VTI rapport 1270

Utgivningsår 2026

ITS och fordon på flygplats

En förstudie om intelligenta transportsystem (ITS) för att minska risken för rullbaneintrång orsakade av markfordon

Magnus Nylin och Kajsa Weibull

vti

vti.se/publikationer

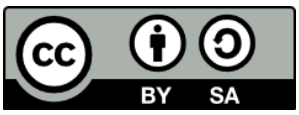
VTI rapport 1270

ITS och fordon på flygplats

En förstudie om intelligenta transportsystem (ITS) för att minska risken för rullbaneintrång orsakade av markfordon

Magnus Nylin

Kajsa Weibull



Om inget annat anges är publikationen licensierad enligt CC BY-SA 4.0. Omslaget omfattas inte av licensen.

Unless otherwise stated, the publication is licensed under CC BY-SA 4.0. The cover is not included in the license.

vti

Publikationsuppgifter

Titel

ITS och fordon på flygplats. En förstudie om intelligenta transportsystem (ITS) för att minska risken för rullbaneintrång orsakade av markfordon

Författare

Magnus Nylin (VTI, orcid.org/0000-0002-7917-5924)

Kajsa Weibull (VTI, orcid.org/0000-0001-9724-8456)

Utgivare

VTI, Statens väg och transportforskningsinstitut

Serie och nummer

VTI rapport 1270

Utgivningsår

2026

VTI:s diarienummer

2024/0375-8.2

ISSN

0347–6030

DOI

https://doi.org/10.65151/vti751380

Projektnamn

Förstudie om hur kunskap från forskning om intelligenta transportsystem (ITS) på väg skulle kunna tillämpas på marktrafik vid flygplatser för att minska risken för rullbaneintrång

Uppdragsgivare

Trafikverket (TRV 2024/99409)

Publication information

Title

ITS and Airport Ground Vehicles. A feasibility study on Intelligent Transport Systems (ITS) to reduce the risk of runway incursions caused by ground vehicles.

Author

Magnus Nylin (VTI, orcid.org/0000-0002-7917-5924)

Kajsa Weibull (VTI, orcid.org/0000-0001-9724-8456)

Publisher

VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)

Publication number

VTI rapport 1270

Published

2026

Registration Number, VTI

2024/0375-8.2

ISSN

0347–6030

DOI

https://doi.org/10.65151/vti751380

Project

A feasibility study on applying knowledge from the research on road traffic Intelligent Transport System (ITS) on airport ground traffic to reduce the risk of runaway incursion

Commissioned by

Swedish Transport Administration (TRV 2024/99409)

Kort sammanfattning

Projektet är en förstudie där vi studerat om teknik och kunskap från forskning inom vägtransport och intelligenta transportsystem (ITS) skulle vara möjlig att använda för att minska risken för rullbaneintrång orsakade av markfordon. Rullbaneintrång innebär att flygplan, markfordon eller personer utan tillstånd befinner sig på rullbanan (landningsbanan i vardagligt tal) eller dess skyddade närområde. Bakgrunden är att problematiken med rullbaneintrång fortsätter att vara i princip oförändrad över tid trots stora satsningar på att minska sannolikheten för att det inträffar. Många av de lösningar som har tagits fram är stora, relativt dyra systemlösningar, ofta integrerade med flygtrafikledningssystem, vilket innebär långa implementeringstider och mycket höga kostnader, vilket är ett problem för små flygplatser.

Förstudien genomfördes i form av två litteraturöversikter för att kartlägga vad som har gjorts forskningsmässigt med avseende på rullbaneintrång med markfordonskoppling respektive forskning inom vägtrafik och ITS. Litteraturöversikterna baserade sig på strukturerade sökningar i Scopus och kompletterades med friare sökningar för att täcka området så bra som möjligt. Resultaten kategoriserades tematiskt och slutligen jämfördes de identifierade temana från de två olika områdena för att identifiera potential för användning av teknik och kunskap från vägtrafiksidan inom förhindrande av markfordonsrelaterade rullbaneintrång. Som en kompletterande aktivitet genomfördes ett mindre antal (tre) semistrukturerade intervjuer i samtalsform med fältarbetare vid tre olika svenska flygplatser.

Av de identifierade temana från forskningen relaterad till ITS bedömdes sex stycken som intressanta att titta vidare på för möjliga tillämpningar för fordonstrafik på flygplats: cybersäkerhet, e-HMI, fordons/infrastrukturdetektering, intelligenta trafikljuslösningar samt VANET (Vehicular Ad Hoc Network). Givet de olika tematiska områdena identifierade på flygsidan och också från intervjuerna så är enkla sätt att få positionering av fordon tillgänglig för alla intressenter en viktig del. Utvecklingen mot högt automatiserade (förarlösa) fordon skapar också andra behov än idag där vi ser att teknik och kunskap från utvecklingen på vägsidan skulle kunna vara mycket intressanta, inte minst i kombination med infrastruktur. I det sammanhanget blir också cybersäkerhetsfrågan mycket viktig då sensordata kommer att samlas in och distribueras inom ett känsligt område, i allmänhet skyddsobjekt. Detta kan vara viktigt i princip oaktat andra tillämpningar då moderna fordon i mycket hög utsträckning innehåller sensorer och uppkopplad teknik. Externa gränssnitt (e-HMI) ser vi också som en fråga starkt kopplad till automatisering av fordon i en blandad miljö.

Nyckelord

Rullbaneintrång, intrång på bana, intelligenta transportsystem, ITS

Abstract

The project is a pre-study in which we have investigated whether technology and knowledge from research in road transport and intelligent transport systems (ITS) could be used to reduce the risk of runway incursions (aircraft, ground vehicles, or persons on the runway who should not be there) at airports caused by ground vehicles. The background is that the issue of runway incursions has remained a major safety concern over time despite major efforts to reduce the likelihood of their occurrence. Many of the solutions that have been developed are large, relatively expensive system solutions, often integrated with air traffic management systems, which results in long implementation times and very high costs, something that is problematic for small airports.

The pre-study was conducted in the form of two literature reviews based on structured database searches to map what has been done in research regarding runway incursions involving ground vehicles, and research within road traffic and ITS. The literature reviews were supplemented with more open-ended searches to cover the field as thoroughly as possible. The results were then categorized thematically, and finally, the identified themes from the two different domains were compared to identify the potential for applying technology and knowledge from the road traffic domain to the prevention of ground-vehicle-related runway incursions. As a complementary activity, a small number (three) of semi-structured interviews in conversational form were conducted with field personnel at three different Swedish airports.

Among the themes identified from ITS-related research, six were considered particularly interesting for further exploration in terms of possible applications to vehicle traffic at airports: automation, cybersecurity, e-HMI, vehicle/infrastructure detection, intelligent traffic light solutions, and VANET (Vehicular Ad Hoc Network). Given the thematic areas identified on the aviation side, as well as from the interviews, simple ways of making vehicle positioning available to all stakeholders are an important component. The development toward highly automated (driverless) vehicles also creates different needs compared to today, where we see that technology and knowledge from developments in the road sector could be highly relevant, not least in combination with infrastructure. In this context, cybersecurity becomes critically important, as sensor data will be collected and distributed within a sensitive area, generally designated as a protected site. This aspect may be important regardless of other applications, as modern vehicles increasingly contain sensors and connected technologies. External interfaces (e-HMI) are also seen as closely linked to the automation of vehicles in a mixed environment.

Keywords

Runway incursion, intelligent transport systems, ITS

Innehållsförteckning

Publikationsuppgifter **4**

Publication information **5**

Kort sammanfattning **6**

Abstract **7**

Begrepp och förkortningar **10**

Förord **12**

1. Introduktion och bakgrund **13**

1.1. Rullbaneintrång – historik och statistik 14
1.1.1. Rullbaneintrång i internationell jämförelse 15
1.2. Intelligenta transportsystem (ITS) 16

2. Problemställning **18**

2.1. Avgränsningar 18

3. Metod **19**

3.1. Genomgång av befintlig litteratur inom rullbaneintrång 19
3.2. Sammanställning, intelligenta transportsystem (ITS) för väg 20
3.3. Samtal med fältpersonal 21

4. Resultat **23**

4.1. Identifierade teman i forskning runt rullbaneintrång 23
4.1.1. Mjuka åtgärder 23
4.1.2. Fysiska åtgärder på flygplatsen 24
4.1.3. Integrering i det lokala flygtrafikledningssystemet 24
4.1.4. Varningar och stöd för markfordon 24
4.1.5. Varningar och stöd i luftfartyg 24
4.1.6. System för att identifiera rullbaneintrång 25
4.1.7. Övrigt 25
4.1.8. Fri sökning efter övriga initiativ och projekt 25
4.2. Identifierade teman för sammanställning av ITS-lösningar för vägtrafik 26
4.2.1. Kategori teknik 27
4.2.2. Kategori praktisk tillämpning 29
4.2.3. Kategori människan 31
4.3. Samtal med fälthållare 32

5. Diskussion **34**

5.1. Identifierade möjligheter med ITS 35
5.1.1. Cybersäkerhet 35
5.1.2. e-HMI 36
5.1.3. Fordons- och infrastrukturdetektering 36
5.1.4. Intelligenta trafikljuslösningar 36
5.1.5. Automation 36
5.1.6. VANET 36
5.2. Begränsningar i förstudien 36

5.3. Fortsatt forskning 37
6. Sammanfattning och slutsatser 38
Referenser 39

Begrepp och förkortningar

Förkortning/begrepp	Förklaring
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast, en global standard för flygövervakning där luftfartyg sänder ut GPS-inmätt position tillsammans med fart och höjd till alla med en ADS-B mottagare, exempelvis flygledning och andra luftfartyg
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System, avancerat system för övervakning av markrörelser på flygplats
ATM	Air Traffic Management, flygledningstjänst
AZW	Accident Zone Warning, tjänst för att sända ut information om en olycka till trafikanter
Blockkedjeteknik	Eng. blockchain, teknik för att säkerställa säkra transaktioner mellan datorer
CAM	Cooperative Awareness Message (CAM), typ av ITS-meddelande
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems, ITS där information delas i realtid mellan flera samarbetande aktörer
CNN	Convolutional Neural Network, en form av neurala nätverk i flera lager som bland annat används för datorseende och analys av bilddata
Deep Learning	En AI-teknik som är en typ av maskininlärning baserad på användandet av artificiella neurala nätverk (ANN)
DENM	Decentralized Environmental Notification Message, typ av ITS-meddelande
EASA	European Union Aviation Safety Agency, europeiska flygsäkerhetsmyndigheten
Edge computing	Distribuerad IT-arkitektur som bygger på lagring och processande av data nära datakällan för att reducera latens och behov av bandvidd för överföring av data
e-HMI	External Human Machine Interface, gränssnitt på utsidan fordon för kommunikation med andra trafikanter
EVA	Emergency Vehicle Approaching, elektroniskt meddelande för att uppmärksamma trafikanter på annalkande utryckningsfordon
HMI	Human Machine Interface, gränssnitt för interaktion mellan människa och teknik oberoende av modalitet
Jamming	Ett sätt att störa GNSS-baserad navigering genom att sända ut kraftiga signaler som blockerar/överröstar de verkliga signalerna
FAA	Federal Aviation Administration, USAs luftfartsmyndighet
Federerad inlärning	Eng. federated learning, en maskininlärningsteknik som använder flera decentraliserade enheter för att träna en algoritm
Geofencing	Ett sätt att med hjälp av mjukvara begränsa exempelvis ett fordons tillåtna operationsområde, en form av virtuellt stängsel
GNSS	Global Navigation Satellite System, samlingsnamn för alla satellitbaserade navigeringssystem
GPS	Global Positioning System, specifikt GNSS-system
ICAO	International Civil Aviation Administration, FN-organ som fastställer gemensamma regler och standarder globalt för luftfarten
IoT	Internet of Things, sakernas internet, samlingsnamn för olika tekniker som möjliggör övervakning och styrning av smarta vardagsföremål över internet
IoV	Internet of Vehicles, fordonens internet, nätverkskommunikation mellan smarta bilar, sensorer och infrastruktur via internet

Förkortning/begrepp	Förklaring
ITS	Intelligent Transport System, samlingsbegrepp för användning av informations- och kommunikationsteknik inom transportområdet
NATS	National Air Traffic Services, brittiska flygtrafiktjänsten
Rullbana	Den bana där flygplan startar och landar, i vardagligt tal ofta benämnd landningsbana
RWW	Road Work Warning, tjänst för att sända ut information om pågående vägarbete till trafikanter
SESAR	Single European Sky ATM Research
Spoofing	Ett sätt att störa GNSS-navigering genom att sända ut falska signaler för att lura systemet
Taxibana	Bana som förbinder rullbanan med terminal/platta så att flygplan kan taxa (köra) till och från rullbana, används också av markfordon
TSI	Traffic Signal Information, tjänst som delger en trafiksignals status till uppkopplade fordon
TSP	Traffic Signal Priority, C-ITS-tjänst som möjliggör att ge prioritet åt vissa fordon i signalreglerade korsningar
UAV	Unmanned Aerial Vehicle, obemannat luftfartyg (drönare)
V2I	Vehicle to Infrastructure, kommunikation mellan fordon och infrastruktur
V2V	Vehicle to Vehicle, kommunikation mellan fordon
V2X	Vehicle to Everything, kommunikation mellan fordon och någon/något i omgivningen
VANET	Vehicular Ad hoc NETwork, trådlöst nätverk för direkt kommunikation mellan fordon och vägstationer, utgör en viktig del av ITS

Förord

Rullbaneintrång är, och har varit, en av de stora frågorna när det gäller flygsäkerhet. Att luftfartyg, markfordon eller människor är på rullbanan när de inte ska vara det kan lätt få mycket stora konsekvenser i samband med start och landning. Problematiken har varit föremål för forskning och utveckling under lång tid, men det finns fortfarande luckor och problemet kvarstår i stor utsträckning. Mycket av den teknik som har tagits fram är mer lämpad för stora flygplatser då den är dyr, dessutom tar certifiering och implementering lång tid. Fokus har legat på luftfartygen och flygtrafikledningen, vilka lyder under strikta regelverk. Markfordonstrafiksidan har däremot inte fått samma uppmärksamhet och fordonstrafik på flygplats är inte alls lika reglerad och framför allt inte standardiserad på samma sätt som när det gäller luftfartyg. På vägtrafiksidan har mycket forskning och utveckling skett inom området intelligenta transportsystem (ITS) som bland annat innefattar kommunikation mellan fordon för att underlätta trafikflöden och öka säkerheten. Frågan väcktes om det finns teknik utvecklad för vägtrafik som skulle kunna användas för att minska risken för rullbaneintrång, i bästa fall kanske till och med lösningar som utvecklas mot standard i en stor mängd fordon och därmed skulle kunna finnas tillgängliga utan större insatser för flygplatserna, vilket skulle vara en stor fördel för mindre flygplatser med begränsade resurser. Tillsammans med Kajsa Weibull beslöt jag att genomföra en förstudie för att jämföra forskning från de båda områdena och därmed identifiera möjliga inriktningar för framtida projekt inom området. Vi vill också rikta ett stort tack till de som ställt upp på intervjuer i projektet, vilket tillförde värdefulla perspektiv!

Stockholm, juni 2026

Magnus Nylin
Projektledare

Om författarna

Magnus Nylin är forskare på enheten Förare och Fordon med en doktorsexamen inom design av människa-automation-samarbete och med en bakgrund i kognitionsvetenskap och flygtrafikledning. Han har arbetat många år med frågor runt hur teknik och människa kan samverka på bästa sätt, till stor del genom realtidssimuleringar och involverande av ämnesspecialister, primärt med kvalitativa forskningsmetoder. Domänmässigt har Nylin främst arbetat inom flygtrafikledning, men har också arbetat inom såväl vägtrafik som sjöfart och tågtrafik.

Kajsa Weibull är forskare på enheten Förare och Fordon med en doktorsexamen i kognitionsvetenskap från Linköpings universitet. Hon har en bakgrund inom kognitionsvetenskap och human factors. Hennes forskning berör ämnen som uppkopplade fordon, tidiga varningar för bilister och förares samspel med utryckningsfordon i trafiken.

Granskare/Examiner

Ulrika Leijerholt, VTI.

De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

The conclusions and recommendations in the report are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of VTI as a government agency.

Publikationen godkänd för publicering/Publication approved for publication

Joakim Dahlman, VTI.

1. Introduktion och bakgrund

Flygplan och markfordon som befinner sig på rullbanan då de inte ska vara där utgör ett av de allvarligaste säkerhetsproblemen inom luftfarten och har orsakat några av de värsta olyckorna. Några av de mest kända exemplen är den absolut värsta olyckan i flyghistorien som skedde på Teneriffa 1977 (Ministerio de Fomento, Spain, 1978) och Linate-katastrofen i Milano 2001 (ANSV, 2004). I båda dessa fall rörde det sig om kollisioner mellan två flygplan på rullbanan, varav ett av dem i hög hastighet, vilket gav ett mycket stort skadeutfall. Ett exempel på kollision mellan flygplan och fordon under projektets gång är kollisionen mellan ett landande flygplan och en brandbil på LaGuardia-flygplatsen i New York den 22 mars (National Transportation Safety Board, 2026) som kostade två piloter livet och skadade flera andra. Att skadeutfallet inte blev ännu värre berodde sannolikt bara på att kollisionen skedde långt in på banan då flygplanet hade hunnit få ner farten. Även att felaktigt befinna sig på en taxibana kan orsaka problem, men oftast med mindre allvarliga konsekvenser. Problemet är inte nytt och har trots stora insatser, inte minst utveckling av olika tekniska hjälpmedel som markradar, och långvarigt fokus fortsatt att vara ett problem (Eurocontrol, 2024), se vidare i 1.1.

Grundorsaker till uppkomna situationer kan vara många och hela det sociotekniska systemet är komplext, vilket sannolikt gjort det svårt att hitta övergripande lösningar. En fördjupad analys av området som utfördes av Transportstyrelsen (Transportstyrelsen, 2024) pekade generellt på bristande uppmärksamhet och att fordon utan giltig klarering som den vanligaste orsaken och att det ofta var kopplat till dåliga väderförhållanden. Liknande orsaker angavs även i Transportstyrelsens rekommendationer för att förhindra intrång på bana från 2013, även om man där mer pekar på bakomliggande faktorer som i sin tur kan leda till bristande uppmärksamhet, exempelvis hög arbetsbelastning (Anderson, 2013). Något som inte tas upp, men som skulle kunna vara en komplicerande faktor, är att standardisering av och krav på utrustning i flygplatsfordon är låga jämfört med de krav som ställs på utrustning i luftfartyg, utformning av själva flygplatsen eller av flygtrafikledningssystem. Om tekniska lösningar ska introduceras som ska integreras mot andra system, inte minst just flygledningssystem, så ställer det höga krav på standardisering och säkerhetsbevisning, vilket också innebär långa ledtider och höga kostnader för att implementera ny teknik. Detta är inte nödvändigtvis ett problem för en stor internationell flygplats, men kan vara ett stort hinder för mindre, regionala flygplatser.

