

KANDIDATARBETE VID INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

PICK-TO-VISION IMSX15-18-13

Effektivisering av plockprocessen i lager med hjälp av AR

Författare

A.MAHMUTOVIC

A.ANDRESASSON

L.SÖDERSTRÖM

Handledare

LIANG GONG

Chalmers tekniska högskola Göteborg 14 maj 2018



Förord

Detta kandidatarbete har utförts på Chalmers Tekniska Högskola, vid institutionen för industri- och materialvetenskap och innefattar 15 högskolepoäng. Arbetet är utfört i Stena Industrial Innovation Laboratory (SII-Lab) och hos Swegons fabrik i Kvänum.

Vi vill tacka alla de anställda från Swegon AB som har involverat sig i projektet och som gästvänligt har tagit emot oss under besöken i Kvänumfabriken. Extra stort tack till vår handledare och examinator, Liang Gong respektive Åsa Fasth Berglund, som har möjliggjort projektet och tillhandahållit ovärderlig hjälp och vägledning under projektets gång.

Abstract

Order picking is a key aspect in terms of cost and time expenditure in today's warehouse operations. Order picking can account for up to 60% of the total cost in a warehouse which would classify it as the most cost intensive activity done in a warehouse. The order picking system used by a company, will yield different performance measures with regard to picking time and picking quality. The most common order picking systems used today are, paper picking, Pick-by-light, RFID and Pick-by-voice. The different order picking systems exist in a continuum of technological complexity and reduce the cost and time expenditure but affect the work load an operator is exposed to. Pick-by-vision is a new order picking which uses Augmented Reality (AR) with the help of smart glasses as the medium for conveying information.

This Bachelor's thesis encompasses a field study done at Swegon AB which was used to evaluate whether an implementation of Pick-by-vision would improve their order picking performance. An application to Microsoft HoloLens was developed to enable the testing of Pick-by-vision. The application guided the operator with the help of graphical indicators. No clear conclusion could be drawn from the case study regarding the superiority of Pick-by-vision compared to other order picking systems at Swegon. To draw clear conclusions further research is required, focusing on the optimal method for providing information to an operator and which hardware is suitable depending on the warehouse layout.

Sammanfattning

Orderplockning är en central process inom logistik och produktion. Jämfört med övriga lageraktiviteter, står orderplockning för upp till 60% av de totala lagerkostnaderna, vilket klassificerar orderplockning som den mest kostnadsintensiva lageraktiviteten. En implementering av olika plocksystem påverkar plockprocessen och tillhörande prestationsmått så som hastighet- och kvalitet i plockningen. De mest återkommande plocksystemen i nuläget är pappersplockning, läsning av streckkoder med handskanner, Pick-by-light, RFID och Pick-by-voice. Den breda skalan av plocksystemen varierar sett till teknisk komplexitet och bidrar till att reducera lagerkostnader, men påverkar även den arbetsbörda plockarbetare utsätts för. Pick-by-vision är ett nyare plocksystem som bygger på Augmented Reality (AR), där operatören bär smarta glasögon som tillhandahåller nödvändig information.

Inom detta arbete har en fallstudie lagt grund till att försöka avgöra om Pick-by-vision kan effektivisera plockprocessen i lager för det tillverkande företaget Swegon AB. För att möjliggöra ett utförande av studien har en applikation till Microsoft HoloLens utvecklats för att sedan utvärderas i Swegons verkliga plockmiljö. Den framtagna applikationen avser att leda operatören till eftersökt lagerplats genom grafiska indikatorer. Utifrån resultatet har ingen klar slutsats kunnat dras om ifall Pick-by-vision är mer effektivt än andra plocksystem för Swegon AB. Således rekommenderas vidare forskning som bör vara inriktad på att utforska samband mellan hur olika sorters lager behöver olika typer av information samt vilken hårdvara som är bäst lämpad för detta.

Innehåll

Ordlista

Akronymer

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Metod	1
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Bakgrund om Swegon	2
1.5.1	Nulägesanalys av plockmiljön i Swegon	3
2	Teori	4
2.1	Orderplocksystem	4
2.1.1	Pappersplockning	5
2.1.2	Handskanner med streckodsläsning	5
2.1.3	Pick-by-light	6
2.1.4	Pick-by-voice	6
2.1.5	RFID	7
2.1.6	Pick-by-vision	7
2.1.7	Jämförelser av plocksystem	8
2.2	Prestationsmått	10
2.2.1	Plockhastighet	10
2.2.2	Plockkvalitet	11
2.2.3	Produktivitet	11
2.2.4	Ergonomi	11
2.2.5	Smarta glasögons effekt på prestationsmått	12
2.3	Virtuell inläring	13
2.3.1	Kognitiva fasen	14
2.3.2	Associativa fasen	14
2.3.3	Autonoma fasen	14
2.4	Augmented Reality	15
2.4.1	Tillämpningar av Augmented Reality	16
2.4.2	Microsoft HoloLens	18
2.4.3	Begränsningar Microsoft HoloLens	18
2.5	Nulägesanalys av smarta glasögon	19
2.5.1	Sony Smarteyeglass	19
2.5.2	ODG R-7	20

2.5.3	Epson Moverio BT-2000	20
2.5.4	Vuzix M300 Smart Glasses	20
2.5.5	Daqri Smart Glasses	20
3	Metod	20
3.1	Framtagande av produkt	21
3.1.1	Unity	21
3.1.2	Verifiering och validering	21
3.2	Färdig produkt	22
3.2.1	Visuell guidning	22
3.2.2	Logik och datastruktur	24
3.3	Datainsamling	25
3.3.1	Mätning av plockhastighet	25
3.3.2	Mätning av kvalitet	25
3.3.3	Enkätundersökning	26
4	Resultat och diskussion	26
4.1	Tidsmätning	26
4.2	Enkätresultat	28
4.3	Felkällor och observationer	29
4.3.1	Operatörernas vana	30
4.3.2	Applikationens brister	30
4.3.3	HoloLensens brister	31
4.3.4	Ruttplanering	31
4.4	Studiens omfattning	32
4.5	Tidigare studier	32
5	Slutsats	33
	Bilagor	39

Ordlista

RFID - En teknik som använder sig av radiofrekvenser för att skicka och ta emot information.

Kitvagn - Den vagn artiklarna läggs på vid transport.

Mixed Reality - Annan beteckning på Augmented Reality (AR).

Accelerometer - Mätinstrument som mäter acceleration.

Gyroskop - Mätinstrument som mäter rotation och vinkelhastighet.

Magnetometer - Mätinstrument som mäter magnetism.

HMD-enhet - Huvudburen enhet i form av en bildskärm.

QR-koder - Tvådimensionell streckkod.

Key Performance Indicators - En metod att mäta effektivitet hos till exempel en verksamhet.

Agilt - Lättrörligt och iterativt.

Avlusning - Programmeringsverktyg som används för att undersöka ett datorprogram under körning.

Emulator - En mjukvara som är avsedd för att efterlikna funktionen av annan hårdvara eller mjukvara.

Script - Program som utför uppgifter i andra program.

OP10 och OP20 - Beteckningar på plockordrar.

Akronymer

AR Augmented Reality.

CMD Cart Mounted Display.

HHD Handheld Device.

HMD Head-Mounted Display.

MSDs Musculoskeletal Disorders.

SKU Stock Keeping Unit.

VR Virtual Reality.

WMS Warehouse Management System.

1 Inledning

Inledningskapitlet introducerar arbetet med en bakgrund som beskriver orderplockning och dess relevans. Därefter beskrivs syftet med projektet och den metod samt avgränsningar som har tillämpats under arbetsgången. Även en kort bakgrund kring Swegon AB presenteras, följt av en nulägesanalys av den plockmiljön i företaget.

1.1 Bakgrund

Vid drift av lager är orderplockning en central- och kostnadsintensiv aktivitet. Jämfört med övriga lageraktiviteter, står orderplockning för över hälften av de totala lagerkostnaderna, vilket klassificerar orderplockning som den mest kostnadsintensiva lageraktiviteten [1]. En implementering av olika plocksystem påverkar effektiviteten av plockprocessen och tillhörande prestationsmått så som hastighet och kvalitet i plockningen. Återkommande plocksystem i nuläget är pappersplockning, läsning av streckkoder med handskanner, Pick-by-light, RFID och Pick-by-voice. Den breda skalan av plocksystem varierar sett till teknisk komplexitet och bidrar till att reducera lagerkostnader [2][3]. Den flexibilitet som människor tillhandahåller gör det svårt att koppla bort mänsklig arbetskraft helt i plockprocessen, vilket innebär att den ergonomiska faktorn blir extra viktig vid val av plocksystem. Företag har börjat implementera ett nytt plocksystem, Pick-by-vision, som bygger på Augmented Reality (AR) och smarta glasögon [4].

1.2 Syfte

Syftet med kandidatarbetet är att studera den nuvarande situationen i Swegon AB för att utvärdera om plockprocessen kan effektiviseras genom implementation av ett system baserat på Pick-by-vision med smarta glasögon.

1.3 Metod

Projektet genomfördes genom att först utveckla en applikation till smarta glasögon, som genom visuell guidning ger operatören plockinstruktioner. Därefter utfördes en undersökning i form av en fallstudie i verklig plockmiljö, där plockprocessen observerades och cykeltider mättes för att kunna utvärdera den framtagna AR-applikationen och systemet baserat på smarta glasögon.

1.4 Avgränsningar

För att underlätta framtagandet av applikationen begränsas studien och testerna till enbart en utvald del av lagret och av Swegons utbud av produkter. Att utföra fullskaliga tester som innefattar företagets fullständiga lager och produktutbud hade varit för resurskrävande. För att testet ska vara relevant har två särskilda monteringskit valts ut som innefattar en stor mängd artiklar som plockas med hög frekvens. Av ekonomiska skäl kommer projektet endast att användas sig av en enstaka Microsoft HoloLens för att utföra testerna. Projektet avser heller inte att göra en bedömning av huruvida tekniken bör användas utan begränsas till att enbart utforska systemet i sin helhet och undersöka hur effektiviteten påverkas.

1.5 Bakgrund om Swegon

Swegon AB är ett företag inom ventilations- och inneklimatsbranschen vars huvudkontor har sitt säte i Göteborg, Sverige. Företaget har ett antal fabriker och produktionsenheter i olika delar av världen. Majoriteten av anläggningarna finns i Europa, främst i Sverige, men anläggningar finns även i Nordamerika och Asien. Fabriker i Kvänum, Tomelilla och Arvika går under bolagsnamnet Swegon Operations AB, samtliga med separata utvecklingsavdelningar. Swegon AB är helägt av det börsnoterade invest-
mentbolaget Latour och är därmed ett dotterbolag i Latourkoncernen. Företaget har runt 1950 anställda och omsätter drygt 3,9 miljarder SEK (2016) [5].

Verksamheten kan delas in i fem olika affärsområden som svarar på specifika kundbehov [6]:

- Commercial Ventilation – är det affärsområdet som läggs mest fokus på och står för majoriteten av företagets totala omsättning.
- Cooling – står för drygt 30% av omsättningen.
- Home Solutions
- Light Commercial – är en nyetablering av Home Solutions och Commercial Ventilation.
- Nordamerika

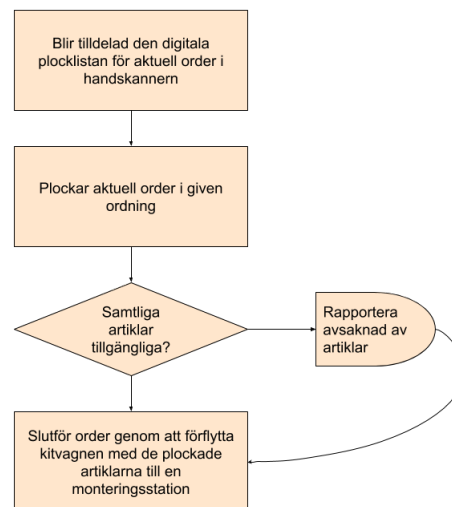
Företaget är marknadsledande inom sin bransch och fokuserar mer på komfort, kvalitet och att minimera livscykelkostnaden för deras produkter istället för att minimera försäljningspriser. Affärsidén handlar om att leverera smarta systemlösningar och produkter som leder till en betydande energibesparing och ger den totala lösningen för ett behagligt inomhusklimat [6].

