



## FOI MEMO

Projekt/Project  
Markfordon

Sidnr/Page no  
1 (7)

Projektnummer/Project no Uppdragsgivare/Client  
E85143 Försvarsmakten  
FoT-område  
Marksystem

Författare/Author  
Johannes Andersen

Datum/Date Memo nummer/Number  
2025-12-11 FOI Memo 9133

### **Markfordon – Rörlighet och systemintegration 2023–2025 – Slutrapport**

Titel/Title

Markfordon – Rörlighet och systemintegration 2023–2025 – Slutrapport

Memo nummer/Number

FOI Memo 9133

# 1 Inledning

I projektet *Markfordon – Rörlighet och systemintegration*, tillhörandes FoT Marksystem, bedrivs verksamhet för att skapa verktyg, modeller och metoder för att studera och värdera nuvarande och framtida markplattformar. Verksamheten inom projektet startade 2020 och har ökat i omfattning sedan dess. Arbetet har syftat till att skapa en övergripande systemförståelse för militära markplattformar, såväl bemannade som framtida obemannade. Utöver det har kontaktskapande inom myndigheten och övriga intressenter nationellt och internationellt prioriterats.

Genomförd verksamhet under treårsperioden 2023–2025 sammanfattas i detta memo. I projektet planeras även att genomföra ett seminarium under 2026 för att beskriva projektets slutsatser.

## 1.1 Projektets frågeställningar

I Försvarsmaktens FoT-plan definieras projektets frågeställningar som:

- Med vilken detaljnivå bör ett fordon modelleras för att värdera dess framkomlighet och rörlighet?
- Vilka metoder är lämpliga för att värdera stridsteknisk rörlighet hos ett autonomt markfordon?
- Hur påverkar integration av nya tekniska lösningar kopplade till exempelvis framdrivning och fordonets utformning dess huvudsakliga funktioner och uppgifter?
- Hur bör värdering av fordonskoncept genomföras för att effektivt integrera nya tekniska system och avväga olika förmågor?

Titel/Title

Markfordon – Rörlighet och systemintegration 2023–2025 – Slutrapport

Memo nummer/Number

FOI Memo 9133

## 2 Genomförd verksamhet

Inom projektet Markfordon bedrivs verksamhet främst inom två områden, rörlighet och systemintegration. Arbetet har planerats för att möjliggöra fördjupande forskning genom att vartannat år leverera milstolpar inom respektive område. Det har möjliggjort mer fokuserade studier där arbete under ett år har kunnat fokuseras på kunskapsuppbyggnad för att sedan under det andra året tillämpas på de utpekade forskningsfrågorna. Under 2023 och 2025 levererades milstolpar inom området systemintegration: *Metoder och verktyg för designrymskartläggning -Tillämpat på markdomänen* [1] samt *Utveckling av verktyg för designrymskartläggning av framtidens hybridiserade stridsfordon - Prognos, designrymskartläggning och analys* [2]. Under 2024 levererades en milstolpe inom området rörlighet, *Metod för analys av fordonskoncept ur ett rörlighetsperspektiv* [3]. Nedan sammanfattas de olika verksamheterna som projektet bedrivit.

### 2.1 Rörlighet

För att besvara forskningsfrågorna inom projektet bedrivs verksamhet för att analysera och förstå fordonstekniska frågor kopplat till framkomlighet och rörlighet. I huvudsak används verktygen Project Chrono [4], Vortex Studio (CM Labs Simulations, Montreal, Kanada) samt Matlab (MathWorks, Natick, MA, USA) inom projektet för att genomföra simuleringar av kompletta fordon och i tillämpliga fall modellering av mjuk mark. Programvaran QGIS [5] har använts för att skapa underlag som beskriver markens lutning och ojämnheter vilka använts för aggregerade studier av fordons framkomlighet i terräng.

#### 2.1.1 Farkostmodellering och framtagning av rörlighetskartor

Modellering av olika delsystem och egenskaper hos markfordon är en viktig fråga i projektet. Därför utvecklas ett flertal modeller för att beräkna och förstå hur prestandan för olika delsystem påverkar farkosters rörlighet och framkomlighet.

Utöver fördjupad kunskap inom specifika modelleringsfrågor för fordon och mjukmark har projektet även tittat på metoder för framtagning av framkomlighetskartor som underlag för värdering [3]. Metoden bygger på den metod som beskrivs i NATO NG-NRMM [6] och utgår från fordonsdynamiska modeller, analyser av marklutning och ojämnheter i valda terrängavsnitt via QGIS [5] samt markegenskaper baserade på data från Statens geologiska undersökning [7].