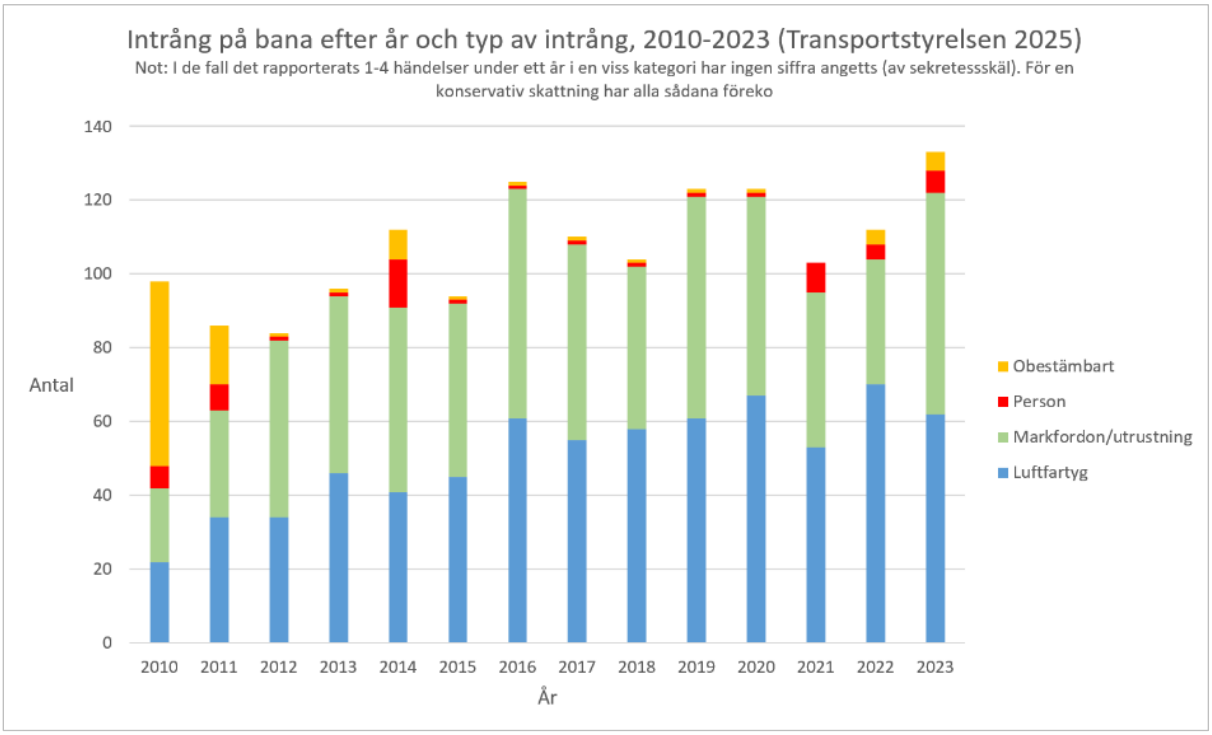
Inom vägtrafiken har intelligenta transportsystem (ITS) växt fram de senaste 20 åren. ITS innebär i grunden att fordon och infrastruktur genom uppkoppling till internet kan kommunicera med varandra (Lu, et al., 2018). Ibland förekommer även begreppet C-ITS. Det innebär till skillnad från bara ITS att användare inom ITS-nätverket kan samverka och byta information med varandra (Trafikverket, 2024). Att fordon är uppkopplade till internet är en förutsättning för framtidens automatiserade fordon där informationsutbyte är en grundförutsättning.

Det finns både nationella och internationella initiativ på vägsidan för att ITS ska kunna rullas ut till den breda massan. Inom EU finns projekt såsom Nordic Way och C-roads (C-roads, 2026; Jacques, 2023). År 2025 rapporterade Transportstyrelsen till EU kring hur arbetet med implementeringen av ITS går. Sammanfattningsvis så beskriver Transportstyrelsen att Sverige har kommit långt i sin lansering av ITS men att utmaningar kvarstår gällande samordning, uppskalning och förbättrad datakvalité (European Commission, 2025).

En central del i den svenska digitala infrastrukturen är den nationella åtkomstpunkten, trafficdata.se, som tillhandahålls av Trafikverket och har varit i drift sedan 2017 (Trafikverket, u.d.). Åtkomstpunkten fungerar främst som en portal och katalog där aktörer kan publicera och hitta trafik- och transportdata enligt EU:s ITS-regelverk. Den används bland annat för data om vägtrafik, trafiksäkerhetsrelaterade händelser, vägarbeten och parkering. Parallellt har Nordic Way 3 utvecklat och testat ett så kallat interchange network för realtidsutbyte av C-ITS-meddelanden mellan fordon, infrastruktur och tjänsteleverantörer. Interchange-lösningen fungerar som en säker meddelandeförmedlare, där betrodda aktörer kan skicka och ta emot realtidsinformation via IP-baserade nätverk (Innamaa, 2024). Att skapa en nationell interchange node är en förutsättning för att kunna lansera C-ITS på bred front i Sverige, men en

del problem återstår fortfarande att lösa. Det visar på att den tekniska lösningen inom ITS är långt ifrån fullständig, men det finns ändå lärdomar att dra inom ramarna för det här projektet.

1.1. Rullbaneintrång – historik och statistik

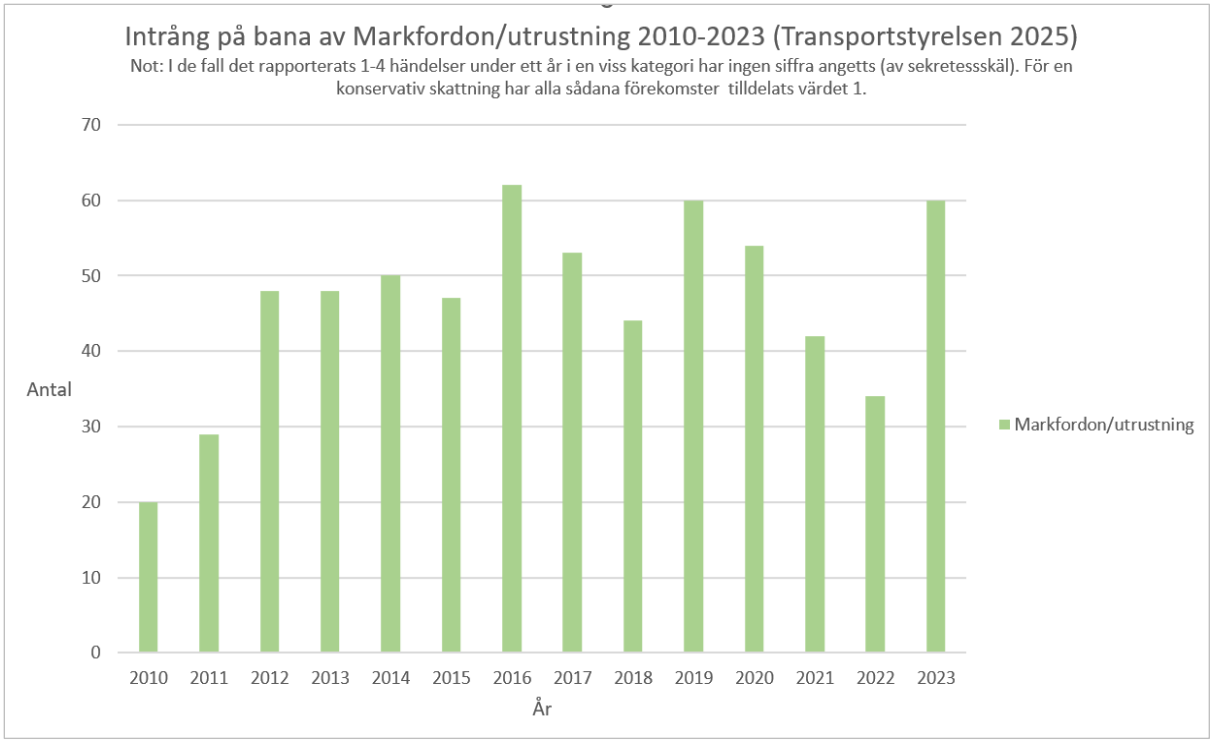


Figur 1. Intrång på bana enligt händelserapporter inkomna till Transportstyrelsen fördelat på olika kategorier. Kategorin obestämbart innebär att kategorin inte är känd. (Statistiken tillhandahållen av Transportstyrelsen.)

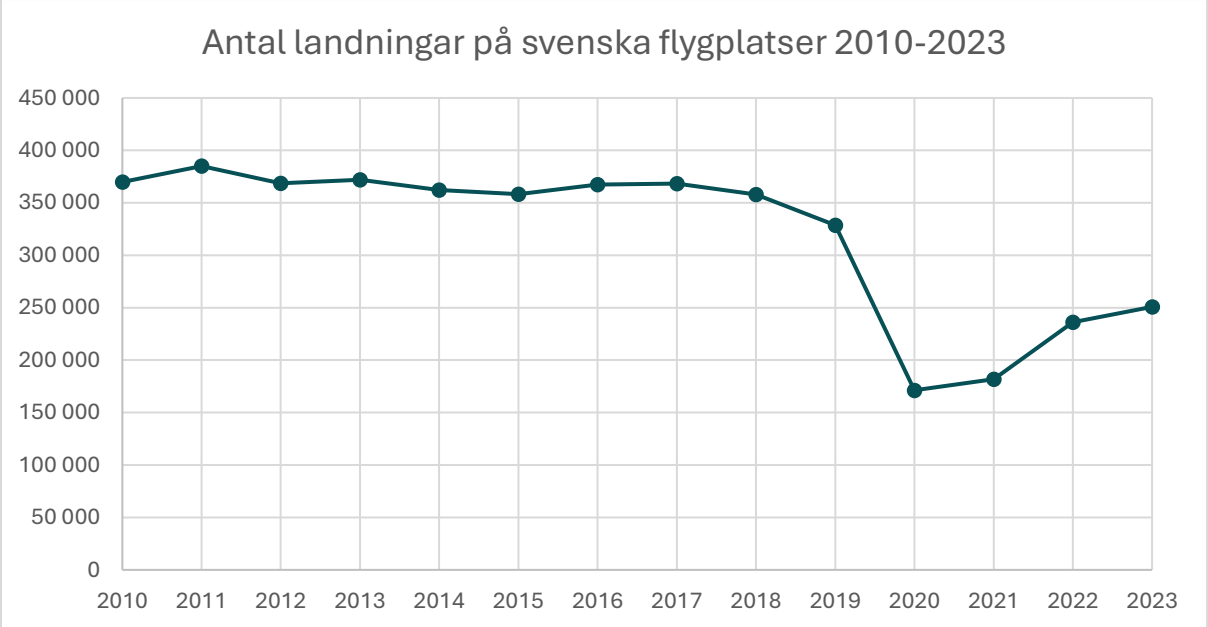
Mängden rullbaneintrång i Sverige har varit förhållandevis konstant 2010–2023 (Figur 1) med ca 110 händelser per år inrapporterade till Transportstyrelsen, möjligen med en svag ökning. Av dessa står *Markfordon/utrustning* för ungefär 40–45% (se

Figur 2. Intrång på bana enligt händelserapporter inkomna till Transportstyrelsen enbart för kategorin Markfordon/utrustning. (Statistiken tillhandahållen av Transportstyrelsen.)

för enbart denna kategori) med vissa avvikelser. Notera att rapporteringen för 2010 innehåller en stor del *Obestämbart* som sannolikt innehåller både *Luftfartyg* och *Markfordon/utrustning*. Under samma tidsperiod var antalet landningar på svenska flygplatser (alla typer av flygningar) också förhållandevis konstant, möjligen med en svagt avtagande trend, de första åtta åren. Mängden flygningar sjönk drastiskt under pandemin och var 2023 fortfarande långt under siffrorna 2010–2018 (Figur 3). Även mängden rullbaneintrång minskade under pandemin, men inte i samma utsträckning som antalet flygningar och 2023 var det fler rullbaneintrång än något annat år under perioden. Antalet intrång på bana under 2024 var 98 stycken (Transportstyrelsen, 2025), vilket är en minskning från föregående år, men där har vi inte haft tillgång till detaljerad statistik om orsak. Det går dock inte att säga om det är någon form av trendbrott.



Figur 2. Intrång på bana enligt händelserapporter inkomna till Transportstyrelsen enbart för kategorin Markfordon/utrustning. (Statistiken tillhandahållen av Transportstyrelsen.)



Figur 3. Antal landningar per år på samtliga flygplatser i Sverige och för alla typer av flygningar. Sammanställning av statistik från Transportstyrelsen (https://www.transportstyrelsen.se/sv/om-oss/statistik-och-analys/statistik-inom-luftfart/flygplatsstatistik/, 2025-08-06).

1.1.1. Rullbaneintrång i internationell jämförelse

Sammantaget visar siffrorna ovan tydligt på det som också beskrivs i Global Action Plan for the Prevention of Runway Incursions (Eurocontrol, 2024), nämligen att rullbaneintrång i hög utsträckning är ett problem som består. Nedan följer en genomgång av internationell statistik rörande rullbaneintrång. Genomgången gör det tydligt att direkta jämförelser kan vara aningen vanskliga då man också måste känna till

definitions- och urvalskriterier utan tillgång till rådata. Ibland redovisas exempelvis antal händelser i absoluta tal och ibland relaterat till mängd flygtrafik. Mängden inrapporterade händelser kan också variera på grund av olika rapporteringskulturer, både över tid och mellan länder. Ett relativt trafiken sett stort antal händelser kan således vara ett utslag av god rapporteringskultur snarare än att man har ovanligt många förekomster av rullbaneintrång. På samma sätt är det svårt att veta hur man definierar markfordons inbladning. Siffrorna nedan ger dock en fingervisning om de övergripande trenderna.

En rapport från projektet EASA.2021.HVP.30 ger en liknande bild som den svenska av trenderna fram till 2019 (airsight GmbH, 2024). En tydlig skillnad mot den svenska statistiken är att det skedde en kraftig ökning av rullbaneintrång orsakade av luftfartyg mellan 2014 och 2019. Detta tillskrivs dock i första hand en förbättrad rapporteringskultur då kategorin rapporter utan angiven typ minskat under samma period. Man kan också notera att andelen luftfartygsrelaterade rapporter visavi markfordonsrelaterade är fler än i den svenska statistiken. På det stora hela är dock trenden densamma som i Sverige.

Blickar vi västerut mot USA och tittar på siffror publicerade av Federal Aviation Administration (FAA, 2026) som täcker åren 2017–2025 så kan man även där konstatera att antalet händelser i stort ligger på ungefär samma nivå, runt 1 800, undantaget pandemiåren. En intressant iakttagelse är en minskning 2025 jämfört med 2024, men precis som för den svenska statistiken så är det omöjligt att veta om det är en naturlig fluktuation eller början på ett trendbrott.

Brittiska flygtrafiktjänsten, National Air Traffic Services (NATS), redovisar statistik i sin årsrapport som antal rullbaneintrång per 100 000 rörelser (flygningar) på rullande 12 månaders mätning (NATS, 2025). Mellan 2015 och 2021 var det relativt jämt (~4-6) med en högsta notering 2020 på 5,9 för att sjunka till 2,1 2023. Dock gick upp till 3,1 2024. Varför man lyckas ligga lägre efter pandemin ges ingen förklaring till, medan ökningen från 2023 till 2024 huvudsakligen anges vara relaterad till rullbaneintrång orsakade av luftfartyg.

1.2. Intelligenta transportsystem (ITS)

Allt fler fordon blir uppkopplade till internet, vilket ger möjlighet att utbyta information i realtid som kan öka trafiksäkerheten och minska utsläpp. Digitala tjänster i fordon möjliggör kommunikation mellan fordon och deras omgivning (V2X – vehicle-to-everything), mellan fordon (V2V – vehicle-to-vehicle) samt mellan fordon och infrastruktur (V2I – vehicle-to-infrastructure). ITS, intelligenta transportsystemet, är ett samlingsbegrepp för användning av informationsteknik i transportsystemet i syfte att förbättra trafiksäkerhet, framkomlighet och hållbarhet. Exempelvis kan det innebära att ett trafikljus ”berättar” för en bil att det snart kommer slå om till grönt så att bilens hastighet kan anpassas.

Inom begreppen ITS finns ett flertal tjänster. Tjänster kan användas till att informera, varna eller begränsa föraren. Exempel på en tjänst som informerar är *Traffic Signal Information* (TSI). En tjänst som varnar är *Emergency Vehicle Approaching* (EVA), som ger bilisten en tidig varning inne i bilen för att det snart kommer komma ett utryckningsfordon. Det finns flertalet studier som stödjer att EVA-varningar leder till att förare lämnar fri väg tidigare jämfört med när förare inte får dessa varningar (Weibull, et al., 2023). Andra varnande tjänster är *Road Works Warning* (RWW) och *Accident Zone Warning* (AZW) som varnar för vägarbete respektive trafikolycka. Tjänsterna kan även ha en med styrande karaktär, som *Traffic Signal Priority* (TSP) som innebär att vissa fordon, exempelvis utryckningsfordon och kollektivtrafik, får grönt ljus och därmed företräda i korsningar med trafiksignaler. En svensk nationell enkätstudie visade på att bilister generellt är positiva gentemot att få ITS-tjänster i sina fordon, speciellt gällande tjänsterna AZW, EVA och RWW (Weibull, et al., 2024).

Andelen uppkopplade fordon i den svenska fordonsflottan ökar ständigt. Trafikverket bedömer att 70 % av alla fordon kommer vara uppkopplade år 2027 och 80–90 % år 2030 (Trafikverket, 2024). Att en majoritet av fordonen är uppkopplade är av stor vikt för att ITS ska vara effektivt. Dels är ITS datadrivet och grundas i att det finns många parter som kan utbyta information i realtid, dels så finns en risk för att de digitala varningstjänsterna skulle vara tandlösa med ett lågt genomslag i fordonsflottan.

Styrning och ledning genom ITS är en grundförutsättning för automatiserade fordon. Ett automatiserat fordon styrs av regler som möjliggörs av uppkoppling till internet. Automatiserade fordon som slarvigt kan kallas för självkörande förekommer till viss utsträckning runt om i världen. I Kina och USA finns exempelvis så kallade robottaxis (Skogsmo, 2025). I Sverige finns flera pilotprojekt, däribland Ride the Future som drivs av VTI. Inom projektet har tre bussar med hög grad av automation trafikerat ett avgränsat område i Linköping mellan år 2020-2025 (VTI, 2025).