Hållbarhet är något som Swegon betraktar som en kärnfråga. Ett aktivt arbete förs med miljöfrågor och arbetsmiljö, allt för ett hållbart företagande [6].

I Kvänum, som är känt för sitt entreprenörskap och dess industrier, ligger den största av Swegons fabriker. Här tillverkas och levereras luftbehandlingsaggregat. All kommunikation som förts med företaget under projektets gång har skett via fabriken i Kvänum. Det är också vid fabriken i Kvänum som utvärderingen av den nuvarande situationen för företaget och testprocessen av det nya systemet med AR-applikationen har skett [6].

1.5.1 Nulägesanalys av plockmiljön i Swegon

I företagets plockmiljö används en traditionell handdator med inbyggd skannerfunktion. Den aktuella plockordern läggs in i handdatorn och ger operatören information om vilka artiklar som skall plockas. När operatören plockar en artikel sker en kvittering genom att streckkoden tillhörande artikeln skannas av, sedan placeras artikeln på kitvagnen. Processen upprepas tills samtliga artiklar på plocklistan har skannats av, därefter flyttas kitvagnen vidare till en monteringsstation för montering. Figur 1 beskriver flödet för den nuvarande plockprocessen i företaget.



Figur 1: Flödesdiagram för nuvarande plockprocess

Swegons plocksysteem liknar ett traditionellt system där plockarbetaren får plocklistan i utskrivet pappersformat, vilket är det vanligaste systemet som används i nuläget

av de flesta företag [7]. Skillnaden är att informationen presenteras i en handdator med inbyggd skannerfunktion (liknande figur 2) istället för i pappersformat. Datan som läses av vid skanning av streckkoder är enligt Miller (2004) korrekt i 99% av fallen, men faktorer som smuts, starkt ljus och utskriftskvalitet på streckkoderna kan påverka avläsningen [8].



Figur 2: Handskanner liknande den som används på Swegon [9]

2 Teori

I följande kapitel kommer den teoretiska referensram som använts under projektets gång att presenteras.

2.1 Orderplocksystem

Ett antal studier beskriver hur manuell plockning är en av de mest kostsamma och tidskrävande aktiviteterna som utförs i ett lager [3][1][2]. Inom orderplockning bidrar människor med flexibilitet och finmotorik på ett sätt som en maskinpark aldrig kan tillhandahålla, därför blir det svårt att helt koppla bort mänsklig arbetskraft. För att underlätta för operatören så att rätt artikel kan väljas finns en rad olika plocksystem. Plocksystemen har gemensamt att de förmedlar information till operatören som sedan måste tolka den för att fatta rätt beslut för ett optimalt utförande. Informationen som operatören tar emot kan exempelvis innehålla artikelnamn, artikelnummer, lagerplats och kvantitet.

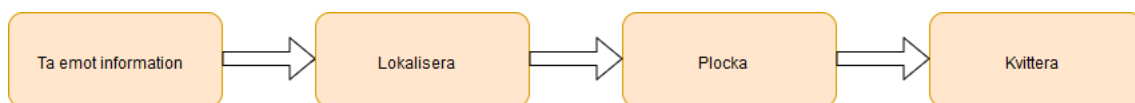
Dessa system innefattar en variation av för- och nackdelar, gemensamt syftar de till att möjliggöra en så snabb och effektiv plockning som möjligt. Vidare ser behovet

annorlunda ut för olika företag och hur man implementerar respektive system varierar i utförande. Nedan ges en beskrivning av följande plocksystem:

- Pappersplockning.
- Handskanner med streckkodsläsning.
- Pick-by-light.
- Pick-by-voice.
- RFID.
- Pick-by-vision.

2.1.1 Pappersplockning

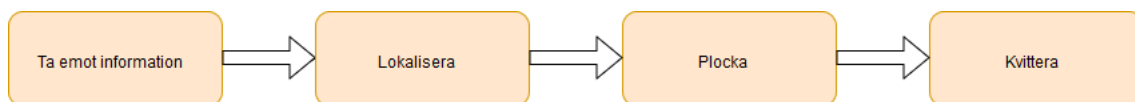
Det vanligaste systemet som används enligt Spee (2009) [7]. Operatören får information från ett fysiskt papper om artiklar som skall plockas. Fördelen med detta system är att det är billigt att implementera och att det är flexibelt vid förändringar av ett lagers struktur [10]. Dock finns det inget som leder operatören längs den optimala vägen till vald artikel, vilket kan leda till att tid förloras.



Figur 3: Diagram över utförande med fysisk plocklista

2.1.2 Handskanner med streckkodsläsning

Skannern mottar information om sökt artikel. Operatören tolkar informationen och påbörjar en sökning efter den specifika artikeln. Sökningen sker i regel med lokalisering av lagerplats. När rätt artikel har hittats plockas den och kvitteras genom att en tillhörande streckkod skannas, en ljudsignal spelas upp från handskannern som vidare bekräftar att artikeln har blivit kvitterad.

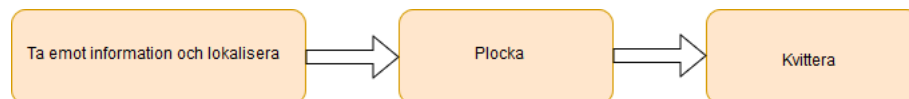


Figur 4: Diagram över utförande med handskanner

Fördelen med ett system som detta är att förändringar av det fysiska lagrets utseende inte kräver stora förändringar i lagerhanteringssystemet. Vidare har operatören ingen vägledning till artikeln som ska plockas och behöver därför inte gå den optimala vägen till rätt position, vilket kan medföra tidsförluster. Nackdelen är att plockhastigheten är långsammare relativt till andra system, se tabell 1. Vidare påverkas ergonomin negativt om plockning med handskanner omöjliggör att båda händerna används i plockprocessen, detta kan leda till förslitningsskador.

2.1.3 Pick-by-light

Pick-by-light innebär att med hjälp av lysande indikatorer leda operatören till rätt artikel. Artikeln kvitteras genom att en fysisk knapp trycks in av operatören eller med hjälp av sensorer som känner av när operatören har plockat artikeln. Hur systemet implementeras varierar, men huvudprincipen förblir den samma, att med hjälp av ljus leda operatören till det önskade området.

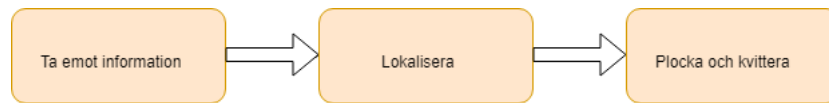


Figur 5: Diagram över utförande med Pick-by-light

Fördelen med detta system är att plockhastigheten och produktiviteten är hög samt att systemet kan optimeras genom att operatören leds via den kortaste vägen [2]. Operatören måste visuellt söka efter korrekt lagerplats med sin blick, om lagret är stort kan det krävas att operatören tar några steg tillbaka för att fånga hela lagret i sitt synfält vilket ökar den totala tidsåtgången. Nackdelen är de höga kostnader som tillkommer när ett Pick-by-light-system ska integreras och att systemet är statiskt. Om lagrets utseende förändras över tid medför det att stor del av Pick-by-light-systemet måste byggas om.

2.1.4 Pick-by-voice

Pick-by-voice är ett röststyrt system där informationen om den sökta artikeln förmedlas till operatören med hjälp av röstmeddelanden som spelas upp i hörlurar som operatören bär. Därefter lokaliserar operatören vederbörande artikel och med röstkommandon kvitterar att artikeln har plockats.



Figur 6: Diagram över utförande med Pick-by-voice

Plockhastighet ökar med ett sådant system, se tabell 1. Den optimala vägen för att plocka artiklarna kan användas i detta system, då operatören kan ledas till artiklarna i den ordning som motsvarar snabbast väg med hjälp av röststyrningen. Flexibiliteten är sämre jämfört med en handskannerimplementation eftersom om förändringar i lagret sker måste även programvaran för röstuppläsningen ändras.

2.1.5 RFID

Inom RFID-system används RFID-taggar istället för streckkoder. Där sker kvittering genom en RFID-läsare, läsarna kommer i olika utföranden: handdatorer, bärbar teknologi som handskar, ringar, armband. RFID kombineras ofta med andra teknologier som Pick-by-light för att leda operatören till rätt position.



Figur 7: Diagram över utförande RFID och Pick-by-light

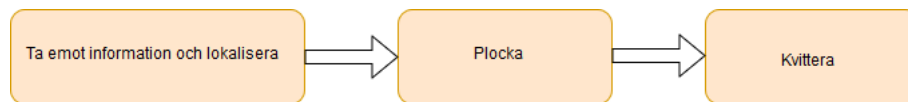
Detta system ger hög plockhastighet och hög produktivitet, även upplärningstiden är låg. De negativa aspekterna av ett sådant system är den höga kostnaden för att implementera systemet och den bristande flexibiliteten vid förändring, se tabell1.

2.1.6 Pick-by-vision

Pick-by-vision är det nyaste av dem nämnda plocksystemen. Med Pick-by-vision har operatören på sig smarta glasögon eller en HMD-enhet som förser den med information om artiklar som ska plockas. Informationen kan bestå av en digital plocklista bestående av text som leder operatören till rätt lagerplats. HMD-enheter och smarta glasögon kan även projicera grafik på operatörens verklighet för att med grafiska indikatorer leda operatören till den korrekta lagerplatsen för artikeln. Systemet vidare kan delas upp i två delsystem:

- HMD med extern kvittering (RFID eller handskanner).
- HMD med inbyggt stöd för kvittering.

HMD-enheter, oftast i form av glasögon kan vara kopplade till en extern enhet som är kopplad till ett lagerhanteringssystem för att möjliggöra kvittering. Detta är för att alla modeller inte stödjer integrering av programvara som krävs för att vara kopplad till en server eller liknande. Det finns HMD-enheter med inbyggt stöd för kvittering. Då sker kvitteringen med hjälp av sensorer och/eller kameror som har möjlighet att läsa av streckkoder eller QR-koder.



Figur 8: Pick-by-vision med extern kvittering



Figur 9: Pick-by-vision med integrerad kvittering

Fördelen med att använda sig av visuella hjälpmedel i form av t.ex. smarta glasögonen är att instruktionerna ständigt är tillgängliga i operatörens synfält och den korta inlärnings tiden [11]. Beroende på implementation kan operatörens båda händer frigöras. Operatören kan med grafiska indikatorer ledas längs den optimala plockvägen. En HMD-enhet med extern kvittering skulle innebära att operatören själv måste utföra kvitteringen vilket är ett avbrott i plockprocessen medan integrerad kvittering skulle innebära att programvaran ansvarar för kvitteringen. Om kvittering sker genom att en streckkod läses av innebär det dock att operatören måste ingripa för att utföra handlingen, med automatisk igenkänning av artiklar skulle detta inte krävas. Nackdelen är att tekniken är i ett tidigt skede och god praxis för användandet av sådana system ännu inte är etablerade.

2.1.7 Jämförelser av plocksystem

Daria Battini et al. har utfört en fallstudie där bland annat olika plockmetoders kostnad och tidsåtgång utvärderades. I studien testades två olika sorters lagerupplägg, en med 50 stycken artiklar och en med 2000 stycken artiklar [2]. Det författarna fann var att för ett lager med få artiklar som ska plockas är handskanner med streckkods- och RFID-läsning och Pick-by-voice de bästa systemen. Vid större lager och fler plockade artiklar per timme är Pick-by-light med RFID-kvittering det bästa alternativet sett till tidsåtgång och kostnad.

