

**Момир Станковић\***

*Војна академија, Универзитет одбране,  
Београд, Република Србија*

**Димитрије Бујаковић\*\***

*Војна академија, Универзитет одбране,  
Београд, Република Србија*

## **БЕСПОСАДНА АУТОНОМНА ВОЗИЛА: ИЗАЗОВИ У РАЗВОЈУ И ВОЈНОЈ ПРИМЕНИ И ПОТРЕБЕ ЗА НОВИМ КОМПЕТЕНЦИЈАМА ВОЈНОГ КАДРА\*\*\***

### **Сажетак**

Развој беспосадних аутономних возила представља један од најдинамичнијих праваца савремене технолошке еволуције, са све широм применом у цивилном, а пре свега војном домену. Иако се термини беспосадно и аутономно возило често користе као синоними, овај рад указује на њихову суштинску разлику и значај интегрисане способности доношења одлука за пуну аутономију. Савремени трендови у производњи сензорских, комуникационих и енергетских компоненти омогућили су развој сложених система за перцепцију окружења, планирање путање и управљање кретањем, што је нарочито утицало на промену концепта извођења војних операција. У раду се анализира историјски развој беспосадних аутономних

---

\* Имејл адреса: momir.stankovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-8371-9341

\*\* Имејл адреса: dimitrije.bujakovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-7053-9293.

\*\*\* Научни чланак је резултат рада на пројекту Министарства одбране Републике Србије: Пројектовање експертског система заснованог за процену ситуације на бојишту (ВА-ТТ/1/25–27).

возила, нивои њихове аутономије и утицај на извођење савремених војних операција. Имајући у виду тренутну брзину технолошког развоја и достигнућа, може се очекивати још интензивнија употреба аутономних система у наредним ратним сукобима, што намеће потребу за дефинисањем потребних знања и компетенција војног кадра који ће се бавити развојем и употребом истих. Потребна знања укључују области мехатронике, аутоматског управљања, вођења, вештачке интелигенције, тактике употребе, логистичке подршке и других. Рад препознаје потребу за унапређењем војног образовања кроз модификацију постојећих и развој нових студијских програма за образовање кадрова способних за развој, одржавање и ефикасну експлоатацију беспосадних аутономних система у динамичном безбедносном окружењу.

**Кључне речи:** Беспосадна аутономна возила, Пројектовање система вођења, Пројектовање система управљања, Војна примена беспосадних возила, Војно образовање.

## УВОД

Беспосадно возило (БВ) је возило које се покреће и управља без присуства људске посаде на самом возилу, односно возилом се управља са одговарајуће управљачке станице, применом комуникационих и различитих сензорских система. Са друге стране, беспосадно аутономно возило може се дефинисати као специфична врста беспосадног возила које не само да функционише без људске посаде, већ има способност да обавља одговарајуће функције вожње без директне људске интервенције, користећи напредне сензорске системе и алгоритме за доношење одлука, препознавање околине и планирање путање кретања. Стога, иако се појмови беспосадно возило и аутономно возило често користе као синоними, треба истаћи да свако беспосадно возило није и аутономно, односно да аутономија возила зависи од интегрисане способности самосталног кретања и доношења одлука о планирању путање кретања.

Последњих година, са развојем технологије производње електронских и енергетских компоненти, област истраживања и изучавања беспосадних, а пре свега аутономних возила је доживела значајан напредак, што је омогућило развој софистицираних система

за перцепцију окружења, вођење и управљање возила, а самим тим ефикасније примене аутономних система у различитим областима, укључујући саобраћај, индустрију, пољопривреду и пре свега војну примену. Сходно томе, пројектовање и развој система управљања и вођења беспосадних аутономних возила постаје изузетно значајан правац у научноистраживачким радовима (Wang 2023, 4; Gao 2021, 10; Huang 2022; Boretti 2024).

Развој високо софистицираних система умногоме је утицао на промену структуре вођења војних операција. Тако на пример, примена беспилотних летелица значајно унапређује могућности извиђања покрета и изненадног напада на противничке снаге, ненаоружана беспосадна аутономна возила доприносе већој мобилности при операцијама дотура убојних средстава, логистичких средстава и превоза рањеника, док су наоружана аутономна возила генерисала значајан искорак у еволуцији савремених војних операција, доносећи бројне предности у погледу ефикасности, безбедности и способности за обављање најкомплекснијих задатака у високо ризичним условима за људске посаде (Ђорић и Глишин 2023; Милjkовић и Бериша 2023).

