Obemannade farkoster för markstriden

Erfarenheter från Ukraina

JOUNI RANTAKOKKO, JONAS NYGÅRDS

FOI-R--5723--SE
ISSN 1650-1942 Juli 2025

Jouni Rantakokko, Jonas Nygårds

Obemannade farkoster för markstriden

Erfarenheter från Ukraina

Titel	Obemannade farkoster för markstriden – Erfarenheter från Ukraina
Title	Unmanned systems for ground combat – Experience from Ukraine
Rapportnr/Report no	FOI-R--5723--SE
Månad/Month	Juli
Utgivningsår/Year	2025
Antal sidor/Pages	92
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	Försvarsmakten
Forskningsområde	Övrigt
FoT-område	Temaområde
Projektnr/Project no	E38546
Godkänd av/Approved by	Linda Sjödin
Ansvarig avdelning	Cyberförsvar och ledningsteknik

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Användningen av obemannade farkoster har transformerat operationsmiljön i Ukraina och det är av stor vikt att förstå både den tekniska utvecklingen och hur obemannade farkoster används operativt inom markstriden. Den ukrainska militären har visat att det är möjligt att nå betydande asymmetriska fördelar även med tekniska system som har stora begränsningar, genom att skapa en god förståelse för teknikens begränsningar och därefter anpassa metod och taktik utifrån dessa begränsningar. Utvecklingscykeln från design och utveckling till operativ användning av exempelvis ukrainska stridstekniska UAV:er (eng. Unmanned Aerial Vehicle) är extremt snabb.

Ukraina har som mål att för farliga uppgifter ersätta soldaterna med obemannade farkoster som leds av operatörer som befinner sig i skyddade ställningar. Det transparenta stridsfältet, där UAV:er utgör en central del, ger en tidigare oöverträffad förmåga att hitta och bekämpa fientliga mål. På det transparenta stridsfältet utgör även uppgifter som logistik och sjuktransporter högriskuppdrag. Graden av transparens (opacitet) påverkas dock av ett flertal faktorer – såsom väder- och ljusförhållanden samt telekrigsinsatser – och betydelsen av att anpassa de egna operationerna efter dessa förhållanden ökar i betydelse.

UAV:er används i massiv skala, framförallt för spaning, målinmätning, bekämpning och verkansbedömning. Obemannade markfarkoster (eng. Unmanned Ground Vehicle, UGV) har hittills använts i begränsad omfattning, framförallt på grund av att de inte har bedömts vara tillräckligt pålitliga. Ukraina avser dock att under 2025 anskaffa 15 000 UGV:er och användningen ökar nu snabbt.

Nyckelord: Obemannad, autonom, UAV, UGV, transparenta stridsfältet, telekrig, kommunikation, PNT

Summary

The use of unmanned systems has transformed the operational environment in Ukraine and it is imperative to understand both the technical developments and the operational use of unmanned systems. The Ukrainian military has shown that it is possible to obtain significant asymmetric benefits also with unmanned systems that have major technical limitations, by creating a good understanding about the limitations with these systems and adjusting their tactics and procedures to counter these limitations. The development cycle from redesign to manufacturing and operationalization of e.g. UAV's (Unmanned Aerial Vehicles) is extremely fast.

The ambition in Ukraine is to replace soldiers with unmanned systems, controlled by operators from safe positions, for all dangerous tasks. The transparent battlefield, for which the proliferation of UAV's is a central enabler, provides both sides with an unprecedented ability to find, track and engage enemy targets. Tasks such as logistics and casualty evacuation are associated with high risk on the transparent battlefield. However, the degree of transparency (opacity) on the battlefield is influenced by several factors – such as darkness, weather conditions and electronic warfare – and it is more critical than ever to adapt operations according to these factors.

UAV's are utilized on a massive scale, particularly as a part of the 'kill chain' to find, fix (or track), track and engage enemy targets and post-strike assessment. In contrast, the use of unmanned ground vehicles (UGV) has been relatively modest, mainly due to the fact that they have not been deemed sufficiently reliable. However, Ukraine plans to procure at least 15,000 UGV's during 2025 and their use is increasing rapidly.

Keywords: Unmanned, autonomous, UAV, UGV, transparent battlefield, electronic warfare, communications, PNT

Innehållsförteckning

1 Inledning ... 7
1.1 Avgränsningar ... 8
1.2 Metod ... 9
2 Situationen i Ukraina ... 11
2.1.1 Operativ kontext ... 11
2.1.2 Taktisk kontext ... 12
3 Användningen av UAV:er ... 15
3.1 Spaning och målinmätning ... 16
3.1.1 Ukraina ... 17
3.1.2 Ryssland ... 19
3.2 Bekämpning ... 22
3.2.1 FPV ... 25
3.2.2 Multirotor-UAV:er ... 26
3.2.3 Patrullrobotar ... 27
3.2.4 UAV av flygplanstyp ... 28
3.2.5 Långräckviddig bekämpning ... 29
3.3 C-UAS ... 32
3.4 Logistik ... 33
4 Teknikutvecklingen för UAV:er ... 35
4.1 Autonomi ... 35
4.1.1 Stegvis utveckling av autonoma funktioner ... 35
4.1.2 Inriktningen för den ukrainska industrins utveckling av autonoma funktioner ... 38
4.1.3 Etiska och juridiska aspekter ... 39
4.1.4 Uppdragsautonomi ... 39
4.1.5 Samverkande UAV:er och svärmar ... 40
4.1.6 Diskussion ... 41
4.2 Robusthet i telestörda miljöer ... 41
4.2.1 Kommunikation ... 42
4.2.2 Positionering, navigering och tidshållning (PNT) ... 47

4.3 Stridsekonomi 50
4.3.1 Design av FPV-UAV:er 50
4.3.2 Modifieringar av kommersiella UAV:er 51
4.3.3 Kostnadseffektiv långräckviddig bekämpning 51
4.3.4 Detektion och lokalisering av UAV:er 52
5 Användningen av UGV:er 53
5.1 Ukraina 54
5.2 Ryssland 58
5.3 Diskussion 61
6 Teknikutvecklingen för UGV:er 63
6.1 Autonoma funktioner 63
6.2 Kommunikation 64
6.3 Positioneringssystem 65
6.4 Diskussion 65
7 Operationsmiljön och det transparenta stridsfältet 67
7.1 Teknikens begränsningar 67
7.1.1 Väderförhållanden 68
7.1.2 Mörker 68
7.1.3 Räckvidd och uthållighet 68
7.1.4 Sensorer och kamouflage 69
7.2 Telekrigsduellens påverkan 70
7.3 Scenario 71
7.4 Kurskoffensiven – ett exempel på manöverkrigföring? 72
7.5 Reflektioner och diskussion 72
8 Slutsatser 75
Referenser 79

1 Inledning

En viktig slutsats från Försvarsmaktens analys av erfarenheter och lärdomar från kriget i Ukraina som genomfördes 2024 är att obemannade farkoster på ett omvälvande sätt har transformerat operationsmiljön i Ukraina [1]. Den stora mängden sensorer[1] som övervakar stridsfältet i frontnära områden har lett till en exempellös förmåga till detektion, inmätning och lokalisering av mål. Den massiva användningen av beväpnade stridstekniska obemannade luftfarkoster (eng. Unmanned Aerial Vehicle, UAV) har samtidigt möjliggjort en närmast obegränsad förmåga att genomföra precisionsbekämpning på taktisk nivå. I kombination med snabba bekämpningskedjor har detta medfört att militära enheter har svårt att förflytta sig eller kraftsamla utan att bli upptäckta och bekämpade. Denna utveckling benämns det ”transparenta stridsfältet” och har en potentiellt disruptiv påverkan på markstriden [1]. Ett gråzonsområde (”kill zone”) har skapats mellan de ukrainska och ryska ställningarna – ett ingenmansland med olika djup beroende på frontavsnitt där alla förflyttningar är förenade med hög risk.

I början av den storskaliga ryska invasionen av Ukraina, under våren 2022, fick UAV:er såsom den turkiska Bayraktar TB-2 stor uppmärksamhet. Deras betydelse var dock i praktiken relativt begränsad. Traditionella pansarvärns-robotar och artilleribekämpning stod då för den stora majoriteten av de förluster som de ryska förbanden åsamkades. Ju längre kriget har pågått, desto större påverkan har obemannade farkoster fått på hur kriget genomförs. UAV:er har förändrat operationsmiljön på ett dramatiskt sätt, men även obemannade ytfarkoster (eng. Unmanned Surface Vehicles, USV) har haft en betydande påverkan på operationsmiljön i Svarta havet. Obemannade markfarkoster (eng. Unmanned Ground Vehicle, UGV) har hittills använts i relativt liten omfattning och de har haft en begränsad påverkan på hur markstriden genomförs.

Teleopererade USV:er försedda med sprängmedel, exempelvis Magura V5 och Sea Baby, har i kombination med robotattacker (som Neptune och Storm Shadow) skadat eller förstört motsvarande en tredjedel av den ryska Svartahavsflottan [2].[2] Dessa attacker har resulterat i att den ryska marinens möjligheter att operera i de västra och nordvästra delarna av Svarta havet har begränsats och de har efter upprepade attacker flyttat de större fartygen från Sevastopol på Krimhalvön till Novorossijsk. Detta har bland annat åter möjliggjort ukrainska sjötransporter, bland annat spannmålsexport. USV:erna har

[1] Majoriteten av sensorerna utgörs av elektrooptiska och infraröda sensorer (eng. Electro-Optical and Infrared, EO/IR) som bärs av stridstekniska och taktiska obemannade luftfarkoster, men även telekrigssensorer, satellitbaserade spaningssystem och analyser av sociala medieinlägg används i betydande omfattning och utgör viktiga komplement.

[2] www.blackseanews.net/en/read/226359 (besökt 2025-04-07).

efterhand utvecklats till multirollfarkoster och de utrustas bland annat med vapenstationer, robotar för bekämpning av helikoptrar och stridsflyg och de kan fungera som moderfarkoster och kommunikationsreläer åt FPV-UAV:er (eng. First Person View) [3], [4].

Den ukrainska tillverkningen av UGV:er förväntas öka snabbt – från ca 1 000 UGV:er under 2024 till drygt 15 000 UGV:er under 2025 [5]. Majoriteten har utgjorts av relativt små lågkostnadsfarkoster som använts för logistik, minering, som mobila stridsvagnsminor eller envägs attackfarkoster (eng. One-Way Attack, OWA) och bärare av spaningssensorer och telekrigssystem. Fler UGV:er utrustas nu med vapenstationer och de utvecklas för att kunna genomföra stridsuppgifter.

Ukrainska källor anger att UAV:er i början av 2025 har bekämpat motsvarande 60 eller 70 % av de ryska målen [6], [7]. De betonar dock att FPV-UAV:er inte utgör ett fullgott alternativ till artilleribekämpning utan den största effekten erhålls när användningen av FPV-UAV:er kan kombineras med artilleribekämpning. Den stora betydelse som FPV-UAV:er har fått är delvis ett tecken på bristen på artilleri – där bristen (i början av 2025) primärt bedömdes vara ersättningseldrör och artilleripjäser snarare än ammunition [8].

I denna kontext blir det kritiskt att förstå den pågående tekniska utvecklingen, hur obemannade farkoster används operativt samt möjligheterna med, och behovet av, metod- och taktikanpassning för att nå militär nytta med obemannade farkoster som har tekniska begränsningar.

Denna rapport utgör en leverans inom FoT-projektet *Obemannade och autonoma system – teknik och operatör*.[3] Rapporten beskriver hur obemannade farkoster har använts under kriget i Ukraina och hur de har förändrat operationsmiljön. Den snabba teknik- och metodutvecklingen beskrivs även, där utvecklingscykeln från design till operativt införande under våren 2025 är enstaka månader.[4]

1.1 Avgränsningar

Fokus i denna rapport är på användningen av obemannade farkoster inom markarenan, vilken domineras av användningen av stridstekniska och taktiska UAV:er. Användningen av FPV-UAV:er för bekämpning utgör en viktig aspekt vid en sådan analys. Utvecklingen av UAV:er för långräckviddig precisionsbekämpning avgränsas huvudsakligen bort men utvecklingen beskrivs i begränsad utsträckning för att ge en mer komplett bild av situationen.

---

[3] Beställningsnummer och –namn: AT.9226007, Autonomi/Obemannat FOI 24.

[4] Rapporten beskriver huvudsakligen hur situationen var i Ukraina under vintern och våren 2025. Situationen förändras dock snabbt och delar av informationen kan då rapporten publiceras redan vara delvis förlegad. Rapportens syfte är att ge läsaren en förståelse för de grundläggande faktorer som påverkat utvecklingen, och underlätta för läsaren att följa utvecklingen.

Användningen av UGV:er är i jämförelse ytterst begränsad men den förväntas öka under 2025.

Den centrala roll som UAV:er har fått på stridsfältet i Ukraina visar på ett akut behov av att utveckla förmågan att neutralisera fiendens användning av UAV:er (eng. Counter-Unmanned Aerial Systems, C-UAS). Denna rapport omfattar dock endast en typ av C-UAS, nämligen UAV:er som utvecklas och används för att neutralisera motståndarens UAV:er (s.k. jakt-UAV:er).

1.2 Metod

Rapportens innehåll baseras uteslutande på information som hämtats in från öppna källor. Stora mängder information från exempelvis kriget i Ukraina återfinns i olika öppna källor, från inlägg i sociala medier till artiklar i traditionella medier. En god kunskap inom de ingående teknikområdena är en förutsättning för att kunna pussla ihop en större bild av delvis fragmenterade beskrivningar, samt för att kunna filtrera bort felaktigheter.

En del av informationen kommer från vetenskapliga publikationer eller rapporter från kända forskningsorganisationer, såsom RUSI (Royal United Services Institute) och CSIS (Centre for Strategic and International Studies). RUSI har forskare som regelbundet besöker Ukraina och genomför fältobservationer. Den huvudsakliga delen av källorna utgörs dock av artiklar i välrenommerade traditionella medier såsom New York Times, Forbes och Reuters. Journalisterna har under de senaste åren byggt upp en relativt god teknisk och militär kunskap och etablerade medier som New York Times utför normalt egna analyser av källornas trovärdighet. Artiklarna baseras ofta på en kombination av analyser av videofilmer som publiceras på sociala medier, intervjuer med civila eller med militär personal med lokalkännedom, och analyser och jämförelser med andra oberoende källor (exempelvis satellitdata för trupprörelser).

Det är dock fortsatt nödvändigt att göra egna värderingar av trovärdigheten på framförallt de tekniska beskrivningarna i artiklarna. Denna källkritik, som genomförs för att validera och bedöma rimligheten i den information som beskrivs, förutsätter en bred och djup teknisk kunskap om de ingående teknikerna. I ett fåtal fall baseras informationen i rapporten på videofilmer som publiceras i sociala medier men dessa har huvudsakligen använts för att verifiera information från andra källor och ge exempel på utvecklingen.

Slutligen används även olika militära eller militärt kopplade ukrainska källor som Militarnyi, Defence Express och United24. De har normalt en god kunskap men de publicerar troligen framförallt information som är godkänd av de ukrainska myndigheterna, eller utgör information som de vill föra ut, vilket medför att informationen som förmedlas i dessa källor bör behandlas med försiktighet. Ukrainska medier som Kyiv Post och Kiev Independent har även de god kunskap om situationen men informationen bör verifieras av andra oberoende källor.

Den bild av utvecklingen som erhållits via öppna källor har över tid visat sig stämma relativt väl men den bedöms vid skrivandet av denna rapport ha en eftersläpning på omkring två till sex månader. Anledningen till eftersläpningen är att informationen bör aggregeras från flera källor för att öka trovärdigheten i informationen. Den snabba utvecklingscykeln och metodanpassningen gör även att informationen i många fall inte längre bedöms vara känslig efter denna fördröjning och informationen tillåts spridas öppet.

Notera att de prestanda som anges i denna rapport bör se som indikativa – den kontinuerliga teknikutvecklingen medför att prestanda gradvis förbättras samtidigt som exempelvis leverantörernas eller medias öppna beskrivningar av prestanda inte nödvändigtvis är fullständigt korrekta.

2 Situationen i Ukraina

I rapporten från Royal United Services Institute (RUSI) [8] ges en initierad beskrivning av den operativa och taktiska kontexten i Ukraina under slutet av 2024 och början av 2025. Rapporten beskriver både hur taktiken har utvecklats och vilken operativ påverkan detta har för den ukrainska sidan. Rapporten baseras på fältstudier och omfattande intervjuer som författarna genomfört på plats i Ukraina under november 2024 och januari 2025 [8]. Situationen förändras dock snabbt. Institute for the Study of War (ISW) genomför kontinuerligt analyser och publicerar regelbundet beskrivningar av situationen i Ukraina (se t.ex. [9]).

2.1.1 Operativ kontext

Ryssland strategiska mål anges fortsatt vara att med militära medel få Ukraina att politiskt underkasta sig Ryssland och de använder sig nu av en utnötningsstrategi (eng. attrition[5]) med fokus på eldkraft för att nå detta mål [8]. De ryska väpnade styrkornas huvudsakliga fokus är i Donetsk län. Ryssland försöker även, med stöd av nordkoreanska förband, pressa tillbaks de ukrainska styrkorna från Kursk. Ryssland avancerar i långsam men stadig takt i Donetsk och Kursk. Ryssland bibehåller trycket mot Kharkiv, där denna attackväg sannolikt förstärks om de ukrainska förbanden retirerar från Kursk. I södra Ukraina är målet att låsa de ukrainska förbanden som försvarar Kherson och Zaporizjzja. Den typ av krigföring som Ryssland bedriver resulterar i extremt höga förluster både i döda och skadade soldater – med omkring 1 200 skadade per dag i slutet av 2024 – och utrustning där tillgången till bepansrade fordon minskar i snabb takt [8].

Det ukrainska luftvärnet försvårar fortsatt det ryska flygvapnet från att operera på ukrainskkontrollerade områden. Ryssland genomför istället huvudsakligen långräckviddiga attacker mot flygfält, träningsområden och civil och militär infrastruktur med OWA-UAV:er (som Shahed-136 och Geran-2[6]) kombinerat med traditionella kryssningsrobotar och ballistiska robotar. Ryssland attackerar regelbundet Ukraina med över hundra UAV:er per dygn. Den största militära effekten anges vara att tvinga Ukraina att låsa upp stora delar av sitt luftförsvar och reducera lagret av kvalificerade luftvärnsrobotar [8].

Ukraina försvarar en 120 mil lång linje där stridskontakt sker. Ukraina bedöms ha tillgång till i storleksordningen 800 000 soldater, poliser, gränsvakter och annan säkerhetspersonal, men endast en fjärdedel av dessa genomför reguljära stridsuppgifter [8]. Den största utmaningen anges vara det otillräckliga antalet

[5] Britannica Dictionary beskriver attrition som ”the act or process of weakening and gradually defeating an enemy through constant attacks and continued pressure over a long period of time”.

[6] Rysktillverkad UAV som är en vidareutveckling av den iranska Shahed-136.

stridande soldater, där många av dessa har stridit sedan krigets början. Ukraina anges ha som mål att öka kostnaden för Ryssland att fortsätta kriget genom utnötning, i kombination med fjärrbekämpning av oljeraffinaderier, ammunitionslager och förvarsindustrianläggningar. Detta bedöms på sikt ge en betydande reducering av Rysslands krigföringsförmåga men det är kritiskt att de kan hålla frontlinjerna till dess [8].

2.1.2 Taktisk kontext

De pågående striderna påminner om situationen i början av 2023 med omfattande artilleribekämpning och lager av försvarslinjer med skyttegravar och fortifikationer. Den ryska taktiken baseras i stor utsträckning på det som benämns som ”Reconnaissance-Fire Complex”, där artilleri utgör den vanligaste bekämpningsformen och UAV:er används för målinmätning (se exempelvis [10]).Den ryska offensiven har anpassats efter de rådande taktiska förutsättningarna och utgörs nu primärt av tre kombinerade steg: (*i*) de ryska förbanden fortsätter genom attacker med mindre grupper av infanteri och mekaniserade enheter att låsa de ukrainska förbanden vid fronten, (*ii*) de bekämpar ukrainska förband och försvårar all förflyttning genom attacker med FPV-UAV:er, patrullrobotar (huvudsakligen Lancet-3M) och artilleribekämpning (som även genomför fjärrmineringar) och (*iii*) de genomför omfattande bekämpning av de ukrainska frontnära förbanden med glidbomber [8]. I perioder har 100 till 150 glidbomber[7] använts per dygn [13], [14].

Under andra halvåret 2024 ökade framförallt den ryska användningen av fiberoptiskt styrda FPV-UAV:er som är okänsliga mot telekrigsinsatser. Ryssland har tidigare haft en högre koncentration av artilleri och tillgång till ammunition än Ukraina men det finns indikationer på att Ryssland också börjar få brist på artilleri. Under mars 2025 anger officiella ukrainska källor att de bekämpat 1,644 artillerisystem. De ryska förbanden använder även i större omfattning nordkoreanska artilleripjäser av lägre kvalitet och med en mer begränsad mobilitet. Detta kan påverka de ryska förbandens offensiva förmågor [15].

Användningen av glidbomber har åsamkat de ukrainska förbanden stora förluster och de har tvingats anpassa sig genom att i än högre grad undvika att deras försvarspositioner blir upptäckta, vilket begränsar deras förmåga att bekämpa framryckande ryska enheter. Ukraina har därmed tvingats förlita sig i än högre

[7] UMPK (Unificirovannyj Nabor Modulje Planirownia i Korrekcji) är glidbomber som baseras företrädelsevis på bomber som FAB-500, FAB-1500 och FAB-3000 som utrustas med utfällbara vingar och styrsystem baserat på enkla tröghetsnavigeringssystem och satellitnavigationsmoduler (eng. Global Satellite Navigation System, GNSS) [11]. De är ofta utrustade med gruppantennbaserade störskydds-system. De har stora likheter med de amerikansktillverkade JDAM (eng. Joint Direct Attack Munition). Den största glidbomben baseras på FAB-3000 som bär på 1,4 ton högexplosiva sprängmedel. Den skapar en krater som är tiotals meter stor och har splitterverkan på ca 260 m [12].

grad på obemannade och autonoma system för att bemöta de ryska anfallen och de strävar efter att bedriva försvarsstriden på ett ökat djup. Ukraina fortsätter att åsamka de ryska trupperna mycket stora förluster och förhindrar de ryska förbanden från att åstadkomma större genombrott [8].

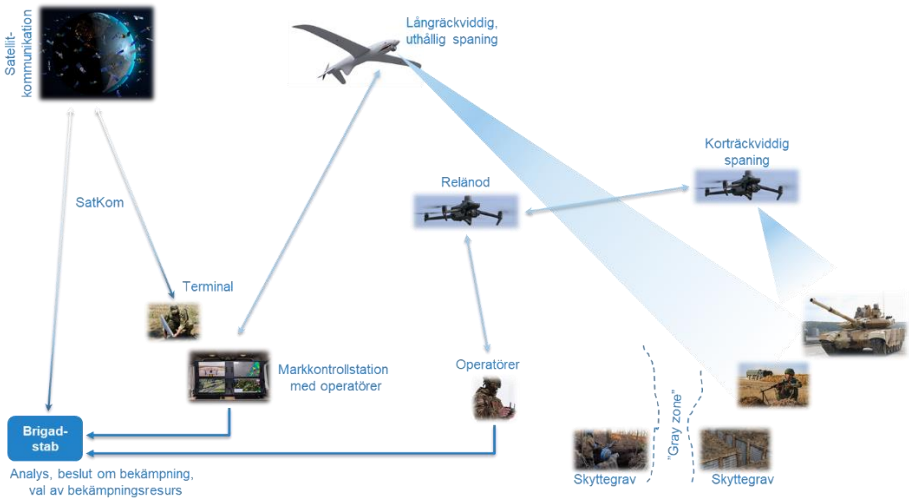
3 Användningen av UAV:er

Ukraina använder UAV:er i massiv omfattning där de viktigaste användningsområdena är som en central del av bekämpningskedjan där de genomför spaning, målinmätning för indirekt eld, direkt bekämpning och verkansbedömning. Större multirotor-UAV:er används även för andra typer av uppdrag, exempelvis logistik och minering bakom fiendens linjer [16]. Även om användningen av UAV:er som den turkiska Bayraktar TB-2 och den ukrainska Punisher fick stor uppmärksamhet direkt efter Rysslands storskaliga invasion i februari 2022 så hade de en begränsad påverkan; pansarvärnsrobotar som Javelin, NLAW och Stuhna slog ut avsevärt fler ryska fordon [16]. I den rådande operationsmiljön i Ukraina är det istället mindre UAV:er som har en central roll i krigföringen.

Ukraina anger att den inhemska tillverkningen av UAV:er under 2024 var över 2,2 miljoner FPV:er och omkring 100 000 större UAV:er med längre räckvidd och uthållighet [6]. FPV-UAV:er är oftast utrustade med någon form av kinetisk verkansdel, men de är flexibla och kan bära olika typer av nyttolaster [17]. Tillverkningskapaciteten ökar i snabb takt och både Ukraina och Ryssland presenterade i början av 2025 planer på att anskaffa ca 4 miljoner UAV:er under 2025 [18], [7]. [8] Den ukrainska industrin har ökat produktionstakten ytterligare och de anger att de kan leverera upp till 10 miljoner FPV-UAV:er under 2025, där enskilda företag uppger att de kan producera 4 000 FPV-UAV:er om dagen [19], [20]. Över 96 % av de ukrainska UAV:erna är inhemskt tillverkade och Ukraina har nu över 200 olika typer eller versioner av inhemskt tillverkade UAV:er [17].

En pedagogisk och informativ beskrivning av hur den ukrainska militären använder sig av UAV:er återfinns i [21]. Användningen av UAV:er för spaning, övervakning, målinmätning och verkansbedömning sammanfattas i figur 3.1. Fokus är på hur FPV:er används för bekämpning och både metod och teknik beskrivs på ett illustrativt sätt. Spaning för att upptäcka mål genomförs med olika typer av UAV:er, dels med små kvadrokoptrar som flyger på några hundra meters höjd över fronten och dels med lite större UAV:er som används i en mer tillbakadragen roll (några kilometer bakom själva frontlinjen) och som flyger på högre höjd. När dessa obemannade spaningsfarkoster upptäcker och lokaliserar mål tas beslut om, och på vilket sätt, bekämpning ska ske. Bekämpningsbeslut tas normalt på bataljons- eller brigadnivå, där mer kvalificerade analysfunktioner finns. Förmågan att kunna förmedla realtidsvideo till bakre analysresurser är därmed viktig, vilket exempelvis genomförs med Starlinkterminaler. Alternativt vidarebefordras endast målinformation via app-baserade ledningssystem som Delta eller Kropyva [21], [8].

[8] www.president.gov.ua/en/news/ukrayina-mozhe-j-bude-stvoryuvati-najkrashi-zrazki-zbroyi-vi-93613 (besökt 2024-12-10).



Figur 3.1: Illustration av hur spaning med UAV:er kan genomföras i Ukraina, med en kombination av UAV:er med kort sensorräckvidd och kort uthållighet som flyger lågt (några hundra meter) och UAV:er med längre uthållighet som kan detektera mål på längre avstånd och från högre höjd (några tusen meter). Ingenmansland (även benämnt "gray zone" eller "kill zone") är ett antal kilometer brett. Kommunikation från operatör till stab kan ske exempelvis via 4G/5G, satellitkommunikation (ofta med Starlink) eller taktiska kommunikationssystem. Operatör för stridsteknisk UAV befinner sig i skydd några kilometer bakom fronten, och flygande relänoder används för att öka kommunikationsavståndet till spaningsfarkosten. Operatörer till långräckviddig spaningsfarkost befinner sig ytterligare någon mil längre bak. Illustration: FOI (baserat på fotografier från Wikipedia, med inspiration från [21]). De system som används i figuren utgör endast exempel.

Ett stort antal olika typer av UAV:er används av Ukraina och Ryssland – olika källor beskriver att mellan 100 och 200 olika UAV:er har använts (se exempelvis [17]). Endast ett begränsat urval av dessa beskrivs i detta kapitel.