Tabell 1: Data från fallstudie

Orderplocksystem	Antal artiklar	Tidsåtgång
Handskanner	50st	31.58s
	2000st	139.83s
RFID och handskanner	50st	30.04s
	2000st	138.29s
Pick-by-voice	50st	28.84s
	2000st	135.94s
Pick-by-light	50st	24.68s
	2000st	128.69s
RFID och Pick-by-light	50st	23.70s
	2000st	127.71s

Litteraturen är begränsad för utföranden av Pick-by-vision. Det har gjorts ett antal fallstudier med varierande frågeställningar och resultat. En studie som har gjorts är: "Order Picking with Head-Up Displays" av Anhong Guo et al. [12]. Där jämfördes plockhastighet och kvalitet (antal felplock) med andra plockmetoder som pappersplock, Pick-by-light, Pick-by-Cart Mounted Display (CMD). Det författarna kom fram till var att Pick-by-vision gav bättre resultat i form av tidsåtgång och antal felplock jämfört med Pick-by-light och Pick-by-paper med potentiellt mycket lägre kostnader än Pick-by-light [12].

Tabell 2: Data från Anhong Guo et al. (2014)

Plocksystem	Pick-by-vision	Pick-by-CMD	Pick-by-light	Pick-by-paper
Plocktid (genomsnitt)	38.57	39.24	45.51	62.27
Plockfel per order (genomsnitt)	0.0064	0.0125	0.0370	0.0296

I "Augmented reality as a means of conveying picking information in kit preparation for mixed-model assembly" från 2017 [13], jämfördes tidsåtgång och kvalitet av Pick-by-vision med pappersplockning. Här observerades att Pick-by-vision presterade bättre sett till tidsåtgång och kvalitet.

Tabell 3: Data från Hanson, Falkenström och Miettinen (2017)

Plocksystem	Pick-by-vision (Batch)	Pick-by-paper (Batch)	Pick-by-vision (Single-kit)	Pick-by-paper (Single-kit)
Plocktid (per artikel)	3.06±0.13	3.50±0.12	4.80±0.4	4.31±0.23
Total mängd felplock	0.52%	0.81%	0.13%	0.67%

2.2 Prestationsmått

Prestationsmått, eller "Key Performance Indicators (KPI)", är ett mätbart värde som kan användas för att utvärdera hur väl ett företag uppnår sina interna mål. Inom lagerarbete kan prestationsmått användas för att mäta effektiviteten för de olika aktiviteterna. Enligt Kusrini, Novendri och Helia (2018) kan lageraktiviteter delas upp i fem delmoment med de engelska termerna receiving, put away, storage, picking och shipping [14]. Receiving täcker in truckrelaterade aktiviteter som har med planering och avlastning att göra. Put away innebär placering av produkter och material som precis köpts in av företaget. Till skillnad från put away innefattar storage förflyttning av det inköpta materialet till en specifik lagerplats. Picking, eller orderplockning, brukar klassas som den mest arbetsintensiva och kostsamma lageraktiviteten. Kostnaden för enbart orderplockning täcker upp till 60% av de totala kostnaderna för allt lagerarbete [1]. Shipping inkluderar bland annat planering, paketering och leverans av färdig produkt.

Inom de olika lageraktiviteterna kan ett antal prestationsmått beräknas för att mäta effektivitet. I sin studie jämför Kusrini, Novendri och Helia (2018) olika prestationsmått inom lageraktiviteter [14]. Prestationsmått tilldelas en uträknad vikt; en hög vikt innebär en hög betydelsegrad. De tre prestationsmått som har störst inverkan på orderplockning och är av högst vikt är plockhastighet, kvalitet och produktivitet (se tabell 4). Var och en av dessa prestationsmått diskuteras separat i rådande kapitel.

Tabell 4: Betydelsegrad för olika prestationsmått inom lageraktiviteter

Activity	Financial	Productivity	Utilization	Quality	Cycle time
Receiving	0.19	0.41	0.08	0.16	0.17
Put away	0.12	0.23	0.19	0.14	0.32
Storage	0.15	0.17	0.34	0.20	0.13
Order picking	0.16	0.18	0.15	0.20	0.31
Shipping	0.14	0.30	0.16	0.24	0.15

2.2.1 Plockhastighet

Plockhastighet mäts ofta i form av cykeltid; tiden det tar att slutföra en hel order från början till slut. Genom att mäta och förbättra cykeltiden för plockprocesser i lager kan kostsamma flaskhalsar elimineras. Vid mätningar med tidtagarur finns en risk för att arbetsutföraren blir implicit påverkad och förändrar sin arbetstakt.

2.2.2 Plockkvalitet

Plockkvalitet är ett centralt begrepp inom lagerarbete och definieras ofta som [15]:

$$Plockkvalitet = \frac{Antalet\ Totala\ Ordrar}{Antalet\ Perfekt\ Utförda\ Ordrar}$$

En felutförd order kan resultera i att artiklar behöver placeras tillbaka på sin lagerplats, vilket ökar den genomsnittliga leveranstiden per order. Vilket system företaget använder under plockprocessen är en avgörande faktor för plockkvaliteten. Genom att som företag välja ett lämpligt system underlättas plockprocessen för arbetaren och risken för felplock minskar. Enligt WRDC DC Measures Report (2015) ligger medianvärdet för plockkvalitet inom lagerarbete på 99.4% [15].

2.2.3 Produktivitet

Enligt Chan och Chan (2011) är produktivitet vid plockning definierat som antalet plockade lagerhållningsenheter (SKU) per manstimma [16]:

$$\text{Produktivitet för plockprocess} = \frac{Antalet\ Plockade\ SKU}{Manstimma}$$

Förflyttning runt om i lagret är den aktiviteten i plockarbetet som är den mest tidskrävande, och står för hälften av den totala tidsåtgången för plockarbetet [1]. Allokering av resurser för att reducera förflyttningstiden kan produktiviteten ökas. Likt prestationsmått plockhastighet och plockkvalitet beror produktiviteten till hög grad av vilket system som används för plockning.

2.2.4 Ergonomi

Majoriteten av den orderplockning som utförs i dagsläget sker manuellt, vilket gör att mänsklig arbetskraft är en avgörande faktor för utförandet. Upprepade lyft och hantering av tungt material utsätter arbetare för en hög risk att utveckla olika förslitning- och belastningsskador (MSDs) i det muskuloskeletala systemet [17]. Enligt en studie från Lunds Universitet, författad av Lidgren et al. (2014), är över 100 miljoner européer drabbade av MSDs.

I orderplockning är lagrets utformning direkt kopplat till risken för att utveckla MSDs. Höjden och djupet av respektive hyllplan samt vikten på det som hanteras och lyfts

är exempel på faktorer kopplade till lagrets utformning som påfrestar arbetaren fysiskt. Vid beslutsfattande för orderplockning bör fokus inte enbart läggas på prestationsmått så som plockhastighet för att uppnå ekonomiska mål, utan även ergonomiaspekten bör beaktas. Genom att integrera den ergonomiska aspekten i beslutsfattandet är det möjligt att uppnå satta ekonomiska mål på ett sätt som samtidigt minimerar hälsorisker. Ergonomi kan även ha en direkt verkan på produktivitet, då muskel- och skelettskador är en bidragande faktor till sjukfrånvaro [18].

2.2.5 Smarta glasögons effekt på prestationsmått

Ett antal studier har gjorts som analyserar hur smarta glasögon påverkar plockprocesser i lager och prestationsmått (se avsnitt 2.1.7). Studierna bygger främst på mätningar av prestationsmått relaterade till orderplockning. De utförda testerna i studierna är begränsade till enbart labbmiljö, vilket påverkar validiteten hos resultaten.

Ovannämnda studier presenterar resultat som visar smarta glasögons påverkan på cykeltider och plockkvalitet. Samtliga studier indikerar att cykeltider och antalet felplockade artiklar minskar märkvärt. Eftersom operatören både kan få visuella direktiv till nästa position och se exakt vart de ska plocka artikeln ifrån, möjliggörs en mer produktiv och effektiv plockprocess, samtidigt som risken för felplock minskar [11]. Vid en lösning där användaren enbart följer grafiken och inte behöver ta egna beslut om förflyttning kan tiden för att ta in och bearbeta nödvändigt information för utföra en tilldelad uppgift reduceras [11][4][19].

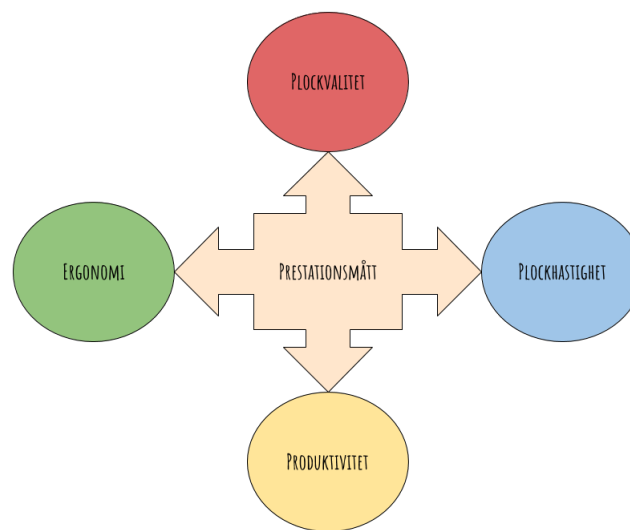
Eftersom de smarta glasögonen kommer att bäras under en hel arbetsdag av användaren är det nödvändigt att de är ergonomiskt designade [20]. Ett antal av de smarta glasögon som finns tillgängliga på saknar ergonomisk design [21]. En icke-ergonomisk design kan leda till att systemet i sin helhet uppfattas som något negativt av användaren (se avsnitt 4.2).

Ett system med smarta glasögon tillåter användaren att motta information samtidigt som båda händer kan användas till att utföra arbetsuppgifter. På så sätt kan hantering av material och lyft ske på ett säkrare sätt, vilket leder till att risken för att utveckla MSDs minskar [17]. Plockprocessen blir även mer tidseffektiv då båda händerna används och plockhastigheten ökar.

I sin artikel från 2009 påpekar Thomas och Sandor att smarta glasögon kan begränsa användarens synfält [20]. Hur stor del av synfältet som begränsas beror på vilken produkt som används. Microsoft HoloLens, som tillåter användaren att interagera med

virtuella tredimensionella objekt, kan begränsa användarens synfält på ett sätt som stänger ute information från omgivningen. Missad information kan leda till kritiska fel i utförandet från användaren. Även den sociala aspekten inom företaget kan drabbas vid en implementation av smarta glasögon, vilket en studie från 2014 visar [22].

Figur 10 redogör för en överblick över de betraktade prestationsmåten inom ramen för projektet.

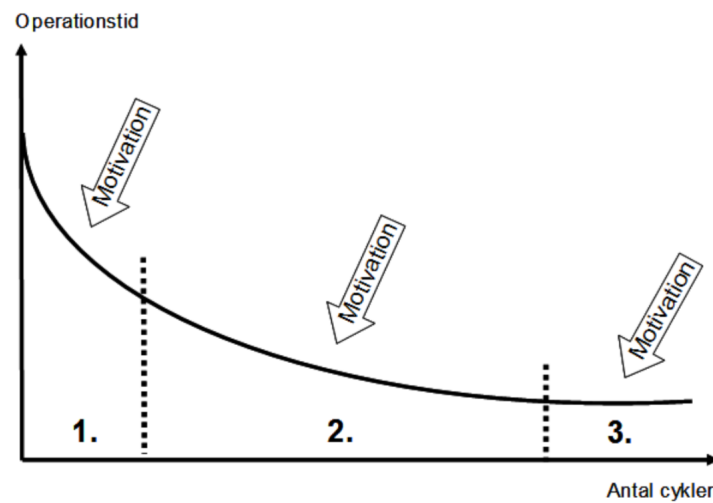


Figur 10: Prestationsmått inom ramen för projektet

2.3 Virtuellt inläring

Augmented Reality tillåter operatörsträning i form av instruktioner och visualisering av artiklar eller modeller i produktionen. Virtuellt inläring möjliggör ett utförande av inlärningsprocessen som inte stör det befintliga systemet och som ofta är mindre kostnadsintensiv än traditionell operatörsträning. Resultat från studier visar att AR-teknologi motiverar användare, vilket bidrar till en snabbare inlärningsprocess [21][19].

