Examensarbete; *Maskinteknik inom industriell ekonomi och produktion*
Grundnivå, 15hp

Jämförelse av fysisk och digital bagagemärkning vid Arlanda flygplats

Amir Gohari, Joseph Faraj

Examensarbete TIMAS-ITM-EX 2025:631		
Jämförelse av fysisk och digital bagagemärkning vid Arlanda flygplats		
Joseph Faraj Amir Gohari		
Godkänt 2025-10-01	Examinator KTH Bertil Wanner	Handledare KTH Claes Hansson
	Uppdragsgivare Swedavia AB	Företagskontakt/handledare Mats Berglind

Sammanfattning

Detta examensarbete har genomförts i samarbete med Swedavia AB och behandlar hållbarhetsmässiga och ekonomiska aspekter av bagagemärkning vid Arlanda flygplats. Studien jämför nuvarande fysiska bagagetaggar av papper med digitala baggagetaggar, med BagID som referensprodukt. Syftet är att undersöka vilken lösning som är mest långsiktigt hållbar ur både ett miljömässigt och ett ekonomiskt perspektiv.

Arbetet baseras på en livscykelanalys och en livscykelkostnadsanalys där produktions-, transport-, användnings- och avfallsfaserna analyseras. För de fysiska bagagetaggarna har primärdata samlats in från Swedavias verksamhet, leverantörer och interna system. Analysen av de digitala bagagetaggarna bygger på komponentuppdelning och jämförbara sekundärdata. Klimatpåverkan uttrycks i koldioxidekvivalenter och kostnader i svenska kronor.

Resultaten visar att de fysiska bagagetaggarna har ett lågt koldioxidutsläpp per användning, men att den totala miljöpåverkan blir betydande till följd av den mycket stora årliga förbrukningen och den engångskaraktär som systemet bygger på. Ur ett ekonomiskt perspektiv domineras kostnadsbilden av löpande materialinköp, logistik, drift av CUSS och CUPPS system samt hantering av spill och avfall. Dessa kostnader återkommer årligen och är direkt kopplade till antalet utskrivna bagagetaggar.

De digitala bagagetaggarna uppvisar ett högre initialt koldioxidutsläpp och högre produktionskostnad per enhet, vilket främst kan härledas till elektroniska komponenter, batteri och tillverkningsprocesser. Den ekonomiska analysen visar dock att kostnadsstrukturen skiljer sig markant från den fysiska lösningen, då större delen av kostnaden är kopplad till inköp och certifiering, medan den löpande användningskostnaden är låg. Vid en tillräckligt lång livslängd och hög återanvändningsgrad kan de digitala bagagetaggarna nå en ekonomisk brytpunkt där de totala livscykelkostnaderna blir jämförbara med eller lägre än för fysiska bagagetaggar.

Studien visar sammantaget att digital bagagemärkning har potential att minska både klimatpåverkan och långsiktiga kostnader, men att detta är starkt beroende av livslängd, återanvändningsfrekvens och organisatoriska förutsättningar för implementering inom flygplatsens befintliga processer.

Nyckelord

ARN = Arlanda flygplats
CUPPS = Common use passenger processing system
CUSS = Common use self service
IATA = International Air Transport Association
LCA = Livscykelanalys
LCC = Livskostnadsanalys
SBD = Self baggage drop
WEEE = Waste Electrical and Electronic Equipment

Bachelor of Science Thesis

TIMAS-ITM-EX 2025:631

Comparison of Physical and Digital Baggage Tagging at Arlanda Airport

Joseph Faraj
Amir Gohari

Approved	Examiner KTH	Supervisor KTH
2025-10-01	Bertil Wanner	Claes Hansson
	Commissioner	Contact person at company
	Swedavia AB	Mats Berglind

Abstract

This bachelor's thesis was conducted in collaboration with Swedavia AB and examines the environmental and economic performance of baggage tagging systems at Arlanda Airport. The study compares conventional paper-based baggage tags with digital baggage tags, using BagID as a reference product. The objective is to assess which solution is more sustainable in the long term from both an environmental and an economic perspective.

The study applies a Life Cycle Assessment and a Life Cycle Costing approach, covering the production, transportation, use, and end-of-life phases. For the physical baggage tags, primary data were collected from Swedavia's operations, suppliers, and internal systems. The assessment of the digital baggage tag is based on component-level analysis and comparable secondary data. Environmental impacts are expressed in carbon dioxide equivalents, while economic results are presented in Swedish kronor.

The results show that paper-based baggage tags have a low carbon footprint per individual use; however, their overall environmental impact is considerable due to the very high annual consumption and the single-use nature of the system. From an economic perspective, the physical tagging system is characterized by recurring costs related to consumables, logistics, equipment operation, maintenance, and waste handling, all which scale directly with the number of tags used.

Digital baggage tags exhibit a significantly higher initial carbon footprint and higher upfront cost per unit, mainly driven by electronic components, battery production, and certification requirements. The economic analysis indicates that the cost structure differs fundamentally from that of paper-based tags, as most costs are incurred upfront, while operational costs during the use phase are relatively low. If a sufficient service life and a high level of reuse can be achieved, digital baggage tags may reach a break-even

point where their total life cycle costs become comparable to, or lower than, those of physical baggage tags.

Overall, the study concludes that digital baggage tagging has the potential to reduce long term environmental impact and total costs, provided that technical reliability, reuse rates, and organizational readiness are adequately addressed in future implementations.

Keywords

ARN = Arlanda airport
CUPPS = Common use passenger processing system
CUSS = Common use self service
IATA = International Air Transport Association
LCA = Life cycle analysis
LCC = Life cycle cost analysis
SBD = Self baggage drops
WEEE = Waste Electrical and Electronic Equipment

Innehåll

Sammanfattning 2
Nyckelord 3
Abstract 4
Keywords 5
1. Problembeskrivning 9
1.1 Inledning 9
1.2 Syfte 9
1.3 Mål 9
1.4 Avgränsningar 9
2. Teori 11
3. Förstudie 13
3.1 Nuläget 13
3.2 Datainsamling 13
3.2.1 Data för LCA – Fysiska bagagetaggar 13
3.2.2 Data för LCA – Digitala bagagetaggar 15
3.2.3 Data för LCC - Fysiska baggagetaggar 17
3.2.4 Digitala baggagetaggar 19
4. Genomförande 23
4.1 Livscykelanalys för fysiska bagagetaggar 23
4.1.1 Produktion 23
4.1.2 Transport 23
4.1.3 Användning 26
4.1.4 Avfallshantering 26
4.2 Livscykelanalys för digitala bagagetaggar 29
4.2.1 Produktion 29
4.2.2 Transport 30
4.2.3 Användning 30
4.2.4 Avfallshantering 32
4.3 Livscykelkostnads analys fysiska baggagetaggar 34
4.3.1 Inventerings kostnad 34
4.3.2 Driftkostnad 35
4.3.3 Underhållskostnad 35
4.3.4 Avfallskostnad 36
4.4 Livscykelkostnads analys för digitala baggagetaggar 38
4.4.1 Produktionskostnad 38
4.4.2 Underhållskostnad 39
4.4.3 Avfallskostnad 39
5. Resultat och analys 41
5.1 SWOT-analys 41
5.1.1 Fysiska bagagetaggar 41

5.1.2 Digitala bagagetaggar 42
5.2 Jämförelse 45
5.2.1 Resultat LCA 45
5.2.2 Resultat LCC 47
5.3 Motsvarighetsanalys 49
5.3.1 LCA 49
5.3.2 LCC 50
6. Diskussion 55
7. Slutsats 57
7.1 Rekommendation för fortsatt verksamhet 58
7.2 Felkällor 59
Källförteckning 61
Bilagor .....
Bilaga A – LCA beräkningar: Digitala bagagetaggar .....
Denna bilaga redovisar detaljerade beräkningar som ligger till grund för produktion av .....
digitala bagagetaggar .....

1. Problembeskrivning

Flygplatser använder idag huvudsakligen pappersbaserade bagagetaggar, vilket medför återkommande kostnader och miljöpåverkan. Digitala bagagetaggar har introducerats som ett alternativ, men deras miljömässiga och ekonomiska konsekvenser över hela livscykeln är ännu inte tillräckligt analyserade. Det saknas därmed ett tydligt beslutsunderlag för att bedöma om digitala bagagetaggar är ett hållbart och kostnadseffektivt alternativ för flygplatsdrift.

1.1 Inledning

Detta examensarbete redovisar ett arbete som genomförts i samarbete med Swedavia AB och behandlar både fysiska och digitala bagagetaggar. Utifrån uppdraget från uppdragsgivaren är syftet med arbetet att undersöka hållbarhetsmässiga och ekonomiska aspekter av digitala bagagetaggar. I detta ingår även att analysera hur digitala bagagetaggar förhåller sig till befintliga system och processer på Arlanda flygplats, med målsättningen att identifiera förutsättningar som kan underlätta en framtida implementering.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka hållbarheten hos digitala bagagetaggar i jämförelse med fysiska bagagetaggar, i syfte att bedöma vilken lösning som är mest långsiktigt hållbar ur både ett kostnads- och miljömässigt perspektiv.

1.3 Mål

Målet med arbetet är att jämföra nuvarande fysiska bagagetaggar med digitala baggagetaggar, med BagID som referensprodukt. Jämförelsen syftar till att identifiera det mest hållbara alternativet utifrån både ekonomiska och miljömässiga indikatorer, uttryckta i svenska kronor och koldioxidekvivalenter.

1.4 Avgränsningar

- Arbetet avgränsas genom att alternativa lösningar, såsom biometrisk igenkänning för bagageidentifiering (BagsID) samt system baserade på RFID-taggar, exkluderas från studien. Dessa lösningar ingår därmed inte i jämförelsen utifrån de valda indikatorerna svenska kronor och koldioxidekvivalenter.

- En ytterligare avgränsning är att råvaruutvinning inte inkluderas i livscykelanalysen, trots att analysen i övrigt är uppbyggd i enlighet med ISO 14040 och ISO 14044. Då ingen direkt dialog har kunnat föras med BagID och detaljerad information om vissa komponenter därmed saknas, har komponenter med bedömt mycket låg klimatpåverkan exkluderats från den detaljerade LCA (Livscykelanalys) - beräkningen. Dessa komponenter redovisas i nedanstående lista:

- Kommunikationschip
- Mindre integrerade kretsar

- Passiva komponenter
- Kablage
- Skruvar

Dessa komponenter bedöms ha en mycket begränsad klimatpåverkan i relation till produktens övriga delar och saknar dessutom tillgängliga data på komponentnivå.

2. Teori

Digitalisering har identifierats som ett centralt verktyg för att öka resurseffektivitet och minska miljöpåverkan inom transport- och logistiksektorn. Genom att ersätta materialintensiva och manuella processer med digitala lösningar kan både informationsflöden och resursanvändning effektiviseras, vilket i förlängningen kan bidra till minskade utsläpp (Bibri, 2018).

Samtidigt visar tidigare forskning att digitalisering inte per automatik leder till förbättrad hållbarhet. Digitala produkter, särskilt sådana som innehåller elektronik och batterier, uppvisar ofta en högre klimatpåverkan i produktionsfasen jämfört med enklare engångsprodukter. Detta beror på energiintensiva tillverkningsprocesser samt användning av metaller och kemiska komponenter (Hilty & Aebischer, 2015; Kallitsis & Chatzitheodorou, 2024). För att bedöma den faktiska miljöpåverkan krävs därför ett livscykelperspektiv, där samtliga faser från produktion till avfallshantering beaktas i enlighet med etablerade LCA-principer (ISO 14040, 2006).

Tidigare studier visar att den högre initiala klimatbelastningen hos digitala produkter kan kompenseras genom lång teknisk livslängd och hög återanvändningsgrad. Om en digital lösning ersätter ett stort antal engångsprodukter över tid kan den totala klimatpåverkan per användning bli lägre, vilket gör användningsfrekvens och livslängd till avgörande faktorer för hållbarhetsbedömningen (Bjørn et al., 2018). Liknande resonemang återfinns inom livscykelkostnadsanalys (LCC), där produkter med låg styckkostnad men hög förbrukningsvolym ofta genererar höga ackumulerade kostnader över tid, medan digitala lösningar kännetecknas av högre initial investering men lägre marginalkostnad per användning (Korpi & Ala-Risku, 2008; ISO 15686–5, 2017).

Utöver miljömässiga och ekonomiska aspekter lyfter tidigare studier även samhälleliga och etiska dimensioner kopplade till digitalisering. Ökat beroende av elektroniska system ställer krav på tillförlitlighet, ansvarsfull hantering av elektroniskt avfall samt efterlevnad av producentansvar och cirkulära principer (European Commission, 2020). För att digitala lösningar ska bidra till långsiktig hållbar utveckling krävs därför att både tekniska, ekonomiska och etiska aspekter beaktas ur ett helhetsperspektiv.

Denna teoretiska referensram utgör grunden för den efterföljande analysen, där studiens empiriska resultat relateras till tidigare forskning för att bedöma under vilka förutsättningar digital bagagemärkning kan betraktas som ett hållbart alternativ i jämförelse med fysiska bagagetaggar.

3. Förstudie

Vid tidpunkten för genomförandet av denna studie har bagageanläggningen på Arlanda flygplats i huvudsak varit oförändrad sedan 2021. Det senaste tillskottet i bagagesystemet är det så kallade bagagehotellet, där incheckat avgående bagage kan lagras i upp till 48 timmar före planerad avgång. Passagerarprocessen är utformad så att det inledande steget utgörs av digital incheckning före ankomst till flygplatsen eller fysisk incheckning på plats, beroende på vilka tjänster som respektive flygbolag erbjuder.

3.1 Nuläget

Vid ankomst till flygplatsen skriver resenären själv ut sin bagagetagg via en CUSS-automat (Common use self service) eller erhåller hjälp av ground handling personal vid incheckningsdiskarna genom CUPPS (Common use passenger processing system) utrustning. Vid utskrift via CUSS automat behöver resenären därefter ställa sig i kö till SBD (Self Bagage Drop), där bagagetaggen skannas för att aktivera bagagebandet. Bagaget passerar inledningsvis genom en röntgenskanning och transporteras därefter vidare in i bagageanläggningen. Inom anläggningen finns ett flertal sorteringsstationer där bagaget fördelas utifrån vilket flyg det ska lastas på. Som exempel kan flera avgående flyg samtidigt hanteras från Terminal 5, där separata sorteringsfickor hålls öppna för respektive avgång. Varje sorteringsficka är tilldelad ett specifikt flyg. Den väg som bagaget färdas genom systemet styrs av ett automatiserat sorteringssystem bestående av skannrar, sensorer och robotiserade komponenter, där bagagetaggen kontinuerligt avläses för att säkerställa korrekt sortering (Danielsson, 2025).

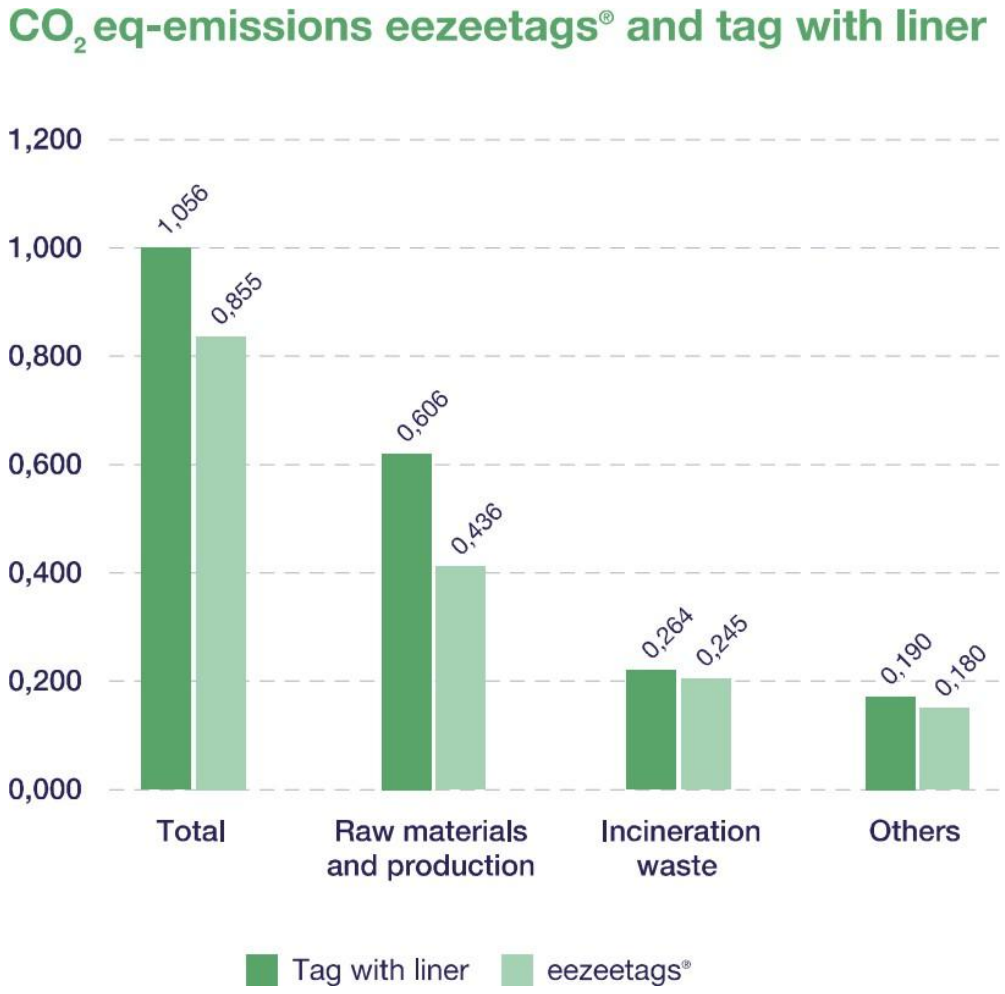
3.2 Datainsamling

Datainsamlingen utgör en kritisk del av arbetet, då en betydande del av den information som har inhämtats omfattas av sekretess. En av studiens avgränsningar är att råvaruutvinning inte behandlas som ett separat livscykelsteg i analysen. I stället har klimatpåverkan från materialutvinning inkluderats i produktionsfasen, vilket innebär att det första processteget i en fullständig livscykelanalys, ”materialutvinning”, inte redovisas separat i rapporten.

