kunna se i 3D för att se hinder i båda riktningarna. Då trucken jobbar på en kajplats är det även viktigt att man kan se negativa hinder (kajkanten).
- Synfältet behöver vara stort för att kunna se tillräckligt bra i båda riktningarna (cirka 70 grader horisontellt) och att kunna se och detektera pallar i området.
  - Vid lagerhantering (plock och infackning), med pallar som är staplade på höjd och förskjutna, behövs mer avancerade sensorer och metoder för att segmentera och positionsbestämna pallarna.
- Trucken behöver kunna ange sin position i ett globalt referenssystem.
- Trucken behöver kunna hantera sjöpallar för Kopparbergs flöde men bör även vara öppen för att kunna hantera EUR-pallar.
- Trucken behöver kunna mäta krafter på gafflarna för att avgöra om pallen sitter på rätt sätt, samt att “känna sig för” vid lastning i trånga utrymmen (“compliant control”).
- Systemet behöver vara adaptivt för förändringar för att kunna hantera nya mål, hinder, etc.
- Systemet ska kunna anges en yta som den har tillgänglig för navigering men att trucken ej kan åka utanför detta område.

## Teknikplattform

Teknikplattformen kommer behöva flera olika tekniska komponenter som integreras för att möjliggöra de föreslagna aktiviteterna. Följande komponenter bör finnas på trucken:

- Sensorer för detektering av hinder och andra objekt samt för att skatta sin egen position behöver finnas på trucken:
  - Enkodrar för hjul och styrvinkel.



- Säkerhetsklassad 2D-laser i fothöjd.
- 3D-avståndssensor (antingen en Velodyne laserscanner eller två RGBD-kameror) för att se hinder.
- RefleX säkerhetskamera för att detektera personal.
- För pallhantering behöver en sensor monteras för att kunna detektera position och orientation av pallen. Sensorer kan även behövas monteras i gafflarna. Ytterligare en RGBD-kamera i gaffelhöjd kan krävas för bra pallhantering.
- Lastceller på gafflarna för att mäta krafter i olika riktningar: t.ex. 4 st ME K3D120.

Vidare ställs krav på dator och uppkoppling via trådlöst nätverk för beräkningar (analys av sensordata, körplansberäkning och positionsskattning) och kommunikation.

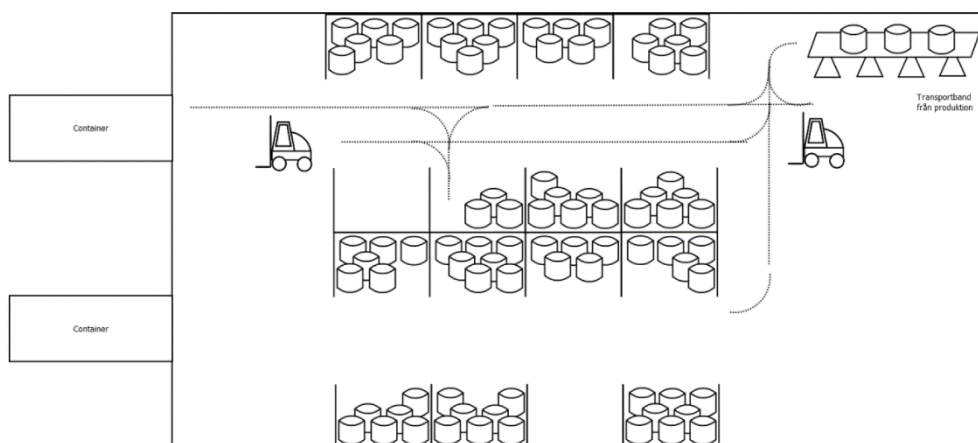
### Autonom lastning av pappersrullar

Detta avsnitt fokuserar på casebeskrivning och kravförutsättningar för demonstrationsgenomförande av självkörande truckar som kan hantera pappersrullar vid lastning och lossning. Pappersrullar hanteras ofta i andra typer av miljöer, med andra typer av truckar och andra lyftanordningar än gods på pallar vilket kräver andra förutsättningar för att kunna automatiseras. Målet har varit att ta fram ett underlag med de komponenter och det tekniska system som krävs för att kunna ta fram en prototyptruck som på sikt ska kunna testas och utvärderas i skarp miljö med höga säkerhetskrav.