Utvecklingen mot uppkopplade och automatiserade vägtransporter har kommit långt, men Trafikverket bedömer att det fortfarande behövs ökad kunskap, samsyn mellan aktörerna och tydligare roller för datautbyte och samverkan (Trafikverket, 2024). Även om Sverige har en nationell åtkomstpunkt för trafikdata behöver lösningarna för datadelning harmoniseras och vara interoperabla, särskilt på europeisk nivå. Utvecklingsarbete i denna riktning pågår bland annat genom NAPCORE och ny lagstiftning (Trafikverket, 2024). C-ITS förutsätter att fordon, infrastruktur och andra aktörer kan utbyta säkra och tillförlitliga meddelanden. Trafikverket anger också att data behöver tillhandahållas genom en säker kanal och att informationens autenticitet måste kunna säkerställas, så att mottagaren kan verifiera att den kommer från Trafikverket (Trafikverket, 2024; Trafikverket, 2024). Sammantaget så visar det här på att ITS inte är en färdigutvecklad rent tekniskt eller juridiskt, det finns dock fortfarande lärdomar att dra från den forskning som gjorts inom ITS.

2. Problemställning

Som visas i 1.1 så har intrång på bana fortsatt att vara ett problem inom luftfarten. Den redovisade statistiken visar svenska förhållanden, men internationella siffror från bl.a. USA (FAA, 2026) följer ungefär samma mönster; trots stora satsningar så minskar inte rullbaneintrången som önskat. Tittar man specifikt på den del av intrången som orsakas av markfordon så ställde vi oss frågan om det finns teknologi utvecklad för intelligenta transportsystem (ITS) för fordon på väg som skulle kunna tillämpas inom fordonstrafik på flygplats. För att kunna svara på den frågan blev slutsatsen att ett första steg måste vara att göra en kartläggning av området för att:

1. utröna i vilken utsträckning detta har gjorts
2. om det inte har gjorts, undersöka vilka ITS-relaterade teknologier och metoder från vägsidan som skulle kunna vara tillämpbara för fordon på flygplats

Ovanstående frågor ligger alltså till grund för den här förstudien.

2.1. Avgränsningar

Förstudiens syfte är enbart att kartlägga nuläget för att identifiera möjligheter baserat på behov, likheter och skillnader mellan domänerna. Det är således inte att utveckla några nya metoder/teknologier. Vidare så är fokus främst på mindre flygplatser där vi ser att utmaningarna av kostnadsskäl är stora för införandet av ny teknologi. Dock finns inget som hindrar att identifierade möjligheter här skulle kunna vara tillämpliga även på större flygplatser. På samma vis har vi främst fokuserat på en svensk kontext, men resultaten bör kunna överföras till ett internationellt sammanhang om man tar hänsyn till nationella variationer i exempelvis lagstiftning.

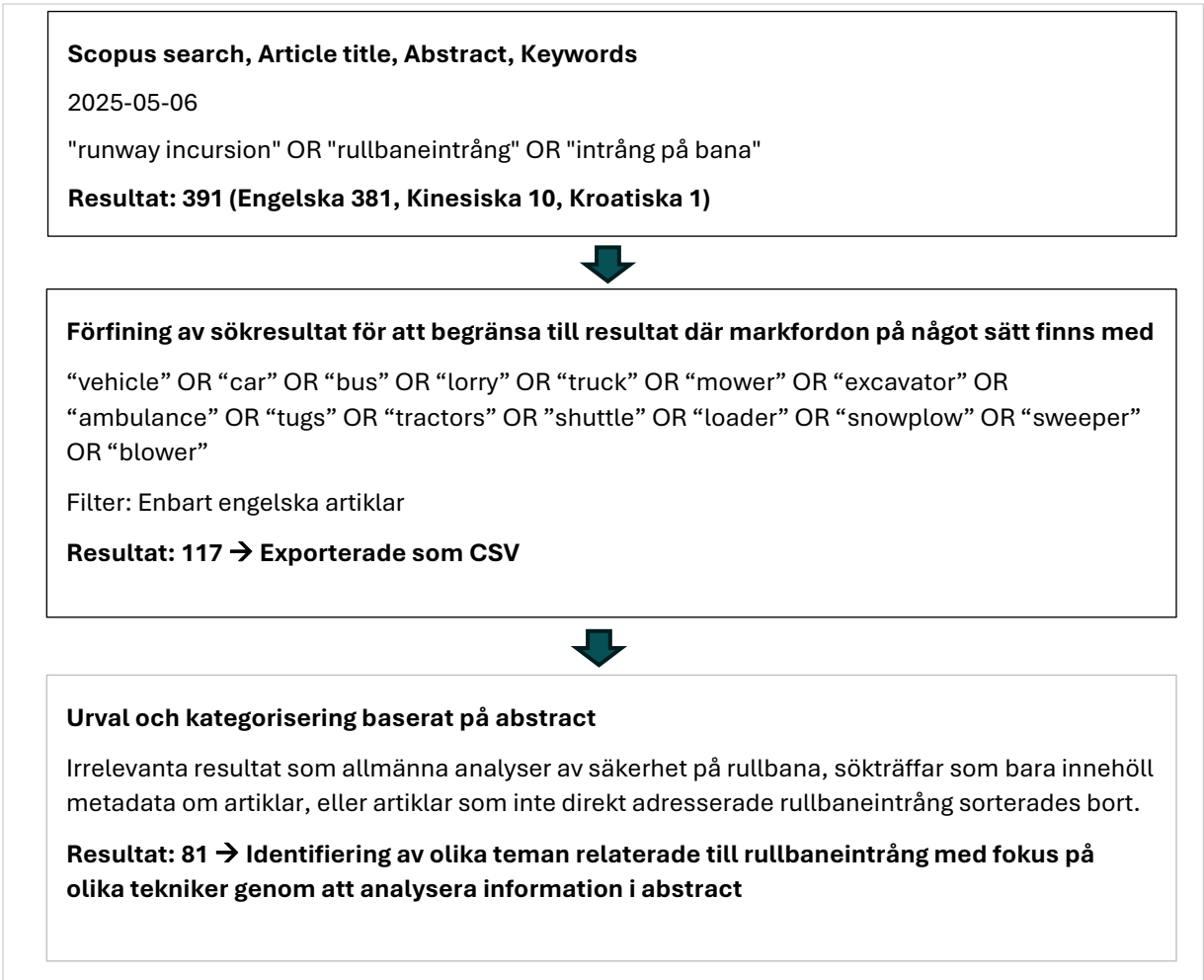
3. Metod

Den huvudsakliga metoden för projektet var en genomgång av publicerad litteratur inom de studerade områdena. Som komplement har också en bredare sökning gjorts för att fånga upp sådant som inte alltid täcks av forskningspubliceringar, exempelvis i form av industriell utveckling. Vidare har kontakter tagits med personer som har insikt i den dagliga flygplatsdriften för att få fler synvinklar på problematiken än det vi kan utläsa av statistiken runt rapporterade händelser och publicerad forskning. Efter att insamling av data genomförts grupperades resultaten i olika kategorier i de respektive domänerna. Dessa kategorier jämfördes sedan för att identifiera områden där ITS-lösningar skulle kunna användas för att utveckla lösningar för förhindrande av rullbaneintrång orsakade av markfordon.

3.1. Genomgång av befintlig litteratur inom rullbaneintrång

Litteraturgenomgången genomfördes i flera led bestående av en strukturerad sökning i Scopus, en friare sökning med andra verktyg/databaser, fria sökningar i sökmotorer, ”Googling”, samt en riktad sökning mot projekt inom Single European Sky ATM Research (SESAR) då de projekten inte alltid fångas upp av traditionella akademiska publiceringskanaler. En slagning i VTI:s DiVA gav enbart en träff för runway incursion, men ingen alls för vare sig rullbaneintrång eller intrång på bana.

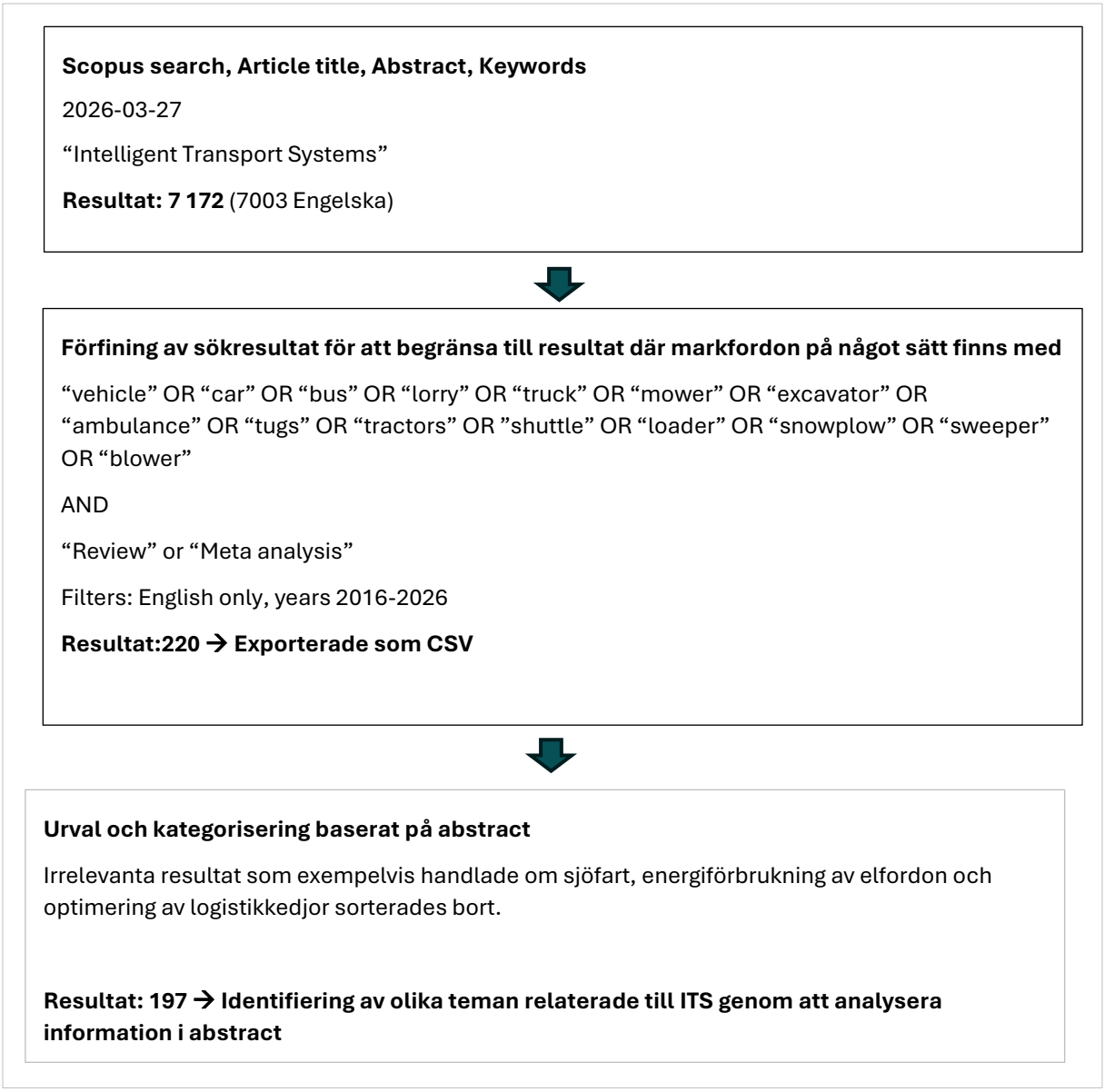
Den strukturerade sökningen av information i databasen Scopus utfördes på följande sätt: En första sökning gjordes för att få ut artiklar som på något sätt relaterar till rullbaneintrång. Resultaten filtrerades i två led för att få fram enbart relevanta artiklar, vilka sedan användes för att identifiera olika teman relaterade till rullbaneintrång. Utvärderingen av innehållets relevans gjordes initialt genom läsning av abstract och om oklarheter runt relevans för studien fanns så lästes hela artikeln. Fokus för tematiseringen var att se vilka olika typer av tekniker som använts och hur, exempelvis mjuka avgränsningar med geofencing eller användande av GNSS-positionering, samt att identifiera andra specifika teman som exempelvis explicita kopplingar till vägtrafik.



Figur 4. Strukturerad sökning i Scopus efter artiklar relaterade till rullbaneintrång och markfordon.

3.2. Sammanställning, intelligenta transportsystem (ITS) för väg

Sammanställningen av litteratur inom ITS utfördes enligt samma princip som processen för litteraturen gällande rullbaneintrång. En sökning skedde först i Scopus men nyckelbegreppet ”Intelligent Transport Systems”. Avsökningen begränsades sedan med söktermerna som är beskrivna i Figur 5. En avgränsning till endast översikter och metarapporter gjordes då det annars hade varit en för stor mängd litteratur att gå igenom inom ramen för projektet. En genomgång av totalt 220 abstract genomfördes. Abstracten kategoriserades efter innehåll inom kategorierna: 5G/6G/Internet of Things, VANET, Artificiell intelligens, Fordon-/infrastrukturdetektering, Tillit/integritet, Automation, Oskyddade trafikanter, Cybersäkerhet, Trafikledning, Trafikflöde, Trafikljus, Miljö, (e-)HMI och Policy/Acceptans.



Figur 5.Strukturerad sökning i Scopus efter av artiklar relaterade intelligenta transportsystem (ITS) för vägtrafik.

3.3. Samtal med fältpersonal

Som ett komplement till litteraturgenomgångarna och analyserna av dessa genomfördes också tre semistrukturerade intervjuer med personer som jobbar inom fälthållningen på tre svenska flygplatser. Syftet med detta var att få några aktuella lägesbilder, inte att genomföra en total kartläggning av situationen på flygplatserna. Totalt intervjuades fyra personer, där alla hade lång erfarenhet, minst åtta år, av fältarbete och samtliga hade någon form av specialist- eller ledarroll. Kontakt togs genom flygplatsernas officiella kontaktkanaler via e-post. De ombads att skicka förfrågan vidare till relevant person i flygplatsens driftorganisation. Av integritets- och sekretesskäl kommer vi inte redovisa vilka flygplatser, men de valdes ut för att representera olika typer av mindre flygplatser. Av samma skäl redovisar vi inte mer information om respondenterna. Intervjuerna genomfördes som ett samtal över Teams. En samtalsmall följdes för att hålla samtalen inom samma ramar, men respondenterna fick också i hög utsträckning möjlighet att själva berätta om sina erfarenheter av rullbaneintrång och sin syn på hur det fungerar idag. Samtalsmallen innehöll fem olika teman som användes för att leda samtalet: Största utmaningen ur ett fordonsförarperspektiv för att undvika rullbaneintrång, skillnader i risk mellan olika

typer av fordonstrafik, hur mycket problematiken med rullbaneintrång diskuteras bland fältpersonal, vad som upplevs som viktigast för att undvika rullbaneintrång samt vad man idag upplever att man saknar för att minska risken för rullbaneintrång. Samtalen dokumenterades genom att båda intervjuarna tog anteckningar som sedan synkades.

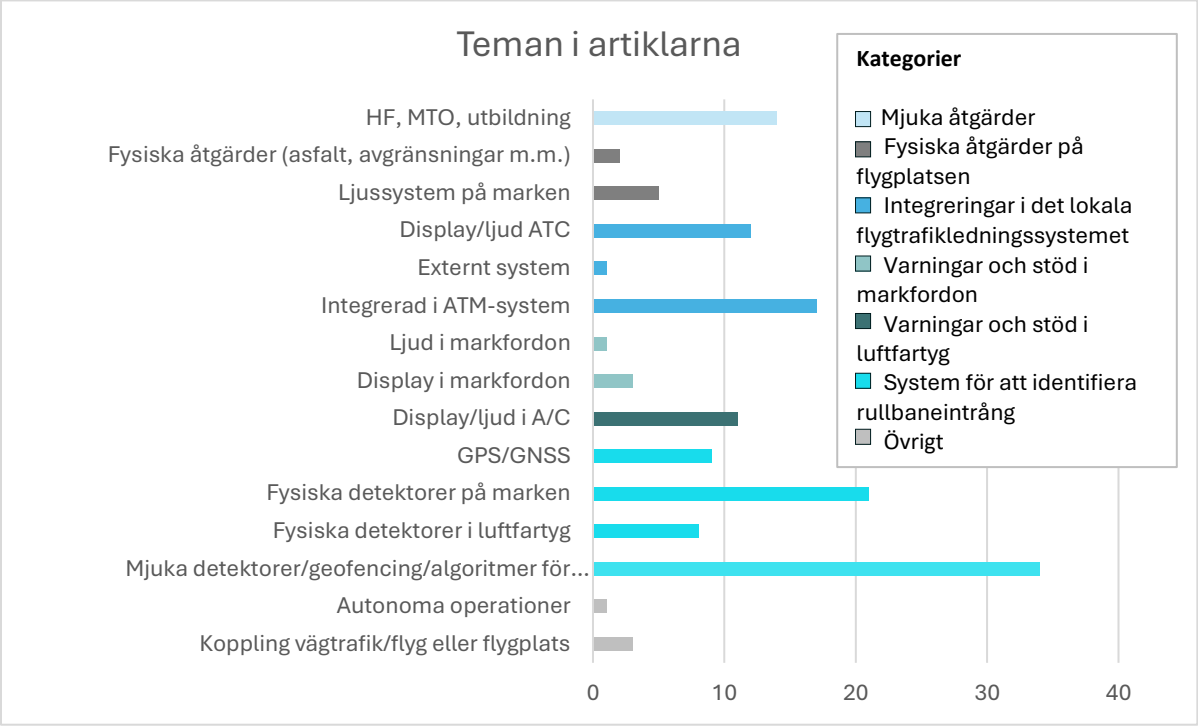
4. Resultat

Resultaten från genomgången av forskning inom de båda områdena redovisas nedan i en tematisk uppdelning. Strukturen i uppdelningen av resultat är liknande men inte identisk mellan de båda områdena. Här redovisas också resultaten av samtalen med fälthållningspersonal.

4.1. Identifierade teman i forskning runt rullbaneintrång

I genomgången av de 81 artiklar som fanns kvar efter filtrering (Figur 4) identifierades 15 olika teman, vilka i sin tur kunde kategoriseras i sju olika grupper: *Mjuka åtgärder*, *fysiska åtgärder på flygplatsen*, *varningar och stöd i luftfartyg*, *varningar och stöd i luftfartyg*, *integrering i det lokala flygtrafikledningssystemet*, *system för att identifiera rullbaneintrång* samt *övrigt*. I Figur 6 redovisas fördelningen av antal artiklar i de olika temana samt de övergripande kategorierna. Notera att antalet summerar upp till mer än 81 då en och samma artikel kan kopplas till flera olika kategorier. Det intressanta i det här sammanhanget är dock inte det exakta antalet för en viss kategori, utan att storleksordningarna pekar på var fokus i forskningen om rullbaneintrång har legat.