3.2.1 Data för LCA – Fysiska bagagetaggar

Produktionen av de fysiska bagagetaggarna sker i Sarstedt, Tyskland, varefter produkterna transporteras till Arlanda flygplats och lagras i ett centrallager som tillhandahålls av Swedavia. Datainsamling har genomförts genom direkt kontakt med tillverkaren Security Label via e-post. Den insamlade informationen har tillhandahållits av företagets produktionsledning och omfattar beräkningar av koldioxidutsläpp för två olika typer av bagagetaggar. ”Tag with liner” avser den typ av bagagetagg som i dagsläget används av Swedavia, medan ”eezeetags” representerar en alternativ och mer kostsam variant av fysiska bagagetaggar. Enligt den redovisade tabellen uppgår

koldioxidutsläppet från råmaterial och produktion för den nuvarande bagagetaggen till cirka 0,606 kg CO_2 per kvadratmeter producerade bagagetaggar. Vidare framgår att en kvadratmeter motsvarar cirka 34,27 bagagetaggar, vilket ligger till grund för de fortsatta beräkningarna i studien (Security Label, u.å.).



Figur 3.1: Co2 utsläpp vid fabriken i Sartstedt, Tyskland

Då Security Label är baserade i Sarstedt, Tyskland, är även deras produktionsanläggning lokaliserad där. Transportavståndet för de fysiska bagagetaggarna baseras därför på sträckan mellan fabriken i Sarstedt och Arlanda flygplats i Stockholm. Enligt mätningar genomförda med Google Maps uppgår denna sträcka till cirka 1 180 km. Transporten av bagagetaggarna sker med lastbil, och de beräkningar som genomförs i studien baseras på emissionsdata för moderna lastbilar.

År 2020 tilldelades Scania för fjärde gången utmärkelsen för den mest bränsleeffektiva lastbilen inom ramen för *Green Truck Contest*, som genomfördes i Tyskland. Utmärkelsen baserades på den lastbil som uppvisade lägst bränsleförbrukning, där Scanias fordon uppmätte en förbrukning om 25,14 liter per 100 km. Mätningen genomfördes vid en genomsnittlig hastighet om cirka 80 km/h. Dessa värden har använts som underlag för beräkning av koldioxidutsläpp kopplade till transport i denna studie (Scania, 2020). Under punkten användning framgår strömförbrukningen för CUPPS och CUSS utrustning där detta räknas om till en ekvivalent mängd av Co2 utsläpp. För insamlingen av denna data är det viktigt att kunna använda en

emissionsfaktor för Co2 utsläpp vid produktion av el i Sverige. Denna siffra är uppmätt till 20 g Co2 per kilowattimme som produceras. Siffran baseras på elproduktionen från den svenska el mixen. För CUSS maskiner framkommer strömförbrukningen från Embross. Avläst direkt från CUSS apparaten är spänningen 240 V och Strömmen som avläses är 1,5 A.

För att analysera avfallshanteringen för de fysiska bagagetaggarna har avfallsdata inhämtats från Swedavia. Enligt dessa uppgifter uppgick den totala mängden avfall på Terminal fem till 121 185 kg under perioden 1 januari 2025 till 30 september 2025. Den fysiska bagagetaggen är utformad med en avtagbar pappersdel i ena änden, med en längd om cirka 18 cm. Under denna del återfinns det klister som används för att fästa taggen vid bagaget. Den avtagbara pappersdelen har vägts till cirka 0,8 g per bagagetagg och inkluderas i den beräknade mängden avfall som uppstår vid användning av fysiska bagagetaggar.

Ytterligare avfall som uppstår utgörs av papphylsan som ingår i varje rulle och har en vikt om cirka 30 g. När den sista bagagetaggen på rullen har förbrukats ersätts papphylsan med en ny rulle, varpå hylsan sorteras som brännbart avfall. Vid beräkning av spill tillämpas bagagetaggens fulla vikt, vilken har uppmätts till cirka 4,7 g per tagg. Vid påfyllning av pappersrullar uppstår även spill i form av bagagetaggar. För CUSS systemet innebär detta att två bagagetaggar per rulle klassificeras som spill, då den första taggen är fastsatt på den andra vid leverans från fabrik. För CUPPS systemet uppstår motsvarande spill i form av en bagagetagg per rulle (Ögla, 2025).

Avfall som sorteras som brännbart används som bränsle i kraftvärmeverk, där det bidrar till produktion av värme och el. Vid förbränning omvandlas avfallet till energi genom uppvärmning av vatten, medan koldioxidutsläpp genereras som en följd av processen. Under år 2023 utgjorde brännbart avfall den dominerande bränslekällan i svenska kraftvärmeverk. De sammanlagda utsläppen från avfallsförbränning uppgick till cirka 3,03 miljoner ton koldioxidekvivalenter, samtidigt som omkring 1,5 miljoner ton avfall förbrändes (Naturvårdsverket, 2025).

3.2.2 Data för LCA – Digitala bagagetaggar

För att möjliggöra beräkningar för den digitala bagagetaggen delas produkten upp i sina ingående komponenter, vilka analyseras var för sig i livscykelanalysen. Bagagetaggen är uppbyggd av ett plasthölje som yttre skal samt en E-ink skärm. Inuti enheten finns ett kretskort med tillhörande mikrokontroller och kommunikationschip, vilka möjliggör funktioner såsom identifiering och spårning av bagagetaggen. Enheten drivs av ett litiumjonbatteri med en energikapacitet om 2,7 Wh (BagID, u.å.).

Plasthöljet som utgör enhetens yttre chassi uppskattas ha en vikt om cirka 50 g. Vid produktion av ABS-plast, som är vanligt förekommande i elektroniska produkter såsom BagID, uppgår koldioxidutsläppet till cirka 3,1 kg CO_2 per kg plast (Cilmatiq, 2015). Vid återvinning av ABS plast kan en betydande andel av dessa utsläpp undvikas, där tidigare studier indikerar att upp till cirka 80 procent av koldioxidutsläppen kan besparas (Bage

Plastics, 2022)

E-ink-skärmen i den digitala bagagetaggen har måtten 9 × 6 cm och en uppmätt diagonal om cirka 11 cm. Enligt Becket (2022) har företaget E Ink publicerat data avseende koldioxidutsläpp från produktion av E-ink skärmar avsedda för elektroniska hyllkantsetiketter i butiksmiljö. För skärmar med en diagonal om 17,3 cm uppgår utsläppet till cirka 3,3 kg CO_2, medan motsvarande värde för skärmar med en diagonal om 7,4 cm uppgår till cirka 0,59 kg CO_2.

E-pappersskärmar är inte ett material som behöver smältas ned eller omformas för att kunna återanvändas. Den tekniska livslängden för E-papper uppgår ofta till över fem år och kan i vissa fall överstiga tio år. Den förväntade livslängden för BagID-produkten är däremot uppskattad till cirka fem år (Visionect, 2025).

Tidigare studier visar att litiumjonbatterier uppvisar en stor variation i klimatpåverkan, där koldioxidutsläppen vid produktion varierar mellan cirka 50 och 120 kg CO_2 per kWh. Det är även väl etablerat att merparten av dessa utsläpp uppstår i samband med materialutvinning och tillverkningsprocesser. För att uppskatta klimatpåverkan från det batteri som används i BagID har ett antagande gjorts där medianvärdet inom detta intervall tillämpas, motsvarande 85 kg CO_2 per kWh (Kallitsis, 2024). När ett batteri inte längre är funktionellt behöver det omhändertas genom korrekt återvinning. Ett centralt syfte med batteriåtervinning är att utvinna värdefulla metaller för vidare användning i produktionen av nya batterier. Tidigare studier indikerar att återvinning av litiumjonbatterier kan reducera koldioxidutsläppen med mellan cirka 50 och 80 procent, då behovet av primär utvinning av metaller minskar avsevärt (Tarpeh, 2025).

Liksom många andra tekniska produkter är BagID uppbyggd kring ett kretskort som integrerar och sammankopplar enhetens elektroniska funktioner. På kretskortet monteras de tidigare nämnda delkomponenterna, vilket möjliggör distribution av signaler, data och ström mellan enhetens olika delar. För att beräkna koldioxidutsläppet kopplat till kretskortet har mätningar genomförts på produkten, vilka visar att kretskortets mått uppgår till cirka 13 × 8 cm. Detta motsvarar en area om 104 cm^2. Tidigare studier indikerar att koldioxidutsläppet vid produktion av standardiserade kretskort uppgår till mellan cirka 60 och 70 kg CO_2 per m^2. En betydande andel av dessa utsläpp kan hänföras till FR4 substratet, vilket utgör basmaterialet i kretskortet (Adrian, 2025).

Eftersom kretskort består av flera olika ledande material och komponenter, såsom LED-komponenter, batterianslutningar och övrig elektronik, inleds återvinningsprocessen vanligtvis med att dessa delar separeras. Därefter smälts metaller ned och omformas, varpå kretskortets struktur bryts ned för att möjliggöra utvinning av de ingående metallerna. En sådan återvinningsprocess är energikrävande och den använda energin kan omräknas till koldioxidekvivalenter. Tidigare studier visar att den energi som krävs för återvinning av kretskort uppgår till cirka 1 659 MJ per ton, vilket motsvarar omkring 100 kg CO_2 per ton återvunnet kretskort (Hosseini, Klauson, Goljandin, Hendrickx & Duflo, 2025).

För den digitala bagagetaggen omfattar användningsfasen i livscykelanalysen enbart laddning av enheten. Effekten hos en vanligt förekommande nätadapter för USB-C laddning uppgår till cirka 5 W, och beräkningarna av tillhörande koldioxidutsläpp baseras, i likhet med övriga elanvändningsberäkningar i studien, på den svenska elmixen. För att säkerställa att incheckat bagage inte nekas transport ställer IATA (International Air Transport Association) krav på att bärbara elektroniska apparater med en batterikapacitet över 2,7 Wh ska medföras i kabinen. Av denna anledning är den digitala bagagetaggens batterikapacitet begränsad till under 2,7 Wh (BagID, u.å.).

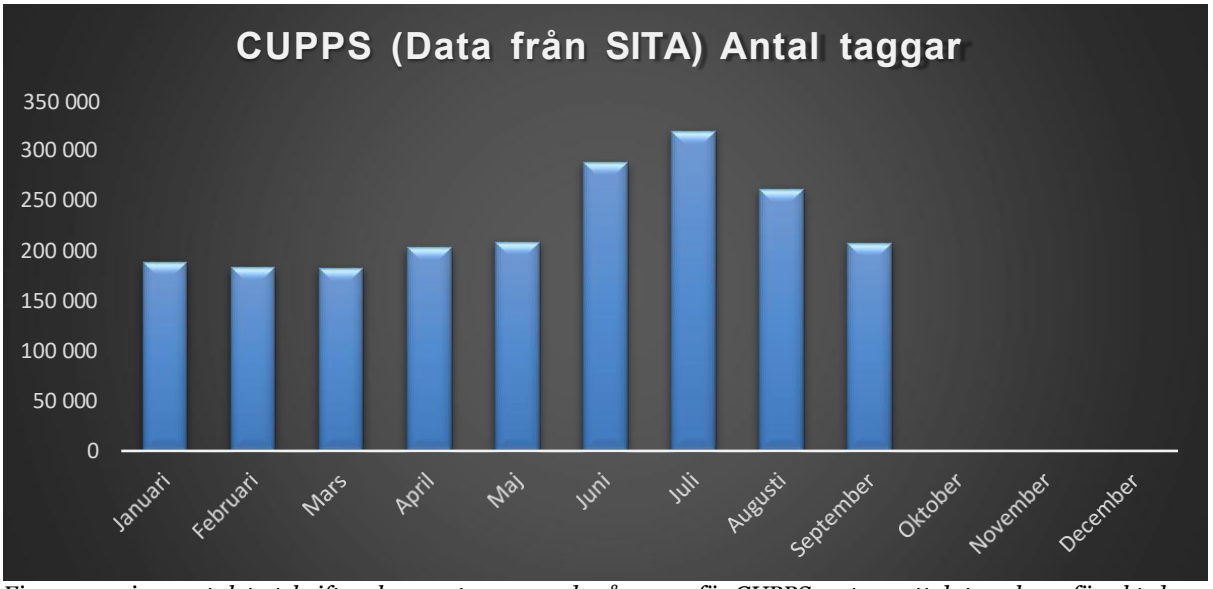
3.2.3 Data för LCC - Fysiska baggagetaggar

Inköpspris på ca 100 000 SEK (exklusive moms) för CUSS-maskinerna erhölls direkt från Swedavia via personlig kommunikation (E. Vincent, 2025). För en potentiell linjär avskrivning gjordes ett antagande på livslängd där bedömning på livslängden för CUSS är ca 8 år, detta antagande görs baserad på en motsvarande automatutskrivare av modellen LKS-8476 (Kiosksmanufacturer u.å.).

För direkt material beställer Swedavia in baggagerullar från Security Label som är leverantör för de fysiska bagagetaggarna och har sin fabrik etablerad i Tyskland (Security-Label u.å.). Inköpspris för CUSS är 120kr per rulle respektive CUPPS 60kr per rulle. CUSS rullarna innehöll 400st baggagetaggar medan CUPPS 200st.

Nedan redovisas statistik kring hur många bagagetaggar som skrivits ut under år 2025 för CUPPS, specifika data från CUSS per månad saknas då denna data lagras inte i fler än tre månader. Ingående data av CUPPS taggarna redovisades månadsvis från januari till september (SITA, 2025) medan data för CUSS redogjordes för hela året fram till sista Oktober (Embross, 2025). Beräkning av data avläggs senare i rapporten under LCC (Livscykelkostnadsanalys).

För år 2025 drogs genomsnitten och för hela året gjordes en sammanställning för antalet utskrivna taggar för CUSS till ca 2,76- respektive 2,72 miljoner st för CUPPS.



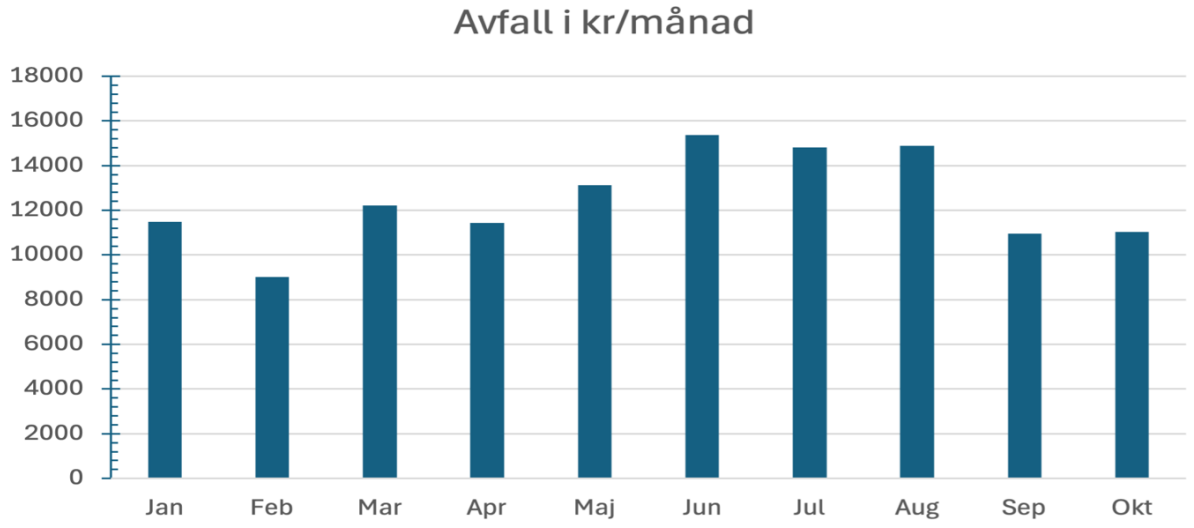
Figur 3.2: visar antalet utskrift av bagagetaggar under år 2025 för CUPPS, notera att data saknas för okt-dec

Märkdata avser maximalt teoretiskt effektuttag och speglar inte faktisk energianvändning under normal drift. För beräkning av driftkostnad används därför en genomsnittlig årlig energiförbrukning per CUSS på 241,25 kWh, vilket representerar att utrustningen till stor del befinner sig i standby och endast periodvis belastas i aktivt läge.

Genomsnittliga elkostnaden för 2025 ligger på ca 203 öre per kWh för förbrukning över 15 000kWh (Elpriser24 u.å.).

Vid fas 2 av livscykeln har indata samlats in för underhållskostnaden av CUSS och CUPPS. Underhåll av check-in diskarna görs underhållsteknikerna som tar ett timpris på 533kr per timme (IFS 2025). Antal timmar av underhåll som krävs är 3 timmar dagligen och ca 4.5 timmar per vecka per område på Swedavia, Swedavia har 9 zoner enligt direkt kommunikation med personal på Swedavia (Faraj, 2025).

Slutfasen redovisas avfallskostnad för kassering och spill av baggagetaggar på Arlanda. Relevant data är vikten för det avtagbara pappret som kasseras efter fäste av baggagetaggar på resväska, vikten för spill som sker vid byte av rullarna samt hylsan av baggagerullar.