3.1 Spaning och målinmätning

På kompaninivå, hos exempelvis artilleri- och infanteriförband, används ett betydande antal stridstekniska UAV:er för att upprätthålla en lokal lägesbild och leta efter fiendeställningar. Vid fronten använder infanterienheter bland annat kommersiella kvadrokoptrar (t.ex. olika versioner av kinesiska UAV:er som DJI Mavic 3, se figur 3.2) där deras firmware har modifierats för att förbättra möjligheterna att använda dem under de förutsättningar som råder i Ukraina [21]. I [22] anges att både Ukraina och Ryssland anskaffar stora mängder DJI Mavic 3. Ryssland köpte under perioden augusti 2024 till februari 2025 omkring 100 000 Mavic 3 och totalt har de modifierat firmware på över 200 000 Mavic 3. Större kvadrokoptrar såsom DJI Matrice 300 som är utrustade med mer avancerade EO/IR-sensorer används även för spaning i mer tillbakadragna roller.

Figur 3.2: Vänster – en ukrainsk soldat med en DJI Mavic 3 (foto: www.mil.gov.ua, Wikipedia). Höger – en operatör som styr en DJI Mavic baserat på videoström som visas på operatörens kontrollenhet (foto: armyinform.com.ua, CC-BY 4.0).

DJI anger att de motsätter sig militär användning av deras UAV:er och att de inte säljer direkt till Ryssland eller Ukraina, men med tanke på omfattningen är det troligt att DJI inte aktivt försöker förhindra denna användning. Ukraina har även under slutet av 2024 fått tillgång till omkring 1 000 uppdaterade, och mer robusta versioner, av Skydio X10D [17].

Den UAV-baserade spaningsförmågan anges vara bäst inom 3 km från stridskontakt, varefter den minskar gradvis ut till ett djup av 15 km [8]. Ukrainska befälhavare har möjlighet att genomföra spaningsuppdrag upp till 40 km bakom fronten (där stridskontakt sker). Satellitspaning används ofta för att välja ut områden dit långräckviddiga spanings-UAV:er allokeras och för att välja ut mål för långräckviddiga bekämpningsinsatser [8].

Spaning och rekognoscering genomförs i stor utsträckning även med UAV:er av flygplanstyp (eng. fixed-wing) som är utrustade med mer avancerade (och dyrare) EO/IR-sensorer med optisk zoom, och gyrostabilisering av högre kvalitet, vilket möjliggör spaning och målinmätning från högre höjd och på längre avstånd [8]. I [21] anges exempelvis att dessa kan genomföra spaning på avstånd av 2-5 km bakom fronten, på några tusen meters höjd.

Ukrainska artilleri- och markstridsbrigader har normalt separata UAV-kompanier eller bataljoner som genomför spaning på djupet bakom fiendens linjer. Dessa har även i uppgift att genomföra flygningar för att stödja ledningen av egna förband och genomföra stridsfältsspaning. Även underrättelseförband genomför spaning på djupet bakom fiendens linjer.

Ryssland använder UAV:er på liknande sätt men de använder även i större utsträckning militära UAV:er som Orlan-10 för att skapa sig en lägesbild över de egna enheterna och genomföra ledning [8].

3.1.1 Ukraina

Ukraina använder ett stort antal olika typer av obemannade spaningsfarkoster, från små kvadrokoptrar till större taktiska UAV:er av flygplanstyp.

Figur 3.3: Ukrainsk obemannad spaningsfarkost – Shark (foto: Nazar Korovai, Wikipedia).

Ukraina har anskaffat tiotusentals DJI UAV:er, och ett stort antal har även donerats till Ukraina av frivilligorganisationer (exempelvis Drones2Ukraine). Ukraina försöker nu ersätta kinesiska UAV:er med inhemskt tillverkade men det ökar kostnaden samtidigt som det är svårt att nå samma prestanda som DJI har. Det finns dock ett stort värde i att ha en kontrollerad inhemsk produktion i kombination med möjligheten att utveckla systemen baserat på den inhemska kunskapen kopplat till att skapa robusthet i telestörda miljöer [23].

En UAV av flygplanstyp som används i stor omfattning är Shark som produceras av Ukrspecsystems (figur 3.3). Shark-D är en UAV med elektrisk framdrivning som har en uthållighet på upp till fyra timmar och kan flyga i en hastighet av 130 km/h på höjder upp till 3 000 m.[9] Den har en maximal startvikt på 13,5 kg. Tillverkaren anger att den med sina gyrostabiliserade EO/IR-sensorer kan detektera objekt på avstånd upp till 35 km dagtid och 14 km under natten. Den har en krypterad datalänk med en räckvidd på upp till 80 km för realtidsvideo (då markkontrollstationen har en 5 m mast). Den kan fungera som kommunikations-relä för andra UAV:er. Shark-D skjuts upp med katapult och landar med hjälp av en fallskärm. Den kan kontrolleras från olika markkontrollstationer och distribuera realtidsvideo direkt till bärbara videoterminaler som framskjutna enheter kan utrustas med. Den kan utföra uppdrag delvis autonomt vid kommunikationsbortfall. En uppdaterad version, Shark-M, har nyligen blivit operativ. Den har en uthållighet på upp till sju timmar och en räckvidd för kommunikationssystemet på 180 km. Den anges ha en förbättrad robusthet mot telekrig, både störning och vilseledning.[10]

Ukraina har sedan augusti 2024 använt sig av den amerikanska obemannade spaningsfarkosten V-BAT som tillverkas av Shield AI (figur 3.4) [24], [25]. Den är avsedd primärt för att detektera och lokalisera mål bakom fiendens linjer som stöd för bekämpning på djupet. V-BAT har förmågan att starta och landa autonomt, utan operatörsstöd, vertikalt på rörliga plattformar som fartyg eller fordon (landningsyta på 4×4 m). Den väger omkring 55 kg och har en uthållighet på upp till 13 timmar.

[9] ukrspecsystems.com/drones/shark-uas (besökt 2025-03-18).

[10] ukrspecsystems.com/drones/shark-m-uas (besökt 2025-03-18).

Figur 3.4: Shield AI V-BAT (MQ-35A). Den kan monteras och handhas av två operatörer och kan starta och landa vertikalt på rörliga plattformar såsom fartyg. (foto: vänster – Lilykhinz, Wikipedia; höger – Cpl. Quince D. Bisard, U.S. Marine Corps, Wikipedia).

De senaste versionerna av V-BAT anges ha en god förmåga att operera i telestörda miljöer med hjälp av AI-baserade autonoma funktioner, utan GNSS och traditionella radiokommunikationssystem [24], [25]. Det är dock inte känt hur den estimerar sin position och orientering. V-BAT anges även kunna sända målinformation för bekämpning via någon typ av satellitkommunikation. Den kan hanteras av två operatörer och vara redo för start inom 30 minuter och transporteras exempelvis i en SUV [24], eller helikopter (Blackhawk).[11]

Ukraina har sedan hösten 2022 använt Poseidon H10 MkII UAV. Det är en obemannad spaningsfarkost med elektrisk framdrivning som även kan starta och landa vertikalt (eng. Vertical Take-Off and Landing, VTOL). H10 MkII är utvecklad av det cypriotiska företaget Swarmly men den uppdaterade versionen som började föras in i slutet av 2024, H10 MkIII, tillverkas i Ukraina. Den kan genomföra spaning från höjder upp till 5 000 m och har en räckvidd på omkring 150 km. Den beskrivs (utan att specificeras närmare) vara anpassad för operationer i telestörda miljöer.

3.1.2 Ryssland

Ryssland har haft stora utmaningar med att tillverka större kvalificerade UAV:er [26]. Ryssland har dock sedan ett decennium en aktiv inhemsk tillverkning av mindre spanings-UAV:er och de tillverkar ett stort antal olika UAV:er. Baserat på antalet förlorade ryska UAV:er som anges av analysgruppen Oryx[12], som genom OSINT (eng. Open-Source Intelligence) beskriver de ryska förlusterna i Ukraina, är det sannolikt att Ryssland för spaning i stor omfattning använder sig av Orlan-10, Zala Z-16 och Supercam S350 (figur 3.5). Den ryska armén använder även äldre, vidareutvecklade stridstekniska UAV:er som Eleron-3SW i

[11] shield.ai/v-bat/ (besökt 2025-03-18).

[12] en.wikipedia.org/wiki/Oryx_(website) (besökt 2025-04-16).

betydande omfattning (figur 3.5). Den här typen av ryska UAV:er använder sig av tryckluftsdrivna uppskjutningsanordningar och landar med hjälp av fallskärm.

Zala Z-16 är en elektriskt driven spanings-UAV som enligt tillverkaren har en räckvidd på över 75 km, en operationshöjd mellan 200 och 5 000 meter och en uthållighet på fyra timmar. Z-16 är utrustad med EO/IR-sensorer och den kan agera som en kommunikationsrelänod för andra UAV:er och deras egna patrull-robotar.[13] Z-16 utgör en del av det som benämns som ”Lancet complex”.[14]

Supercam S350 används typiskt för spaning och övervakning. Den har en uthållighet på ca 4,5 timmar, maximal startvikt på drygt 15 kg medan kommunikationssystemets räckvidd är 5 till 10 mil. Supercam S350 finns i flera versioner, där SX350 har VTOL-förmåga medan en moderniserad version benämnd S350M ska kunna fungera som relänod och även ha en enkel störsändare för att störa ut kontrollänkar till FPV-UAV:er. [15,16]

Figur 3.5: Tre vanliga ryska spanings-UAV:er. Övre: Supercam S350 (foto: supercamaero, Wikipedia) och Eleron-3 med operatörsstation (foto: Vitaly Kuzmin, Wikipedia). Nedre: Zala 421 16E2 (foto: armyinform.com.ua, CC-BY 4.0).

[13] zala-aero.com/en/product/zala-z-16/ (besökt 2025-03-13).

[14] zala-aero.com/en/news/zala_predstavlyaet_complex_lancet-e/ (besökt 2025-03-13).

[15] odin.tradoc.army.mil/WEG/Asset/955834539eadc753a28aa1f7843efa3e (besökt 2025-03-12).

[16] en.topwar.ru/259760-razvedyvatelnyj-bpla-s350m-povyshennye-harakteristiki-i-novye-funkcii.html

Figur 3.6: Obemannade ryska UAV:er: Orlan-10 (foto: mil.ru, Wikipedia) och Orlan-30 (foto: Mike 1979, Wikipedia).

Orlan-10 är den vanligaste ryska UAV:n och den används för spaning, målinmätning och telekrigsuppdrag (figur 3.6) [27], [28]. Orlan-10 används i stor omfattning som stöd till ryska artilleriförband [29]. Nyare versioner av Orlan-10 har även utrustats med förmåga att peka ut mål för ryska laserstyrda artillerigranater som Krasnopol. Den kan bära ca 6 kg nyttolast, exempelvis i form av signalspaningsutrustning eller störsystem för att störa mobiltelefonsystem och GPS-mottagare.[17] Den har en lång uthållighet, upp till 16 timmar, och den kan flyga i över 150 km/h på höjder upp till 5 000 m [28]. I [28] anges att kostnaden för en Orlan-10 bedöms vara mellan 0,9 och 1,2 miljoner kronor.

Orlan-10 användes i stor omfattning redan före Rysslands storskaliga invasion och mer information finns i exempelvis [10]. De opereras ofta i set med två eller tre Orlan-10, exempelvis där den första flyger på drygt 1 000 m höjd och bedriver spaning med EO/IR-sensorerna, den andra är utrustad med telekrigssensorer medan den tredje flyger längre bak på högre höjd och primärt agerar som kommunikationsrelä [10]. På liknande sätt har Orlan-10 använts (åtminstone under 2022) för att bekämpa ukrainskt luftvärn, av typen SA-8 och SA-11, där en första Orlan-10 flyger högt för att locka luftvärnssystemen att avfyra en robot, medan en andra Orlan-10 som flyger lägre lokaliserar utskjutningsrampen och en tredje slutligen pekar ut målet för laserstyrda artillerigranater eller kryssningsrobotar [28], [30].

Orlan-10 har under en längre period tillverkats med omfattande användning av västerländska komponenter [28]. Kvaliteten på UAV:erna har i perioder varit tveksam trots att de är relativt dyra – det finns ett antal exempel på att nedskjutna Orlan-10 varit provisoriskt lagade med tejp, kardborreband och med vattenflaskor som ersättare för dess bränsletank eller där de försetts med enkla kommersiella digitala kameror (se bland annat [29]).

Orlan-30 är en nyare UAV som huvudsakligen används för spaning, med EO/IR-sensorer och genom signalspaning, och målinmätning (figur 3.6). Den har en

[17] www.sensusq.com/blog/0908603f-69a8-4951-8e7b-bce3a1a8c575

uthållighet på (beroende på nyttolast och version) upp till 8 timmar. Den har en maximal flyghöjd på 3 till 4 km och fart på upp till 150 km/h, och den har en maximal startvikt på 30 till 40 kg [31], [32]. Den har utrustning för laserbaserad avståndsmätning och den kan peka ut mål för exempelvis laserstyrda artillerigranater [31].

3.2 Bekämpning

Ukrainska armén genomför typiskt bekämpning med artilleri eller UAV:er. Många olika typer av UAV:er används för bekämpningsuppdrag i frontnära områden. De kan delas in i två typer, dels engångsfarkoster som utrustas med verkansdel och flygs in i målet där den sprängs (figur 3.7 och 3.8), dels återanvändbara farkoster som kan bära multipla verkansdelar och flyger ovanför målet och släpper dessa på målet (figur 3.9). En illustration av hur bekämpning genomförs ges i figur 3.10.

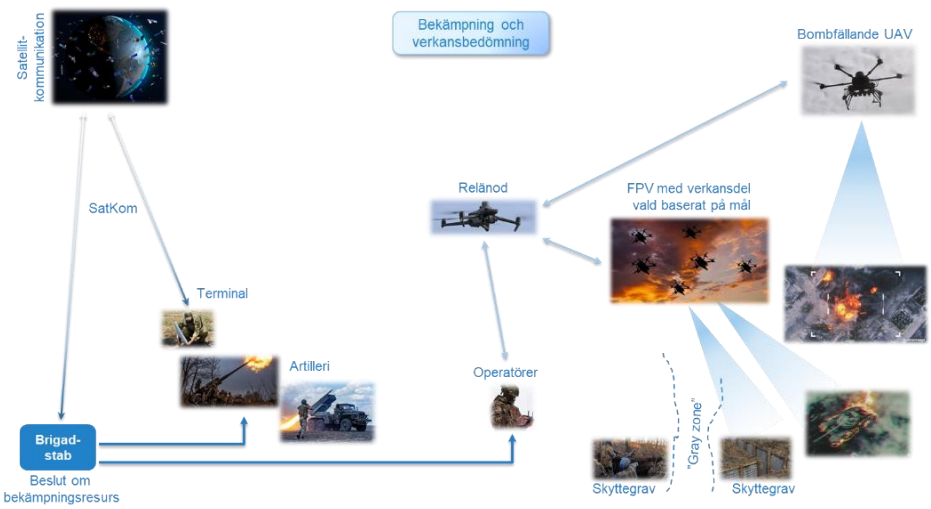
Användningen av FPV-UAV:er som utrustas med kinetiska verkansdelar har ökat extremt snabbt. De kan beskrivas som enkla direktstyrda patrullrobotar där de enklaste versionerna kan tillverkas för under 5 tkr. Erfarna FPV-operatörer kan träffa även fordon som rör sig i hög hastighet, vilket är en fördel med FPV-UAV:er jämfört med artilleri. Multipla FPV-UAV:er kan därför användas för att exempelvis skada bepansrade fordon eller besättningen för att förhindra dem från att fortsätta köra. Fordonen kan därefter förstöras genom artilleribekämpning.

En FPV-UAV som träffar ett bepansrat fordon kan orsaka allvarlig skada på besättningen även om fordonet i sig inte slås ut (se exempelvis [7]). Kombinationen av obemannade spaningsfarkoster och FPV:er ger möjlighet till organisk förmåga till precisionsbekämpning även för mindre stridande enheter, på motsvarande sätt som mindre patrullrobotar.

Figur 3.7: Vänster – exempel på en ukrainsk FPV utrustad med RPG-ammunition (foto: armyinform.ukraine.ua, CC-BY 4.0). Höger – en rysk FPV som är utrustad med RPG-ammunition som startar från en provisorisk startplats (foto: mil.ru, Wikipedia).

Figur 3.8: Vänster: FPV-operatör med ”goggles” som visar videoström från UAV i videoglasögon och styr med handkontroll (foto: armyinform.com.ua, Wikipedia).

Figur 3.9: Ukrainsk Vampire UAV med sex rotorer (hexakopter). Ett exempel på multirotor-UAV som genomför bekämpning genom bombfällning (foto: armyinform.com.ua, Wikipedia).



Figur 3.10: Bekämpning av mål genomförs typiskt med artilleri, bombfällande UAV eller FPV-UAV. Illustration: FOI – med inspiration från [21] (foto: armyinform.com.ua och Wikipedia).

Figur 3.11: Exempel på modifikationer som skydd mot attacker från FPV-UAV:er – en M109A4 155 mm Howitzer som utrustats med heltäckande skydd i form av galler/nät och kedjor (foto: ukrainainform.com.ua, Wikipedia).

Både ryska och ukrainska fordon har under ett par år utrustats med exempelvis nät över tornet. I figur 3.11 visas hur en M109A4 Howitzer försetts med galler, nät och kedjor. Nu finns även filmer på sociala medier på hur metallgaller placeras på sidor och bak på fordonen som extra skydd. Även svenska stridsvagnar som donerades till Ukraina har modifierats på liknande sätt [33].

Ryssland experimenterar även med nättunnlar vid transportvägar för logistik som är extra utsatta för FPV-attacker. Det kan skydda bepansrade fordon från direktträffar men lastbilar och soldater är fortsatt sårbara för attacker med exempelvis splitterladdningar [34].

Kommersiella kvadrokoptrar som DJI Mavic 3 utrustas även med bombfällnings-mekanismer och de används för bombfällning i stor utsträckning av framförallt Ryssland [22]. DJI Mavic används för att släppa granater (t.ex. VOG-17) och placera ut truppminor (PFM-1 Petal) bakom fiendens linjer [22]. Det finns rapporter i sociala medier om att ryska bombfällande Mavic i vissa områden i början av 2025 orsakade lika mycket – eller rent av mer – skador än FPV:er.[18] Även om dessa påståenden är svåra att verifiera så indikerar det att omfattningen av denna användning av Mavic för bekämpning på korta avstånd är stor.

Större multirotor-UAV:er används även för bekämpningsuppdrag. Vissa av dem kan bära 10-20 kg nyttolast, exempelvis i form av två stridsvagnsminor eller fyra granater. Till skillnad från FPV-UAV:er flyger dessa istället över sitt mål och släpper sin last och återvänder därefter. Ofta används RPG-ammunition (eng. Rocket-Propelled Grenades) som verkansdel. Räckvidden är typiskt något kortare än för FPV:er, men de förbättras kontinuerligt. Räckvidder på 2-3 mil anges kunna nås [16], men det finns även rapporter om att de använts för att bekämpa ryska luftförsvarssystem (Buk-M3) på avstånd upp till 57 km [35]. Det

[18] x.com/GrandpaRoy2/status/1898446451312836768

är dock oklart om de även hade batterikapacitet nog för att även flyga tillbaka eller om de offrades för bekämpningen av dessa högvärdiga mål.

Prestanda för små stridstekniska UAV:er förbättras i snabb takt samtidigt som det finns en risk för att informationen som delges medvetet över- eller underskattar systemens förmågor. De prestanda som anges nedan bör därmed endast ses som indikativa.

3.2.1 FPV

Räckvidden för FPV-UAV:er beror på UAV:ns storlek, nyttolast och batteristorlek. De räckvidder som anges ligger ofta mellan 10 och 20 km.[19] Räckvidden förbättras kontinuerligt och det finns exempel på FPV:er som anges kunna genomföra bekämpning på avstånd över 40 km [36]. De kommunikationssystem som används för stridstekniska UAV:er har dock ofta en betydligt kortare räckvidd vilket medför att flygande eller markbaserade relänoder behöver användas för att öka kommunikationssystemets räckvidd. En FPV kan bära upp till 3 kg nyttolast, i form av exempelvis sprängmedel, granater, RPG-ammunition, klusterammunition eller trupp- och stridsvagnsminor [7]. Termobariska verkansdelar och termit[20] används även mot fordon och fortifierade försvarsställningar [37], [7].

För att utföra ett bekämpningsuppdrag med en FPV behövs normalt två operatörer, en som flyger den och en som håller reda på dess position genom att jämföra videoströmmen mot en karta. I många fall används en andra FPV som relänod vilket kräver ytterligare (minst) en operatör. De kan även behöva stöd från en tekniskt kunnig soldat som monterar och reparerar farkosterna, samt väljer och monterar den verkansdel som ska användas för det specifika uppdraget.

Det är betydligt svårare att flyga en FPV än en traditionell spanings-UAV (exempelvis i form av en kvadrokopter som DJI Mavic) och det kan krävas ett antal veckor av utbildning och träning för att bli en skicklig operatör. En utmaning vid framförallt bekämpning med FPV-UAV på långa avstånd är att fördröjningen på videosignalen i vissa situationer kan uppgå till ett par sekunder (troligen delvis orsakat av att signalen reläas) [17].

FPV-UAV:er utgör ett enkelt och billigt vapen som ger möjlighet till precisionsbekämpning. De kan exempelvis utrustas med improviserade sprängladdningar eller RPG-ammunition. RPG-ammunition kan vara utrustade med olika stridsdelar såsom pansarbrytande granater med riktad sprängverkan, splitterspränggranat eller med termobarisk verkansdel [21], [38]. Även om deras sprängkraft är avsevärt lägre än för exempelvis 155 mm artillerigranater så har de

[19] english.nv.ua/nation/what-is-the-current-range-of-fpv-drones-50507793.html (besökt 2025-04-20).

[20] Mix av aluminium- och järnoxid som brinner med temperatur på flera tusen grader.

fortfarande möjlighet att verka även mot bepansrade fordon. Erfarna FPV-operatörer har visat att FPV-UAV:er även kan orsaka betydande skador på moderna bepansrade fordon genom att attackera sårbara områden på fordonen. De förses även med en stridsdel med riktad sprängverkan när de används för att förstöra eldrör på artilleripjäser [15].

Båda sidorna i konflikten har experimenterat med små och relativt enkla infraröda kameror men kostnaden för en sådan FPV ökar då med mer än 50 % samtidigt som sensorernas upplösning och synfält är ytterst begränsade [39]. Det är troligt att de är svåra att flyga i mörker, framförallt i GNSS-störda miljöer. Det är därför troligt att FPV-UAV:er används i förhållandevis liten omfattning under dåliga visuella förhållanden.

3.2.2 Multirotor-UAV:er

Baba Yaga är ett samlingsnamn som de ryska soldaterna använder för olika versioner av ukrainska multirotorfarkoster som används för att bekämpa ryska fordon och soldater på natten [39]-[41]. Farkosterna bär med sig flera granater och släpper dessa över utvalda mål. De flyger relativt långsamt och släpper sina granater från låg höjd och är därmed sårbara även för finkalibrig eld. För att minska risken för upptäckt och bekämpning är de utrustade med termiska IR-kameror och används ofta på natten. Det finns även exempel där de har utrustats med två stridsvagnsminor och det finns rapporter om att de kan utrustas med styrd ammunition [42]. Dessa UAV:er styrs normalt av tre soldater: en befälhavare, en operatör och en bombfällare [43]. Den här typen av multirotorfarkoster är relativt dyra, i storleksordningen 200 till 500 tkr.

Baba Yaga utgör ett exempel på den snabba utvecklingen av medel och motmedel som pågår. Ett motmedel som ryska enheter har implementerat är att förse skarpskyttar med termiska sikten som gör det möjligt att upptäcka och bekämpa dessa UAV:er även i mörker. Ryska förband har även börjat använda FPV-UAV:er med termiska sensorer för att neutralisera detta hot (”interceptor”). Ukraina började då att nyttja FPV-UAV:er för att utföra eskortuppdrag och nedkämpa de ryska jakt-UAV:erna [44].

Det finns rapporter om att denna typ av multirotor-UAV:er, exempelvis Nemesis, har utrustats med Starlinkterminaler för satellitkommunikation.[21] Starlinkterminaler har fasstyrda antenner vilket ger ett skydd mot störning. Nemesis används exempelvis tillsammans med Vector[22] spanings-UAV:er som först detekterar och lokaliserar mål [17].

[21] mil.in.ua/en/news/nemesis-heavy-drone-successfully-extends-flight-range-beyond-20-km/ (besökt 2025-03-18).

[22] quantum-systems.com/vector/ (besökt 2025-03-18).

3.2.3 Patrullrobotar

Ryssland använder sig i relativt stor omfattning av patrullroboten Lancet-3 för bekämpning av mer högvärdiga ukrainska mål. Zala Lancet-3 är en elektrisk propellerdriven patrullrobot, med dubbla korsvingar, som kan bära en verkansdel på 3 kg (med riktad sprängverkan, splitterverkan eller termobarisk stridsdel). Den användes, åtminstone fram till sommaren 2023, huvudsakligen för att bekämpa ukrainskt eldrörsartilleri och luftvärn [45], men har även använts för att bekämpa stridsfordon och stridsvagnar. Lancet-3 genomför ofta uppdrag ackompanjerad av en spanings-UAV, Zala Z-16, som lokaliserar mål och även används som kommunikationsrelä.

Ryssland började i slutet av 2024 använda en ny UAV av flygplanstyp – Molniya-2 – i bland annat Kursk och Kharkiv. Den har utrustats med exempelvis en stridsvagnsmina (TM-62) eller dubbla termobariska verkansdelar (RPG-ammunition av typen RPO-A Shmel).[23] Molniya-2 är utvecklad som en lågkostnadsfarkost, baserad på enkla komponenter och avionik, som är enkel att producera. Den är huvudsakligen avsedd för envägsattacker (OWA-UAV) och beskrivs som en enklare och billigare patrullrobot än Lancet-3. Den är troligen teleopererad.[24]

Ukraina använde under 2022 och 2023 huvudsakligen ett stort antal olika typer av patrullrobotar som donerats från väst. Det finns rapporter om att de bland annat använt amerikanska Switchblade 300 och 600 och Phoenix Ghost, samt den polska Warmate. Storbritannien lagt en beställning till Anduril på motsvarande 400 miljoner kronor för patrullrobotar Altius-600M/700M som ska levereras till Ukraina.[25] Det tyska företaget Helsing levererar 4 000 patrullrobotar av typen HF-1 till Ukraina. De har utvecklats tillsammans med ukrainsk industri. De har även fått en order på att leverera 6 000 patrullrobotar av typen HX-2. Den anges vara robust mot telekrig – med ett kartstöttat navigeringssystem – och den kan autonomt slutföra uppdraget efter att operatören valt ut ett mål. HX-2 har elektrisk framdrivning med en räckvidd på 10 mil, samtidigt som den anges vara billigare än motsvarande patrullrobotar. Den anges även ha svärmalgoritmer implementerade som möjliggör att flera patrullrobotar kan utföra spanings- och bekämpningsuppdrag i samverkan.[26]

---

[23] t.me/milinfolive/141794 (besökt 2025-03-18).

[24] en.topwar.ru/255115-letit-daleko-neset-moschnyj-zarjad-bojcy-gruppirovki-sever-rasskazali-o-preimuschestvah-udarnogo-drona-molnija-2.html (besökt 2025-03-18).

[25] www.gov.uk/government/news/advanced-attack-drones-for-ukraine-in-new-deal-struck-by-uk-government-and-anduril-uk (besökt 2025-03-18).

[26] /helsing.ai/newsroom/helsing-to-produce-6000-additional-strike-drones-for-ukraine (besökt 2025-03-13).

3.2.4 UAV av flygplanstyp

Under våren 2022, månaderna efter den ryska fullskaliga invasionen, användes större UAV:er som den turkiska TB-2 med framgång för att bekämpa ryska förband. I dagens mer statiska krigföring är risken för bekämpning från fientliga luftvärnssystem av dessa relativt långsamma UAV:er avsevärt högre och de utgör relativt enkla mål där stridsekonomin är gynnsam även vid användningen av mer kvalificerade luftvärnsrobotar. De används därför sedan sommaren 2022 i andra roller. Mindre och billigare, ofta inhemskt tillverkade, UAV:er används istället i denna ”bombfällningsroll”.