Det mesta handlar om detektering av själva intrången och därefter följer integrering i ATM-systemet. Även åtgärder som riktar in sig på mjuka värden återfinns i relativt många fall. Direkta kopplingar till markfordon eller vägtrafik är mycket få. Nedan följer en kortare genomgång med exempel från de mest aktuella och/eller intressanta artiklarna inom respektive kategori för att belysa vad som gjorts inom området.



Figur 6. Identifierade teman i identifierade artiklar som handlar om rullbaneintrång och som på något sätt också relaterar till marktrafik på flygplatser.

4.1.1. Mjuka åtgärder

Det som har kategoriserats som mjuka åtgärder är allt som inte har ett tekniskt fokus, utan där tyngdpunkten ligger på utbildning, human factors-frågor (HF) eller människa-teknik-organisation (MTO). Bhargava och Marais analyserar amerikanska utredningar där ”human error” angetts som orsak (Bhargava & Marais, 2020) med avsikten att utröna vad bakomliggande orsaker är. De identifierar ett antal teman och konstaterar att det sällan anges vad som ligger bakom de felbeslut som lett till rullbaneintrånget. Shariahri och Aydin nämner också human error, men har ett bredare perspektiv där

man identifierar faktorer som engagemang i högsta ledningen och utbildning som mycket viktiga faktorer (Shahriari & Aydin, 2019). Kennedy et al. genomförde en serie av experiment för att undersöka hur automation påverkar människan i relation till upptäckt av rullbaneintrång (Kennedy, et al., 2017).

4.1.2. Fysiska åtgärder på flygplatsen

Ett väldigt konkret sätt att förebygga rullbaneintrång är att jobba med fysiska åtgärder på flygplatsen genom utformning av bansystem eller ljussystem. Dy och Mott noterar att mycket fokus runt rullbaneintrång har legat på flygplatser med flygtrafikledning. De föreslår ett system för att med ljussignaler som markerar status på banan, d.v.s. om det befinner sig luftfartyg på banan med input från luftfartygens ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) utsändningar (Dy & Mott, 2024). En viktig del i projektet var att hitta enkla, flexibla och billiga lösningar. Även exempelvis Li et al. (Li, et al., 2021) studerade ett lampsystem för att visa banans status. En något ovanligare ansats presenterades i branschtidningen Jane's Airport Review (Anon., 2006) där det testades att med stora skärmar dölja flygplan som befann sig på taxivägar som inte riskerade att leda till rullbaneintrång. Tanken var då att skapa mer fokus på luftfartyg (och annat) som faktiskt befann sig nära banan och kunde utgöra ett potentiellt problem.

4.1.3. Integrering i det lokala flygtrafikledningssystemet

Att göra flygtrafikledning uppmärksam på pågående eller sannolika rullbaneintrång är en viktig del i förhindrandet av rullbaneintrångsrelaterade olyckor. En typ av forskning inom den här gruppen rör hur själva analysen och identifieringen av potentiella problem kan förbättras för att ge flygledningen ett bättre stöd, exempelvis Tang et al. (Tang, et al., 2014). Biella et al. utforskade ett koncept för att identifiera konflikterande klareringar (Biella, et al., 2013). Det skulle exempelvis kunna vara att ett fordon fått klart att korsa banan samtidigt som ett luftfartyg fått klart starta. Problemet kan då identifieras innan den faktiska situationen uppstår. Att tidigt förutsäga rullbaneintrång med en ny prediktiv ansats utforskades av Shi et al., vilka också inkorporerade förslag till åtgärder i systemet till fordonsförare, piloter och/eller flygledare (Shi, et al., 2013). De konstaterar att det är helt beroende av korrekt sensordata

4.1.4. Varningar och stöd för markfordon

Shi et al. tog fram ett system för att detektera risken för såväl som att ge direkta instruktioner till markfordon och luftfartyg för att undvika rullbaneintrång (Shi, et al., 2013). Ett uttalat mål var att automatisera processen i så hög utsträckning som möjligt för att utesluta mänskliga fel. Utveckling av tjänster baserade på data från ett Advanced Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS, system med multipla sensorer/datakällor, bland annat markradar, för övervakning av maktrörelser) för att ge stöd åt piloter och markfordonsförare. Utvärderingen (simulering) gjordes dock bara med piloter. Norris behandlade möjligheten att, särskilt på medelstora flygplatser (i amerikanska mått mätt), använda teknik baserad på ultraviolett ljus för att underlätta för fordonsförare såväl som för piloter och flygledare vid dåliga siktförhållanden (Norris, 2001). Även vid den tidpunkten, 2001, menar Norris att ett mer än decennielångt arbete och stora investeringar för att minska rullbaneintrång hade gett förhållandevis lite resultat.

4.1.5. Varningar och stöd i luftfartyg

Noterbart i den här gruppen, liksom för varningssystem för markfordon och integrering i flygtrafikledningssystem, är att det är relativt gamla referenser. Guilloton et al. presenterade en översikt om flygplatsnavigering och vilka stödsystem som finns för piloterna vid taxning, men också för flygledningen och markfordon (Guilloton, et al., 2011). En delmängd av detta handlar om att förhindra rullbaneintrång, även om översikten är bredare än så. Vernaleken et al. behandlar hur man skulle kunna integrera dagsaktuell information i den moving map som piloterna har som stöd vid navigering på flygplats i stället för att behöva lita på information som skickas ut i uppdateringscykler var 28 dag (Vernaleken, et

al., 2008). Till skillnad från de föregående som fokuserade på navigeringen, så adresserade Ludwig på ett varningssystem (ADS-B-baserat), specifikt för att hjälpa till att förhindra rullbaneintrång (Ludwig, 2007).

4.1.6. System för att identifiera rullbaneintrång

Detektering av inträffade och möjliga rullbaneintrång är en tydlig grupp och är en förutsättning för olika former av varnings- och stödsystem och således med ett stort överlapp med andra kategorier, som integrering i flygledningssystemet. Kruse et al. föreslår en sannolikhetsbaserad generativ modell för att bygga en agent som övervakar trafiken på flygplatsen och som kan förutse rullbaneintrång (Kruse, et al., 2024). Även Deglurkar använder en sannolikhetsbaserad ansats för att få ett system som fungerar under osäkerhet (Deglurkar, et al., 2024). Ansatsen används i två olika fall, ett för självkörande bilar och ett för upptäckt av rullbaneintrång. Även om det inte är en ITS-lösning så finns en koppling mellan vägtrafik och rullbaneintrång. Liksom i de föregående exemplen använder Tang och Ji (Tang & Ji, 2023) metoder (Petri net) för att förutse möjliga intrång tidigt. Alla tre exemplen är relativt nya och rör sig i samma riktning – detektering genom mjukvarubearbetning av sensordata.

4.1.7. Övrigt

I gruppen övrigt återfinns relaterade artiklar som inte riktigt passade in i de identifierade tematiska grupperna, men som ändå bedömdes relevanta. Konceptet autonom taxning utforskades av Liu och Ferrari genom att använda multipla datakällor, bland annat bildinformation från kameror som processades med hjälp av ett system baserat konvolutionära neurala nätverk (CNN) för bildanalys. Systemet kombinerade sedan detta med annan information som flygplatskartor och möjlighet att känna igen talade instruktioner från flygledningen. Simuleringar i en realistisk miljö visade att konceptet skulle kunna vara användbart för autonom taxning i framtiden (Liu & Ferrari, 2019). Pollina och Desenfans tar upp system för förhindrande av rullbaneintrång, det här fallet det franska systemet E-trackair, som en högriskapplikation som använder sig av GNSS-data. I artikeln föreslås en ny teknisk ansats för att lättare upptäcka och förhindra exempelvis GNSS spoofing (Pollina & Desenfans, 2019). Luo et al. är en av få identifierade artiklar som explicit adresserar teknik från vägtrafikområdet. De presenterar Vehicle Ad hoc NETwork (VANET) som en teknisk lösning att använda i applikationer för förhindrande av rullbaneintrång. Artikeln i sig fokuserar dock på rent tekniska frågor runt arkitekturen i inbäddade system och inte på operativa tillämpningar eller koncept (Luo, et al., 2016).

4.1.8. Fri sökning efter övriga initiativ och projekt

Projekt inom Single European Sky ATM (Air Traffic Management) Research (SESAR) rapporterar till stor del inom programmet och täcks därmed inte alltid av databaser med vetenskapliga publikationer. Inom den första vågen av SESAR[1] bedrevs projekt 06.07.01, Alerts for vehicle drivers. (NORACON, SEAC, and DSNA, 2016). Projektet utforskade både lokalt generade trafikvarningar och intrångsvarningar såväl som centralt skapade och sedan distribuerade dito. Systemet syftade till att ge en varning till fordonsförarna via en moving map och varningarna fanns i två olika allvarlighetsgrader beroende på situation.

SESAR2020 Pj03b Safe Airports and Flights for Europe levererade fyra olika så kallade solutions, men ingen av dem relaterade till markfordon, fokus var på luftfartyg och till viss del flygledningen (DSNA, 2020). På samma sätt relaterar PJ03b-05 som demonstrerades i demoprojektet STAIRS enbart till varningssystem för piloter (Honeywell, Airbus, DSNA, Eurocontrol, Thales, Pansa, 2022). Genom SESAR Deployment Manager (DM) startades ett initiativ 2016 för att harmonisera säkerhetsnät inom ATM på 15 större flygplatser i Europa (SESAR DEPLOYMENT MANAGER, u.d.), men det faller något utanför studiens område då vi i första hand riktar oss mot mindre flygplatser.

[1] Första vågen i SESAR benämns i retrospektiv ofta SESAR1 för att skilja den från våg två (SESAR2020) och tre (SESAR3), men kallades under tiden enbart för SESAR. Begreppen projekt och arbetspaket (WP) har också skiftat i betydelse mellan de olika SESAR-vågorna.

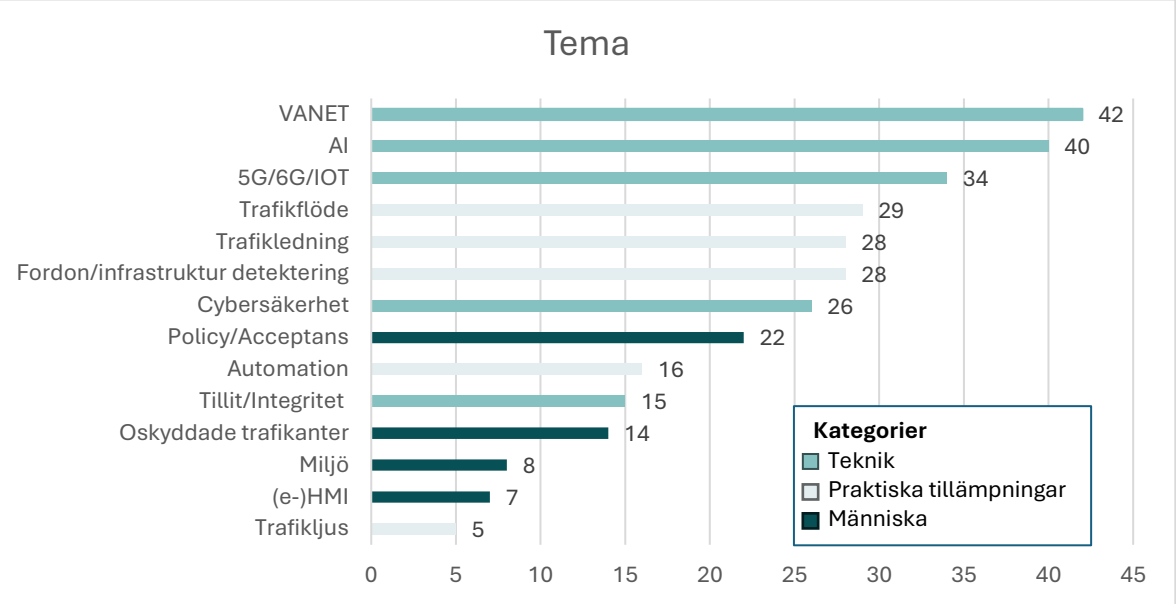
Förutom ovan nämnda projekt och initiativ finns ett antal i sammanhanget relevanta projekt (ej SESAR) som bör nämnas: NUP2+, DRIWS och Arlanda Safety Net.

Inom North European ADS-B Network Update Programme, Phase II (NUP2+) testades redan 2006 varningssystem för rullbaneintrång som byggde på tekniken VDL Mode4 och som inkluderade integrerade varningar för fordonsförare såväl som för piloter och flygledare (EU-kommisionen/TRIMIS, u.d.) [2].

Projektet Digital Runway Incursion Warning System utfördes (DRIWS) och utvecklades sedan till en kommersiell produkt med samma namn (Didoff, et al., u.d.). Utvecklingen skedde initialt på Örnsköldsviks flygplats men flyttades senare till Umeå. Systemet bygger på geofencing med varning i fordonen om man passerar en viss punkt/område med för hög hastighet. I en mer avancerad variant finns också kommunikation med flygledningen som kan ge klareringar i systemet, vilket också skapar en gemensam lägesbild och reducerar risken för missförstånd i kommunikationen. Projekt togs vidare i Arlanda Safety Net som byggde på DRIWS men med en utökad funktionalitet för såväl flygledning som fordonsförare (Didoff, 2020).

4.2. Identifierade teman för sammanställning av ITS-lösningar för vägtrafik

Litteraturen delades efter genomgång av abstract in i olika teman i Figur 7. Artiklarna innehöll en till fem av de nedan listade teman. För att underlätta presentationen i rapporten skapades tre överordnade temakategorier: *Teknik, Praktiska tillämpningar* och *Människan*.



Figur 7. Teman bland artiklar relaterade till forskning om ITS. En artikel kan relatera till flera (ett till fem) olika teman.

Nedan följer en kort översikt av de återkommande teman som fanns vid sammanställningen av ITS-litteratur.

[2] Direkta publicerade referenser för NUP2+, exempelvis slutrapport, saknas online. Referensen avser enbart en övergripande beskrivning av projektet. Nylin deltog dock personligen i valideringen av system för detektering av rullbaneintrång och varningssystem.

4.2.1. Kategori teknik

VANET

Vehicle Ad-hoc Networks, VANET, är en teknisk lösning som berörs i ungefär en femtedel av alla översikter av ITS. VANET möjliggör direkt kommunikation mellan fordon samt mellan fordon och väginfrastruktur, exempelvis genom V2V-, V2I- och V2X-kommunikation, utan att kommunikationen behöver bygga på en fast nätverksstruktur (Cynthia, et al., 2023; Tirumalasetti, et al., 2026; Jurczenia & Rak, 2022). Ett exempel är två fordon som utbyter information om ett hinder eller en incident på vägen, där VANET kan användas för att sprida säkerhetsrelaterad realtidsinformation mellan fordon och infrastruktur (Hamdi, et al., 2020; Hamdi, et al., 2021; Maru, et al., 2016). Tekniken kan även ses som en möjliggörande kommunikationsplattform för mer avancerad samordning mellan fordon i rörelse, exempelvis i situationer där uppkoppling och V2V-kommunikation behöver upprätthållas i motorvägsmiljöer eller vid filbyten (Naskath, et al., 2022). I artiklarna beskrivs VANET som centralt för att möjliggöra ITS-applikationer kopplade till trafiksäkerhet, trafikledning och effektivare trafikflöden (Maru, et al., 2016; Cynthia, et al., 2023; Hamdi, et al., 2020; Jurczenia & Rak, 2022).

Ett centralt forskningsspår är utveckling och utvärdering av kommunikations- och datadirigeringslösningar. Eftersom fordon i VANET fungerar som rörliga noder och nätverkstopologin förändras kontinuerligt, blir datadirigering, nätverksstabilitet, och latens centrala tekniska utmaningar (Lansky, et al., 2022; Tirumalasetti, et al., 2026). Mobilitetsmodeller och mobilitetsprediktion används för att förbättra nätverksstabilitet och minska latens i både stadstrafik och motorvägsscenarier, där exempelvis fordonshastighet, filbyten och förändrade kommunikationslänkar påverkar nätverkets prestanda (Lansky et al., 2022; Naskath et al., 2022; Tirumalasetti et al., 2026). VANET studeras även som möjliggörare för avancerade ITS-funktioner såsom trafikledning, trafikflödesoptimering, incidentdetektion, samordning med trafikljus samt integration med IoT (Internet of Things), edge computing och molnplattformar (Jurczenia & Rak, 2022; Meneguette, et al., 2018; Meneguette, et al., 2022; Zalte, et al., 2022; Musa, et al., 2022).

Artificell intelligens

Ett tema i ITS-litteraturen som har blivit allt mer framträdande under de senaste åren är hur artificiell intelligens, AI, kan tillämpas inom intelligenta transportsystem. Flera översikter beskriver AI som nödvändigt för att utveckla smarta, datadrivna och mer responsiva transportsystem (El Haddad Imane, et al., 2025; Ghasemi, et al., 2025; Malik, et al., 2023). Många arbeten behandlar trafikstyrning och trafikledning, där maskininlärnings- och djupinlärningsmodeller används för att förutsäga trafikflöden, restider och köbildning (Ali & Mahmood, 2018; Deshmukh, 2018; Kashyap, et al., 2022; Soussi Niaimi, et al., 2021). Andra studier beskriver prediktionsmetoder mer generellt inom ITS och visar hur neurala nätverk, maskininlärning och djupinlärning används för att stödja trafikledning, ruttplanering och hantering av trängsel (Kosolsombat & Saraubon, 2018; Montoya-Torres, et al., 2021).

AI används även för signalstyrning och optimering av trafik i korsningar. Här behandlas exempelvis expertbaserade system, mikrosimulering och fordonsdata för att optimera signalplaner, liksom metoder för autonom korsningshantering där fordonens rörelser och tillträde till korsningar schemaläggs och optimeras (Abbas-Turki, et al., 2023; Dedić & Vujić, 2024). Ett annat tydligt spår i materialet rör övervakning och analys av trafiktillstånd, inklusive fordonsklassificering, detektion och spårning med hjälp av kameror, sensorer och bildanalys (Gholamhosseinian & Seitz, 2021; Visconti, et al., 2025; Vishwakarma & Jain, 2023). AI-baserade metoder förekommer också i studier av väg- och miljöövervakning, där maskininlärning och djupinlärning används för att identifiera vägnät, analysera miljöer och stödja trafikrelaterade tillämpningar (Lu & Weng, 2025; Telikani, et al., 2024).

