

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ФАКУЛТЕТ БЕЗБЕДНОСТИ  
КАТЕДРА СТРАТЕШКИХ И ОДБРАМБЕНИХ СТУДИЈА



## ТРЕНДОВИ РАЗВОЈА ВАЗДУХОПЛОВНОГ НАОРУЖАЊА

- ДИПЛОМСКИ РАД -

Ментор:  
Проф.др Петар Станојевић  
редовни професор

Студент:  
Лазар Микић  
128/21

Београд, 2025



## Садржај:

1.	Увод.....	5
1.1.	Предмет истраживања.....	6
1.2.	Проблем истраживања.....	6
1.3.	Циљ истраживања.....	6
1.4.	Истраживачка питања.....	7
1.5.	Материјали и методе истраживања.....	7
2.	Појам и врсте ваздухопловног наоружања.....	8
2.1.	Ваздухопловно ватрено (топовско) наоружање.....	9
2.2.	Бомбардерско наоружање (невођене и вођене бомбе).....	10
2.3.	Ракетно наоружање (ваздух-ваздух, ваздух-земља).....	12
2.4.	Средства за електронско ратовање.....	13
3.	Историјски развој ваздухопловног наоружања.....	15
4.	Савремено ваздухопловно наоружање водећих светских сила.....	18
4.1.	Капацитети и наоружање Сједињених Америчких Држава.....	18
4.2.	Капацитети и наоружање Руске Федерације.....	21
4.3.	Капацитети и наоружање Народне Републике Кине.....	23
4.4.	Капацитети и наоружање других земаља.....	25
4.5.	Капацитети и наоружање РВ Војске Србије.....	27
4.6.	Компаративни приказ способности ваздухопловног наоружања водећих светских сила и других земаља.....	28
5.	Савремени трендови у развоју ваздухопловног наоружања.....	30
5.1.	Развој "Stealth" технологије.....	30
5.2.	Хиперсонично наоружање као нови стратешки чинилац.....	31

5.3.	Примена вештачке интелигенције (AI) и аутономије .....	32
5.3.1.	Концепт "Лојалног пратиоца" (Collaborative Combat Aircraft) .....	33
5.3.2.	Ројеви дронова .....	34
5.4.	Развој оружја усмерене енергије (DEW).....	35
5.5.	Умрежавање и концепт "систем система" (System of Systems) .....	36
5.6.	Искуства из употребе у украјинском рату .....	37
6.	Будућност развоја и импликације на међународну безбедност.....	40
6.1.	Пројекције ваздушне борбе у будућности: Од платформе до система	40
6.1.1.	Ловац шесте генерације као командно чвориште .....	40
6.1.2.	Доминација аутономних "Лојалних пратилаца" (CCA).....	41
6.1.3.	Превласт брзине .....	42
6.2.	Стратешке и етичке импликације нових технологија .....	42
6.2.1.	Ерозија стратешке стабилности и нова трка у наоружању.....	43
6.2.2.	Етичка дилема аутономије: Убојно аутономно наоружање (LAWS) 44	
6.2.3.	Разорни утицај на економију рата и демократизација моћи.....	46
7.	Закључак .....	47
8.	Литература .....	48

## 1. Увод

Ваздухопловно наоружање представља скуп борбених средстава која се носе и примењују са ваздухопловних платформи, чинећи окосницу савремене војне моћи и један од најдинамичнијих сегмената одбрамбене технологије уопште. Његов развој, од првих рудиментарних бомби бачених из авиона у Првом светском рату па до данашњих хиперсоничних пројектила, беспилотних платформи и аутономних система вођених вештачком интелигенцијом, одражава дубоке промене у начину на који државе схватају и остварују војну превласт.

Са појавом млазних авиона, прецизно вођених ракета и стелт технологија, ваздухопловне снаге постале су носилац стратешког одвраћања и инструмент креирања политичког утицаја. Модерно ратовање све више почива на брзини реакције, домету, прецизности и способности деловања у вишедимензионалном оперативном простору, што ваздухопловно наоружање чини кључним у процесу планирања и реализације војних операција. Улога ваздухопловства прешла је пут од помоћног извиђачког средства до доминантне силе, способне да пројектује моћ на глобалном нивоу и у најкраћем року оствари стратешке циљеве.

Како истиче Warden, овладавање ваздушним простором и ефективна примена наоружања из ваздуха представљају предуслов за успех свих осталих војних операција, било да је реч о копненим, поморским или хибридниим. У ери у којој су брзина, прецизност и информациона надмоћ подједнако важни као и ватрене моћи, развој ваздухопловног наоружања постаје централно питање војне стратегије и националне безбедности.

Циљ истраживања је да се, на основу анализе доступне стручне литературе и савремених војних података, утврди систематична класификација ваздухопловног наоружања, сагледа његов историјски развој и кључне технолошке прекретнице, упореде капацитети и развојни правци САД, Русије,

Кине и других релевантних актера, као и да се идентификују доминантни трендови и процене њихове импликације на глобалну безбедност.

### *1.1. Предмет истраживања*

Предмет истраживања овог рада је ваздухопловно наоружање у својој целокупности, са посебним фокусом на савремене технолошке трендове који трансформишу природу ваздушне борбе. Истраживање обухвата историјску генезу развоја средстава, њихову класификацију, анализу тренутних капацитета водећих светских сила, као и пројекцију тока развоја ових средстава у будућности.

### *1.2. Проблем истраживања*

Проблем истраживања произилази из уоченог раскорака између традиционалних војних доктрина и експоненцијалног технолошког напретка. Увођење система који користе вештачку интелигенцију за све па и за аутономно одлучивање ствара нове безбедносне изазове на које постојећи системи одбране и међународни правни оквири немају адекватан одговор. Проблем се огледа у питању како ће ови технолошки трендови променити стратешку равнотежу моћи и саму природу ратовања у 21. веку.

### *1.3. Циљ истраживања*

Циљ истраживања је да се на основу анализе доступне стручне литературе и савремених војних података:

1. Дефинише и класификује ваздухопловно наоружање.
2. Сагледа историјски континуитет и технолошке прекретнице у његовом развоју.
3. Упореди капацитети и развојни правци САД, Русије и Кине и других.

4. Идентификују кључни трендови и процене њихове импликације на глобалну безбедност.

#### **1.4. Истраживачка питања**

У складу са проблемом и циљем, у раду се покушава дати одговор на следећа истраживачка питања:

1. Како је историјски развој технологије утицао на промену тактике употребе ваздухопловног наоружања?
2. Које су кључне разлике и сличности у приступу развоју наоружања између водећих светских сила?
3. На који начин примена вештачке интелигенције и аутономије мења улогу човека у ваздушној борби?
4. Какве су стратешке и етичке последице увођења хиперсоничног и аутономног наоружања по међународну стабилност?

#### **1.5. Материјали и методе истраживања**

За потребе истраживања коришћене су следеће научне методе: метод анализе садржаја за проучавање стручне литературе и војних извештаја, историјски метод за приказ еволуције наоружања, и компаративни метод за поређење арсенала различитих држава.

## 2. Појам и врсте ваздухопловног наоружања

Ваздухопловно наоружање, у најширем смислу, обухвата сва средства која служе за уништавање, онеспособљавање или неутралисање циљева у ваздуху, на земљи или на мору, а која су пројектована за ношење и употребу са ваздухопловних платформи (авиона, хеликоптера, беспилотних летелица). У „Војном лексикону“ из 1981. године, наоружање се дефинише као „скуп средстава за борбу“. Из тога произилази да ваздухопловно наоружање није само пројектил или бомба, већ цео систем, укључујући и уређаје за навођење, нишањење и ометање.

Ваздухопловно борбено средство има три основне компоненте: уређај за ношење и лансирање (ваздухоплов), само наоружање (бојева глава) и систем за управљање и навођење. Ова средства се константно развијају, пратећи потребе за повећаном прецизношћу, већим дометом и смањеном учљивошћу.

Класификација ваздухопловног наоружања представља основни аналитички корак у проучавању савремених ваздухопловних система и њихове тактичке примене. Правилно дефинисана класификација омогућава разумевање улоге сваког оружја у систему борбених дејстава, идентификацију његових техничких карактеристика, као и процену његове ефикасности у различитим мисијским условима (Корр, 2019).

У војној теорији се наоружање најчешће класификује према неколико основних критеријума: принципу дејства, намени, врсти циља, начину навођења, месту ношења и тактичкој улози (Werrell, 2022). Међутим, у савременој пракси авијација најчешће примењује поделе према принципу дејства (која омогућава разграничење између ватреног, бомбардерског, ракетног и електронског наоружања) и према положају циља (ваздух-ваздух и ваздух-земља), јер ове две категорије најдиректније одговарају оперативним потребама и моделима употребе оружја у реалним борбеним сценаријима (Gertler, 2020).