3.2.4.1 Ukraina

Ukraina har använt sin inhemskt tillverkade Punisher UAV för att fälla bomber över målet innan den återvänder och förbereds för ett nytt uppdrag. Den opererar normalt tillsammans med en spanings-UAV som detekterar mål som Punisher därefter attackerar [46], [47]. Punisher är en UAV av flygplanstyp som kan bära omkring 3 kg last och har en räckvidd på ca 45 km (figur 3.12).

3.2.4.2 Ryssland

Ryssland använder sig i viss utsträckning av UAV:er av flygplanstyp för direkt bekämpning. De har integrerat enklare verkansdelar på exempelvis Orlan-10 och Forpost-R, men de används främst för spaning och målinmätning för artilleri.

Ryssland har använt sig av ett begränsat antal iransktillverkade Mojaher-6 i Svarta havet och dess kustområden för spaning, målinmätning och bekämpning [48]. Ryssland har använt sig av stora beväpnade MALE (eng. Medium-Altitude Long Endurance) UAV:er såsom Orion i ytterst begränsad omfattning. Under våren 2022 kom rapporter om att Orion genomfört sex bekämpningsuppdrag i Ukraina innan den första Orion blev nedskjuten [49]. Den militära effekt som dessa gav var begränsad – under samma period rapporterar Oryx[27] att exempelvis ukrainska TB-2 bekämpat 60 mål [49]. Enligt Oryx har åtminstone åtta ryska Orion UAV:er förstörts i Ukraina. Ryssland har svårt att ersätta dessa relativt kvalificerade, nytillverkade, UAV:er. I figur 3.13 visas en iransk Mojaher-6 och en rysk Orion.

En S-70 Okhotnik-B har rapporterats förlorad över ukrainskt territorium. Den sköts sannolikt ned av ryskt jaktflyg. Orsaken är inte offentliggjord men det kan ha orsakats på grund av att operatörerna förlorat kontrollen av den [50], [51]. Detta exemplar var antingen en prototyp eller en av de första serieproducerade versionerna.

[27] www.oryxspioenkop.com/2022/02/attack-on-europe-documenting-equipment.html (besökt 2025-03-13).

Figur 3.12: Vänster –Ukrainsk Punisher UAV med verkansdel monterad under (foto: Wikipedia, public domain). Höger – Punisher på startramp (foto: Wikipedia, public domain).

Figur 3.13: Vänster: En iransk Mohajer-6 UAV (foto: Fars Media Corporation, Wikipedia). Höger: En rysk Orion UAV (foto: Nickel nitride, Wikipedia).

3.2.5 Långräckviddig bekämpning

I detta avsnitt ges en sammanfattning av den ryska och ukrainska användningen av envägs attackfarkoster OWA-UAV.

3.2.5.1 Ryssland

Ryssland genomför dagligen attacker på djupet i Ukraina, där kombinationer av OWA-UAV:er och kryssningsrobotar används (ofta Kh-101). Sporadiskt används även ballistiska robotar i samband med dessa attacker. I februari 2025 avfyrades normalt mellan 100 och 200 OWA-UAV:er, skenmål och kryssningsrobotar per dygn [9]. Den största andelen av UAV:er består troligen av iranska Shahed-136, rysktillverkade Geran-2 och skenmål som Gerbera och Parodiya. I januari 2025 ingick Ryssland och Iran ett strategiskt partnerskap vilket ses som ett tecken på att Ryssland sannolikt kommer att fortsätta öka produktionen av olika typer av Shahed UAV:er (troligen rysktillverkade vidareutvecklade versioner av dessa) [9]. Ett stort antal komponenter i dessa UAV:er som tillverkas i Ryssland kommer från kinesiska tillverkare och från företag i Europa och USA, framförallt när det gäller olika typer av elektronik (se bland annat [52], [28]).

Dessa UAV:er vidareutvecklas kontinuerligt och Geran-2 rapporteras nu kunna bära en sprängladdning på 90 kg [53]. Nya versioner har även utrustats med GLONASS-mottagare och uppgraderade störskyddssystem, bestående av åtta antennelement (Kometa M8), som har möjlighet att undertrycka ett större antal störsignaler genom spatiell (rumslig) filtrering [53], [54]. En modifierad Geran-2, benämnd MS236, anges även ha utrustats med en elektrooptisk och termisk infraröd (EO/IR) målsökare, samt 4G-modem som utrustas med ukrainska SIM-kort [54]. Det finns uppgifter om att attackerna kan vara helt eller delvis samordnade där ett fåtal Geran-2, som sänds tidigt under attacken, kan förmedla information till efterföljande Geran-2 för att öka deras chans att nå målet [54].

Ryssland har påbörjat en storskalig produktion av en jetdriven OWA-UAV, Geran-3, som baseras på den iranska Shahed-238. Den anges ha en räckvidd på 250 mil och kunna flyga i 550-600 km/h och är utrustad med en verkansdel på 40 kg [53], [54]. Geran-3 är sannolikt avsevärt dyrare. Exportversionen av Shahed-238 anges ha en prislapp på omkring 15 miljoner kronor [54], medan tillverkningskostnaden för Shahed-136 bedöms vara i storleksordningen 500 till 750 tkr [55], [52].

Gerbera är en inhemskt tillverkad UAV som huvudsakligen används som skenmål. En delmängd av dessa är utrustade med elektrooptiska sensorer och/eller signalspaningsutrustning vilket medför att den kan användas för verkansbedömning samt lokalisera mål eller radiosändare längs dess rutt [52]. Ett mindre antal Gerbera har även påträffats som varit utrustade med en mindre verkansdel [52]. De kan även utrustas med liknande gruppantennbaserade störskyddssystem som används på Shahed-136 [52]. Ukrainska 4G-modem och SIM-kort har påträffats även på Gerbera UAV:er. Ukrainska källor bedömer att kostnaden för en Gerbera är drygt 100 tkr, men kostnaden bör även påverkas av dess nyttolast [52].

Det ryska skenmålet Parodiya är mindre och avsevärt billigare än Geran-2 och Gerbera. Parodiya baseras på enkel och billig kommersiell teknik som inte omfattas av sanktioner. Flygkroppen kan exempelvis vara konstruerad av en ram i plywood som är fylld med skum. Den är utrustad med s.k. Luneberglinser som reflekterar tillbaks radarsignalerna, vilket medför att den får en radarmålarea som efterliknar radarmålarean för en Shahed-136 [52].

3.2.5.2 Ukraina

Under 2024 genomförde den ukrainska militären mer än 220 bekämpnings-uppdrag djupt in i ryskt territorium [35]. Vid dessa uppdrag användes mer än 3 500 UAV:er. Ukraina har nu förmågan att bekämpa mål på avstånd av 200 mil [56]. Dessa UAV:er utgörs troligen uteslutande av inhemskt tillverkade UAV:er. Den politiska ledningen har satt som mål att Ukraina ska öka antalet attacker kraftigt under 2025.

En översikt av olika ukrainska UAV:er som är utvecklade för långräckviddig bekämpning ges i [57]. En omfattande inhemsk utveckling och tillverkning pågår: dels för att utveckla enklare och billigare vapensystem, dels för att skapa en nationell förmåga till produktion av långräckviddiga bekämpningssystem.[28] Den inhemska tillverkningen av dessa system finansieras av allierade nationer, där exempelvis den förra amerikanska administrationen godkände finansiering av denna utveckling med 1,6 miljarder dollar [58]. Detta bedöms vara ett kostnadseffektivt sätt att öka den ukrainska förmågan jämfört med att donera västutvecklade långräckviddiga bekämpningssystem (som dessutom är en bristvara i många länder).

Endast begränsad officiell information har tidigare funnits tillgängliga om denna typ av vapensystem men nu börjar Ukraina delvis släppa på sekretessen runt dessa. Två olika klasser av farkoster är under utveckling, dels envägs attackfarkoster som baseras på traditionella UAV:er av flygplanstyp (t.ex. UJ-22/25/26 och Liutyi [59]-[62]) och en klass som ofta beskrivs som en hybrid av traditionella UAV:er och kryssningsrobotar. Den senare gruppen inkluderar system som Palianytsia, Peklo, Ruta och Bars [63], [64]. Fokus i utvecklingen är mot kostnadseffektiv massproduktion med en stor andel inhemska komponenter.

Attackerna är noggrant planerade för att UAV:erna ska undvika att flyga över områden där det ryska luftförsvaret är starkt [59]. Attackerna genomförs med grupper av heterogena farkoster, där även mindre och billigare UAV:er skickas på samma uppdrag. En delmängd består av enklare UAV:er i syfte att försöka mätta de ryska luftförsvarssystemen. Verkansbedömning genomförs bland annat baserat på inlägg i ryska sociala medier och kommersiella satellitfototjänster.

En inhemskt tillverkad långräckviddig OWA-UAV som använts i stort antal är Liutyi (eng. Fierce). Det är en relativt stor UAV av flygplanstyp med ett vingspann på 7 m. De första versionerna försågs med en verkansdel på 50 kg, men vidareutvecklade versioner anges kunna bära verkansdelar som väger upp till 250 kg [59], [60].

UKRJET UJ-26 är en ukrainsk propellerdriven UAV som har en räckvidd på omkring 100 mil. Den kan bära upp till 20 kg nyttolast i form av verkansdel [61]. UJ-22 är en liknande propellerdriven UAV, den är 3,7 m lång och kan bära ca 20 kg verkansdel internt eller som bomber som kan släppas. Den kan utföra olika uppdrag såsom spaning och bekämpning och dess räckvidd anges vara omkring 80 mil [62]. UJ-25 är en jetdriven multirollfarkost som troligen är en vidareutveckling av målplattformen UJ-23 som även den tillverkas av UKRJET [65]. Den kan konfigureras som patrullrobot med verkansdel eller för spanings-uppdrag, och det finns uppgifter om att en version har utvecklats som kan bära

[28] Syftet har delvis varit att kompensera för de restriktioner kopplat till bekämpning i ryskt territorium som flertalet av de västerländska långräckviddiga vapensystemen tidigare var förlagda med.

telekrigsnyttolaster. UJ-25 anges kunna flyga i en maxfart av 800 km/h på flyghöjder upp till 6 000 m, vilket gör den svår att bekämpa jämfört med många OWA-UAV. Den har dock en relativt begränsad räckvidd på ca 20 mil och kan endast bära verkansdelar på upp till 10 kg [66].

Dessa långräckviddiga attack-UAV:er är förhållandevis dyra, de priser som anges i medierapporteringen för exempelvis UJ-22 och UJ-26 ligger på omkring en miljon kronor. Dessa två har tidigare använts i relativt stor omfattning, medan UJ-25 troligen har använts för attackuppdrag mot högvärdiga mål eller mot mål i områden som skyddas med kvalificerade luftförsvarssystem.

Palianytsia är utrustad med en turbojetmotor och kan beskrivas som en enkel lättviktskryssningsrobot alternativt som en snabb OWA-UAV [63]. Den anges ha en räckvidd på 50-70 mil och serieproduktion har nyligen påbörjats. Peklo är eventuellt en vidareutveckling från Palianytsia som också drivs av en turbojetmotor. Den anges kunna nå en hastighet omkring 700 km/h och ha en räckvidd på 70 mil.[29]

3.3 C-UAS

Det pågår även en snabb utveckling av UAV:er som används för att med olika medel neutralisera motståndarens UAV:er. Dessa farkoster utgörs typiskt av FPV-UAV:er som används för att bekämpa spaningsfarkoster av flygplanstyp såsom Orlan-10, Z-16 och Supercam. Dessa ryska spanings-UAV:er kan flyga på upp till 5 000 m höjd i farter av 100-160 km/h [67].

Mönstret i denna utveckling liknar utvecklingen av det militära bemannade flyget, där de först användes för spaning, övervakning och målinmätning och därefter även började användas för markmålsbekämpning. I det tredje steget utvecklades stridsflyg dedikerade för jaktrollen [68], [69]. På motsvarande sätt används nu UAV:er i Ukraina till att hindra motståndaren från att nyttja UAV:er, efter att dessa blivit en kritisk del av bekämpningskedjan.

Tidigt i denna utveckling användes FPV-UAV:er som styrdes på så sätt att de kolliderade med fiendens UAV:er, men de har senare utrustats med enkla sprängladdningar (t.ex. med splitterverkan). Idag används olika typer av verkansdelar för att bekämpa motståndarens UAV:er, bland annat finns UAV:er som utrustats med hagelgevär [70], [71]. Det finns även exempel på UAV:er som skjuter iväg nät för att fånga fientliga UAV:er, från små kvadrokoptrar till Shahed-136 [72].[30]

Majoriteten av de filmer som publiceras i sociala medier visar när ukrainska jakt-UAV:er bekämpar ryska spaningsfarkoster av flygplanstyp exempelvis Orlan-10

[29] en.wikipedia.org/wiki/Peklo (besökt 2025-04-29).

[30] fortemtech.com/products/dronehunter-f700/#capabilities (besökt 2024-12-10).

och Zala Z-16. Antalet UAV:er som attackerats av andra UAV:er är högt – en enskild video på X visar klipp från filmer där ukrainska jakt-UAV:er anges ha förstört 406 ryska spanings-UAV:er.[31] Under augusti 2024 genomförde Ryssland mellan 1 000 och 1 500 spaningsuppdrag över de ukrainska positionerna och in över ukrainskt kontrollerade områden [8]. Sedan dess har antalet spaningssortier minskat kraftigt, sannolikt till stor del tack vare den framgångsrika utvecklingen av ukrainska jakt-UAV:er. Ryska UAV:er utrustade med IR-sensorer har även använts för att slå ut ukrainska multirotor-UAV:er som opererar nattetid.[32]

Det finns även flertalet rapporter i sociala medier om att FPV-UAV:er har slagit ut spaningsfarkoster såsom Zala Z-16 som används tillsammans med patrullrobotar av typen Lancet-3, vilket inneburit att patrullroboten inte har kunnat genomföra en bekämpning. Genom att bekämpa ett stort antal spanings-UAV:er har Ukraina väsentligt lyckats reducera antalet attacker som genomförts med patrullroboten Lancet-3 från och med september 2024 [73], [35].

Det pågår en utveckling av obemannade farkoster som är specialutvecklade för jaktrollen [74].[33,34] Den 38:e ukrainska marinbrigaden använder exempelvis mer kvalificerade FPV-UAV:er som kan flyga i 160 km/h och har en räckvidd på 35 km och uthållighet på en timme [67]. Kostnaden för dessa anges vara mellan 15 och 25 tkr, beroende på om de är utrustade med elektrooptiska eller termiska IR-sensorer. Majoriteten av de ukrainska jakt-UAV:erna är fortfarande teleopererade men utvecklingen av automatiserade målföljningsalgoritmer pågår och autonoma jakt-UAV:er används redan idag (om än i begränsad omfattning).

Ukrainska företag har även utvecklat tjudrade aerostater som utrustats med termiska IR-sensorer för spaning, relänodsfunktionalitet. De agerar som moderskepp för jakt-UAV:er som då kan påbörja sitt uppdrag från höjder av 800 m, vilket kan ge möjlighet att bekämpa även ryska OWA-UAV:er som Geran-2 [67].

3.4 Logistik

Framskjuten logistik utgör ett högriskuppdrag på stridsfältet i Ukraina. Kvadrokoptrar och multirotor-UAV:er används för transporter på korta avstånd av exempelvis mindre mängder ammunition och förnödenheter till stridsställningarna. Det finns även exempel där färdiglagad mat har flugits ut mellan stridsställningarna för att reducera behovet av att förflytta sig öppet [8].

---

[31] x.com/DanielR33187703/status/1861111759089827938 (besökt 2024-12-27).

[32] x.com/sambendett/status/1793674247191368126?t=fS0SbvIJVWhdqyWvQwFgEA&s=19 (besökt 2025-03-13).

[33] mil.in.ua/en/news/ukraine-has-developed-a-fixed-wing-uav-interceptor/ (besökt 2025-03-18).

[34] www.thedefensenews.com/news-details/Ukraine-Successfully-Tests-High-Speed-German-Interceptor-Drone-to-Counter-Aerial-Threats/ (besökt 2025-03-18).

De relativt stora avstånden mellan stridspositionerna i kombination med den stora mängden UAV:er medför att risken för sjukvårdare som försöker ta sig till skadade soldater är hög. Ukrainska soldater tränas numera för att kunna stabilisera sina egna skador, medan stridsjukvårdaren ger stöd och instruktioner över radio. Stridstekniska UAV:er används för att leverera sjukvårdsmateriel direkt till den skadade [8].

Evakuering av skadade från fronten genomförs typiskt i skydd av mörker och dimma eller regn. Dessa operationer är normalt noggrant planerade och sker ofta med stöd av artilleribekämpning för att undertrycka fiendens artilleri eller avleda deras uppmärksamhet [8]. Evakueringen av ukrainska soldater försvåras även av att sjuktransportfordon med rödakorsmarkeringar medvetet attackeras. Detsamma gäller sjukvårdsinrättningar vilket innebär att även de behöver skyddas och spridas ut, vilket kan förlänga transportavstånden. Tiden tills skadade kan evakueras handlar därmed i praktiken om många timmar eller dagar beroende på exempelvis väderförhållandena. Båda sidor experimenterar med att evakuera skadade med UGV:er, men tillförlitligheten (och förtroendet) för dessa har tidigare bedömts vara för låg för att förbanden ska använda dem i större skala [8]. I enstaka fall har det rapporterats att en skadad har evakuerats med en UAV.

4 Teknikutvecklingen för UAV:er

I detta kapitel diskuteras nuläge och teknikutvecklingen inom utvalda kritiska förutsättningsskapande teknikområden: autonoma funktioner, robusta kommunikations- och positioneringssystem samt design av lågkostnadsfarkoster. I det utnötningskrig som pågår är stridsekonomi och asymmetriska fördelar av stor vikt.

4.1 Autonomi

Fokus har varit att beskriva den ukrainska utvecklingen av autonoma funktioner för UAV:er. Det är svårare att i öppna källor hitta information om den ryska utvecklingen, men Ukraina bedöms i nuläget leda denna utveckling.

Ukrainas strategi är ett gradvis införande av autonoma funktioner, med den tydliga ambitionen att utveckla fullt autonoma farkoster [75], [17]. I nuläget är de obemannade farkosterna inte fullt autonoma, de kan dock ha vissa autonoma funktioner implementerade.[35] Det militära målet för Ukraina anges vara att flytta soldaterna från rena stridsuppgifter och istället bedriva striden med autonoma obemannade system [17]. Ambitionen är även att detta ska resultera i en ökad stridsförmåga. Autonomi bedöms kunna ge följande fördelar: reducera risken för soldater, möjlighet att genomföra uppdrag i telestörda miljöer, ökad effektivitet, snabbare responstid, minskat träningsbehov för operatörer och minskad känslighet mot väderförhållanden.

4.1.1 Stegvis utveckling av autonoma funktioner

Det långsiktiga målet är att utveckla fullt autonoma UAV:er, men utvecklingen och införandet av autonoma funktioner genomförs stegvis. Ukrainas Unmanned Systems Force angav hösten 2024 att de prioriterade kortsiktiga utvecklingsbehoven för UAV:er är inom följande fyra områden [75]: (*i*) automatisk målföljning, (*ii*) automatiserad detektion, klassificering och målval, (*iii*) positionering och navigering i GNSS-störda miljöer och (*iv*) automatisk start och landning (se även tabell 4.1). Forskning och utveckling inom alla fyra områden pågår parallellt. Även i [76] beskrivs motsvarande inriktning, men där anges även utvecklingen av svärmfunktionalitet som ett pågående utvecklingsspår. Utöver svärmfunktionalitet för UAV:er utgör även införandet av autonoma funktioner på obemannade mark- och sjöfarkoster en stor utmaning [17].

[35] Det finns ingen förankrad definition av autonomi men i [17] beskrivs det som ”systemets förmåga att självständigt, eller med minimal övervakning, uppnå mål i komplexa och oförutsägbara miljöer”. Den ukrainska militären använder ofta begreppet autonomt system för att beteckna även ett obemannat system som är utrustad med begränsade autonoma funktioner som målföljning eller navigering.

Tabell 4.1: Prioriterade utvecklingsbehov kopplat till autonomi för UAV:er [17], [75].

Funktion	Beskrivning	Bedömd status
Automatisk målföljning	Operatör väljer mål som en FPV-UAV kan följa och bekämpa. Ger FPV-UAV:er liknande funktionalitet som enkla patrullrobotar har idag, där operatören väljer mål och patrullroboten sedan automatiskt bekämpar (stationära och rörliga) mål.	Tidiga versioner implementerade och används operativt i viss omfattning.
Automatiserad detektion, klassificering och val av mål	Autonomt upptäcka och klassificera mål, exempelvis inom utpekat målområde, samt föreslå eller välja mål för bekämpning. Om kommunikationen fungerar fattas bekämpningsbeslut av operatören. Detta ger möjlighet att öka effektiviteten i telestörda miljöer samt reducera operatörens kognitiva belastning.	Utveckling pågår, tidiga versioner har testats operativt i liten skala.
Positionering och navigering i GNSS-störda miljöer	GNSS-störda miljöer är normen. Ett robust positioneringssystem som kan hantera dessa miljöer möjliggör autonom flygning till målområdet och att UAV:n sedan kan hålla sig i målområdet.	Kartstöttad positionering finns på vissa system – ger önskad förmåga i vissa miljöer.
Automatisk start och landning	Ger möjlighet att starta uppdraget närmare frontlinjen och förkorta responstider och öka uthålligheten i det intressanta området, samt reducera risk för operatörer (som då kan befinna sig längre bak).	Relativt enkelt att realisera ur ett tekniskt perspektiv.

En utmaning med införandet av autonoma funktioner såsom detektion, klassificering, lokalisering och målföljning är att de förutsätter bättre och dyrare kameror. En processor behöver även integreras på UAV:n. En FPV-liknande UAV med autonoma spaningsfunktioner implementerade bedöms komma att produceras i Ukraina för omkring 10 000 kronor. Det finns även implementationer av målföljning som nyttjar enklare analoga kameror som därmed kan vara billigare [17].

4.1.1.1 Automatisk målföljning

Automatiserade målföljningsalgoritmer används operativt i begränsad, men ökande, omfattning i Ukraina. Dessa algoritmer medger att en UAV kan dyka mot målet och automatiskt följa det i situationer där exempelvis en teleopererad FPV-UAV hamnar i svårigheter. Det är framförallt i två situationer som kommunikationssystemen i FPV-UAV:er stöter på problem: dels när *videoöverföringen* (datalänken) till operatören avbryts på grund av att UAV:n inte längre har fri siktlinje till operatören eller en UAV-baserad relänod, dels då en FPV-UAV närmar sig ett mål som är utrustad med en lågeffektstörsändare (C-UAS) och där *styrlänken* till FPV blir utstörd [21], [17].

I [17] anges att målföljningsalgoritmerna kan låsa på ett mål på ett genomsnittligt avstånd av 1 km i realistiska miljöer och upp till 2 km under ideala förhållanden. De förväntas dock inte ännu ha förmågan att träffa en specifik plats på målet, vilket en erfaren operatör ofta kan göra (exempelvis med en fiberoptiskt styrd UAV). Ukrainska attacker med FPV-UAV:er med integrerad målföljning, där en operatör först väljer ett mål, har genomförts åtminstone sedan början av 2024 (se

exempelvis [77], [78]).[36] Sannolikheten för lyckad bekämpning har närmast fördubblats genom införandet av automatisk målföljning i slutfasen av bekämpning [75]. Det finns dock fortfarande behov av att vidareutveckla denna funktion [78]. Träffsannolikheten med automatiserad målföljning angavs i november 2024 vara en bit under 50 % [75]. I [17] uppskattas att träffsannolikheten för en UAV som har effektiva målföljningsalgoritmer implementerade (som även kan anpassa sig till vindförhållanden, terräng och undvika hinder) har potential att öka till över 70 %.[37,38]

Automatiserad målföljning reducerar behovet av träning och utbildning, ned till en dag eller enstaka timmar [17]. Detta medför att avsevärt fler soldater kommer att kunna använda dessa framöver.

4.1.1.2 Autonoma spaningsfunktioner

Kriget i Ukraina har skapat ett stort behov av autonoma spaningsfunktioner där detektion, lokalisering, klassificering och följning av mål sker automatiskt i UAV:n (eng. edge computing). Kriget har även blivit en drivkraft för en snabb utveckling av datadrivna metoder, baserade på framförallt AI-metoder som djupinlärning, för att realisera autonoma spaningsfunktioner då det finns stora mängder data tillgängliga för träning av dessa algoritmer [77]. Själva algoritmerna bedöms inte utgöra ett stort problem, utan det som tidigare har försvårat utvecklingen är den bristande tillgången till träningsdata [77].

Status för utvecklingen och införandet av autonom detektion, klassificering och lokalisering av mål i Ukraina är osäker. En av de första attackerna med en bombfällande UAV som rapporteras ha genomförts autonomt utfördes i slutet av 2023 med en multirotor-UAV (Saker Scout) [78]. För att genomföra den typen av uppdrag krävs att den har förmåga att automatiskt detektera, klassificera och följa mål. En intensiv utveckling av dessa funktioner pågår och det är troligt att experimentering genomförs på militära försöksplatser och även på stridsfältet, men troligen är denna teknik ännu inte tillräckligt utvecklad för ett brett införande [75], [79].

Den samlade bedömningen är emellertid att denna förmåga snart kommer att införas, framförallt i scenarion där algoritmerna kan föreslå mål för operatören som gör en egen bedömning inför ett bekämpningsbeslut. Att nå en hög

---

[36] Åtminstone 10 ukrainska företag arbetade med utveckling av målföljningsalgoritmer under första halvåret 2024 [7].

[37] Dessa siffror bör anses som osäkra då det bland annat beror på telekrigsmiljön, operatörens erfarenhet och tekniska aspekter som kommunikationssystemets robusthet. De ger dock en indikation på att autonomi förväntas ge avsevärda fördelar.

[38] Det är delvis otydligt vilka autonoma funktioner som författaren har antagit finns tillgängliga för att nå denna träffsannolikhet då de använder begreppet ”last-mile autonomous navigation” som inte är fullt ut beskrivet [17].

klassificeringssannolikhet utgör en stor utmaning, delvis på grund av avsaknaden av träningsdata för alla typer av situationer, exempelvis stationära kamouflerade mål. Kamouflage och skenmål är faktorer som behöver hanteras av dessa algoritmer [17]. En utmaning kan även vara att tillförlitligt kunna särskilja mellan ukrainska och ryska soldater och fordon (då de delvis använder samma typ av fordon).

4.1.1.3 PNT i telestörda miljöer

Tillförlitliga positioneringssystem som kan operera i telestörda miljöer är en förutsättning för att kunna utveckla fullt autonoma farkoster. I ett första steg implementeras positioneringstekniker som nyttjar bildalstrande sensorer såsom visuell odometri och kartstöttade positioneringsmetoder. Dessa tekniker bedöms kunna ge god noggrannhet, framförallt i ett första steg som stöd till navigatören, under goda visuella förhållanden. I mörker är dock deras prestanda sämre. Ytterligare stöttande tekniker behöver införas i kombination med forskning kopplat till användningen av IR-sensorer för positionering i mörker [80].

4.1.2 Inriktningen för den ukrainska industrins utveckling av autonoma funktioner

Ett stort antal inhemska företag har sedan den fullskaliga invasionen av Ukraina i februari 2022 börjat utveckla AI-baserade autonoma funktioner avsedda för obemannade farkoster [81]. Ukraina hade sedan tidigare en framgångsrik AI-industri och kompetens inom området.[39] Industrins fokus är mot att utveckla fristående AI-baserade mjukvaror för separata autonoma funktioner som perception, målföljning, måligenkänning samt positionering och navigering [17]. Inriktningen är huvudsakligen att utveckla AI-algoritmer baserade på maskininlärning för bildbaserad signalbehandling (eng. computer vision). Resultaten är typiskt fristående moduler i form av chip med integrerad mjukvara, som även kan ha en kamera integrerad. Fokus är även på kompatibilitet så att dessa moduler ska kunna användas av olika plattformar och farkoster [17]. Öppen källkod och öppna ramverk används för att snabba upp utvecklingsprocessen.