Класични развој војног образовања у Европи је пре свега везан за чувена разматрања Фон Клаузевица (Clausewitz 2021) у ком је рат дефинисан као наставак политике другим средствима и развијање пруског модела обуке официра и увођењу ратних игара у чијем је дефинисању пресудну улогу имао Хелмут фон Молтке (Himmel 2024). У Француској се истиче пре свега рад Антоан-Анри Жоминија (Rapin 2023, 1) у периоду после Наполеонових ратова и успостављање Академије у Сен-Сиру у којој се негује приступ образовању официра кроз хуманистичко образовање и строгу војну обуку. Едукација официра у бившем Савезу Совјетских Социјалистичких Република (СССР) пре свега је обухватала ригидну војну обуку и идеолошко образовање, а основа овог система се може наћи у раду Михаила Фрунзеа (Frunze 2019). Са друге стране, успостављање хегемоније Сједињених Америчких Држава (САД) у западној хемисфери допринело је развоју учења кроз дисциплину и инжењерске вештине и теорије брзог одлучивања у борби (петља осматрати-оријентисати-одлучити-деловати) (Boyd 2011). У бившој Социјалистичкој Федеративној Републици Југославији (СФРЈ) интензиван утицај у војном образовању је имао концепт тоталне одбране и заштите (*Strategija opštenarodne odbrane i društvene samozaštite* 1987) при чему су разматране методе борбе фронталног и герилског типа.

Динамично окружење и брзи технолошки развој средстава наоружања и војне опреме које карактерише модерне сукобе условљава и интензивне промене у војном образовању. У овом делу може се уочити неколико праваца, као што је брзо прилагођавање новим безбедносним изазовима и претњама кроз процес континуалног побољшања наставе и обуке (Arquilla 2021), дигитализација војне обуке и интензивна употреба симулатора који раде у виртуелној реалности (Arquilla 2021), примена неуро-наука за боље доношење одлука и експериментална употреба „мозак – рачунар” интерфејса (Brose 2020), припрема за хибридно и асиметрично ратовање кроз унапређења концепта обуке и развој вештина лидера и уздизање психолошке издржљивости војника, подофицира и официра (Singer 2009). На овај начин се успоставља и примењује концепт „научених лекција” у планирању савремених војних операција, који утиче и на развој модерних теорија војног образовања.

Предмет овог истраживања је примена беспосадних аутономних возила у савременим борбеним и неборбеним операцијама и њиховог развоја, као и разматрање потребних знања из области савремених технологија ради пројектовања, експлоатације и одржавања оваквих система. Како беспосадна аутономна возила представљају сложене мехатроничке системе, ради њихове правилне употребе у савременим борбеним дејствима потребно је да војни кадар који их развија и користи поседује знања из области управљања сложеним системима, мехатронике и механичких система преноса, као и пројектовања и развоја алгоритама вештачке интелигенције како би се извршила оптимална обрада сигнала прикупљених различитим сензорима у реалном времену и употребе беспосадних аутономних возила на тактичком и оперативном нивоу.

Овај рад је организован према следећем, након уводних разматрања у другом поглављу дат је кратак историјски осврт на развој беспосадних возила и њихова основна подела. Развијени нивои аутономије беспосадних возила су анализирани у трећем делу овог рада, док се у четвртном поглављу анализирани аспекти утицаја употребе ових возила на извођење савремених војних операција. У петом поглављу идентификовани су изазови при пројектовању система вођења и управљања, док су у шестом поглављу разматране потребне компетенције војног кадра у погледу употребе и развоја оваквих система у циљу пружања адекватног одговора на нове безбедносне изазове и претње. Коначно, у завршном делу рада

дефинисани су одговарајући закључци и предложени правци даљег истраживања.

## РАЗВОЈ И ВРСТЕ БЕСПОСАДНИХ ВОЗИЛА

Развој беспосадних возила започео је са системима који су омогућавали даљинско управљање, без стварне аутономије у процесу управљања. Још тридесетих година XX века појављују се први примери једноставних даљински управљаних платформи, превасходно у војне и индустријске сврхе. Совјетски и немачки радио-управљани тенкови коришћени су у мисијама високог ризика, попут транспорта муниције и руковања експлозивним средствима. Иако технолошки примитивни, ови системи представљају концептуалне претходнике савремених беспосадних решења, указујући на потенцијал измештања људског фактора из директно опасних борбених ситуација.

Другу фазу развоја представља период друге половине XX века, током ког су се концепти беспосадних система проширили на идеје делимичне или потпуне аутономије. Прекретница је остварена развојем мобилног робота *Shakey* на Универзитету Стенфорд крајем шездесетих година. Овај систем, опремљен камером и ултразвучним сензорима, представљао је први мобилни робот способан за самосталну обраду података и доношење одлука на основу перцепције околине, што га чини претечом модерних аутономних возила.

Интензиван развој аутономних система започиње почетком XXI века, пре свега кроз пројекте попут *Grand Challenges*, које је иницирала Агенција за напредне истраживачке пројекте у одбрани Сједињених Америчких Држава (DARPA). Ова иницијатива дала је снажан подстицај унапређењу сензорских система, као и развоју софистицираних алгоритама за навигацију, управљање и планирање путање. Резултати ових истраживања поставили су технолошке темеље за савремене аутономне платформе, како у цивилној, тако и у војној примени.

У складу са различитим оперативним захтевима и условима, конструисане су различите врсте погонских система беспосадних аутономних возила. Основна класификација обухвата четири типа, чије су основне карактеристике дате у наставку.

Возила са точковима – представљају најраспрострањенији тип беспосадних система. Њихова популарност произилази из једноставности конструкције, ефикасности у кретању по равним и добро уређеним површинама, као и лакшег система управљања. Ослањају се на ротационо кретање точкова повезаних са шасијом, при чему број осовина и конфигурација преноса снаге зависи од захтева за маневарском способношћу и стабилношћу (Rubio 2019, 16).