Figur 3.3: Sammanställning av kostnad per kilogram av brännbart avfall på Arlanda flygplats

Kostnad samt vikt från data för avfall samlades in genom samtal med Jörgen Ögla (2025) som är avtalsförvaltare logistik på Swedavia. För att nå resultat så är de essentiella enhet vikten på de material som kasseras. I fallet är det avtagbart papper från bagagetag, papphylsan i bagagerullarna samt eventuellt spill av tex. bagagetaggar. De mätningarna har gjorts fysiskt med hjälp av gram våg där vikten för det avtagbara pappret blev 0.8g, papperstagg (CUSS) 4.7g samt papphylsan 30g.

Antaganden har gjorts kring spill där varje dag byts 3 baggagerullar som indikerar ”bagtag low” vilket tyder på att rullen håller på att ta slut där varje ”bagtag low” rulle har 15 taggar kvar. Ett annat antagande har bestämts kring hur många resenärer som slänger det avtagbara pappret vilket är 70%, detta gäller då endast för CUSS.

För spill av byte av baggagerullar går det åt 2 taggar per rulle för CUSS och 1 tagg på CUPPS. Varje dag görs även en rutinbyte av rullar där i snitt 3 rullar har 15 taggar kvar som kasseras.

3.2.4 Digitala baggagetaggar

Datainsamlingen för digitala bagagetaggar grundas på likvärdiga komponenter motsvarande av de som finns i BagID produkten. LCC byggs på tre faser, produktion, drift samt avfall.

Produktionsfasen består av kostnader för centrala hårdvarukomponenter såsom e-ink display, kretskort, plasthölje och litiumbatteri. Andra komponenter som skruvar och diverse har försummats i kostnadsberäkningen i enlighet med tidigare nämnd avgränsning. Följande kostnader ges i exklusive moms och hänvisas i nästkommande bilaga.

Valda komponenter innefattar en displaykomponent på en 4,2-tums e-ink modul från OpenCircuit (2025). Kretskortet utgår från ett 6×8 cm PCB från Digi-Key (2025). Plastkomponenten består av ett ABS-hölje i måtten 61×102×25 mm från Electrokit (2025). Batteriet avser ett litiumbatteri på 3,7 V och 650 mAh (<2,7 Wh), hämtad från Batteriexperten (2025).

Materialkostnad	
Material	**Kostnad**
E ink display	*190.56*
Kretskort	*18.43*
Plasthölje	*79.20*
Li-batteri	*190.40*

Figur 3.4: Materialkostnad

Omkostnader i form av certifieringskostnader inkluderar CE-märkning, vilken uppgår till cirka 98 000 SEK enligt en fasttrack pris från CertifyComply (2025). Denna kostnad definieras som en indirekt engångskostnad som är essentiell för att inom regelverk kunna sälja vidare produkten inom EU.

För att uppskatta direkt lön vid montering av en digital bagagetagg har svenska lönenivåer för elektronikmontörer använts som grund. Enligt Statsskuld (2025) uppgår den genomsnittliga timlönen för en elektronikmontör inom tillverkningsindustrin till cirka 196 kronor per timme, vilket motsvarar den nationella lönestatistiken för denna yrkesgrupp. Liknande lönenivåer återfinns i Jobblands sammanställning, där en timlön i intervallet 189–196 kronor anges som typisk för elektronikmontörer i Sverige (Jobbland, 2025). Dessa värden bedöms därför som representativa för arbetskostnaden i ett svenskt produktionssammanhang.

Monteringstiden för en mindre elektronisk produkt som BagID2 har uppskattats till den totala monteringstiden om cirka 60 minuter per enhet, vilket inkluderar SMT-placering av kretskortet, handplacering av komponenter, slutmontering av batteri, display och plasthölje, samt ett funktionstest och packningsmoment. Multiplicerat med den genomsnittliga timlönen innebär detta en lönekostnad på ungefär 196 kronor per enhet, vilket resulterar i en total arbetskostnad på omkring 196 000 kronor vid en batchproduktion om 1 000 enheter.

Vid beräkning av totala personalkostnader i Sverige måste sociala avgifter och semesterersättning inkluderas. Arbetsgivaravgiften uppgår till 31,42 % (Skatteverket, 2025) samt semesterersättningen vilket enligt procentsregeln normalt beräknas till cirka 12 % av den anställdes intjänade lön (PwC, 2025). Dessa kostnader kommer att påläggas under genomförande momentet i senare skede i avhandlingen. Lönekostnaden kommer att beräknas i enlighet med Fortnox lönekalkyl för arbetsgivare (Fortnox, 2025)

Driftkostnadsfasen innefattar kostnader för garanti och reklamation. Dessa uppskattas utifrån Warranty Week (2024), som redovisar att konsumentelektronik i genomsnitt uppvisar garantianspråk motsvarande 1,46 % av försäljningspriset på en BagID vilket

motsvarar 2139 SEK (BagID, 2025). Denna procentsats används för att uppskatta produktens framtida garanti- och reklamationsutgifter. Statistik tagen från Warranty Week redovisas nedan.

Figur 3.5: Average Warranty Costs (Waranty Week)

För slutfasen i LCC kommer kostnad för avfall undersökas. För elektroniska produkter som sätts i marknaden omfattas producentansvar enligt förordning (2022:1276) i riktlinje med EU:s WEEE (Waste electrical and electronic equipment) -direktiv, som innefattar att ansvaret ligger hos tillverkaren för att se till att produkten återvinns på rätt avseende (Naturvårdsverket, 2025). I praktiken innebär detta ett ansvar för företaget som till sin följd leder till en avfallskostnad. Detta resulterar i att företaget kan ansluta sig till ett företag som sköter avfallshanteringen i utbyte mot en kostnad. Företag tar vanligtvis ut en fast avgift per år, per produkt samt en startavgift beroende på mängd samt produkt (El-Kretsen, 2025)

Kostnader som faller i linje med avfallshantering för motsvarande produkt av en digital BagID redogörs nedan (El-Kretsen, 2025):

Avtal	Avgift 2025
Anslutningsavtal för elutrustning	500 SEK/år
Anslutningsavtal för bärbara batterier och portabla industribatterier	500 SEK/år
Inträdesavgift	1 000 SEK (engångsavgift)
Avtal för utländska företag som vill anlita El-Kretsen som producentombud, s.k. Authorised Representative.	5 000 SEK/år (i avgiften ingår Naturvårdsverkets tillsynsavgift 1 000 SEK)
Rapporteringsavtal (El-Kretsen hanterar den årliga rapporteringen till Naturvårdsverket)	0 SEK
Service	**Avgift 2025**
Förmedling av förpackningsdeklarationer	6 000 SEK/år

Figur 3.6: Källa: Elkretsen. Avtalskostnader.

▣ **P18 IT-, mobil,- och telekomutrustning <50 cm**

T. ex. kösystem, frankeringsmaskin, streckkodsläsare, kortläsare, överföringsmodul, arbetsminne, datorminne, datorfläkt

Avgift:

Produktkod P18: 0:15kr/kg

Produktkod GP18: 0:14kr/kg (grön avgift)

Grön avgift innebär en reducerad miljöavgift. Som producent är det viktigt att säkerställa att alla produkter som deklareras till den gröna avgiften också har laglig grund för detta. Styrkande dokument bifogas med respektive produkt.

Figur 3.7 Källa: Elkretsen, hänvisar till kilopris för återvinning av liten elektronikutrustning

11.7 Litiumjon (uppladdningsbara)

Avgift:

Produktkod 11.7: 3kr/kg

Figur 3.8 Källa: Elkretsen, Kilopris för avfallssortering av Li-batterier

Avtal som behöver tecknas i fallet blir anslutningsavtal för el utrustning samt batteri, inträdesavgift samt förmedling av förpackningsdeklarationer. För el utrustnings avgiften väger en färdigförpackad BagID ca 250g, vars vikt har gjorts via fysiska mätningar på en gram våg. Li-batteriet i komponenten väger ca 12.5g, vikten har tagits från en liknande batterityp (Fellotech, 2025).

4. Genomförande

4.1 Livscykelanalys för fysiska bagagetaggar

4.1.1 Produktion

Vid beräkning av koldioxidutsläpp från produktionsfasen inkluderas både direkta och indirekta utsläpp, såsom energiförbrukning, användning av processgaser samt materialutvinning. Genom kontakt med företaget Security Label har direkt produktionsdata kunnat inhämtas från deras tillverkningsanläggning i Tyskland. Enligt avlästa värden i Tabell 1 uppgår koldioxidutsläppet till cirka 0,606 kg CO_2 per kvadratmeter producerade bagagetaggar.

I genomsnitt förbrukas cirka 5 478 800 fysiska bagagetaggar per år på Arlanda flygplats. För att beräkna det totala årliga koldioxidutsläppet från produktionen relaterat till Arlanda har detta antal dividerats med en omräkningsfaktor om 34,72, vilket motsvarar antalet bagagetaggar per producerad kvadratmetermaterial.

Antal kvadratmeter av bagagetaggar

$$\frac{5\,478\,800}{34{,}72} = 157\,800 \text{ m}^2 \qquad [4{:}1]$$

För att beräkna det totala utsläppet som ett snitt för år 2025 multipliceras ovanstående antal med emissionsfaktorn för utsläppet vid produktion.

Totala utsläppet vid produktion av fysiska bagagetaggar

$$157\,800 \cdot 0{,}606 = 95\,626.8\ kg\ CO2 \approx 95{,}6\ ton\ CO2 \qquad [4{:}2]$$

Sammanfattat är det den beräknade summan av CO_2 utsläpp för produktion av thermal baggagetags för antalet som förbrukas på Arlanda flygplats för år 2025.

4.1.2 Transport

Security Label genomför för närvarande fyra leveranser av fysiska bagagetaggar per år till Swedavia. Varje leverans omfattar cirka 2 000 000 bagagetaggar. Då en pall rymmer cirka 57 600 bagagetaggar innebär detta att varje leverans motsvarar en fullastad lastbil med EU-pallar, vilket motsvarar cirka 34 pallar per transport

Baserat på mätningarna från Scanias Green truck Contest är bränsleförbrukningen 25,14 l/100 km. Anledningen till valet av just denna mätning är att beräkningarna ska baseras på det mest effektiva alternativet. För att beräkna det totala utsläppet per leverans multipliceras bränsleförbrukningen per km med emissionsfaktorn 2,68 kg CO_2 per liter.

Bränsleförbrukning / km

$$0{,}2514 \cdot 2{,}68 = 0{,}67375\ kg\ CO2\ /\ km \qquad [4{:}3]$$

Transportsträckan för leveranserna av fysiska bagagetaggar utgår från tillverkningsanläggningen i Sarstedt, Tyskland, till Arlanda flygplats i Sverige. Med hjälp av Google Maps har transportavståndet uppmätts till cirka 1 180 km. Koldioxidutsläppet för transporten över denna sträcka beräknas enligt följande.

Utsläpp vid en leverans

$$0{,}67375 \cdot 1180 = 795{,}027\ kg\ CO2 \qquad [4{:}4]$$

Detta motsvarar 0,0004 kg CO_2 för en fysisk bagagetagg

Figur 4.1: Hel pall med fysiska bagagetaggar

Enligt uppgifter från Swedavia genomförs årligen fyra leveranser av fysiska bagagetaggar med samma volym som tidigare beskrivits. För att beräkna det totala årliga koldioxidutsläppet från transportfasen multipliceras utsläppet för en enskild transportsträcka med antalet leveranser per år. Detta resulterar i ett sammanlagt transportutsläpp om cirka 3,2 ton CO_2 per år.

4.1.3 Användning

Arlanda flygplats är klassad som ett skyddsobjekt och fungerar även som så kallad nödflygplats, vilket innebär att flygplatsen hålls öppen dygnet runt, årets alla dagar, för att möjliggöra nödlandningar vid behov. Detta medför att teknisk utrustning i terminalmiljön, inklusive CUSS automater, är i kontinuerlig drift. CUSS automaterna behöver därmed vara påslagna dygnet runt, vilket resulterar i en betydande elanvändning över tid. Baserat på observationer i terminalmiljön antas den avgående flygtrafiken vara som mest intensiv mellan klockan 03:00 och 19:00, vilket motsvarar cirka 16 timmar per dygn med högre belastning och därmed högre elförbrukning för CUSS automaterna.

Trots den kontinuerliga och relativt omfattande elanvändningen har användningsfasen för de fysiska bagagetaggarna inte kvantifierats i form av koldioxidutsläpp i livscykelanalysen. Detta beror på att Swedavia innehar giltiga certifieringar som visar att den el som används i terminalverksamheten utgörs av 100 procent fossilfri och förnybar el. I enlighet med detta bedöms koldioxidutsläpp kopplade till elanvändning i användningsfasen vara försumbara i studiens klimatredovisning och redovisas därför som noll kg CO_2. En kvantifiering av elanvändningen i användningsfasen skulle därmed inte påverka det totala resultatet av livscykelanalysen eller jämförelsen mellan fysiska och digitala bagagetaggar.

4.1.4 Avfallshantering

Som tidigare redovisats i avsnittet om datainsamling är de fysiska bagagetaggarna försedda med en avtagbar del i ena änden. Baserat på observationer i terminalmiljön antas att cirka 70 procent av resenärerna inte behåller denna del, trots att den fungerar som kvitto för det incheckade bagaget. I stället rivs kvittodelen av och slängs i närliggande avfallskärl.

Enligt tillgängliga data skrivs i genomsnitt 229 766 fysiska bagagetaggar ut per månad via CUSS automater på Arlanda flygplats. Vid tillämpning av antagandet att 70 procent av dessa genererar avfall motsvarar detta cirka 160 836 bagagetaggar per månad. Genom att multiplicera detta antal med vikten för den avtagbara delen erhålls en total avfallsvikt om cirka 128 kg per månad, vilket motsvarar cirka 1,5 ton per år.

Vid underhåll av CUSS automaterna uppstår även pappersspill. Underhåll genomförs dagligen, vilket innebär att pappersrullar fylls på i samtliga befintliga automater på Arlanda flygplats. Enligt uppgifter från teknisk personal indikerar maskinerna statusen ”Low” när en pappersrulle har cirka 30 bagagetaggar kvar. I praktiken byts dock inte rullen vid denna nivå, utan först när antalet kvarvarande taggar närmar sig cirka 15.

Det finns ingen exakt statistik över mängden bagagetaggar som går till spill i samband med detta underhåll. I studien antas därför att spill motsvarande tre pappersrullar per dag, vardera med cirka 15 bagagetaggar, uppstår till följd av underhållsprocessen.

Spill per år vid underhåll

$$15 \cdot 3 \cdot 365 = 16\,425\ bagage\ taggar \approx 77\ kg \qquad [4:5]$$

Vid leverans av pappersrullar för CUSS automaterna är den första bagagetaggen alltid påklistrad på den efterföljande taggen. Den första taggen avlägsnas konsekvent för att undvika att klisterrester fastnar i maskinen. Den andra taggen utgör den första tagg som matas in i skrivaren och rivs av när hela taggen har passerat genom utskriftsenheten. Detta innebär att de två första bagagetaggarna på varje pappersrulle klassificeras som spill.

Enligt tillgänglig statistik förbrukas i genomsnitt cirka 6 893 pappersrullar per år i CUSS automaterna, vilket innebär att motsvarande mängd spill uppstår årligen till följd av denna hantering.

Spill per år vid matning av ny rulle

$$6\,893 \cdot 2 = 13\,786\ bagagetaggar \approx 65\ kg \qquad [4:6]$$

Sammantaget uppgår spillet av fysiska bagagetaggar till cirka 30 211 taggar per år. Detta spill uppstår i samband med användning av CUSS utrustningen, då teknisk personal som ansvarar för påfyllning av papper i CUPPS systemet inte byter ut pappersrullar med låg återstående mängd, utan låter ground handling personal förbruka rullarna helt. Anledningen till detta arbetssätt är att minimera risken för att en CUSS automat tas ur drift på grund av brist på bagagetaggar. Det är därmed av operativ betydelse att pappersrullar byts i god tid innan antalet återstående taggar understiger cirka 30. Den totala vikten av det årliga spillet av fysiska bagagetaggar uppgår till cirka 142 kg.

Spill som uppstår i samband med CUPPS systemet är avsevärt mindre än för CUSS automaterna. Som tidigare nämnts är målsättningen att varje pappersrulle ska förbrukas i sin helhet, vilket bidrar till att minska mängden spill. Oavsett system uppstår dock alltid spill i form av den första bagagetaggen på varje rulle. I genomsnitt förbrukas cirka 1 134 bagagetaggrullar per månad i CUPPS systemet. Detta innebär att motsvarande antal bagagetaggar går till spill varje månad, vilket motsvarar cirka 13 608 bagagetaggar per år. Den totala vikten av detta spill uppgår till cirka 64 kg per år.

Den sista bagagetaggen på varje pappersrulle är fäst vid en papphylsa. När den sista bagagetaggen har förbrukats kvarstår papphylsan som avfall, vilket sorteras som brännbart avfall. Detta beror på att bagagetaggar som används i CUPPS systemet saknar den avtagbara pappersdel som förekommer på CUSS taggar. Vid applicering av CUPPS taggar avlägsnas en skyddande pappersdel för att frigöra det underliggande klistret. Denna pappersdel dras dock inte bort helt, utan stannar vid mitten av taggen och följer därefter med bagaget. Det enda kvarvarande avfallet från pappersrullen utgörs därmed av papphylsan, vilken har en vikt om cirka 30 g.

I genomsnitt förbrukas cirka 13 608 pappersrullar för bagagetaggar i CUPPS systemet och cirka 6 893 pappersrullar i CUSS systemet per år. Då samtliga rullar har samma

konstruktion, där den sista bagagetaggen är fäst vid en papphylsa, innebär detta att totalt cirka 20 501 papphylsor genereras som avfall årligen.