Industrins utveckling fokuserar även på att träna relativt små AI-modeller baserat på begränsade dataset [17]. Detta ger möjlighet att använda AI-algoritmerna även på små UAV:er som har begränsad processorkraft, samtidigt som det medger snabba uppdateringar i takt med att striden förändras. Träningsdata samlas in exempelvis med företagens egna operativa system, eller via sociala medier. Militären kan även välja ut relevanta dataset som företagen kan använda för

[39] www.atlanticcouncil.org/blogs/ukrainealert/ukraines-roadmap-to-an-artificial-intelligence-future/ (besökt 2025-03-18).

träning i en skyddad miljö [17]. Detta är ett sätt att hantera det faktum att de militära dataseten omfattas av sekretess.

4.1.3 Etiska och juridiska aspekter

Utvecklingen av autonoma funktioner som beskrivs ovan ger möjlighet att realisera en autonom UAV som självständigt genomför bekämpningsuppdrag. Det finns svåra juridiska och etiska frågor kopplat till den här typen av autonoma UAV:er, framförallt vid markmålsbekämpning [82]. Ett sätt som beskrivs för att lösa ut många av riskerna är att anpassa metoden till systemens begränsningar och exempelvis avlysa zoner där bekämpning får ske. Stora delar av den ”kill zone” som skapats mellan de ukrainska och ryska förbanden bör vara fria från civila, men det kommer vara fortsatt svårt att tillförlitligt klassificera ryska och ukrainska soldater. Det finns även ett behov av att träna algoritmerna för att ge dom förmågan att särskilja sjuktransportfordon, sjukvårdspersonal och soldater som kapitulerar, eftersom dessa inte får bekämpas enligt den internationella humanitära rätten (IHR) [83]. Det är förenat med lägre risk att använda en autonom UAV i syfte att bekämpa fientliga UAV:er i jämförelse med att attackera markmål, då risken för felklassificering vid markmålsbekämpning sannolikt är avsevärt högre.

Utvecklingen av krav och riktlinjer för autonom detektion, klassificering och målval pågår i Ukraina [75]. Den ukrainska militären vill fortsatt ha mänsklig kontroll över autonoma farkoster, framförallt när de utför bekämpningsuppdrag [17]. Hur denna kontroll ska realiseras vid exempelvis kommunikationsbortfall är dock troligen inte klarlagt ännu.

Det pågår ett aktivt arbete i flera internationella forum kopplat till att utveckla den folkrättsliga regleringen kring utvecklingen och användningen av autonoma vapensystem [84].

4.1.4 Uppdragsautonomi

De autonoma funktioner som krävs för att realisera bekämpningsuppdrag – detektion, klassificering, lokalisering och följning av mål och positionering av den egna farkosten – under goda visuella förhållanden bedöms finnas tillgängliga inom en snar framtid. Det finns dock skillnader i hur de autonoma funktionerna implementeras beroende på vilken typ av bekämpning som ska genomföras, exempelvis beroende på om ett emitterande telekrigssystem ska bekämpas, om en fientlig UAV ska neutraliseras och vid mer generell markmålsbekämpning.

Vid markmålsbekämpning utgör framförallt klassificeringen av mål en stor utmaning då målen exempelvis kan vara delvis i skyl eller vara kamouflerade. Det kan även finnas ett stort antal objekt såsom civila fordon eller militära ambulanser som felaktigt kan klassificeras som militära legitima mål. Vid autonom bekämpning behöver de i slutfasstyrningsfasen även kunna identifiera

och slå mot sårbarheter hos målen på motsvarande sätt som när en erfaren FPV-operatör genomför en bekämpning.

Autonoma FPV:er som utvecklas för att slå ut fientliga UAV:er behöver autonoma funktioner för detektion, klassificering och följning av mål. En metod som använts är att FPV:n flyger ikapp en större UAV och positionerar sig ovanför denna och briserar en lätt splitterladdning alternativt kolliderar med UAV:n. En utmaning är att med UAV:ns egna sensorer upptäcka de fientliga UAV:erna, men det underlättas om de kan få en första invisning från andra system (t.ex. radarsystem). FPV-UAV:er har begränsningar i räckvidd men de är agila vilket gör det svårt för en exempelvis en lite större UAV (multirotor eller av flygplanstyp) att genom snabba manövrer komma undan.

Det är troligt att autonoma UAV:er som kan utföra spanings- och bekämpnings-uppdrag blir en realitet i Ukraina och förs in operativt i stor omfattning redan under 2025. De kommer att fungera i vissa scenarion och förhållanden men genom att förstå teknikens styrkor och svagheter kan de användas under de förhållanden där de kan ge en avsevärd militär nytta och i förenlighet med internationell humanitär rätt.

4.1.5 Samverkande UAV:er och svärmar

När autonoma UAV:er som kan genomföra spanings- och bekämpningsuppdrag finns tillgängliga kommer även samverkande grupper av UAV:er som genomför enklare uppdrag att kunna realiseras (t.ex. bekämpa ett mål vid en given tidpunkt, från olika riktningar). Dessa kan beskrivas som samverkande grupper av UAV:er som nyttjar svärmtaktik och det är troligt att sådana börjar användas operativt i större omfattning redan under 2025. Utvecklingen av algoritmer som kan möjliggöra mer komplexa uppdrag pågår.

Svärmar utvärderas nu på militära provområden i Ukraina men det är osäkert om de ännu har använts skarpt i telestörda miljöer. En kritisk aspekt är att utveckla algoritmerna så att kraven på dataöverföring reduceras.

Svärmtaktik vid attacker med UAV:er genomförs regelbundet i Ukraina. Syftet är då att mätta fiendens försvarssystem. Ett vanligt exempel är de ryska anfallen med ett stort antal heterogena bekämpningssystem bestående av olika obemannade farkoster och kryssningsrobotar, där även enkla skenmål (utan verkansdelar) används. Dessa har normalt inte haft svärmalgoritmer implementerade utan farkosterna har i huvudsak genomfört förprogrammerade uppdrag med begränsad kommunikation och koordination sinsemellan. Det finns därmed anledning att särskilja svärmtaktik från metoder och algoritmer för att realisera svärmfunktionalitet där de (helt eller delvis) autonoma farkosterna samverkar för att lösa ett uppdrag. En naturlig utveckling är dock att samverkan mellan dessa farkoster kommer att öka gradvis.

I [81] beskrivs en demonstration där fem UAV:er samverkar: två UAV:er utför spaning över ett område och letar efter mål, två större UAV:er är utrustade med fällbara granater och de bekämpar upptäckta mål och en UAV flyger därefter in och genomför verkansbedömning. En ensam operatör leder operationen och anger målområdet, övervakar uppdraget och godkänner bekämpning (fattar bekämpningsbeslutet) av målen. De två spaningsfarkosterna behöver då vara utrustade med autonoma funktioner såsom val av rutt för anflygning och avsökning av området, samt detektion och lokalisering av mål. Om de även automatiskt klassificerar mål kan de potentiellt även genomföra bekämpning utan inblandning av en operatör. De två beväpnade UAV:erna behöver kunna flyga till de angivna målkoordinaterna och ha funktioner för automatisk målföljning, samt automatiskt bedöma när granater ska släppas. Det är oklart huruvida verkansbedömningen sker automatiskt eller manuellt av operatören. De behöver kunna estimera sina positioner i telestörda miljöer. UAV:er som agerar som relänoder är sannolikt en nödvändighet för att öka möjligheterna för att kommunikationen ska fungera. Detta system benämns Styx och utvecklas av företaget Swarmer [76].

Det pågår samtidigt en utveckling av något större UAV:er som kan agera som moderfarkost till mindre FPV-UAV:er. Ett exempel är den ukrainska Dovbush T10 som kan bära upp till sex FPV:er [85].[40] Den har en längre räckvidd än en FPV-UAV och kan släppa FPV:erna närmare målområdet samtidigt som den kan agera som kommunikationsrelä till dessa. Ryska förband rapporteras även ha utvecklat ett liknande koncept där en Pchelka UAV som har VTOL-förmåga används som moderfarkost med reläfunktion [86].

4.1.6 Diskussion

En intensiv utveckling av autonoma funktioner, som behövs för att realisera autonoma UAV:er, pågår i Ukraina och sådana funktioner förs nu in i snabb takt. De algoritmer som tas fram är dock (ännu) inte anmärkningsvärda i sin funktion eller prestanda utan sådana har under många år utvecklats i militära labb runt om i världen. Två saker är dock anmärkningsvärda, dels tempot i utvecklingen, dels hur de lyckas utveckla lågkostnadssystem som kan ha autonoma funktioner integrerade. För användning dagtid med visuella kameror kan enklare autonoma FPV-UAV:er tillverkas för omkring 10 000 kronor [78].

4.2 Robusthet i telestörda miljöer

Störning av kommunikationslänkar och störning och vilseledning mot GNSS-mottagare genomförs i stor omfattning i Ukraina. De ryska telekrigssystemen har bland annat medfört att GPS-styrd artilleriammunition inte längre är effektiv

[40] www.youtube.com/watch?v=Q4Md4iMJ6Jk (besökt 2025-04-07).

[87]. De ryska störsystemen utgörs primärt av två olika grupper: dels stora fordonsburna eller stationära telekrigssystem med hög uteffekt som är grupperade en bit in i egenkontrollerade territorium, dels ett mycket stort antal mindre (bärbara eller fordonsmonterade) telekrigssystem med begränsad uteffekt och räckvidd som används vid fronten [21], [17], [88], [89].

Ett ukrainskt exempel på telekrigssystem som tillhör den första gruppen är Pokrova som har förmåga att exempelvis störa och vilseleda GNSS-mottagare [90]. En stor andel av de fordon som rör sig i närheten av fronten är utrustade med enklare störsystem, primärt avsedda att störa ut kommunikationslänken till FPV-UAV:er [8]. Telekrigssystem är idag det främsta skyddet mot fientlig användning av UAV:er. Antalet störsystem är svårt att bedöma, men det finns troligen tiotusentals mindre störsystem i frontområdet [7]. Dessa har medfört att även erfarna FPV-operatörer träffar avsevärt färre mål.

4.2.1 Kommunikation

Obemannade farkoster är dels utrustade med en datalänk för att skicka sensordata och telemetri till operatören (markkontrollstationen), dels en styrlänk där styrkommandon skickas i realtid till UAV vid teleoperation. På de högre frekvenser som normalt används för framförallt nedlänken till markkontroll-stationen är frisiktsförhållanden närmast en förutsättning, medan kontrollänken typiskt är en lågdatataktslänk där även lägre frekvenser (under en GHz), som har en lägre dämpning på grund av vegetation, kan användas.

Det finns olika sätt att öka robustheten för radiosystem (se exempelvis [91]):

- Design av militära radiosystem handlar typiskt om att göra en avvägning mellan datatakt och störskydd – där robusthet kan uppnås genom bandspridningstekniker som frekvenshopp vilket reducerar datatakten.
- Relänoder används i mycket stor omfattning för att öka räckvidden för UAV:erna. Eftersom relänoder ökar signalstyrkan i mottagaren (länkdämpningen minskar) erhålls samtidigt ett ökat störskydd. Dessa kan placeras på andra UAV:er men även markbaserade relänoder används i ökande grad.
- Att ha flexibilitet att använda frekvenser som inte är utstörda lokalt.
- Att öka signalstyrkan genom att sända med högre effekt eller använda riktantenner med hög antennförstärkning.
- Gruppantenner med adaptiv störundertryckning är generellt en teknik som genom spatiell filtrering kan undertrycka störare.

Gruppantenner används idag i begränsad omfattning på mindre UAV:er, men det är tekniskt möjligt att utveckla små fasstyrda gruppantennsystem med hög störundertryckningsförmåga för högre frekvenser (t.ex. 55 eller 60 GHz) som är små och lätta och skulle kunna användas även på stridstekniska UAV:er [91]. Kostnaden bedöms dock fortfarande vara hög för dessa.

På de små billiga stridstekniska UAV:er som utgör majoriteten av de UAV:er som används i Ukraina finns små möjligheter att använda robusta militära kommunikationssystem med hög robusthet mot störning. I huvudsak används enkla kommersiella kommunikationssystem som är relativt enkla att störa ut. Den metod som används för att ändå kunna kommunicera i telestörda miljöer är bland annat att UAV:erna kan använda sig av många olika radiosystem som använder olika frekvensområden. Ett sätt är att inför ett uppdrag byta till ett radiosystem eller radiomodul som använder frekvenser som i operationsområdet inte är utstörda. Modifierade sändare med högre utsänd effekt, upp till 5 W, används även i Ukraina för kontrollänk till FPV-UAV:er [92].

Lite större spaningsfarkoster kan vara utrustade med militära datalänkar, där exempelvis Vector använder en radio som har möjlighet att detektera störning på olika frekvensområden och byta till frekvenser som inte är utstörda [17].

Ryska militära taktiska och stridstekniska UAV:er som Orlan-10 och Eleron-3SV är utrustade med mer robusta militära radiosystem som använder frekvenshopp som bandspridningsmetod (se exempelvis [93]). Även för dessa är det dock önskvärt att ha möjlighet att byta frekvensområde. Den ryska patrullroboten Lancet-3 anges operera på två frekvenser samt ha en reservfrekvens, vilket ger en viss ökad robusthet [94]. De kan även använda UAV:er som relänoder vilket ger en ökad robusthet mot störning.

På större multirotor-UAV:er används även satellitkommunikationssystem som består av stora konstellationer av lågt flygande satelliter som rör sig i LEO-banor (eng. Low-Earth Orbit). Det vanligaste exemplet är Starlink och dess militära version Starshield. Terminalerna kan då vara utrustade med fasstyrda antenner som ger robusthet mot störning, samtidigt som det stora antalet satelliter försvårar störning mot rymdsegmentet. Det är även troligt att satelliterna har någon form av fasstyrda antenner.

UAV:er som produceras av samma tillverkare har ofta möjligheten att reläa trafik sinsemellan och till markkontrollstationen. Det gäller exempelvis Orlan-10, Zala Z-16 och Lancet-3 samt AeroVironment’s spaningsfarkoster och patrullrobotar (Switchblade). Det är dock oklart i vilken utsträckning reläfunktionalitet finns mellan UAV:er från olika fabrikat, men det är tekniskt sett relativt enkelt att utveckla dylika nyttolaster.

Fiberoptiska kommunikationssystem har även börjat användas under 2024 på UAV:er, vilket medger hög datatakt och full funktionalitet även i telestörda miljöer. De har framförallt under hösten och vintern fyllt ett viktigt förmågegap och de används i en relativt stor omfattning av Ryssland i exempelvis Kursk. Ukraina utvecklar denna förmåga och förbereder ett bredare införande.

4.2.1.1 Massmarknadskommunikationssystem

ExpressLRS (ELRS) är ett exempel på ett billigt radiosystem som har öppen källkod. Dessa modifieras för att kunna användas på andra frekvenser, exempelvis 433 MHz [92]. De civila regleringarna för användning av frekvensspektrum har inte hög prioritet under kriget.

ELRS stödjer exempelvis standarden LoRa (eng. Long-Range) som används för styrlänken till FPV-UAV:er. De datatakter som krävs för att skicka styrkommandon är avsevärt lägre än för att skicka videoströmmar. LoRa är benämningen på det fysiska lagret som har en lång räckvidd och är utvecklat för att stödja kommunikation med låga datatakter främst för IoT (eng. Internet of Things). LoRa har olika RF-moduler som opererar på olika frekvenser, beroende på vilken region den är utvecklad för. Kostnaden för en radiomodul är ungefär 50 till 100 kr. Både Ukraina och Ryssland använder sig av (bland annat) LoRa för kommunikation (styrlänken) med FPV-UAV:er [92], [95]-[97]. LoRaWAN beskriver ett kommunikationsprotokoll och nätverksarkitektur som nyttjar LoRA och det kan exempelvis användas för att skapa reläfunktionalitet på UAV:er.[41]

4.2.1.2 Satellitkommunikation med LEO satkom

Starlink[42] är ett satellitkommunikationssystem som används i relativt stor omfattning i Ukraina. Starlinkterminaler ger möjlighet till en trådlös internetanslutning med relativt låg fördröjning då Starlink nyttjar satelliter som flyger nära jorden (eng. Low-Earth Orbit, LEO). Uppskattningsvis 42 000 Starlinkterminaler har levererats till Ukraina, varav Polen har levererat drygt hälften [98], [99]. Polen betalar även betydande avgifter – omkring 50 miljoner dollar per år – för dessa abonnemang [100]. Medieuppgifter gör dessutom gällande att ett begränsat antal av Ukrainas Starlinkmottagare har getts tillgång till den militära versionen, Starshield [101].

Starlink används dels i civila tillämpningar, dels militärt där de används i alla frontavsnitt. Starlinkterminaler utgör en viktig del av den ukrainska ledningsförmågan och länkar exempelvis ihop UAV-förband med bakre ledningsresurser och är en del av kommunikationsarkitekturen som möjliggör det transparenta stridsfältet. Även den militära sjukvården i Ukraina använder detta kommunikationssystem. Starlink är ett alternativ för internetuppkoppling för förband som opererar i områden där de civila mobiltelefonisystemen inte fungerar. De är delvis en möjliggörare för det ukrainska ledningssystemet Delta[43] [102]. Delta används i betydande omfattning för att skapa och förmedla en

[41] lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/what-is-lorawan.pdf (besökt 2024-12-04).

[42] Starlink är ett satellitkommunikationssystem som använder sig av tusentals enklare satelliter som är rör sig i omloppsbanor på en höjd av ca 550 km (Low-Earth Orbit, LEO).

[43] Delta beskrivs som ett ekosystem av militära tjänster där grunden är en digital karta varpå olika (appbaserade) tjänster sedan har utvecklats kontinuerligt.

lägesbild, förmedla realtidsvideo från UAV:er och stationära sensorer, planering och sammankoppling av spanings- och bekämpningsresurser och integration och ledning av obemannade farkoster.[44]

Starlinkterminaler används även i begränsad omfattning direkt på obemannade spaningsfarkoster för att förmedla måldata till bakre lednings- och verkansenheter. Ukraina har även integrerat Starlinkterminaler på multikopter-UAV:er för att leda dessa vid operationer bakom fiendens linjer. Operatören kan då sitta exempelvis i Kiev och teleoperera en UAV som genomför uppdrag i fiendens bakre linjer. De har även integrerats på obemannade ytfarkoster (USV) såsom Magura V5 för att kunna styra dessa [103]. De utgör dock endast ett av flera kommunikationsalternativ för dessa farkoster.

Det finns även rapporter om att en Shahed-136 som sköts ned över Ukraina i september var utrustad med en Starlinkterminal [104]. Det är dock oklart om detta har gjorts i mer än enstaka fall, då det från amerikanskt håll har arbetats med att förhindra rysk användning av Starlink i Ukraina.

Starlinkmottagare har egenskaper som ger ett visst skydd mot fientlig störning. De är utrustade med avancerade elektroniskt fasstyrda gruppantenner. Frekvenser över 10 GHz används i både upp- och nedlänk vilket medför att även antenner som har en storlek omkring 0,2 m^2 kan utrustas med tusentals antennelement. Satelliterna rör sig med en hastighet av 27 000 km/h och mottagaren behöver därför byta till att följa en ny satellit efter några minuter. Genom att justera fasfördröjningar kan gruppantennen skapa smala antennlober med hög direktivitet som kontinuerligt följer satelliterna.[45] Gruppantennens känslighet är avsevärt lägre i andra riktningar vilket medför att störsignaler undertrycks. Signalstrukturen för Starlink beskrivs närmare i [105]. Antalet satelliter inom mottagarens synfält är normalt mycket högt i Ukraina vilket innebär att det är betydligt svårare att störa ut satelliterna (upplänken) då ett störsystem inte kan fokusera störenergin i en specifik riktning.[46]

4.2.1.3 Fiberoptisk kommunikation

Användningen av fiberoptisk kommunikation ger möjlighet att fortsätta styra UAV:er genom teleoperation även i telestörda miljöer. Fiberoptiskt styrda UAV:er används huvudsakligen för spaning och bekämpning. Eftersom fiberoptiskt styrda FPV-UAV:er inte längre är beroende av fri sikt till operatören eller en flygande relänod kan de flyga lågt, exempelvis på skogsvägar eller mellan, och även in i, byggnader. De är inte heller känsliga för de

[44] www.act.nato.int/article/delta-system-cwix/ (besökt 2025-03-13).

[45] sicscience.com/deep-dive-into-starlink-antenna-design-and-phased-arrays/ (besökt 2024-12-08).

[46] En utmaning i Norden är dock att satelliterna nästan uteslutande rör sig i banor som medför att endast enstaka satelliter befinner sig över norra Sverige. www.satellitemap.space/ (besökt 2024-12-10).

vågutbredningseffekter som orsakas av avsaknaden av frisiktsförhållande som begränsar kommunikationen då de i slutfasen av en attack dyker ned mot målet. Räckvidden för de tidiga systemen var begränsad till ett fåtal kilometer men de har numera räckvidder på över 20 km [106].

Ryssland har under 2024 legat före Ukraina i denna utveckling och har använt avsevärt fler fiberoptiskt styrda FPV-UAV:er [107]. Det finns rapporter om att de användes i stor omfattning i Kursk och Pokrovsk som är två viktiga frontavsnitt för Ryssland [108]. Det finns även rapporter om att en FPV-UAV med fiberoptisk kommunikation har slagit ut en M1A1SA Abrams stridsvagn i Kursk.[47] Ukraina börjar nu få igång en inhemsk tillverkning och antalet ukrainska fiberoptiskt styrda UAV:er ökar i snabb takt [108].

De första exemplen på ryska fiberoptiskt styrda FPV-UAV:er rapporterades in under mars 2024 då spolar som släpper ut ett fiberoptiskt kommunikationssystem kunde identifieras på nedskjutna ryska UAV:er [109]. De ryska fiberoptiska kommunikationssystemen utgörs huvudsakligen av kommersiella optiska sändtagare[48] för högdatataktskommunikation, och en spole med fiberoptisk kabel på UAV:n, som tillverkas i Kina [109]. Vissa rapporter indikerar att de ryska UAV:erna använde kommersiella kinesiska fiberoptiska kommunikationssystem som har varit relativt dyra, en faktor 3-4 gånger dyrare än en FPV-UAV. I takt med att större ryska beställningar lagts så har de kinesiska tillverkarna sänkt priserna till ca 5 000 kronor [108]. Den ukrainska utvecklingen av fiberstyrda UAV:er har istället fokuserat på lågkostnadssystem som de kan producera inom landet och vidareutveckla kontinuerligt [110]. Mer än 25 olika ukrainska aktörer utvecklar nu denna teknik och tillverkningstakten förväntas öka snabbt [108].

Tekniken har än så länge vissa begränsningar exempelvis i räckvidd, på grund av den extra vikten (som kan uppgå till ett par kilogram för att nå räckvidder på 20 km). Alternativt kan UAV:erna förses med en kraftigare flygram och större batteri [108], [110]. Även flygegenskaperna försämras och de optiska kablarna löper risk att trassla in sig i exempelvis terränghinder [8]. Det finns även en risk att motståndaren kan lokalisera operatörernas positioner, framförallt om ett flertal fiberoptiskt styrda UAV:er startas från samma position.

När fler autonoma funktioner förs in är det troligt att behovet av denna teknik minskar då även autonoma UAV:er kommer att kunna operera i telestörda miljöer. Införandet av autonoma funktioner har även fördelen att de kan reducera den kognitiva belastningen för operatören och möjliggöra att denne kan leda flera farkoster samtidigt (eller leda en UAV som en tillikauppgift). Det är troligt att fiberoptiskt styrda UAV:er då kommer utgöra en nischprodukt för bekämpning

[47] www.armyrecognition.com/focus-analysis-conflicts/army/conflicts-in-the-world/ukraine-russia-conflict/russia-deploys-advanced-fiber-optic-drones-to-strike-us-m1a1sa-abrams-tank-in-ukraine?utm_content=cmp-true (besökt 2024-12-11).

[48] En kombinerad sändare och mottagare.

exempelvis i svårare fall, i situationer där en erfaren FPV-operatör kan genomföra bekämpning med högre precision än autonoma UAV:er. Nischprodukt innebär i detta fall en volym på några hundra tusen fiberoptiskt styrda FPV-UAV:er, vilket utgör några procent av det förväntade antalet FPV-UAV:er i Ukraina 2025.

4.2.2 Positionering, navigering och tidshållning (PNT)

Det finns flera sätt att öka robustheten för PNT-systemen mot störning och vilseledning, bland annat genom att förbättra GNSS-mottagarens robusthet med gruppantennbaserade störskyddssystem eller genom att integrera tekniker som fungerar oberoende av GNSS (se t.ex. [111] och [80]).

4.2.2.1 Gruppantennbaserade störskyddsystem

Iranska Shahedfarkoster är utrustade med enkla gruppantennbaserade störskyddssystem. Analyser av nedskjutna ryska UAV:er visar att även Ryssland har integrerat inhemskt tillverkade[49] satellitnavigationssystem (Kometa), som även kan inkludera enklare gruppantennbaserade störskyddsystem, på långräckviddiga attack-UAV:er som Geran-2, UAV:er av typen Orlan-10 och Forpost-R [112]. De har även integrerats på UMPK glidbomber [11]. Dylika störskyddsystem ökar robustheten mot framförallt störning av GNSS-signalerna. Dessa störskyddssystem har tidigare haft fyra antennelement, men större kinesiskt tillverkade gruppantenner med åtta antennelement har observerats i början av 2025 [113].

Gruppantennbaserade störskyddssystem ger ett bra skydd mot störning. Datablad för kvalificerade militära störskyddssystem anger att de kan undertrycka störsignaler med över 30 dB[50]. Enklare lågkostnadssystem som de iranska som bland annat har använts på Shahed-136 har dock en sämre störundertrycknings-förmåga.[51] Även gruppantennbaserade störskyddssystem kan dock störas ut, antingen genom att sända starka störsignaler som de inte kan undertrycka eller genom att sända störsignaler från flera olika riktningar. Gruppantennsystem med fyra antennelement kan inte undertrycka fyra okorrelerade störsignaler som kommer från distinkt olika riktningar. Även i scenarion där ett fyrelements gruppantennsystem undertrycker enstaka störsignaler kan GNSS-mottagarens prestanda försämras, eftersom den spatiella filtreringen kan leda till att även GNSS-signalerna distorderas och undertryckas [114]. Gruppantennbaserade

[49] Även om det tillverkas i Ryssland består Kometa i stora delar av importerade delkomponenter.

[50] www.tualcom.com/gps-gnss-anti-jam-crpa/tualaj-4100/ (besökt 2025-04-19).

[51] De tidiga Shahed hade relativt begränsad förmåga till störundertryckning men det är oklart baserat på information som publicerats i öppna källor hur situationen är nu. De ryska störundertryckningssystemen synes använda en förbättrad gruppantenn vilket indikerar att deras prestanda kan ha förbättrats.

störskyddssystem med åtta antennelement ger en förbättrad störundertrycknings-förmåga samtidigt som distorsionerna av de autentiska satellitsignalerna reduceras.

Gruppantennbaserade störskyddssystem omfattas normalt av exportrestriktioner och de iranska Shahed-136 använder enklare inhemskt utvecklade elektronik-enheter och rudimentära gruppantenner (se exempelvis [115]). Elektronik och komponenter som behövs för att realisera en sådan omfattas inte av de generella exportkontrollbegränsningarna. Forskning kring den typen av enklare störskyddssystem påbörjades redan för femton år sedan (se exempelvis [116]).

Det finns dock indikationer på att Ukraina under slutet av 2024 har lyckats att genom vilseledning styra om flygbanorna för Geran-2 UAV:er och även få dem att exempelvis flyga tillbaks till Ryssland [117], [90]. Det finns även tydliga indikationer på att ukrainska telekrigssystem numera lyckas att störa eller vilseleda satellitnavigationssystemen på ryska glidbomber, även vid frontlinjen, vilket kraftigt har reducerat deras precision [13]. Tidigare hade Ukraina ingen möjlighet att stoppa dessa attacker när bomberna väl hade släppts, vilket kan ske från avstånd upp till 70 km [12].