Гусенична возила – користе гусенице које пружају велику површину контакта са подлогом, чиме се повећава вучна снага и стабилност. Захваљујући независном погону сваке гусенице, омогућено је прецизно управљање и висока маневарска способност на неравним и изазовним теренима. Ови системи се одликују великом робусношћу, чинећи их погодним за борбене и извиђачке задатке у тежим условима (Zou 2018, 110).

Возила са ногама – ови системи имитирају кретање животиња, користећи низ актуатора и зглобова који омогућавају динамичко балансирање и кретање по неприступачним теренима. Висок степен мобилности чини их посебно ефикасним у урбаним срединама, као и у задацима који захтевају савладавање препрека и степеништа (Zhao 2023, 11).

Хибридна возила – комбинују различите врсте погонских система (точкове, гусенице и/или ноге) у циљу постизања максималне прилагодљивости и перформанси. Ови системи представљају компромис између више типова мобилности и омогућавају операције у разноликим и променљивим условима. Иако технолошки захтевнији, хибридни системи омогућавају високу флексибилност у примени (Zou 2018, 110).

## НИВОИ АУТОНОМИЈЕ БЕСПОСАДНИХ ВОЗИЛА

Савремена аутономна возила базирају се на интеграцији различитих типова погона, сензорских система, укључујући, глобалне навигационе сателитске системе, радарске системе, *LiDAR* системе и друге технологије које омогућавају ефикасну перцепцију и интеракцију возила са окружењем у коме се налази. Типичне функције аутономних возила могу се поделити у три основне категорије: перцепција окружења, проналажење оптималне путање кретања и доношење других одлука и управљање погонским актуаторима у циљу праћења жељене путање и реализација донетих

одлука. Ове три компоненте могу се посматрати као функције чула вида, мозга и удова људског бића, а оне се реализују пројектовањем одговарајућих система вођења и управљања.

Да би се боље разумео досадашњи развој, али и правци будућих истраживања, кључно је размотрити и детаљније анализирати сам концепт аутономије. Као што је већ напоменуто, аутономија, у контексту беспосадних возила, односи се на степен до ког возило може да функционише независно од људске интервенције. Опште прихваћен и широко препознат систем класификације беспосадних возила дефинише шест нивоа аутономије вожње, од нивоа 0 (ниво без аутономије) до нивоа 5 (потпуна аутономија), који се могу детаљније описати на следећи начин (Sethi 2024):

Ниво 0: Без аутономије. На овом нивоу возило потпуно функционише на основу команди задатих од оператора, без икаквих аутономних способности. Возило може имати неке технологије асистенције оператору, попут различитих система упозорења.

Ниво 1: Аутономија са асистенцијама оператора. Возила из ове категорије укључују основне функције аутономије које пружају ограничену подршку оператору. Системи попут аутоматске контроле брзине или асистенције за одржавање задате путање, као и система за управљање убрзањем и силом кочења, али оператор остаје у потпуности одговоран за надзор и управљање возилом.

Ниво 2: Делимична аутономија. Возила могу извршавати сложеније задатке, комбинујући две или више аутономних функција, попут одржавања задате путање и адаптивне регулације брзине. Возило може управљати кретањем и убрзањем/успоравањем у одређеним условима, али оператор мора бити спреман да интервенише у сваком тренутку.

Ниво 3: Условна аутономија. Овај ниво представља значајан корак ка правој аутономији. Возила са аутономијом нивоа 3 могу обављати све задатке вожње у специфичним, ограниченим условима, попут вожње дефинисаном траком пута. Возач није обавезан да непрекидно надзире окружење, али мора бити спреман да преузме управљање када то возило затражи.

Ниво 4: Висока аутономија. Возила могу радити аутономно у већини сценарија кретања, чак и ако оператор не одговори на захтев за интервенцијом. Међутим, њихова операција може бити ограничена на одређене области и пројектоване оперативне домене.

Ниво 5: Потпуна аутономија. Возило је потпуно аутономно и способно да обавља све задатке кретања у свим условима које би људски оператер могао савладати. Никаква људска интервенција није потребна.

Овај спектар нивоа аутономије истиче све већу софистицираност и сложеност беспосадних аутономних возила, односно система вођења и управљања помоћу којих се одговарајући ниво аутономије и постиже. Док нижи нивои нуде асистенцију оператера, фокус напредних истраживања је усмерен ка постизању виших нивоа аутономије, у циљу реализације изазовних задатака у комплексним окружењима. Иако је постизање потпуне аутономије (Ниво 5) још увек у процесу развоја, тренутна научна истраживања фокусирају се на унапређење перформанси и способности возила на нивоима 3 и 4 у сложеним и изазовним сценаријима у реалним окружењима, што захтева пројектовање и примену напредних алгоритама вођења и управљања.