Avfall i kg från papphylsor

$$20\,501 \cdot 0{,}03 = 615\ kg \qquad [4{:}7]$$

a
mmanfattningsvis utgör spill och avfall från fysiska bagagetaggar en relativt liten andel av det totala antalet producerade taggar. Trots detta genereras en betydande mängd avfall som kräver hantering och förbränning. Baserat på ovanstående beräkningar uppgår mängden avfall som i genomsnitt förbränns till cirka 2,3 ton per år. Den största andelen av detta avfall härrör från bagagekvittot, vilket i många fall kasseras av resenärer efter incheckning.

Vid förbränning av brännbart avfall uppstår koldioxidutsläpp, då syftet med processen är att producera värme och el i kraftvärmeverk. Under år 2023 förbrändes cirka 1,5 miljoner ton avfall i svenska kraftvärmeverk. Det sammanlagda utsläppet från dessa anläggningar uppgick till cirka 3,03 miljoner ton koldioxidekvivalenter.

I normalfallet kan pappersbaserade produkter återvinnas vid pappersbruk genom upplösning i vatten. Dock är inte allt papper lämpat för materialåtervinning. Termiska bagagetaggar, såsom de som används vid Swedavias flygplatser, kan inte återvinnas på detta sätt och hanteras därför som brännbart avfall.

Beräkning av fysiska taggens koldioxidutsläpp vid förbränning

$$\frac{2\,300}{1\,500\,000\,000} \cdot 3\,030\,000\,000 = 4\,646\ kg\ CO2 \approx 4{,}6\ ton\ CO2 \qquad [4{:}8]$$

4.2 Livscykelanalys för digitala bagagetaggar

4.2.1 Produktion

Eftersom tillgängliga data avseende de digitala bagagetaggarna är begränsad baseras produktionsfasen i livscykelanalysen på jämförbara produkter och komponenter som en BagID-tag kan antas bestå av. Detta tillvägagångssätt har valts då den digitala bagagetaggen innehåller flera elektroniska och känsliga komponenter, vilka var för sig uppvisar olika nivåer av klimatpåverkan vid produktion. Därav redovisas även dessa beräkningar under “Bilagor”.

Som tidigare nämnts har mätningar genomförts på en BagID tagg, där det har fastställts att E-ink skärmens diagonala längd uppgår till cirka 11 cm. Eftersom elektroniska skärmar vanligtvis specificeras i tum har denna dimension konverterats till motsvarande värde i tum. Då tillgängliga klimatdata för E-ink skärmar inte exakt överensstämmer med BagID taggen kan ingen direkt slutsats dras baserat på befintliga värden. Klimatpåverkan har i stället uppskattats genom linjär interpolation, där insamlade referensvärden har tillämpats för att beräkna ett rimligt uppskattningsvärde för klimatpåverkan från BagID taggens E-ink skärm.Det yttre höljet på den digitala bagagetaggen består av ABS plast. Tidigare insamlade data avseende koldioxidutsläpp vid produktion av ABS plast visar att utsläppet uppgår till cirka 3,1 kg CO_2 per kg ABS plast. Då ingen detaljerad information finns tillgänglig på BagIDs webbplats gällande vikten på plasthöljet har denna uppskattats till cirka 0,05 kg.

BagID har som målsättning att följa de regelverk som fastställts av IATA, vilka anger att energikapaciteten hos litiumbatterier måste understiga 2,7 Wh för att tillåtas i incheckat bagage och transporteras i lastutrymmet. Medianvärdet för koldioxidutsläpp vid produktion av litiumbatterier uppgår till cirka 85 kg CO_2 per kWh. Vid beräkning av klimatpåverkan för BagID batteriet har energikapaciteten därför omvandlats till 0,0027 kWh.

Som tidigare nämnt sammanlänkas samtliga delkomponenter i den digitala bagagetaggen genom ett kretskort, vilket utgör den centrala strukturen i BagID enhetens elektronik. Kretskortet fungerar som bärare för mikrokontroller, kommunikationschip och övriga elektroniska komponenter samt möjliggör intern signalöverföring och strömförsörjning i systemet. Då tillverkningsprocessen för kretskort är både material och energikrävande bidrar denna komponent i betydande grad till produktens totala klimatpåverkan och inkluderas därför som en separat komponentkategori i livscykelanalysen. Vid antagande av det lägsta etablerade utsläppsvärdet för koldioxid från kretskortstillverkning har en emissionsfaktor om 60 kg CO_2 per m^2 tillämpats. Baserat på uppmätta dimensioner, där kretskortets area uppgår till cirka 104 cm^2, kan ett approximativt koldioxidutsläpp beräknas enligt följande.

För att på ett strukturerat sätt redovisa produktionsfasen sammanställs de värden som har beräknats inom detta delkapitel. Då tillgång till detaljerade leverantörsdata inte har erhållits baseras dessa värden på uppskattningar framtagna med stöd av tidigare studier av de delkomponenter som bedömts bidra mest till BagID taggens klimatpåverkan. De redovisade resultaten ska därför betraktas som approximativa.

Ungefärligt totalt utsläpp

$$1{,}58 + 0{,}155 + 0{,}23 + 0{,}62 = 2{,}585 \approx 2{,}6\ kg\ Co2 \qquad [4{:}13]$$

4.2.2 Transport

Datainsamlingen visar att den digitala bagagetaggen produceras i Polen, och därefter transporteras till Ålesund, Norge, för lagring. Detta logistikupplägg är fastställt av BagID och ligger därmed utanför Swedavias direkta påverkan. För att möjliggöra jämförbara beräkningar antas i denna studie att en kund beställer sin digitala bagagetagg med leverans till Arlanda flygplats.

I likhet med beräkningarna för den fysiska bagagetaggen tillämpas samma emissionsfaktorer från Scania vid beräkning av koldioxidutsläpp från vägtransport. Transportsträckan har delats upp i två etapper. Den första etappen sträcker sig från Polen till Ålesund i Norge och har uppmätts till cirka 1 500 km med hjälp av Google Maps. Den andra etappen avser transport från Ålesund till kunden på Arlanda flygplats och uppgår till cirka 970 km. Den totala transportsträckan för den digitala bagagetaggen uppgår därmed till cirka 2 470 km. Baserat på insamlade emissionsfaktorer för lastbilstransport beräknas koldioxidutsläppet under ”bilagor”.

Beräkningarna avser transport med fullastad lastbil innehållande digitala bagagetaggar. Eftersom en lastbil i praktiken transporterar flera produkter samtidigt och inte enbart en enskild bagagetagg har koldioxidutsläppet allokerats per produkt baserat på vikt. Vid tidigare beräkningar har den totala lastvikten för en fullastad lastbil antagits uppgå till cirka 9 400 kg. För att säkerställa jämförbarhet tillämpas samma antagande även för den digitala bagagetaggen.

Det totala koldioxidutsläppet för den aktuella transportsträckan uppgår till cirka 1,664 ton CO_2. Detta värde har därefter fördelats proportionellt efter vikt, vilket möjliggör beräkning av klimatpåverkan per enskild bagagetagg. Vid transportberäkningen har en vikt om 0,25 kg per bagagetagg använts, vilket inkluderar både produktens faktiska vikt om cirka 80 g samt tillhörande förpackning.

Utsläpp för transport av en digital bagagetagg

$$1{,}664 \cdot \frac{0{,}25}{9\ 400} = 0{,}0443\ kg\ CO2 \qquad [4{:}15]$$

4.2.3 Användning

För att uppfylla de regelverk som fastställts av IATA har batteriets storlek och energikapacitet i den digitala bagagetaggen begränsats till under 2,7 Wh. Enligt information tillgänglig på tillverkarens webbplats uppgår batteriets livslängd till mellan ett och två år, beroende på om bagagetaggen används med spårningsfunktion eller inte. Vid beräkning av klimatpåverkan från laddning under användningsfasen antas att laddning sker med en mindre laddare med en effekt om 5 W.

Teoretisk beräkning av laddningstid

$$t = \frac{2{,}7}{5} = 0{,}54\ h = 32\ min \qquad [4:16]$$

Den teoretiska laddningstiden motsvarar inte faktisk laddning i praktiken, då en sådan laddning kan medföra ökat slitage på batteriet samt risk för överhettning. Batteriets C rate påverkar den maximala ström som kan tillföras under laddning, vilket innebär att laddningen i praktiken sker med lägre effekt än den nominella laddareffekten. Enligt information från BagIDs webbplats uppgår den faktiska laddningstiden till cirka sex timmar. De efterföljande beräkningarna baseras på ett antagande om en verkningsgrad om 80 procent.

$$E_{in} = \frac{2,7}{0,8} = 3,375\ Wh \qquad [4:17]$$

Den uppskattade energiförbrukningen vid full laddning av den digitala bagagetaggen uppgår till cirka 0,0034 kWh. Med en batterilivslängd om ett år innebär detta att enheten i teorin behöver laddas en gång per år, vilket motsvarar totalt fem laddningstillfällen över den antagna livslängden om fem år. Den sammanlagda energiförbrukningen under enhetens livstid uppgår därmed till cirka 0,017 kWh.

Då laddning av bagagetaggen sker i hemmiljö och inte på Swedavias flygplatser baseras beräkningarna av koldioxidutsläpp på den svenska elmixen. Emissionsfaktorn för svensk elproduktion uppgår till cirka 20 g CO_2 per producerad kilowattimme.

Beräkning av koldioxidutsläpp

$$0,017 \cdot 0,02 = 0,00034\ kg\ CO2 \qquad [4:18]$$

4.2.4 Avfallshantering

Elektroniska komponenter klassificeras ofta som farligt avfall, då de kan innehålla kemikalier och ämnen som kräver särskild hantering, exempelvis syror i batterier. Samtidigt finns möjligheter att återvinna eller återanvända flera av dessa komponenter, vilket kan bidra till minskade koldioxidutsläpp. Den elektroniska skärmen i den digitala bagagetaggen har en uppskattad livslängd som överstiger tio år, vilket innebär att den kan återanvändas även efter att BagID produkten nått sin estimerade livslängd om fem år. Under förutsättning att återanvändning sker innebär detta att ny produktion av motsvarande skärm kan undvikas. Därmed kan det koldioxidutsläpp som beräknats för produktionen av skärmen exkluderas, vilket motsvarar en potentiell besparing om cirka 1,58 kg CO_2.

ABS plast som används i den digitala bagagetaggen kan återvinnas genom omsmältning och omformning till nya produkter. Denna process kräver energi och medför därmed ett visst koldioxidutsläpp. Samtidigt kan återvinning av ABS plast bidra till minskad klimatpåverkan, eftersom utvinning av jungfruliga råvaror undviks och flera energikrävande steg i den primära produktionsprocessen inte behöver upprepas. Enligt tidigare redovisade värden uppgår koldioxidutsläppet vid produktion av återvunnen

ABS plast till cirka 0,59 kg CO_2 per kg plast. Enligt beräkningarna under ”bilagor” kan ungefär 130 gram koldioxid undvikas hamna i atmosfären vid återvinning av enbart plasthöljet för produkten.

Återvinning av batterier har under de senaste åren varit föremål för omfattande diskussion, särskilt i samband med expansionen av elbilsmarknaden. En central frågeställning rör hanteringen av batteriets kemiska innehåll, inklusive elektrolyter, samt i vilken utsträckning batteriernas ingående material kan återvinnas. Eftersom batterier till stor del består av metaller är syftet med återvinning att möjliggöra återanvändning av dessa material och därigenom minska den betydande klimatpåverkan som är förknippad med primär utvinning av metaller. Flera tidigare studier indikerar att en betydande andel av koldioxidutsläppen från batteriproduktion kan undvikas genom effektiv återvinning. I denna studie antas därför att cirka 60 procent av det ursprungliga produktionsutsläppet kan undvikas vid återvinning av batteriet. Resultaten indikerar att om ett nytt batteri produceras med material som återvunnits från det använda batteriet kan cirka 0,137 kg CO_2 undvikas jämfört med produktion baserad på jungfruliga råmaterial. I ett sådant scenario uppgår koldioxidutsläppet för det nyproducerade batteriet till cirka 0,0918 kg CO_2.

Återvinningsprocessen för kretskort följer i regel ett liknande tillvägagångssätt. Som tidigare nämnt fungerar kretskortet som bärare för mindre elektroniska komponenter och sammanbinder dessa till en fungerande enhet. Eftersom den digitala bagagetaggen utgör en relativt liten produkt är även dess kretskort begränsat i storlek, med en uppskattad vikt om cirka 10 gram. Vid återvinning separeras inledningsvis komponenter såsom mindre elektroniska enheter och ledare. Därefter smälts metaller ned och formas om, varefter kretskortet bearbetas ytterligare för att möjliggöra utvinning av dess ingående metaller.

Denna typ av återvinningsprocess är energikrävande, och energianvändningen kan omräknas till koldioxidekvivalenter. Tidigare studier visar att den energi som krävs för återvinning av kretskort uppgår till cirka 1 659 MJ per ton kretskort, vilket motsvarar ett koldioxidutsläpp om cirka 100 kg CO_2 per ton behandlat material.

Övriga komponenter som har avgränsats från analysen, såsom mindre elektroniska chip och fästelement, utgör i regel delar som kan återanvändas utan att genomgå energiintensiva processer såsom omsmältning. I vissa fall kan mindre komponenter, exempelvis skruvar, smältas ned, men den klimatpåverkan som uppstår vid sådan hantering bedöms vara marginell. Dessa bidrag har därför exkluderats från beräkningarna, då de inte bedöms ha någon väsentlig påverkan på studiens totala resultat

Totalt koldioxidutsläpp vid återvinning av digitala bagagetaggar

$$0 + 0{,}0295 + 0{,}0918 + 0{,}002 = 0{,}1233\ kg\ CO2 \qquad [4{:}23]$$

4.3 Livscykelkostnads analys fysiska baggagetaggar

4.3.1 Inventerings kostnad

Vid avskrivning av en CUSS-automat på Arlanda behöver tillgångens anskaffningsvärde fastställas i enlighet med Skatteverkets riktlinjer. Enligt Skatteverkets rättsliga vägledning ska en materiell anläggningstillgång redovisas till sitt anskaffningsvärde, vilket inkluderar både inköpspriset och alla direkt hänförbara utgifter som krävs för att sätta tillgången i brukbart skick. Detta innebär att utöver automatens inköpspris om ca 100 000 kr exklusive moms ska även kostnader för exempelvis frakt, leverans, installation och arbete som utförts av personal i samband med driftsättning ingå i anskaffningsvärdet, under förutsättning att dessa kostnader kan kopplas direkt till färdigställandet av tillgången. Utgifter som inte är direkt hänförbara ska inte aktiveras utan kostnadsförs löpande. När anskaffningsvärdet väl är fastställt ska automaten skrivas av systematiskt över sin ekonomiska livslängd i enlighet med periodiseringsprincipen, så att kostnaden fördelas över den tid tillgången används och därmed speglar dess faktiska värdeminskning (Skatteverket, 2025).

Vidare har valet gjorts på att tillämpa en ekonomisk livslängd på *åtta år* för CUSS-automaten. Detta baseras på en rimlighetsbedömning från livslängdsdata för en liknande maskintyp, vilket motiverar antagandet då samma typ av teknik används och utsätts för liknande driftförhållanden. Avskrivningen kommer därmed att beräknas på ett anskaffningsvärde motsvarande inköpspriset om ca *100 000 kr* exklusive moms, vilket ger en linjär avskrivningskostnad över åtta år.

Totalt finns 94 CUSS-automater installerade på Arlanda flygplats och ytterligare 2 enheter på Stockholm Centralstation, vilket innebär att samma avskrivningsprincip kommer att tillämpas konsekvent för samtliga maskiner i systemet.

Linjär avskrivning för en CUSS apparat

$$\frac{100\,000}{8} = 12\,500\ kr \qquad [4{:}24]$$

Total kostnad per år (under 8 år) för 96 styck CUSS

$$12\,500 \bullet 96 = 1\,200\,000\ kr \qquad [4{:}25]$$

För de direkta materialkostnaderna erhålls printade baggagetaggar i CUSS och CUPPS automaterna. Vardera har en enskild printer som förbrukas per utskrivet bagagetag. Kostnad per rulle för CUSS-printer är 120SEK ex moms som innefattar 400st bagagetags i en rulle medan CUPPS printern ligger på 60SEK ex moms med 200st bagagetags.

Datainsamlingen gav 2 297 660 CUSS tags från 1 Januari – 31 Oktober 2025 respektive 2 042 036 CUPPS tags från 1 Januari – 31 September 2025.

Nedan redogörs totalkostnaden där fraktkostnaden multipliceras med antalet leverans per år. Övriga beräkningar redogörs i *Bilaga*.

Totalkostnad (Inköp CUSS + Material + frakt år 2025)

$$1\,200\,000 + 1\,643\,972 + (100\,000 \bullet 4) \approx 3{,}3\ \mathrm{M}SEK \qquad [4{:}33]$$

4.3.2 Driftkostnad

Under denna fas av livscykelkostnads analys sker undersökning av driftkostnad som fordras för att driva systemet på Arlanda. Med hjälp av ett antaget värde på 241.25 kW per år per CUSS kan vi få ett värde för den totala omkostnaden i beräkningarna nedan.

Beräkning av årlig elförbrukning för samtliga CUSSar

$$241.25 * 96 = 23\,160\ \mathrm{kWh} \qquad [4{:}34]$$

Resultatet ger en sammanlagd förbrukning på 23 160 kWh som följaktligen används som data för beräkning av totalomkostnaden. Utgångspunkten i fallet är 203 öre som används som enhetskostnad för att beräkna den årliga kostnaden för att driva samtliga 96 CUSSar.