4.2.2.2 Stöttande PNT-tekniker

Robusta PNT-system som kan estimera farkostens position och orientering även då GNSS-mottagarna är otillförlitliga är nödvändiga för att kunna realisera autonoma UAV:er. I nuläget finns ett antal bildalstrande positioneringstekniker framtagna som, under gynnsamma förhållanden, kan användas för att avsevärt förbättra prestanda för ett tröghetsnavigeringssystem (TNS) genom visuell odometri och/eller kartmatchning. De fungerar ofta bra i goda visuella förhållanden och över land där det finns någon form av struktur i bilden. Det är dock oklart om dessa tekniker ger önskad noggrannhet under tillräckligt lång tid.

Positionering med bildalstrande sensorer är ett prioriterat utvecklingsområde i Ukraina och utvärderingar av prestanda för sådana system pågår [75]. Prestanda i mörker, där termiska IR-sensorer används, har ännu inte undersökts i tillräcklig grad. Även flyghöjden kan påverka deras prestanda. Ett exempel, av flera, av ett visuellt PNT-system för UAV:er är AeroVironments VNS som är utrustad med visuell kamera, termisk IR-sensor och laserhöjdmätare.[52]

Nästa steg för mer kvalificerade stridstekniska UAV:er med militära radiosystem kan vara att integrera radiobaserade tekniker, exempelvis där kommunikations-systemet anpassas för att möjliggöra avstånds- och riktningsestimering till UAV:erna som stöd i ett multisensorbaserat positioneringssystem.

[52] www.avinc.com/resources/press-releases/view/aerovironment-introduces-puma-vns-a-visual-based-navigation-system-that-enables-gps-denied-navigation-across-gps-contested-environments (besökt 2024-12-01).

Intensiv forskning pågår inom området och på några års sikt är det även troligt att några av följande tekniker kan vara redo att föras in (se exempelvis [80], [111]):

- terrängnavigering (kartmatchning) baserat på exempelvis en laserradar (eng. Light Detection and Ranging, LiDAR) som mäter höjd,
- magnetometerbaserad positionering genom jämförelser mot anomalikartor,
- LEO PNT, där dedikerade PNT-nyttolaster är under utveckling men där även radiosignalerna (nedlänk) för satellitkommunikationssystem som Starlink kan användas opportunistiskt, eller
- tillfälligt utplacerade ”landmärken” eller radiosändare på kända positioner.

Informationsbaserad styrning är en metod som passar väl för obemannade farkoster. Den här typen av metod kan anpassa farkostens rutt på så sätt att den förflyttar sig i mer informationsrika miljöer där den har högre sannolikt behålla en låg osäkerhet i positionsestimaten.

Det pågår även forskning kring möjligheten att positionera UAV:er baserat på opportunistisk användning av radiosändare från bland annat digitala TV-sändare[53], satellitkommunikationssystem som Starlink eller mobiltelefonsystem.

Det är svårt att från öppna källor bilda sig en tillförlitlig uppfattning om de ryska UAV:ernas PNT-system, både när det gäller vilka tekniker som används och deras prestanda. Det finns indikationer på att Orlan-10 använder sig av någon typ av RTK-mottagare (eng. Real-Time Kinematic) för GNSS, magnetometrar (elektronisk kompass), gyrosensorer och någon typ av kartstöttad kamerabaserad positionering.[54] Det finns även rapporter om att de utrustats med gruppantenn-baserade störskyddsystem [113].

Det börjar nu komma information i öppna rapporter och tidningsartiklar om att moderniserade versioner av amerikanska och europeiska UAV:er har utrustats med multisensorbaserade positioneringssystem som ger en förbättrad förmåga att genomföra operationer i telestörda miljöer. Dessa system baseras huvudsakligen på en kombination av tröghetsnavigering som stöttas av visuell odometri och kartmatchning – där IR-sensorer används under visuellt dåliga förhållanden. Några exempel på sådana UAV:er är Quantum Systems Vector, Skydio X10D, Shield AI V-BAT och Helsings patrullrobot HX-2 [17], [24], [25].[55]

[53] security-link.se/signals-of-opportunity-lokalisering-med-digital-tv/

[54] www.sensusq.com/blog/0908603f-69a8-4951-8e7b-bce3a1a8c575 (besökt 2025-03-13).

[55] helsing.ai/hx-2 (besökt 2025-03-13).

4.3 Stridsekonomi

Kriget i Ukraina bedrivs nu som ett utnötningskrig. Det medför att stridsekonomi i denna fas av kriget är kritiskt, där enkla lågkostnadssystem som UAV:er används för att slå ut avsevärt dyrare plattformar och även fiendesoldater.

Ukraina har under de tre senaste åren skapat ett starkt innovationsklimat där ett ekosystem med frivilligarbetare, mindre företag, okonventionella finansierings-möjligheter[56] och statligt initierade ”bryggor” [57] till användarna har skapats för utvecklingen av obemannade farkoster. Ukraina har på kort tid transformerat sin inhemska industri och är på väg att utveckla en innovativ försvarsindustri med stor bredd och ett fokus på att utveckla militära system med god stridsekonomi.[58] Ukraina har beskrivits som ett Silicon Valley för utvecklingen av obemannade farkoster [77].

4.3.1 Design av FPV-UAV:er

FPV-UAV har utvecklats till en samlingsbeteckning för ett stort antal olika typer av UAV:er, kvadrokoptrar i olika storlek och prestanda, där operatörens interaktionsmetod med UAV:n är det gemensamma. När FPV:er först infördes utgjordes de huvudsakligen av kvadrokoptrar med en propellerdiameter på 7 tum som baserades på kommersiella racingdrönare. Militärens behov av längre räckvidder och tyngre nyttolaster har dock medfört att även större (9-10 tum) kvadrokoptrar har utvecklats [17]. Idag finns en stor spännvidd i storlek och förmåga för de FPV-UAV:er som används operativt. De är även flexibelt konstruerade och olika nyttolaster för bekämpning, spaning, telekrig eller relänodsfunktionalitet kan användas (där de förhållandevis ofta monteras med enkla medel såsom tejp) [17]. Denna enkla modularitet förbättrar stridsekonomin och reducerar den logistiska bördan.

Kostnaden för FPV-UAV:er varierar avsevärt beroende på design och förmåga. Majoriteten av FPV-UAV:er utgörs av farkoster som vidareutvecklats från olika kommersiella racingdrönare, där de senare kostar mellan 4 och 25 tkr. Modifikationer i form av större batterier och kraftigare rotorer kan öka kostnaden [94]. Under 2024 tillverkade Ukraina, enligt befälhavaren för Unmanned Systems Force, omkring 2,2 miljoner FPV-UAV:er [6]. Det finns även en stor variation i de verkansdelar som används på FPV-UAV:er, där exempelvis granater, RPG-ammunition och sprängmedel används. Kostnaden för

---

[56] Exempelvis crowdfunding, donationer och finansiering från vänligt sinnade stater.

[57] Ett exempel är Brave1 som har som uppgift att inom området obemannade och autonoma system stödja samarbete mellan försvarsindustrier och utvecklingen av innovativa lösningar, samt genomföra realistiska utvärderingar och underlätta det operativa införandet av utvalda tekniker. Den beskrivs ibland som en ukrainsk version av den amerikanska förlagan Defence Innovation Unit (DIU) [81].

[58] www.president.gov.ua/en/news/ukrayina-mozhe-j-bude-stvoryuvati-najkrashi-zrazki-zbroyi-vi-93613 (besökt 2024-12-10).

verkansdelen varierar därför, men kostnaden för exempelvis RPG-ammunition estimeras vara mellan 1 och 5 tkr [94].

Stridsekonomiska aspekter talar starkt för en fortsatt intensiv utveckling, produktion och användning av FPV-UAV:er. Utvecklingen går mot att integrera ytterligare autonoma funktioner i dessa UAV:er, bland annat automatisk detektion och klassificering av mål. Detta förutsätter dock att en processor integreras och en bättre kamerasensor används, vilket kommer att öka kostnaden. Det är troligt att tillverkningskostnaden för autonoma UAV:er i Ukraina kan bli så låg som 10 tkr beroende på version.

4.3.2 Modifieringar av kommersiella UAV:er

DJI Mavic 3 används i stor omfattning i Ukraina då de ger en hög prestanda, i form av uthållighet, vädertålighet och sensorkvalitet, till ett jämförelsevis lågt pris. Dessa konsumentprodukter har dock olika begränsningar som gör att de i sin standardversion inte är lämpliga att använda – de har exempelvis begränsningar i flyghöjd och tillverkaren kan ange geografiska områden där de inte kan flyga. Det finns även verktyg som AeroScope som kan lokalisera dem. Det finns osäkerheter kring cybersäkerheten, och huruvida exempelvis sensordata som stillbilder eller video kan läcka till DJI. De UAV:er som anskaffas av Ryssland och Ukraina har därför modifierats på olika (av tillverkaren otillåtna) sätt för att förbättra möjligheterna att använda dem säkert och mer effektivt.

I [22] beskrivs att Ryssland exempelvis kopplar bort DJI UAV:ernas GNSS-mottagare, vilket bland annat medför att de kan flyga högre och i virtuellt avspärrade geografiska områden (eng. geofence). Modifikationer görs även för att UAV:erna ska kunna använda andra, större batterier än DJI:s egna, vilket förlänger uthålligheten [22]. Modifikationer av UAV:ernas firmware medför även att de kan använda den högre uteffekt för kommunikationssystemet som är tillåten i USA och Kanada – vilket anges kunna fördubbla dess räckvidd [22]. Om kommunikationslänken blir utstörd används kompassen för att styra UAV:n så att den flyger i motsatt riktning. Detta kommer ofta att reducera påverkan från mindre störsystem. Det är dock troligt att ett stort antal Mavic förloras på grund av störning av dess datalänkar då de frekvenser som används, till skillnad från FPV-UAV:er, inte kan ändras enkelt.

4.3.3 Kostnadseffektiv långräckviddig bekämpning

Ryska och ukrainska UAV:er som används för långräckviddig bekämpning, s.k. OWA-UAV, är utvecklade för att ha en relativt låg kostnad, vilket bland annat möjliggörs av att de endast ska användas en gång.

Ryssland har svårt att importera avancerad elektronik och sensorer och baserar sin design på enklare komponenter som de fortsatt har goda möjligheter att

anskaffa på olika sätt. Geranserien av UAV:er är baserad på iranska förlagor. Prestanda för inhemskt tillverkade Shahed, Geran och Gerbera är inte iögonfallande men Ryssland har kapaciteten att tillverka dem i stora mängder. Kostnaden är avsevärt lägre än för kryssningsrobotar som Kh-101. En grov uppskattning är att tillverkningskostnaden för de enklare versionerna av Geran-2 är enstaka procent av den för en Kh-101.[59] Skenmål som Parodiya är dessutom avsevärt billigare.

4.3.4 Detektion och lokalisering av UAV:er

Radarsystem utgör traditionellt huvudalternativet för att detektera och lokalisera UAV:er. Moderna radarsystem har även anpassats för att öka detektionssannolikheten mot mindre UAV:er som flyger lågt och långsamt.[60] Att skapa täckning över stora områden är förenat med en hög kostnad, samtidigt som radarsändare är relativt enkla att lokalisera och bekämpa. Stridstekniska UAV:er, och även de iranska och ryska UAV:er som används för långräckviddig fjärrbekämpning (som Shahed-136 och Gerna-2), har en liten radarmålarea. Radarmålarean för Orlan-10 anges vara mellan 0,02 och 0,1 m^2, beroende på våglängd [93]. Mindre stridstekniska ryska UAV:er som Z-16 kan ha en radarmålarea som är en tiondel av detta vilket ställer höga krav på radarsystemen. Det finns därmed ett behov av att komplettera radarsystem med andra, gärna passiva, system för detektion och lokalisering av UAV:er.

Ukraina använder olika tekniska system för att detektera och lokalisera UAV:er. Ett nätverk av närmare 10 000 passiva akustiska sensorer har byggts upp i Ukraina och de är ett kostnadseffektivt sätt att lokalisera framförallt lågflygande Shahed och Geran UAV:er [118], [17]. Detektionsavstånden för lågflygande UAV:er och kryssningsrobotar anges vara upp till 4,8 km respektive 6,9 km, med en feldetektionssannolikhet under två procent [17]. Efter en detektion har information om typ av mål, dess ljud, position och riktning typiskt förts in i ledningssystemet Delta inom 12 sekunder [17]. Information från flera sensorstationer används för att estimera målens riktning och hastighet. Varje sensor bedöms kosta omkring 5 tkr och deras observationer kan förmedlas med exempelvis mobiltelefoner. Informationen från det akustiska systemet används även för att aktivera radarstationer [17].

Radiosignalspaning kan också användas i vissa situationer, baserat på de radiosignaler de sänder ut (se exempelvis [93]). Det pågår även forskning och utveckling av passiva radarsystem där opportunistiska radiosignaler används, exempelvis från FM-radio, istället för dedikerade radarsändare [119].

---

[59] en.defence-ua.com/news/what_is_the_real_price_of_russian_missiles_about_the_cost_of_kalibr_kh_101_and_iskander_missiles-4709.html (besökt 2025-03-13).

[60] www.saab.com/products/giraffe-1x#:~:text=The%20compact%20concept%20makes (besökt 2025-03-01).

5 Användningen av UGV:er

Obemannade markfarkoster används i begränsad men ökande omfattning i Ukraina. UGV:er används framförallt i frontnära användning för transporter av förnödenheter, ammunition och okvalificerade sjuktransporter (eng. Casualty Evacuation, CASEVAC), minläggning, envägs attackfarkost (OWA-UGV) med exempelvis en stridsvagnsmina, lägga ut taggtråd, spaning och som bärare av olika telekrigssystem [120], [121], [122]. Huvudfokus i utvecklingen är nu riktad mot beväpnade UGV:er som ska utföra direkta stridsuppgifter och att utveckla metod och taktik för dessa användningsområden som tar hänsyn till systemens begränsningar och maximerar deras styrkor. I bakre områden används UGV:er för logistik men även för minröjning och hantering av oexploderad ammunition (OXA). UGV:er kommer troligen även att användas som moderplattformar för UAV:er, på liknande sätt som Ukraina använder USV:er utrustade med FPV-UAV:er för attacker längs med Svartahavskusten mot exempelvis luftvärnssystem som Pantsir-S1 [123].

Den militära nyttan med UGV:er har hittills varit begränsad. De har räddat liv och reducerat risken för soldater men utvecklingen befinner sig fortfarande i ett relativt tidigt stadium. UGV:er har allvarliga problem med tillförlitligheten där framförallt kommunikationssystemens begränsningar och framkomligheten i terräng är otillfredsställande och har begränsat deras användning [120]. UGV:er förväntas inte transformera operationsmiljön på det omvälvande sätt som UAV:er har gjort. UAV:er ger avsevärt bättre förutsättningar för spaning och målinmätning med sina upphöjda sensorer och UAV:er har med sin högre hastighet och goda överblick enklare att genomföra bekämpning. UAV:er är dessutom avsevärt billigare och enklare att operera än UGV:er. UGV:er har dock fördelar som att de kan genomföra spaning med hög uthållighet (dagar), bära tung last och de kan genomföra uppdrag i väderförhållanden där UAV:er inte kan flyga. Även relativt enkla UGV:er kan bära hundratals kilogram last, vilket gör att de är mer lämpade för tyngre logistikuppdrag – UAV:er som kan bära motsvarande vikt är avsevärt dyrare än dessa UGV:er. Ett exempel är Sirko-S1 som väger 80 kg och kan bära upp till 200 kg last. Den anges ha en tillverkningskostnad under 100 000 kronor [124]. UGV:er kan även utrustas med avancerade vapenstationer och genomföra andra typer av stridsuppgifter än UAV:er. UGV:er har även en avsevärt lägre visuell, termisk och akustisk signatur än bemannade fordon har. UGV:er förväntas därför, åtminstone på medellång sikt, utgöra ett viktigt komplement till UAV:er.

De UGV:er som används i Ukraina är i huvudsak teleopererade där operatören styr farkostens på distans baserat på en videoström från dess sensorer. Även UGV:ernas sensorer och vapenstationer styrs av en dedikerad operatör. Ett uppdrag som genomförs med en UGV för spaning eller stridsuppgifter förutsätter normalt att minst två operatörer används – en förare och en sensor- och

vapenoperatör. Ofta används även en UAV som stöd för att ge en bättre lägesbild och videoströmmen från UAV:en har även använts av UGV:ns förare. En UAV kan även den förutsätta två operatörer, en som flyger och en som håller reda på dess position genom att jämföra videoströmmen mot en karta.

5.1 Ukraina

Den ukrainska ambitionen är att ersätta soldater med obemannade farkoster och flytta soldaterna från de farligaste uppgifterna för att istället operera obemannade system från skyddade ställningar [120]. Det transparenta stridsfältet medför att all förflyttning i frontnära avsnitt (upp till 10-20 km från områden där stridskontakt sker) är förenat med hög risk. UGV:er utgör en viktig del av denna strategi och de förväntas användas i en ökande omfattning.

Sommaren 2023 angav det ukrainska försvarsdepartementet tre prioriterade utvecklingsspår: (*i*) obemannade logistikplattformar för transporter av förnödenheter, ammunition och CASEVAC vid fronten, (*ii*) beväpnade UGV:er som utrustas med lättare fjärrstyrda vapenstationer (eng. Remote Weapon Station, RWS) med granatspruta, kulspruta och/eller pansarskott och (*iii*) fjärrstyrda stationära vapenstationer och sensorer för spaning och övervakning [125].

Under 2024 utrustades militären i Ukraina med i storleksordningen 1 000 UGV:er men målet är att omkring 15 000 UGV:er ska levereras under 2025 [5], [126], [127].[61] Brave1 genomförde i november 2024 försök med omkring 100 obemannade marksystem [128], [129]. Deras terrängframkomlighet utvärderades och experiment genomfördes för att utvärdera UGV:ers potential i flera olika användningsområden. Tester av kommunikationssystemens robusthet i telestörda miljöer genomfördes även.

Mer än 50 olika UGV:er har blivit godkända för användning vid fronten men endast 20-30 % av dessa används enligt [120] kontinuerligt. Majoriteten bedöms vara tekniskt omogna och inte anpassade till militärens behov. Den ukrainska militären har skapat ett nätverk av frontnära verkstäder med mekaniker, ingenjörer och kommunikationsexperter där de testar och modifierar UGV:er efter sina egna önskemål och även ger återkoppling till tillverkarna [120], [126]. De byter exempelvis ut kommunikationssystem, hjul och motorer på dessa UGV:er, och de bygger även egna UGV:er. Ukraina startar nu även dedikerade träningscenter för utbildning av UGV-operatörer [120]. Det är dock svårt att från öppna källor få en korrekt bild av vilka typer av UGV:er, och hur många av respektive modell, som den ukrainska militären hade tillgång till 2024.

[61] Under andra halvan av 2024 lade Ukrainska försvarsdepartementet ut sex kontrakt på UGV:er motsvarande ungefär 250 miljoner kronor, medan de under första kvartalet 2025 lagt ut 31 kontrakt för omkring 1,5 miljarder kronor [5].

Figur 5.1: Ukrainsk UGV, Vepr (foto: armyinform.com.ua, CC-BY 4.0).

Figur 5.2: Höger – Två exempel på ukrainska UGV:er, Sirko-S1 (vänster), utrustad med EO/IR-sensorer för spaning och med"följ-mig" funktion, och Volya-E (höger) utrustad med en enkel bår (foto: armyinform.com.ua, CC-BY 4.0).[62,63]

De ukrainska företagen Ratel och Tencore (TerMIT[64]) anges ha levererat mer än hundra UGV:er vardera [130], [120]. Targan, Gimli, Teslia, Sirko-S1 och RYS (Lynx) Pro är relativt små och enkla hjulgående UGV:er, medan Vepr (figur 5.1) och Volya-E (figur 5.2) är exempel på relativt små bandgående UGV:er.

TerMIT och Zmyi-500 är något större UGV:er som är utvecklade för användning i svårare miljöer och uppdrag [131]. Zmyi-500 är i stora delar byggd av metall och har även hjul av metall, vilket ger ett visst skydd mot minor och annan bekämpning (exempelvis finkalibrig eld och från FPV:er). Dessa UGV:er har använts i olika roller vid fronten. De vanligaste användningsområdena beskrivs i tabell 5.1. I figur 5.3 visas olika ukrainska UGV:er, bland annat en beväpnad TerMIT.

[62] armyinform.com.ua/2024/01/01/nazemnyj-bezpilotnyj-robot-ukrayinskogo-vyrobnycztva-sirko-s1-mk2-projshov-novi-vyprobuvannya/ (besökt 2025-04-10).

[63] armyinform.com.ua/2025/01/17/syly-oborony-znajomlyat-z-logistychnymy-dronamy-targan-ta-volya-e/ (besökt 2025-04-10).

[64] www.instagram.com/tencore.llc/ (besökt 2025-04-07).

Tabell 5.1: Exempel på användningsområden för UGV:er [8], [120], [122], [126], [132].

	Beskrivning	Utvecklingsbehov
Främre logistik	Den vanligaste uppgiften som utförs av UGV:er. UGV:er fraktar förnödenheter på avstånd upp till 10 km. Främre logistik är i den stridsmiljö som nu råder i Ukraina en farlig uppgift.	Idag saknas ett effektivt system för att autonomt släppa last på avlastningsplatser.
Minering & OWA	UGV:er används för att placera ut stridsvagnsminor. UGV:er kan även förses med sprängladdningar och användas som envägs attackfarkost (OWA UGV) mot fortifierade försvarsställningar eller förses med en stridsvagnsmina och explodera denna under eller bredvid en stridsvagn.	Högre hastighet och autonom följning av mål.
Minröj & OXA	Minröjning och omhändertagande av OXA i bakre områden.	Högre tillförlitlighet i förmågan att detonera alla minor behövs. Detta begränsar allvarligt deras nytta i nuläget.
Eldunderstöd	UGV:er utrustade med enklare vapenstationer med kulsprutor, pansarskott eller granatsprutor.	Stabilisering av vapenstation och automatiska funktioner för målföljning och ballistikberäkningar behövs för att öka träffsäkerheten och möjliggöra effektiv bekämpning under förflyttning. Detta kan även ge möjlighet att reducera antalet operatörer.
CASEVAC	Lovande användningsområde men kommunikationssystemen, och UGV:ernas terrängframkomlighet, är för otillförlitliga för att användas i stor omfattning. De används som ett sista alternativ.	Enklare UGV:er är inte optimala för denna tillämpning på grund av de vibrationer som uppkommer vid körning i terräng. Den skadade behöver också kunna värmas upp och ha skydd mot splitter och bekämpning från FPV-UAV:er.
Telekrig	Bärare av störsystem och signalspaningsmottagare, samt agera som kommunikationsrelänoder. Störsändare är enkla att upptäcka och lokalisera vilket medför behov av mobilitet och obemannade farkoster.	UGV med mast för antenner (signalspaning, störning och relänod).

Ukraina har även använt beväpnade UGV:er för direkta stridsuppgifter. Lyut är en 330 kg tung ukrainsk eldriven UGV med en räckvidd på upp till 20 km (figur 5.4) [133]. Den har en 7,62 mm kulspruta och anges kunna identifiera och bekämpa mål dag som natt [134], [135]. Lyut kan (dagtid) detektera mål på upp till 1200 m.

Ironclad är en ukrainsk beväpnad UGV avsedd för stridsuppgifter (figur 5.4). Den är utrustad med en ShaBlya M2 RWS som kan ha en 12,7 mm eller 7,62 mm kulspruta [136]. Den väger 1,8 ton och kan bära ca 350 kg last. Ironclad kan förflytta sig i en hastighet av upp till 20 km/h på väg med en räckvidd på upp till 130 km. Dess bepansring ger skydd mot finkalibrig eld [136].

Figur 5.3: Olika ukrainska UGV:er, där vissa är utrustade med vapenstationer. Längst fram står en beväpnad TerMIT (foto: Ruslan Tarasov, armyinform.com.ua, CC-BY 4.0).[65]

Figur 5.4: Exempel på beväpnade ukrainska UGV:er, Roboneer's Ironclad med en Saber M2 RWS och Lyut (foto: ArmyInform, CC-BY 4.0).[66,67]

Det pågår även en utveckling av en stor ukrainsk UGV, Protector, som kära bära ett ton nyttolast och köra i 60 km/h. Protector är avsedd som ett multirollfordon och ska exempelvis kunna användas för tyngre logistik såsom artilleri- och granatkastarammunition eller för stridsuppgifter [120], [137].

Den stora majoriteten av UGV:erna tillverkas av ukrainska företag – men delvis med importerade komponenter. Ukrainska tillverkare prioriteras för att hålla ned kostnaden och för att möjliggöra en snabb utvecklingscykel [126]. Ukraina

[65] armyinform.com.ua/2025/02/06/povzuchyj-targan-z-razyuchoyu-shableyu-na-shho-zdatni-nazemni-robotyzovani-kompleksy-na-fronti/ (besökt 2025-04-10).

[66] armyinform.com.ua/2023/09/22/na-peredovij-pochaly-vyprobuvaty-ukrayinskyj-nazemnyj-bezpilotnyk-z-turellyu/ (besökt 2025-04-10).

[67] armyinform.com.ua/2025/03/18/nrk-lyut-syly-oborony-posylyt-novyj-bojovyj-robot/ (besökt 2025-04-10).

tillverkar företrädelsevis mindre UGV:er, medan västländerna har donerat framförallt större medeltunga UGV:er. De medeltunga UGV:er som har donerats, exempelvis Milrem's THeMIS, används primärt längre från fronten då de är relativt dyrbara och kan slås ut av billiga FPV-UAV:er.

Olika länder och organisationer har donerat ett tiotal THeMIS UGV till Ukraina, som primärt används för logistik, CASEVAC och minröjning. MILREM anger att de planerar att leverera omkring 200 THeMIS till Ukraina under 2025, med andra nyttolaster för att möjliggöra spanings- och stridsuppdrag [128].

ARX levererade ett mindre antal UGV:er till Ukraina (Gereon) under 2024 och ytterligare 30 uppgraderade Gereon UGV:er i februari 2025.[68] De planerar att leverera mer än 100 Gereon UGV under 2025.

5.2 Ryssland

Före den storskaliga invasionen av Ukraina fokuserade den ryska utvecklingen av UGV:er på medeltunga och tunga UGV:er avsedda för stridsuppgifter, minröjning och minbrytning. Exempel på dessa kraftigt beväpnade UGV:er är Uran-9, Udar och Vikhr (figur 5.5) som är baserade på BMP-3 chassin och Shturm som baseras på en konverterad T-72 stridsvagn. De är tungt beväpnade med bland annat automatkanoner och multipla Kornet pv-robotar [10]. Ryssland utvecklade även ett antal medeltunga UGV:er – som Nerekhta, Platforma-M, Soratnik och Marker – som fungerat som experimentplattformar för bland annat utvecklingen av autonoma funktioner [10]. Den här klassen av UGV:er är utvecklade för prov och försök och har sannolikt producerats i ett fåtal exemplar.

Figur 5.5: Två tunga ryska UGV:er, Uran-9 och Vikhr. Utvecklingen av denna typ av tungt beväpnade UGV:er pågick framförallt före Rysslands storskaliga invasion av Ukraina (foto: Vitaly Kuzmin, Wikipedia).

[68] cdn.prod.website-files.com/64bee21410bc55bb1f106bee/67e577447d85e5474f6fcb24_ARX_Press_Release_32_RCs_Robots.pdf (besökt 2025-04-07).