5G/6G/Internet of Things

VANET kan idag betraktas som den konceptuella och historiska grunden för fordonskommunikation, medan IoT i kombination med 5G och 6G utgör den dominerande tekniska infrastrukturen som realiserar,

skalar och vidareutvecklar VANET-idéerna inom framtidens intelligenta transportsystem (Rehman, et al., 2020; Zalte, et al., 2022). Den samlade bilden är att utvecklingen mot 5G och 6G i kombination med Internet of Things (IoT) behövs för framtidens intelligenta transportsystem. Artiklarna trycker på att det behövs en övergång från traditionella, fristående kommunikationslösningar till cellulära, flerlagersbaserade och hybrida V2X-arkitekturer såsom C-V2X, 5G-V2X och framtida 6G-stödda nätverk (Ansari, 2021; González, et al., 2022; Ali, et al., 2026; Kandu, et al., 2025). Dessa tekniker eftersträvar högre tillförlitlighet, högre datakapacitet, låg latens och stöd för avancerade kooperativa tillämpningar.

IoT och Internet of Vehicles (IoV) möjliggör integrering av fordon, väginfrastruktur, sensorer och moln/edge-resurser, vilket skapar datadrivna och kontextmedvetna transportsystem. Edge- och fog computing, mjukvarudefinerade strukturer och Multiple Radio Access Technology-lösningar framhålls som viktiga komponenter för att hantera skalbarhet i täta trafikmiljöer (Mohiddin, et al., 2024; Meneguette, et al., 2018; Musa, et al., 2022; Panigrahy & Emany, 2023) .

Cybersäkerhet

Den snabbt ökande uppkopplingsgraden, antalet sensorer och fordonens beroende av realtidsinformation gör ITS-system särskilt sårbara för cyberattacker som kan påverka trafiksäkerhet och samhällskritiska funktioner (Javed, et al., 2018; Le, et al., 2018; Zeddini, et al., 2022). Studierna pekar på att uppkopplade fordon, V2X-kommunikation, IoV-arkitekturer och trafikstyrningssystem skapar nya angreppsytor där attacker kan riktas mot både kommunikation, dataflöden, fordonssystem och infrastruktur (Haddaji, et al., 2024; Wellens-Miles, et al., 2025). Återkommande hot omfattar exempelvis spoofing och jamming genom manipulerade meddelanden och falska positionsdata, obehörig åtkomst, attacker mot fordonsnära sensorer samt intrång i eller manipulation av fordonens elektroniska styrenheter och trafikstyrningssystem (Putro, et al., 2023; Sri & Lakshmi, 2024; Zeddini, et al., 2022).

Litteraturen fokuserar också på möjliga motåtgärder, där autentisering, säkra kommunikationsprotokoll, intrångsdetektion, riskanalys, säker nyckelhantering och adaptiva säkerhetslösningar lyfts fram som centrala komponenter i framtida ITS- och Internet of Vehicles (IoV)-system (Haddaji, et al., 2024; Jabbar, et al., 2022; Javed, et al., 2018; Sri & Lakshmi, 2024). Vissa studier behandlar även blockkedjeteknik (blockchain) som en möjlig teknik för att stärka dataintegritet, spårbarhet och säker informationsdelning i C-ITS och IoV-miljöer (BelMannoubi, et al., 2023; Jabbar, et al., 2022). Sammantaget visar litteraturen att cybersäkerhet behöver integreras i arkitektur, kommunikation, riskhantering och drift av framtidens intelligenta transportsystem (Javed, et al., 2018; Le, et al., 2018; Wellens-Miles, et al., 2025).

Tillit/integritet

Den granskade litteraturen behandlar tillit (*trust*) och integritet (*privacy*) som centrala förutsättningar för acceptans och storskalig användning av intelligenta transportsystem. Eftersom dessa system bygger på kontinuerligt informationsutbyte uppstår betydande utmaningar kopplade till dataskydd, identitetshantering, autentisering och tillförlitlighet i både data och avsändare (Le, et al., 2018; McDonnell, et al., 2021; Rehman, et al., 2020). Studierna visar att bristande tillit till data, noder eller kommunikationsparter kan påverka trafiksäkerhet, systemprestanda och användarförtroende, särskilt i IoV-, VANET- och C-ITS-miljöer där beslut baseras på information från flera distribuerade aktörer (Agarwal & Bhardwaj, 2016; BelMannoubi, et al., 2023; Rehman, et al., 2020).

Flera arbeten lyfter fram blockkedjeteknik för att stärka tillit, spårbarhet, dataintegritet och säker informationsdelning i ITS och IoV. Samtidigt bör blockkedjeteknik inte beskrivas som en generell integritetslösning i sig, utan snarare som en teknik som kan kombineras med exempelvis kryptografiska metoder, pseudonymer och integritetsskyddande autentisering för att skydda användares identitet och rörelsemönster (BelMannoubi, et al., 2023; Butt, et al., 2019; Jabbar, et al., 2022). En annan teknik är federerad inlärning (federated learning) som med andra distribuerade inlärningsmetoder lyfts fram som lovande angreppssätt för uppkopplade och autonoma fordon, eftersom modeller kan tränas gemensamt utan att känsliga rådata behöver delas centralt (Ali, et al., 2025).

4.2.2. Kategori praktisk tillämpning

Det finns ett stort antal olika former av praktiska tillämpningar, varför vi har valt att dela upp dem i fem olika underkategorier: *Trafikljus, trafikflöde, trafikledning, automation och fordon-/infrastrukturdetektering*.

Trafikflöde

Inom ITS är trafikflöde ett kärnproblem där målet är att hantera ökande trafikvolymer, trängsel och begränsad infrastruktur genom datadrivna och adaptiva lösningar. Flera översikter pekar särskilt på neurala nätverk, deep learning-arkitekturer och spatiotemporala grafneurala nätverk som centrala metoder för att förutse trafikflöden, identifiera potentiella flaskhalsar och möjliggöra mer proaktiv trafikledning (Ali & Mahmood, 2018; Deshmukh, 2018; Kashyap, et al., 2022; Medina-Salgado, et al., 2022; Rao & Selvakumar, 2024).

Andra arbeten fokuserar på operativ optimering och styrning av trafikflöden, exempelvis genom adaptiv signalstyrning, signalplanoptimering, simulering, variabla hastighetsgränser och realtidsbaserad smart trafikstyrning. Här framhålls både modellbaserade och datadrivna metoder som viktiga för att kunna anpassa styrningen efter aktuell belastning och därmed minska köbildning och ineffektivitet i trafiknätet (Ahmed & Fragonara, 2021; Dedić & Vujić, 2024; Jain, et al., 2023; Lahmiss & Khatory, 2020; Mrad & Mraihi, 2023).

Trafikledning

Centrala tillämpningar inom trafikledning för ITS omfattar övervakning av trafikläget, incident- och störningshantering, dynamisk ruttledning, prioritering av kollektivtrafik och utryckningsfordon samt samordning av trafiksignaler och trafikflöden över större områden. Litteraturen visar att trafikledning i ITS i ökande grad bygger på datadrivna lösningar där information från fordon, infrastruktur, sensorer och digitala plattformar används för att stödja övervakning och operativ styrning (Ajmar, et al., 2019; Javed, et al., 2018; Montoya-Torres, et al., 2021).

Teknologier som VANET, IoV och V2V/V2I-kommunikation möjliggör snabb spridning av trafikinformation och stärker samspelet mellan fordon, infrastruktur och trafikledningsfunktioner. Flera källor beskriver hur fordonsnätverk (vehicular networks) och IoV kan användas för trafikledning, säkerhetsvarningar, incidentinformation, ruttval och förbättrad trafikhantering i urbana miljöer (Cynthia, et al., 2023; Debnath & Saha, 2020; Hamdi, et al., 2020; Jurczenia & Rak, 2022).

Incident- och störningshantering är ett återkommande tillämpningsområde. Litteraturen behandlar bland annat tidig incidentdetektion kan minska risker och förbättra framkomlighet under avvikande trafikförhållanden (Altaf & Kaul, 2021; Hamdi, et al., 2020; Lakshmi & Joseph, 2022; Luther, et al., 2023). Metoder för att förutspå störningar är bland annat simuleringsmodeller, dataanalys och optimeringsmetoder (Alazawi, et al., 2025; Do & Tran, 2025; Javed, et al., 2018; Kosolsombat & Saraubon, 2018; Montoya-Torres, et al., 2021).

Vidare framhålls betydelsen av trafikledningscentraler, gemensamma dataplattformar och interoperabla system för att hantera komplexa urbana trafikmiljöer. Ajmar et al. beskriver exempelvis behovet av att integrera data från olika system i trafikledningssystem, medan Cordoș et al. och Lu & Schindler lyfter interoperabilitet, digital infrastruktur och samordning som viktiga förutsättningar för framtida ITS och kooperativ/automatiserad (Ajmar, et al., 2019; Cordoș, et al., 2025; Lu & Schindler, 2021).

Fordon-/infrastrukturdetektering

Fordonsdetektering inom ITS används i praktiken för trafikövervakning, trafikledning, säkerhet, prioritering av utryckningsfordon samt förar- och fordonsstöd (Al-Smadi, et al., 2016; Dileep, et al., 2025; Gholamhosseinian & Seitz, 2021). Tillämpningarna bygger i stor utsträckning på kamerabaserade system och bildanalys, men kompletteras också med andra sensorer, fordonsdata och kommunikationslösningar

när högre robusthet eller fler datatyper krävs (Al-Smadi, et al., 2016; Kapoor, et al., 2018; Klupacs, et al., 2022). I stadsmiljöer används realtidsdetektering för att mäta trafikflöde, följa fordon över tid och identifiera specifika fordonstyper, vilket kan stödja trafikstyrning och prioritering av exempelvis utryckningsfordon (Dileep, et al., 2025; Gholamhosseinian & Seitz, 2021; Visconti, et al., 2025). Fordonsdetektering omfattar även passagerar- och fordonsbeläggning, vilket kan användas i kollektivtrafik (Kuchár, et al., 2023).

Inom fordonsdetektering ingår även detektering av specifika fordon för att kunna klassificera och känna igen enskilda fordon (Al-Smadi, et al., 2016; Arafat, et al., 2019; Gholamhosseinian & Seitz, 2021). Sådana funktioner möjliggör tillämpningar som automatisk regelövervakning, trafikdataregistrering, parkeringsstyrning och incidentdetektion (Arafat, et al., 2019; Raj, et al., 2025; Sri & Lakshmi, 2024). En återkommande utmaning är att systemen behöver fungera under varierande ljusförhållanden, väder, tät trafik, skymda fordon och nattkörning (Arora & Kumar, 2023; Husain, et al., 2020). Djupinlärningsbaserade metoder används därför allt oftare för att uppnå tillräcklig noggrannhet och robusthet i realtidssystem, särskilt i kamerabaserad fordonsdetektering (Abbas, et al., 2021; Vishwakarma & Jain, 2023).

Infrastrukturdetektering fokuserar på att identifiera och övervaka vägrelaterade objekt och tillstånd (Deng, et al., 2023; Lu & Weng, 2025; Menegazzo & von Wangenheim, 2020). Praktiska tillämpningar omfattar detektering av körfält, vägmarkeringar, trafikskyltar, hastighetsgränser, hinder, vägytans skick och förändringar i vägnätet (Demde, et al., 2021; Ghani, et al., 2021; Gudigar, et al., 2016; Maru, et al., 2016; Lu & Weng, 2025). Dessa funktioner används både i trafikledningscentraler och direkt i fordon, exempelvis inom avancerade förarstödssystem, navigering och automatiserad körning (Hassan, et al., 2021; Kapoor, et al., 2018; Kara, et al., 2023).

Automation

Uppkopplad fordonsteknik är en grundförutsättning för framtidens autonoma fordon där bilar, infrastruktur och trafikledning kan samla in, bearbeta och dela information i realtid (Borra, 2025; Chan & Chin, 2021; Severi, et al., 2018). ITS fungerar därmed som en möjliggörare för automation, eftersom uppkopplad infrastruktur, tillförlitlig lokalisering och datadrivna beslutsstöd behövs för att autonoma fordon ska kunna agera säkert och effektivt i komplexa trafikmiljöer (Borra, 2025; Severi et al., 2018). Automation bör därför inte förstås som ett isolerat fordonsproblem, utan som en systemfråga där fordon, infrastruktur, trafikanter och trafikledning behöver samspela (Anagnostopoulos & Kehagia, 2024; Chan & Chin, 2021). Införandet av autonoma fordon påverkar också vägtrafiksäkerhet, infrastruktur och framtida utformning av transportsystemet, särskilt eftersom automatiserade och manuellt körda fordon kommer att samexistera under en längre övergångsperiod (Anagnostopoulos & Kehagia, 2024; Masello, et al., 2022).

I praktiken används automation idag i flera konkreta trafiksituationer, bland annat genom avancerade förarstödssystem som möjliggör automatisk filhållning och farthållning. Det finns även automation inom trafikledning såsom ruttplanering och trafikflödesprediktion (Chan & Chin, 2021; Kumar & Saha, 2020; Liu, et al., 2023). Ett särskilt tydligt tillämpningsområde är autonom korsningshantering, där uppkopplade och autonoma fordon kan samordna trajektorier och passagetider för att minska antalet konflikter och fördröjningar (Abbas-Turki, et al., 2023). Automation används också för att förbättra trafikflöde och kapacitet, exempelvis genom prediktion av trafikflöden, jämnare körmönster och anpassning av vägutformning till autonoma fordons prestanda (Guerrieri, et al., 2021; Kumar & Saha, 2020). I stadsmiljöer studeras även automatiserade skyttelbussar och delade mobilitetstjänster som komplement till befintliga transportsystem, men integrationen i det befintliga transportsystemet innebär fortfarande organisatoriska och tekniska utmaningar (Elhadja, et al., 2023).

De tekniker som möjliggör automation omfattar bland annat sensorfusion, lokalisering, V2V- och V2X-kommunikation, datadrivna beslutsmodeller och federerad inlärning (Ali et al., 2025; Borra, 2025; Liu et al., 2023; Severi et al., 2018). Dessa tekniker används för att fordon ska kunna tolka sin omgivning, förutse trafikförlopp, fatta beslut i realtid och samverka med andra fordon och infrastruktur (Borra, 2025; Liu et

al., 2023; Severi et al., 2018). Samtidigt finns flera framtida utmaningar kopplade till datatillgång, riskbedömning, robust kommunikation, anpassad infrastruktur, regelverk och användarbeteende (Anagnostopoulos & Kehagia, 2025; Masello et al., 2022). Sammantaget pekar litteraturen på att automation behöver integreras med ITS, trafikledning, vägutformning och dataplattformar för att kunna ge praktisk nytta i framtidens transportsystem (Borra, 2025; Chan & Chin, 2021; Guerrieri et al., 2021; Masello et al., 2022).

Trafikljus

Trafikljus är en central komponent för att hantera kapacitetsbegränsningar, köbildning och återkommande trängsel i stadsmiljöer. Den granskade litteraturen visar en utveckling från traditionell signalstyrning mot mer dynamiska och datadrivna lösningar, där trafikdata, kommunikationssystem och digital infrastruktur används för att förbättra trafikledning (Bıyık & Yigitcanlar, 2020; Cordoş, et al., 2025; Dedić & Vujić, 2024).

Tidigare ITS-lösningar har ofta fokuserat på optimering av cykeltider, medan senare arbeten introducerar mer avancerade metoder såsom expertsystem, realtids- och historiska fordonsdata samt mikrosimulering för att anpassa efter faktisk belastning i nätverket (Dedić & Vujić, 2024). I litteraturen framhålls ett paradigmskifte mot autonom korsningshantering, där uppkopplade och autonoma fordon kan samordna tillträde till korsningar genom optimerade trajektorier och effektiv schemaläggning, snarare än genom traditionell trafikljusstyrning (Abbas-Turki, et al., 2023). I ett sådant scenario skulle de fysiska trafikljusen inte behövas längre, utan alla körtillstånd skulle skickas ut digitalt.

4.2.3. Kategori människan

Policy/acceptans

Användaracceptans påverkas i hög grad av informationskvalitet, systemfunktion och upplevd nytta, vilket gör att tillit och transparens blir centrala faktorer (Hassn, et al., 2016). I litteraturen framhålls även behovet av gradvisa införanden där blandad trafik och samspel mellan fordon, infrastruktur och användare beaktas (Degrande, et al., 2019; Thombare, 2022).

På policynivå betonas vikten av harmoniserade regelverk, standarder och digital infrastruktur för att möjliggöra datadelning och interoperabilitet mellan aktörer (Lu & Schindler, 2021; Mylonas, et al., 2020). Studier visar också att juridiska och tekniska begränsningar kring data och ansvar kräver tydliga ramar för implementering av ITS och C-ITS (Le, et al., 2018).

Utvärdering och uppföljning är centralt för att skapa legitimitet och acceptans. Litteraturen betonar behovet av tydliga indikatorer och metoder för att bedöma effekter på exempelvis säkerhet, effektivitet och miljö (Kolosz & Grant-Muller, 2016). Acceptans stärks när användare och beslutsfattare involveras i planering och implementering, vilket gör policy och acceptans till en avgörande brygga mellan teknik och samhälle (Thomas, et al., 2016; Tomaszewska & Florea, 2018).

Oskyddade trafikanter

Oskyddade trafikanter, såsom fotgängare, cyklister och motorcyklister, utgör en särskilt sårbar grupp i transportsystemet, vilket gör att förbättrad säkerhet kräver en kombination av fysisk infrastruktur, intelligenta transportsystem och användarcentrerade lösningar (Thomas, et al., 2016; Yousif, et al., 2020). Både tekniska och beteenderelaterade faktorer behöver beaktas för att minska risker för oskyddade trafikanter i komplexa trafikmiljöer (Georganti, et al., 2023).

Praktiska åtgärder som lyfts fram inkluderar sammanhängande gång- och cykelnät, trafikseparerade lösningar, sänkta hastigheter och prioritering i korsningar, vilket bidrar till att minska konflikter mellan olika trafikantgrupper (Thomas, et al., 2016). ITS-baserade tillämpningar används också för att upptäcka och varna för oskyddade trafikanter, särskilt i miljöer med hög komplexitet såsom korsningar och tät stadstrafik (Abdi, et al., 2025; Bernas, et al., 2018).

Vidare används prediktiva modeller och dataanalys för att identifiera rörelsemönster hos oskyddade trafikanter och därigenom förebygga kollisioner snarare än att enbart reagera på akuta situationer (Shen, et al., 2022; Vourgidis, et al., 2020). Sådana lösningar möjliggör mer proaktiv trafiksäkerhet men kräver samtidigt hög datakvalitet och samordning mellan fordon, infrastruktur och användare för att fungera effektivt i praktiken (Altaf & Kaul, 2021).