Inlärningsprocessen för utförandet av en specifik uppgift brukar ofta delas upp i tre faser: kognitiva faser, associativa faser och den autonoma faser. Enligt figur 11 är motivation något som direkt påverkar hur effektiv inlärningsprocessen blir [23].



Figur 11: Inlärningskurva vid virtuell inläring [23]

2.3.1 Kognitiva fasen

I den kognitiva fasen behandlas information som är kopplad till den nya arbetsuppgiften. Individens koncentrationsförmåga är en avgörande faktor för hur mycket tid som går åt för att skapa en förståelse av uppgiften och hur den skall utföras. Praktisk demonstration är ett effektivt verktyg för att skapa förståelse och möjliggör för dialoger i realtid. Videoinspelningar med instruktioner som visar arbetsgången eller animerade filmsekvenser är också tänkbart, men mindre effektivt än praktisk demonstration [23].

2.3.2 Associativa fasen

När individen har gjort det strategiska valet av hur arbetsuppgiften skall utföras går medvetandet och fokus över åt att träna upp muskelminnet med de rörelsemönster som efterföljs. I takt med att motoriken finjusteras höjs effektiviteten; individen befinner sig i den associativa fasen av inlärningsprocessen. Mot slutet av den associativa fasen börjar individens implicita inlärningsfunktioner ta över, alltså inläring som sker utan medvetenhet [23].

2.3.3 Autonoma fasen

Efter inlärningsprocessen har passerat den associativa fasen och rörelsemönstret är väl inövat kan medvetandet till stor del kopplas bort vid utförandet av arbetsuppgiften.

Individens inlärningprocess har nu övergått till den slutgiltiga och autonoma fasen. Här hamnar fokus på annat än själva utförandet som nu sker implicit [23].

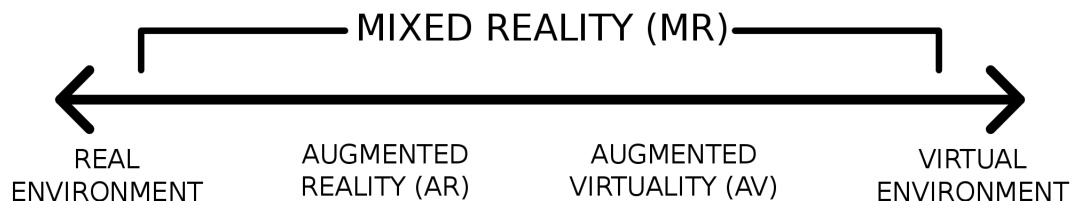
2.4 Augmented Reality

Augmented Reality (AR) har ingen fulländad svensk översättning, men "förstärkt verklighet" är den svenska termen som brukar användas [24]. Forskare inom datavetenskap och teknologi har genom åren givit begreppet Augmented Reality olika definitioner. I sin undersökning från 1997, "A Survey of Augmented Reality", förklarar Azuma att ett system måste uppfylla tre egenskapskrav för att klassas som AR [25]:

- Kombinerar den verkliga och virtuella världen.
- Interagerar i realtid.
- Presenterar virtuella objekt i tre dimensioner.

Klopfer menar, till skillnad från Azuma, att AR inte bör definieras enbart baserat på egenskaper och teknologi. Istället bör AR betraktas som ett brett koncept som i sin tur kan appliceras på all teknologi som blandar verklig och virtuell information på ett meningsfullt sätt [26]. En bred definition möjliggör att en mängd andra teknologier som datorer, handhållna enheter och huvudburna skärmar kan betecknas som AR. [27].

Till skillnad från Virtual Reality (VR), där man skapar en helt ny virtuell värld frikopplad från verkligheten, handlar Augmented Reality om att förstärka verkligheten genom att tillföra virtuell information som ett lager ovanpå den redan existerande miljön [25]. Genom att projicera och lägga till digitala objekt till användarens verklighet fås uppfattningen om att dessa objekt interagerar med världen omkring. AR behöver nödvändigtvis inte begränsas till enbart synsinnet, utan kan inkludera hörsel eller ytterligare sinnen [28]. Innan sekelskiftet introducerade Milgram et al. ett begrepp, "Reality-virtuality continuum", som sätter en virtuell värld i en skala gentemot verkligheten (se figur 12) [29].



Figur 12: Reality-virtuality continuum [29]

Ett populärt exempel där AR är implementerat är mobilspelet Pokémon GO. I slutet av 2016 stod Pokémon GO för 97% av alla AR-relaterade nedladdningar [30]. Spelet kan spelas enbart med hjälp av en smartphone, som är ett exempel på en lättillgänglig HHD-enhet med stöd för AR-applikationer. Nackdelen med handhållna AR-enheter är att båda händerna inte är fria, vilket till skillnad från en huvudburen enhet hade sänkt effektiviteten av AR-applikationer inom vissa branscher. Exempel på en sådan bransch är logistikbranschen där AR-glasögon används för att försöka effektivisera plockprocessen i lager [4].

2.4.1 Tillämpningar av Augmented Reality

Redan sedan 60-talet har AR-baserade system utvecklats. De första kända systemen var avsedda för militär, industri och sjukvård. I takt med teknologins utveckling har forskare och utvecklare upptäckt mängder av nya tillämpningsområden för AR, vilket möjliggjort utveckling av produkter även för kommersiellt bruk [31].

Inom sjukvården, vid exempelvis neurologiska- och ortopediska ingrepp, kan läkare använda sig av AR-relaterad teknologi för visualisering så att ingreppen underlättas [32]. Genom att samla in 3D-data i realtid med exempelvis ultraljud kan datan visuellt presenteras i kombination med videobilder i realtid från en patient. Detta tillåter läkaren att utan svårighet se inuti patienten [25]. Sato et al. beskriver hur optiska 3D-sensorer, med hjälp av AR, kan i minsta detalj rekonstruera tumörer från patienter med bröstcancer. De rekonstruerade tumörerna integreras med video i realtid från patientens bröst, vilket tillåter kirurgen att operera med precision utifrån de framtagna tredimensionella positionerna. Även oregelbunden cancerutveckling som med traditionella metoder kan vara svår att upptäcka, kan identifieras och avlägsnas så att risken för återfall minimeras [33]. På Karolinska universitetssjukhuset i Stockholm används 3D-utrustning med AR implementerat vid ryggradsoperationer på patienter. Genom att röntgenbilder kombineras med AR ökas precisionen och säkerheten i ingreppen [34].

I skolsystemet kan AR användas för att möjliggöra nya och experimentella sätt att lära sig på. I en studie från Liu et al. (2007), "Mixed Reality Classroom - Learning From Entertainment", fick ett antal förskoleelever från Hougang Primary School i Singapore testa AR-implementerad undervisning. Det AR-baserade "klassrummet" bestod av två olika modeller som skulle göra både undervisning i klassrummet och självlärande mer motiverande och roligt. Den första modellen gav en överblick över solsystemet och möjliggjorde interaktioner mellan användaren och de virtuella objekten. Den andra modellen var ett system som var avsett för att lära eleverna om växtrelaterade processer så som fotosyntes och frögroning. Studien visar att majorite-

ten av eleverna såg positivt på de olika systemen och fann dem användbara [35]. I en förstudie anordnad av Karlskoga kommun, IT-bolaget Nethouse och Microsoft, undersöks förutsättningarna att utveckla en ny form av distansundervisning som gynnar elever som av olika anledningar inte har möjlighet att delta i ordinarie undervisning [36]. En del negativ kritik har riktats mot en implementation av AR i undervisning. Kritiken bygger främst på att AR-undervisning kan utsätta studenter för överflödigt information, vilket kan leda till kognitiv överbelastning [27].

Inom logistik används AR främst vid drift av lager. Lagerdriftnkostnader beräknas utgöra 20% av alla logistikrelaterade kostnader, där orderplockning är den mest kostnadsintensiva lageraktiviteten [4]. Inom orderplockning undersöks AR-baserade lösningar med syfte att optimera plockprocessen. Företag som DHL, Knapp och Ubimax har börjat ta fram AR-relaterade lösningar som skall göra orderplockningen mer effektiv. Lösningarna bygger främst på att erbjuda plockaren samma information som kan läsas av från en utskriven plocklista, fast digitalt framför ögonen genom smarta glasögon. Stoltz et al. menar att ett antal aspekter saknas från dessa typer av lösningar, främst effektiv streckodsläsning och 3D-projektioner i realtid [37].

Relevanta studier och lösningar för lageraktiviteter utöver orderplockning, så som godsmottagning, lagerföring och frakt är i nuläget begränsade, men dess framtida potential beskrivs i tabell 5.

Tabell 5: Potentiella användningsområden för AR inom lageraktiviteter.

Receiving	Indicate the unloading dock to incoming truck driver. Check received goods against delivery note. Show where to put the items/how to arrange them in the waiting zone.
Storing	Inform an operator about a new allocated task. Display the storage location of incoming items. Display picture and details of the item to be stored. Indicate route to storage location. Indicate picker's current status as well as next step of the process. Check locations requiring replenishment while storing.
Picking	Inform an operator about a new task allocated to him. Display picture and details of the item to be picked. Display the storage location of the item to be picked. Display picking route. Highlight the physical location with the item required. Inform about errors and disruptions. Scan the item's barcode to assign to picking cart or to see more information. Highlight where to put each item on the picking cart for sorting while picking.
Shipping	Show what type of cardboard to use. Show the best way to place picked items in a package. Indicate the right location/pallet for the shipment. Show where to place each order on a pallet/in a truck according to type of orders, destination, fragility. Indicate appropriate loading area. Check/Count products/orders to be loaded on a truck.

2.4.2 Microsoft HoloLens

Microsoft HoloLens (se figur 13) är världens första trådlösa holografiska dator som räknas in i kategorien Head-Mounted Display (HMD) [38], vilket innefattar bildskärmar som bärs på huvudet och presenterar visuella bilder framför ögonen. Genom att avancerade sensorer fångar in information om omgivningen kan HoloLensen analysera och kartlägga objekt runt om användaren i realtid. Samtidigt som kartläggningen sker kan olika gester av användaren läsas av helt utan externa kameror eller kablar. Den högdefinierade holografiska linsen använder sig av ett avancerat optiskt projektionssystem som genererar multidimensionella bilder i färg med väldigt låg fördröjning [38].



Figur 13: Microsoft HoloLens [39]

Hårdvaran som driver Microsoft HoloLens har en högre kapacitet än den som finns i en genomsnittlig bärbar dator och allt kyls passivt utan fläktar. Inbyggda högtalare, fyra mikrofoner med röststyrning och en justerbar huvudram är ytterligare delar av hårdvaran. Mjukvaran som finns i produkten är Windows Mixed Reality, tidigare känd som Windows Holographic. Plattformen är en del av operativsystemet Windows 10 [39].