Flera av dessa UGV:er har prövats i militära övningar, bland annat vid Zapad-21. Uran-9 har även använts i Syrien men utvärderingarna från denna användning visade att det fanns stora utmaningar kopplat till bland annat plattformens fysiska robusthet, kommunikationsbegränsningar och svårigheter att ge operatören en god situationsuppfattning.[69] Användningen av större UGV:er har dock inte dokumenterats eller rapporterats i Ukraina i mer än enstaka fall. Det finns indikationer om att stora utmaningar kvarstår, kopplat till kommunikations-systemens sårbarhet mot störning, begränsningar i framkomlighet och sårbarhet mot kinetisk bekämpning från infanterienheter.[70] Orsakerna till att de inte har använts i stor omfattning i frontnära stridsuppdrag är flera, bland annat de tekniska begränsningarna men en viktig faktor bedöms vara att de är dyra, exklusiva plattformar som är sårbara mot attacker från FPV-UAV:er [138]. Det är i nuläget oklart om den ytterst begränsade ryska produktionen av dessa större och dyrare UGV:er beror på taktiska och stridsekonomiska hänsynstaganden eller om de internationella sanktionerna har haft en allvarlig påverkan på möjligheterna att tillverka dessa UGV:er.

Ryssland har använt UGV:er framförallt för uppdrag som spaning och övervakning, eldunderstöd, minering och minröjning, logistik och evakuering av skadade, samt som envägs attackfarkoster.[71] De ryska UGV:er som används i frontnära områden i Ukraina är företrädelsevis mindre och lättare teleopererade lågkostnadssystem, exempelvis Yozhik, SEM-350, BRG-1, Lyagushka och Depesha [138]. Större UGV:er som Uran-6 och Prokhod-1 används för minröjning och omhändertagande av oexploderad ammunition (OXA) i de av Ryssland ockuperade områdena, men endast i begränsad omfattning när det gäller frontnära operationer.

De UGV:er som använts av ryska förband har delvis utgjorts av farkoster som tillverkats av soldaterna själva. Utvecklingen av dessa enklare UGV:er har drivits av en växande grupp av frivilliga, startupföretag och småföretag som inte tidigare varit en del av den ryska försvarsindustrin [138]. Ett exempel är Courier som är en multiroll-UGV, som nu börjar levereras i större volymer. De är lågkostnads-farkoster, där basplattformen anges kosta lite över 100 000 kronor [138]. Den ryska UGV-utvecklingen beskrivs, på liknande sätt som den ukrainska, som dynamisk med en iterativ cykel av experimentering, utvärderingar och snabb adoption av system som bedöms kunna vara användbara.

Courier är en banddriven UGV som väger omkring 250 kg och kan köra i upp till 35 km/h. Den anges ha funktioner för autonom körning implementerade men det är inte möjligt från öppna källor att bedöma prestanda för dessa [139].

---

[69] madsciblog.tradoc.army.mil/63-russian-ground-battlefield-robots-a-candid-evaluation-and-ways-forward/ (besökt 2025-04-29).

[70] x.com/sambendett/status/1914322451003064582 (besökt 2025-04-29).

[71] Ibid.

Figur 5.6: Band- och hjuldriven rysk UGV, Marker, från mässan "Armiya 2022" (foto: Kirill Borisenko, Wikipedia, bilderna är beskurna).

Courier kan utrustas med exempelvis AGS-17 med möjlighet att avfyra upp till 150 granater, eller minläggningssystem för stridsvagnsminor med upp till 8 TM-62 eller TM-83 [140]. Den kan även utrustas med en tung kulspruta (7,62 eller 12,7 mm) och/eller pansarskott (RPG-7, RPG-26 eller RPG-30), alternativt ett störsystem [140]. Den användes i slutet av mars 2024 vid det första i medier beskrivna ryska anfallet som genomfördes med beväpnade UGV:er [141]. Ryska förband har även under övningar börjat experimentera med att använda Courier UGV som eldunderstöd till framryckande soldater [139].

Den mest avancerade ryska UGV som, i ett fåtal exemplar, enligt medieuppgifter ska ha levererats till de ryska förbanden i Ukraina är Marker (figur 5.6). Inga rapporter från operativ användning av Marker i Ukraina har dock publicerats, vilket indikerar att den åtminstone inte använts för stridsuppgifter vid fronten och att de eventuellt inte har använts överhuvudtaget [138]. Marker väger i storleksordningen 3 ton, den finns i såväl band- och hjulgående versioner som har en maxhastighet på 70 respektive 80 km/h. Marker kan utrustas med olika typer av beväpning, från pansarvärnsrobotar (9M133M-2 Kornet som kan genomföra bekämpning på upp till 8 km) till tung kulspruta eller granatspruta [142].[72] Den kan även användas för logistik och CASEVAC, eller som moderplattform för UAV:er.[73]

Marker är ursprungligen en rysk experimentplattform för utveckling av autonoma funktioner och den anges ha olika AI-baserade funktioner implementerade som självkörande förmåga och automatiserade spaningsfunktioner – dock är prestanda för dessa autonoma funktioner okänd. Det finns indikationer på att serieproduktion av Marker UGV har påbörjats [142].

Ryssland experimenterar även med en UGV, MTS-15 Klever, som utrustats med en 122 mm haubits (D-30) med möjlighet till automatisk laddning av

[72] www.army-technology.com/projects/marker-anti-tank-ugv-russia/?cf-view (besökt 2025-04-07).

[73] automatedresearch.org/weapon/androidnaya-tekhnika-marker-ugv/ (besökt 2025-04-07).

artillerigranaterna [143]. Den kan avfyra fyra artillerigranater i snabb följd och påbörja en förflyttning inom 30 sekunder.

5.3 Diskussion

UGV:er har haft en begränsad påverkan på operationsmiljön i Ukraina men användningen av UGV:er förväntas öka snabbt under 2025. Fokus är i huvudsak på mindre, enklare UGV:er.

UGV:er har använts i över 80 år – under andra världskriget användes bland annat en envägs attack-UGV (Goliath) av Tyskland. Ryssland använde en konverterad äldre stridsvagn (Teletank) utrustad med eldkastare under finska vinterkriget (figur 5.7). Det finns likheter med dagens UGV:er och deras användning, exempelvis kabelbunden kommunikation och svårigheter att använda precisionsvapen för fjärrstyrda UGV:er. Den största skillnaden är möjligen att dagens system är teleopererade där operatörerna kan befinna sig i skyddsställning medan operatörerna för dåtidens system hela tiden behövde se UGV:n som de styrde. Införandet av vapenstationer med automatiserade funktioner som detektion, klassificering och målföljning har dock potentialen att väsentligt öka UGV:ernas stridseffektivitet. Vapenstationerna behöver dock vara anpassade till plattformens begränsningar, samtidigt som de inte får driva upp kostnaden och drastiskt försämra stridsekonomin.

Det finns även ett stort behov av att utveckla effektiva metoder och taktiker för hur UGV:er ska användas utifrån deras systemtekniska begränsningar. Ukraina genomförde i december 2024 ett anfall med en kombination av ett större antal UGV:er och UAV:er [144], [145]. Anfallet genomfördes med en heterogen uppsättning av obemannade farkoster, med olika nyttolaster som genomförde olika uppgifter. Under anfallet användes UAV:er som genomförde spaning, FPV-UAV:er och bomfällande multirotor-UAV:er, samt UGV:er utrustade med kulspruta och mindre UGV:er som sprängdes på kommando. Denna operation föregicks dock av en noggrann planering där de obemannade farkosternas rutter och åtgärder var planerade och inövade [144].

I en annan operation användes en UGV för att extrahera tre ukrainska soldater som kommit från sin enhet och hamnat bakom fiendens linjer i den grå zonen där ingen sida kontrollerar området och allt som rör sig löper stor risk att upptäckas och bekämpas [146]. Denna räddningsoperation genomfördes under flera dagar och involverade ett stort antal soldater, UAV:er och telekrigssystem, vilka bland annat användes för att flytta fiendens uppmärksamhet till andra områden. Även denna operation förutsatte en noggrann planering för att möjliggöra räddningsoperationen, där planeringen även anpassades efter UGV:ns systemtekniska begränsningar.

Figur 5.7: UGV:er som användes redan under andra världskriget. Goliath (vänster), en tysk ”kamikaze” UGV som fylldes med sprängmedel, och en rysk Teletank som utrustades med eldkastare (höger). Goliath hade en kabel tillbaks till operatören medan Teletank var radiostyrd (foto: public domain, Wikipedia).

6 Teknikutvecklingen för UGV:er

I detta kapitel beskrivs utvecklingen av autonoma funktioner samt robusta kommunikations- och positioneringssystem för UGV:er.

6.1 Autonoma funktioner

Vissa UGV:er, framförallt i det medeltunga segmentet, har begränsad självkörande funktionalitet implementerad och de förväntas kunna köra exempelvis på vägar och i vissa typer av enkel terräng utan inblandning av en operatör. Teknikutvecklingen förväntas dock inte möjliggöra tillförlitlig autonom körning i svår terräng de närmaste åren. Det finns därför behov av att ha operatörer som kan ta över kontrollen när UGV:n hamnar i en svår situation.

På medellång sikt utgör utvecklingen av autonoma funktioner för brytpunkts-navigering i komplex terräng, med automatisk hinderupptäckt och hinderundvikande, ett viktigt område. Autonom körning i komplex terräng utgör en stor utmaning, men genom att implementera en effektiv ruttplaneringsfunktion är det ofta möjligt att undvika körning i svåra områden där hastigheten typiskt är låg och UGV:n riskerar att köra fast. Autonom självkörande funktionalitet förutsätter dessutom ett tillförlitligt och noggrant positioneringssystem. Det finns även ett behov av att utveckla förmågan till autonom körning med endast passiva sensorer, utan LiDAR som idag är den sensor som de flesta UGV:er nyttjar för denna funktion. Detta är framförallt en utmaning i mörker, då stereokameror till del kan ersätta LiDAR-sensorer under goda visuella förhållanden.

På kort sikt är även utvecklingen av autonoma funktioner i vapenstationer ett viktigt och prioriterat utvecklingsspår. Vapenstationer med autonoma funktioner som detektion, klassificering och följning av mål har potential att avsevärt öka UGV:ernas stridseffektivitet och även reducera personalbehovet. Automatiska funktioner för ballistikberäkningar och stabilisering av (billigare) vapenstationer kan på sikt även möjliggöra effektiv bekämpning då UGV:n förflyttar sig, vilket är svårt än så länge på grund av de relativt kraftiga vibrationer som de flesta mindre UGV:er förväntas ha.

Ett exempel på en ukrainskt utvecklad fjärrstyrd vapenstation (RWS) är Tavria som kan följa och bekämpa rörliga mål dag och natt [127]. Ett annat exempel är Wolly (figur 6.1) som är en RWS med antingen en 7,62 eller 12,7 mm kulspruta och EO/IR-sensorer. Den kan bäras av en soldat då vikten är endast 30 kg. Wolly kan användas separat som en stationär RWS eller placeras på en UGV [127]. Den anges genomföra ballistikberäkningar som stöd för bekämpning och ha förmågan att detektera och följa rörliga mål [147]. Wolly har genomfört lyckade bekämpningar mot soldater på avstånd av 900 m.

Figur 6.1: Wolly, en vapenstation med automatiserad ballistikberäkning och möjlighet att detektera och följa mål. Den kan användas som en stationär fjärrstyrd vapenstation eller placeras på en UGV (foto: armyinform.com.ua, CC-BY 4.0, bilden är beskuren).[74]

6.2 Kommunikation

Dagens teleopererade system är kritiskt beroende av ett tillförlitligt och robust kommunikationssystem med relativt hög datatakt. Detta anges ofta som det största hindret för en bredare och mer effektiv användning av UGV:er i Ukraina.

Utmaningen är dels att kunna operera UGV:er i kraftigt telestörda miljöer, dels att vågutbredningseffekter reducerar räckvidden för radiosystemen. Frisiktsförhållanden råder normalt inte mellan operatör och UGV och terrängmaskning, vegetation och byggnader dämpar radiosignalerna. Radiosystemets räckvidder varierar beroende på hur systemet är designat och scenariot men även militära radiosystem som används för UGV:er kan ha en räckvidd på mellan 500 m och enstaka kilometer. Dessa radiosystem har ofta flerhoppsfunktionalitet och UAV-burna eller markbaserade relänoder kan öka räckvidden, men räckvidden kommer fortsatt att vara begränsad om inte andra kommunikationsalternativ kan användas.

Prov och försök pågår för att förbättra kommunikationssystemets robusthet, bland annat genom att utrusta UGV:er med Starlinkterminaler och fiberoptiska kommunikationssystem [120], [110]. I slutet av mars 2025 genomfördes Brave1 tester av sju olika modeller av fiberoptiskt styrda UGV:er [148]. Ukraina hade redan i juni 2022 åtminstone en prototyp av en UGV (Gnom) med ett fiberoptiskt kommunikationssystem med en räckvidd på 2 km men de verkar inte ha använts operativt i någon större omfattning [148], [149]. Även Ryssland genomför försök

[74] armyinform.com.ua/2025/04/02/wolly-bojovyj-modul-z-shi-shho-nyshhyt-voroga-z-bezpechnoyi-vidstani/ (besökt 2025-04-10).

med fiberoptiskt styrda UGV:er.[75] Den ryska UGV:n Depesha kan utrustas med ett fiberoptiskt kommunikationssystem [150]. Risken att fibern fastnar i olika hinder bedöms vara större för markgående farkoster än UAV:er, och dessa utmaningar förvärras troligen i vissa scenarion som logistik där UGV:n ska färdas fram och tillbaks över samma område, vilket är en av de saker som utvärderades under försöken [148]. Ukraina utvecklar en generisk fiberoptisk kommunikationsmodul som ska kunna användas på alla typer av obemannade farkoster [148].

6.3 Positioneringssystem

Robusta GNSS-oberoende multisensorbaserade positioneringssystem är nödvändiga även för UGV:er, framförallt då allt fler autonoma funktioner förs in. Liknande tekniker som beskrevs för UAV:er kan användas i stor utsträckning men det finns vissa skillnader kopplat till sensorer som kan användas och miljö (exempelvis vad kamerorna ser). UGV:er är normalt dyrare och kan bära mer nyttolast än mindre UAV:er, vilket medför att det är möjligt att integrera större, tyngre och dyrare positioneringssensorer och delsystem på UGV:er.

Det finns bättre förutsättningar att under kortare eller längre perioder få tillförlitliga estimat från en GNSS-mottagare för UGV:er än för UAV:er. De kan exempelvis utrustas med gruppantennbaserade störskyddssystem, samtidigt som vegetation och terrängen kommer att dämpa störsignalerna mer för markfarkoster än för UAV:er. Ytterligare stöttande positioneringstekniker behöver dock integreras för att åstadkomma ett robust positioneringssystem.

Hastighetsmätningar i form av hjul- eller bandbaserad odometri utgör ett potentiellt viktigt komplement. Odometri kan förbättra tröghetsnavigeringssystemets noggrannhet avsevärt och möjliggör användningen av enklare och billigare tröghetssensorer (eng. Inertial Measurement Unit, IMU). Hastighetsmätningar kan även erhållas med dopplerbaserade radarsystem som integreras på UGV:n. Dagens UGV:er använder sig av LiDAR för att identifiera körbara områden och planera sin rutt lokalt. LiDAR-mätningar kan användas för positionering, exempelvis genom kartmatchning där den absoluta positionsnoggrannheten kan vara mycket hög i urbana miljöer. En LiDAR-sensor kan användas även för odometri.

6.4 Diskussion

Tillförlitligheten för dagens teleopererade UGV:er har varit låg vilket har begränsat användningen av UGV:er i Ukraina. Utvecklingen av ett robust och tillförlitligt kommunikationssystem har mycket hög prioritet i Ukraina och det

[75] x.com/sambendett/status/1908508187302477853 (besökt 2025-04-07).

kan få en stor betydelse för hur snabbt UGV:er förs in på bredden. En förbättrad terrängframkomlighet är även önskvärd för teleopererade system. Det kan lösas – men ofta på bekostnad av storlek, komplexitet och kostnad för UGV:erna.

Det finns även ett behov av att föra in mer avancerade autonoma funktioner. På kort sikt är det framförallt vapenstationer med förmåga att detektera, klassificera och följa mål, samt funktioner för autonom körning på grus- och skogsvägar samt i enklare terräng, som bedöms vara prioriterade utvecklingsspår.

7 Operationsmiljön och det transparenta stridsfältet

Begreppet ”det transparenta stridsfältet”[76] har fått ett stort genomslag i diskussionerna om vilka erfarenheter som kan dras från kriget i Ukraina. Det transparenta stridsfältet, med den stora sensortätheten och de tätt sammankopplade observations- och bekämpningsförmågorna, har skapat en buffertzon (”gray zone” eller ”kill zone”) mellan de ukrainska och ryska enheterna [151]:

> *Reconnaissance, strike drones, and drones that served artillery fire, combined with a situational awareness system, made the battlefield completely transparent. All this provided unlimited opportunities for delivering high-precision strikes at the tactical level. (Valerii Zaluzhnyi, April 2025)*

I [8] beskrivs stridsfältstransparensen varandes som störst inom 3 km från stridskontakt, med en gradvis minskande sensortäthet ut till ett djup av 15 km. ISW beskriver att dessa ”gray zones” i slutet av april 2025 kan ha ett djup av upp till 5-7 km i vissa frontavsnitt.[77] Ukraina har som mål att på kort sikt utöka djupet till 10 km, och under hösten 2025 till 15-20 km, inom ramen för utvecklingen av det som nu benämns som ”The Drone Line” [151]-[153]. På längre sikt är ambitionen att utöka djupet för denna ”kill zone” upp mot 50 km [152].

Det finns dock ett behov av att nyansera bilden av det transparenta stridsfältet där det kan tolkas som att allt kan upptäckas och bekämpas, oberoende av faktorer som väderförhållanden och tid på dygnet.

7.1 Teknikens begränsningar

Det finns tekniska begränsningar i farkoster och sensorer som medför att möjligheterna att använda EO/IR-sensorer från UAV:er, vilka utgör majoriteten av sensorer på stridsfältet, i praktiken varierar beroende på väderförhållanden och tid på dygnet. Ett stort antal rapporter och tidningsartiklar beskriver att det är förenat med hög risk att förflytta sig i frontnära områden, och att exempelvis rotation av soldater, logistik och även sjuktransporter kan behöva vänta tills

[76] I [155] definieras denna stridsfältstransparens som ”förmågan att förvärva och utnyttja geolokaliserad medvetenhet, i nära realtid, av en given operationell miljö genom en kommunikationsarkitektur som kopplar ihop nätverk av heterogena och redundanta sensorer, beräkningsenheter och effektorer”. Denna transparens utgörs till del av den lägesbild som skapas och målet är informationsöverläge vilket ”behöver vinnas, skyddas eller förnekas på motsvarande sätt som i de fysiska domänerna”.

[77] www.understandingwar.org/sites/default/files/2025-04-27-PDF-Russian%20Offensive%20Campaign%20Assessment.pdf (besökt 2025-04-29).

förhållandena är gynnsamma (kombination av mörker, dimma och/eller kraftigt regn), se exempelvis [8].

7.1.1 Väderförhållanden

Kraftigt regn, dimma och hård vind kan förhindra flygningar med UAV:er, alternativt medföra att de inte kan detektera mål på marken. Det är framförallt möjligheterna att använda stridstekniska och mindre taktiska UAV:er för spaning, målinmätning och bekämpning som påverkas av dylika väderförhållanden. Under vissa väderbetingelser kan dessutom risken för isbildning försvåra eller förhindra flygning med UAV:er.

7.1.2 Mörker

Termiska IR-sensorer har en lägre upplösning än de elektrooptiska (visuella) sensorer som används på stridstekniska UAV:er. Den låga upplösningen för IR-sensorer medför att de ofta används med ett mindre synfält än de visuella kamerorna. Dessa sensorer är dessutom dyrare vilket innebär att majoriteten av de FPV-UAV:er som används på stridsfältet är utrustade med endast visuella kameror. Antalet FPV-UAV:er som genomför bekämpningsuppdrag i mörker är sannolikt låg.[78] Däremot kommer fortfarande större UAV:er, såsom multirotorfarkoster och UAV:er av flygplanstyp, att genomföra spaning, målinmätning och bekämpning även i mörker. De är normalt utrustade med dyrare och mer kvalificerade sensorer vilket ger möjlighet att bedriva spaning på längre avstånd och i mörker.

Konsekvensen bedöms vara att antalet UAV:er som kan upptäcka mål under dåliga visuella förhållanden, såsom mörker, är avsevärt färre samtidigt som det område som de enskilda UAV:erna kan observera är mindre. Förmågan att detektera, klassificera och bekämpa mål i mörker kan därför antas vara reducerad. Bekämpning kan dock fortsatt genomföras med indirekt eld, eller med större bombfällande UAV:er som är utrustade med EO/IR-sensorer, för att kompensera för det reducerade antalet FPV-UAV:er som kan genomföra bekämpning i mörker. Den reducerade spaningsförmågan kan delvis kompenseras genom att nattetid öka användningen av mer kvalificerade UAV:er utrustade med IR-sensorer i tillbakadragna roller.

7.1.3 Räckvidd och uthållighet

Räckvidden för både stridstekniska FPV- och multirotor-UAV:er har förbättrats kontinuerligt och numera kan fiberoptiskt styrda FPV:er flyga upp till 30 km. Det

[78] Lågljuskameror har en viss förmåga att, beroende på rådande väderförhållanden, kunna observera även under natten – exempelvis då månens ljus belyser snötäckt terräng som reflekterar ljuset. Under nätter med tjocka molntäcken bedöms den typen av kameror inte vara möjliga att använda.

ukrainska rekordet för en fiberoptiskt styrd FPV-UAV var 41 km i januari 2025 [36].

Användningen av exempelvis multirotor-UAV:er, som är utrustade med Starlinkterminaler, som kommunikationsrelä för att styra och leda mindre FPV-UAV:er på distans ger en möjlighet att ytterligare öka djupet på vilket FPV:er kan utföra bekämpning [16]. För UAV:er av flygplanstyp (eng. fixed-wing) är det räckvidden för kommunikationssystemen som är den begränsande faktorn för på vilket djup bakom fiendens linjer som de kan utföra uppdrag, snarare än deras uthållighet och hastighet.

7.1.4 Sensorer och kamouflage

Det är en utmanande uppgift att med de enklare EO/IR-sensorer som används på stridstekniska UAV:er upptäcka soldater och fordon som är stilla och använder sig av multispektrala kamouflagenät (figur 7.1). Moderna kamouflage som Saab Barracuda kan avsevärt reducera den visuella signaturen och värmesignaturen för stridsfordon och stridsvagnar (figur 7.2). Under förflyttning är det dock troligen svårt att effektivt dölja sig genom att använda kamouflage, framförallt dagtid då visuella sensorer relativt enkelt kan upptäcka rörelser.

Förändringsdetektion kan användas för att upptäcka objekt som förändrats mellan två passager med en sensorplattform. Detta ger möjlighet att upptäcka även statiska kamouflerade objekt. Genom att inkludera vilseledning och skenmål kan risken för bekämpning reduceras genom att tvinga motståndaren att angripa flera mål.

Figur 7.1: Exempel på modernt multispektralt kamouflage (ProApto) för soldater, i de visuella och långvågs-IR (eng. Long-Wavelength Infra-Red, LWIR) våglängderna (foto: ERGP, Wikipedia).

Figur 7.2: Stridsvagn 122 med Barracuda maskeringsnät (foto: Saab AB).

7.2 Telekrigsduellens påverkan

Störning mot kommunikations- och satellitnavigeringssystem (GNSS) pågår i mycket stor omfattning i Ukraina, vilket påverkar möjligheterna att använda UAV:er. Vilken effekt telekrigsinsatserna i praktiken har haft på graden av transparens på stridsfältet är dock oklar baserat på öppna källor. Det finns otaliga beskrivningar av att förflyttningar är förenade med hög risk på grund av den stora mängden sensorer och verkansenheter (se exempelvis [8]). Det finns dock även andra beskrivningar av hur telekrigsinsatser begränsar användningen av UAV:er, framförallt när det gäller FPV-UAV:er, och att användningen av UAV:er kan behöva anpassas till när motståndaren slår av sina störsystem för att de själva ska kunna flyga med UAV:er [8].

En anledning till denna osäkerhet är sannolikt även att telekrigsduellen med medel och motmedel förändras över tid och att situationen varierar beroende på region. Telekrigsområdet är av tradition behäftat med sekretess, och denna telekrigsduell har en direkt påverkan på krigföringen vilket motiverar en hög sekretessnivå. Detta medför att det är svårt att via öppna källor skapa en entydig, verifierad bild av vilken effekt telekrigssystem har på stridsfältstransparensen.

Det är troligt att teknikutvecklingen i närtid kommer att reducera effekterna från telekrigssystem på möjligheterna att realisera det transparenta stridsfältet. Den ökande användningen av fiberoptiskt styrda obemannade farkoster i kombination med utvecklingen av autonoma UAV:er för spaning och bekämpning förväntas redan under 2025 kraftigt reducera möjligheterna att använda telekrigssystem för att förhindra motståndarens användning av UAV:er.

Normalläget är att GNSS-signalerna är utstörda eller otillförlitliga på grund av vilseledning i operationsområdet. Autonoma farkoster är helt beroende av tillförlitliga positionerings- och navigeringssystem. Det finns därmed ett stort behov av alternativa positioneringstekniker i GNSS-störda miljöer och intensiv forskning och utveckling av den här typen av tekniker pågår. Multisensorsystem som inkluderar kartstöttade positioneringssystem kan under goda visuella förhållanden i många situationer ge en tillräcklig prestanda.

7.3 Scenario

Möjligheten att realisera det transparenta stridsfältet beror även på faktorer kopplade till operationsmiljön och hur striden bedrivs. I det relativt statiska skyttegravskrigsscenario som varit dominerande i Ukraina sedan augusti 2022 finns möjlighet att ha ett stort antal UAV-operatörer i relativ närhet till frontområdet. Idag krävs normalt två operatörer för att genomföra ett bekämpningsuppdrag med en FPV-UAV, en pilot och en navigatör som även har ansvar för kommunikation. En FPV-operatör kan även behövas för att flyga en FPV som har relänodsfunktionalitet. Normalt används även en spanings-UAV för att först hitta lämpliga mål. Dagens användning av UAV:er är därmed mycket personalintensiv.[79] Detta medför att scenariot och hur kriget bedrivs även kan påverka möjligheterna att över tid ha tillräckligt med sensorer över stridsfältet. En fråga är om det vid manöverkrigföring i högt tempo är möjligt att teleoperera tillräckligt många UAV:er för att möjliggöra den önskade sensor- och effektortätheten.

På motsvarande sätt finns tekniska frågeställningar kopplat till möjligheterna att skapa ett transparent stridsfält vid manöverstrid, exempelvis kopplat till den begränsade räckvidden och uthålligheten för stridstekniska spanings- och bekämpnings-UAV:er. Logistikaspekterna kopplat till start, landning och laddning av det stora antalet UAV:er som behövs för att realisera det transparenta stridsfältet för manöverförband kommer att utgöra en stor utmaning. Även kommunikationsbehoven kommer i det scenariot att vara svårare att lösa då dagens taktiska, mobila kommunikationssystem fokuserar på konnektivitet snarare än en hög datatakt.

Är en taktikanpassning nödvändig där ovanstående faktorer, tillsammans med förmågan att förhindra motståndarens användning av UAV:er, kan komma att styra taktik och anfallstempot?

[79] En viktig fråga är om Försvarsmakten kan förväntas komma att ha personalresurser för att ha möjlighet att teleoperera tillräckligt många UAV:er för att återskapa det transparenta stridsfältet på liknande sätt som sker i Ukraina. Eller förutsätts snarare en utveckling och införande av autonoma funktioner, och tekniker för positionering och navigering i GNSS-störda miljöer, som möjliggör att antalet operatörer kan reduceras drastiskt (där en operatör leder flera UAV:er)?

7.4 Kurskoffensiven – ett exempel på manöverkrigföring?

Den ukrainska Kurskoffensiven i augusti 2024 kan möjligen utgöra ett lyckat exempel på manöverkrigföring i den nya operationsmiljön, där Ukraina lyckades åstadkomma ett överraskningsanfall och ta betydande landområden [154]. Ukraina valde att anfalla ett område där den ryska förmågan till spaning och indirekt bekämpning, samt de förberedda defensiva positionerna och mineringarna, var begränsade i jämförelse med vad som var fallet i de av Ryssland ockuperade ukrainska områdena där strider pågick med hög intensitet. De ryska förbanden bedöms också ha varit sämre tränade och utrustade i detta område, där bland annat deras telekrigsförmåga var begränsad. Operationell vilseledning och kamouflage (där även terräng och vegetation nyttjades) var även viktiga för att dölja de ukrainska förbandens intentioner [154].