Beräkning av årlig totalomkostnad för samtliga CUSSar

$$201\,792 * 2.03 = 47\,015\ SEK \qquad [4{:}35]$$

4.3.3 Underhållskostnad

Underhåll av maskinerna innefattar byte av pappersrullar för bagagetag samt eventuella driftfel som kräver åtgärd av driftteknikerna. Det resulterar i en underhållskostnad som kräver cirka 3 timmar dagligt underhåll respektive 4,5 timmar veckovis. Arlanda omfattas av sammanlagt 9 zoner fördelat av placerade CUSS-automater (Faraj, 2025). Underhåll sker på både CUPPS och CUSS.

Beräkning av totalt årligt underhåll

$$(3 * 365) + (4.5 * 52)) = 1329\ timmar \qquad [4:36]$$

Underhållstimmarna resulterar i 1329 timmar årligen med en timkostnad om 533 SEK som till sin följd sammanställs till en årlig kostnad löpande underhållskostnad på 708 357 SEK.

4.3.4 Avfallskostnad

Inledningsvis kommer indata användas för att räkna ut på kilopris på avfall. Analys på data för avfall på tabell 3 kräver ett genomsnittligt värde per år för att kunna dra en slutsats på kilopriset. Beräkningen nedan hänvisar till ett medelvärde per månad multiplicerat med 12 vilket ger årsförbrukningen i vikt samt årskostnaden.

$$121\,185kg\ /\ 9\ *\ 12\ =\ 161\,580kg\ \ motsvarar\ 151\,077.32\ SEK \qquad [4:37]$$

$$\frac{151\,077}{161\,580} = \mathbf{0.935\ kr/kg} \qquad [4:38]$$

Vidare görs totala viktberäkning som sedan summeras för att ge en total kostnad per år för avfall av samtliga material.

Beräkningen nedan visar vikt för avtagbara pappret per tagg, totala årsutskrift av baggagetaggar på CUSS subtraherat med spill vilket vi multiplicerat den summan med 70% vars värde antogs som en indikation av hur mycket avtagbara papper från bagagetaggarna på CUSSAR som kasseras av resenärer.

$$0.0008kg\ *\ (2\,760\,000\ -30\,210.6\ (Spill))\ *\ 0.7\ (\%) =\ \mathbf{1\,527\ kg} \qquad [4:39]$$

För spill så antogs att 15 taggar per rulle av 3 rullar går åt i spill per dag. Vid byte av varje rulle utöver detta så går 2 taggar åt som spill då de är fastklistrade på varandra och kan ej därmed skrivas ut, detta ger oss totala beräkningen nedan:

(CUSS) Spill för daglig rutinbyte av 3 rullar

$$15 * 3 * 365\ =\ \mathbf{16\,425\ taggar} \qquad [4:40]$$

(CUSS) Total spill för byte av samtliga rullar

$$2 * (6893) = \mathbf{13\,786\ taggar} \qquad [4:41]$$

Detta resulterar i ett totalt spill på taggar i CUSS

$$16\,425\ +\ 13\,786\ =\ \mathbf{30\,211}\ bagagetaggar\ per\ år \qquad [4:42]$$

Totala spillet för CUPPS är en per rulle vilket enligt tidigare data ger ett värde på **13 608** baggagetaggar per år.

Sammanställning av samtliga värden ges i bilagan nedan där alla samtliga värden har multiplicerats med beräknade värden ovan som till sin följd visar en tydlig överblick på både avfallsstatistiken i samband med kostnad och spill som förbrukas vid byte av rullar.

Typ	Vikt (Kg)	Kostnad (SEK)
Vikt av avtagbart papper	1527	1428:-
Vikt papphylsa	615	574:-
Vikt spill taggar CUSS	142	133:-
Vikt spill taggar CUPPS	64	60:-
Total avfall per år	**2348**	**2195:-**
Kostnad spill CUSS	0	9063:-
Kostnad spill CUPPS	0	4082:-
Total spillkostnad CUSS + CUPPS per år	0	**13 145:-**
Total kostnad per år	0	**15 340:-**

Figur 4.2: Sammanställning av olika typer av avfall/spill med enheterna kilo och kostnad

4.4 Livscykelkostnads analys för digitala baggagetaggar

4.4.1 Produktionskostnad

För beräkning av produktionskostnaden för en motsvarande BagID-produkt har relevant indata samlats in i syfte att möjliggöra en uppskattning av styckkostnaden per enhet. Kostnadsberäkningarna baseras på en antagen produktionsbatch om 1 000 enheter.

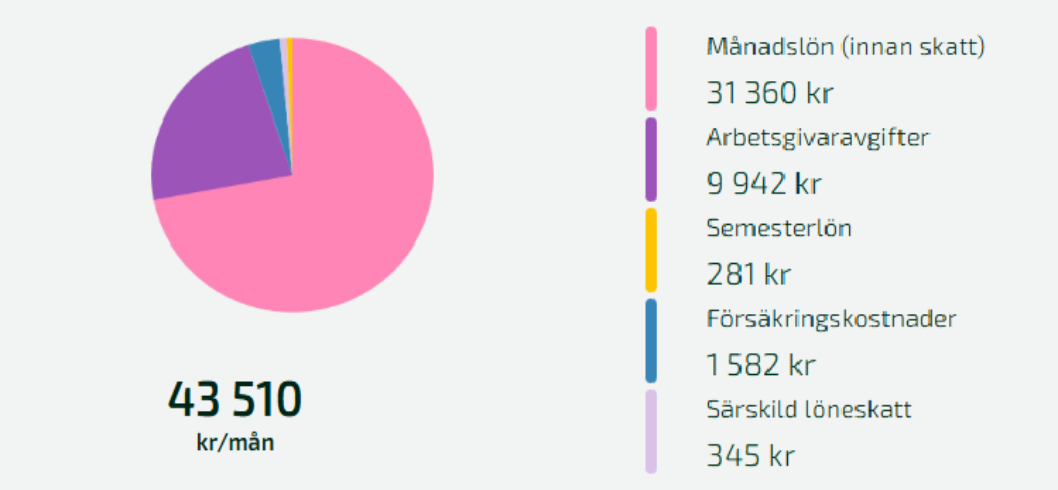
Kostnadsstrukturen omfattar dels fasta engångskostnader, vilka indirekt påverkar produktens styckpris genom fördelning över batchstorleken, dels återkommande årliga kostnader som allokeras till en kostnad per enhet. Nedan redovisas materialkostnaderna som ingår i produktionskostnadsberäkningen.

Materialkostnad	
Material	**Kostnad**
E ink display	*190.56*
Kretskort	*18.43*
Plasthölje	*79.20*
Li-batteri	*190.40*

Figur 4.3: Materialkostnad för en digital baggagetagg

Utöver de tidigare redovisade kostnaderna tillkommer en väsentlig fast engångskostnad relaterad till CE-märkning av den elektroniska produkten. Denna kostnad uppgår till 98 000 SEK och motsvarar, vid fördelning över en batch om 1 000 enheter, en kostnad om 98 SEK per enhet.

Lönekostnaden för montering har uppskattats utifrån en timkostnad för en elektronikmontör om cirka 196 SEK per timme. Den genomsnittliga monteringstiden har antagits uppgå till cirka 60 minuter per enhet, vilket resulterar i en direkt lönekostnad om 196 SEK per producerad digital bagagetagg. Därutöver tillkommer pålägg för semesterersättning samt arbetsgivaravgifter, vilka beaktas i den totala personalkostnaden per enhet.



Figur 4.4: Direktlönekostnad för en anställd per månad räknad på 160h

Per timme motsvarar det ca 272 SEK inklusive sociala avgifter och semesterlön.

4.4.2 Underhållskostnad

Underhållskostnaden för de digitala bagagetaggarna har i denna studie avgränsats till att omfatta kostnader relaterade till garanti- och reklamationsärenden. För att uppskatta denna kostnad har sekundärdata hämtats från *Warranty Week,* som sammanställer och publicerar statistik över genomsnittliga garanti- och reklamationsutgifter för ett brett spektrum av elektronikprodukter.

Enligt dessa sammanställningar uppgår garanti- och reklamationskostnader för elektronikprodukter i genomsnitt till cirka 1,46 % av produktens försäljningspris. Detta värde används i studien som ett schablonantagande, motiverat av avsaknaden av produktspecifik statistik för den analyserade digitala bagagetaggen.

Försäljningspriset för den digitala bagagetaggen har fastställts till 2 139 SEK per enhet. Genom att multiplicera försäljningspriset med den genomsnittliga andelen garanti- och reklamationskostnader erhålls den uppskattade underhållskostnaden per enhet, enligt ekvationen nedan.

$$0{,}0146 \times 2\,139\ kr \qquad [4{:}43]$$

Beräkningen resulterar därmed i en uppskattad underhållskostnad om cirka 31 SEK per enhet.

4.4.3 Avfallskostnad

För beräkning av avfallskostnader kopplade till de digitala bagagetaggarna kan verksamheten teckna avtal med Elkretsen, som tillhandahåller etablerade riktlinjer och avgiftsstrukturer för hantering av elektrisk och elektronisk utrustning. Kostnadsnivåerna baseras på en antagen batch om 1 000 enheter.

De fasta kostnaderna omfattar ett årligt anslutningsavtal för elektrisk utrustning om 500 SEK, ett motsvarande anslutningsavtal för batterier om 500 SEK per år samt en inträdesavgift om 1 000 SEK, vilken behandlas som en engångskostnad. Därutöver tillkommer en årlig serviceavgift om 6 000 SEK, vilken inkluderar administration och förmedling av förpackningsdeklaration.

Utöver dessa fasta kostnader tillkommer rörliga kostnader relaterade till kassering av batterier och den digitala bagagetaggen i sin helhet. Dessa rörliga kostnader redovisas och beräknas enligt ekvationen nedan.

Li-batteri; beräkning per 1000 enheter

$$3\ kr/kg * 0.0125kg * 1000st = 37.5kr \qquad [4{:}44]$$

Digital bagagetagg; beräkning per 1000 enheter

$$0.14\ kr/kg * 0.250kg * 1000st = 35kr \qquad [4{:}45]$$

De rörliga kostnaderna uppgår till en total kostnad om 72,5 SEK per batch, vilket motsvarar en styckkostnad om 0,0725 SEK per enhet.

Den sammanlagda avfallskostnaden per enhet uppgår därmed till cirka 8 SEK, varav cirka 7 SEK utgör återkommande årliga kostnader.

5. Resultat och analys

5.1 SWOT-analys

För att kunna bedöma verksamhetens för- och nackdelar med de fysiska bagagetaggarna har en SWOT-analys genomförts. Analysen syftar till att identifiera styrkor, svagheter, möjligheter och hot kopplade till nuvarande lösning, för att senare i avhandlingen kunna bedöma vilken lösning som är mest lämplig ur ett helhetsperspektiv.

5.1.1 Fysiska bagagetaggar

• Uppfyller global standard • Låg inköpskostnad per enhet • Samexistens	• Engångsprodukt • Begränsad spårbarhet
• Förbättring av material	• Digitalisering av flygindustrin • Path dependency

Figur 5.1: SWOT-analys för fysiska bagagetaggar

Resultaten från SWOT-analys visar att de fysiska bagagetaggarna har flera tydliga styrkor. En central styrka är att de uppfyller globala branschstandarder, det möjliggör smidig integration och interoperabilitet med andra flygplatser och bagagesystem. Detta bidrar till hög driftsäkerhet och minskar behovet av anpassningar i befintlig infrastruktur. Vidare är inköpskostnaden per enhet låg, vilket innebär att den direkta kostnaden för verksamheten hålls nere i jämförelse med alternativa lösningar. De fysiska bagagetaggarna kan dessutom samexistera med andra lösningar, såsom digitala bagagetaggar, som ger flexibilitet och möjliggör stegvis utveckling utan att nuvarande system behöver ersättas omedelbart.

Samtidigt identifieras tydliga svagheter. De fysiska bagagetaggarna är en engångsprodukt, vilket innebär att varje användning genererar avfall. Detta får särskild betydelse vid stora passagerarvolymer och bidrar till både ökade avfallsmängder och ackumulerad miljöpåverkan över tid. En ytterligare svaghet är den begränsade spårbarheten, då identifieringen enbart baseras på tryckt streckkod. Detta kan leda till minskad kontroll över bagaget från incheckning till destination.

Analysen visar även vissa möjligheter till förbättring inom ramen för befintlig lösning. Det finns potential att vidareutveckla materialval och konstruktion av de fysiska bagagetaggarna, exempelvis genom mer miljöanpassade och samtidigt

kostnadseffektiva alternativ. Sådana åtgärder kan bidra till att minska både klimatpåverkan och avfall utan att förändra den övergripande systemstrukturen.

Slutligen identifieras hot kopplade till långsiktig strategisk utveckling. Det finns en risk för att verksamheten hamnar i en så kallad path dependency om utvecklingen inom digitalisering och innovation i flygindustrin inte följs upp. Andra flygplatser som implementerar mer avancerade och digitala lösningar kan på sikt skapa konkurrensfördelar, vilket riskerar att sätta Swedavia i ett underläge om nuvarande system bibehålls utan parallell utveckling.

Sammantaget visar SWOT-analysen att de fysiska bagagetaggarna är en fungerande och kostnadseffektiv lösning i nuläget, men att de samtidigt har tydliga begränsningar ur ett långsiktigt perspektiv.

5.1.2 Digitala bagagetaggar

• Child safety sensorer löses ej ut • Ny streckkod vid missat flyg	• Saknar mindre ean-koder • Kräver investering från resenär
• Implementering av biometrisk igenkännig • Minskad köbildning vid incheckning	• Negativ miljöbild vid låg användning • Skador i bagageflödet

Figur 5.2: SWOT-analys för digitala bagagetaggar

Trots att de två produkter som jämförs i denna studie är avsedda att uppfylla samma grundläggande funktion uppvisar SWOT-analyserna tydliga skillnader. Till skillnad från den fysiska bagagetaggen uppfyller den digitala bagagetaggen i nuläget inte samtliga rekommendationer och krav avseende utformning som fastställts av IATA. Detta utgör en identifierad svaghet ur ett standardiserings- och implementeringsperspektiv.

Samtidigt uppvisar den digitala bagagetaggen flera styrkor som saknas hos den fysiska motsvarigheten. En tydlig operativ fördel är den minskade risken för oavsiktlig aktivering av så kallade child safety-sensorer vid incheckningsdiskarna. Sådana aktiveringar kan leda till att hela bagagebandssystem inom samma zon stoppas, vilket påverkar driften vid flera incheckningsdiskar samtidigt. Genom att minska denna risk kan digitala bagagetaggar bidra till ökad driftsäkerhet och effektivare passagerarflöden.

Vid ett sådant systemstopp blir cirka 20 incheckningsdiskar ur drift under en period om cirka fem till tio minuter. Detta inträffar ofta under pågående incheckning, då köbildning redan föreligger, vilket medför att köerna till incheckningen stannar upp och successivt ökar. Vid upprepade tillfällen har det observerats att fysiska baggagetaggar har utlöst child safety-sensorerna, vilket har resulterat i längre köer och ökad väntetid

för resenärer.

En bidragande orsak till detta är att den fysiska bagagetaggen är fäst på ett sätt som medger fri rörelse, vilket kan leda till att taggen hamnar i direkt kontakt med sensorerna. Den digitala bagagetaggen utgör i detta sammanhang en styrka, då den monteras plant mot bagaget och fästs i två punkter. Detta begränsar rörelsefriheten och minskar därmed risken för oavsiktlig aktivering av child safety-sensorer.

I samband med transferresor förekommer situationer där en resenär hinner med sitt flyg medan det tillhörande bagaget blir kvar på avreseflygplatsen. I dessa fall tilldelas bagaget statusen ”rush” och måste omärktas för att skickas med nästa flyg till destinationen. Med en digital bagagetagg kan streckkoden uppdateras utan att en ny fysisk tagg behöver appliceras, vilket effektiviserar processen och minskar behovet av manuell hantering. Detta utgör en tydlig operativ styrka hos den digitala bagagetaggen jämfört med den fysiska lösningen.

En identifierad svaghet hos den digitala bagagetaggen är avsaknaden av redundanta identifieringslösningar. Den fysiska bagagetaggen kompletteras med flera mindre EAN-koder som fästs på bagaget och möjliggör identifiering även i de fall där den primära streckkoden inte kan avläsas eller om huvudtaggen lossnar. Den digitala bagagetaggen saknar motsvarande redundans, vilket kan försvåra identifiering av bagage och tillhörande resenär i situationer där taggen avlägsnas eller skadas.

En identifierad ekonomisk svaghet med digitala bagagetaggar är att hela kostnaden bärs av resenären. Inköpspriset uppgår till cirka 2 000 kronor och kompletteras ofta av en löpande prenumerationskostnad för uppdatering av streckkod, vilket kan utgöra ett betydande ekonomiskt hinder. Då kostnaden för pappersbaserade bagagetaggar i nuläget täcks av flygplats eller flygbolag finns begränsade incitament för resenärer att investera i en digital lösning, särskilt för de som flyger mer sällan. För resesällskap med flera incheckade väskor kan den sammanlagda kostnaden bli avsevärt högre, vilket ytterligare begränsar efterfrågan.

Som tidigare nämnts saknar den digitala bagagetaggen de redundanta EAN-koder som återfinns på den fysiska bagagetaggen. Inom bagagehanteringen pågår samtidigt diskussioner kring införande av biometrisk igenkänning som ett alternativ eller komplement till befintliga identifieringslösningar. En sådan lösning skulle möjliggöra identifiering av bagage tidigt i processen och koppla bagaget till resenären vid SBD diskar.

Även om biometrisk igenkänning i nuläget inte är fullt utvecklad och kan medföra systemmässiga utmaningar, identifieras här en möjlighet att använda tekniken som ett komplement vid situationer där en digital bagagetagg har avlägsnats eller skadats. Ett sådant införande skulle samtidigt möjliggöra vidare utvärdering av systemets funktion och tillförlitlighet i kombination med biometrisk identifiering.