#### 2.1.2 Försöksverksamhet

Under ledning av projektet har en särskild försöksplats inrättats på Grindsjön. Inledningsvis bestod försöksplatsen av en större hårdbelagd yta för fordonsprovning med fasta hinder men har senare kompletterats med sandfällor för fordonsförsök i mjukmark. Projektet har införskaffat en mindre bandförsedd robot, Robodyne MaXSII-S [8], i första hand i syfte att genomföra validering av fordonsmodeller men även för att bygga kunskap inom försöksmetoder.

I projektet har även provmetoder för klassificering av markens bärighet undersökts. Mätningar med en så kallad konpenetrometer har därför genomförts. Resultaten indikerar att det kommer att krävas omfattande metodutveckling för att få repeterbara resultat.

### 2.2 Systemintegration

Projektets arbete inom systemintegration syftar till att utveckla metoder och verktyg för att värdera hur olika plattformars förmåga påverkas av utformning och integration av olika delsystem.

Titel/Title

Markfordon – Rörlighet och systemintegration 2023–2025 – Slutrapport

Memo nummer/Number

FOI Memo 9133

### 2.2.1 Verktyg för designrymdsanalys

Arbetet inriktades i början av treårsperioden mot att utveckla ett verktyg för designrymdsanalys, vilket inleddes med en förstudie [1]. Prototypen för en så kallad *Vehicle Tradespace Explorer*, VTE, togs fram och har använts för att studera metoder och verktyg för att genomföra analyser av fordons energisystem, där modeller för energisystemet baseras på det arbete som beskrivs i avsnitt 2.2.2. Arbetet har dokumenterats i en separat rapport [2].

### 2.2.2 Energisystem

Arbetet inom energisystem fokuserar på modellering av energisystem för markfordon med olika typer av energiförbrukare (exempelvis för framdrivning, verkanssystem såsom laser, eller skyddssystem såsom elektriskt pansar) i syfte att simulera fordonets energiförbrukningsprofil. Särskilt har lösningar kopplade till hybridisering av energisystemet analyserats. Samordning med närliggande forskning kring batterisystem i militära applikationer har prioriterats. Bland annat har studiebesök hos industri genomförts. Den framtagna energisystemsmodellen har också använts som bas för en tidigare beskriven fallstudie [2].

## 2.3 Samverkan och besök till konferenser

Förstärkt samverkan med befintliga kontakter hos uppdragsgivaren och etablering av nya kontakter internationellt har prioriterats i projektet eftersom forskningsområdet är nyetablerat och ett kontaktnät kring de frågor som studeras har behövt byggas upp. Forskningssamarbete inom Nato STO:s panel AVT (Applied Vehicle Technology) är den viktigaste samarbetsformen för projektet. Dessa sammanfattas nedan:

- FOI har genom projektet sedan ett flertal år tillbaka verkat som så kallad co-chair för en arbetsgrupp som studerar verktyg för värdering av autonoma fordons framkomlighet, AVT-341 *Off-Road Mobility Assessment Methods and Tools for Autonomous Military Ground Systems* och dess uppföljare AVT-408 *Autonomous Mobility Assessment for Military Ground Systems*.
- Från och med 2024 deltar FOI även som medlem i AVT-380 *Ground Vehicle Ride Quality Testing and Analysis with Complex Terrain* samt AVT-410 *End-2-End NG-NRMM Demonstration with Navigation Assist Systems*.
- Under perioden 2023–2025 har projektet deltagit på Nato STO panelmöten i Storbritannien, Sverige, Kanada, Tyskland, Washington och Riga.
- Tillsammans med FoT Autonomi deltog projektet i en demonstration av autonoma fordon ”*Unmanned Ground Vehicles Autonomy Trials*” som anordnades av estniska militärakademin. En sammanfattning av besöket beskrivs i en reserapport [9].
- Medarbetare inom projektet besökte *Future Armoured Vehicles Power Systems*, en konferens kopplad till olika energisystem för framtida stridsfordon. Besöket redovisas i en reserapport [10].
- Medarbetare inom projektet har besökt *Ground Vehicle Systems Center*, GVSC, samt med *DEVCOM Analysis Center*, DAC i USA. Föredraget material återfinns i ärende FOI-2023-69.
- Medarbetare inom projektet har deltagit och anordnat en workshop på den teknikdag som hölls i samband med det bilaterala (SVE/US) samarbetsmötet SCF-A<sup>1</sup> i Linköping 2023.
- Projektet genomförde en redovisningsdag för FMV och FM kopplat till fordonsfrågor tillsammans med andra FOI-projekt 2025-10-20.