Ukrainska förband använde sig av framskjutna störsystem i betydande omfattning under själva offensiven, vilket dels reducerade de ryska möjligheterna att nyttja UAV:er och även försvårade de ryska förbandens möjlighet att skapa en lägesbild och leda förbanden [154]. Ukraina använde sig även i stor omfattning av förberedande bekämpning för att forma stridsfältet. Ryska flygfält bekämpades med långräckviddiga OWA-UAV för att reducera deras förmåga att attackera de framryckande förbanden med glidbomber. Raketartilleri användes för att bekämpa ryska nyckelpositioner, samt till fjärrminering för att skydda flankerna under framryckningen. Ukraina var även framgångsrika i att detektera och bekämpa ryska förstärkningar som sändes till området, delvis eftersom deras taktiska uppträdande inte var anpassat till de ukrainska förmågorna [154].

7.5 Reflektioner och diskussion

Det transparenta stridsfältet ger upphov till ett flertal reflektioner:

- All förflyttning i frontnära områden är förenat med stor risk, där djupet varierar men typiskt är flera mil. Detta påverkar hur striden förs – i mindre enheter då lokal kraftsamling skapar högvärdiga mål – men det försvårar även rotation av personal, framskjuten logistik och omhändertagande och transport av skadade [8]. Förflyttning genomförs företrädelsevis i skydd av mörker, dimma, moln och regn.
- Även bakre förband är sårbara för bekämpning och behöver vara noggranna med radiodisciplin, använda terräng och vegetation för skyl, kamouflage och taktiskt uppträdande. Ukraina anger att i ungefär hälften av deras skador i början av 2025 var i de bakre förbanden.
- Den första utmaningen för manöverförband är att överleva tills striden påbörjas [155]. Detta sker genom att kvalificerade vapensystem har

dragits tillbaka från fronten och att exempelvis mekaniserade förband och artilleriförband opererar distribuerat [8].

Sammanfattningsvis kan konstateras att det fortsatt kan vara möjligt att bedriva mer klassisk manöverkrigföring men att det transparenta stridsfältet *avsevärt* försvårar detta. Framtidens manöverkrigföring förutsätter en utveckling och anpassning av taktik och metod utifrån de nya förutsättningarna som nu råder. I [155] beskrivs att manöverkrigföring kan förutsätta ett nytänkande kring överraskning och manöver, där det senare kan bygga på skapandet av *ogenomskinlighetskorridorer* (eng. corridors of opacity) som är begränsade i tid och rum. Dessa kan utnyttjas av manöverförband som fokuserar på tempo och lokal överlägsenhet i eldkraft. För att skapa områden med önskad opacitet krävs en god förmåga att förneka motståndarens möjlighet att använda UAV:er.

Vilken påverkan kan teknikutvecklingen förväntas få för det transparenta stridsfältet? Räckvidden och uthålligheten för UAV:erna förbättras kontinuerligt och djupet på det transparenta stridsfältet förväntas öka gradvis. Teknikutvecklingen kopplad till autonoma UAV:er accelererar snabbt och den förväntas leda till en ytterligare ökad täthet av sensorer och effektorer, då varje operatör kan leda flera UAV:er och de har möjlighet att operera även i telestörda miljöer.

Koncept som nu förs in i Ukraina som The Drone Line utgör ett intressant alternativ framförallt för försvarsstrid. Idag förutsätter detta koncept ett mycket stort antal operatörer men i och med utvecklingen av autonoma UAV:er ökar möjligheterna att realisera detta koncept. Det finns dock utmaningar, primärt ingenjörsmässiga och logistiska, kopplat till att skapa (och över tid vidmakthålla) ett transparent stridsfält vid offensiv manöverkrigföring.

8 Slutsatser

Obemannade farkoster används i ett stort antal tillämpningar i Ukraina och de huvudsakliga användningsområdena är: (*i*) precisionsbekämpning, (*ii*) spaning, målinmätning och verkansbedömning, (*iii*) minering, (*iv*) detektion och röjning av minor, och (*v*) logistik inklusive okvalificerade sjuktransporter. De obemannade farkoster som används i Ukraina är huvudsakligen teleopererade men autonoma funktioner utvecklas i snabb takt framförallt för UAV:er.

Erfarenheterna från Ukraina pekar tydligt mot att obemannade farkoster, autonomi, artificiell intelligens och maskininlärning, telekrigssystem och robusta kommunikations- och positioneringssystem utgör kritiska tekniker på det moderna stridsfältet. Obemannade farkoster är helt avgörande för Ukrainas förmåga att stå emot den ryska offensiven. Deras betydelse förväntas öka i takt med att tekniken utvecklas vidare och de kan, tillsammans med den ukrainska anpassningsförmågan, visa sig utgöra en avgörande faktor i kriget [151].

Den snabba utvecklingen av obemannade farkoster med fokus på stridsekonomi och kvantitet – i kombination med den snabba metod- och taktikutvecklingen – utgör en av de viktigaste erfarenheterna som behöver omhändertas från kriget i Ukraina. Den ukrainska militären har visat att det är möjligt att nå avsevärda asymmetriska fördelar med tekniska system som har betydande begränsningar, genom att skapa en god förståelse för teknikens begränsningar och därefter anpassa metod och taktik utifrån dessa begränsningar.

Möjligheterna att effektivt bedriva klassisk manöverkrigföring är ytterst begränsade i den operationsmiljö som råder i Ukraina. Operationsmiljön i Ukraina beskrivs som en blandning av skyttegravskrig som påminner om förra seklets världskrig och ett modernt krig där användningen av obemannade farkoster har en avgörande betydelse. Det är naturligtvis svårt att veta hur relevanta de erfarenheter som dras från kriget i Ukraina är för den operationsmiljö som kommer att uppstå i en framtida konflikt i en Natokontext – då operationsmiljön med hög sannolikhet kommer att skilja sig från den som nu råder i Ukraina.

> *"At the operational level the war has reached a stalemate. Deep maneuvers or strikes to operational depth have become impossible. Largely because the confrontation between unmanned systems on the one hand and electronic warfare and air defense means on the other continues. Therefore, classic offensive operations and offensive actions have not only lost their effectiveness, but have become almost suicidal." (Valerii Zaluzhnyi, April 2025)*

Ukrainas beroende av leveranser av militär materiel minskar succesivt – den inhemska produktionen av obemannade farkoster, ammunition och allt mer kvalificerade vapensystem ökar i snabb takt. Under 2025 förväntas Ukraina

tillverka över 10 miljoner FPV-UAV:er. Ukrainas försvarsminister predikterade i september 2024 att den ukrainska produktionen av obemannade farkoster under 2025 kan motsvara mer än 200 miljarder kronor [58]. Majoriteten av den ukrainska produktionen behöver finansieras genom utländskt stöd. Det finns även fortsatt ett stort behov av leveranser av kritisk materiel som de inte kan tillverka, exempelvis luftvärnssystem och luftvärnsrobotar.

> *"Ukraine is no longer just an object of support – we have become a source of experience, technologies, and solutions that have a strategic importance to the entire civilized world." (Valerii Zaluzhnyi, April 2025)*

Nedanstående observationer har relevans för Försvarsmaktens förmågeutveckling och bör omhändertas i den tillväxtfas som Försvarsmakten nu befinner sig i.

Det transparenta stridsfältet såsom det har realiserats på stridsfältet i Ukraina ger en tidigare oöverträffad förmåga att hitta och bekämpa fientliga mål. Graden av transparens påverkas dock av ett flertal faktorer – framförallt mindre UAV:ers tekniska begränsningar kopplat till väder- och ljusförhållanden – men även telekrigsinsatser påverkar än så länge situationen. Betydelsen av att anpassa krigföringen efter dessa förhållanden ökar.

Den tekniska nivån på de UAV:er som används i Ukraina är inte anmärkningsvärt hög. Teknikutvecklingen har hittills framförallt bestått av ingenjörsmässiga framsteg – de tekniker som nu förs in har utvecklats på militära forskningslabb under ett antal år men normalt för större och dyrare farkoster. De enklare UAV:erna nyttjar civil teknik och komponenter, där det senaste decenniets civilt drivna utveckling har resulterat i en god tillgång till miniatyriserade kretsar och chip, motorer, standardiserade radiomoduler och sensorer med hög prestanda och lågt pris. Utvecklingen av lågkostnadssystem som trots sin relativa enkelhet kan ge betydande militär nytta har däremot överraskat de flesta analytiker och forskare. Utvecklingscykeln från design och utveckling till operativ användning av exempelvis mindre ukrainska UAV:er är extremt snabb – det handlar snarare om enstaka veckor än månader.

Ukraina har implementerat vissa autonoma funktioner i obemannade farkoster, exempelvis målföljning, men de har ännu inte tillgång till autonoma farkoster som självständigt eller med begränsat operatörsstöd effektivt kan genomföra ett uppdrag [17]. Under andra halvan av 2025 är det sannolikt att UAV:er med ytterligare autonoma funktioner börjar användas operativt i större omfattning. Dessa förväntas ha den tekniska förmågan att självständigt upptäcka, klassificera och bekämpa mål (som exempelvis har definierats i ett målbibliotek).

Utvecklingen av autonoma UAV:er med robusta positionerings- och navigeringssystem öppnar även upp för utvecklingen av samverkande grupper, och större svärmar, av UAV:er där en eller ett fåtal operatörer samtidigt kan leda ett större antal autonoma UAV:er. Det är troligt att samverkande grupper av

heterogena autonoma UAV:er börjar användas i slutet av 2025. De kommer troligen initialt primärt att användas för bekämpning, eventuellt i kombination med spaning och målinmätning.

De AI-baserade klassificeringsalgoritmer som kommer att införas på stridstekniska UAV:er under 2025 förväntas ha en relativt hög felklassificerings-sannolikhet. Det bedöms därmed vara nödvändigt att kombinera användningen av autonoma UAV:er med metodmässiga begränsningar för att säkerställa att bekämpning kan genomföras inom ramen för den IHR.

Både Ukraina och Ryssland anger i officiella uttalanden att de inte avser överlåta bekämpningsbeslutet till algoritmer. Ukraina gör tydliga ansträngningar för att de kommande ukrainska autonoma UAV:erna ska användas i enlighet med IHR.

Ryssland ökar i snabb takt produktionen av militär materiel som stridstekniska UAV:er, långräckviddiga bekämpnings-UAV:er och glidbomber (målet är exempelvis att tillverka över 70 000 UMPK glidbomber under 2025).

Telekriget är en allestädes närvarande komponent och telekrigsduellen pågår kontinuerligt, med snabba utvecklingscykler, med utveckling av medel och motmedel. GNSS-signalerna är allmänt otillgängliga eller opålitliga vilket begränsat användningen av exempelvis GNSS-styrd artilleriammunition [156]. Gruppantennbaserade störskyddssystem ger en avsevärt ökad robusthet i telestörda miljöer, men även dessa kan störas ut.

Utvecklingen av GNSS-oberoende navigeringssystem är högt prioriterad. Kamerabaserade system – som under goda visuella förhållanden kan positionera en UAV i många miljöer – förväntas integreras även på stridstekniska UAV:er under 2025. Noggrann positionering utan GNSS i mörker kommer dock fortsatt att utgöra en betydande utmaning. Moderna västutvecklade UAV:er börjar sannolikt bli mer kapabla att operera i telestörda miljöer, men det är inte troligt att de ännu kan operera dygnet runt i alla miljöer och förhållanden. Ett stort antal tillverkare påstår sig ha system för positionering utan GNSS-mottagare, men det är viktigt att förstå att dessa system fortsatt har allvarliga begränsningar. En god förståelse för under vilka förhållanden och tidsperioder som de kan vidmakthålla en tillräcklig noggrannhet är en förutsättning för ett lyckat införande.

Den egna förmågan att hindra motståndarens användning av spanings- och bekämpnings-UAV:er kommer att vara extremt viktig, framförallt för förband och soldater som förflyttar sig. På det transparenta stridsfältet utgör små billiga UAV:er ett hot även mot moderna stridsfordon och stridsvagnar. Detta kommer utgöra en stor utmaning då utvecklingen av fiberoptiskt styrda FPV-UAV:er, autonoma funktioner och GNSS-oberoende navigationssystem är snabb och dessa tekniker medför att störning av radiosystem och GNSS inte längre är ett effektivt sätt förhindra fientlig användning av UAV:er.

Utvecklingen av FPV-UAV:er och patrullrobotar kan behöva påverka designen av framtida stridsfordon och stridsvagnar. De kan genomföra bekämpning från alla riktningar, och FPV-operatörer attackerar företrädelsevis sårbara delar av fordonen såsom tornkrans, motor eller bränsletank (se exempelvis [33]).

Omhändertagandet och transport av skadade utgör en stor utmaning på det transparenta stridsfältet. Väntetiden för en okvalificerad sjuktransport är typiskt ett antal timmar, men kan även uppgå till flera dagar [8]. Operationsmiljön i Ukraina medför att även korta förflyttningar utgör en hög risk, vilket ställer krav på att soldaterna kan genomföra det första akuta omhändertagandet på sig själva och på stridskamrater, och att sjukvårdsmaterial kan fördelas direkt till de skadade efter behov.

Referenser

[1] Försvarsmakten, *Fördjupade lärdomar och erfarenheter från kriget i Ukraina*, FM2023-2379:18, 2024-05-31.

[2] B. Cole, *Third of Russian Black Sea Fleet Disabled: Kyiv*, Newsweek, 2024-06-17. www.newsweek.com/ukraine-russia-black-sea-fleet-1913572 (besökt 2025-04-07).

[3] H.I. Sutton, *World First: Ukraine's Newest Naval Drone In Unique Attack On Russian Positions*, Naval News, 2024-12-18. www.navalnews.com/naval-news/2024/12/world-first-ukraines-newest-naval-drone-in-unique-attack-on-russian-positions/ (besökt 2025-04-07).

[4] H.I. Sutton, *Ukraine Has World's First Navy Drone Armed With Anti-Aircraft Missiles*, Naval News, 2024-05-21. www.navalnews.com/naval-news/2024/05/ukraine-has-worlds-first-navy-drone-armed-with-anti-aircraft-missiles/ (besökt 2025-04-07).

[5] V. Litnarovych, *Ukraine Plans to Deploy 15,000 Combat Robots to the Frontline in 2025*, United24, 2025-03-31. united24media.com/latest-news/ukraine-plans-to-deploy-15000-combat-robots-to-the-frontline-in-2025-7200 (besökt 2025-04-07).

[6] M. Hunder, *NATO armies unprepared for drone wars, Ukraine commander warns*, Reuters, 2025-03-05. www.reuters.com/world/nato-armies-unprepared-drone-wars-ukraine-commander-warns-2025-03-05/ (besökt 2025-03-06).

[7] M. Santora, L. Jakes, A. E. Kramer, M. Hernandez och L. Sholudko, *A Thousand Snipers in the Sky: The New War in Ukraine*, The New York Times, 2025-03-03. www.nytimes.com/interactive/2025/03/03/world/europe/ukraine-russia-war-drones-deaths.html (besökt 2025-03-05).

[8] J. Watling och N. Reynolds, *Tactical Developments During the Third Year of the Russo–Ukrainian War*, The Royal United Services Institute for Defence and Security Studies, februari 2025.

[9] *Russian Offensive Campaign Assessment*, Institute for the Study of War, ISW Press, 2025-03-03. www.understandingwar.org/backgrounder/russian-offensive-campaign-assessment-march-3-2025 (besökt 2025-03-13).

[10] J. Rantakokko, F. Nässström, J. Nygårds, R. Woltjer och K. Bengtsson, *Teknikö versikt autonoma och obemannade system – Del 2: Markstriden*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4901--SE, november 2019.

[11] *Russia develops guidance modules for air-dropped munitions*, Conflict Armaments Research, Ukraine Field Dispatch, december 2023. storymaps.arcgis.com/stories/e4f0a90ddd7d4cd6b1d889704f6b2396 (besökt 2025-03-10).

[12] *Russia develops a new UMPK gliding module to improve the accuracy of the FAB-3000 bomb in Ukraine*, Army Recognition, 2024-07-10.

[13] D. Axe, *Ukraine Is Jamming Russian Glide Bombs All Along The Front Line, Erasing One Of Russia's Main Battlefield Advantages: It now takes up to 16 glide bombs to hit one target*, Forbes, 2025-02-26. www.forbes.com/sites/davidaxe/2025/02/26/ukraine-is-jamming-russian-glide-bombs-all-along-the-front-line-erasing-one-of-russias-main-battlefield-advantages/ (besökt 2025-03-11).

[14] *Zelenskyy reveals how many airstrikes Russia launched on Ukraine in last week*, RBC-Ukraine, 2025-03-09. newsukraine.rbc.ua/news/zelenskyy-reveals-how-many-airstrikes-russia-1741519952.html (besökt 2025-03-11).

[15] D. Hambling, *Ukraine Destroys Record 122 Russian Artillery Pieces In One Day*, Forbes, 2025-04-01. www.forbes.com/sites/davidhambling/2025/04/01/ukraine-destroys-record-122-russian-artillery-pieces-in-one-day/ (besökt 2025-04-11).

[16] R. Romaniuk, *"Baba Yaga" is on fire! How Ukraine invented a new type of weapon*, Ukrainska Pravda, 2024-06-03. www.pravda.com.ua/eng/articles/2024/06/3/7458837/ (besökt 2024-12-10).

[17] K. Bondar, *Ukraine's Future Vision and Current Capabilities for Waging AI-Enabled Autonomous Warfare*, Center for Strategic & International Studies (CSIS), mars 2025.

[18] U. Franke, *Drones in Ukraine: Four lessons for the West*, European Council on Foreign Relations, 2025-01-10. ecfr.eu/article/drones-in-ukraine-four-lessons-for-the-west/ (besökt 2025-03-13).

[19] *Ukraine has emerged as the world's leading producer of FPV drones, manufacturing over 2.2 million UAVs annually, with the domestic defense industry capable of producing up to 10 million units*, Ukraine Business News UBS, 2025-04-15. ubn.news/ukraine-has-emerged-as-the-worlds-leading-producer-of-fpv-drones-manufacturing-over-2-2-million-uavs-annually-with-the-domestic-defense-industry-capable-of-producing-up-to-10-million-units/#:~:text=Ukraine%20has%20emerged%20as%20the%20world%E2%80%99s%20leading%20producer,capable%20of%20producing%20up%20to%2010%20million%20units (besökt 2025-05-19).

[20] E. Gosselin-Malo, *Ukrainian defense planners envision a drones-only front line*, Defense News, 2025-02-18. www.defensenews.com/industry/2025/02/18/ukrainian-defense-planners-envision-a-drones-only-front-line/?s=03 (besökt 2025-05-10).

[21] M. Zafra, M. Hunder, A. Rao och S. Kiyada, *How drone combat in Ukraine is changing warfare*, Reuters, mars 2024. www.reuters.com/graphics/UKRAINE-CRISIS/DRONES/dwpkeyjwkpm/ (besökt 2024-12-08).

[22] D. Hambling, *DJI Mavic Consumer Drones Are Still Russian Soldiers' Favorite*, Forbes, 2025-03-10. www.forbes.com/sites/davidhambling/2025/03/10/dji-consumer-drones-are-still-russian-soldiers-favorite/ (besökt 2025-10-18).

[23] H. Kesteloo, *Ukraine Makes Bold Move to Replace DJI Mavic 3 with Home-Grown Military Drones*, DroneXL, 2024-11-11. dronexl.co/2024/11/11/ukraine-replace-dji-mavic-home-grown-military-drones/ (besökt 2025-03-18).

[24] P. Tucker, *US-made jam-resistant drones helped Ukrainians cut through Russia EW*, Defense One, 2024-10-31. www.defenseone.com/technology/2024/10/us-made-jam-resistant-drones-are-helping-ukrainians-cut-through-russia-ew/400735/ (besökt 2025-03-18).

[25] P. Tucker, *Shield AI to train Ukrainians on jam-resistant drones*, Defense One, 2025-01-16. www.defenseone.com/business/2025/01/shield-ai-train-ukrainians-jam-resistant-drones/402236/ (besökt 2025-03-18).

[26] J. Rantakokko, F. Näsström, R. Woltjer, T. Mårtensson, M. Hagström och A. Foyer, *Teknikö**versikt autonoma och obemannade system - Del 4: Luftstriden*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5167--SE, februari 2022.

[27] S. Atlamazoglou, *Russia has been able to keep its most effective drone flying over Ukraine thanks to Western-made parts*, Business Insider, 2023-02-28. https://www.businessinsider.com/russia-keeps-orlan10-drone-flying-over-ukraine-with-western-parts-2023-2 (besökt 2025-03-13).

[28] J. Byrne, J. Watling, J. Bronk, G. Somerville, J. Byrne, J. Crawford och J. Baker, *The Orlan Complex: Tracking the Supply Chains of Russia's Most Successful UAV*, Royal United Services Institute, RUSI Report, December 2022. static.rusi.org/SR-Orlan-complex-web-final.pdf (besökt 2025-03-13).

[29] D. Hambling, *Russia's Deadly Artillery Drones Have A Strange Secret*, Forbes, 2022-04-11. www.forbes.com/sites/davidhambling/2022/04/11/russias-deadly-artillery-drones-have-a-strange-secret/ (besökt 2025-03-13).

[30] J. Bronk, N. Reynolds och J. Watling, *The Russian Air War and Ukrainian Requirements for Air Defence*, Royal United Services Institute, RUSI Special Report, 2022-11-07. www.rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/russian-air-war-and-ukrainian-requirements-air-defence (besökt 2025-03-13).

[31] *Russian company Rosoboronexport showcases Orlan-30 UAV at WDS 2024*, Army Recognition, 2024-02-07. www.armyrecognition.com/news/army-news/2024/russian-company-rosoboronexport-showcases-orlan-30-uav-at-wds-2024 (besökt 205-03-13).

[32] N. Novichkov, *ADEX 2024 – Rosoboronexport showcases the Orlan-30 UAV for the first time in the Caspian region*, European Defence Review, 2024-09-27. www.edrmagazine.eu/rosoboronexport-showcases-the-orlan-30-uav-for-the-first-time-in-the-caspian-region (besökt 2025-03-13).

[33] D. Axe, *Russia Has Probably Hit All 10 Of Ukraine's Ex-Swedish Strv 122s. But The Up-Armored Tanks Keep Fighting*, Forbes, 2025-03-11. https://www.forbes.com/sites/davidaxe/2025/03/11/russia-has-probably-hit-

all-10-of-ukraines-ex-swedish-strv-122s-but-the-up-armored-tanks-keep-fighting/?ctpv=xlrecirc (besökt 2025-03-12).

[34] D. Hambling, *Ukrainian Drone Pilots Unimpressed By Russia's Anti-FPV Tunnel*, Forbes, 2025-02-17. www.forbes.com/sites/davidhambling/2025/02/17/ukrainian-drone-pilots-unimpressed-by-russias-anti-fpv-tunnel/ (besökt 2025-10-18).

[35] B. Ben, *Ukraine's FPV "air defenses" slash Russian drone, reconnaissance capabilities*, Euromaidan Press, 2025-02-04. www.euromaidanpress.com/2025/ 02/04/ukraines-fpv-air-defenses-slash-russian-drone-reconnaissance-capabilities/ (besökt 2025-03-12).

[36] *Ukrainians Made an FPV With Fiber-Optic Cord Stretching For 41 km*, Defense Express, 2025-01-26. en.defence-ua.com/industries/ukrainians_made_an_fpv_with_fiber_optic_cord_stretching_for_41_km-13327.html (besökt 2025-04-09).

[37] M. Santora, *Rise of the Dragons: Fire-Breathing Drones Duel in Ukraine*, The New York Times, 2024-10-12. www.nytimes.com/2024/10/12/world/europe/ukraine-russia-dragon-drones.html (besökt 2025-03-05).

[38] S. Karlsson och A. Helte, *Termobarisk vapeneffekt*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--0589--SE, september 2002.

[39] D. Axe, *Baba Yaga Is A Giant Ukrainian Drone That Drops Bombs At Night*, Forbes, 2023-12-03. www.forbes.com/sites/davidaxe/2023/12/03/baba-yaga-is-a-giant-ukrainian-drone-that-drops-bombs-at-night/ (besökt 2024-12-10).

[40] E. Cook, *Baba Yaga Attack Drone Strikes Russian Fortifications in Kursk*, Newsweek, 2024-08-11. www.newsweek.com/ukraine-baba-yaga-drones-russia-kursk-video-1937566 (besökt 2024-12-10).

[41] D. Hambling, *Ukraine's Night Bombers Are Now Armed With Laser-Guided Smart Bombs*, Forbes, 2024-08-06. www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/08/06/ukraines-night-bombers-are-now-armed-with-laser-guided-smart-bombs/ (besökt 2024-12-10).

[42] *Ukraine Tests Drone-Guided Munitions with Advanced Targeting Tech*, Militarnyi, 2024-11-04. mil.in.ua/en/news/ukraine-tests-drone-guided-munitions-with-advanced-targeting-tech/ (besökt 2024-12-10).

[43] S. Korshak, *Ukrainian Drone Swarms Controlled by 'Baba Yaga' Robot Aircraft, Russian Sources Claim*, Kyiv Post, 2024-02-29. www.kyivpost.com/post/28771 (besökt 2024-12-10).

[44] D. Hambling, *Interceptors And Escorts: Drone Tactics In Ukraine Are Evolving Fast*, Forbes, 2024-04-16. www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/04/16/interceptors-and-escorts-drone-tactics-in-ukraine-are-evolving-fast/ (besökt 2024-12-10).

[45] L. Forssell och A. Carlstedt, *Rysk användning av patrullroboten Lancet-3 i Ukraina*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo 8461, januari 2024.

[46] E. Grynszpan, *Inside Ukraine's secret drone factories*, Le Monde, 2022-12-14.

[47] A.E. Kramer, *From the Workshop to the War: Creative Use of Drones Lifts Ukraine*, The New York Times, 2022-08-10. www.nytimes.com/2022/08/10/world/europe/ukraine-drones.html (besökt 2024-12-10).

[48] *UK Intelligence on why Russia uses Iranian Mohajer-6 drones*, RBC-Ukraine, 2024-03-08. newsukraine.rbc.ua/news/uk-intelligence-on-why-russia-uses-iranian-1709896507.html (besökt 2025-03-13).

[49] D. Axe, *Russia Just Lost A Killer Drone Over Ukraine. It Can't Afford To Lose Many More*, Forbes, 2022-04-09. www.forbes.com/sites/davidaxe/2022/04/09/russia-just-lost-a-killer-drone-over-ukraine-it-cant-afford-to-lose-many-more/?sh=63de35050543 (besökt 2025-03-13).

[50] D. Axe, *That Russian Stealth Drone Was On A Bombing Run When It Got Shot Down Over Ukraine: A glide bomb was amid the wreckage of the Sukhoi S-70 Okhotnik*, Forbes, 2024-10-06. www.forbes.com/sites/davidaxe/2024/10/06/that-russian-stealth-drone-was-on-a-bombing-run-when-it-got-shot-down-over-ukraine/ (besökt 2025-03-13).

[51] J. A. Tirpak, *Why Russia Shot Down Its Own S-70 Drone Over Ukraine*, Air & Space Forces Magazine, 2024-10-08. www.airandspaceforces.com/why-russia-shot-down-s-70-drone-ukraine/ (besökt 2025-03-13).

[52] I. Anokhin och S. Faragasso, *Russian Decoy Drones that Depend on Western Parts Pose a Great Challenge to Ukrainian Defenses*, Institute for Science and International Security, ISIS Report, 2024-12-18. isis-online.org/uploads/isis-reports/documents/Russian_Decoy_Drones_Depend_on_Western_Parts_FINAL.pdf (besökt 2025-03-13).

[53] V. Romanenko, *Ukraine's Defence Intelligence reveals how Russia is upgrading Shaheds and other attack drones*, Ukrainska Pravda, 2025-02-18. www.pravda.com.ua/eng/news/2025/02/18/7498968/ (besökt 2025-03-13).