En ytterligare möjlighet med digitala bagagetaggar är potentialen att minska köbildning vid incheckningsdiskarna. Genom att resenärer anländer till flygplatsen med färdig bagagemärkning reduceras behovet av manuell hantering vid traditionella

incheckningsdiskar, vilket möjliggör direkt avlämning av bagage vid Self Bag Drop diskar. Under förutsättning att utrustningen fungerar korrekt kan avlämningen genomföras på några sekunder per bagage. Samtidigt indikerar detta att belastningen kan förskjutas till andra delar av terminalen, exempelvis säkerhetskontrollen, vilket bör beaktas vid vidare planering och kapacitetsanalys.

Inom ramen för SWOT-analysen har två huvudsakliga hot identifierats för den digitala bagagetaggen. Det första hotet är kopplat till användningsfrekvens, då resultaten visar att en digital bagagetagg motsvarar cirka 26 fysiska bagagetaggar ur ett miljöperspektiv. Om digitala bagagetaggar används av icke frekventa resenärer finns en risk att den förväntade miljönyttan inte uppnås, vilket kan leda till en negativ miljömässig profil för produkten. Eftersom denna motsvarighet baseras på antaganden om livslängd kan kravet på antal ersatta fysiska bagagetaggar öka ytterligare vid lägre användningsgrad.

Det andra identifierade hotet avser den digitala bagagetaggens tekniska känslighet i bagagehanteringssystemet. Skador orsakade av fukt eller mekanisk påverkan på skärm kan leda till att streckkoder inte kan avläsas, vilket innebär att produkten inte längre uppfyller sitt avsedda syfte. Detta kan i sin tur resultera i att den faktiska livslängden blir kortare än den antagna livslängden om fem år, vilket påverkar både miljömässig och funktionell prestanda negativt.

5.2 Jämförelse

5.2.1 Resultat LCA

För att möjliggöra en tydlig och jämförbar redovisning av resultaten avseende vilket alternativ som uppvisar lägst miljöpåverkan har det totala koldioxidutsläppet brutits ned till utsläpp per bagagetagg. Det totala koldioxidutsläppet vid produktion av fysiska bagagetaggar uppgår till 0,606 kg CO_2 per kvadratmeter producerat material. För år 2025 motsvarar detta ett sammanlagt utsläpp om cirka 95,6 ton CO_2, vilket ger ett genomsnittligt utsläpp om cirka 0,0174 kg CO_2 per fysisk bagagetagg.

Vid transport av bagagetaggarna uppgår koldioxidutsläppet till cirka 795 kg CO_2 per lastbilstransport. Eftersom fyra sådana transporter genomförs årligen motsvarar detta ett totalt transportutsläpp om cirka 3,2 ton CO_2 per år. Då varje leverans omfattar cirka två miljoner bagagetaggar och dessa distribueras till flera av Swedavias flygplatser har transportutsläppet allokerats per bagagetagg, vilket resulterar i ett utsläpp om cirka 0,0004 kg CO_2 per fysisk bagagetagg.

Under användningsfasen för den digitala bagagetaggen visar beräkningarna att koldioxidutsläppet uppgår till cirka 0,00034 kg CO_2. Batteriets energikapacitet understiger 2,7 Wh, vilket är i enlighet med IATA:s regelverk för batterier som får checkas in som incheckat bagage. Den begränsade batterikapaciteten innebär att den energi som krävs för full laddning av enheten är låg, vilket återspeglas i det låga utsläppet under användningsfasen.

Koldioxidutsläppet från förbränning av fysiska bagagetaggar har beräknats till cirka 4,6 ton CO_2 per år. Transport av avfallet har exkluderats från beräkningen, då transportsträckorna bedöms vara begränsade och därmed bidra marginellt till det totala koldioxidutsläppet.

Koldioxidutsläpp per tagg vid förbränning

$$\frac{4\,646}{5\,478\,800} = 0{,}0008\ kg\ CO2 \qquad [4{:}1]$$

För att få ett korrekt resultat summeras koldioxidutsläppet av alla livscykelsteg.

Resultat av LCA för fysisk bagagetagg

$$0{,}0174 + 0{,}0004 + 0{,}00034 + 0{,}0008 = 0{,}0206\ kg\ CO2\ /\ bagagetagg \qquad [4{:}2]$$

Sammantaget visar livscykelanalysen att den totala klimatpåverkan för en fysisk bagagetagg som förbrukas på Arlanda flygplats uppgår till cirka 0,0206 kg CO_2 per tagg.

För den digitala bagagetaggen, där BagID har använts som referensprodukt, har tillgänglig information varit begränsad, vilket har medfört att beräkningarna till stor del har genomförts genom komponentbaserad analys. I produktionsfasen har de huvudsakliga komponenterna E-ink skärm, batteri, plasthölje och kretskort analyserats separat. Det sammanlagda koldioxidutsläppet för produktionen av dessa komponenter uppgår till cirka 2,6 kg CO_2 per digital bagagetagg.

Då tillverkning av produkten sker i Polen och lagring i Norge innebär detta längre transportsträckor jämfört med de fysiska bagagetaggarna. Transportutsläppet har därför beräknats separat och uppgår till cirka 0,0443 kg CO_2 per digital bagagetagg.

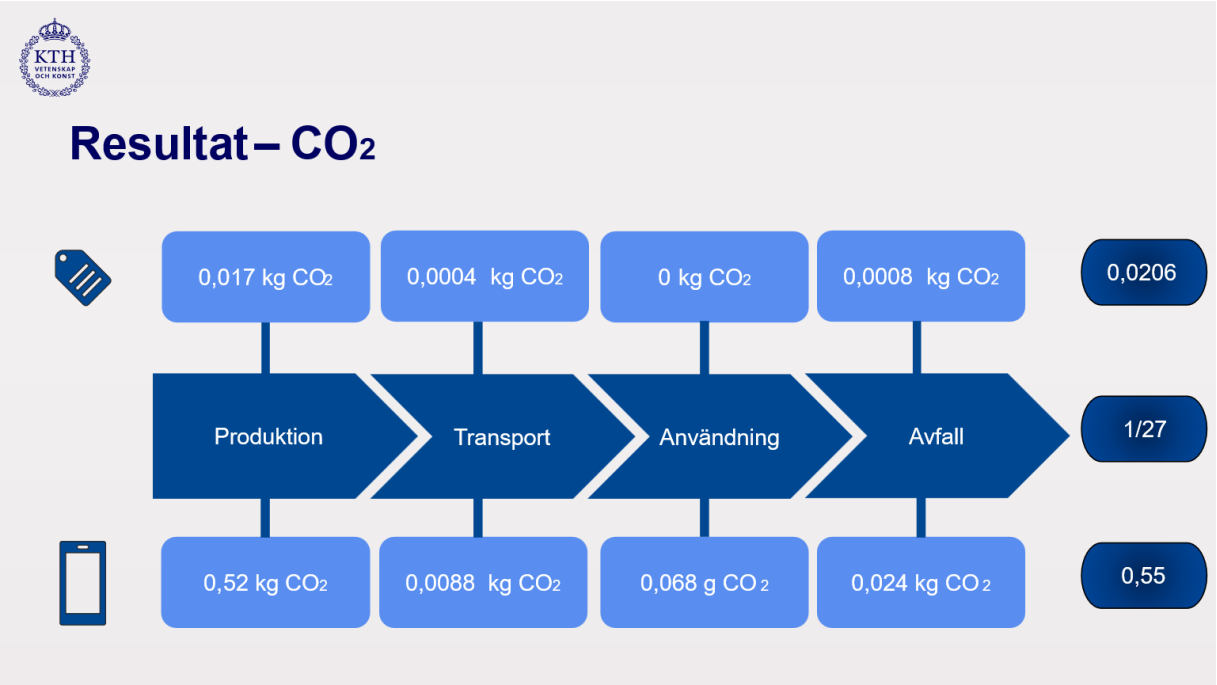
Avfallshanteringen för den digitala bagagetaggen är mer omfattande än för den fysiska bagagetaggen, då produkten innehåller flera elektroniska komponenter. Det totala koldioxidutsläppet från avfallshanteringen av den digitala bagagetaggen har beräknats till cirka 0,1233 kg CO_2.

Vidare visar resultaten att en betydande mängd koldioxidutsläpp kan undvikas genom korrekt återvinning av produktens ingående komponenter. Baserat på de genomförda beräkningarna kan den potentiella besparingen uppgå till cirka 2 kg CO_2 per digital bagagetagg, förutsatt att komponenterna genomgår en korrekt och effektiv återvinningsprocess.

Resultat av LCA för digital bagagetagg

$$2{,}585 + 0{,}0443 + 0{,}00034 + 0{,}1233 = 2{,}752\ kg\ CO2 \qquad [4{:}3]$$

Vid en direkt jämförelse mellan alternativen framgår att den digitala bagagetaggen uppvisar en högre total klimatpåverkan än den fysiska bagagetaggen per producerad enhet. Resultaten visar att huvuddelen av den digitala bagagetaggens klimatpåverkan uppstår i produktionsfasen. En fördjupad tolkning av dessa resultat, med hänsyn till den digitala bagagetaggens livslängd om fem år och dess möjlighet till återanvändning vid flera resor, behandlas i analysavsnittet.



Figur 5.3: Resultat och motsvarighet över hela livscykelanalys

5.2.2 Resultat LCC

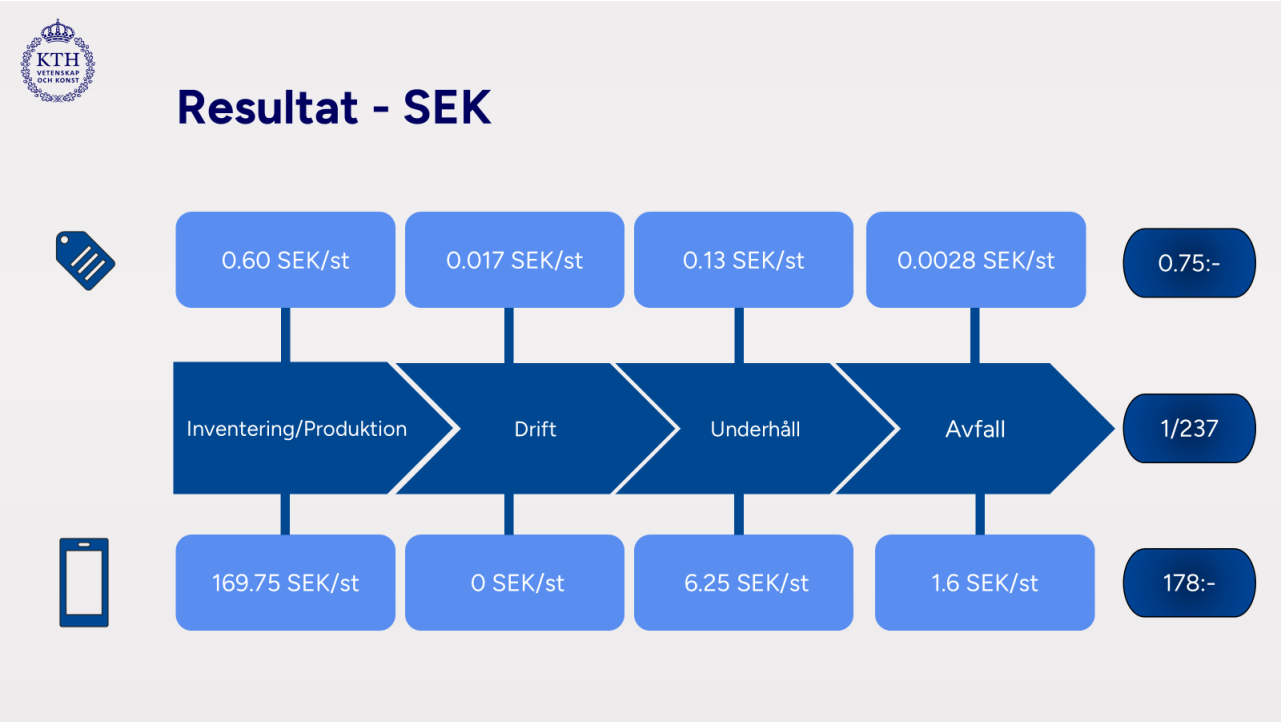
Resultaten från livscykelkostnadsanalysen baseras på en genomgång av samtliga fyra faser i LCC: inköp och produktion, drift, underhåll samt avfallshantering. Analysen tydliggör väsentliga skillnader i kostnadsstruktur mellan fysiska och digitala bagagetaggar.

I den första fasen, inköp och produktion, identifierades för de fysiska bagagetaggarna kostnader kopplade till investering och avskrivning av CUSS-automater, materialkostnader för bagagetaggar samt fraktkostnader. Dessa poster utgör tillsammans en betydande årlig kostnad som uppgår till cirka 3,3 miljoner kronor. För de digitala bagagetaggarna uppgår produktionskostnaden till cirka 850 kronor per enhet. I denna kostnad ingår samtliga direkta materialkostnader, produktions- och monteringskostnader samt kostnader för CE-märkning. Det bör samtidigt noteras att avskrivningen av CUSS-automaterna i denna studie har avgränsats till att enbart omfatta inköpskostnaden för automaterna, vilket innebär att kostnader för installation, montering och arbetsinsatser vid driftsättning inte har inkluderats.

Driftsfasen visar en tydlig skillnad mellan lösningarna. För de fysiska bagagetaggarna uppgår driftkostnaden till cirka 47 000 kronor per år och består huvudsakligen av elkostnader för att hålla CUSS-automaterna i kontinuerlig drift. Kostnader kopplade till skrivare har i denna fas avgränsats bort. För de digitala bagagetaggarna har ingen driftkostnad identifierats inom ramen för livscykelkostnadsanalysen.

Underhållsfasen omfattar kostnader för löpande arbete med att hålla systemen i drift, inklusive byte av pappersrullar, rutinmässigt underhåll samt åtgärder vid driftstörningar. För de fysiska bagagetaggarna uppgår dessa kostnader till cirka 708 000 kronor per år. För de digitala bagagetaggarna har underhållskostnaden uppskattats utifrån statistik från Warranty Week (2024), som anger ett genomsnittligt värde för reklamations- och garantiärenden motsvarande 1,46 procent av produktens försäljningspris. Detta resulterar i en uppskattad underhållskostnad om cirka 31 kronor per enhet.

Den avslutande fasen, avfallshantering, omfattar spill och kassering av papphylsor från rullarna samt den avtagbara pappersdelen från de fysiska bagagetaggarna. Denna fas medför en årlig kostnad om cirka 15 000 kronor, där den största andelen härrör från spill av pappersbaserade bagagetaggar. För de digitala bagagetaggarna uppgår avfallskostnaden till cirka 8 kronor per enhet, vilket inkluderar både fasta och rörliga kostnader kopplade till producentansvar och återvinning.



Figur 5.4: Resultat och motsvarighet över hela kostnadscykeln

5.3 Motsvarighetsanalys

5.3.1 LCA

Som framgår av resultatdelen uppvisar den digitala bagagetaggen ett högre koldioxidutsläpp än den traditionella fysiska bagagetaggen per producerad enhet. För att tydliggöra och möjliggöra en mer rättvis jämförelse redovisas analysen i tabellform med en gemensam funktionell enhet, där en digital bagagetagg motsvarar ett antal fysiska bagagetaggar. Detta tillvägagångssätt möjliggör ökad precision i jämförelsen och bidrar till en tydligare tolkning av studiens resultat.

Enligt Komb och Larsson (2019) genomför svenskar i genomsnitt 1,4 flygresor per år. Eftersom en flygresa normalt omfattar både en ut- och en hemresa innebär detta att antalet enkelresor uppgår till cirka 2,8 per person och år. Vid beräkning av bagagetaggar motsvarar detta i praktiken ungefär tre enkelresor per år.

Den digitala bagagetaggen antas ha en livslängd om fem år, vilket innebär att den under denna period i genomsnitt kan användas vid cirka 14 enkelresor. Detta medför att en digital bagagetagg teoretiskt kan ersätta motsvarande antal fysiska bagagetaggar. Utifrån resultaten av den genomförda livscykelanalysen har därför jämförbara utsläppsvärden sammanställts och redovisas i följande tabell

Utsläpp	Digital Bagagetagg	Fysisk bagagetagg
Produktion	2,585 kg CO2	0,0174 kg CO2
Transport	0,0443 kg CO2	0,0004 kg CO2
Användning	0,00034 kg CO2	0 kg CO2
Avfallshantering	0,1233 kg CO2	0,0008 kg CO2

Figur 5.5: Resultat av LCA

Utifrån ett miljöperspektiv är den fysiska bagagetaggen betydligt mer miljövänlig än den digitala bagagetaggen. Detta är enbart per tagg och den större skillnaden är att den digitala bagagetaggen kan återanvändas i genomsnitt 14 gånger per år. För att få ett tydligare värde multipliceras värdet för den fysiska bagagetaggen med 14.

Totalt koldioxidutsläpp över tre resor / år – fysisk bagagetagg

$$0{,}0206 \cdot 3 = 0{,}0618\ kg\ CO2 \qquad [4{:}4]$$

Eftersom den fysiska bagagetaggen är avsedd för engångsanvändning inkluderas avfallshanteringen i dess totala koldioxidutsläpp per bruk. Den digitala bagagetaggen används däremot under en antagen livslängd om fem år, vilket innebär att dess totala koldioxidutsläpp fördelas över användningstiden genom att divideras med antalet år.

$$\frac{2,75}{5} = 0,550\ kg\ CO2 \qquad [4:5]$$

För att möjliggöra en kvantitativ jämförelse och beräkna en exakt miljömässig motsvarighet mellan fysiska och digitala bagagetaggar har en ekvation upprättats där det årliga koldioxidutsläppet från fysiska bagagetaggar multiplicerat med antalet resor sätts lika med det årliga koldioxidutsläppet från digitala bagagetaggar. Genom denna ansats kan den brytpunkt identifieras vid vilken den kumulativa miljöpåverkan från de två alternativen är ekvivalent, givet de antaganden som gjorts avseende livslängd, användningsfrekvens och systemgränser.