### Case beskrivning

Som case för detta tillämpningsområde har pappersbruket Billerud Korsnäs i Frövi använts. Det finns främst tre huvudmoment den självkörande trucken ämnar utföra som visas i figur 1:

1. Ställa gods på uppställningsplats inför lastning (stuffning) av järnvägsvagnar, trailers, och eventuellt containers
2. Hämta pall från uppställningsplats och lasta i container/lastbil eller att lossa container/lastbil och ställa upp på uppställningsplats
3. Ställa på utpekad yta om något är fel



Figur 1. Schematisk bild på potentiellt demonstrationsområde

Pappersrullarna kräver att trucken har klämaggregat som möjliggör hantering av godset och som också behöver vara autonomt, det vill säga att systemet kommer styra och reglera aggregatet. På sikt kan det även vara aktuellt att trucken ska kunna utföra byte av aggregat för att kunna utföra andra uppgifter, detta är dock inte aktuellt att utveckla för ett eventuellt demonstrationsprojekt. Vidare behöver trucken dimensioneras för förekommande rulldimensioner, krav på lagerhöjdsnivåer etcetera.

### Kravspecifikation för automatiserad hantering av pappersrullar

Fastställande av kravspecifikation har utgått från caset och vad som anses realistiskt att genomföra i närtid, men inkluderar också önskade funktioner att addera på sikt. Önskade funktioner (F) delas därav upp i tre kategorier:

1. (F1) Funktioner som **ska** uppfyllas av prototyptruck vid test och verifiering av teknikplattform
2. (F2) Funktioner som **bör** uppfyllas av prototyptruck vid test och verifiering av teknikplattform
3. (F3) Funktioner som ska kunna utföras av en framtida serietillverkad truck för användning vid fullt utbyggd automatiserad materialhantering av pappersrullar i pappersindustri

Teknikplattformen kommer vara utformad för att klara funktionerna av kategori F1 och F2, men kommer också vara designad för att kunna kompletteras med hård- och mjukvara för att klara av mer komplexa funktioner av kategori F3, så som:

- Kommunicera med och inhämta data från WMS eller motsvarande lagerhanteringssystem
- Körning i utomhusmiljö
- Klara av att automatladda batteriet

Här nedan presenteras ett antal av de funktioner som beräknas kunna inkluderas i det kommande demonstrationsprojektet samt funktioner som bör kunna adderas på sikt:

Funktioner demotruck <b>ska</b> uppfylla (F1)	Funktioner demotruck <b>bör</b> uppfylla (F2)	Funktioner för framtida serietillverkning (F3)
Hantera körorder, ex. lastning av container/hämta från transportband/lämna uppställningsplats	Identifiera och läsa av id-märkning på pappersrulle	Lämna pappersrulle i tågagn/lastbil
Identifiera position av pappersrulle/transportband/uppställningsplats/dörrpost container	Hantera omärkta, felmärkta, oläsbara märkningar på pappersrullar	Hantera felaktigt placerade och blockerande pappersrullar/stapling av rullar
Hantera oförutsägbara händelser	Teknikplattform bör ge information om aktuella navigationsdata & aktuella fel	Logga data på utförda operationer, indata och beslut etc.
Teknikplattform bör ge information om manuella åtgärder (ex. tankning)	Detektera och mäta in springa mellan lastkaj och container	Begära samt erhålla information och data från produktions- och logistiksystem från arbetsyta vid produktionen eller terminal