[54] V.K. Thakur, *Russia Set To Unleash 'New-Gen' Geran-3 Jet Powered Kamikaze Drone As Ukraine's UAVs Continue To Haunt Moscow*, The EurAsian Times, 2025-02-19. www.eurasiantimes.com/russia-set-to-unleash-new-gen-geran-3-jet/ (besökt 2025-03-13).

[55] H. Altman, *What Does A Shahed-136 Really Cost?*, The War Zone, 2024-02-08. www.twz.com/news-features/what-does-a-shahed-136-really-cost (besökt 2025-03-13).

[56] V. Smilianets och S. Karazy, *Inside the Ukrainian drone unit conducting deep strikes on Russia*, Reuters, 2025-01-25. www.reuters.com/world/europe/inside-ukrainian-drone-unit-conducting-deep-strikes-russia-2025-01-24/ (besökt 2025-03-13).

[57] H.I. Sutton, *Guide To Ukraine's Long Range Attack Drones*, Covert Shores, 2024-11-21. www.hisutton.com/Ukraine-OWA-UAVs.html (besökt 2024-12-10).

[58] A. Terajima, *Kamyshin: Drone and missile deep strikes into Russia — Ukraine has know-how, needs money*, Kyiv Post, 2024-10-24. kyivindependent.com/ukraine-says-it-has-recipe-for-long-range-capabilities-only-needs-financial-backing/ (besökt 2025-03-13).

[59] S. Shukla, D. Tarasova-Markina, V. Butenko, F. Pleitgen och C. Otto, *Inside a secretive Ukrainian drone unit targeting Russian territory*, CNN, 2024-10-16. edition.cnn.com/2024/10/16/europe/elite-ukrainian-drone-unit-russia-intl-cmd/index.html?cid=ios_app (besökt 2025-03-13).

[60] R. Romaniuk, *Sanctioned for targets 1000 km away. Story of Liutyi (Fierce) Ukrainian long-range drone which burns Russian refineries*, Ukrainian Pravda, 2024-05-14. www.pravda.com.ua/eng/articles/2024/05/13/7455462/ (besökt 2025-03-13).

[61] *Ukraine Launches Massive Production of UJ-26 Beaver Kamikaze Drones for Deep Strikes Inside Russia*, Army Recognition, 2023-12-29. www.armyrecognition.com/news/army-news/2023/ukraine-launches-massive-production-of-uj-26-beaver-kamikaze-drones-for-deep-strikes-inside-russia (besökt 2025-03-13).

[62] E. Sof, *UKRJET UJ-22 Airborne: Ukraine's Versatile Drone for Military Operations*, Spec Ops Journal, 2023-04-27. special-ops.org/uj-22-airborne-drone/ (besökt 2025-03-13).

[63] D. Svitlyk, *Everything we know about Ukraine's new Palianytsia missile-drone*, Kyiv Independent, 2024-10-01. kyivindependent.com/everything-we-know-about-ukraines-new-palianytsia-missile-drone/ (besökt 2024-12-10).

[64] Ivan Khomenko, *Zelenskyy: Over 40% of Weapons Used on the Front Line Are Produced in Ukraine*, United24, 2025-04-16. united24media.com/latest-news/zelenskyy-over-40-of-weapons-used-on-the-front-line-are-produced-in-ukraine-7654 (besökt 2024-04-28).

[65] J. Trevithick, *Ukraine's Jet Powered UJ-25 Skyline Drone Appears On Battlefield*, The War Zone, 2023-12-22. www.twz.com/ukraines-jet-powered-uj-25-skyline-drone-appears-on-battlefield (besökt 2025-03-13).

[66] *UKRJET UJ-25 Skyline*, War Wings Daily. warwingsdaily.com/drones-uavs-ucavs/ukrjet-uj-25-skyline/ (besökt 2025-03-13).

[67] V. Toporkova, *Drone-On-Drone War: How Ukraine's FPV Interceptors Are Beating Russia in the Sky*, United24, 2025-04-22. united24media.com/war-in-ukraine/drone-on-drone-war-how-ukraines-fpv-interceptors-are-beating-russia-in-the-sky-7770 (besökt 2025-04-28).

[68] P. Maxwell, D*on't Bring a Patriot to a Drone Fight—Bring Fighter UAVs Instead*, Modern War Institute at West Point, 2024-05-01. mwi.westpoint.edu/dont-bring-a-patriot-to-a-drone-fight-bring-fighter-uavs-instead/ (besökt 2024-12-27).

[69] P. Felstead, *Ukrainian MoD highlights 'drone-on-drone' engagements over the battlefront*, European Security & Defence, 2024-06-03. euro-sd.com/2024/06/major-news/38485/drone-on-drone-over-ukraine/ (besökt 2024-12-27).

[70] K. Shaikh, *Ukraine tests fixed-wing ZigZag drone with four-barrel shotgun to battle Russia*, Interesting Engineering, 2025-03-17. interestingengineering.com/military/ukraines-new-four-barrel-shotgun-drone-warfare (besökt 2025-03-18).

[71] D. Axe, *Ukraine's 'Winchester' Drone Fires Dual Shotguns At Russian Drones*, Forbes, 2024-12-28. www.forbes.com/sites/davidaxe/2024/12/28/ukraines-winchester-drone-fires-dual-shotguns-at-russian-drones/ (besökt 2025-03-18).

[72] S. Skove, *A drone-maker's dilemma illustrates Ukraine's struggle to get key arms*, Defense One, 2023-11-16. www.defenseone.com/business/2023/11/drone-makers-dilemma-illustrates-ukraines-struggle-get-key-arms/392096/ (besökt 2024-12-17).

[73] D. Hambling, *Interceptors Blunt Russian Lancet Drone Attacks*, Forbes, 2024-11-16. www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/11/16/interceptors-blunt-russian-lancet-drone-attacks/ (besökt 2024-12-27).

[74] Y. Zoria, *Ukrainian experimental interceptor drone hits 325 km/h*, Euromaidan Press, 2024-09-16. euromaidanpress.com/2024/09/16/ukrainian-experimental-interceptor-drone-hits-325-km-h/ (besökt 2025-03-18).

[75] D. Chumak, "Reflections from Russia's war of aggression against Ukraine," *Presentation at the 1st ASCI Conference*, Bryssel, november 2024.

[76] M. Hunder, *Ukraine rushes to create AI-enabled war drones*, Reuters, 2024-07-18. www.reuters.com/technology/artificial-intelligence/ukraine-rushes-create-ai-enabled-war-drones-2024-07-18/ (besökt 2024-12-13).

[77] P. Mozur och A. Satariano, *A.I. Begins Ushering In an Age of Killer Robots*, New York Times, 2024-07-02. www.nytimes.com/2024/07/02/technology/ukraine-war-ai-weapons.html (besökt 2024-12-01).

[78] D. Hambling, *Ukraine Rolls Out Target-Seeking Terminator Drones*, Forbes, 2024-03-21. www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/03/21/ukraine-rolls-out-target-seeking-terminator-drones/ (besökt 2024-12-13).

[79] A. Chapple, *Swarm Wars: The Shaky Rise Of AI Drones In Ukraine*, RadioFreeEurope/RadioLiberty, 2024-08-14. www.rferl.org/a/drone-ai-technology-russia-ukraine-war/33078798.html (besökt 2024-12-13).

[80] J. Rantakokko, M. Alexandersson, R. Carsk, P. Johansson, J. Nygårds, G.K. Olsson och J. Rydell, *PNT på Nordkalotten – utmaningar och möjligheter*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo XXXX, december 2024.

[81] G. Volpicelli, V. Melkozerova och L. Kayali, *'Our Oppenheimer moment' — In Ukraine, the robot wars have already begun*, Politico, 2024-05-16. www.politico.eu/article/robots-coming-ukraine-testing-ground-ai-artificial-intelligence-powered-combat-war-russia/ (besökt 2024-12-12).

[82] A. Andersson, *Fallstudie: IHR och UCAV*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5703--SE-0.0, under slutförande.

[83] J. Rantakokko et al., *Obemannade farkoster och autonoma system – teknik och operator: Slutrapport*, Totalförsvarets forskningsinstitut, under slutförande.

[84] A. Andersson, *Utveckling av den folkrättsliga regleringen av autonoma vapensystem — en vändpunkt efter tio år av mellanstatliga diskussioner?*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5551--SE, mars 2024.

[85] J. Trevithick, *Watch A Ukrainian Uncrewed Aerial Mothership Launch Kamikaze Drones*, The War Zone, 2024-11-21. www.twz.com/air/watch-a-ukrainian-uncrewed-aerial-mothership-launch-kamikaze-drones (besökt 2024-12-13).

[86] T. Rogoway, *FPV Drone Motherships That Also Relay Their Signals Offer Huge Advantages*, The War Zone, 2024-03-26. www.twz.com/air/fpv-drone-motherships-that-also-relay-their-signals-offer-huge-advantages (besökt 2024-12-13).

[87] C. Gall och V. Golovin, *Some U.S. Weapons Stymied by Russian Jamming in Ukraine*, New York Times, 2024-05-25. www.nytimes.com/2024/05/25/world/europe/us-weapons-russia-jamming-ukraine.html (besökt 2025-03-18).

[88] O. Tartachnyi, *The Invisible War: Inside the electronic warfare arms race that could shape course of war in Ukraine*, The Kyiv Independent, 2024-03-12. kyivindependent.com/the-invisible-war-inside-the-electronic-warfare-arms-race-that-could-shape-course-of-the-war/ (besökt 2025-03-13).

[89] J. Watling och N. Reynolds, *Meatgrinder: Russian Tactics in the Second Year of Its Invasion of Ukraine*, Royal United Services Institute, RUSI Special Report, maj 2023. www.rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/meatgrinder-russian-tactics-second-year-its-invasion-ukraine (besökt 2025-03-13).

[90] D. Hambling, *Ukraine's Pokrova Spoofing System Tells Shaheds To Get Lost*, Forbes, 2024-02-12. www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/02/12/ukraines-pokrova-spoofing-system-tells-shaheds-to-get-lost/ (besökt 2024-12-01).

[91] G. Eriksson, P. Holm, A. Hansson, J. Nilsson och J. Rantakokko, *Robust och störtålig kommunikation för obemannade farkoster – Utmaningar och möjligheter*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4895--SE, 2020.

[92] J. Chulilla, "Ukraine Is the First "Hackers' War"," *IEEE Spectrum*, 2024-04-10. spectrum.ieee.org/ukraine-hackers-war (besökt 2024-12-10).

[93] H. Khudov, O. Kostianets, O. Kovalenko, O. Maslenko och Y. Solomonenko, Using Software-Defined Radio receivers for determining the coordinates of low-visible aerial objects, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (124)), 61–73, 2023.

[94] J. Bronk och J. Watling, *Mass Precision Strike: Designing UAV Complexes for Land Forces*, Royal United Services Institute, RUSI Occasional Paper, april 2024.

[95] D. Hambling, *Inside The 'Magic Radio' Protecting Russian Drones From Jamming*, Forbes, 2023-12-22. www.forbes.com/sites/davidhambling/2023/12/20/inside-the-magic-radio-protecting-russian-drones-from-jamming/ (besökt 2024-12-15).

[96] L. Davoli, E. Pagliari och G. Ferrari, "Hybrid LoRa-IEEE 802.11s Opportunistic Mesh Networking for Flexible UAV Swarming," *Drones*, 5(2), 26, 2021.

[97] W.D. Paredes, H. Kaushal, I. Vakilinia och Z. Prodanoff, "LoRa Technology in Flying Ad Hoc Networks: A Survey of Challenges and Open Issues", *Sensors* (Basel), 3(5):2403, februari 2023.

[98] *Poland is paying for Ukraine's Starlink subscription, its deputy PM says*, Reuters, 2025-02-22. www.reuters.com/world/europe/poland-is-paying-ukraines-starlink-subscription-its-deputy-pm-says-2025-02-22/ (besökt 2025-03-12).

[99] *Ukraine already receives 42,000 Starlink terminals*, UKRINFORM, 2025-03-13. www.ukrinform.net/rubric-ato/3701465-ukraine-already-receives-42000-starlink-terminals.html (besökt 2025-03-13).

[100] R. Looker och A. Abdurasulov, *Musk and Rubio spar with Polish minister over Starlink in Ukraine*, BBC, 2025-03-10. www.bbc.com/news/articles/cy87vg38dnpo (besökt 2025-03-13).

[101] *Space X ska leverera Starshield till 2 500 Starlink-terminaler i Ukraina*, Ny Teknik, 2024-12-09. www.nyteknik.se/farkost/space-x-ska-leverera-starshield-till-2-500-starlink-terminaler-i-ukraina/4314847 (besökt 2025-03-08).

[102] K. Bondar, *Does Ukraine Already Have Functional CJADC2 Technology?*, Center for Strategic & International Studies (CSIS), December 2024.

[103] S. Brown, *Analysis: The Magura-V5 Sea Drone – Scourge of Russia's Black Sea Operations*, Kyiv Post, 2024-03-06. www.kyivpost.com/analysis/29068 (besökt 2025-03-13).

[104] *Russia Equipped Shahed-136 with Starlink: Now Real-Time Data Can Be Accessed at Distances Up to 2000 km*, Defence Express, 2024-09-26.

[105] T.E. Humphreys, P.A. Iannucci, Z.M. Komodromos och A.M. Graff, "Signal Structure of the Starlink Ku-Band Downlink," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 59, no. 5, oktober 2023.

[106] R. Pahyluch, *Fiber-Optic Drones The New Must-Have In Ukraine War*, RadioFreeEurope/RadioLiberty, 2025-03-12. www.rferl.org/a/ukraine-fiber-optic-drones-russia/33344310.html (besökt 2025-03-12).

[107] R. Standish, *The New Drones Boosting Russia's Advances On The Battlefield In Ukraine*, RadioFreeEurope/RadioLiberty, 2025-01-10. www.rferl.org/a/russia-fiber-optic-drones-ukraine-battlefield/33270243.html (besökt 2025-01-15).

[108] B. Miroshnychenko, *A weapon entirely immune to jamming: How Ukraine is rolling out production of fibre-optic drones*, Ukrainska Pravda, 2025-01-13. www.pravda.com.ua/eng/articles/2025/01/13/7493257/ (besökt 2025-03-11).

[109] D. Hambling, *Russian Fiber Optic Drone Beats Any Jammer*, Forbes, 2024-04-08. www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/03/08/russian-fiber-optic-drone-can-beat-any-jammer/ (besökt 2024-12-11).

[110] D. Hambling, *How An American Volunteer Helped Kickstart Ukraine's Unstoppable Drone*, Forbes, 2024-12-09. www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/12/09/how-an-american-volunteer-helped-kickstart-ukraines-unstoppable-drone/ (besökt 2024-12-11).

[111] J. Rantakokko, P. Strömbäck och M. Linné, *GNSS-oberoende navigering – Omvärldsanalys*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--5328--SE, augusti 2022.

[112] *Documenting the domestic Russian variant of the Shahed UAV*, Conflict Armaments Research, Ukraine Field Dispatch, augusti 2023. storymaps.arcgis.com/stories/d3be20c31acd4112b0aececе5b2a283c (besökt 2025-03-10).

[113] *Russia has installed a new type of satellite navigation antennas on "Shaheds": what this means and the danger it poses*, TSN, 2025-02-01. tsn.ua/en/ato/russia-has-installed-a-new-type-of-satellite-navigation-antennas-on-shaheds-what-this-means-and-the-danger-it-poses-2735694.html (besökt 2025-03-13).

[114] E. Beskow, *The Effect of Distortions Induced by Adaptive Antenna Arrays in GNSS Application*, Linköpings Universitet, LiTH-ISY-EX--22/5526--SE, 2022.

[115] David Albright and Sarah Burkhard, *Electronics in the Shahed-136 Kamikaze Drone*, Institute for Science and International Security, Report, 2023-11-14. isis-online.org/uploads/isis-reports/documents/Electronics_in_the_Shahed-136_Kamikaze_Drone_November_14_2023_FINAL.pdf (besökt 2025-03-13).

[116] J. Seo, Y.-H. Chen, D.S. De Lorenzo, S. Lo, P. Enge, D. Akos och J. Lee, A Real-Time Capable Software-Defined Receiver Using GPU for Adaptive Anti-Jam GPS Sensors, *Sensors*, 11, sid. 8966-8991, 2011.

[117] I. Singh Bisht, *Ukraine Spoofs Nearly 100 Shahed Drones to Head Back to Russia*, Defence Post, 2024-12-05. thedefensepost.com/2024/12/05/ukraine-spoofs-shahed-drones/ (besökt 2025-12-15).

[118] H. Altman och T. Rogoway, *Ukraine's Acoustic Drone Detection Network Eyed By U.S. As Low-Cost Air Defense Option*, The War Zone, 2024-07-24. www.twz.com/air/ukraines-acoustic-drone-detection-network-eyed-by-u-s-as-low-cost-air-defense-option (besökt 2025-03-13).

[119] O. Jonsson, *Direct Signal Interference Suppression and Target Detection for Low-cost SDR-based Passive Bistatic Radar*, Linköpings Universitet, LiTH-ISY-EX--22/5503--SE, 2022.

[120] B. Miroshnychenko, *The Ukrainian military is set to receive 15,000 combat robots this year. What roles will these ground drones take on?*, Ukrainska Pravda, 2025-04-03. www.pravda.com.ua/eng/articles/2025/04/3/7505903/ (besökt 2025-04-07).

[121] L. Brizard, *Ukrainian Troops Use Ground Drones to Secure Defensive Lines With Barbed Wire*, United24, 2025-03-13. united24media.com/latest-news/ukrainian-troops-use-ground-drones-to-secure-defensive-lines-with-barbed-wire-6698 (besökt 2025-04-07).

[122] A. Barkhush, *Ukraine unveils new ground drone 'Pliushch' featuring a 10 meter mast*, United24, 2025-02-03. united24media.com/latest-news/ukraine-unveils-new-ground-drone-pliushch-featuring-a-10-meter-mast-5568 (besökt 2025-04-07).

[123] T. Newdick, *Ukraine Claims Its Drone Boats Are Now Launching Kamikaze FPV Drones At Russian Shore Targets*, The War Zone, 2025-01-07. www.twz.com/news-features/ukraine-claims-its-drone-boats-are-now-launching-kamikaze-fpv-drones-at-russian-shore-targets (besökt 2025-04-07).

[124] A. Terajima, *Ukrainian innovators want to bring life-saving robots to the battlefield*, The Kyiv Independent, 2023-09-16. kyivindependent.com/ukrainian-innovators-want-to-bring-life-saving-robots-to-the-battlefield/ (besökt 2025-04-07).

[125] V. Kushnikov, *Ukrainian Ministry of Defense outlines priorities for domestic ground drones development*, Militarnyi, 2023-07-28. militarnyi.com/en/news/ukrainian-ministry-of-defense-outlines-priorities-for-domestic-ground-drones-development/ (besökt 2025-04-07).

[126] *Forged on the Frontlines: Inside Ukraine's High-Stakes Push for a 15,000-Strong Robot Army*, TechUkraine, 2025-03-31. techukraine.org/2025/03/31/forged-on-the-frontlines-inside-ukraines-high-stakes-push-for-a-15000-strong-robot-army/#:~:text=The%20nation%20is%20making%20a%20bold%20technological%20bet%2C,with%20machines%20in%20the%20most%20perilous%20frontline%20situations (besökt 2025-04-07).

[127] *Ukraine to Deploy 15,000 Robotic Systems to Front Lines in 2025*, Kyiv Post, 2025-04-01. www.kyivpost.com/post/49960 (besökt 2025-04-07).

[128] S. Brown, *Ukraine's Robot Wars – Ground Drones Emerge From Shadows*, Kyiv Post, 2025-02-03. www.kyivpost.com/post/46492 (besökt 2025-04-07).

[129] V. Kushnikov, *100 Ukrainian-Made Ground Drones Tested at Brave1 Training Ground*, Militarnyi, 2024-11-27. militarnyi.com/en/news/100-ukrainian-made-ground-drones-tested-at-brave1-training-ground/ (besökt 2025-04-07).

[130] *Last Year, Ratel Supplied Hundreds of Platforms to the Defense Forces, and 2025 Could Mark a Surge in Unmanned Ground Vehicle Usage*, Defence Express, 2025-01-13. en.defence-ua.com/events/last_year_ratel_

supplied_hundreds_of_platforms_to_the_defense_forces_and_2025_could_mark_a_surge_in_unmanned_ground_vehicle_usage-13178.html (besökt 2025-04-07).

[131] A. Macalpine, *Ukraine's Drone Evolution, From Mavic Scouts to Long-Range Strike Weapons*, United24, 2025-02-28. united24media.com/war-in-ukraine/ukraines-drone-evolution-from-mavic-scouts-to-long-range-strike-weapons-6232 (besökt 2025-04-07).

[132] D. Hambling, *Ukraine's New Kamikaze Robot Carries An Anti-Tank Mine*, Forbes, 2022-08-25. www.forbes.com/sites/davidhambling/2022/08/25/ukraines-new-kamikaze-robot-carries-an-anti-tank-mine/ (besökt 2025-04-07).

[133] *Liut ground drone has been codified for the Armed Forces of Ukraine*, Militarnyi, 2025-03-18. militarnyi.com/en/news/liut-ground-drone-has-been-codified-for-the-armed-forces-of-ukraine/ (besökt 2025-04-07).

[134] L. Brizard, *Ukraine's "Lyut" Robot Soldier Tested in Combat—A New Era of 24/7 Firepower*, United24, 2025-03-18. united24media.com/latest-news/ukraines-lyut-robot-soldier-tested-in-combat-a-new-era-of-247-firepower-6822 (besökt 2025-04-07).

[135] *The 'Lyut' (Rage) ground robotic system will reinforce our military units with a new soldier-robot*, Ministry of Defence of Ukraine, 2025-03-18. mod.gov.ua/en/news/the-lyut-rage-ground-robotic-system-will-reinforce-our-military-units-with-a-new-soldier-robot (besökt 2025-04-07).

[136] V. Kushnikov, *Soldiers of the 5th Assault Brigade used the Ironclad multifunctional unmanned ground vehicle*, Militarnyi, 2024-01-12. militarnyi.com/en/news/soldiers-of-the-5th-assault-brigade-used-the-ironclad-multifunctional-unmanned-ground-vehicle/ (besökt 2025-04-07).

[137] *Specifications of The Protector, New Multirole UGV From Ukrainian Armor*, Defence Express, 2024-09-04. en.defence-ua.com/weapon_and_tech/specifications_of_the_protector_new_multirole_ugv_from_ukrainian_armor-11741.html (besökt 2025-04-07).

[138] S. Bendett, *Russian UGV developments influenced by Ukraine War*, European Security & Defence, 2024-06-19. euro-sd.com/2024/06/articles/38818/russian-ugv-developments-influenced-by-ukraine-war/ (besökt 2025-04-07).

[139] V. Mittal, *Russia Showcases New Tactics Using Courier Unmanned Ground Vehicles*, Forbes, 2025-02-17. www.forbes.com/sites/vikrammittal/2025/02/17/russia-showcases-new-tactics-using-courier-unmanned-ground-vehicles/ (besökt 2025-04-07).

[140] *Analysis: Combat Capabilities of Russian Courier Ground Robot in First Russo-Ukrainian Drone Clash*, Army Recognition Group, 2024-04-12. armyrecognition.com/news/army-news/2024/analysis-combat-capabilities-of-russian-courier-ground-robot-in-first-russo-ukrainian-drone-clash (besökt 2025-04-07).

[141] D. Axe, *Russia's First-Ever Robotic Ground Assault Ended Badly ... For The Robots*, Forbes, 2024-03-29. www.forbes.com/sites/davidaxe/2024/03/29/russias-first-ever-robotic-ground-assault-ended-badly--for-the-robots/ (besökt 2025-04-07).

[142] *Russia to Begin Serial Production of Marker Land Robot with Kornet Anti-Tank Missile & Drone Swarm Capabilities*, Army Recognition Group, 2025-01-09. www.armyrecognition.com/news/army-news/2025/russia-to-begin-serial-production-of-marker-land-robot-with-kornet-anti-tank-missile-drone-swarm-capabilities (besökt 2025-04-07).

[143] *Russia tests new unmanned MTS-15 Klever 122 mm self-propelled howitzer ahead of full-scale deployment in Ukraine*, Army Recognition Group, 2024-08-26. www.armyrecognition.com/news/army-news/army-news-2024/russia-tests-new-unmanned-mts-15-klever-122-mm-self-propelled-howitzer-ahead-of-full-scale-deployment-in-ukraine (besökt 2025-04-07).

[144] D. Kosoy, *Ukraine Conducts the First-Ever Assault Done Exclusively with Drones*, United24, 2025-02-07. united24media.com/war-in-ukraine/ukraine-conducts-the-first-ever-assault-done-exclusively-with-drones-5705 (besökt 2025-04-07).

[145] D. Axe, *Ukraine's All-Robot Assault Force Just Won Its First Battle*, Forbes, 2024-12-21. www.forbes.com/sites/davidaxe/2024/12/21/ukraines-first-all-robot-assault-force-just-won-its-first-battle/ (besökt 2025-04-07).

[146] I. Kabachynskyi, *Ardal, Ukraine's Newest Ground Robot, Pulls Off a Daring Rescue of Soldiers Trapped Behind Russian Lines*, United24, 2025-03-03. united24media.com/war-in-ukraine/ground-robot-pulls-off-daring-rescue-of-trapped-ukrainian-soldiers-behind-russian-lines-7302 (besökt 2025-04-07).

[147] A. Barkhush, *Wolly: Ukraine's New AI Combat Module Blends Smart Tech With PKT Firepower*, United24, 2025-03-03. united24media.com/latest-news/wolly-ukraines-new-ai-combat-module-blends-smart-tech-with-pkt-firepower-7308 (besökt 2025-04-07).

[148] H. Altman, *Unmanned Ground Vehicles Controlled Via Fiber Optic Cables Being Tested By Ukraine*, The War Zone, 2025-04-04. www.twz.com/land/unmanned-ground-vehicles-controlled-via-fiber-optic-cables-being-tested-by-ukraine (besökt 2025-04-07).

[149] D. Hambling, *Ukrainian Combat Robots Join Fight Against Russian Invasion*, Forbes, 2022-06-16. www.forbes.com/sites/davidhambling/2022/06/16/ukrainian-combat-robots-join-fight-against-russian-invasion/ (besökt 2025-04-07).

[150] O. Yan, *Russia Delivers Depesha Ground Drones to Army*, Militarnyi, 2025-01-10. militarnyi.com/en/news/russia-delivers-depesha-ground-drones-to-army/ (besökt 2025-04-07).

[151] V. Zaluzhnyi, *The evolving nature of warfare has redefined the fundamental principles of global security: the Ukrainian experience and the emerging world order*, Ukrainska Pravda, 2025-04-25.

www.pravda.com.ua/eng/columns/2025/04/25/7509135/ (besökt 2025-05-16).

[152] R. Romaniuk och O. Kyrylenko, *The Drone Line: what is it, and can five units stop the Russian advance?*, Ukrainska Pravda, 2025-05-05. www.pravda.com.ua/eng/articles/2025/05/5/7510582/ (besökt 2025-05-10).

[153] D. Kirichenko, *Drone superpower: Ukrainian wartime innovation offers lessons for NATO*, UkraineAlert, Atlantic Councel, 2025-05-15. www.atlanticcouncil.org/blogs/ukrainealert/drone-superpower-ukrainian-wartime-innovation-offers-lessons-for-nato/ (besökt 2025-05-16).

[154] D. Boyer och R.K. Becker, *How Ukraine Overcame the Transparent Battlefield to Achieve Operational Surprise in Kursk*, Red Diamond Posts, TRADOC G2, 2024-09-19. oe.tradoc.army.mil/2024/09/19/how-ukraine-overcame-the-transparent-battlefield-to-achieve-operational-surprise-in-kursk/ (besökt 2024-12-28).

[155] P. Néron-Bancel och G. Garnier, *"At the Other Side of the Hill": The Benefits and False Promises of Battlefield Transparency*, Focus stratégique, No. 118, Ifri, May 2024.

[156] L. Chiu och C. Stewart, *Analysis: Off Target – Are Kyiv's GPS-Aided Weapons Susceptible to Kremlin EW Jamming?*, Kyiv Post, 2024-05-29. www.kyivpost.com/analysis/33448 (besökt 2025-04-07).

FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se