## АСПЕКТИ УТИЦАЈА БЕСПОСАДНИХ ВОЗИЛА НА ВОЈНЕ ОПЕРАЦИЈЕ

Један од кључних аспеката примене аутономних возила у војсци је њихова способност да преузму задатке који су раније били високо ризични за људску посаду. Ови задаци су у почетку превасходно били повезани са употребом беспосадних возила у области извиђања и надзора противничких снага. Неки од оваквих система као што су *QinetiQ TALON* (Army Tehnology 2020) или *Milrem THeMIS* (Milrem n.d.), поседују сензоре који раде у различитим деловима електромагнетног спектра ради извиђања борбеног распореда и раног упозорења на маневре противника. Поред тога, мала беспосадна возила се могу користити за извиђање рушевина и тунела током операција у урбаним срединама. Други аспект употребе беспосадних возила, који последњих година има све већу и већу примену, односи се на употребу наоружаних верзија оваквих система и то директно у борбеним дејствима (руски Уран-9 [СКБ МОРФ n.d.]) или *Milrem Robotics Type-X* [Milrem Robotics n.d.], као и у самоуништавајућим мисијама (украјински *Ratel-S Global Defense News Army Recognition Group* [GDNARG] 2024, за противоклопну борбу). Још један аспект примене беспосадних аутономних возила односи се на реализацију логистичких задатака (снабдевање муницијом, медицинском опремом

и другим) и то нарочито у ситуацијама када је степен угрожености људске посаде повишен. Додатно, беспосадна возила могу бити опремљена и уређајима за електронско ратовање, па као таква могу се користити и у мисијама електронског ометања противничких или електронске заштите сопствених снага.

Све наведене примене беспосадних возила, како у борбеним, тако и у неборбеним задацима и мисијама војске доноси промене у оперативним и тактичким радњама и поступцима. У случајевима напада, употреба ових возила у почетним фазама нападних дејстава омогућавају смањено излагање ризику људства приликом напредовања према положају противника, као и подршку класичним оклопним и механизованим јединицама. Коришћењем беспосадних возила у случајевима координисаног напада више самосталних јединица на један циљ (напад роја беспосадних возила – *swarm*) омогућава ефикасну употребу снага ради уништења противничких циљева високог значаја (бункери, командни центри и друго). При свему овоме, не треба ни занемарити психолошки ефекат на морал противника када се на бојишту бори против беспосадних аутономних система. При извођењу одбрамбених борбених дејстава, беспосадна возила се могу користити у дежурству на првој линији ради ефикасне употребе снага и процене ситуације на бојишту и јачине снага и маневра противника. Поред тога, употребом ових система смањује се могућност тактичког изненађења противничких снага, док самоуништавајућа беспосадна возила омогућавају нове облике противоклопне борбе. Предности употребе беспосадних платформи у мисијама извиђања противничких снага огледају се пре свега у повећаној борбеној издржљивости ових система на бојном пољу услед чињенице да се ови системи теже откривају, као и добијању и обради информација о противничким снагама у реалном времену, што је од изузетног значаја за одлуке команданта и извођење борбених дејстава. У логистичком смислу, борбене платформе омогућавају бољу заштиту снага приликом дотура муниције и других логистичких потреба јединицама у непосредном борбеном контакту, као и могућности за извлачење рањених и повређених из непосредног борбеног контакта. Као један од најкомплекснијих садржаја борбених дејстава издваја се урбано ратовање, па се беспосадне платформе могу користити у ватреној подршци сопствених снага у уским пролазима и улицама, као и елемената извиђања борбеног распореда противника стационираним у зградама и пролазима пре наступања

сопствених снага. Услед брзог прилагођења променљивим условима извођења борбених дејстава (непријатељска активност, промена временских услова или специфични задаци које захтевају прецизну навигацију кроз тешке терене), беспосадне платформе омогућавају висок степен флексибилности у планирању и извршавању операција.

Међутим, прелазак на беспосадне аутономне системе доноси и изазове у погледу сигурности употребе, етике и тактике. Наиме, беспосадне платформе су рањиве на електронско ометање и обманивање, те ометање везе система са управљачком станицом може довести до прекида управљања њеним радом. Поред тога, постојање могућности преузимањем контроле над беспосадним системом од стране противника представља посебан изазов у њиховој употреби и захтева унапређење система сајбер безбедности. Такође, беспосадна возила малих димензија су осетљива на директне поготке из пешадијског наоружања и имају ограничену аутономију рада услед извора енергије релативно малог капацитета. Вероватноћа правилне класификације циљева код аутоматске детекције и класификације циљева није у потпуности сигурна, што значи да постоји могућност погрешне класификације циљева (на пример цивилно возило се може детектовати као војно возило), док се отказ беспосадних платформи може догодити у критичним тренуцима мисије. Са становишта етичких разматрања беспосадна аутономна возила дехуманизују ратна дејства и поставља се питање да ли овакви системи могу одлучивати о смрти или рањавању противника. Питање одговорности грешака ових борбених система остаје отворено: да ли се за евентуалне цивилне жртве и штету на цивилној инфраструктури може сматрати одговорним командант, програмер или оператор беспосадног система.

На основу наведеног може се нагласити да аутономна возила трансформишу војну тактику и операције, омогућавајући брже, сигурније и ефикасније извршавање задатака, али истовремено постављају нове изазове у погледу безбедности, регулације и стратегије и тактике ратовања.