С обзиром на константан технолошки напредак, савремена класификација ваздухопловног наоружања обухвата и нове категорије као што су хиперсонични системи, ударни дронови и автономне летелице, што указује на динамику развоја и потребу за континуираним ажурирањем тактичких и техничких стандарда (Sayler, 2021).

### *2.1. Ваздухопловно ватрено (топовско) наоружање*

Ваздухопловно ватрено или топовско наоружање представља најстарији облик наоружања који је коришћен на војним авионима и чини темељ развоја ране ваздушне борбе. Ова категорија обухвата ваздухопловне митраљезе и топове.

Упркос томе што су ракетни системи данас доминантни у модерним ваздушним операцијама, топовско наоружање задржава значајну тактичку вредност, нарочито у блиској ваздушној борби, подршци копненим снагама и задацима контролисане примене силе (Werrell, 2022). Ово се нарочито односи на блиску маневарску борбу (dogfight), где електронске контрамере могу да наруше ефикасност ракета, док механичко дејство топа остаје поуздано и непосредно. Савремени авионски топови одликују се високом брзином паљбе, употребом вишецевних Гатлинг система, великом почетном брзином пројектила и компактношћу и способношћу интеграције у труп или крило авиона (Корр, 2019).

Најзаступљенији калибри су 20 mm у НАТО системима и 23–30 mm у руским и кинеским платформама, који обезбеђују значајну разорну моћ и пенетрацију (Werrell, 2022). Вишецевни системи, као што је M61 Vulcan, постижу 4.000–6.000 метака у минути, што им омогућава да у кратком временском интервалу нанесу велику штету циљу (Gertler, 2020).

Савремени примери топовског наоружања обухватају више врло ефикасних система, међу којима се истичу M61 Vulcan (20 mm), шестоцевни Гатлинг топ интегрисан на ловцима F-15, F-16, F/A-18 и F-22; GAU-8/A Avenger (30 mm), најмоћнији авионски топ на свету уграђен у јуришни авион A-10 Thunderbolt II

(Слика 1); затим ГШ-30-1 (30 mm), руски топ високе прецизности који се користи на авионима МиГ-29, Су-27 и Су-35; као и кинески системи серије Тип 23-3 / 30 mm, који представљају модернизоване верзије руских топова и интегрисани су на авионима Ј-10, Ј-11 и Ј-16. На слици 1 испод, приказан је пример гетлинг топа GAU-8 са јуришног авиона А-10.



Слика 1: Пример гетлинг топа GAU-8 са јуришног авиона А-10 поред путничког аутомобила(airvectors.net)

## 2.2. Бомбардерско наоружање (невођене и вођене бомбе)

Бомбардерско наоружање представља основну категорију ваздухопловног наоружања намењену за уништавање циљева на копну и мору. Оно се традиционално дели према начину дејства на средства са непосредним дејством (бомбе и гранате) и средства са посредним дејством (касетне бомбе, контејнери са субмуницијом), при чему су класичне и савремене бомбе најзаступљенији вид убојних средстава у војним ваздухопловствима широм света (Gunston, 2004).

Традиционална подела по управљивости обухвата невођене (обичне) бомбе и вођене (паметне) бомбе. Ова подела директно произлази из степена контроле путање бомбе након испуштања из летелице.

Невођене бомбе испуштају се без икаквог система навођења и крећу се слободним падом по балистичкој путањи, а прецизност им зависи од висине, брзине, времена испуштања и спољашњих атмосферских утицаја (Корр, 2019). Најчешће коришћене невођене бомбе су фугасне авио-бомбе (слика 2). ФАБ бомбе су најчешћи модел у источноевропским и азијским

системима, док НАТО користи серије Mk-80 (Mk-82, Mk-83, Mk-84) као стандардну основу за вођене и невођене конфигурације (Gunston, 2004). На слици 2 налази се пример Руске невођене авиобомбе ФАБ-500.



Слика 2: Пример руске невођене авиобомбе ФАБ-500 (vitalykuzmin.net)

Вођене бомбе (ВАБ или Precision-Guided Munitions- PGM) су револуционирале ваздушну борбу крајем 20. века. Оне користе различите системе навођења, укључујући ласерско, ТВ, инфрацрвено навођење или систем глобалног позиционирања чиме постижу изузетну прецизност и омогућавају уништење тачкастих циљева са мањим ризиком од колатералне штете. Најчешћа варијанта оваквих бомби јесу заправо обичне фугасне авио бомбе на којима су монтирана крила и инсталиран систем глобалног позиционирања (GPS/INS/ГЛОНАСС). На овај начин се од обичних бомби, на ефикасан и јефтин начин стварају прецизна убојна средства која се самостално наводе на циљ те пилот непосредно након њиховог испуштања може да се извуче из зоне дејства. Најраспрострањенија вођена бомба у свету је ЈДАМ. ЈДАМ представља кит који се монтира на класичну Mk-80 бомбу и претвара је у прецизно навођено оружје са GPS/INS системом (Gertler, 2020). На слици 3 приказано је испуштање вођених бомби јдам из авиона F-16.



Слика 3: Испуштање вођених бомби ЈДАМ из авиона F-16 (USAF,2004)

### 2.3. Ракетно наоружање (ваздух-ваздух, ваздух-земља)

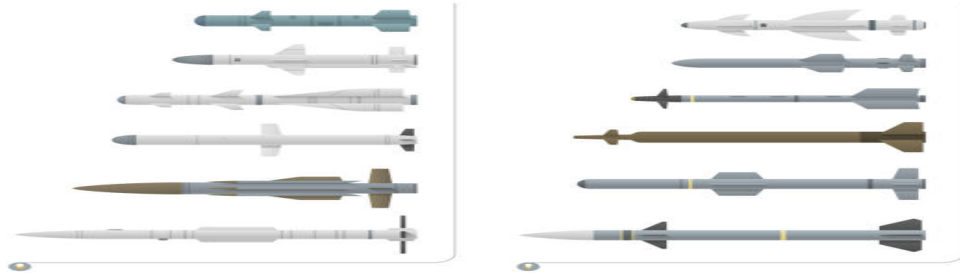
Ракетно наоружање је најдоминантнија категорија савременог ваздухопловног наоружања. Нове ракете поседују сопствени погон и могу се лансирати са безбедне удаљености, знатно повећавајући шансе за преживљавање ваздухопловне платформе са које се ракета лансира. Ракете се наводе помоћу главе за самонавођење покретљивих крилаца и интегрисаног рачунара. Класификују се према циљу па се тако издвајају две основне групе: ваздух-ваздух и ваздух-земља (Gunston, 2004).

Ракете ваздух-ваздух намењене су уништавању противничких летелица и других циљева у ваздушном простору. Деле се на ракете кратког домета (најчешће навођене топлотом, нпр. AIM-9 Sidewinder или R-73), средњег домета (најчешће радарско навођење, нпр. AIM-120 AMRAAM или R-77) и дугог домета (најчешће кобиновано командно и радарско навођење, нпр. R-37М или PL-15). Постоје многи облици и дизајнерска решења ових ракета. На слици 4 налази се више примера ракета ваздух-ваздух (Слика 4).



Слика 4: Више примера ракета ваздух-ваздух (Grim Reapers, 2018)

Ракете ваздух-земља служе за уништавање циљева на тлу или мору. Овде спадају противтенковске ракете, противрадарске ракете и крстареће ракете које могу имати домет од неколико стотина па и хиљада километара (Слика 5) (Werrell, 2022). На слици 4 налази се више примера ракета ваздух-земља.



Слика 5: Више примера ракета ваздух-земља (youtube.com)

#### 2.4. Средства за електронско ратовање

Иако не представљају конвенционална "оружја" у смислу убојних средстава, средства за електронско ратовање (ЕБ и ПЕД) су кључни део ваздухопловног наоружања јер ометају, онеспособљавају или неутралишу противничке електронске системе. Електронско ратовање обухвата све активности усмерене на употребу електромагнетног спектра ради ометања или заштите сопствених снага. Модерни системи су интегрисани у авионе или се носе у подкрилним контејнерима. Ова средства се могу поделити на средства за електронско ометање противничких радара и комуникација, системе за електронско извиђање и прикупљање података и мамце који ометају вођене пројектиле (Genova, 2018).

Средства за електронско ометање противничких радара и комуникација су системи који умањују непријатељске електронске могућности а њихова примена је од суштинске важности за преживљавање ваздухоплова у високоризичним окружењима и окружењима засићеним слојевитим системом ПВО. Они користе напредне функције као што је формирање електромагнетног снопа усмерене снаге ка циљу, константно емитовање електромагнетних таласа на раличитим фреквенцијама или сузбијање вишеструких претњи истовремено (Adamy, 2001).