Anslutas till ett gränssnitt i truck för övervakning av felvarningar, temperatur, bränslemängd samt kontroll av hastighet och bromssystem	AGV ska navigera och använda vägval på transportsträcka så att möte med annan AGV kan ske utan att kollision föreligger där bredd på transportsträcka så medger	Rapportera tillbaks information och data till produktions- och logistiksystem från arbetsyta vid produktionen eller terminal
Ska kunna identifiera objekt som pappersrulle, QR-kod, vägg, containeröppning och eventuella hinder	Om möte med annan AVG eller manuell truck ska systemet kunna hantera trafiksituation utan att dödläge uppstår som resulterar i permanent avbrott	Hantera automatladdning
Kamerasensor ska ha tillräcklig ljuskänslighet för att kunna identifiera objekt i ljusfattiga områden (exempelvis inne i containrar) alternativt tänder belysning		Detektera att dörrposthöjd är tillräckligt hög för att köra in i container eller tågagn samt om lastbärare medger stapling
Greppa och hantera 1 pappersrulle åt gången		Greppa och hantera 2 pappersrullar åt gången/hålla takt med produktionen
AGV ska kunna upptäcka och undvika kollision med hinder och människor enligt ISO 3691-4 standard <sup>1</sup>		Minska antalet skadade pappersrullar/personskador
Stoppa och stänga av truck om överhettning föreligger i motor/bromssystem/hydrauliksystem		
Körning inomhus i dammig och smutsig miljö samt utomhus under tak		
Leva upp till följande standards: SS-EN ISO 3691-1:2012 <sup>2</sup> & SIS SS-EN 1525 <sup>3</sup>		

För att möjliggöra funktionerna av typ F1 och F2 från tabellen ovan krävs hög precision gällande positionering. Här kommer flera referenspunkter att behöva definieras i det aktuella caset som också behöver ta i beaktande de miljöspecifika kraven som ställs i och med säkerhet i den dynamiska miljön. Position kommer exempelvis behöva definieras för utgångsposition varifrån pappersrullar plockas från transportband, definierad och uppmärkt uppställningsplats, en definierad lastyta som mäts in av truck för placering av pappersrullar i container samt hemposition dit trucken återvänder till då ingen ny körorder finns. På sikt kommer även position för ladd- eller tankstation, samt byte av aggregat att behöva definieras när dessa funktioner ska inkluderas.

Gällande laddning eller tankning så finns det flera aspekter att ha i åtanke när det kommer till val av elektrisk eller dieseldriven truck. För en el-driven truck finns det framtida funktioner som att automatladda vilket kan hanteras av navigationssystemet. Sammankopplas detta även med

<sup>1</sup> ISO 3691-4 Preview Industrial trucks - Safety requirements and verification - Part 4: Driverless industrial trucks and their systems. Standarden är under utveckling och beräknas färdig under 2019

<sup>2</sup> Industritruckar - Säkerhetskrav och provning - Del 1

<sup>3</sup> Säkerhet för industritruckar - Förarlösa truckar och deras system

lagerhanteringssystemet kan trucken själv åka till laddning medan den inväntar körorder. Då automatisering av dieseltankning inte är möjligt så skulle en automatiserad el-truck kunna bidra till högre effektivitet. Samtidigt så tar laddtiden ca 10% av önskad nyttjandetid för en el-truck medan tankning av en dieseltruck tar ca 5% av nyttjandetid.

I och med den miljö som råder i det aktuella caset så ställs höga krav på säkerhet. Det rör sig människor på arbetsytan och miljön är föränderlig vilket skapar risker för kollision. För den prototyptruck som kommer tas fram för demonstrationsprojektet så kommer säkerhetssystemet garantera att trucken stannar innan kollision om dess säkerhetszoner upptäcker någon innanför zonen. Detsamma gäller om trucken upptäcker andra typer av hinder eller om kontrollsystemet identifierar risk för haveri eller brand i om överhettning av motor, bromsar eller hydraulik.