## **ИЗАЗОВИ У ПРОЈЕКТОВАЊУ СИСТЕМА ВОЂЕЊА И УПРАВЉАЊА**

Са становишта техничког развоја, пројектовање система вођења и система управљања беспосадним аутономним возилом укључује различите изазове, при чему оба система имају посебне задатке при

одговарајућем нивоу аутономног кретања. Систем вођења је задужен за перцепцију окружења и планирање путање. Он прикупља и обрађује податке са интегрисаних сензора возила, како би креирао модел окружења и одреди оптималну руту кретања за различите сценарије аутономног кретања. Овај систем обезбеђује кључне податке за систем управљања, укључујући информације о положају возила, препрекама и динамичким променама у окружењу. Главни изазови у погледу пројектовања и имплементације система вођења укључују обраду података у реалном времену, тачност перцепције окружења и противника у неповољним условима и доношење одлука у сложеним ситуацијама. У другу руку, систем управљања је одговоран за извршавање задатих инструкција које долазе из система вођења. На основу планиране путање, он контролише актуаторске компоненте (управљање, погон и кочење) како би возило прецизно следило задату путању. Кључни изазови укључују прецизну регулацију брзине и правца, робусност у условима променљивог оптерећења и отпорност система на непредвиђене поремећаје. Такође, систем управљања мора бити отпоран на кварове и осигурати стабилност возила у свим режимима рада. Повезаност ова два система аутономног кретања и њихова ефикасна интеграција кључни су за безбедно и поуздано функционисање беспасадних возила.

### **Изазови у пројектовању система вођења**

Постизање високих нивоа аутономије кретања поставља значајне изазове при пројектовању система вођења беспасадног возила, нарочито за сложене задатке аутономног кретања уз висок ниво перцепције окружења, као што су кретање по задатој путањи, кретање до задатих координата у простору, праћење лидера који се креће испред или иза возила, детекција, препознавање и избегавање препрека при кретању, препознавање снага противника и оцена степена њихове претње и друге. Реализација оваквих система захтева прецизно познавање тренутне позиције возила у простору, као и познавање окружења и елемената од интереса који се налазе у окружењу. Да би се то постигло, најчешће је неопходна интеграција података са различитих типова сензора широког фреквенцијског опсега, као и пројектовање и имплементација алгоритама за обраду података сензора у реалном времену. Тако на пример, при задатку кретања по задатој путањи или до задате координате у простору

неопходна је интеграција и обрада података инерцијалних сензора и сензора глобалног позиционирања, док задаци праћења лидера, детекције, препознавања и избегавања препрека захтевају примену оптичких, ласерских и/или радарских сензора. Такође, у случају детекције и праћења дефинисане путање, аутономна возила морају бити способна за функционисање у окружењима где путање нису јасно дефинисане и где различите препреке могу наметнути ограничења у видном пољу сензора возила. Кључни изазов при пројектовању алгоритама вођења је генерисање оптималне путање возила у динамичким и непредвидивим окружењима, са минимизацијом потрошње енергије, као и робусношћу на грешке и шуме у подацима сензора. Поред тога, имајући у виду захтеве за радом у реалном времену, неопходна је и оптимизација рачунске сложености алгорита, јер рачунски захтевни алгоритми захтевају велике ресурсе реализационог хардвера, што подиже цену беспосадног возила. Поред тога, системи вођења понекад захтевају додатне функционалности, као што је препознавање људских покрета и гестова, или покрета и формација других беспосадних возила, што додатно усложњава пројектовање и реализацију система. Поменути изазови наглашавају потребу за системом вођења који користи робусне алгоритме и који има способност да се прилагоди променљивим условима окружења и неочекиваним поремећајима.

### **Изазови у пројектовању система управљања**

Пројектовање система управљања беспосадним возилима поставља високе захтеве, пре свега због сложене динамике и кинематике кретања, као и најчешће променљиве интеракције погонских актуатора са тереном, што доводи до ефекта проклизавања погонских точкова/гусеница и/или бочног и уздужног клизања возила. Нелинеарни ефекти, временски променљиви параметри, утицај променљивих оптерећења и различити терени отежавају прецизно моделовање кретања возила, па алгоритми управљања морају бити робусни на различите типове поремећаја, непознавање и нестационарности модела објекта управљања.

Поред робусности, намеће се и захтев за високим перформансама у току аутономног кретања. То значи да систем управљања мора обезбедити прецизно праћење задате путање, стабилност и брзе реакције на промене у окружењу. Међутим,

постићи високе перформансе често захтева сложене алгоритме, што доноси изазов у балансирању између сложености реализације и ефикасности система. Превише комплексни алгоритми могу бити рачунарски захтевни, што отежава њихову имплементацију на хардверима са ограниченим ресурсима.

Још један од кључних аспеката је енергетска ефикасност пројектованог система. Наиме, управљање беспосадним возилом не треба само да осигура стабилност и прецизност, већ и да минимизује потрошњу енергије, посебно код електричних возила са ограниченим изворима напајања. То подразумева интелигентне стратегије управљања које смањују непотребну потрошњу енергије кроз оптимизују употребу погонских склопова и смањење непотребних убрзања и кочења возила.