Системи за електронско извиђање и прикупљање података служе да извиђање и прикупљање података врше у електромагнетном спектру. Ови истеми

пресрећу противничку комуникацију, откривају радарске положаје, распореде јединица и све остале значајније изворе електромагнетног зрачења. Они су често и једини системи монтирани на специјализоване ваздухоплове за те сврхе и врло су значајни за припрему било какве борбене операције. На слици 6 налази се пример система за електронску борбу и звиђање монтираног на горњем делу змаја кинеског авиона Y-8GX-12.



Слика 6: Пример система за електронску борбу и звиђање монтираног на горњем делу змаја кинеског авиона Y-8GX-12 (Airliners.net)

Мамци ометају вођене пројектиле и намењени су за непосредну одбрану ваздухоплова од истих. Ови мамци се по потреби испуштају из ваздухоплова са циљем ометања и збуњивања вођених пројектила који нападају летелицу. Најчешћа врста ових мамаца јесу инфрацрвени мамци који својом великом температуром горења збуњују главу за самонавођење на ракетама које се у том спектру самонаводе на циљ. (Genova, 2018). На слици 7 приказано је испуштање ИЦ Мамаца из контејнера монтираних на хеликоптеру Еурокоптер Тигар.



Слика 7: Испуштање ИЦ Мамаца из контејнера монтираних на хеликоптеру Еурокоптер Тигар (lacroix-defence.com)

### 3. Историјски развој ваздухопловног наоружања

Историја ваздухопловног наоружања је прича о константној технолошкој трци, где је свака иновација директно утицала на доктрине ратовања. Од импровизованих почетака до прецизних система, еволуција наоружања пратила је потребу за већом ефикасношћу, досегом и безбедношћу платформе са које се дејствује. Овај развој се може поделити у неколико кључних фаза које су обликовале савремено бојиште.

На почетку Првог светског рата, авиони су првенствено коришћени за извиђање. Први облици "наоружања" били су импровизовани и често лична иницијатива пилота, који су носили пиштоље, пушке или ручне бомбе које су бацали на непријатељске положаје или друге авионе. На слици 8 приказано је како је изгледало бацање авио бомбе у Великом рату. Потреба за обарањем противничких извиђачких авиона брзо је довела до првих иновација. Штавише, прва ваздушна борба догодила се током битке на Церу између српског и аустроугарског пилота, а борба се водила употребом пиштоља.



Слика 8: Бацање авио бомбе помоћу руке у Великом рату (iwm.org.uk)

Кључни пробој био је развој синхронизованог митраљеза, који је омогућио пилоту да пуца кроз елисе а да је не оштети тако што се рад митраљеза и мотора синхронизовао. Ово је трансформисало авион у праву борбену машину – ловца. Истовремено, развијале су се и прве авио-бомбе које су, иако не прецизне, имале значајан психолошки и тактички утицај, најављујући еру стратешког бомбардовања (Група аутора, 1987).

Други светски рат представљао је квантни скок у развоју ваздухопловног наоружања. Топовско наоружање је постало стандард, са повећањем калибра (са 7.62mm на 20-30mm), што је омогућило уништавање већих авиона и оклопљених бомбардера. Појава и уградња система за управљање ватром као и успешна синтеза ракетног горива омогућава развој невођених ракетних зрна што је омогућило ловцима-бомбардерима да ефикасно нападају оклопна возила и утврђене тачке (Gunston, 2004). На слици 9 приказан је пример наоружавања авиона невођеним ракетним зрнима.



Слика 9: Пример наоружавања авиона невођеним ракетним зрнима (National Archivments and Records Administration)

У овом периоду су се појавили и први прототипи вођеног наоружања. Немачка је била пионир са развојем вођене бомбе *Fritz X* и вођене ракете Henschel Hs 293, обе радио-командно вођене путем дојстика, које су представљале прво масовно коришћено оружје са аутономним навођењем (иако не прецизним). Ове иновације, иако су се појавиле прекасно да промене ток рата, поставиле су темеље за хладноратовски развој (Grant, 2007). На слици 10 налази се прва вођена бомба *Fritz X*.



Слика 10: Прва вођена бомба *Fritz X* (primaair.org)

Период Хладног рата је био обележен трком у наоружању и страхом од нуклеарног сукоба. Развој ваздухопловног нуклеарног наоружања (невођених бомби и касније крстарећих ракета) дао је ваздухопловству главну улогу у стратешком одвраћању. Међутим, највећа тактичка револуција догодила се у домену вођених ракета ваздух-ваздух.

Развој ракета са инфрацрвеним (топлотним) навођењем (нпр. амерички *Sidewinder* AIM-9) и радарским навођењем (нпр. *Sparrow* AIM-7) променио је парадигму ваздушне борбе. Блиска борба (тзв. догфајт, енгл. "dogfight") уступила је место борби "иза хоризонта", где су авиони могли да гађају циљеве на десетинама километара удаљености. Ово је директно утицало на дизајн авиона, који су постајали платформе за софистициране сензоре и ракете (Vlačić, 2012).

Иако су прве вођене бомбе коришћене још у Вијетнамском рату, тек је Заливски рат 1991. године демонстрирао пуну снагу прецизно вођене муниције (ПГМ, енгл. PGM). Овај сукоб је у јавност увео слике ласерски вођених бомби (ЛГБ, енгл. LGB) које погађају тачкасте циљеве са изузетном прецизношћу. Како наводи Warden (1995), способност уништавања кључних чворова (командна места, мостови, извори енергије) уз минималну колатералну штету, постала је централни елемент америчке ваздушне доктрине.

Убрзо након тога, развој GPS/INS вођених бомби (нпр. JDAM - *Joint Direct Attack Munition*) учинио је прецизно наоружање јефтиним, масовно доступним и отпорним на временске услове (који су ометали ласерско вођење). Ова "револуција у прецизности" омогућила је да један авион у једном налету уништи више циљева, што је раније захтевало десетине или стотине бомбардера (Cvetković, 2008). Ова фаза представља директан увод у савремено доба ратовања.

#### **4. Савремено ваздухопловно наоружање водећих светских сила**

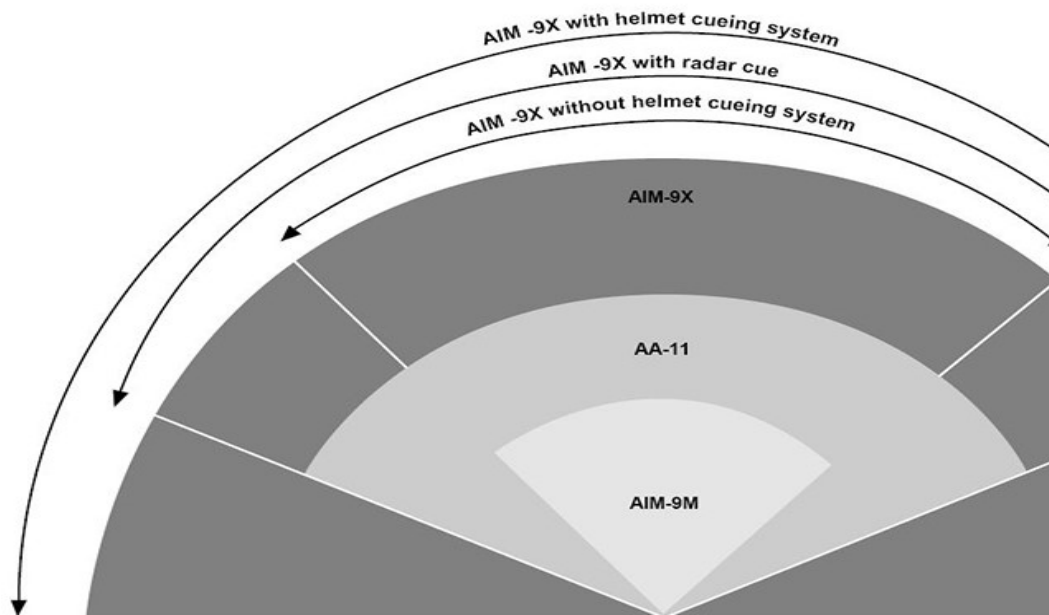
Analiza savremenog vazduhoplovnog naoružanja pruža najjasniji uvid u vojnu moć, tehnološki razvoj i strateške ambicije vodećih svetskih sila. U 21. veku, superiornost u vazduhu nije definisana samo kvalitetom platforme (aviona), već pre svega sposobnostima naoružanja koje ona nosi. Efikasnost senzora, domet projektila, stepen "nevidljivosti" (Stealth) i sposobnost umrežavanja postali su ključni parametri. Vodeće sile – Sjedinjene Američke Države, Ruska Federacija i Narodna Republika Kina – vode intenzivnu trku u razvoju sistema koji treba da obezbede dominaciju u budućim sukobima. Pored njih, analiziraće se i kapaciteti drugih važnih zemalja, kao i kapaciteti Ratnog vazduhoplovstva Vojske Srbije (Vlačić, 2012).