Beräkning av motsvarighet

$$0,0618 \cdot n = 0,55 \ <=> n = \frac{0,55}{0,0206} = 26,7 \qquad [4:6]$$

Teoretiskt innebär resultaten att en digital bagagetagg motsvarar cirka 27 fysiska bagagetaggar ur ett miljömässigt livscykelperspektiv, givet de antaganden som gjorts avseende produktion, transport och användning. Denna relation är emellertid starkt beroende av den digitala bagagetaggens faktiska livslängd. Om taggen skadas eller tas ur bruk tidigare än den antagna livslängden, exempelvis under sitt andra användnings år, ökar det antal fysiska bagagetaggar som krävs för att uppnå motsvarande kumulativ miljöpåverkan. Detta innebär att den digitala lösningens miljömässiga konkurrenskraft är känslig för reducerad livslängd och understryker vikten av teknisk robusthet och lång användningstid.

5.3.2 LCC

För att möjliggöra en rättvis jämförelse mellan fysiska och digitala bagagetaggar har en kostnadsekvivalensanalys genomförts baserat på resultaten från livscykelkostnadsanalysen. Syftet med analysen är att identifiera hur många fysiska bagagetaggar som motsvarar kostnaden för en digital bagagetagg uttryckt på årsbasis.

Utgångspunkten för analysen är den sammanlagda livscykelkostnaden per enhet och år. För de fysiska bagagetaggarna har den totala kostnaden för inköp, drift, underhåll och avfall fördelats över det årliga antalet utskrivna bagagetaggar. Detta resulterar i en genomsnittlig kostnad om cirka 0,75 SEK per fysisk bagagetagg, vilket inkluderar samtliga kostnadsfaser i LCC-analysen

För den digitala bagagetaggen har produktionskostnaden, inklusive material, montering och CE-märkning, fastställts till cirka 850 SEK per enhet. Den digitala taggens tekniska och funktionella livslängd har i studien antagits uppgå till fem år, i linje med tillgänglig produktinformation och tidigare forskning. Genom att fördela produktionskostnaden linjärt över denna livslängd erhålls en årlig avskrivningskostnad om cirka 170 SEK per

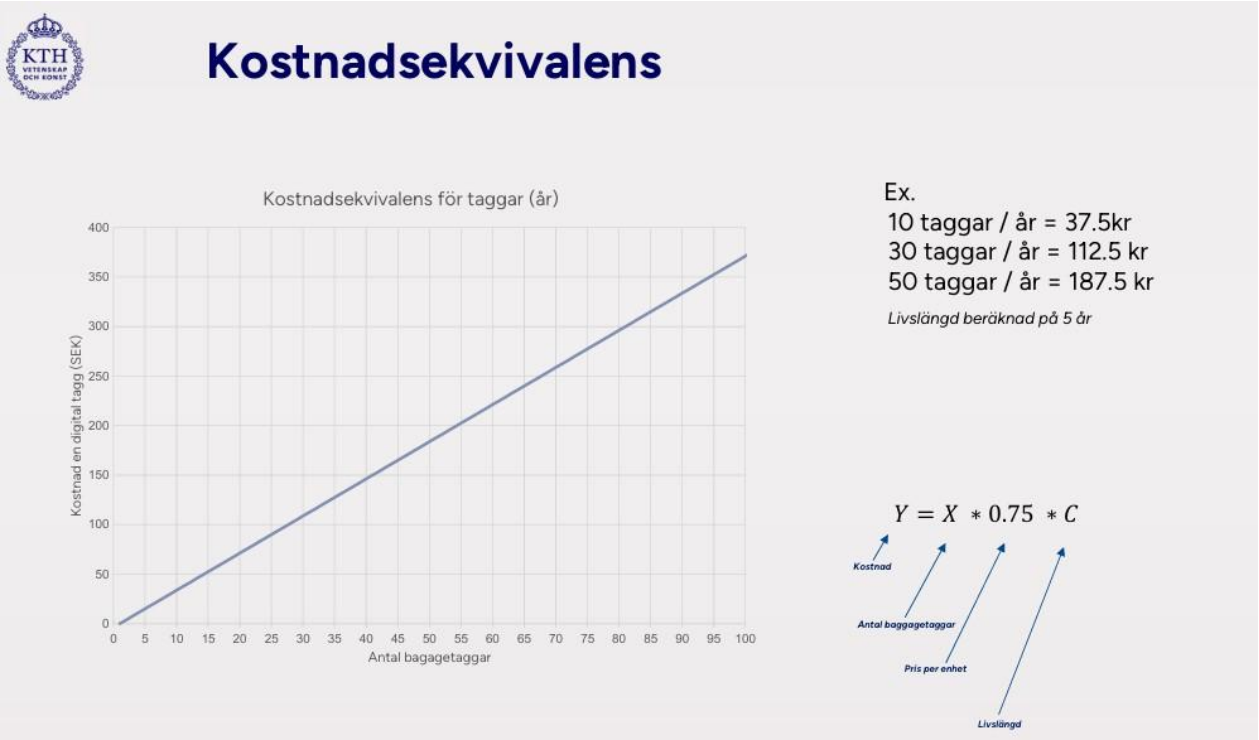
år och enhet. Driftkostnader har bedömts som försumbara, medan underhålls- och avfallskostnader är låga i relation till produktionskostnaden och därför inte påverkar ekvivalensresultatet i någon större utsträckning

Genom att ställa den årliga kostnaden för en digital bagagetagg i relation till styckkostnaden för en fysisk bagagetagg erhålls följande kostnadsekvivalens:

$$\frac{170\ SEK\ per\ år}{0.75\ SEK\ per\ fysisk\ bagagetagg} \approx 237\ fysiska\ bagagetaggar\ per\ år \qquad [4{:}7]$$

Resultatet innebär att en digital bagagetagg, avskriven per år, motsvarar kostnaden för cirka 237 fysiska bagagetaggar. Denna ekvivalens utgör ett centralt resultat i studien och visar att den digitala lösningen blir ekonomiskt konkurrenskraftig först vid användningsnivåer som överstiger detta tröskelvärde.

Utöver denna jämförelse har en kostnadsekvivalensanalys genomförts för att visualisera hur den totala livscykelkostnaden för en digital bagagetagg fördelas över olika årliga användningsnivåer. Det linjära sambandet som illustreras i figuren nedan visar analysen den brytningspunkt som anger vilken årlig kostnad en digital bagagetagg motsvarar vid ett givet antal fysiska bagagetaggar per år, exempelvis vid 10, 30 respektive 50 taggar. Detta ger ett samlat mått på hur investeringskostnaden för den digitala bagagetaggen kan relateras till användningsfrekvens över dess antagna livslängd.



Figur 5.6: Kostnadsekvivalens mellan fysiska och digitala bagagetaggar

Kostnadsekvivalensen ska därmed inte tolkas som en direkt jämförelse mellan två utbytbara lösningar i drift, utan som ett beslutsstöd som ger Swedavia en övergripande fågelvy över vilken total kostnadsnivå som är rimlig vid en eventuell investering i digitala bagagetaggar eller liknande. Genom att relatera kostnaden till årlig användning

möjliggörs en mer strategisk bedömning av betalningsvilja och investeringsnivå, snarare än en strikt operativ jämförelse.

Sammantaget visar motsvarighetsanalysen att fysiska bagagetaggar är kostnadseffektiva vid låg eller sporadisk användning, medan digitala bagagetaggar kan motiveras ekonomiskt i scenarier med högre användningsfrekvens eller där ytterligare värden, såsom förbättrad spårbarhet eller minskad materialförbrukning, vägs in. Analysen stödjer därmed ett differentierat införandeperspektiv, där digitala bagagetaggar betraktas som ett komplement och ett strategiskt investeringsalternativ snarare än en direkt ersättning till befintlig lösning.

6. Diskussion

Resultaten från livscykelanalysen och livscykelkostnadsanalysen visar att valet mellan fysiska och digitala bagagetaggar innebär en tydlig avvägning mellan initial miljöpåverkan, långsiktig resurseffektivitet och operativ robusthet. Den högre klimatpåverkan som identifierats för digitala bagagetaggar kan i huvudsak förklaras av den material- och energikrävande produktionen av elektroniska komponenter såsom batteri, e-ink-skärm och kretskort. Detta överensstämmer med tidigare studier av elektronikintensiva produkter, där produktionsfasen ofta dominerar den totala miljöpåverkan. Fysiska bagagetaggar uppvisar däremot ett lågt koldioxidutsläpp per producerad enhet, men deras engångsanvändning leder till ett kontinuerligt och ackumulerat utsläpp över tid.

Ett centralt resultat i studien är den identifierade brytpunkten där en digital bagagetagg teoretiskt motsvarar cirka 27 fysiska bagagetaggar ur ett miljöperspektiv. Detta resultat är starkt beroende av de antaganden som gjorts kring livslängd och användningsfrekvens. Om den digitala bagagetaggen inte uppnår den antagna livslängden om fem år, exempelvis till följd av mekaniska skador i bagagehanteringssystemet, försämras dess miljöprestanda avsevärt. Detta belyser hur känslig den digitala lösningens miljömässiga konkurrenskraft är för reducerad livslängd och understryker vikten av teknisk robusthet i en miljö med höga fallhöjder, vibrationer och risk för fuktexponering.

Transportens påverkan utgör en ytterligare faktor som påverkar jämförelsen mellan alternativen. För den analyserade digitala bagagetaggen är transportsträckan längre än för de fysiska taggarna, vilket bidrar till ett högre koldioxidutsläpp i transportfasen. Samtidigt bör det noteras att transportutsläppens relativa betydelse minskar i takt med ökad användningsgrad för den digitala produkten. Detta innebär att transportens klimatpåverkan är mer betydelsefull vid låg användningsfrekvens och kort livslängd än vid långvarig användning.

Ur ett avfallsperspektiv framstår de två lösningarna som fundamentalt olika. De fysiska bagagetaggarna genererar ett stort flöde av brännbart avfall som i nuläget inte materialåtervinns, vilket innebär att potentiella resursvärden går förlorade. Digitala bagagetaggar omfattas däremot av producentansvar enligt WEEE-direktivet, vilket

möjliggör återvinning och i vissa fall återanvändning av centrala komponenter. Resultaten visar att återvinning av ABS plast, batteri och kretskort samt återanvändning av e-ink-skärm kan reducera en betydande del av den initiala klimatpåverkan. Dessa potentiella besparingar är dock beroende av att effektiva insamlings- och återvinningssystem etableras och används i praktiken.

Den ekonomiska analysen, i likhet med miljöanalysen, har tydliggjorts genom en motsvarighetsanalys. Resultatet visar att en digital bagagetagg ekonomiskt motsvarar cirka 240 fysiska baggagetaggar, uttryckt som kostnad per enhet och år. Som jämförelse visar miljöanalysen att motsvarande relation uppgår till cirka 27 fysiska baggagetaggar per digital enhet och år.

De fysiska bagagetaggarna kännetecknas av låga styckkostnader, men medför samtidigt höga återkommande kostnader relaterade till materialförbrukning, drift, hantering samt avfallshantering. De digitala bagagetaggarna innebär i stället en högre initial investeringskostnad, men uppvisar en potential till lägre genomsnittlig kostnad per resa över tid.

I likhet med resultaten från miljöanalysen är den ekonomiska lönsamheten starkt beroende av både faktisk livslängd och nyttjandegrad. Detta innebär att tekniska fel, begränsad användning eller förtid kassation snabbt kan försämra den ekonomiska kalkylen och därmed minska konkurrenskraften hos den digitala lösningen. Studiens avgränsningar påverkar tolkningen av resultaten och bör beaktas vid vidare användning. Exkludering av råvaruutvinning som separat processteg, antaganden kring komponentdata samt användning av uppskattade värden för vissa delar av den digitala bagagetaggen innebär att resultaten ska tolkas som indikativa snarare än absoluta. Vidare baseras analysen på ett specifikt fall vid Arlanda flygplats, vilket begränsar generaliserbarheten till andra flygplatser med annorlunda systemlösningar och trafikmönster.

En begränsning i studien är att koldioxidutsläpp kopplade till drift av CUSS maskiner för självincheckning inte har inkluderats i livscykelanalysen. Dessa maskiner används uteslutande för att skriva ut fysiska bagagetaggar och utgör därmed en del av systemgränsen för det fysiska alternativet. Att exkludera utsläpp vid produktion av CUSS maskiner samt tillhörande faktorer kan innebära att den totala klimatpåverkan för fysiska bagagetaggar underskattas. Vilket i sin tur kan påverka jämförelsen mellan fysiska och digitala lösningar.

Sammantaget visar diskussionen att digitala bagagetaggar har potential att bidra till minskad miljö- och kostnadspåverkan på lång sikt, men endast under tydligt definierade förutsättningar. I avsaknad av säkerställd livslängd, hög användningsfrekvens och fungerande återvinning kvarstår de fysiska bagagetaggarna som den mest robusta lösningen i nuläget. Däremot skall det tas i åtanke att exkludering av utsläpp för CUSS maskiner påverkar resultatet. Resultaten understryker därmed vikten av att tekniska innovationer inom flygplatsmiljö utvärderas i ett system- och livscykelperspektiv innan bred implementering sker.

7. Slutsats

Syftet med detta examensarbete var att undersöka hållbarheten hos digitala bagagetaggar i jämförelse med fysiska bagagetaggar för att avgöra vilken lösning som är mest långsiktigt hållbar ur ett kostnads- och miljöeffektivt perspektiv. Genom att tillämpa livscykelanalys och livscykelkostnadsanalys på ett konkret fall vid Arlanda flygplats har studien belyst skillnader mellan lösningarna ur miljömässiga, ekonomiska och operativa aspekter.

Ur ett miljöperspektiv visar resultaten att digitala bagagetaggar har en högre initial klimatpåverkan än fysiska bagagetaggar där motsvarigheten för en digital bagagetagg, med en livslängd på fem år, är ca 27 fysiska bagagetaggar per år. Denna påverkan kan främst härledas till produktionen av batteri, e-ink skärm, kretskort och övrig elektronik, vilka är både material- och energikrävande komponenter. För den specifikt analyserade produkten förstärks klimatpåverkan ytterligare av längre transportsträckor från tillverkningsplats till användning jämfört med de pappersbaserade alternativen. De fysiska bagagetaggarna uppvisar däremot låg klimatpåverkan per producerad enhet, men genererar ett kontinuerligt utsläpp över tid till följd av engångsanvändning, transporter samt förbränning av avfall. Sammantaget innebär detta att digitala bagagetaggar endast kan närma sig eller överträffa de fysiska taggarnas miljöprestanda under förutsättning att en lång livslängd och hög användningsfrekvens uppnås.

Den genomförda analysen visar även att återvinning och återanvändning spelar en central roll för den digitala bagagetaggens miljömässiga potential. Återanvändning av Eink skärm samt återvinning av ABS plast, batteri och kretskort kan reducera en betydande del av det initiala koldioxidutsläppet. Dessa potentiella besparingar är dock beroende av att fungerande insamlings och återvinningssystem etableras och efterlevs, vilket i nuläget inte är självklart för denna typ av konsumentnära elektronisk produkt. Ur ett ekonomiskt perspektiv visar livscykelkostnadsanalysen att fysiska bagagetaggar kännetecknas av låga styckkostnader men höga återkommande kostnader kopplade till materialinköp, drift av CUSS och CUPPS utrustning, energiförbrukning, underhåll och avfallshantering. Digitala bagagetaggar innebär i stället en högre initial investeringskostnad per enhet, men har potential att ge en lägre kostnad per resa över tid vid hög nyttjandegrad. Resultaten indikerar att den ekonomiska konkurrenskraften för digitala bagagetaggar är starkt beroende av antaganden kring livslängd, garantikostnader och faktisk användning. Resultatet visar att en digital bagagetagg ekonomiskt motsvarar cirka 240 fysiska baggagetaggar, uttryckt som kostnad per enhet och år.

Ur ett operativt perspektiv framstår de fysiska bagagetaggarna som en robust och väl integrerad lösning i dagens bagagehanteringssystem på Arlanda flygplats. Den befintliga infrastrukturen är optimerad för denna typ av märkning och uppvisar hög driftsäkerhet. Digitala bagagetaggar erbjuder samtidigt ökad flexibilitet, exempelvis genom

möjligheten att tilldela ny streckkod utan fysisk omtaggning, vilket kan bidra till effektivare hantering vid förseningar och ombokningar. Samtidigt identifieras tekniska risker, såsom skador på skärm vid höga fall, fuktexponering och reducerad läsbarhet, vilka kan påverka både driftsäkerhet och livslängd.

Sammantaget visar resultaten att pappersbaserade bagagetaggar i nuläget utgör den mest miljömässigt och operativt tillförlitliga standardlösningen för Swedavia. Digitala bagagetaggar kan däremot vara ett motiverat komplement i specifika användningsfall, exempelvis för frekventa resenärer, där hög användningsgrad och kontrollerad hantering kan säkerställas. Ett eventuellt bredare införande av digitala bagagetaggar bör därför ske stegvis och föregås av ytterligare utvärdering av teknisk robusthet, faktisk livslängd samt etablerade återvinningslösningar. Studien visar därmed vikten av att tekniska innovationer inom flygplatsmiljö analyseras ur ett helhets och livscykelperspektiv för att möjliggöra välgrundade och långsiktigt hållbara beslut.