Miljö

Miljö i ITS-sammanhang handlar i första hand om att minska transportsektorns klimat- och energipåverkan genom att reducera utsläpp (Kolosz & Grant-Muller, 2016; Serova & Naniev, 2020). Med förbättrad trafikstyrning, jämnare trafikflöden, kortare restider och minskad köbildning kan ITS bidra till lägre energianvändning och minskade utsläpp (Mitsakis & Kotsi, 2019; Yang, et al., 2020).

Studierna belyser flera praktiska angreppssätt, såsom adaptiv signalstyrning, prioritering av kollektivtrafik och variabla hastighetsgränser (Kolosz & Grant-Muller, 2016; Pogrebinskaya, et al., 2025). ITS används även för att möjliggöra övergången till elektrifierade och uppkopplade fordon genom smart laddning, energihantering och samordning mellan fordon och infrastruktur (Matheri, et al., 2019; Wong, et al., 2026). På systemnivå betonas vikten av att integrera ITS i planering, drift och underhåll av vägnätet för att uppnå långsiktiga klimatmål (Luè, et al., 2016; Serova & Naniev, 2020).

e-HMI

Med vilken modalitet information presenteras (t.ex. visuellt, auditivt eller haptiskt), påverkar förarens uppmärksamhet, förståelse och reaktionsförmåga, vilket gör utformning av HMI till en central del av interaktionen i det uppkopplade transportsystemet (Kapoor, et al., 2018; Tonec Vrančić, et al., 2024) . Praktiska tillämpningar omfattar allt från variabla meddelandeskyltar, in-vehicle varningar och navigationsstöd till mer avancerade e-HMI-lösningar för uppkopplade och kooperativa system (Sharma, et al., 2025; Weibull, et al., 2023).

Informationssystem som ger tidiga, tydliga och situationsanpassade varningar kan förändra förarbeteende och minska olycksrisk, särskilt vid kritiska situationer som korsningar, vägarbetsområden och vid interaktion med utryckningsfordon (Mosunmola Aroke, et al., 2022; Vaitkus, et al., 2016; Weibull, et al., 2023). Även om HMI-lösningar har en stor potential för att öka trafiksäkerheten så betonas risken för informationsöverbelastning och distraktion (Sharma, et al., 2025).

4.3. Samtal med fälthållare

Förhållandena på de utvalda flygplatserna skiljer sig åt med avseende på exempelvis konfiguration av bansystem och fordonsvägar. Detta ger i viss utsträckning olika förutsättningar, men vi kan efter samtalen också konstatera att de det finns många likheter när det kommer till upplevelsen av problematiken med intrång på bana.

Hanteringen av externa entreprenörer som behöver röra sig på området är väl uppstyrd och verkar inte utgöra något problem med avseende på rullbaneintrångsproblematik. Specifika problemområden kopplade till lokala förutsättningar finns, exempelvis skymd sikt, där tillgänglig teknik inte riktigt räcker till.

Autonoma fordon är något som nämns som på väg att introduceras, men full implementering ligger en bit bort i tiden. I första hand kommer det sannolikt att vara högt automatiserade snarare än autonoma fordon och de exempel som gavs på detta pekar också mot det. De personer som deltog i samtalen var generellt sett positiva till den ökade automatiseringen och såg stora fördelar med ny teknik.

När det gäller önskemål om lösningar för att underlätta för fordonsförare så är det displayer med position för andra fordon och möjlighet att se givna klareringar, vart man har tillstånd av trafikledningen att köra, som dominerar (i princip det som finns i DRIWS). Användning av analoga lösningar som externa HMI på fordon för bättre kommunikation/ökad synlighet verkar inte vara något man ser ett behov av.

En situation som togs upp och som vi inte sett i litteraturen eller identifierat själva är att det kan finnas glapp där flygverksamhet förekommer utanför flygtrafikledningens öppethållande samtidigt som fältarbete sker. I detta läge kan det finnas risk för att man på marken inte är medveten om landande luftfartyg och omvänt så har både startande och landande luftfartyg svårt att veta om det finns markfordon på eller i närheten av rullbanan.

Medvetenheten om problematiken verkar vara utbredd, likaså arbetet med utbildning och fortbildning för att förebygga intrång på bana. Kunskapsutbyte mellan olika flygplatser sker primärt mellan dem som ingår i samma grupp av flygplatser, i första hand antingen flygplatser som drivs av Swedavia eller Sveriges kommunala och regionala flygplatser.

5. Diskussion

Tematiken som identifierades vid genomgången av relevant litteratur och projekt pekar på att fokus till stor del har legat på detektering av intrång (gruppen system för att identifiera rullbaneintrång) och att detta sedan får hanteras när intrång sker, snarare än förhindrande åtgärder.

Förhållandet mellan artiklar som handlar om rullbaneintrång generellt och de få som explicit knyter till markfordonstrafik, exempelvis (Luo, et al., 2016) och (Didoff, et al., u.d.), ser ut att skilja sig mot andelen händelser som orsakas av markfordon, särskilt om man tittar på den svenska statistiken (40–45 % av totala mängden intrång i Sverige) (Transportstyrelsen, 2025). Det skulle kunna finnas flera orsaker till detta. Rapportering och rapporteringskultur skiljer sig åt, det vill säga vad som rapporteras och i vilken utsträckning det görs, vilket skulle kunna förklara en del. Det är också en möjlighet att det är mer fokus på luftfartyg då det utgör kärnverksamheten på en flygplats medan fordonstrafiken per definition tillhör någon form av stöttande funktion eller servicefunktion. Det finns också en möjlighet att det beror på andra underliggande orsaker som vi inte kan identifiera här.

Relaterat till detta kan man också fundera över hur mörkertalen ser ut och hur de relaterar till de olika intrångskategorierna. Hur mörkertalet ser ut när det gäller fordonsintrång på bana, eller intrång på bana överhuvudtaget är inget vi har funnit några uppskattningar på. Det skulle dock kunna vara rimligt att anta att mörkertalet är lägst för luftfartyg då de alltid har kontakt med den lokala flygledningen (vid öppethållning) och en stor del av rapporteringen kommer in via flygtrafikledningen (Transportstyrelsen, 2025). Även marktrafik kontrolleras av flygledningen, men bara om man rör sig på de delar om området som kräver klarering. Begäran om att exempelvis få korsa en bana kan komma mer ad hoc jämfört med flygplan då flygningar generellt sett är planerade i förväg. Det senare innebär att färdplan och därmed strippunderlag eller motsvarande finns tillgängligt innan kontakt tas med flygtrafikledningen.

Det är givetvis möjligt att det också finns andra områden som inte täcks in av olika forskningsprojekt, eller av lösningar som utarbetats mer eller mindre officiellt för att komma tillrätta med lokal problematik. Anekdotiskt känner vi till olika former av (historiska) lokala anpassningar i form av exempelvis olika former av märkning på/vid taxibanor vid särskilt utsatta positioner eller mer kreativa lösningar som en lampa i fordonsposangen[3] som tänds när man lägger ner den i strippbordet. Detta är i sammanhanget att betrakta mer som kuriositeter, men visar ändå på behovet av lösningar och på ett engagemang hos de som arbetar på flygplatsen.

Inom den genomgångna ITS-litteraturen finns ett tydligt fokus på effektivitet. Artiklar handlar generellt om hur algoritmer eller metoder ska optimeras för att exempelvis skapa den mest gynnsamma cykeltiden i en signalerad korsning. Ytterligare en trend som tycks finnas i ITS-litteraturen är att gå mer mot en harmoniserad helhetslösning snarare än att hitta en lösning som fungerar för en specifik tjänst (Ajmar, et al., 2019). Det finns dock många utmaningar när fordonstillverkare, tjänsteleverantörer, myndigheter och nationer ska harmonisera och samverka. Det är en av de främsta anledningarna till att det inte finns en nationell helhetslösning för ITS i Sverige än (Trafikverket, 2024). Ett annat återkommande tema är cybersäkerhet och tillgång till tillförlitliga data. Att säkerställa att obehöriga parter inte får tillgång till data eller fordon är av största vikt. Speciellt i ett omvärldsläge där det finns en växande oro för cyberhot genom AI-drivna attacker.

Eftersom det finns ett övervägande fokus på teknisk optimering så saknas ibland perspektivet gällande hur människor interagerar med tekniken och hur förarbeteende potentiellt kommer att förändras när tekniken introduceras på bred front. Acceptans hos trafikanterna är avgörande för att ITS-tjänsterna ska få de positiva effekter som utlovats (Weibull et al., 2024). Det behövs därför vidare studier som utvärderar trafikanters interaktion med ITS-system.

[3] Posang = positionsangivelse, en stripp i ett strippbord med en fast text för att markera exempelvis att det är fordon på banan (i allmänhet en röd stripp och/eller stripphållare med texten FORDON) eller fungera som markör för ex. navigeringspunkter eller bana (i allmänhet svart stripphållare med namn på punkten).

Som nämnts ovan så är ITS-lösningar i ett relativ tidigt implementeringsstadium inom vägtrafiken, även om grunderna börjar komma på plats i relativt stor utsträckning i Sverige. Mot den bakgrunden är det kanske föga förvånande att vi i princip inte fann några direkta tillämpningar för flygplatsfordon där ITS-lösningar nämns. Ett undantag är DRIWS-projektet där ITS och C-ITS-lösningar föreslås som en lämplig väg framåt, inte minst med avseende på certifieringsfrågor (Didoff, et al., u.d.). De vid tidpunkten definierade grundmeddelandena Cooperative Awareness Message (CAM) och Decentralized Environmental Notification Message (DENM) nämns båda som användbara i DRIWS-kontexten. Genom att nyttja redan befintliga standarder som dessutom har en säkerhetsdimension inbyggd så förutspås en enklare tillståndsprocess. Man pratar också om möjligheten att kombinera ITS-lösningar med exempelvis 4G för olika typer av kommunikation i systemet.

5.1. Identifierade möjligheter med ITS

Av de olika ITS-kategorier som identifierades i litteraturgenomgången så är det främst sex områden som vi ser där det skulle kunna vara intressanta att titta närmare på för att gå vidare: cybersäkerhet, e-HMI, fordons/infrastrukturdetektering, intelligenta trafikljuslösningar, automation samt VANET. Urvalet gjordes genom att gå igenom kategori för kategori och göra en bedömning av inom vilken eller vilka grupper från litteratursökningen om rullbaneintrång det finns förutsättningar att tillämpa identifierade ITS-lösningar. Detta resulterade i en matris som redovisas i Tabell 1.

Tabell 1: Matris över områden från litteraturen inom vägtrafikforskningen som bedömts som intressanta/relevant för användning av fordon på flygplats för förhindrande av rullbaneintrång och vilka områden identifierade inom den litteraturen som de då svarar mot.

	HF, MTO utb.	**Varningssystem markfordon**	**Detektering och positionering**	**Övrigt, ex. autonoma operationer**
Cybersäkerhet			x	
e-HMI	x			x
Fordons/infrastruktur-detektering		x	x	x
Intelligenta trafikljus-lösningar		x	x	
Automation	x	x	x	x
VANET				x

5.1.1. Cybersäkerhet

Att dra nytta av redan pågående forsknings- och utvecklingsarbete inom cybersäkerhet för ITS är en viktig punkt. Det löser i sig inga problem med rullbaneintrång, men det kan vara en möjliggörare och hygienfaktor för att ITS-lösningar alls ska kunna komma i fråga.

Eftersom svenska flygplatser sannolikt, helt eller delvis, är klassade som skyddsobjekt är det av högsta relevans att säkerheten sätts i första rummet. Uppkopplade fordon kan innebära en säkerhetsrisk om man inte är aktsam, inte minst då flygplatser i allmänhet är skyddsobjekt. Information som delas från fordonet via internet riskerar att hamna i fel händer om det utsätts för dataintrång och fordon skulle i värsta fall kunna kapas. Exempelvis innebär det att man bör noga överväga vilka fordonsleverantörer man använder sig utav på flygplatsen. Problematiken har bland annat studerats och belysts i det norska projektet Lion Cage, då specifikt med kinesiska fordon (Indstøy & Tjomsland, 2026). Att ställa krav på att data endast lagras och delas inom Europa skulle kunna vara ett sätt att minska sannolikheten för att data hamnar i obehörigas händer. Det här är något som sannolikt kommer att behöva adresseras oavsett om man nyttjar den nya tekniken för att förhindra rullbaneintrång eller inte – moderna fordon har i allmänhet en stor mängd sensorutrustning och är i stor utsträckning uppkopplade. Detta skulle också kunna innebära ett problem med fordon ägda av externa entreprenörer.

5.1.2. e-HMI

I samtalen med fälthållare framfördes främst önskemål om teknisk utrustning i fordonen för positionsmedvetenhet och status för bana och körning (var är jag och vart får jag köra). Externa HMI väckte inget större engagemang. Vi tror dock att det ändå skulle kunna finnas anledning att titta på detta, framförallt när det gäller högautomatiserade/autonoma fordon där nya typer av utmaningar i blandade miljöer ännu inte har manifesterats. Ett specifikt fall vi ser är möjligheten att visuellt förstå vilken typ av kontroll fordonet står under – är det manuell kontroll av förare i fordonet, är det under autonom/automatiserad färd, eller är det fjärrstyrt? Detta är information som sannolikt också behövs i andra lösningar som exempelvis interaktiva kartor för att visa position på olika fordon.

5.1.3. Fordons- och infrastrukturdetektering

Fordonens egen inbyggda sensordata skulle kunna användas för att skapa en bättre lägesbild. Sensorinformationen skulle kunna delas

med flygledningen, även om det senare kan vara problematiskt ur ett implementeringshänseende om det ska integreras i någon form av flygledningssystem. Icke-GNSS-beroende positionering är också en teknik som skulle vara intressant ur robusthetsperspektiv. Detta skulle också kunna användas för att detektera människor och djur. Här bör dock stor varsamhet iakttas kopplat till tidigare beskrivna cybersäkerhetsrisker.

5.1.4. Intelligenta trafikljuslösningar

Denna kategori handlar inom vägtrafikforskningen främst om flödesoptimering, vilket i sig inte är så intressant ur ett flygplatsperspektiv. Vad som däremot skulle kunna vara intressant är det faktum att fast infrastruktur kan bidra med status (till exempel om ett stoppljus är tänt) och absoluta fasta positioner på fältet om de integreras ett övergripande system för informationsutbyte genom någon form av V2I-lösning. De skulle också kunna nyttjas som sensorplattformar och/eller vara en del av ett fast referenssystem för positionering på flygplatsen. Även presentation av stoppljus inne i bilen skulle kunna vara en tillämpning (motsvarande presentation av trafikljus på väg, TSI).

5.1.5. Automation

Inom begreppet automation faller mycket av det som handlar om att möjliggöra automatiserad körning. Ett exempel på automation är att använda sig utav digitala körregler. Ett annat skulle kunna vara att förarens hastighet automatiskt begränsas inom ett geofence, hantera olika former av varningar, eller förse förare och operatörer med en mycket bättre lägesbild som underlättar deras körning eller kontroll/övervakning av fordon vid fjärrstyrning eller vid självkörning utan aktiv kontroll.

5.1.6. VANET

VANET är en teknik som möjliggör snabb kommunikation mellan parter som tillfälligt delar information med varandra. Då den teknologiska grunden är lagd på vägsidan finns stora möjligheter att inspireras och dra nytta av detta på flygplatser. Först och främst handlar det om en möjliggörande teknik där man skulle kunna dra nytta av befintliga lösningar utan att behöva skapa en specifik lösning för just flygplatsfordon.

5.2. Begränsningar i förstudien

Förstudien har fokuserat på forskningsprojekt med publicerade resultat, vilket innebär att det kan finnas, och sannolikt finns, lösningar och system framtagna direkt av företag som inte täcks av den corpus vi har letat i. Vi finner det dock osannolikt att det skulle finnas någon allmänt vedertagen, standardiserad lösning inom det område vi adresserar som helt skulle ha missats av forskningen.

Framför allt på flygsidan präglas verksamheten av ett mycket omfattande regelverk, om än inte alltid direkt kopplat till markfordonstrafik. Även vägsidan lyder under strikta regleringar och standardiseringar,

dock i mindre utsträckning och i högre grad nationella regleringar. Detta innebär att det, oavsett vad vi tittar på eller föreslår, kommer att finnas en legal dimension som vi i förstudien inte alls har adresserat. Detta innebär dock inte att det inte finns och det kommer att vara en mycket viktig aspekt att ha med sig i fortsatt forskning på området. Inte minst är detta viktigt för att identifiera eventuella hinder och/eller möjliggörande faktorer för nya koncept och ny teknik.

5.3. Fortsatt forskning

Ett område som inte berörts i större omfattning i forskningen är automatiserade[4] fordon relaterat till rullbaneintrång. I samtalen med fälthållarna noterade vi att det är något som diskuteras och som, i alla fall hos de vi pratade med, till största delen sågs som något positivt och ett nytt verktyg i verktygslådan för dem. Det skapar dock nya frågor om kommunikation (både tekniska lösningar och olika konceptuella lösningar), lägesbild, roller, interaktion, med mera som skulle vara utmärkta områden att adressera i framtida projekt. Det är också ett område där vägtrafikforskningen pågått länge, så den tekniska delen torde vara relativt väl utforskad och därmed möjliggöra större fokus på koncept och specifika lösningar. Frågor om cybersäkerhet har också ett behov att belysas för att inte den typen av problematik ska hindra potentiellt bra tekniska lösningar samtidigt som man behöver förhindra (oavsiktliga) införanden av nya hot och svagheter i systemet.

[4] Vår bedömning är att det kommer att röra sig om mer eller mindre högt automatiserade fordon men med begränsad autonomi, om man med autonomi avser förmåga till faktisk egen agens och beslutsfattande.

6. Sammanfattning och slutsatser

Huvudsyftet med förstudien var att försöka identifiera om det finns teknik som utvecklats för fordon på väg i form av intelligenta transportsystem (ITS) som skulle kunna tillämpas för fordonstrafik på flygplatser för att minska risken för rullbaneintrång orsakade av markfordon. Vi ville dels utröna i vilken utsträckning detta redan gjorts, dels försöka utröna vilka tekniker och metoder från vägsidan som skulle användas för att minska risken för rullbaneintrång orsakade av fordon på flygplats.