##### **4.1. Капацитети и наоружање Сједињених Америчких Држава**

Сједињене Америчке Државе деценијама одржавају позицију глобалног лидера у домену ваздухопловне технологије, са доктрином заснованом на технолошкој супериорности, глобалној пројекцији моћи и способности вођења умрежених операција. Њихов арсенал карактерише изузетна разноврсност, прецизност и интеграција "Stealth" технологије.

Што се тиче наоружања ваздух-ваздух, окосницу борбе "ван визуелног домета" (BVR) чини ракета AIM-120 AMRAAM (Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile). Кроз сталне надоградње (последња верзија AIM-120D), њен дomet и отпорност на ометање су значајно побољшани. Међутим, као одговор на нове претње, САД интензивно развијају наследника, AIM-260 JATM (Joint Advanced Tactical Missile), пројектил знатно већег домета дизајниран да парира руским и кинеским панданима. За блиску борбу, и даље је незаменљив AIM-9X Sidewinder, који захваљујући могућности захвата циља под High Off-Boresight и интеграцији са нишаном на кациги пилота, омогућава гађање циљева "преко рамена". Помоћу овог система, се омогућава пилоту да у блиској борби, без потребе да противнички циљ доведе на нишанско стакло, исти захвати и гађа

(Congressional Research Service, 2025). На слици 11 налази се зона захвата циља са новом AIM-9X ракетом.



Слика 11: Зона захвата циља са новом AIM-9X ракетом (theaviationist.com)

Од наоружања ваздух-земља, САД поседују најразноврснији арсенал прецизно вођеног наоружања. Темелј чине JDAM (Joint Direct Attack Munition) комплети, који конвертују стандардне невиођене бомбе (серије Mk-80) у GPS/INS вођене "паметне" бомбе. За уништавање покретних циљева користе се ласерски вођене бомбе (LGB), попут серије Paveway. За уништавање дубоко укопаних и утврђених циљева (бункера), користе се специјализоване пенетрирајуће бомбе, од којих је најмоћнија GBU-57 MOP (Massive Ordnance Penetrator), тежине преко 13 тона, коју може носити само бомбардер B-2 Spirit. За хируршки прецизне ударе са минималном колатералном штетом, користи се ракета AGM-114 Hellfire (примарно са хеликоптера и беспилотних ваздухоплова) и њене специфичне варијанте попут AGM-114R-9X (Слика 12). Ова ракета не користи експлозив за уништавање циља, већ уместо њега поседује шест металних сечива која се у завршној фази лета отварају, чиме се ова ракета претвара у кинетички пројектил (Congressional Research Service, 2025). На слици 12 налази се приказ варијанте 9X са отвореним сечивима и последица дејства на циљ.



Слика 12: Приказ варијанте 9X са отвореним сечивима и последица дејства на циљ (youtube.com).

За ударе са велике даљине, користе се крстареће ракете лансиране из ваздуха (ALCM). Најпознатија је AGM-158 JASSM (Joint Air-to-Surface Standoff Missile), „Stealth“ пројектил великог домета (у ER верзији и до 1000 km), дизајниран да продре кроз софистицирану и слојевиту противваздухопловну одбрану и уништи стратешки важне циљеве. Његове „Stealth“ карактеристике огледају се у томе да је цела ракета пресвучена материјалом који одбија радарске зраке, те у комбинацији са ниским летом ова ракета постаје готово невидљива за противника. На слици 12 налази се ракета AGM-158 на маршу.



Слика 13: Ракета AGM-158 на маршу (Department of the Air Force, 2010)

Целокупан амерички арсенал дизајниран је за интеграцију са "Stealth" платформама пете генерације (F-22 Raptor, F-35 Lightning II) и стратешким бомбардерима (B-2 Spirit, B-21 Raider), чиме се максимизује ефекат изненађења и преживљавања у непријатељском ваздушном простору (Живковић, 2018).

#### 4.2. Капацитети и наоружање Руске Федерације

Ваздушно-космичке снаге (ВКС) Руске Федерације наследили су огромни научни и технички потенцијал Совјетског Савеза, фокусирајући се на развој асиметричних одговора на технолошку супериорност Запада. Руска доктрина ставља акценат на изузетно моћне ракете дугог домета, софистициране системе за електронско ратовање и, у последњој деценији, на развој хиперсоничног наоружања.

Русија традиционално развија изузетно способне ракете ваздух-ваздух. У домену блиске борбе, ракета R-73 (AA-11 Archer) је деценијама била синоним за супериорност захваљујући јефтиној изradi поузданости и доступности. Перјаница њихове BVR борбе је породица ракета R-77 (NATO ознака: AA-12 Adder), а њена најновија модернизована верзија, R-77M, са активним фазним радарским трагачем (AESA), дизајнирана је као директан конкурент америчком AMRAAM-у. Ипак, оно што издваја Русију је развој ракете веома дугог домета R-37M (AA-13 Arrow), која има декларисани домет од преко 300 km и примарно је намењена уништавању „високо вредних“ циљева попут авиона за рано упозоравање (AWACS) и авио-цистерни. На слици испод (Слика 14) приказана је ракета R-37M PVV-BD. Ова ракета има слојевит систем навођења. У иницијалној фази, навођење се врши помоћу инерцијално-навигационог система, гдје се ракета креће у генералном правцу циља. Током марша, ракета се наводи или помоћу радара на авиону који је лансирао, или помоћу радара са земље, те у завршној фази лета, ракета укључује свој радар, помоћу кога се даље наводи на циљ (Bronk, 2020).



Слика 14: Ракета R-37M PVV-BD(militarywatchmagazine.com).

Руска Федерација је направила огроман искорак у модернизацији свог арсенала за дејство по циљевима на земљи, што је демонстрирала у сукобима у Сирији и Украјини. Иако се и даље у великој мери ослањају на невођене бомбе, међу којима је данас најинтересантнија ФАБ-3000 са преко тону ипо експлозива, развили су и сопствене „паметне“ бомбе серије КАВ (КАВ-500L ласерски вођена, КАВ-500S-E сателитски вођена). Такође, све интензивније користе противоклопне вођене ракете попут 9М120 Аtака и модерније 9К121 Vikhr, као и ракете опште намене попут Kh-38. Код ВКС РФ је посебно занимљиво што оно тврди да у свом саставу поседује највећу конвенционалну бомбу икада направљену. У питању је FOAB (Father of all bombs). На слици 15 приказано је испуштање FOAB-а из бомбардера. Наиме, ова термобарична бомба је тестирана, и како наводе, има снагу од 44 тоне тротила, што је готово четири пута више од америчког пандана GBU-43/B MOAB (Mother of all bombs) (Lake, 2023).



Слика 15: Уметничка импресија испуштања FOAB-а из бомбардера Ту-160

Домен где Русија тренутно демонстрира и има најимпресивнији напредак јесте домен крстарећих ракета и хиперсоничног наоружања. Поред стандардних крстарећих ракета великог домета лансираних из ваздуха, попут Kh-101 (која има и „Stealth“ карактеристике), Русија је прва на свету увела у оперативну употребу хиперсонично наоружање лансирано из ваздуха. Реч је о ракети Kh-47M2 "Kinžal". Пример ракете Kh-47M2 приказан је на слици 16. Иако је суштински реч о балистичкој ракети која се лансира са адаптираног авиона

(MiG-31K или Tu-22M3), она постиже брзине преко 10 Маха и има способност маневрисања, што њено пресретање чини готово немогућим са постојећим PVO системима (U.S. Government Accountability Office, 2023).



Слика 16: Ракета Kh-47M2 на авиону МиГ-31БМ/К на стајанци (armyrecognition.com).

### 4.3. Капацитети и наоружање Народне Републике Кине

Ваздухопловство Народноослободилачке армије Кине (PLAAF) доживело је најбржу и најсвеобухватнију модернизацију у историји ваздухопловства. Од претежно застарелих средстава из 1990-их, заснованих на совјетским дериватима, PLAAF је данас трансформисан у снагу која располаже авионима пете генерације, напредним ракетама дугог домета и јасном амбицијом да постане технолошки лидер у кључним доменима ваздухопловног наоружања.

Кина је уложила огроман напор да превазиђе заостатак за руским и западним ракетама у домену ваздух-ваздух. Ова ракета представља директну претњу за америчке авио-ганкере и AWACS авионе, који су кључни за пројекцију моћи САД у Пацифику. За блиску борбу, Кина користи PL-10, ракету високих маневарских способности, пандану америчком AIM-9X. Поред ње, Кина развија и PL-21, ракету веома великог домета са "ramjet" погоном. Ова ракета је посебно занимљива због свог погона. Ракета је тако дизајнирана да се може лансирати само при великим брзинама, али након лансирања ова ракета може путовати суперсоничном брзином о остварити велики домет. Данас, њихова кључна ракета за борбу "изван визуелног домета" је PL-15, пример ракете приказан је на слици 17. Оно што ову ракету чини посебно опасном је њен наводни домет

(преко 200 km) и употреба двоимпулсног ракетног мотора, што јој даје велику енергију у завршној фази лета, чак и на екстремним дистанцама (Капаиа, 2019).