На основу наведеног, може се закључити да пројектовани систем управљања мора задовољити баланс између робусности, перформанси, сложености и енергетске ефикасности, како би омогућио сигурно, стабилно и економично аутономно кретање беспосадних возила у различитим условима рада. Сходно томе, јасно је да у већини случајева стандардне индустријске управљачке методе не могу дати задовољавајуће карактеристике система, односно да развој одговарајућег управљачког система захтева примену напредних техника управљања, попут адаптивног, робусног и интелигентног управљања.

## **ПОТРЕБЕ ЗА НОВИМ КОМПЕТЕНЦИЈАМА ВОЈНОГ КАДРА**

Беспосадни аутономни системи су доступни на тржиштима, али набавка самих система или њихових компоненти се у највећем броју случајева сматра набавком средстава наоружања и војне опреме, што захтева обезбеђење посебних дозвола и *end-user* сертификата, па сходно томе може бити предмет рестрикција или технолошких ограничења приликом испорука. Приступ кључним војним технологијама, пре свега наоружања и војне опреме (у које између осталог спадају и беспосадни аутономни системи) се може ограничити у кризним ситуацијама и зато набавка ових система представља стратешки безбедносни ризик. Као алтернатива самом увозу већ развијених средстава и технологија, намеће се самостална производња ових технологија у чијем развоју кључну

улогу има високообразовани стручни професионални војни кадар који поседује неопходна знања у области пројектовања беспосадних аутономних платформи и одржавања и ефикасне употребе у борбеним и неборбеним ситуацијама. Један од неопходних корака у обезбеђењу професионалног кадра спремног да се посвети решавању проблема пројектовања и експлоатације сложених система, а пре свега беспосадних аутономних платформи, је модификација постојећих или дефинисање нових студијских програма војних школа и академије у складу за наметнутим изазовима.

Једна од основних савремених теорија у високом образовању базира се на дефинисању потребних компетенција за одговарајући кадар (Dragoo 2016, 2; Dyson 2019, 2). Примена оваквог приступа је неопходна и при постављању захтева за знањем будућих официра за обављање почетних дужности, односно за дефинисање структуре студијских програма војних школа и академија. У претходно описаном контексту убрзаног развоја и употребе беспосадних аутономних система у војним операцијама, Војна академија, Универзитета одбране у Београду, мора размотрити настале изазове и у складу са тим потребама модификовати постојеће и предложити нове студијске програме. Као што је већ напоменуто, беспосадне аутономне платформе представљају сложене системе за чије су пројектовање, одржавање и употребу потребна додатна знања из области електротехничког и рачунарског инжењерства (пројектовање алгоритама вођења и управљања овим возилима, као и методе и технике обраде података са различитих сензора који се налазе на овим возилима и примена техника вештачке интелигенције ради њиховог аутономног кретања у извршавању мисија и задатака, разумевање начина функционисања оваквих система и њихова ефикасна примена) и машинског инжењерства (пројектовање погонске групе, као и елемената трансмисије и материјала која обезбеђује довољну заштиту ових возила, као и разумевање машинских склопова возила што омогућава њихову ефикасну употребу). Може се закључити да завршетком школовања будући официри треба да поседују способности анализе, синтезе и предвиђања решења и могућих последица, као и овладавају методама, поступцима и процесима логичког размишљања у циљу решавања проблема развоја, одржавања и експлоатацији беспосадних аутономних платформи. Додатно, имајући у виду комплексност аутономних система и њихов убрзани технолошки напредак, потребно

је развијати и способност комуникације свршених кадета, не само са ужим радним и социјалним окружењем, већ и са широм академском и научном заједницом у циљу преношење и унапређења знања и вештина из разматране области.

На основу ових потреба за образовањем високостручног професионалног кадра, могу се идентификовати следеће кључне области који би требало да употпуне постојеће наставне планове и студијске програме:

Мехатроника и аутономни системи – беспосадна возила су комплексни мехатронички системи који комбинују механичке структуре, актуаторске склопове, сензорске системе и рачунарско управљање. Неопходно је да официри стекну основна и напредна знања из ове области како би разумели принцип функционисања возила и његовог ефикасног управљања.

Напредне технике аутоматског управљања – због сложене динамике и кинематике кретања аутономних возила, класичне технике управљања често нису довољне. Потребно је увести садржаје везане за робусно и адаптивно управљање, предиктивне методе управљања, алгоритме оптимизације путањи и вештачку интелигенцију за доношење одлука у реалном времену.

Напредни системи вођења и навигације – прецизно позиционирање беспосадних возила захтева комбинацију више технологија, укључујући *GPS*, инерцијалне навигационе системе, и друге методе дефинисања позиције возила. Будући официри морају разумети како ови системи функционишу, принципе фузије података и методе генерисања оптималне путање.

Обрада сензорских података и вештачка интелигенција – аутономна возила користе различите типове сензора за перцепцију окружења, па је од нарочитог интереса образовање официра у обради и анализи података прикупљеним сензорима који раде у различитим деловима електромагнетног спектра, као и у развоју и имплементацији алгоритама вештачке интелигенције, а нарочито машинског учења за препознавање објеката и доношење одлука у реалном времену.