2.4.3 Begränsningar Microsoft HoloLens

Trots de mängder av möjligheter Augmented Reality och Microsoft HoloLens erbjuder finns ett antal begränsningar. HoloLensen kan av många uppfattas som otymplig och tung, vilket kan leda till att användaren behöver vila efter en längre period av användning. Batteritiden ligger på cirka två timmar aktivt användande. Vid användning över små ytor är batteritiden inte en begränsning, då enheten kan användas under laddning. Externa laddningskablar kan dock minska rörelsefriheten. För närvarande är utbudet av applikationer begränsat, men den framtida utvecklingen av nya applikationer har stor potential.

2.5 Nulägesanalys av smarta glasögon

I nuläget finns det ett antal produkter som erbjuder liknande funktionalitet som Microsoft HoloLens. Dessa produkter kommer med varierande specifikationer gällande hårdvara och mjukvara. Även tillämpningsområden till dessa AR-glasögon är varierande och alla har inte testats i en produktionsmiljö. Teknologin varierar mellan monokulära och binokulära implementationer av teknologin. Med monokulär avses att informationen som de smarta glasögonen genererar bara kan observeras på ett öga av bäraren. De glasögonen som beskrivs nedan är valda utifrån följande kriterier:

- De har testats eller har möjlighet att användas i industri eller logistikmiljö.
- De tillåter hands-free plockning.
- Glasögonen är kommersiellt tillgängliga.

Tabell 6: Tabell över smarta glasögon

Modell	Binokulära	Styrning	Operativsystem
Sony Smarteyeglass (2.5.1)			
	Ja	Handkontroll	Android
ODG R-7 (2.5.2)			
	Ja	Knappar, röst & styrplatta	Android
Epson Moverio BT-2000 (2.5.3)			
	Ja	Knappar & röst	Android
Vuzix M300 Smart Glasses (2.5.4)			
	Nej	Styrplatta & röst	Android
Daqri Smartglasses (2.5.5)			
	Ja	Röst & handgester	Linux

Studera källa för utförlig teknisk beskrivning [40].

2.5.1 Sony Smarteyeglass

Sony Smarteyeglass är binokulära AR-glasögon som när kandidatarbetet skrivs bara finns som utvecklarutgåva. Glasögonen kör en version av Android och är utrus-

tad med en rad olika sensorer som accelerometer, gyroskop och magnetometer vars främsta användningsområde är att hålla reda på bärarens position och mikrofon för röstkommandon. Glasögonen styrs med en trådbunden handkontroll.

2.5.2 ODG R-7

ODG R-7 är binokulära glasögon som är integrerade med en mängd sensorer som accelerometer, gyroskop, magnetometer, höjdmätare, fuktighetsmätare, belysningsgivare och mikrofon. ODG R-7 har möjlighet att projicera 3D-hologram. Styrning av glasögonen är integrerad i sidan av glasögonen i form av knappar och en styrplatta. Det är även möjligt att styra glasögonen med röst. ODG R-7 kör en modifierad version av Android som heter ReticleOS.

2.5.3 Epson Moverio BT-2000

Epson Moverio är integrerade med en mängd sensorer som GPS, gyroskop, accelerometer, magnetometer, belysningsgivare och mikrofon. BT-2000 kan med hjälp av optiska sensorer och kamera projicera 3D-hologram på ytor och i rummet för att ge en mer komplex förstärkt verklighet som inte bara består av text eller andra statiska former av information. Glasögonen är röststyrda, men kan även styras av en trådbunden kontroll.

2.5.4 Vuzix M300 Smart Glasses

Vuzix M300 Smart Glasses är monokulära smarta glasögon som är integrerade med accelerometer, magnetometer och sensor som avgör huvudets rotation. Glasögonen styrs med hjälp av knappar, röst och en styrplatta. Glasögonen kör en version av Android. I dagsläget använder sig traktortillverkaren John Deere av dessa smarta glasögon för plockanvisningar i en av sina fabriker i Tyskland [41].

2.5.5 Daqri Smart Glasses

Daqri Smart Glasses är binokulära glasögon som har en specialgjord AR-processor från Intel. Glasögonen kör en modifierad version av Linux. Styrning av glasögonen sker med hjälp av röst eller handgester. Till glasögonen är en extern batterikälla kopplad som försörjer dem med ström.

3 Metod

Projektet var uppdelat i två faser. Den första fasen handlade om produktutveckling och att utveckla en applikation för HoloLens. Den andra fasen fokuserade på

projektets huvudsyfte, att utvärdera huruvida plockprocessen kan effektiviseras med hjälp av AR.

3.1 Framtagande av produkt

För att kunna genomföra utvärderingen av HoloLens krävdes en applikation anpassad för detta ändamål. Då inga sådana applikationer fanns på marknaden i dagsläget, krävdes att en utvärderingsversion togs fram.

3.1.1 Unity

För att framställa produkten användes Unity, vilket är en multi-plattform spelmotor som utvecklats av Unity Technologies. Anledningen till att Unity valdes är för att den är gratis att använda för icke vinstdrivande projekt och är väl anpassad för ändamålet. Utöver detta finns det även ett bibliotek bestående av öppen källkod kallat "Mixed Reality Toolkit" som är specifikt skapat för att utveckla spel och applikationer för AR-glasögon. Utöver Unity användes Microsoft Visual Studio som utvecklingsmiljö där programmeringsspråket C# nyttjades.

Då samtliga projektmedlemmar saknade förkunskaper inom Mixed Reality-programmering var lades stort fokus på inläring. Inläringen inom detta område skedde huvudsakligen med hjälp av undervisningsvideor från Microsoft i Mixed Reality. I dessa videos demonstrerar programmerare hur specifika objekt och scener skapas i Unity. Genom att studera dessa videos och sedan applicera delar av dem i projektet kunde kunskapen kompletteras.

3.1.2 Verifiering och validering

En grundläggande konceptuell modell som beskriver det tänkta systemet och dess betende togs fram innan utvecklandet av applikation påbörjades. Eftersom ett agilt tankesätt för utvecklandet efterföljdes var den konceptuella modellen inte konkret och således öppen för utvidgning. Genom att testa sig fram (trial and error), har varje fragment av funktionalitet i form av kod körts och utvärderats så att programkoden kunde kvalitetsäkras. Eftersom tekniken var relativt ny och samtliga projektmedlemmar saknade förkunskaper om Unity ansågs ett test-drivet och agilt tillvägagångssätt vara lämpligt; fel kunde upptäckas tidigt i utvecklandets livscykel och mindre tid ägnades åt felsökning i koden.

De verifieringstekniker som användes under utvecklingsprocessen bygger främst på att kontinuerligt utvärdera så att produkten fungerar på det sätt som är tänkt. Ap-

plikationen verifierades främst genom kontinuerliga tester och avlusning, men även genom att handledare för projektet sökte igenom koden för kontroll.

Utvärdering av koden gjordes till stor del med hjälp av en emulator ("HoloLens Emulator"). Detta möjliggjorde en smidig kontroll av koden jämfört med att utvärdera den på HoloLens. Vid jämna mellanrum användes HoloLens för att ytterligare verifiera att koden och röststyrningen fungerade korrekt.

Validitet är en betydelsefullt del i vetenskaplig metod [42]. För att kvalitetssäkra en produkt på bästa möjliga sätt bör valideringen ske kontinuerligt och parallellt med verifieringen [43]. På så sätt konvergerar produkten mot något som både fungerar tekniskt och skapar mervärde för användarna. Den faktiska valideringsprocessen för den framtagna applikationen genomfördes främst efter själva utvecklandets livscykel, därav blev det svårare att kvalitetssäkra produkten. Observation och samtalande med olika anställda inom Swegon, främst operatörer, bidrog till ökad validitet. Även enkäterna som delades ut användes för att avgöra om produkten var tillräckligt valid för att uppfylla användarnas behov.

3.2 Färdig produkt

Detta avsnitt redogör för den applikation som framtagandet av produkt resulterade i. Projektets slutgiltiga applikation använder visuell guidning för att vägleda användaren genom plockprocessen. Den är dock endast en utvärderingsversion som skapats för att kunna genomföra testerna. Applikationen har således vissa uppenbara brister och är ej en fulländad version.

3.2.1 Visuell guidning

Applikationen innehåller tre visuella metoder för att guida operatörer:

- Informationstext som ger nödvändig information.
- Markering i form av en grön ruta som placeras på den position där artikeln ligger.
- Indikator som visar åt vilket håll operatören skall titta för att se den gröna rutan.

Texten beskriver vad som ska plockas, var det ligger och antal som skall plockas. Denna är menad att direkt ge operatören information om nästa artikel så att förflyttningen

kan fortgå obehindrat. Den ersätter även den information som en operatör normalt sätt får på ett papper eller i en handskanner. Texten är implementerad så att den ständigt följer med i användarens vy. Anledningen till att texten inte hela tiden projiceras statiskt på en position på skärmen är för att detta tenderar till att skapa illamående hos användaren [44]. Figur 14 visar hur både texten och indikatorn ser ut för användaren.



Figur 14: Text samt indikator sett från användarens vy.

Markeringarna är statiska 3D-objekt som i tur och ordning genereras vid förbestämda positioner relativt den angivna nollpunkten (se figur 15). Eftersom förvaringslådorna varierar i storlek projiceras markeringarna utifrån storleken på lådorna och är menade att tydligt visa operatören vilken artikel som skall plockas. Rutorna placeras i rummet utifrån koordinater som beräknades från CAD-ritningar över Swegons lager. Koordinaterna korrigerades sedan för att stämma överens med verkligheten.

Indikatorn som applikationen använder är en enkel 2D-pil som använder sig av ett script som tillhör Mixed Reality Toolkit. Varje gång en ny artikel plockas uppdateras vilket objekt pilen pekar mot för att hela tiden kunna vägleda operatören. Indikatorns syfte är att komplettera de gröna rutorna. Användaren informeras om vilket håll blicken skall föras åt för att nästa markering skall projiceras i operatörens vy.



Figur 15: Användarens vy

3.2.2 Logik och datastruktur

Applikationen har en enkel logik samt röststyrning, vilket gör den både användarvänlig samt frigör händerna under plockning. För att hantera data används en objektorienterad datastruktur, detta gör datan mer lätthanterlig och förenklar utvecklingsarbete.

I en fullskalig version bör applikationen dra fördel av en mer komplex logik men då denna version endast är en utvärderingsversion används en enklare logik. Logiken används främst för att sammankoppla röststyrningen i applikationen med projiceringen av 3D-objekten. Detta styrs med hjälp av specifika röstkommandon som exekverar olika kodstycken. De röstkommandon som används för plockprocessen är:

- Start order - Startar plockordern.
- Next item - Kvitte att artikeln är plockad och projicerar nästa markering.
- Go back - Projicerar föregående markering.

Se bilaga A för specifik kod som exekveras vid de olika fallen.

Den objektorienterade datastruktur som används för datahanteringen innebär att all data för en artikel knyts till ett objekt. Genom att använda en datastruktur av denna typ blir datan lättillgänglig, vilket medför att ändringar och tillägg i koden är enkla att utföra.

Inget automatiskt system för att överföra data om ordrar till applikationen är implementerat. Istället används data från två excelark (se bilaga B) som består av

all nödvändig information om respektive artikel. I en fullskalig applikation är dataöverföring en process som är avsedd att ske automatiskt.

3.3 Datainsamling

För att erhålla information om det befintliga systemet baserat på en handskanner samlades data in i form av historisk data kring plockhastighet. Den historiska datan hämtades och säkrades av Swegon vilket möjliggjorde komparativa analyser.

Under testperioden av det nya systemet och den framtagna applikationen samlades objektiv primärdata in genom en fallstudie. Med hänsyn till det satta prestationsmåttet plockhastighet klockades de olika plockprocesserna och cykeltid mättes. Mätning av plockkvaliteten uteslöts på grund av att testutförandet inte var omfattande nog. De datainsamlingsteknikerna som användes var manuell klockning med tidtagarur och direktobservation, dessutom gjordes en enkätundersökning.