---

<sup>1</sup> SCF-A, senior co-operation forum Army, är det bilaterala forsknings- och utvecklingssamarbete som Sverige har med U.S. Army och leds från FMV.

Titel/Title

Markfordon – Rörlighet och systemintegration 2023–2025 – Slutrapport

Memo nummer/Number

FOI Memo 9133

## 2.4 Examensarbeten

Fyra examensarbeten handledes av medlemmar i projektet under perioden 2023–2025:

- Framtagande av ett virtuellt banddrivet fordon [11].
- Framtagande av ett virtuellt multihjulsfordon [12].
- Däck- och terrängmodellering [13].
- Analys av försörjningskedjor för autonoma stridsfordon [14].

Titel/Title

Markfordon – Rörlighet och systemintegration 2023–2025 – Slutrapport

Memo nummer/Number

FOI Memo 9133

### 3 Skriftlig dokumentation

Inom projektet har följande rapporter och memon getts ut under perioden 2023–2025:

- Metoder och verktyg för designrymskartläggning -Tillämpat på markdomänen, FOI-R--5503--SE.
- Reserapport från Unmanned Ground Vehicles Autonomy Trials, FOI Memo 8263.
- Markfordon –Rörlighet och Systemintegration – Årsrapport 2023, FOI Memo 8361.
- Metod för analys av fordonskoncept ur ett rörlighetsperspektiv, FOI-R--5717--SE.
- Reserapport från Future Armoured Vehicles Power Systems 2024, FOI Memo 8953.
- Markfordon –Rörlighet och Systemintegration – Årsrapport 2024, FOI Memo 8722.
- Utveckling av verktyg för designrymskartläggning av framtidens hybridiserade stridsfordon - Prognos, designrymskartläggning och analys, FOI-R--5851--SE.

Titel/Title

Markfordon – Rörlighet och systemintegration 2023–2025 – Slutrapport

Memo nummer/Number

FOI Memo 9133

## 4 Referenser

- [1] M. Karlsson Hagnell och A. Carlstedt, ”Metoder och verktyg för designrymskartläggning,” FOI-R--5503--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm, 2023.
- [2] E. Arvidsson, M. Elfsberg, S. Eliasson, M. Karlsson Hagnell, L. Siridol Kjellberg och E. Zeidlitz, ”Utveckling av verktyg för designrymskartläggning av framtidens hybridiserade stridsfordon - Prognos, designrymskartläggning och analys,” FOI-R--5851--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm, 2025.
- [3] N. Chaar, M. Lyth och J. Andersen, ”Metod för analys av fordonskoncept ur ett rörlighetsperspektiv,” FOI-R--5717--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm, 2024.
- [4] ”Project Chrono - An Open-Source Physics Engine,” [Online]. Available: <https://projectchrono.org/>. [Använd den 5:e december 2022].
- [5] QGIS, ”Welcome to the QGIS project!,” [Online]. Available: <https://www.qgis.org/en/site/>. [Använd den 7:e december 2023].
- [6] J. Dasch, ”Next-Generation NATO Reference Mobility Model (NG-NRMM) Development,” NATO, Warren, 2020.
- [7] Statens geologiska undersökning, ”Kartor,” [Online]. Available: <https://www.sgu.se/produkter-och-tjanster/kartor/>. [Använd den 10:e december 2025].
- [8] Robodyne SRL, ”MaXXII-S Electric Skid-Steering Tank Tracked Mobile Robot with suspensions for agricultural applications - Robodyne Robotics.mhtml,” Robodyne, 2024. [Online]. Available: <https://www.robodyne.com/product/maxxii-s-electric-skid-steering-tank-tracked-mobile-robot-with-suspensions-for-agricultural-applications/>. [Använd 2 december 2024].
- [9] A. Carlstedt, V. Hallbeck och O. Norberg, ”Markfordon Reserapport - Unmanned Ground Vehicles Autonomy Trials,” FOI Memo 8263, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm, 2023.
- [10] M. Elfsberg, ”Reserapport från Future Armoured Vehicles Power Systems 2024,” FOI Memo 8953, Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm, 2024.
- [11] A. Körner, ”Influence of Track-Assembly Geometry on Mobility Over Rigid Terrain,” Chalmers University of Technology, Göteborg, 2024.
- [12] L. S. Kjellberg, ”Modelling, simulation and analysis of multi-wheeled military vehicles,” Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm, 2024.
- [13] N. Lindbäck, ”Tire and Terrain Modeling for Mobility Evaluation,” Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm, 2025.
- [14] K. Krysell, ”Teknisk tjänst för autonoma stridsfordon på stridsfältsnivå,” Försvarshögskolan, Stockholm, 2024.