Тактика употребе – тактичке примене беспосадних система захтевају да поред техничких знања, будући официри разумеју могућности и предности које доносе беспосадни аутономни системи у односу на конвенционално наоружање. Ово укључује нове стратегије и тактику за извиђање, логистичку подршку, борбене

операције и интеграцију аутономних платформи са постојећим системима наоружања.

Поред дефинисаних стручно-специјалистичких и апликативних знања, додатну пажњу је потребно посветити и развоју високо мотивисане личности будућег официра и развијању његових лидерских способности у свом непосредном радном окружењу. Како би се овај циљ остварио, потребно је и ревалоризација улоге морала војске, војне психологије и других области војних друштвених наука, како би се имплементирала знања и развила високо мотивисана личност официра и дали одговори на етичке изазове примене нових технологија, пре свега вештачке интелигенције, што је изузетно изражено у беспосадним аутономним системима.

Сходно наведеном, јасно је да Војну академију у ближој будућности очекује акредитација нових студијских програма и један од императива развоја нових курикулума представља идентификација нових технолошких изазова и безбедносних претњи, као и дефинисање потребних знања војног кадра, у склопу пружања одговора на њих, а у циљу одбране независности и самосталности Републике Србије.

## ЗАКЉУЧАК

У овом раду анализирана је употреба и изазови у развоју беспосадних аутономних возила. Поред тога, идентификована су потребна знања војног кадра неопходна за пројектовање, експлоатације и одржавања оваквих система. Сагледани су основни аспекти тактичке и оперативне употребе у војним операцијама, као и правци развоја беспосадних аутономних возила, кроз призму пројектовања система вођења и управљања возилом. У погледу потребних компетенција војног кадра, може се закључити да је неопходно развијати различита знања, мултидисциплинарна и интердисциплинарна, која су неопходна како би се разумели и искористили сви бенефити аутономних система, а такође и омогућило унапређење тренутних способности. Сходно томе, знања и искуства стечена током овог истраживања представљаће основу за модификацију постојећих и имплементацију нових студијских програма у оквиру система војног школства.

Даљи правци истраживања односиће се на изазове пројектовања експертских система за подршку одлучивању у доношењу војних

одлука заснованих на вештачкој интелигенцији, што ће додатно унапредити могућности аутономних система и додатно дефинисати потребне компетенција будућих официра у супротстављању изазовима и претњама безбедности у будућности.

## РЕФЕРЕНЦЕ

- СКБ МОРФ. n.d. “Уран-9.” *СКБ МОРФ*. Poslednji pristup 18. april 2025. <https://skbmo.ru/uran9.html>.
- Army Technology. 2020. “Talon Tracked Military Robot.” *Army Technology*. February 21, 2020. <https://www.army-technology.com/projects/talon-tracked-military-robot/>.
- Arquilla, John. 2021. *Bitzkrieg: the new challenge of cyberwarfare*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Boretti, Alberto. “Unmanned surface vehicles for naval warfare and maritime security.” *The Journal of Defense Modeling and Simulation* 1–10. DOI: 10.1177/15485129241283056.
- Boyd, John R. 2018. *A discourse on winning and losing*. AL: Air University Press.
- Brose, Christian. 2020. *The kill chain: Defending America in the future of high-tech warfare*. New York: Grand Central Publishing.
- Clausewitz, Carl von. 2021. *On War (Vom Kriege)*. Oklahoma: Mosaic Books.
- Dorić, Marija, i Vanja Glišin. 2023. „Upotreba veštačke inteligencije u rusko-ukrajinskom ratu.” *Politika nacionalne bezbednosti* 25 (2): 59–76. DOI: 10.5937/pnb25-47369.
- Dragoo, Amie, and Richard Barrows. 2016. “Implementing competency-based education: Challenges, strategies, and a decision-making framework.” *The Journal of Continuing Higher Education* 64 (2): 73–83.
- Dyson, Tom. 2019. “The Military as a learning organisation: establishing the fundamentals of best-practice in lessons-learned.” *Defence Studies* 19 (2): 107–129.
- Frunze, Mikhail V. 2019. “A Unified Military Doctrine for the Red Army.” In *The Soviet Art Of War*, eds. Harriet Fast Scott and William Scott, 27–31. London: Routledge.
- Gao, Sheng, Jiazheng Wu, and Jianliang Ai. 2021. “Multi-UAV reconnaissance task allocation for heterogeneous targets using