7.1 Rekommendation för fortsatt verksamhet

Utifrån studiens resultat framgår att de fysiska bagagetaggarna i nuläget rekommenderas att behållas. Detta motiveras av att de uppfyller etablerade globala standarder samt följer de riktlinjer som fastställts av IATA. För Swedavias flygplatser gäller dessutom att terminalverksamheten bedrivs med 100 procent fossilfri el, vilket innebär att den el som förbrukas inom flygplatsområdet inte medför några koldioxidutsläpp vid produktion. Denna förutsättning bedöms ha en tydlig påverkan på resultaten för användningsfasen vid Swedavias flygplatser. På andra flygplatser, där elmixen i större utsträckning kan baseras på fossila energikällor, kan förutsättningarna skilja sig avsevärt. Detta kan i sin tur påverka jämförelsen mellan fysiska och digitala bagagetaggar och innebära att det antal fysiska bagagetaggar som motsvarar en digital bagagetagg ur ett klimatperspektiv blir lägre.

För att möta den tekniska utvecklingen och undvika att halka efter rekommenderas att digitala bagagetaggar erbjuds och marknadsförs till frekventa resenärer. Anledningen är att denna grupp har förutsättningar att nå den beräknade brytpunkten, vilket innebär att den initiala klimatpåverkan från produktionen av den digitala bagagetaggen kan fördelas över tillräckligt många användningstillfällen och därmed resultera i en nettobesparing av koldioxid. Resenärer som flyger en eller två gånger per år bedöms däremot inte uppnå denna motsvarighet inom den antagna livslängden om fem år. För dessa användare riskerar den digitala bagagetaggen i stället att leda till en högre klimatpåverkan jämfört med fortsatt användning av fysiska bagagetaggar, vilket kan bidra till en negativ miljöeffekt.

I takt med att användningen av digitala bagagetaggar ökar bland resenärer rekommenderas att sorteringsfickorna i bagageanläggningen utvärderas ur ett tekniskt och mekaniskt perspektiv. Vid genomförda observationer framkom att flera sorteringsfickor är utformade med relativt höga fallhöjder, vilket medför att bagaget faller in med hög hastighet. Detta ökar risken för mekanisk påverkan, såsom

deformation eller skador på de digitala bagagetaggarna. En ökad skadefrekvens kan i sin tur leda till förkortad livslängd för produkten och en försämrad användarupplevelse för resenärerna. Risken bedöms vara särskilt betydande i de fall där leverantören inte erbjuder någon ersättning eller garanti vid skador på den digitala bagagetaggen.

Avslutningsvis rekommenderas att biometrisk igenkänning utvärderas som ett alternativ för identifiering av bagage. Befintlig infrastruktur bedöms möjliggöra en sådan lösning utan omfattande ombyggnation. En tidig implementering skulle ge Swedavia möjlighet att ligga i framkant genom att påbörja tester och systemanpassningar innan tekniken är fullt etablerad. Biometrisk igenkänning kan även användas som stöd vid garantiärenden i de fall en bagagetagg skadas. Om tekniken på sikt visar sig vara ett mer ändamålsenligt alternativ har Swedavia redan den nödvändiga infrastrukturen och erfarenheten för drift och underhåll.

7.2 Felkällor

I denna studie finns ett antal identifierade felkällor och osäkerheter som bör beaktas vid tolkning av resultaten. En central osäkerhet rör tillgången till data för de digitala bagagetaggarna. Till skillnad från de fysiska bagagetaggarna, där primärdata har kunnat inhämtas från Swedavias verksamhet och leverantörer, baseras analysen av de digitala bagagetaggarna på komponentuppdelning och jämförbara sekundärdata. Detta innebär att både klimatpåverkan och kostnader för den digitala lösningen är uppskattningar och därmed behäftade med osäkerhet.

En ytterligare felkälla är antaganden kring produktens livslängd och användningsmönster. I studien antas den digitala bagagetaggen ha en teknisk livslängd om cirka fem år. Batteriet antas ha samma livslängd som produkten, men med en låg energiförbrukning som innebär att laddning endast behöver ske cirka en gång per år. Antaganden om livslängd och laddningsfrekvens påverkar hur både klimatpåverkan och kostnader fördelas över tid. Om den faktiska livslängden skulle vara kortare, exempelvis på grund av mekaniska skador eller tekniska fel, riskerar den digitala bagagetaggens miljö- och kostnadsfördelar att överskattas.

Osäkerheter förekommer även i valet av emissionsfaktorer. Studien använder genomsnittliga emissionsvärden för material såsom ABS-plast, kretskort och litiumjonbatterier samt för transporter och elproduktion. Dessa värden kan variera beroende på produktionsmetod, geografisk plats och energimix, vilket innebär att de faktiska utsläppen kan avvika från de beräknade.

Vidare bygger transportanalysen på antaganden om fullastade lastbilar, genomsnittlig bränsleförbrukning och viktbaserad allokering per produkt. Avvikelser i verkliga transportupplägg kan påverka resultaten, särskilt för den digitala bagagetaggen där transportavståndet är längre.

Slutligen finns osäkerheter kopplade till kostnadsdata. Priser på material, energi, arbetskraft och avfallshantering baseras på aktuella uppgifter, men kan förändras över

tid till följd av marknadsutveckling, inflation och teknisk mognad. Sammantaget innebär dessa felkällor att resultaten bör tolkas som indikativa snarare än absoluta, men de bedöms ändå ge en relevant jämförelse mellan fysiska och digitala bagagetaggar inom ramen för studiens syfte.

Källförteckning

Adrian. All Electro Hub. (2025) *The Carbo footprint of PCBs: How Recycable Material Can Make a Difference*. The Carbon Footprint of PCBs: How Recyclable Materials Can Make a Difference. (Hämtad 2025-11-25)

Arbetsförmedlingen (2025) Lönesök – IT-specialister. Tillgänglig på: https://arbetsformedlingen.se (Hämtad: 25-11-2025).

Bage plastics (2022). *Sustainable, recycled granules by bage plastics with excellent carbon footprint*. *https://bage-plastics.com/sustainable-recycled-granules-by-bage-plastics-with-excellent-carbon-footprint/* (Hämtad: 2025-12-05)

BagID. (2025). *BagID 2*. https://bagid.com/products/bagid-2 (Hämtad 2025-11-18)

Batteriexperten (2025). *Li-Po-batteri 3.7 V, 650 mAh (YP802542P)*. Tillgänglig på: https://www.batteriexperten.com/sv/artiklar/yp802542p-sena%2C-3.7v%2C-650-mah.html (Hämtad: 2025-12-8).

Becket, S. (2022). E Ink Carbon Footprint Verified by British Standards Institution, Compliant With ISO Standard. *Rave pubs*. 26 augusti. https://www.ravepubs.com/e-ink-carbon-footprint-verified-by-british-standards-institution-compliant-with-iso-standard/?utm_source=chatgpt.com (Hämtad: 2025-11-18)

Berglund, F., Karltun, J. & Eklund, J. (2019). *Digitalisation and work environment in industrial systems*. Applied Ergonomics, 78, s. 123–135

Bibri, S.E. (2018). *The IoT for smart sustainable cities of the future*. Cham: Springer.

Bjørn, A., Owsianiak, M., Laurent, A. & Hauschild, M.Z. (2018). *Strengthening the link between life cycle assessment and indicators for sustainable development*. Ecological Indicators, 88, s. 379–391.

CertifyComply (2025). *Vad kostar CE-märkning?* Tillgänglig på: https://certifycomply.com/sv/vad-kostar-ce-markning/ (Hämtad: 2025-12-8)

Climatiq. (2015) *Emission factor*. https://www.climatiq.io/data/emission-factor/530f94bf-98b6-4c7d-adce-a81046943702?utm_source=chatgpt.com (Hämtad 2025-11-24)

Danielsson, P. Ansvarig över bagagesystem på Arlanda (2025). Besök hos Swedavia 14 oktober.

Digi-Key (2025). Adafruit PCB 6×8 cm (artikelnummer 5588). Tillgänglig på: https://www.digikey.se/sv/products/detail/adafruit-industries-llc/5588/16719270 (Hämtad: 2025-12-8).

Electrokit (2025). *Apparatlåda ABS svart 61×102×25 mm*. Tillgänglig på: https://www.electrokit.com/en/apparatlada-svart-61x102x25mm (Hämtad: 2025-12-8).

El-Kretsen (2025). *Avgifter och producentansvar för elektronik*. Tillgänglig

på: https://www.el-kretsen.se/avgifter(Hämtad: 2025-12-09).

Elpriser24. (2025) Elpris för 1 kWh [online]. Tillgänglig på: https://elpriser24.se/kwh/ (Hämtad: 18-11-2025).

European Commission (2020). *A new Circular Economy Action Plan*. Tillgänglig på: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy_en (Hämtad: 2026-01-06).

Faraj, J. (2025) Personlig kommunikation, drifttekniker på Swedavia, (Hämtad 15-10-2022

Fellotech (2025). *603040 3.7V 650mAh Lithium Polymer Battery with certificate*. Tillgänglig på: https://www.fellotech.com/603040-3-7v-650mah-lithium-polymer-battery-with-certificate_p176.html (Hämtad: 2025-12-09)

Fortnox AB, 2025. *Så mycket kostar en anställd*. Fortnox företagsguide – Kalkylatorer. Tillgänglig på: https://www.fortnox.se/fortnox-foretagsguide/kalkylatorer/sa-mycket-kostar-en-anstalld (Hämtad: 2025-12-12).

Hilty, L.M. & Aebischer, B. (2015). *ICT for sustainability: An emerging research field*. Cham: Springer.

Hosseini, P. Klauson, A. Goljandin, D. Hendrickx, B och Doflu, J. (2025) *Environmental performance analysis of innovative mechanical separation for recycling of waste printed circuit boards*. Institutionen för maskinteknik, estniska vetenskapsakademin. https://kirj.ee/wp-content/plugins/kirj/pub/proc-2S-2025-291-301_20250602154747.pdf (Hämtad: 2025-12-05)

IATA, (u.å) *Dangerous Goods Guidance for Passengers*. https://www.iata.org/en/programs/cargo/dgr/dgr-guidance-passengers/ (Hämtad 2025-11-18)

ISO 14040 (2006). *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. Geneva: International Organization for Standardization.

ISO 15686-5 (2017). *Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing*. Geneva: International Organization for Standardization.

Jobbland (2025). Elektronikmontör lön. Tillgänglig via: https://jobbland.se/lon/elektronikmontor (Hämtad: 2025-12-8).

Kallitsis, E. & Chatzitheodorou, A. (2024). *Environmental impacts of battery production for electronic devices*. Journal of Cleaner Production, 430, 139677.

Kamb, A och Larsson, J. (2018) *Klimatpåverkn från svenska befolkningens flygresor 1990-2017*. Chalmers tekniska Högskola. https://research.chalmers.se/publication/506796/file/506796_Fulltext.pdf (Hämtad: 2025-12-05)

Korpi, E. & Ala-Risku, T. (2008). *Life cycle costing: A review of published case*

studies. Managerial Auditing Journal, 23(3), s. 240–261.

Naturvårdverket. (2025). *El och fjärrvärme, utsläpp av växthusgaser*. El och fjärrvärme, utsläpp av växthusgaser (Hämtad 2025-11-24)

Naturvårdsverket (2025). *Producentansvar för elutrustning*. Tillgänglig på: https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/producentansvar/producentansvar-for-elutrustning (Hämtad: 2025-12-09).

OpenCircuit (2025). 4.2-inch e-paper / e-ink display module. Tillgänglig på: https://opencircuit.se/product/4.2inch-e-paper-e-ink-display-module-raspberry (Hämtad: 2025-12-08).

PwC (2025). *Så mycket kostar en anställd*. Tillgänglig på: https://blogg.pwc.se/foretagarbloggen/sa-mycket-kostar-en-anstalld (Hämtad: 2025-12-8).

Scania (2020). *Scania's fourth consecutive Green Truck test victory* *https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/press-releases/press-release-detail-page.html/3778427-scania-s-fourth-consecutive-green-truck-test-victory* (Hämtad: 29-10-2025)

Security Label GmbH. (u.å.) *Security Label | The Tag Experts*. Available at: https://www.security-label.de/en-gb (Hämtad: 11-11-2025).

Shenzhen Lean Kiosk Systems Co., LTD (u.å.) Fast and secure self-service check in kiosk with touchless and bilingual capabilities. Available at: https://www.kiosksmanufacturer.com/quality-225-1812-fast-and-secure-self-service-check-in-kiosk-with-touchless-and-bilingual-capabilities.html (Hämtad: 18-11-2025).

Skatteverket (2025). *Arbetsgivaravgifter*. Tillgänglig på: https://www.skatteverket.se/foretag/arbetsgivare/arbetsgivaravgifterochskatteavdrag/arbetsgivaravgifter (Hämtad: 2025-12-8).

Skatteverket (2025) Rättslig vägledning – Materiella anläggningstillgångar (Avskrivning och anskaffningsvärde). Tillgänglig på: https://www4.skatteverket.se/rattsligvagledning/edition/2025.7/324714.html (Hämtad: 25-11-2025).

Statsskuld (2025). *Elektronikmontör inom tillverkning – lönestatistik*. Tillgänglig via: https://statsskuld.se/lonestatistik/elektronikmontor-tillverkning (Hämtad: 2025-12-8).

Tarpeh, W och Stanford university. (2025) *Recycling lithium-ion batteries delivers significant environmental benefits*. https://news.stanford.edu/stories/2025/01/recycling-lithium-ion-batteries-cuts-emissions-and-strengthens-supply-chain (Hämtad: 2025-12-05)

Vincent, E. (2025) Personlig kommunikation på Swedavia, kommunikation med Joseph Faraj, 12 november.

Visionect (2025). *What is the lifespan of Epaper*. https://www.visionect.com/blog/epaper-lifespan/ (Hämtad: 2025-12-05)

Warranty Week (2024). *Consumer Electronics Warranty Report 2024*. Tillgänglig på: https://www.warrantyweek.com/archive/ww20240711.html (Hämtad: 2025-12-8).

Ögla, J. Avtalsförvaltare logistik på Swedavia (2025). Samtal med personal (Hämtad 17 november 20)

Bilagor

Bilaga A – LCA beräkningar: Digitala bagagetaggar

Denna bilaga redovisar detaljerade beräkningar som ligger till grund för produktion av digitala bagagetaggar.

Linjär interpolation

$$0{,}59 + \frac{11-7{,}37}{17{,}27-7{,}37} \cdot (3{,}30 - 0{,}59) = 1{,}58\ kg\ CO2 \qquad [4{:}9]$$

Koldioxidutsläpp vid produktion av ABS plast

$$0{,}05\ \cdot 3{,}1 = 0{,}155\ kg\ CO2 \qquad [4{:}10]$$

Utsläpp för BagID Batteri

$$0{,}0027\ \cdot 85 = 0{,}2295\ kg\ CO2\ \approx 0{,}23\ kg\ CO2 \qquad [4{:}11]$$

Beräkning av CO2 vid produktion av kretskort

$$0{,}0104\ \cdot 60 = 0{,}624 \approx 0{,}62\ kg\ CO2 \qquad [4{:}12]$$

Bilaga B – LCA beräkningar: transport för digitala bagagetaggar

Utsläpp för totala sträckan

$$0{,}67375\ \cdot 2470 =\ \ 1\ 664{,}163\ \approx 1{,}7\ ton\ CO2 \qquad [4{:}14]$$

Bilaga C – LCA beräkningar: Avfallshantering för digitala bagagetaggar

Beräkning av koldioxidutsläpp av återvunnen ABS plast

$$0{,}59\ \cdot 0{,}05 = 0{,}0295\ kg\ CO2 \qquad [4{:}19]$$

Förhindrat koldioxidutsläpp

$$0{,}155 - 0{,}0295 = 0{,}1255\ kg\ CO2 \qquad [4{:}20]$$

Sparande av koldioxid vid återvinning av batterier

$$0{,}2295\ \cdot 0{,}6 = 0{,}137\ kg\ CO2 \qquad [4{:}21]$$

Beräkning av kretskortets utsläpp

$$\frac{0{,}02}{1000} \cdot 100 = 0{,}002\ kg\ CO2 \qquad [4{:}22]$$

Bilaga D – LCC beräkningar: Inventeringskostnad fysiska baggagetaggar

Beräkning av kostnad per styck bagagetag

$$\frac{120}{400} = 0.30 SEK/st \ (<=> \frac{60}{200}) \qquad [4:26]$$

Ovannämnda ekvation ger en validerad påstående på att en styck bagagetag ligger på 0.30kr /st

Beräknad uppskattad årsförbrukning av CUSS taggar 2025

$$\frac{2\ 297\ 660}{10} \bullet 12 = 2\ 757\ 192\ st \qquad [4:27]$$

Beräknad uppskattad årsförbrukning av CUPPS taggar 2025

$$\frac{2\ 042\ 036}{9} \bullet 12 = 2\ 722\ 715\ st \qquad [4:28]$$

Beräkning av fraktkostnad

$$\frac{700\ 000}{2\ 000\ 00} = 0.35\ SEK/Tagg \qquad [4:29]$$

$$Pris\ inkl\ frakt - pris\ exkl\ frakt = Fraktkostnad\ per\ bagagetagg$$
$$0.35 - 0.30 = 0.05\ SEK \qquad [4:30]$$

$$\frac{Fraktkostnad}{bagagetagg} \bullet Total\ antal\ tagg\ per\ leverans = Fraktkostnad\ per\ leverans$$
$$0.05 * 2\ 000\ 000 = 100\ 000\ SEK/Leverans \qquad [4:31]$$

Kostnad år 2025 för både CUPPS och CUSS taggar

$$(2\ 757\ 192 + 2\ 722\ 715) * 0.3 = 1\ 643\ 972\ SEK \qquad [4:32]$$