Слика 17: Ракете PL-15 скривене у трупу авиона Ченгду J-20 (defencesecurityasia.com)

Кинески арсенал прецизног наоружања ваздух-земља такође је драстично напредовао. Они производе читаву палету вођених бомби, укључујући ласерски вођене LT-2 и сателитски вођене LS-6 (које су у суштини комплети за монтирање на невођене бомбе, слични америчком JDAM-у и руском КАБ-у. Кина такође развија сопствене крстареће ракете, попут CJ-10 (позната још и као АКD-20 или CJ-10К у ваздухопловној варијанти), које се лансирају са стратешког бомбардера Женшен Н-6К и имају домет од преко 1.500 km. Иако дериватив руске Kh-55 од ње се значајно разликује по далеко напреднијој авионици и домету. На слици 18 налазе се ракете АКD-20 на приказу борбеног комплета авиона Н-6К.



Слика 18: Две ракете АКD-20 на приказу борбеног комплета авиона Н-6К (xinjiapo.news)

Слично Русији, Кина је препознала хиперсонично оружје као кључно за асиметрично парирање америчкој моћи. Кина је наводно већ операционализовала хиперсонично клизеће возило DF-ZF (које се лансира са земље), али интензивно ради и на верзији која би се лансирала из ваздуха. Поред њега, Кина је на паради победе 2025. Године први пут представила и серију нових противбродских суперсоничних и хиперсоничних ракета YJ-17, YJ-10, YJ-20 и YJ-21, од којих се YJ-17 и YJ-21 лансирају са авиона. Уз то, Кина је у свом плану развоја вештачке интелигенције из 2017. јасно истакла циљ да постане светски лидер у AI до 2030. године, што директно утиче на развој аутономног наоружања о чему ће бити речи касније. На слици 19 приказана је Хиперсонична ракета YJ-21.



Слика 19: Хиперсонична ракета YJ-21 на паради у Пекингу 2025.године  
(interestingengineering.com)

#### ***4.4. Капацитети и наоружање других земаља***

Иако се технолошка трка тежишно одвија између три велике силе, неколико других земаља поседује изузетно развијене и способне ваздухопловне снаге и индустрију наоружања.

Европска индустрија производи неке од најнапреднијих пројектила на свету. Ракета ваздух-ваздух MBDA Meteor сматра се једном од најбољих у својој класи,

јер попут кинеске PL-21 користи "ramjet" погон који јој омогућава да одржава високу брзину током читавог лета до циља, чинећи избегавање готово немогућим. За ударе по земљи, крстареће ракете "Storm Shadow" (УК/Француска) и "Taurus" (Немачка/Шведска) су се показале као изузетно ефикасне "stealth" ракете дугог домета. Обе ракете представљају изузетно прецизне и софистициране ракете, али упркос томе ракета "Storm Shadow" показала се се врло учинковито против електронског ометања у рату у Украјини. На слици 20 приказане су Ракете Storm Shadow на украјинском авиону Su-24М.



Слика 20: Ракете Storm Shadow на украјинском авиону Su-24М (militaryni.com)

Затим, Израел, који је због свог специфичног безбедносног окружења развио једну од најиновативнијих ваздухопловних индустрија. Поред коришћења америчких платформи, они развијају сопствено наоружање. Њихова породица ракета ваздух-ваздух Python (за блиску борбу) и Derby (за борбу ван визуелног домета) представља врхунац технологије. Такође су пионири у развоју вођених бомби (породица Spice) које користе комбинацију ТВ/ИИР и GPS навођења, омогућавајући оператеру да прецизно одабере тачку удара са кружном грешком мањом од 3 метара. На слици 21 приказанеа је ракета Spice 1000.



Слика 21: Ракета Spice 1000 на промотивном приказу (ILA Berlin Air Show, 2012)

#### 4.5. Капацитети и наоружање РВ Војске Србије

Ратно ваздухопловство и противваздухопловна одбрана (РВ и ПВО) Војске Србије пролази кроз интензиван процес модернизације након вишедеценијског заостајања. Након распада СФРЈ и сукоба 1990-их, РВ се ослањало на застареле авионе и наоружање југословенске и совјетске производње. Међутим, у последњој деценији, уложени су значајни напори у унапређење и обнављање постојећих капацитета.

Окосницу ловачке авијације данас чини модернизовани авион МиГ-29 (верзије 9.13 и 9.19). Ови авиони су ремонтовани и модернизовани у Русији и Белорусији, чиме им је продужен животни век и унапређена борбена способност. Модернизација се доминантно огледа у наоружању. За авионе МиГ-29 набављене су ракете ваздух-ваздух R-73 за блиску борбу и R-77 за борбу на средњим даљинама, што је огроман скок у односу на застареле ракете R-60. У домену ваздух-земља, поред класичних невођених бомби и ракета (попут "Муње"), развијају се и домаћи вођени системи. Најзначајнији су вођена ракета Kh-31 и ласерски вођена ракета ВРВЗ-24 (за хеликоптере), као и вођена бомба калибра 250 kg. Ови системи домаћег развоја треба да омогуће српском РВ да коначно добије способност прецизног дејства по циљевима на земљи. Од посебног значаја јесте и куповина авиона Rafale са пратећим наоружањем за

српско ратно ваздухопловство. Овај авион на себи, између осталог, носи ракете МІСА RF и IR (са активним радарским навођењем и са инфрацрвеним навођењем), као и интегрисани систем за електронско ратовање SPECTRA (International Institute for Strategic Studies, 2024). На слици 22 приказана је макета српског Рафала са ракетама МІСА IR и RF.



Слика 22: Макета српског Рафала са ракетама МІСА IR и RF на сајму авиације на Ле Буржеу (tangosix.rs)

#### ***4.6. Компаративни приказ способности ваздухопловног наоружања водећих светских сила и других земаља***

Компаративна анализа ваздухопловног наоружања омогућава јасан увид у разлике у технолошким приоритетима и борбеним концептима Европе, Србије и водећих светских војних сила које смо раније споменули.

Табеларни преглед који следи представља ракетне системе ваздух-ваздух и ваздух-земља као најрепрезентативније индикаторе борбених способности различитих држава у ваздуху, фокусирајући се искључиво на конкретне пројектиле, њихове домете и брзине као кључне параметре оперативне ефикасности.

У Табели 1 приказано је поређење способности најзначајнијих ракета ваздух-ваздух различитих земаља, са фокусом на домет и брзину као главне показатеље борбене ефикасности и надмоћи у ваздушном простору.

Табела 1. Упоредни приказ способности наоружања ваздух-ваздух

<b>ЗЕМЉА</b>	<b>РАКЕТА</b>	<b>ДОМЕТ</b>	<b>БРЗИНА (мах)</b>
Кина	PL-15	200+	5
Русија	R-37М	200-400	6
САД	AIM-120D	160	4
Европа	METEOR	200+	4
Србија	R-77-1	110	4

У Табели 2 приказано је поређење способности најзначајнијих ракета ваздух-земља, са фокусом на домет и брзину као главне показатеље борбене ефикасности и способности прецизног дејства по циљевима на земљи.

Табела 2. Упоредни приказ способности наоружања ваздух-земља

<b>ЗЕМЉА</b>	<b>РАКЕТА</b>	<b>ДОМЕТ</b>	<b>БРЗИНА (мах)</b>
Кина	YJ-21	1500	6-10
Русија	Kh47M2	2000	10
САД	AGM-158B	1000	0.8
Европа	TAURUS	600	1
Србија	Kh-31	70-110	3,5

## 5. Савремени трендови у развоју ваздухопловног наоружања

Након анализе конкретних арсенала водећих светских сила у претходном поглављу, ово поглавље се фокусира на кључне технолошке трендове који обликују развој ваздухопловног наоружања. Савремено бојиште више није дефинисано само бројем борбених средстава, већ способношћу остваривања доминације у домени брзине одлучивања, вештачке интелигенције, stealth технологије, електронског ратовања и умрежавања. У току је фундаментална трансформација ваздухопловног ратовања, где се традиционална кинетичка средства допуњују, а понекад и замењују, револуционарним технологијама. Ови трендови нису изоловани; они се међусобно преплићу и допуњавају, стварајући потпуно нову парадигму борбе.

### 5.1. Развој "Stealth" технологије

Технологија смањене радарске уочљивости, позната као "Stealth", иако присутна деценијама, и даље је један од доминантних развојних трендова. Међутим, овај тренд је ушао у нову фазу. Више није довољно бити "невидљив" само за високофреквентне нишанске радаре; потребно је прекрити комплетни радарски потпис летелице у више домена (Grant, 2007).