Den huvudsakliga bakgrunden till att förstudien genomförts är att problematiken med rullbaneintrång över åren har varit ett bestående problem som trots många insatser inte har minskat i önskvärd utsträckning. De tekniska lösningar som har tagits fram har också i stor utsträckning varit relativt dyra och komplexa system som små regionala flygplatser har svårt att bekosta. Fokus för förstudien har därför varit mindre, regionala flygplatser eftersom vi har bedömt att nyttan med att använda befintlig teknik utvecklad för fordon på allmän väg skulle vara (relativt sett) större än på större, internationella flygplatser. För de senare finns det system utvecklade som är i drift idag specifikt för att förhindra rullbaneintrång.

En strukturerad sökning av forskningslitteratur inom båda områdena gjordes, dessutom genomfördes också en bredare sökning efter utvecklingsprojekt inom rullbaneintrångsområdet för att fånga upp projekt som inte täcks av litteraturen i databaser med vetenskapliga artiklar (Scopus i det här fallet). För att komplettera bilden av nuläget genomfördes också tre intervjuer med fälthållningspersonal vid tre olika svenska regionala flygplatser. Litteraturen kategoriserades tematiskt inom båda jämförelserna och därefter matchades de olika temana mot varandra.

Först och främst kan vi konstatera att även om forskningen runt ITS är förhållandevis omfattande så är implementeringen fortfarande i sin linda, i vart fall på systemnivå. Det är sannolikt en av förklaringarna till att vi inte fann mer än ett fåtal exempel på att någon form av ITS-lösning nämndes i samband med fordonstrafik på flygplats och rullbaneintrång. Att använda flygplatser som en testbädd för ITS skulle gynna både flygplatserna och föra ITS som fält framåt. Flygplatsen blir en avgränsad yta med färre fordon och tydliga regler och kan därför lämpa sig väl som en demonstrationsmiljö för vissa ITS-lösningar.

Teknik som på något sätt kan bidra till detektering och positionering av fordon, varningssystem för fordon och som kan stödja säker implementering av högautomatiserade självkörande fordon bedöms vara det som har bäst potential. Den kategori som benämndes humanfaktorer (HF), människa-teknik-organisation (MTO) och utbildning identifierades också som ett tema som är relevant, även om det till stor del ingår även i de andra. De områden som identifierades på vägsidan som skulle kunna bidra till detta var cybersäkerhet, e-HMI, fordons/infrastrukturdetektering, intelligenta trafikljuslösningar, automation samt VANET.

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att det har gjorts väldigt lite där man utnyttjat befintlig teknik från vägtrafikområdet för att underlätta förhindrandet av rullbaneintrång av markfordon. Fortsatt forskning bör inkludera fler aktörer på flygplatsen, inte minst flygledningen. För att gå vidare på området är rekommendationen att fokusera på följande områden:

- Tillämpningar/koncept för införandet av högautomatiserade fordon där både fordon och infrastruktur kan ses som resurser för att skapa en övergripande lägesbild. MTO-perspektivet bör vara en central komponent vid implementering.
- Kommunikationslösningar i form av teknik, fordon till allt (V2X), men också kommunikation med mänskliga aktörer i systemet.
- Cybersäkerhet ur två huvudsakliga perspektiv: dels som en delmängd i nya lösningar och dels som en fråga enbart utifrån vad som kommer som standard i nya fordon med avseende på sensorer och uppkoppling.

Referenser

Abbas, A. F., Sheikh, U. U., Al-Dhief, F. T. & Mohd, M. N. H., 2021. A comprehensive review of vehicle detection using computer vision. *Telkomnika,* 19(3), pp. 838-850.

Abbas-Turki, A. o.a., 2023. Autonomous Intersection Management: Optimal Trajectories and Efficient Scheduling. *Sensors,* 23(3), p. 1509.

Abdi, B. o.a., 2025. Advancing Vulnerable Road Users Safety: Interdisciplinary Review on V2X Communication and Trajectory Prediction. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,* 26(3), pp. 2921-2943.

Agarwal, P. & Bhardwaj, N., 2016. A review on trust model in vehicular ad hoc network. *International Journal of Grid and Distributed Computing,* 9(4), p. 325–334.

Ahmed, A. H. & Fragonara, L. Z., 2021. ADAPTIVE INTELLIGENT TRAFFIC CONTROL SYSTEMS FOR IMPROVING TRAFFIC QUALITY AND CONGESTION IN SMART CITIES. *International Journal for Quality Research,* 15(1), pp. 139-154.

airsight GmbH, 2024. *D-2.1/2/3/4 ANALYSIS OF RECENT RUNWAY INCURSIONS AND OF LOSS OF SITUATIONAL AWARENESS IMPLEMENTATION OF THE AERODROME 'TRIPLE ONE' CONCEPT,* u.o.: EASA.

Ajmar, A., Arco, E. & Boccardo, P., 2019. A spatial database model for mobility management. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* XLII-2(W13), p. 1495–1502.

Alazawi, Z. o.a., 2025. Review of intelligent transportation systems methodology models. *Journal of university of Anbar for pure science,* 19(2), pp. 231-239.

Ali, A. o.a., 2025. Federated learning for connected autonomous vehicles: enhancing mobility, safety, and sustainability. *Physica Scripta,* Volym 100, p. 072001.

Ali, M. A. o.a., 2026. Towards 6G C-V2X Networks: A Comprehensive Survey on Mobility Management, Multi-RAT Coexistence, and Machine Learning (3M) Framework for C-ITS. *Electronics,* 15(5), p. 1042.

Ali, U. & Mahmood, T., 2018. Using Deep Learning to Predict Short Term Traffic Flow: A Systematic Literature Review. i: *Intelligent transport systems – From research and development to the market uptake* . u.o.:Springer, pp. 90-101.

Al-Smadi, M., Abdulrahim, K. & Salam, R. A., 2016. Traffic surveillance: A review of vision based vehicle detection, recognition and tracking. *International Journal of Applied Engineering Research ,* 11(1), pp. 713-726.

Altaf, I. & Kaul, A., 2021. Vulnerable road user safety: A systematic review and mesh-networking based vehicle ad hoc system using hybrid of neuro-fuzzy and genetic algorithms. *International Journal of Communication Systems,* 34(13).

Anagnostopoulos, A. & Kehagia, F., 2024. *Autonomous Vehicles and Road Safety: A Bibliometric Analysis*. Riga, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

Anderson, J., 2013. *Intrång på bana - REKOMMENDATIONER FÖR ATT FÖRHINDRA, TSL 2012-5713*. u.o.:Transportstyrelsen, Sjö och luftfartsavdelningen, Infrastrukturenheten.

Anon., 2006. Taxiway screen to block incursions. *Jane's Airport Review*, April.

Ansari, K., 2021. Joint use of DSRC and C-V2X for V2X communications in the 5.9 GHz ITS band. *IET Intelligent Transport Systems,* 15(2), pp. 213-224.

ANSV, 2004. *ANSV - Accident Report 20A-1-04, Milan Linate RI,* Rom: u.n.

Arafat, M. Y., Khairuddin, A. S. M., Khairuddin, U. & Paramesran, R., 2019. Systematic review on vehicular licence plate recognition framework in intelligent transport systems. *IET Intelligent Transport Systems ,* 13(5), pp. 745-755.

Arora, N. & Kumar, Y., 2023. Automatic vehicle detection system in Day and Night Mode: challenges, applications and panoramic review. *Evolutionary Intelligence ,* Volym 16, pp. 1077-1095.

BelMannoubi, S. o.a., 2023. A comprehensive survey on blockchain-based C-ITS applications: Classification, challenges, and open issues. *Vehicular Communications,* Volym 43.

Bernas, M. o.a., 2018. A survey and comparison of low-cost sensing technologies for road traffic monitoring. *Sensors,* 18(10), p. 3243.

Bhargava, D. & Marais, K., 2020. *Narrative analysis of runway incursion reports in the national transportation safety board database to identify contributing human errors and its causes*. u.o., SAGE Publications Inc..

Biella, M. o.a., 2013. *How can a future safety net successfully detect conflicting ATC clearances - Yet remain inconspicuous to the tower runway controller? First results from a SESAR exercise at Hamburg airport*. u.o., Springer Verlag.

Bıyık, C. & Yigitcanlar, T., 2020. Intelligent transport systems in Turkish urban environments: A comprehensive review. *Sensors,* 23(3), p. 1509.

Borra, P., 2025. *Data-Driven Vehicle Autonomy: A Comprehensive Review of Sensor Fusion, Localisation, and Control*. Proceedings of International Conference on Wireless Communication. ICWiCOM 2025. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 1499. Singapore, Springer.

Butt, T. A. o.a., 2019. Privacy Management in Social Internet of Vehicles: Review, Challenges and Blockchain Based Solutions. *IEEE Access,* Volym 7, p. 79694–79713.

Chan, T. K. & Chin, C. S., 2021. Review of autonomous intelligent vehicles for urban driving and parking. *Electronics,* 10(9), p. 1021.

Cordoş, N. o.a., 2025. An Overview of Intelligent Transportation Systems in Europe. *World Electric Vehicle Journal ,* 16(7), p. 387.

C-roads, 2026. *C-Roads Platform*. [Online]
Available at: https://www.c-roads.eu/
[Använd 29 Juni 2026].

Cynthia, J., Sakthipriya, G., Sudhahar, J. C. & Suguna, M., 2023. Intelligent Transportation System: A Review of VANET Applications for Urban Areas, Technologies, and Protocols. i: *Sustainable Digital Technologies for Smart Cities*. u.o.:CRC Press.

Debnath, S. & Saha, A., 2020. *Analytical modelling of internet of vehicles (IoV) by IoT cloud for dipping traffic congestion and safety alert: A review*. Advances in Computational Intelligence, Security and Internet of Things. ICCISIoT 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1192. Springer, Springer.

Dedić, L. & Vujić, M., 2024. A Review of Expert Systems Integration in Signal Plan Optimisation; [Pregled integracije ekspertnih sustava u području optimizacije signalnih planova]. *Promet – Traffic & Transportation,* 36(5), pp. 797-817.

Deglurkar, S. o.a., 2024. *System-Level Analysis of Module Uncertainty Quantification in the Autonomy Pipeline*. u.o., Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc..

Degrande, T., Vannieuwenborg, F., Verbrugge, S. & Colle, D., 2019. *Adoption of Cooperative Intelligent Transport Systems in Flemish passenger cars: A review of European Policy Options*. 2019 CTTE-FITCE: Smart Cities & Information and Communication Technology (CTTE-FITCE), Ghent, Belgium, IEEE.

Demde, M., Sharma, P. & Kshirsgar, R., 2021. A review paper on intelligent lane departure warning system for driver assistance. *Pakistan Journal of Biotechnology,* 13(1), pp. 282-286.

Deng, Z. o.a., 2023. Multifunctional asphalt concrete pavement toward smart transport infrastructure: Design, performance and perspective. *Composites Part B: Engineering,* Volym 265, p. 110937.

Deshmukh, P. S., 2018. *Travel Time Prediction using Neural Networks: A Literature Review*. 2018 International Conference on Information, Communication, Engineering and Technology (ICICET), IEEE.

Didoff, J., 2020. *Arlanda Safety Nets Demonstrationsprojekt - slutrapport,* u.o.: LFV.

Didoff, J. o.a., u.d. *Konceptstudie rapport: DRIWS - Digital Runway Incursion Warning System,* u.o.: u.n.

Dileep, V., Athira, P., Jayakumar, P. & Praveena, S., 2025. *A Comprehensive Review of Smart Emergency Vehicle Detection and Response Systems*. 2025 3rd International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA), Coimbatore, India, IEEE.

Do, D.-T. & Tran, V.-T., 2025. NetLogo for transport and logistics: agent-based modeling of flows, control, and operations. *Acta Logistica,* 12(4), pp. 643-655.

DSNA, 2020. *PJ.03b Final Project Report,* u.o.: SESAR Joint Undertaking.

Dy, L. & Mott, J., 2024. *An Affordable Approach to Runway Incursion Prevention*. u.o., IEEE.

El Haddad Imane, K., Barramou, F. Z. & Hbiak, I., 2025. *The Role of Artificial Intelligence in Intelligent Transport Systems for Smart Cities: A Review*. 2025 5th International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET), IEEE.

Elhadja, C., GUERLAIN, C., Pardo, E. & Faye, S., 2023. Integrating Connected and Automated Shuttles. *IEEE Access,* Volym 11, p. 83081.

EU-kommisionen/TRIMIS, u.d. *North European ADS-B Network Update Programme Phase 2*. [Online] Available at: https://trimis.ec.europa.eu/project/north-european-ads-b-network-update-programme-phase-2
[Använd 17 06 2026].

Eurocontrol, 2024. *Global Action Plan for the Prevention of Runway Incursions,* u.o.: u.n.

European Commission, 2025. *Directive 2010/40/EU - Implementation Report 2025 Sweden,* Bryssel: European Commission.

FAA, 2026. *Runway safety.* [Online]
Available at: https://www.faa.gov/airports/runway_safety/statistics
[Använd 09 04 2026].

Georganti, A., Soumpasis, N. & Adamos, G., 2023. *A Study on the Use of Autonomous Vehicles for the Interconnection of Urban Transport Interchanges.* mart Energy for Smart Transport. CSUM 2022. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Cham, Springer.

Ghani, H. A. o.a., 2021. Advances in lane marking detection algorithms for all-weather conditions. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJEC,* 11(4), pp. 3365-3373.

Ghasemi, A. o.a., 2025. Edge Intelligence for Intelligent Transport Systems: Approaches, challenges, and future directions. *Expert Systems with Applications,* Volym 280, p. 127273.

Gholamhosseinian, A. & Seitz, J., 2021. Vehicle Classification in Intelligent Transport Systems: An Overview, Methods and Software Perspective. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems,* Volym 2, pp. 173-194.

González, E. E., Garcia-Roger, D. & Monserrat, J. F., 2022. LTE/NR V2X Communication Modes and Future Requirements of Intelligent Transportation Systems Based on MR-DC Architectures. *Sustainability,* 7(3879), p. 14.

Gudigar, A., Chokkadi, S. & U, R., 2016. A review on automatic detection and recognition of traffic sign. *Multimedia Tools and Applications,* Volym 75, pp. 333-364.

Guerrieri, M., Mauro, R., Pompigna, A. & Isaenko, N., 2021. Road Design Criteria and Capacity Estimation Based on Autonomous Vehicles Performances. First Results from the European C-Roads Platform and A22 Motorway. *Transport and Telecommunication,* 22(2), pp. 230-243.

Guilloton, A., Arethens, J.-P., Macabiau, C. & Koenig, D., 2011. *State of the art in airport navigation.* u.o., IEEE.

Haddaji, A., Ayed, S. & Chaari Fourati, L., 2024. IoV security and privacy survey: issues, countermeasures, and challenges. *The Journal of Supercomputing,* 80(15), p. 23018–23082.

Hamdi, M. M., Audah, L., Rashid, S. A. & Alani, S., 2021. VANET-based traffic monitoring and incident detection system: A review. *International Journal of Electrical and Computer Engineering,* 11(4), pp. 3193-3200.

Hamdi, M. M., Audah, L., Rashid, S. A. & Al-Shareeda, M. A., 2020. Techniques of early incident detection and traffic monitoring centre in VANETs: A review. *Journal of Communications,* 15(12), pp. 896-904.

Hassan, T., El-Mowafy, A. & Wang, K., 2021. A review of system integration and current integrity monitoring methods for positioning in intelligent transport systems. *IET Intelligent Transport Systems ,* 15(1), pp. 43-60.

Hassn, H. A. H., Ismail, A., Borhan, M. N. & Syamsunur, D., 2016. The impact of intelligent transport system quality: Drivers' acceptance perspective. *International Journal of Technology,* 7(4), p. 553.

Honeywell, Airbus, DSNA, Eurocontrol, Thales, Pansa, 2022. *SESAR DEMO STAIRS Report . Part I,* u.o.: SESAR Joint Undertaking.

Husain, A. A., Maity, T. & Yadav, R. K., 2020. Vehicle detection in intelligent transport system under a hazy environment: A survey. *IET Image Processing ,* 14(1), pp. 1-10.

Indstøy, T. & Tjomsland, A., 2026. *Lion Cage: the Societal Risks of Software*. u.o.:u.n.

Innamaa, S., 2024. *NordicWay 3: Evalutation Report ,* Helsingfors: u.n.

Jabbar, R. o.a., 2022. Blockchain Technology for Intelligent Transportation Systems: A Systematic Literature Review. *IEEE Access,* Volym 10, p. 20995–21031.

Jacques, A. J., 2023. *Nordic Way*. [Online]
Available at: https://www.nordicway.net/
[Använd 29 Juni 2026].

Jain, N., Parwanda, R. & Chauhan, A., 2023. *Real-Time Smart Traffic Control and Simulation: An Approach for Urban Congestion Management*. 2023 IEEE IAS Global Conference on Emerging Technologies (GlobConET), London, United Kingdom, IEEE.

Javed, M. A., Hamida, E. B., Al-Fuqaha, A. & Bhargava, B., 2018. Adaptive security for intelligent transport system applications. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine,* 10(2), pp. 110-120.

Jurczenia, K. & Rak, J., 2022. A Survey of Vehicular Network Systems for Road Traffic Management. *IEEE Access,* Volym 10, pp. 42365-42385.

Kandu, S. S. o.a., 2025. *C-V2X and 5G-V2X: Challenges and Improvement Strategies*. Bhopal, 2025 Third International Conference on Microwave, Antenna and Communication .

Kapoor, R. o.a., 2018. Acoustic sensors for air and surface navigation applications. *Sensors,* 18(2), p. 499.

Kara, P. A., Wippelhauser, A., Balogh, T. & Bokor, L., 2023. How I Met Your V2X Sensor Data: Analysis of Projection-Based Light Field Visualization for Vehicle-to-Everything Communication Protocols and Use Cases. *Sensors,* 23(3), p. 1284.

Kashyap, A. A. o.a., 2022. Traffic flow prediction models–A review of deep learning techniques. *Cogent Engineering,* 9(1).

Kavitha, N. & Chandrappa, D., 2017. *Comparative Review on Video Based Vehicular Traffic Data Collection for Intelligent Transport System*. 2017 International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology (ICRAECT), Bangalore, India, IEEE.

Kennedy, K., Stephens, C., Williams, R. & Schutte, P., 2017. *Repeated induction of inattentional blindness in a simulated aviation environment*. u.o., Human Factors an Ergonomics Society Inc..

Klupacs, J. o.a., 2022. Multiagent Information Fusion for Connected Driving: A Review. *IEEE Access,* Volym 10, pp. 85030-85049.

Kolosz, B. & Grant-Muller, S., 2016. Sustainability assessment approaches for intelligent transport systems: The state of the art. *IET Intelligent Transport Systems,* 10(5), pp. 287-297.

Kosolsombat, S. & Saraubon, K., 2018. *A Review of the Prediction Method for Intelligent Transport System*. 2018 18th International Symposium on Communications and Information Technologies , IEEE.