- grouping ant colony optimization algorithm.” *Soft Computing* 25 (10): 7155–7167.
- Global Defense News Army Recognition Group [GDNARG]. 2024. “Ukrainian Forces Revolutionize Robotic Warfare Using Ratel-S Ground Robot for Bridge Destruction.” *Global defense news*. April 7, 2024. <https://armyrecognition.com/focus-analysis-conflicts/army/conflicts-in-the-world/russia-ukraine-war-2022/ukrainian-forces-use-ratel-s-ground-robot-to-revolutionize-robotic-warfare-in-bridge-destruction>.
- Himmel, Damian. 2024. *Generalfeldmarschall Helmuth von Moltke (1800–1891)*. Geschichte: Polen–Schlesien–Deutschland–Europa.
- Huang, Qian, Xianming Ma, Kun Liu, Xinyi Ma, and Weijian Pang [Huang et. al]. 2022. “Autonomous reconnaissance action of swarm unmanned system driven by behavior tree.” In *IEEE International Conference on Unmanned Systems [ICUS]*, 1540–1544. Guangzhou: IEEE.
- Miljković, Milan, i Hatidža Beriša. 2023. „Primena veštačke inteligencije u savremenom ratovanju.” *Politika nacionalne bezbednosti* 25 (2): 77–98. DOI: 10.5937/pnb25-46935.
- Milrem Robotics. n.d. “THEMIS.” *Milrem Robotics*. Poslednji pristup 18. april 2025. <https://milremrobotics.com/themis-family/>.
- Milrem Robotics. n.d. “Type-X.” *Milrem Robotics*. Poslednji pristup 18. april 2025. <https://milremrobotics.com/type-x-2/>.
- Rapin, Ami-Jacques. 2023. “Rethinking Lines of Operations: Jomini’s Contribution to the Conceptualization of Strategy in the Early Nineteenth Century.” *War in History* 30 (1): 21–37.
- Rubio, Francisco, Francisco Valero, and Carlos Llopis-Albert. 2019. “A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications.” *International Journal of Advanced Robotic Systems* 16 (2). DOI: 10.1177/1729881419839596.
- Sethi, Ishvar K. 2024. *Autonomous Vehicles and Systems: A Technological and Societal Perspective*. New York: Routledge.
- Singer, Peter Warren. 2009. *Wired for war: The robotics revolution and conflict in the 21st century*. London: Penguin.
- Strategija opštenarodne odbrane i društvene samozaštite SFRJ*. 1987. Beograd: Savezni sekretarijat za narodnu odbranu i Centar oružanih snaga za strategijska istraživanja i studije „Maršal Tito”.
- Wang, Gang, Xiao Lv, Liangzhong Cui, and Xiaohu Yan [Wang et al.]. 2023. “The methods of task pre-allocation and reallocation for

- multi-UAV cooperative reconnaissance mission.” *IET Collaborative Intelligent Manufacturing* 5 (4): 1–16. DOI: 10.1049/cim2.12090.
- Zhao, Yongyong, Jinghua Wang, Guohua Cao, Yi Yuan, Xu Yao, and Luquiang Qi [Zhao et al.]. 2023. “Intelligent control of multilegged robot smooth motion: a review.” *IEEE Access* 11: 86645–86685.
- Zou, Ting, Jorge Angeles, and Ferri Hassani. 2018. “Dynamic modeling and trajectory tracking control of unmanned tracked vehicles.” *Robotics and Autonomous Systems* 110: 102–111. DOI: 10.1016/j.robot.2018.09.008.

**Momir Stanković\***

*Military academy, University of Defence,  
Belgrade, Republic of Serbia*

**Dimitrije Bujaković\*\***

*Military academy, University of Defence,  
Belgrade, Republic of Serbia*

**UNMANNED AUTONOMOUS VEHICLES:  
CHALLENGES IN DEVELOPMENT  
AND MILITARY APPLICATIONS AND THE  
NEED FOR NEW COMPETENCIES  
OF MILITARY PERSONNEL\*\*\***

**Resume**

The development of unmanned autonomous vehicles represents one of the most dynamic directions of contemporary technological evolution, with increasingly widespread applications in the civilian and primarily the military domain. Although *unmanned and autonomous vehicles* are often used interchangeably, this paper highlights their essential distinction and the importance of integrated decision-making capabilities for achieving full autonomy. Modern trends in the production of sensors, communication, and power components have enabled the development of complex systems for environmental perception, path planning, and motion control, significantly influencing the transformation of concepts in military operations. The paper analyzes the historical development of unmanned autonomous vehicles, the levels of their autonomy, and their impact on the execution of modern military operations. Considering the pace of technological advancement and achievements, an even more intensive use of autonomous systems can be expected in future armed conflicts, which imposes the need to define the required knowledge and

---

\* E-mail address: momir.stankovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-8371-9341.

\*\* E-mail address: dimitrije.bujakovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-7053-9293.

\*\*\* The paper is a result of research conducted in the project of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia: Design of an expert system based on artificial intelligence for assessing the situation on the battlefield (BA-TT/1/25-27).

competencies for military personnel involved in their development and operational use. These competencies include mechatronics, automatic control, guidance, artificial intelligence, deployment tactics, logistical support, and others. The paper recognizes the need to enhance military education by integrating technological innovations and developing new academic programs to train personnel capable of creating, maintaining, and efficiently operating unmanned autonomous systems in a dynamic security environment.

**Keywords:** Unmanned Autonomous Vehicle, Control system design, Guidance system design, Military application of Unmanned Autonomous Vehicle, Military education.

---

\* Овај рад је примљен 22. априла 2025. године, а прихваћен за штампу на састанку Редакције 14. маја 2025. године.