Прва генерација "Stealth" авиона (F-117, B-2) била је фокусирана примарно на смањење радарског одраза (RCS) кроз специфично обликовање трупа. Данашњи и будући развој (F-22, F-35, Су-57, J-20) подразумева такозвану мулти-спектралну невидљивост. Овакав приступ омогућава летелици да се сакрије не само од радара већ и разних средстава за електронско извиђање.

Исте технологије се примењују и на ваздухопловно наоружање, првенствено оно ваздух-земља. Што је нека ракета боље сакривена од радара и других електронских справа противника, лакше ће успети да уништи циљ. Мулти-спектрална невидљивост укључује умањење:

- Инфрацрвеног (IR) потписа: Савремени авиони и ракете које он носи морају смањити топлотни одраз својих мотора како би избегли детекцију од странеIRST (Infrared Search and Track) система, који су пасивни и не могу се електронски ометати. Ово се постиже посебним дизајном млазница (као код F-22) и системима за хлађење издувних гасова.
- Електронског зрачења (EMCON): Модерни авион и наоружање које он носи мора бити у стању да изврши задатак уз минималну употребу сопствених сензора (радара) који би одали његов положај. Развој LPI (Low Probability of Intercept) радара и пасивних система за прикупљање података је кључан у овом сегменту.

Овај тренд је заправо трка између "Stealth" технологије и технологија за њену детекцију. Развој нискофреквентних радара (VHF/UHF), који могу детектовати "Stealth" летелице, иако не могу наводити ватру на њих, тера произвођаче да траже нова решења у напредним композитним материјалима (RAM - Radar-Absorbent Material) и "паметним оплатама" које могу активно мењати свој радарски одраз.

## *5.2. Хиперсонично наоружање као нови стратешки чинилац*

Објекти који се крећу брзином већом од 1 мах називају се суперсонични, док се објекти који се крећу брзинама већим од 5 маха називају хиперсонични. Код ваздухопловног наоружања, средства која се крећу оваквим брзинама данас јесу суперсоничне или хиперсоничне ракете.

Појава хиперсоничног наоружања представља највећу промену у стратешкој равнотежи од развоја нуклеарног оружја. Ови системи, који се крећу брзинама већим од 5 маха (пет пута брже од брзине звука), комбинују брзину балистичких ракета са непредвидивом путањом крстарећих ракета. Њихов кључни стратешки значај лежи у томе што елиминишу време за реакцију (U.S. Government Accountability Office, 2023).

Традиционални системи противваздушне одбране, као што су Patriot или S-400, пројектовани су да пресећу релативно споре крстареће ракете или балистичке пројектиле чија је путања углавном предвидљива. Међутим, хиперсонично наоружање својом изузетном брзином и способношћу маневрисања током целог лета потпуно измиче тим технолошким оквирима, што га чини практично неухватљивим постојећим средствима ПВО. Данас се развијају два основна типа ових система: хиперсонична клизећа возила (HGV), која се након лансирања балистичком ракетом одвајају на великим висинама и затим клизе кроз атмосферу мењајући путању – примери су руски *Авангард* и кинески *DF-ZF* – и хиперсоничне крстареће ракете (HCM) које користе *scramjet* моторе за одржавање хиперсоничне брзине током читавог лета (Sayler, 2021). Иако се руски *Кинжал* често сврстава у ову категорију, у суштини је реч о ваздушно лансираној балистичкој ракети, док се праве хиперсоничне крстареће ракете и даље налазе у фази интензивног развоја у САД, Русији и Кини.

Стратешке последице оваквог наоружања су огромне: носачи авиона, командни центри и истурене базе постају изразито рањиви, јер време од детекције лансирања до удара може бити краће од десет минута – што је далеко недовољно за ефикасно реаговање. Чак и након откривања, способности хиперсоничних пројектила да маневришу и лете у густим слојевима атмосфере чине их практично неуништивим постојећим ПВО системима, што недвосмислено показује колико ће њихов развој утицати на обележја модерних и будућих оружаних сукоба.

### 5.3. Примена вештачке интелигенције (AI) и аутономије

Ако хиперсоника мења физичку димензију рата, вештачка интелигенција (AI) мења његову когнитивну димензију. Брзина и комплексност савременог бојишта (посебно са новим претњама) превазилазе људске капацитете за доношење одлука. Човек пилот једноставно не може довољно брзо да обради

све податке са радара, IRST-а, и комуникационе мреже. Због тога се AI имплементира у сваки аспект ваздухопловног наоружања.

Примена AI иде од помоћи у одлучивању (где AI сугерише пилоту оптималне циљеве или руте за избегавање ПВО), до потпуно аутономних система (LAWS - Lethal Autonomous Weapons Systems). Кина је, на пример, у свом развојном плану из 2017. јасно дефинисала циљ постизања доминације у AI до 2030. године, што укључује и војну примену (State Council of the People's Republic of China, 2017). Овај тренд се најјасније види у два револуционарна концепта: "Појалном пратиоцу" и "ројевима дрона".

### 5.3.1. Концепт "Појалног пратиоца" (*Collaborative Combat Aircraft*)

Концепт "Појалног пратиоца" (Loyal Wingman), у САД означен као ССА (Collaborative Combat Aircraft), представља најважнију промену у тактици ваздушне борбе од појаве млазних авиона. Идеја је да један пилотирани авион (нпр. F-35 или авион шесте генерације) управља тимом од неколико (3 до 5) беспилотних, аутономних борбених авиона (Sayler, 2023).

Ови аутономни "пратиоци" служе као "множиоци силе" (Force Multipliers), тојест, док је раније један пилот управљао једном летелицом и системима наоружања, сада то исто може радити са више њих. Њихове улоге су вишеструке:

- Сензорска подршка: Могу летети испред пилотираног авиона и својим радарима осветљавати циљеве, док пилотирани авион остаје скривен (пасиван).
- "Складиште" наоружања: Могу носити додатне ракете ваздух-ваздух или ваздух-земља. Пилот из свог авиона може лансирати ракету са дрона који је 50 километара испред њега.
- Електронско ратовање: Могу бити опремљени ометачима (jammers) за заслепљивање непријатељске ПВО.

- Мамац или "жртвено јагње": Као јефтине (потрошне) платформе, могу бити жртвовани да би заштитили пилотирани авион.

Пројекти попут америчког Kratos XQ-58 Valkyrie, аустралијског Boeing MQ-28 Ghost Bat и руског S-70 Ohotnik су најнапреднији примери овог концепта који улази у оперативну употребу. Код руског S-70 посебно је интересантна вођена бомба UMPB D-30SN која је посебно дизајнирана за ову платформу и има могућност интеграције аутономног система за откривање циљева помоћу вештачке интелигенције. На слици испод (Слика 23) приказан је S-70 Ohotnik као пратилац авиона Su-57.



Слика 23: S-70 Ohotnik као пратилац авиона Su-57 (defense-update.com)

### 5.3.2. Ројеви дронева

У данашње време, појава једног дрона на бојном пољу изазива страх код противника, а тек појава десетина, стотина па чак и хиљада њих.

Ројеви дронева као појединачни дроневи у том роју, по модерним дефиницијама не представљају летелице већ ваздухопловно наоружање, или како у Америци кажу, "лутајућа муниција" (loitering munition).

За разлику од неколико скувих и сложених ракета, ројеви дронева (Swarms) представљају другу крајност: стотине или хиљаде малих, јефтених, потрошних дронева који делују као јединствен, и интелигентан организам. Њихова снага није у способности појединачног дрона, већ у маси.

Како наводи Scharre (2018) у својој књизи *Army of None*, ројеви мењају "размену трошкова" (Cost-Exchange Ratio). Ниједна ПВО не може себи приушти да троши ракете од 2 милиона долара на дроне од 10.000 долара. Рој од 1.000 дронева би једноставно "презаситио" и савладао било коју конвенционалну ПВО. Ови ројеви су у развоју и користе AI за међусобну комуникацију, аутономно распоређивање задатака, избегавање препрека и на крају, заједнички напад на циљ. На слици 24 приказан је напад роја дронева на носач авиона (уметничка импресија).



Слика 24: Уметничка импресија напада роја дронева на носач авиона  
(youtube.com)

#### 5.4. Развој оружја усмерене енергије (DEW)

Као директан одговор на претње ројевима дронева и хиперсоничним ракетама, развијају се Оружја усмерене енергије (DEW - Directed Energy Weapons). Конвенционални кинетички пресретачи (ракете) су превише спори за хиперсоничне мете и превише скупи за ројеве дронева. Оружја усмерене енергије нуде решење које делује брзином светлости (Department of Defense, 2020).