Kruse, L. o.a., 2024. *Runway Ground Movement Monitoring with Normalizing Flows*. u.o., Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc..

Kuchár, P. o.a., 2023. Passenger Occupancy Estimation in Vehicles: A Review of Current Methods and Research Challenges. *Sustainability,* 15(2), p. 1332.

Kumar, A. & Saha, P., 2020. A review of deep learning models for traffic flow prediction in Autonomous Vehicles. *Vehicular Communications,* Volym 20, p. 100184.

Lahmiss, H. & Khatory, A., 2020. *Variable Speed Limit (VSL) system applications in motorways.* 2020 IEEE 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA), Fez, Morocco, IEEE.

Lakshmi, A. V. & Joseph, K. S., 2022. *Travel Safe: A systematic review on Safe Route Guidance System.* 022 IEEE Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI), Gwalior, India, IEEE.

Lansky, J., Rahmani, A. M. & Hosseinzadeh, M., 2022. Reinforcement Learning-Based Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks for Intelligent Transport System (ITS): A Survey. *Mathematics,* 10(24), p. 4673.

Le, V. H., den Hartog, J. & Zannone, N., 2018. Security and privacy for innovative automotive applications: A survey. *Computer Communications,* Volym 132, p. 17–41.

Li, T., Wang, Z., Yuan, X. & Luo, X., 2021. *Design and Application of Preventing Runway Incursions System Based on Runway Status Lights.* u.o., u.n.

Liu, C. & Ferrari, S., 2019. *Vision-guided planning and control for autonomous taxiing via convolutional neural networks.* u.o., AIAA.

Liu, Q. o.a., 2023. Graph Reinforcement Learning-Based Decision-Making Technology for Connected and Autonomous Vehicles: Framework, Review, and Future Trends. *Sensors,* 23(19), p. 8229.

Ludwig, D., 2007. *Direct alerting to the cockpit for runway incursions.* u.o., u.n.

Luè, A. o.a., 2016. Future priorities for a climate-friendly transport: A European strategic research agenda toward 2030. *International Journal of Sustainable Transportation,* 10(3), pp. 236-246.

Lu, M. & Schindler, J., 2021. *Digital Infrastructure for Cooperative and Automated Road Transport.* Smart Cities, Green Technologies, and Intelligent Transport Systems. , Spinger.

Lu, M. o.a., 2018. *Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) deployment in Europe: Challenges and Key Findings from a Survey.* Copenhagen, 25th World ITS Congress.

Luo, J., Zhong, T. & Jin, X., 2016. *Service discovery middleware based on QoS in VANET.* u.o., IEEE.

Luther, M. M. o.a., 2023. Detection of Disturbances in a Monitoring System on ITS and Usage of Ontologies Approaches: A Critical Review and Challenges in Developing Countries.. *Procedia Computer Science,* Volym 224, pp. 250-257.

Lu, X. & Weng, Q., 2025. Deep learning-based road extraction from remote sensing imagery: Progress, problems, and perspectives. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* Volym 228, pp. 122-140.

Malik, M. Z., Nazir, S. & Khan, H. U., 2023. *Artificial Intelligence Based System on Enhancing the Capabilities of Transport System: A Systemic Literature Review.* 2023 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications (ISIEA)., IEEE.

Maru, S. V., Shah, V. R. & Jhaveri, R. H., 2016. *Obstacle detection for vehicles in intelligent transport system.* New Delhi, India, 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom).

Masello, L. o.a., 2022. From Traditional to Autonomous Vehicles: A Systematic Review of Data Availability. *Transportation Research Record,* 2676(4), pp. 161-193.

Matheri, A. o.a., 2019. *Smart City Energy Trend Transformation in the Fourth Industrial Revolution Digital Disruption.* 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management , IEEE.

McDonnell, K. o.a., 2021. Regulatory and technical constraints: An overview of the technical possibilities and regulatory limitations of vehicle telematic data. *Sensors,* 21(10), p. 3517.

Medina-Salgado, B., Sánchez-DelaCruz, E., Pozos-Parra, P. & Sierra, J. E., 2022. Urban traffic flow prediction techniques: A review. *Sustainable Computing: Informatics and Systems,* Volym 35, p. 100739.

Menegazzo, J. & von Wangenheim, A., 2020. Vehicular Perception Based on Inertial Sensing: A Structured Mapping of Approaches and Methods. *SN Computer Science,* 1(255).

Meneguette, R., De Grande, R. & Loureiro, A., 2018. Intelligent Transport System in Smart Cities: Aspects and Challenges of Vehicular Networks and Cloud Computing. i: *Urban Computing.* u.o.:Springer Nature.

Meneguette, R. o.a., 2022. Vehicular Edge Computing: Architecture, Resource Management, Security, and Challenges. *ACM Computing Surveys,* 55(1), pp. 1-46.

Ministerio de Fomento, Spain, 1978. *Final Report Collision between B747 KLM and B747 PAN AM Los Rodeos Tenerife Spain 27/03/1977,* u.o.: u.n.

Mitsakis, E. & Kotsi, A., 2019. *Cooperative intelligent transport systems as a policy tool for mitigating the impacts of climate change on road transport.* Proceedings of 4th Conference on Sustainable Urban Mobility (CSUM2018), 24 - 25 May, Skiathos Island, Greece, Advances in Intelligent Systems and Computing.

Mohiddin, S. K., Sharmila, S. & Srinivas, V., 2024. Intelligent transport system in smart cities: Aspects and challenges of vehicular networks and cloud computing. i: A. K. C. S. M. &. G. D. V. P. Singh, red. *Energy efficient vehicles: Technologies and challenges.* u.o.:CRC Press, pp. 173-185.

Montoya-Torres, J. R., Moreno, S., Guerrero, W. J. & Mejía, G., 2021. Big Data Analytics and Intelligent Transportation Systems. *IFAC-PapersOnLine,* 54(2), pp. 216-220.

Mosunmola Aroke, O., Sylvester Onuchukwu, I., Esmaeili, B. & Flintsch, A. M., 2022. Countermeasures to Reduce Truck-Mounted Attenuator (TMA) Crashes: A State-of-the-Art Review. *Future Transportation,* 2(2), pp. 425-452.

Mrad, S. & Mraihi, R., 2023. An Overview of Model-Driven and Data-Driven Forecasting Methods for Smart Transportation. i: G. Rivera, L. Cruz-Reyes, B. Dorronsoro & A. Rosete, red. *Studies in Big Data.* Cham: Springer, pp. 159-183.

Musa, S. S., Zennaro, M., Libsie, M. & Pietrosemoli, E., 2022. Convergence of Information-Centric Networks and Edge Intelligence for IoV: Challenges and Future Directions. *Future Internet,* 14(7), p. 192.

Mylonas, C., Mitsakis, E., Dolianitis, A. & Aifadopoulou, G., 2020. *A Review of European National Access Points for Intelligent Transport Systems Data.* 2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Rhodes, Greece, IEEE.

Naskath, J., Paramasivan, B., Mustafa, Z. & Aldabbas, H., 2022. Connectivity analysis of V2V communication with discretionary lane changing approach. *The Journal of Supercomputing,* Volym 78, pp. 5526-5546.

National Transportation Safety Board, 2026. *Jazz Aviation, Air Canada Express Flight 8646 Collides with Fire Truck on LaGuardia Runway*. [Online]
Available at: https://www.ntsb.gov/investigations/Pages/DCA26MA161.aspx
[Använd 09 04 2026].

NATS, 2025. *Annual Safety Report 2024,* u.o.: NATS.

NORACON, SEAC, and DSNA, 2016. *Final OSED for "Alerts for vehicle drivers" following V3 trials,* Bruxelles: SESAR JU.

Norris, V. J., 2001. *Autonomous UV-enhanced vision system that prevents runway incursions at medium size airports*. u.o., u.n.

Panigrahy, S. K. & Emany, H., 2023. A Survey and Tutorial on Network Optimization for Intelligent Transport System Using the Internet of Vehicles. *Sensors,* 23(1), p. 555.

Pogrebinskaya, E., Sakhbieva, A., Abuzov, A. Y. & Safiullin, B., 2025. *Green Technologies in Transport and Logistics Sector: Alternative Fuels and Ecological Modernization*. Mantulenko, V. (eds) Proceedings of the 4th International Conference Engineering Innovations and Sustainable Development. , Springer.

Pollina, M. & Desenfans, O., 2019. *Distributed and layered approach for GNSS signal monitoring and threats detections*. u.o., FGM Events LLC.

Putro, P. A. W. o.a., 2023. *Cybersecurity of Sensors on Smart Vehicles: Review of Threats and Solutions*. Proceedings of the 2023 6th International Conference on Computer and Informatics Engineering: AI Trust, Risk and Security Management (AI Trism), IEEE.

Raj, A., Kumar Thakkar, H. & Singh, P., 2025. *Automatic Vehicle Number Plate Recognition: A Narrative review of End-to-end Workflow*. 2025 International Conference on Pervasive Computational Technologies (ICPCT), Greater Noida, India, IEEE.

Rankin II, W., 2012. *Faa's safety plan destination 2025; studies identify a need for an airport driver training education strategy and metric*. u.o., International Institute of Informatics and Systemics, IIIS.

Rao, K. V. & Selvakumar, R., 2024. *Spatiotemporal Graph Neural Networks for Traffic Forecasting: A Comparative Analysis*. Singapore, Springer.

Rehman, A. o.a., 2020. State-of-the-art IoV trust management a meta-synthesis systematic literature review (SLR). *PeerJ Computer Science ,* Volym 6, p. 334.

Röder, M., Jakobi, J. & Biella, M., 2010. *Higher-level services of an advanced surface movement guidance and control systems (A-SMGCS)*. u.o., ICAS.

Serova, O. A. & Naniev, A. T., 2020. Intelligent Transport System as a Concept of Environmental Innovation in the Transport System. i: T. Kolmykova & E. Kharchenko, red. *Digital Future Economic Growth, Social Adaptation, and Technological Perspectives*. u.o.:Springer, p. 907–912.

SESAR deployment manager, u.d. *Deploying Airport Safety Nets across the largest European airports*. [Online]
Available at: https://www.sesardeploymentmanager.eu/projects/featured/deploying-airport-safety-nets-

across-the-largest-european-airports
[Använd 09 01 2026].

Severi, S. o.a., 2018. *Beyond GNSS: Highly accurate localization for cooperative-intelligent transport systems.* 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC 2018, IEEE.

Shahriari, M. & Aydin, M., 2019. Airport runway incursions and safety. i: *Advances in Safety Management and Human Factors*. u.o.:Springer, pp. 727-285.

Sharma, A. o.a., 2025. *Smart Traffic Management with Fuel Efficiency.* 4th international conference on functional materials, manufacturing, and performances, Phagwara, Indien, AIP Publishing.

Shen, S. o.a., 2022. Potentials and Prospects of Bicycle Sharing System in Smart Cities: A Review. *IEEE Sensors Journal,* 22(8), pp. 7519-7533.

Shi, K., Goto, Y., Zhu, Z. & Cheng, J., 2013. Anticipatory runway incursion prevention systems. *IEICE Transactions on Information and Systems,* E96(11), pp. 2385-2396.

Shi, K., Goto, Y., Zhu, Z. & Cheng, J., 2013. *Anticipatory runway incursion prevention systems.* u.o., IEICE.

Shobna, B. & Deepu, R., 2018. *A Review on Video Based Vehicle Detection, Recognition and Tracking.* 018 3rd International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS), Bengaluru, India, IEEE.

Skogsmo, I., 2025. *VTI*. [Online]
Available at: https://www.vti.se/arkiv/nyhetsarkiv/nyheter/2025-11-03-robotaxi-pa-vag---men-manga-fragor-aterstar
[Använd 29 Juni 2026].

Soussi Niaimi, B.-E., Bouhorma, M. & Zili, H., 2021. The Evolution of the Traffic Congestion Prediction and AI Application. i: *International Conferences on Networking, Information Systems & Security*. u.o.:Springer, pp. 19-31.

Sri Jamiya, S. & Esther Rani, P., 2021. *An efficient method for moving vehicle detection in real-time video surveillance.* Advances in Smart System Technologies. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1163. Singapore, Springer Nature .

Sri, D. V. & Lakshmi, B. J., 2024. *A review of security infrastructure, protocols, a taxonomy of security threats and intrusion detection in the Internet of Vehicles (IoV).* 2024 International Conference on Intelligent Computing and Emerging Communication Technologies, IEEE.

Tang, X. & Ji, X., 2023. Research on early runway incursion warning based on Petri net. *Simulation,* 99(5), pp. 503-514.

Tang, X.-M., Xing, J. & Han, X.-M., 2014. Runway incursion prevention method based on a discrete object sensing event-driven model. *IET Intelligent Transport Systems,* 8(6), pp. 558-569.

Telikani, A., Sarkar, A., Du, B. & Shen, J., 2024. Machine Learning for UAV-Aided ITS: A Review With Comparative Study. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,* 25(11), p. 15388–15406.

Thomas, L. o.a., 2016. *Delivering safe, comfortable, and connected pedestrian and bicycle networks: A review of international practices,* North Carolina, USA: U.S. Department of Transportation .

Thombare, S. S., 2022. *The Future of Car Automation Field with Smart Driverless Technologies.* Computational Intelligence in Machine Learning. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 834. Singapore, Springer.

Tirumalasetti, R., Singh, S. K., Roy, P. K. & Mishra, S., 2026. A Systematic Review of VANET Routing Protocols for Intelligent Transport Systems. *Journal of Advanced Transportation*.

Tomaszewska, E. J. & Florea, A., 2018. Urban smart mobility in the scientific literature - Bibliometric analysis. *Engineering Management in Production and Services,* 10(2), pp. 41 - 56.

Tonec Vrančić, M., Škorput, P. & Vidović, K., 2024. An Advanced Driver Information System at Critical Points in the Multimodal Traffic Network. *Sustainability,* 16(1), p. 372.

Trafikverket, 2024. *Färdplan - digitaliserat vägtransportsystem version 2024,* Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket, 2024. *Trafikverkets ställningstagande för digitalisering av vägtransportsystemet,* Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket, u.d. *Trafficdata.se.* [Online] Available at: www.trafficdata.se
[Använd 29 Juni 2026].

Transportstyrelsen, S. f. a., 2024. *Säkerhetsöversikt Luftfart 2023,* u.o.: Transportstyrelsen.

Transportstyrelsen, S. f. a., 2025. *Säkerhetsöversikt Luftfart 2024 Komplettering med fler nyckeltal,* u.o.: Transportstyrelsen, Sjö- och luftfartsavdelningen, Enheten för hållbar utveckling.

Vaitkus, A. o.a., 2016. Effect of intelligent transport systems on traffic safety. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering,* 11(2), pp. 136-143.

Vernaleken, C., Urvoy, C. & Klingauf, U., 2008. *Considerations on symbology, data requirements and operational concept for integral NOTAM visualization on airport moving map displays*. u.o., u.n.

Visconti, P. o.a., 2025. Innovative Driver Monitoring Systems and On-Board-Vehicle Devices in a Smart-Road Scenario Based on the Internet of Vehicle Paradigm: A Literature and Commercial Solutions Overview. *Sensors,* 25(2), p. 562.

Vishwakarma, P. K. & Jain, N., 2023. *Deep Learning Based Methods in Image Analytics for Vehicle Detection: A Review.* 2023 International Conference on Intelligent Systems and Computational Networks, IEEE.

Vourgidis, I. o.a., 2020. Use of smartphones for ensuring vulnerable road user safety through path prediction and early warning: An in-depth review of capabilities, limitations and their applications in cooperative intelligent transport systems. *Sensors,* 20(4), p. 997.

VTI, 2025. *Självkörande bussar i Linköping.* [Online]
Available at: https://www.vti.se/forskning/forskningsomraden/forskningsenheter/fordonssystem-och-korsimulering/sjalvkorande-buss
[Använd 17 06 2026].

W.B., R. I., 2012. *Faa's safety plan destination 2025; studies identify a need for an airport driver training education strategy and metric.* u.o., u.n.

Weibull, K., Lidestam, B. & Prytz, E., 2023. Potential of Cooperative Intelligent Transport System Services to Mitigate Risk Factors Associated With Emergency Vehicle Accidents. *Transportation Research Record ,* 2677(3), pp. 999-1015.

Weibull, K., Lidestam, B. & Prytz, E., 2024. *Swedish driver's attitudes towards C-ITS services.* Antwerp, Association for European Transport .

Wellens-Miles, C. o.a., 2025. A Systematic Literature Review of Simulated Cyber Attacks on Vehicles and Urban Traffic Control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,* 26(10), pp. 14568-14590.

Wong, P. Y. L. o.a., 2026. Enhancing Energy Efficiency in Road Transport Systems: A Comparative Study of Australia, Hong Kong and the UK. *Energies,* 19(1), p. 266.

Yang, C. o.a., 2020. Efficient energy management strategy for hybrid electric vehicles/plug-in hybrid electric vehicles: Review and recent advances under intelligent transportation system. *IET Intelligent Transport Systems,* 14(7), pp. 702-711.

Yousif, M. T., Sadullah, A. F. M. & Kassim, K. A. A., 2020. A review of behavioural issues contribution to motorcycle safety. *IATSS Research,* 44(2), pp. 142-154.

Zalte, S., Ghorpade, V. & Kamat, R. K., 2022. Synergizing Blockchain, IoT, and AI with VANET for Intelligent Transport Solutions. i: U. Singh, S. Murugesan & A. Seth, red. *Emerging Computing Paradigms.* u.o.:John Wiley & Sons Ltd, pp. 193-210.

Zeddini, B., Maachaoui, M. & Inedjaren, Y., 2022. Security Threats in Intelligent Transportation Systems and Their Risk Levels. *Risks,* 10(5), p. 91.

Zhu, P., Luo, X. & Li, H., 2020. *The control method and implementation of runway status light system based on state transition.* u.o., IEEE.

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är Sveriges oberoende institut för tillämpad transportforskning. På uppdrag av regeringen bedriver vi forskning och utveckling som möter samhällets verkliga behov och bidrar till ett effektivt, säkert och hållbart transportsystem.

Vår forskning omfattar alla trafikslag och spänner från människa, fordon och infrastruktur till planering, ekonomi och styrmedel. I en tvärvetenskaplig organisation kombinerar vi spetskompetens med systembredd och avancerade forskningsmiljöer. Med en unik forskningsinfrastruktur tar vi fram oberoende beslutsunderlag som används som inom såväl nationell som internationell transportpolitik.

VTI samverkar nära med akademi, myndigheter och näringsliv. Vi är cirka 250 medarbetare med verksamhet i Linköping, Stockholm, Göteborg, Lund och Skellefteå.

vti