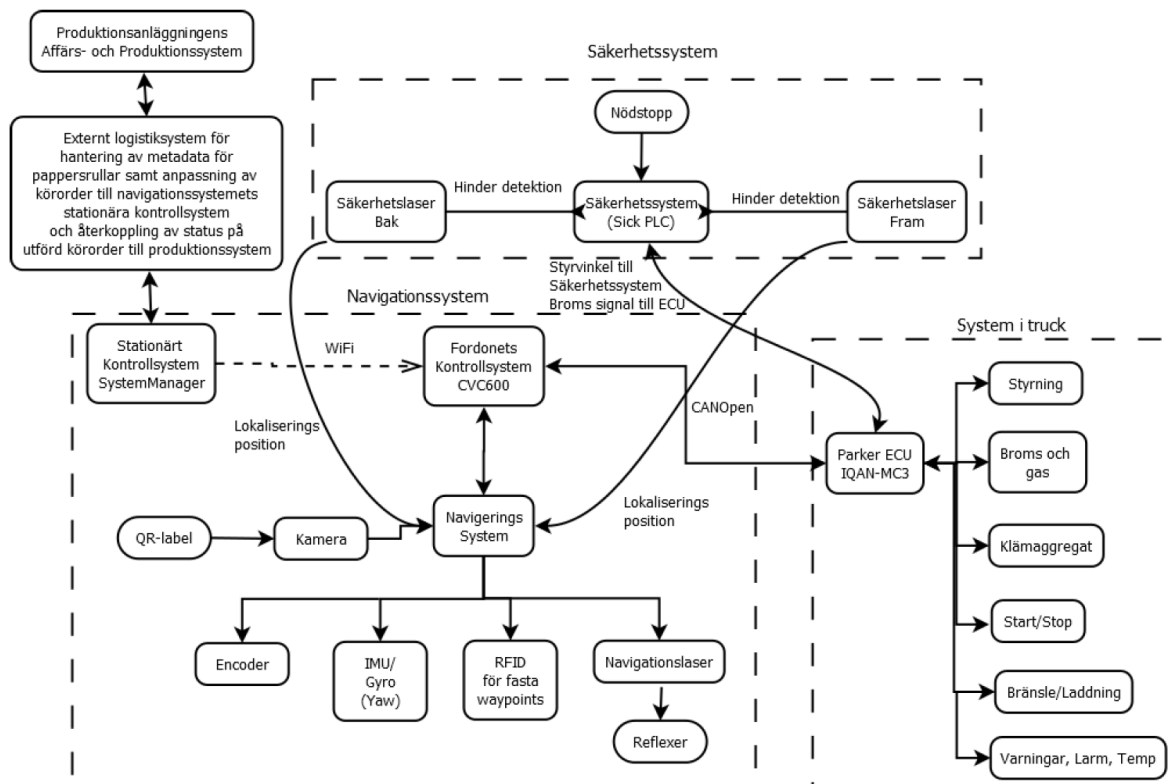
### Teknikplattform

Det finns idag inte någon färdig teknikplattform som klarar av att lösa alla uppställda krav och förväntningar. Denna måste istället byggas ihop av ett antal delsystem och komponenter som behöver integreras ihop. För prototyptrucken gäller detta säkerhetssystem, navigationssystem, trafik kontroll, kontrollsystem för att köra truck, kontrollsystem för hantering av klämaggregat och logistik- och kommunikationssystem som kan ge och hantera arbetsorder.

Teknikplattformen är tänkt att på sikt automatiskt kunna styra och reglera ett antal definierade arbetsuppgifter:

- Ta emot arbetsorder från produktionssystem och logistiksystem
- Tolka arbetsorder
- Utföra arbetsorder
- Framkörning av pappersrullar från produktion till uppställningsplats för mellanlagring
- Framkörning av pappersrullar från uppställningsplats för mellanlagring till uppställningsyta inför lastning (aktuellt för demonstrationsprojekt)
- Lastning av pappersrullar från uppställningsyta inför lastning till angiven/identifierad plats i container
- Identifiera, (hitta) och logga information om pappersrullar som hanteras vid framkörning och lastning
- Återkoppla utförd arbetsorder till produktionssystem och logistiksystem

Hur teknikplattformen ska utformas och specifika delkomponenter definieras i figur 2.