Данас се развијају две главне врсте оружја усмерене енергије. Прву категорију чине ласери високе енергије (HEL) који користе концентрисани сноп светлости

да термички оштете или униште мету, уз предности попут брзине светлости и практично неограничене „муниције“, али и изазове у виду велике потрошње енергије, хлађења и осетљивости на временске услове. Другу категорију представљају микроталасна оружја (НРМ), која емитују снажан електромагнетни импулс намењен уништавању електронике унутар мете. За разлику од ласера који делују прецизно, микроталасни системи имају шири сноп и посебно су ефикасни у неутралисању читавих ројева дрoнова једним дејством. Иако су ови системи још увек у развоју, њихова прва примена у ПВО системима за заштиту база је већ почела. На слици 25 приказан је Boeing YAL-1 авион прототип у лету са монтираном ласерком куполом на носу.



Слика 25: Boeing YAL-1 авион прототип у лету са монтираном ласерком куполом на носу (US Missile Defence Agency)

### 5.5. Умрежавање и концепт "систем система" (System of Systems)

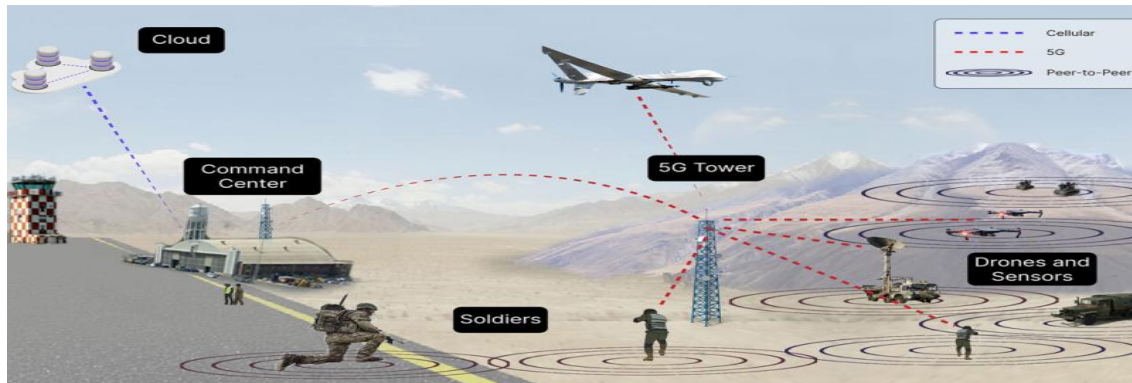
Коначно, најважнији тренд који обједињује све претходне је прелазак са "платформа-центрично" на "мрежно-центрично" ратовање. Ово је познато као "Систем система" (System of Systems - SoS). На слици 26 дат је пример рада интегрисаног "Систем система" са 5Г мрежом.

У 20. веку, авион (платформа) је био систем (имао је свој радар, оружје, пилота). У 21. веку, мрежа је систем. Борбу више неће водити један авион, већ дистрибуирана мрежа сензора. Пример америчког програма NGAD (Next Generation Air Dominance) није само развој новог ловца шесте генерације већ је развој система који укључује тог ловца, "Лојалне пратиоце" (ССА), нове ракете, сателите и AI који све то повезује (Trimble, 2023).

У оваквом концепту, дешава се дисагрегација функција:

1. Једна платформа (нпр. "Stealth" дрон) може само да посматра (Observe).
2. Друга платформа (нпр. F-35, пасивно) идентификује (Orient).
3. Трећа платформа (нпр. земаљски командни центар) одлучује (Decide).
4. Четврта платформа (нпр. "Лојални пратилац" или бомбардер B-21) делује (Act).

Овај приступ чини целокупан систем много отпорнијим, флексибилнијим и смртоноснијим. Сви претходно поменути трендови – Stealth, Хиперсоника, AI и DEW – само су компоненте које ће се интегрисати у ову свеобухватну "систем система" архитектуру.



Слика 26: Пример рада интегрисаног "Систем система" са 5Г мрежом (medium.com)

### 5.6. *Искусва из употребе у украјинском рату*

Ефикасност ваздухопловног наоружања се најбоље испитује и утврђује у реалним борбеним условима. Савремени ратови, поготово они високог интензитета, показали су много предности али и слабости овог наоружања у борби. Рат у Украјини поново је доказао значај и важност система за електронску борбу и дронева, али је у њему своју премијеру имало разно савремено ваздухопловно наоружање.

Од почетка рата у украјини 2022. године, авиони МиГ-31 су оборили неколико украјинских авиона, углавном користећи ракету R-37М великог домета. Захваљујући великој брзини, домету и великој висини на којој ракета маршира, МиГ-31 авиони су били у стању да делују практично без ризика због тога што

украјински ловци немају адекватан радар за откривање циљева на тим даљинама, а када открију ракету, тада обично буде касно и авиони буду погођени. Иако ова ракета до сада није имала борбено дејство на својој максималном домету, у августу 2022. године украјински ловачки авион Су-27 је оборен у Доњецкој области, од стране руског авиона Су-30СМ2 помоћу ракете Р-37М са удаљености од 130 км. Иако овај податак можда не звучи импресивно, треба узети у обзир да је ова ракета намењена за уништавање великих авиона који имају мале маневарске могућности. Узимајући то у обзир, овај пример, као и многи други након њега, показују да ова ракета може успешно дејствовати и на далеко агилније авионе (Bronk, 2022).

Што се тиче нових система ваздух-земља, ту се посебно издваја хиперсонична ракета Kh-47М2 Kinzal. Ова ракета се користи од почетка рата у Украјини за нападе на стратешке украјинске циљеве у дубини, попут аеродрома, великих складишта муниције и подземних објеката. Међутим, убрзо након обарања прве ракете, показало се да су тврдње о такозваној необоривости “Кинжала” нетачне. Наиме, 4. маја 2023. изнад Кијева, украјинске снаге ПВО обориле су једну ракету Kh-47М2 користећи систем МІМ-104 Patriot. Према тврдњама CNN-а, способност система Патриот да заустави хиперсоничну ракету лансирану из ваздуха сматрана је само теоријском пре овог случаја. Украјински оператер на систему Patriot који је пресрео ракету Кинжал, тврдио је да је ракета летела само приближно 1.240 м/с (3,6 маха), што је око једне трећине брзине декларисане од стране Русије. Иако би неки рекли да се овде ради о случајности или ратничкој срећи, тај став оповргава чињеница да је свега неколико дана касније, у великом руском нападу, Украјина успешно оборила чак шест оваквих ракета у једном дану, што доводи до закључка да, иако се ова ракета релативно добро показала у борбеном деловању, не треба у потпуности веровати званичним подацима о способностима наоружања, а поготово не новог (Lake, 2023).

Од посебног значаја је операција “Паукова мрежа” (Spiderweb), до сада најсложенија и најефективнија операција коју је извела Украјина од почетка

рата. Операција "паукова мрежа" је кодни назив за координисани, једновремени напад "дронска самоубица" који је извела служба безбедности Украјине (СБУ) дубоко у Русији 1. јуна 2025. Удари су циљали средства далекометне стратешке авијације руских ваздушно-космичких снага у пет раштрканих ваздушних база, користећи беспилотне летелице скривене и лансиране из камиона који су се налазили у непосредној близини истих на територији Русије. На слици 27 дат је приказ са једног од дрона на којој се види неколико оштећених стратешких бомбардера Ту-95.

Ова серија напада показала је како се, уз правилну интеграцију "роја дрона", система командовања, координације и правилним избором средстава за извршавање задатака, користећи релативно мале ресурсе, непријатељу може нанети енормна материјална штета, па и ненадокнадива, узимајући у обзир да већину уништених авиона Русија више не производи, а и не само материјална. Поред тога, једнако значајна је и штета која је нанета угледу Руске Федерације, јасно показавши њене рањивости где свака моћна држава не би смела да их има.



Слика 27: Слика са једног од дрона на којој се види неколико оштећених стратешких бомбардера Ту-95 (ssu.gov.ua)

## **6. Будућност развоја и импликације на међународну безбедност**

Технолошка револуција у ваздухопловном наоружању која је започела увођењем прецизно вођене муниције, а настављена развојем "Stealth" технологије, сада улази у еру вештачке интелигенције (AI) и масовне аутономије. Ове промене фундаментално трансформишу стратегију, доктрину и тактику ваздушне борбе. Суштина промене лежи у преласку са "платформе-центричног" на "мрежно-центрично" ратовање, где је ефикасност одређена ситуационом свесношћу, брзином обраде података и брзином доношења одлука, а не само тежином бомбе или калибром топа. Овај део рада пројектује природу ваздушне борбе у блиској будућности и анализира системске промене које уводе авиони шесте генерације и њихово наоружање.

### *6.1. Пројекције ваздушне борбе у будућности: Од платформе до система*

Будућа ваздушна борба неће бити борба појединачних авиона, већ синергија мреже платформи, сензора које обједињује вештачка интелигенција. Овај концепт премешта фокус са самог авиона на укупну архитектонску и структуралну супериорност борбене мреже.