Varje testindivider i urvalet valdes ut i samråd med de från Swegon som var inblandade i projektet. Stickprovet var begränsat och bestod av fem operatörer samt ett antal övriga intresserade inom företaget. De valda operatörerna var avsedda att vara jämnt fördelade i kön och av varierande ålder. Tanken med urvalsstrategin var att stickprovet i miniatyr skulle representera den totala mängden operatörer på bästa möjliga sätt.

Efter programmet kalibrerade fick varje testindivider ta del av en kort introduktionsfilm om hur programvaran fungerar samt vilka röstkommandon som fanns tillgängliga. Eftersom samtliga testindivider i urvalet erbjöds samma introduktionstid innan mätningarna startades blev det lättare att utföra komparativa analyser av den insamlade datan.

3.3.1 Mätning av plockhastighet

Varje testindivider genomförde två slumpmässigt valda plockordrar som klockades och tabellfördes. Tidtagaruret startades då individen befann sig vid början av lagergången och initierade programmet med röstfrasen ”Start order” och avslutades då sista artikeln lades ner i kitvagnen. På grund av faktorer som brister i applikationen (4.3.2) och kort batteritid utfördes endast elva tester med fem testindivider.

3.3.2 Mätning av kvalitet

Syftet var att mäta kvalitet vid plockningen i form av andelen perfekt utförda ordrar mätt i procent. På grund av ovannämnda faktorer valdes istället att studera plockprocessen mer noggrant och enbart mäta cykeltider.

3.3.3 Enkätundersökning

Efter testprocessen tilldelades respektive individ i urvalet en enkät med frågor kring hur det nya systemet och applikationen uppfattades. Enkäten var formulerad på ett sätt som stämde väl överens med de teoretiska utgångspunkter som låg till grund för projektet. Syftet med enkäten var att samla in information kring hur testindivider upplevde det nya systemet och dess framtida potential. Frågeformuläret bestod av ett antal påståenden med en graderande skala, följt av öppna frågor av mer förklarande karaktär. Enkäterna, som var formulerade på engelska, fylldes i enskilt av testindivider. Medan testindividerna fyllde i enkäterna fanns vi tillgängliga för att besvara frågor. En enkätundersökning ansågs vara mer lämplig än exempelvis intervjuer eftersom tiden och resurserna var begränsade.

4 Resultat och diskussion

Nedan presenteras och utvärderas mätdata och enkätresultaten som fallstudien hos Swegon AB har genererat. Den kvantitativa mätdata som består av utförda tidsmätningar presenteras både som rådata och i jämförelse med Swegons egna förväntade tider. Därefter presenteras och utvärderas kvalitativ data i form av testindividers subjektiva åsikter och de observationer som har gjorts under testprocessen.

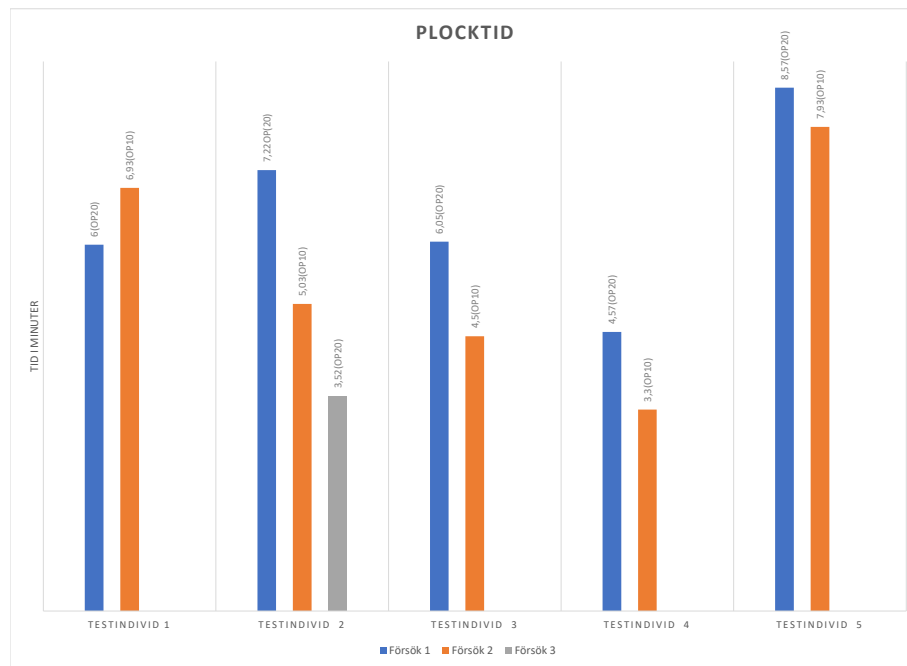
4.1 Tidsmätning

Tabell 7 visar den genomsnittliga tiden det tog för testpersonerna att utföra två separata plockordrar som i Swegons system betecknas OP10 och OP20.

Tabell 7: Genomsnittlig plocktid för OP10 och OP20

Plocklista	OP10 (12 artiklar)	OP20 (14 artiklar)
Genomsnittlig plocktid	5 min 48 sek	6 min 4 sek
Förväntad plocktid	5 min 0 sek	5 min 50 sek

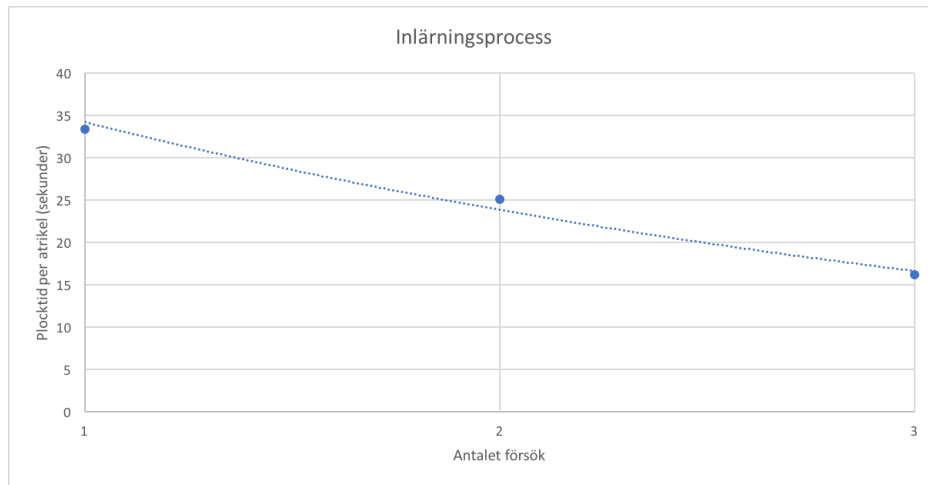
Det är en genomsnittlig ökning av plocktiden med 16% jämfört med den förväntade plocktiden för OP10, respektive 4.0% för OP20.



Figur 16: Resultat av tidsmätning för samtliga individer

Ett ensidigt t-test visar med en konfidsensgrad på 92.5% att testindividerna förbättrar sin plocktid på andra försöket.

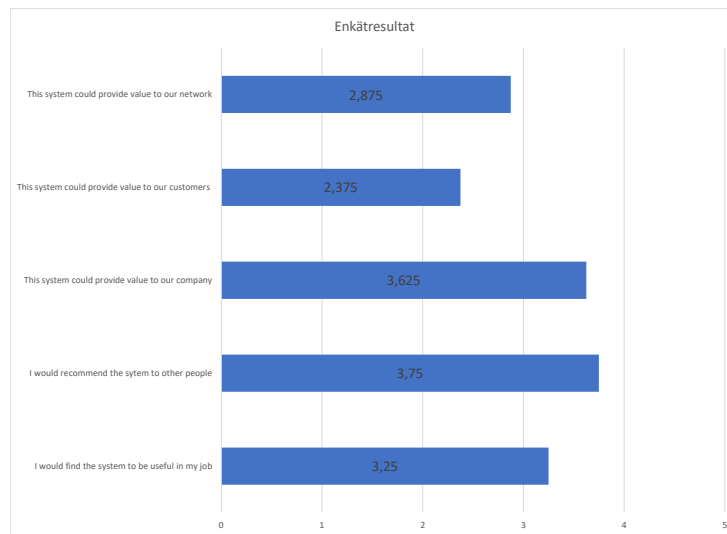
Figur 17 visar inlärningskurvan som testindivid två följer vid genomförandet av tre raka plockorder med det nya systemet. Från första upplärningsförsöket till sista försöket observeras en tydlig förbättring av plocktid per artikel. Operatören befinner sig i ett tidigt stadiet av den associativa inlärningsfasen (se avsnitt 2.3.2) och behöver hela tiden ägna mycket uppmärksamhet åt att uppgiften följs på ett korrekt sätt.



Figur 17: Inlärningskurva för testindivid två

4.2 Enkätresultat

Enkätresultaten som var graderade enligt - 1 (Strongly disagree), 2 (Disagree), 3 (Neutral), 4 (Agree), 5 (Strongly Agree) - och sammanställdes genom att medelvärde beräknades för respektive fråga. Resultatet från de öppna frågorna bedömdes utifrån testindivernas subjektiva uppfattning. Medelvärden presenteras nedan i figur 18.



Figur 18: Enkätresultat, medelvärden

Enkättagarna verkar eniga om att systemet var enkelt att använda, men att vidare utveckling krävs inom vissa aspekter av applikationen och systemet. Den största fördelen operatörerna och människor som testade applikationen upplevde var att den frigjorde båda händerna. Det som upplevdes som största nackdelen förutom applikationens brister var att HoloLensen blev för tung och otymplig att bära under längre perioder. Exempel på förbättringsförslag som framkom under testprocessen och från enkätundersökningen är:

- Information om avstånd till nästa artikel.
- Optimera informationsflödet på applikationen, en del information kunde tolkas som distraherande.
- Förbättring av röstkommandon.

4.3 Felkällor och observationer

Under testperioden gjordes flera observationer av dels felkällor men även av intressanta förlopp. Dessa observationer noterades och sorterades sedan efter kategori för att kunna analyseras. Kategorierna som de delades in i är operatörernas vana, applikationens brister, HoloLensen brister och ruttplanering. Nedan redogörs för de observationer som gjordes samt tillhörande analys.

4.3.1 Operatörernas vana

Flera av de testpersoner som deltog i studien hade tidigare plockat de ordrar som studien behandlade. På grund av detta var de vana att plocka dessa artiklar och även andra artiklar från samma lagerfasader. Detta resulterade i att operatörerna vid vissa tillfällen var medvetna om att en artikel skulle plockas redan innan den visades för dem i HoloLensen. Eftersom de även visste var hyllorna låg räckte det ofta att läsa texten för att veta var de skulle gå. Detta resulterade i att det i viss mån blev överflödigt med den visuella guidningen i form av pilen och den gröna rutan.

Detta väckte frågan om applikationen som tagits fram för projektet egentligen var bättre lämpad för större lager. En av operatörerna kommenterade även att den antagligen skulle vara mer användbar om man inte visste var artiklarna låg. Denna fråga undersöktes dock inte vidare då det ansågs vara för tidskrävande.

4.3.2 Applikationens brister

Som nämnts i avsnitt 3.2 hade utvärderingsversionen som användes uppenbara brister. Bristerna framgick inte i labbmiljö vilket gjorde att dem behövdes kompenseras för på plats. Problemen löstes således under tidspress, men kunde till stor del kompenseras till en tillfredsställande nivå. Hur stor inverkan dessa brister har haft på resultaten är omöjligt att bestämma, men samtliga bedöms ha påverkat resultatet negativt.

Något som begränsade testutförandet var HoloLensens förmåga att beräkna sin position i rummet över stora avstånd. Eftersom HoloLensen placerades ut manuellt för hand utifrån en satt nollpunkt på marken, fanns risken att enheten inte var centrerad gentemot nollpunkten. Små vinkelfel vid initieringen av applikationen resulterade i stora avståndsfel. Detta var inget problem för artiklar som låg nära startpositionen, men för artiklar längre bort projicerades rutorna upp till 30 cm från den avsedda positionen. Detta var ett problem som inte framgick i labbmiljö då distanserna var små.