Figur 2. Översiktbild på teknikplattform. Förslag på teknikplattform baseras på de bäst lämpade produkterna från marknadsjämförelsen

## Slutsatser

Syftet med denna genomförbarhetsstudie har varit att ta fram förutsättningar för en eller flera demonstrationsprojekt med autonom körning av truck som kan navigera och hantera gods i dynamiska miljöer samt utföra lastning, lossning och omlastning av gods i terminaler och/eller produktionsanläggningar. De case som har kristalliserats ut under projekts gång gäller dels hantering av pallgods och dels hantering av pappersrullar. Dessa case innebär olika förutsättningar för truckarna gällande teknisk utveckling, krav på komponenter, precision och miljö vilket presenterats i de kravspecifikationer som ställs på prototyptruckarna i kommande demonstrationsprojekt. Detta tillsammans med en marknadsundersökning av tillgänglig teknik har det varit möjligt att ta fram förslag på de sensorer och navigationssystem som kommer behöva integreras för att utföra de önskade aktiviteterna. Detta har resulterat i en grov kostnadsuppskattning och en översiktlig tidplan för att konvertera en truck som kan hantera pallar samt en truck som kan hantera pappersrullar.

Samtidigt kan det fastställas att truckarna som kommer att utvecklas inte kommer att ha lika hög produktionstakt som de truckarna som idag körs utav anställda. Därav har det inom ramen för projektet gjorts en ekonomisk kalkyl på när det blir ekonomiskt hållbart att införa autonoma truckar samt

undersökt vilka effekter implementering av dessa kan ha då de kan utföra aktiviteterna alla timmar på dygnet. Det kan med denna fastställas att det finns hög ekonomisk potential med utveckling av dessa truckar, men samtidigt måste det testas för att kunna uppmäta de verkliga effekterna. Samtidigt det fastställas att de truckar som utför dessa aktiviteter kan vara en del av ett större system inom autonoma, uppkopplade och samverkande terminaler som på sikt kan uppnå än högre effektivitetsvinster. Detta innebär exempelvis att de autonoma truckarna i ett framtida scenario skulle kunna integreras och kommunicera med andra fordon och IT-system för att skapa mer optimala flöden i ett systemperspektiv.

Det långsiktiga perspektivet i projektet har även möjliggjort ett fastställande av de flöden som primärt vore lämpliga för implementering av de självkörande truckarna som utför lastning och lossning då det finns legala förutsättningar som kan påverka ansvarsfrågan vid potentiella olyckor eller skador. Det bör således i ett demonstrationsprojekt användas enklare flöden där köpare och säljare av godset är samma bolag för att undvika komplikationer gällande leveransvillkor.

## Fortsättning

Det har under denna genomförbarhetsstudie fastslagits att det finns hög potential för att utföra autonom lastning och lossning av gods på terminal och lager. I kommande demonstrationsprojekt kommer fokus ligga på att utveckla truckar som kan utföra autonom lastning av pappersrullar och gods lastat på pallar enligt funktionskravlistan i resultatkapitlet.

Under projektets gång har det även framkommit andra frågeställningar kring hur terminaler kan utvecklas för att bli en del av det effektiva, uppkopplade och autonoma godstransportsystemet. Mycket utveckling för uppkoppling och autonomi sker inne på lagren och ute på väg och järnväg, och kan de truckar som kommer utvecklas för att utföra autonom lastning och lossning kopplas an till dessa system skulle stora effektiviseringsvinster kunna uppnås. Det finns därav intresse av att kolla på uppkoppling och autonomi på den smarta terminalen utifrån detta perspektiv. Således kommer frågor kring systemeffekter att inkluderas i det framtida projektet för att utreda hur olika autonoma system kan integreras och skapa långsiktigt hållbara effekter för hela godstransportsystemet.

## Partners och kontaktpersoner

**CLOSER** 



**ScandFibre** 

**LOGENT**  
SUPPORTING LOGISTICS

### **Kontaktpersoner:**

Hannes Lindkvist	CLOSER
Daniel Rönnbäck	Linde Material Handling
Anders Bäcklund	Linde Material Handling
Henrik Bergsten	Linde Material Handling
Martin Magnusson	Örebro Universitet
Henrik Andreasson	Örebro Universitet
Pär Sund	ScandFibre Logistics
Daniel Rhedin	Logent