I ett försök att eliminera ovannämnda felkälla skapades en funktion i applikationen som kunde flytta rutorna efter applikationens start, detta fungerade till viss del men ej när HoloLensen förlorade orientationen i rummet. För att eliminera denna felkälla skulle ett så kallat "World Anchor" behövs implementeras. Ett "World Anchor" innebär att ett eller flera objekt (exempelvis QR-koder) är placerade på specifika positioner i rummet och på samma positioner i Unity. Dessa objekt fungerar som ett hjälpmedel för HoloLensen att orientera sig korrekt. Utöver problemet med ori-

entationen framgick det även att 3D-texten som projicerades i användarens vy inte fungerade som avsett. Texten kunde vid vissa tillfällen fastna i ett läge då den konstant rörde sig mellan toppen och botten av användarens vy. Detta resulterade i att den blev problematisk för användaren att läsa. I försök att lösa detta problem sänktes hastigheten texten rörde sig med, vilket inte löste det ursprungliga problemet, men gjorde att texten var läsbar även då den fastnade i detta läge.

4.3.3 HoloLensens brister

Utöver de förväntade begränsningar som beskrivs i avsnitt 2.4.3, observerades ytterligare faktorer som begränsade testutförandet. Under testprocessen märktes tydligt hur HoloLensen hade svårigheter att bibehålla samma kartläggning under plockprocessen. När HoloLensen förlorade orientationen i rummet kartlades omgivningen automatiskt på nytt. Då betraktades en annan punkt i rummet som startposition vilket ledde till att markeringarna projicerades på fel position. Detta är en tydlig brist i HoloLensen som behöver kompenseras för innan det är realistiskt att implementera den för lagerplock med visuell guidning.

Röststyrningen fungerade inte som förväntat i den bullriga miljö där testerna utfördes, vilket ledde till att användaren fick säga samma röstkommando upprepande gånger för att applikation skulle exekvera kodstycket. Detta skulle behöva åtgärdas, eventuellt genom ett byte av mikrofontyp, om röststyrning skall användas för Pick-by-vision.

Detta projekt var av ekonomiska skäl avgränsat till att endast använda Microsoft HoloLens som smarta glasögon för utvärderingen. Således kan ingen data för hur andra smarta glasögon skulle fungera under samma omständigheter tas fram.

4.3.4 Ruttplanering

Under besöket på Swegon observerades att operatörerna inte fick artiklarna de skulle plocka i optimal ordning. Artiklarna sorterades efter hyllnummer. Detta innebär ett Nearest Neighbour-liknande tillvägagångssätt, vilket förenklat innebär att operatören alltid plockar artikeln som är närmast föregående artikel. Nackdelen med denna typ av ruttplaneringen är att den sällan genererar den mest optimala vägen till en position [45]. Tompkins et al. skriver i "Facilities Planning" att den huvudsakliga tidsåtgången under operatörens plockprocess tillägnas åt att förflytta sig till rätt position [1]. Genom att kunna optimera vägen för operatören skulle denna siffra med största sannolikhet kunna sänkas.

För att optimera rutten för operatörer kan en en algoritm för att beräkna kortaste

vägen implementeras. Även i HoloLensen skulle samma algoritm kunna implementeras. Detta gör att om HoloLensen är kopplad till Warehouse Management System (WMS) skulle den kunna optimera vägen även när förändringar sker i lagret under tiden operatören plockar sin order.

4.4 Studiens omfattning

Denna studie var begränsad till få testpersoner och endast ett testtillfälle utfördes utanför labbmiljö. Även om stickprovet av testindivider valdes i samråd med Swegon för att vara så representativt som möjligt bör den kvantitativa data som samlats in ej ses som representativ för hela mängden operatörer. För att datan skall ses som representativ skulle ytterligare tester med fler testpersoner behöva genomföras.

Den analytiska datan som kommer från de observationer som nämns i avsnitt 4.3 är däremot av större vikt, trots studiens mindre omfattning. Dessa observationer kan vara en förklaring till varför resultaten från studien ser ut som dem gör och är av relevans för framtida studier inom samma område. Om hänsyn tas till den analytiska datan som framkommit från denna studie kommer mer trovärdig data vid framtida studier produceras.

4.5 Tidigare studier

Denna studie är mycket lik studien som Hansson et al. [13] utförde 2017, där ett Pick-by-vision-system påvisade fördelar gentemot Pick-by-paper (se avsnitt 2.1.7). Att denna studie inte visar samma resultat från den kvantitativa analysen har flertalet anledningar, dels skillnader i omfattning samt felkällor. Den mest utmärkande skillnaden är dock att denna studie inte utfördes i labbmiljö.

Utöver detta valde Hansson et al. att projicera en tunnel istället för en pil och en låda, som användes i detta projekt. Detta valet baserades på en studie utförd av Schwerdtfeger et al. [11] där flertalet olika visuella representationer för AR-plock utvärderades. Schwerdtfeger et al. kom i sina första tester fram till att både en tunnel och en ram med tillhörande pil var effektiva alternativ. Principen med en ram och en pil är mycket lik den grafiska implementering som har använts i denna studie. Dock bör tester likt de som utförts i denna studie även prövas med andra sorters grafiska representationer som exempelvis en tunnel.

5 Slutsats

Denna studie har ej kunnat bekräfta eller dementera om en effektivisering av plockprocessen hos Swegon AB kommer erhållas genom implementation av ett system baserat på Pick-by-vision med smarta glasögon. Således rekommenderas att fler undersökningar görs. Studien har dock identifierat ett flertal intressanta faktorer att beakta vid framtida studier inom detta område.

För vidare undersökning rekommenderas ett användande av en applikation som är mer komplett än den som har använts för detta projekt. Studiens omfattning bör även vara större. Detta kommer ge mer statistiskt signifikanta resultat.

Det som är mest centralt att undersöka vidare är vilken applikation som är lämplig för vilken miljö samt vilka smarta glasögon som är mest lämpliga för detta. Genom att undersöka denna korrelation kommer det gå att säkerställa om Pick-by-vision kan effektivisera plockprocessen eller ej.

Referenser

- [1] James A Tompkins m.fl. *Facilities planning*. John Wiley & Sons, 2010.
- [2] Martina Calzavara Daria Battini. “A comparative analysis of different paperless picking systems Industrial Management Data Systems, Vol. 115 Issue: 3, pp.483-503”. I: (2015). URL: <https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2014-0314>.
- [3] René de Koster, Tho Le-Duc och Kees Jan Roodbergen. “Design and control of warehouse order picking: A literature review”. I: *European Journal of Operational Research* 182.2 (2007), s. 481–501. ISSN: 0377-2217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706006473>.
- [4] Holger Glockner m.fl. *AUGMENTED REALITY IN LOGISTICS Changing the way we see logistics – a DHL perspective*. 2014. URL: http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/csi_augmented_reality_report_290414.pdf.
- [5] LATOUR. *Affärsområde Swegon*. (Hämtad 10-02-2018). u.å. URL: <http://www.latour.se/sv/innehav/helagda-bolag/swegon>.
- [6] Swegon. *About us*. (Hämtad 10-02-2018). u.å. URL: <http://www.swegon.com/en/About-us1/>.
- [7] D. Spee. “Systematik der Kommissioniersysteme”. I: *Handbuch Kommissionierung*. 2009, s. 30–54.
- [8] Aaron Miller. “Order picking for the 21st Century”. I: *Manufacturing & Logistics IT* (2004).
- [9] <https://www.usedcomp.de/infos/Motorola-Symbol-MC9094-Barcode-Scanner-qe.jpg>. *Scanner[Digital bild]*. (Hämtad 10-04-2018. u.å. URL: <https://www.usedcomp.de/infos/Motorola-Symbol-MC9094-Barcode-Scanner-qe.jpg>.
- [10] Hannes Baumann. “Order picking supported by mobile computing”. I: *Doctoral Dissertation. University of Bremen* (2013). URL: <https://elib.suub.uni-bremen.de/edocs/00102979-1.pdf>.
- [11] Björn Schwerdtfeger m.fl. “Pick-by-vision: there is something to pick at the end of the augmented tunnel”. I: *Virtual Reality* 15.2 (juni 2011), s. 213–223. ISSN: 1434-9957. DOI: 10.1007/s10055-011-0187-9. URL: <https://doi.org/10.1007/s10055-011-0187-9>.

- [12] Anhong Guo m.fl. "A Comparison of Order Picking Assisted by Head-up Display (HUD), Cart-mounted Display (CMD), Light, and Paper Pick List". I: *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers*. ISWC '14. Seattle, Washington: ACM, 2014, s. 71–78. ISBN: 978-1-4503-2969-9. DOI: 10.1145/2634317.2634321. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2634317.2634321>.
- [13] Robin Hanson, William Falkenström och Mikael Miettinen. "Augmented reality as a means of conveying picking information in kit preparation for mixed-model assembly". I: *Computers Industrial Engineering* 113 (2017), s. 570–575. ISSN: 0360-8352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.048>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835217304655>.
- [14] Kusriani, Elisa, Novendri, Fadrizal och Helia, Vembri Noor. "Determining key performance indicators for warehouse performance measurement - a case study in construction materials warehouse". I: *MATEC Web Conf.* 154 (2018), s. 01058. DOI: 10.1051/mateconf/201815401058. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401058>.
- [15] Legacy supply chain services. *Top Warehouse Performance KPIs*. (Hämtad 08-05-2018). u.å. URL: <https://legacyscs.com/warehouse-kpis-to-measure/>.
- [16] Felix T.S. Chan och H.K. Chan. "Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage". I: *Expert Systems with Applications* 38.3 (2011), s. 2686–2700. ISSN: 0957-4174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.058>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417410008547>.
- [17] Martina Calzavara m.fl. "Analysis of economic and ergonomic performance measures of different rack layouts in an order picking warehouse". I: *Computers Industrial Engineering* 111 (2017), s. 527–536. ISSN: 0360-8352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.07.001>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835216302261>.
- [18] Eric H. Grosse m.fl. "Incorporating human factors in order picking planning models: framework and research opportunities". I: *International Journal of Production Research* 53.3 (2015), s. 695–717. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.919424>.
- [19] Rupert Reif och Willibald A. Günthner. "Pick-by-vision: augmented reality supported order picking". I: *The Visual Computer* 25.5 (maj 2009), s. 461–467. ISSN: 1432-2315. DOI: 10.1007/s00371-009-0348-y. URL: <https://doi.org/10.1007/s00371-009-0348-y>.

- [20] B. H. Thomas och C. Sandor. “What Wearable Augmented Reality Can Do for You”. I: *IEEE Pervasive Computing* 8.2 (april 2009), s. 8–11. ISSN: 1536-1268. DOI: 10.1109/MPRV.2009.38.
- [21] Rupert Reif och Dennis Walch. “Augmented & Virtual Reality applications in the field of logistics”. I: *The Visual Computer* 24.11 (nov. 2008), s. 987–994. ISSN: 1432-2315. DOI: 10.1007/s00371-008-0271-7. URL: <https://doi.org/10.1007/s00371-008-0271-7>.
- [22] Brian Lystgaard Due. “The future of smart glasses: An essay about challenges and possibilities with smart glasses”. I: *Working papers on interaction and communication* 1.2 (2014), s. 1–21.
- [23] Erik Lindskog. *Lärande i virtuell miljö*[Powerpoint slides]. (Föreläsning PPU055 01-12-2017). 2017. URL: <https://pingpong.chalmers.se/courseId/8847/node.do?id=4217344&ts=1512128326793&u=-1293470873>.
- [24] Anton Hedström och Patrik Ragnarsson. “Lara : en skattjakt med mobil datorförstärkt verklighet”. Examensarb. Linköping University, Department of Computer och Information Science, 2011, s. 69.
- [25] Ronald T Azuma. “A survey of augmented reality”. I: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 6.4 (1997), s. 355–385. DOI: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>.
- [26] Eric Klopfer och Kurt Squire. “Environmental Detectives—the development of an augmented reality platform for environmental simulations”. I: *Educational Technology Research and Development* 56.2 (april 2008), s. 203–228. ISSN: 1556-6501. DOI: 10.1007/s11423-007-9037-6. URL: <https://doi.org/10.1007/s11423-007-9037-6>.
- [27] Hsin-Kai Wu m. fl. “Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education”. I: *Computers Education* 62 (2013), s. 41–49. ISSN: 0360-1315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131512002527>.
- [28] R. Azuma m. fl. “Recent advances in augmented reality”. I: *IEEE Computer Graphics and Applications* 21.6 (nov. 2001), s. 34–47. ISSN: 0272-1716. DOI: 10.1109/38.963459.
- [29] Milgram m. fl. “Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum”. I: (jan. 1994), s. 282–292.
- [30] Kevin Anderton. “Augmented Reality, The Future, And Pokemon Go”. I: (2016). URL: <https://www.forbes.com/sites/kevinanderton/2016/11/14/augmented-reality-the-future-and-pokemon-go-infographic/#69a2677a7e98>.

- [31] Steven K. Feiner. "Augmented Reality: a New Way of Seeing". I: *Scientific American* 286.4 (2002), s. 48–55. ISSN: 00368733, 19467087. URL: <http://www.jstor.org/stable/26059641>.
- [32] Jeffrey H Shuhaiber. "Augmented reality in surgery". I: *Archives of surgery* 139.2 (2004), s. 170–174.
- [33] Y. Sato m.fl. "Image guidance of breast cancer surgery using 3-D ultrasound images and augmented reality visualization". I: *IEEE Transactions on Medical Imaging* 17.5 (okt. 1998), s. 681–693. ISSN: 0278-0062. DOI: 10.1109/42.736019.
- [34] Anna Orring. "Förstärkt verklighet visar kirurgen vägen". I: (2017). URL: <https://www.nyteknik.se/digitalisering/forstarkt-verklighet-visar-kirurgen-vagen-6848694>.
- [35] Wei Liu m.fl. "Mixed Reality Classroom: Learning from Entertainment". I: *Proceedings of the 2Nd International Conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts*. DIMEA '07. Perth, Australia: ACM, 2007, s. 65–72. ISBN: 978-1-59593-708-7. DOI: 10.1145/1306813.1306833. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1306813.1306833>.
- [36] Petter Ottsjö. "HoloLens ska få barn att plugga". I: (2017). URL: <https://www.nyteknik.se/digitalisering/HoloLens-ska-fa-barn-att-plugga-6865530>.
- [37] Marie-Hélène Stoltz m.fl. "Augmented Reality in Warehouse Operations: Opportunities and Barriers". I: *IFAC-PapersOnLine* 50.1 (2017). 20th IFAC World Congress, s. 12979–12984. ISSN: 2405-8963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1807>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317324291>.
- [38] Microsoft. *HoloLens*. (hämtad 10-05-2018). 2018. URL: <https://www.microsoft.com/sv-se/hololens>.
- [39] Microsoft. *Hardware details*. (hämtad 10-05-2018). 2018. URL: https://www.microsoft.com/en-US/store/d/product/944XGCF64Z5B/2BHF?icid=VRMR_Cat_3UP_3-HoloLens-01222018-en_US&activetab=pivot:techspecstab.
- [40] A. Syberfeldt, O. Danielsson och P. Gustavsson. "Augmented Reality Smart Glasses in the Smart Factory: Product Evaluation Guidelines and Review of Available Products". I: *IEEE Access* 5 (2017), s. 9118–9130. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2703952.
- [41] Ubimax GmbH. *Speed Increase and Quality Upgrade with Ubimax Vision Picking Solution xPick*. [Online; accessed 7-May-2018]. 2018. URL: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=LaTeX&oldid=413720397>.

- [42] Per Medbo. *Verifying och validering [Powerpoint slides]*. (Föreläsning PPU055 24-11-2017). 2017. URL: <https://pingpong.chalmers.se/courseId/8789/node.do?id=4216900&ts=1512108369613&u=995744742>.
- [43] Mats Wessberg. *Verifying vs validering*. (hämtad 01-05-2018). Dec. 2009. URL: <http://www.inceptive.se/inceptives-blogg/2009/12/27/verifiering-vs-validering.html>.
- [44] Addison Linville, Matt Zeller och Brandon Bray. *Billboarding and tag-along - Mixed Reality*. Mars 2018. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/billboarding-and-tag-along>.
- [45] Cor A.J. Hurkens och Gerhard J. Woeginger. "On the nearest neighbor rule for the traveling salesman problem". I: *Operations Research Letters* 32.1 (2004), s. 1–4. ISSN: 0167-6377. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-6377\(03\)00093-2](https://doi.org/10.1016/S0167-6377(03)00093-2). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167637703000932>.

Bilagor

Bilaga A - Kodutdrag för använda röstkommandon

```
case "start order":
    Debug.Log("Start Order");
    if (k == 0) {
        gos[k] = Instantiate(go, activeOP[k].position,
            Quaternion.Euler(new Vector3(0, 0, 0)));
        gos[k].transform.localScale = activeOP[k].boxsize;
        HeadsUpDirectionIndicator.
        GetComponent<HeadsUpDirectionIndicator>().TargetObject
            = gos[k];
        UserInterface.transform.GetComponent<TextMesh>().text
            = activeOP[k].articleNumber.ToString() + " " +
            activeOP[k].articleName.ToString() + "\r\n" + "
            Antal: " + activeOP[k].quantity.ToString() +
            "\r\n" + "Hylla: " + activeOP[k].rackPosition;
        HeadsUpDirectionIndicator.SetActive(true);
    }
    break;

case "next item":
    Debug.Log("Next Item");
    if (k < activeOP.Count-1)
    {
        gos[k].SetActive(false);
        k++;
        gos[k] = Instantiate(go, activeOP[k].position,
            Quaternion.Euler(new Vector3(0, 0, 0)));
        gos[k].transform.localScale = activeOP[k].boxsize;
        HeadsUpDirectionIndicator.
        GetComponent<HeadsUpDirectionIndicator>().TargetObject
            = gos[k];
        UserInterface.transform.GetComponent<TextMesh>().text
            = activeOP[k].articleNumber.ToString() + " " +
            activeOP[k].articleName.ToString() + "\r\n" + "
            Antal: " + activeOP[k].quantity.ToString() +
            "\r\n" + "Hylla: " + activeOP[k].rackPosition;
```

```

        HeadsUpDirectioinIndicator.SetActive(true);

    }
    else if (k == activeOP.Count-1)
    {
        gos[k].SetActive(false);
        HeadsUpDirectioinIndicator.SetActive(false);
        UserInterface.transform.GetComponent<TextMesh>().text
            = "Order slutf rd" + "\r\n" + "S g 'Show Menu'
              f r att   terg   till huvudmenyn";
    }
    break;

case "go back":
    Debug.Log("Go back");
    if (k > 0)
    {
        gos[k].SetActive(false);
        k--;
        gos[k] = Instantiate(go, activeOP[k].position,
            Quaternion.Euler(new Vector3(0, 0, 0)));
        gos[k].transform.localScale = activeOP[k].boxsize;
        HeadsUpDirectioinIndicator.SetActive(true);
        HeadsUpDirectioinIndicator.
        GetComponent<HeadsUpDirectionIndicator>().TargetObject
            = gos[k];
        UserInterface.transform.GetComponent<TextMesh>().text
            = activeOP[k].articleNumber.ToString() + "   " +
              activeOP[k].articleName.ToString() + "\r\n" + "
              Antal: " + activeOP[k].quantity.ToString() +
              "\r\n" + "Hylla: " + activeOP[k].rackPosition;
    }
    break;
}

```

Bilaga B - Plocklista OP10 och OP20

Plocklista OP10

<i>Rad</i>	<i>Artikelnummer</i>	<i>Benämning</i>	<i>Lagerplats</i>	<i>Allokeradkv</i>	<i>Enhet</i>
26	32249502	KABELKOMM.CC2 – 2	B2 – S55 – C1	1	ST
14	81134101	GÅNGJÄRNHALVAKARMGO/SI	B2 – S56 – C2	2	ST
16	81134201	GÅNGJÄRNSSPRINTGOLD/SILVER	B2 – S56 – D1	2	ST
24	32249801	KABELKOMM.BC1 – 1	B2 – S61 – B1	1	ST
18	81147301	LÄSBYGELALUGO/SI	B2 – S65 – C3	2	ST
2	81087501	BYGELSTOLPEGOLD012	B2 – T37 – A1	1	ST
4	81087601	GÅNGJÄRNSSTOLPEGOLD012F	B2 – T37 – B1	1	ST
6	81087901	SKARVPLÄTGAVELGOLD012	B2 – T39 – C1	1	ST
22	020665	LISTPOR304/B/OPC20x562x10MM	B2 – T41 – A1	3	ST
8	80883501	YTTREFILTERSTOLPEGOLD012	B2 – T47 – C1	2	ST
20	80555504	FINFILTERF7GOLD12	B2 – T51 – B1	2	ST
10	32825401	STOLPEGOLD12 – 20	SAMPROD05	1	ST

Plocklista OP20

<i>Rad</i>	<i>Artikelnummer</i>	<i>Benämning</i>	<i>Lagerplats</i>	<i>Allokeradkv</i>	<i>Enhet</i>	
82	40581410	<i>TÄTN.LISTL = 3430G08PX, 3040SD</i>	<i>B2 – S54 – B1</i>	1	<i>ST</i>	
54	017906	<i>SITUSEALT44050630x60x6</i>	<i>B2 – S54 – B2</i>	1	<i>ST</i>	
84	017906	<i>SITUSEALT44050630x60x6</i>	<i>B2 – S54 – B2</i>	1	<i>ST</i>	
80	81134001	<i>GÄNGJÄRNSHALVADÖRRGO/SI</i>	<i>B2 – S54 – C2</i>	2	<i>ST</i>	
72	80759401	<i>DEKALGOLDRX</i>	<i>B2 – S57 – C3</i>	1	<i>ST</i>	
56	80759802	<i>DEKALVARNING/SYMBOLHÖGER</i>	<i>B2 – S57 – D3</i>	1	<i>ST</i>	
78	81134301	<i>HANDTAGEJLÄSBAR04 – 120VER.F</i>	<i>B2 – S59 – A1</i>	1	<i>ST</i>	
76	81134401	<i>HANDTAGLÄSBAR04 – 120VER.F</i>	<i>B2 – S61 – A1</i>	1	<i>ST</i>	
74	81084601	<i>FÖRSTÄRKN.INSPLUCKAGOLD012</i>	<i>B2 – T42 – B1</i>	1	<i>ST</i>	
48	80788101	<i>DOCKNINGSFÖRST.GOLDF</i>	<i>B2 – T43 – B2</i>	4	<i>ST</i>	
46	32726201	<i>HÖRNFÄSTEGOLD</i>	<i>B2 – T43 – C3</i>	2	<i>ST</i>	
52	80883382	<i>FILTERGEJDHÖGOLD012</i>	<i>B2 – T46 – B1</i>	1	<i>ST</i>	
50	80882701	<i>FLÄKTGEJDUNDREGOLD012</i>	<i>B2 – T48 – C1</i>	2	<i>ST</i>	
44	81084401	<i>BOTTENBALKFLÄKT – FILTGOLD012</i>	<i>B2 – T54 – A1</i>	2	<i>ST</i>	