#### *6.1.1. Ловац шесте генерације као командно чвориште*

Програми попут америчког NGAD (Next Generation Air Dominance) или европских FCAS/GCAP дефинишу ловца шесте генерације не као наследника F-22, већ као мрежно чвориште. Његова главна улога ће бити фузија података и доношење одлука у изузетно кратком временском оквиру, користећи AI за филтрирање и обраду информација пристиглих из целе мреже (Trimble, 2023).

Кључне технолошке иновације које обликују развој шесте генерације борбених летелица обухватају напредне моторе са адаптивним циклусима рада, унапређене „stealth“ способности и интегрисане сензорске системе, као и наоружање усмерене енергије. Мотори нове генерације, развијани у оквиру

програма АЕТР, моћи ће да мењају режиме рада у зависности од потребе – од ефикасног крстарења ради већег домета до режима максималног потиска за постизање великих брзина и бољег избегавања противничких пресретача. Паралелно са тим, значајно се унапређују „stealth“ технологије и мултиспектрални сензори, који ће омогућити деловање у условима електронске тишине уз ослањање на спољне изворе података. На крају, очекује се да ће авијација шесте генерације бити међу првима способна да у оперативној употреби носи ласерске системе снаге преко 100 kW, намењене одбрани од ракета и неутралисању ројева дрона уз минималан трошак по дејству.

#### 6.1.2. Доминација аутономних "Лојалних пратилаца" (ССА)

Кључни множитељ силе за авионе шесте генерације биће Collaborative Combat Aircraft (ССА) или "Лојални пратиоци". Ово су беспилотни, полу-аутономни борбени авиони, јефтинији од пилотиране платформе, који преузимају најопасније задатке. Процењује се да ће један пилот контролисати 3-5 ССА током мисије.

Тактичке улоге ССА:

- Потрошни сензорски пакети: ССА могу бити "жртвовани" да би ушли у високоризични простор, користећи своје сензоре за проналажење непријатељске ПВО, чиме се штите скуп пилотирани авиони. Ово је концепт "*дистрибуиране преживљивости*", где губитак једне платформе не угрожава целу мисију.
- "Магацини" пројектила: ССА ће служити као "арсенали у ваздуху", носећи додатни број пројектила ваздух-ваздух (као што су AIM-260 JATM) или хиперсоничног наоружања. Пилот даје команду, а ракета се лансира са удаљеног дрона, што омогућава напад са веће удаљености (stand-off range) и из различитих углова.

- Ројеви и засићење: ССА могу брзо прећи у режим "роја" за засићење противничке одбране. Уместо да користе скупе ракете за уништење, ССА могу искористити своју масовност и електронске системе за ометање (jamming) како би створили "рупе" у непријатељској ваздушној одбрани за пролаз пилотираних авиона.

### *6.1.3. Превласт брзине*

Иако су прве хиперсоничне способности већ уведене у оперативну употребу (нпр. руски „Кинжал“) будући развој је усмерен на напредније хиперсоничне крстареће ракете (НСМ) са скрамџет(scramjet) погоном. За разлику од садашњих система који захтевају велике платформе попут стратешких бомбардера, нове генерације биће конструисане тако да се интегришу и на тактичке ловце, што значајно проширује њихову употребну вредност и флексибилност у борбеним операцијама.

Хиперсоничне брзине доносе две кључне предности. Прва је готово потпуно избегавање противваздушне одбране: брзине веће од 5 Маха, у комбинацији са маневром у завршној фази лета, чине постојеће ПВО системе практично неефикасним, истичући потребу за новим, свемирски базираним архитектурама за рано откривање и пресретање. Друга предност је могућност извођења глобалног удара у року од једног сата, што драматично скраћује време доступно за анализу ситуације, дипломатску деескалацију и политичко одлучивање. Овако кратак временски оквир додатно подрива механизме стратешке стабилности и повећава ризик од погрешне процене или ненамерне ескалације (U.S. Government Accountability Office, 2023).

## *6.2. Стратешке и етичке импликације нових технологија*

Имплементација вештачке интелигенције и потпуне аутономије у ваздухопловне системе превазилази тактичко поље и има дубоке последице по

глобалну стратешку стабилност, равнотежу моћи и међународно ратно право. Ове технологије мењају природу рата и уводе нове, етичке дилеме.

#### *6.2.1. Ерозија стратешке стабилности и нова трка у наоружању*

Развој хиперсоничног наоружања представља директан изазов концепту стратешке стабилности који је обликовао безбедносну архитектуру током Хладног рата. Док су системи раног упозоравања раније пружали временски прозор од 25 до 30 минута за идентификацију претње, проверу података и политичко одлучивање о могућем одговору, данашњи хиперсонични пројектили својим екстремним брзинама тај прозор скраћују на мање од десет минута. Овакво скраћење времена доводи до две критичне последице које могу озбиљно нарушити глобалну стратешку равнотежу.

Прва се односи на готово немогућ задатак поузданог разликовања типа претње у раним фазама лета. Хиперсонични пројектили опремљени конвенционалним бојевим главама, због своје брзине, маневарских способности и равније путање, могу у почетним тренуцима изгледати идентично нуклеарним балистичким пројектиlima. То приморава државу која је потенцијално нападнута да претпостави најгори сценарио, што значајно повећава ризик од нехотичне ескалације или чак нуклеарног одговора заснованог на непотпуним или погрешно интерпретираним подацима (Aarten, 2020).

Друга последица односи се на концепт „Prompt Global Strike“, односно могућност извођења удара на било којој тачки планете у року од једног сата. Овако кратак временски оквир у потпуности елиминира могућност дипломатског посредовања, анализе ситуације или постепене деескалације, чиме се ствара оно што аналитичари описују као „кризу управљања“. Као што истиче RAND Corporation (2024), хиперсонична трка у наоружању не подразумева само развој све бржих и софистициранијих пројектила, већ и масовна улагања у глобалне сателитске мреже за праћење претњи и развој нове генерације пресретача способних да делују у хиперсоничном домену. На тај

начин се ствара скуп, технолошки комплексан и потенцијално дестабилизујући круг трке у наоружању, у којем сваки технолошки напредак са једне стране генерише нови сет одбрамбених захтева са друге.

#### 6.2.2. Етичка дилема аутономије: Убојно аутономно наоружање (LAWS)

Увођење убојног аутономног наоружања (LAWS), где AI самостално доноси одлуку о ангажовању мете без људске интервенције, представља најзначајнију етичку дилему у модерном ратовању. Смањење улоге човека у одлучивању намеће се као војна неопходност, јер људски мозак не може да испрати брзину којом делују AI системи и AI претње.

Највећа етичка дилема лежи у развоју оваквог наоружања. Како борба постаје све бржа, сваки човек у процесу одлучивања постаје "уско грло" и тактички недостатак. Постоји огроман притисак да се пређе са модела "човек у петљи одлучивања" (где човек одобрава дејство на циљ) на "човек на петљи одлучивања" (где човек може да стави вето, ако стигне) или, у крајњем случају, на "човек ван петље одлучивања" (потпуна аутономија) (Scharre, 2018).

Развој аутономних система у ваздухопловном наоружању отвара бројне етичке и стратешке дилеме. Једно од кључних питања односи се на одговорност у случају грешке аутономног система. Уколико би дрон деловао погрешно и, на пример, погодио цивилни објекат, остаје нејасно ко би сносио одговорност – програмер који је развио алгоритам, командант који је систем упутио у мисију или политичка структура која је одобрила његову употребу. Недостатак јасно дефинисане линије одговорности подрива темеље међународног хуманитарног права и доводи у питање етичку употребу аутономног наоружања (Scharre, 2018).

Друга значајна дилема односи се на контролу ескалације. Аутономни системи, ослањајући се на алгоритамске процене, немају способност да у потпуности разумеју сложене људске намере, комуникацију или сигнале деескалације. Постоји потенцијални ризик да би две аутономне ваздухопловне формације,

делујући у складу са својом интерном логиком и ограниченим интерпретацијама претњи, могле ненамерно да уђу у сукоб који би људске посаде можда решиле дипломатским или контролисаним маневром (Scharre, 2018).

Будућност развоја ваздухопловног наоружања тако постаје двострука јер с једне стране нуди повећану ефикасност, брзину одговора и заштиту сопствених снага, док са друге ствара сложености и непредвидивости бојно поље у којем су потенцијалне грешке далеко опасније и последице дугорочније. Управо зато питања етике, одговорности и контролисане употребе аутономних система постају централни део савремених расправа о будућности ваздухопловног ратовања.

У даљем развоју аутономних система посебно се издвајају два критична фактора са дубоким етичким и оперативним последицама. Први је разликовање претњи, односно способност система да у реалном времену разликује цивиле од легитимних војних циљева. Међународно хуманитарно право захтева да се ова разлика прави у сваком тренутку, што у пракси представља изузетно сложен задатак: цивили се понекад могу понашати као борци, док се борци могу прикривати у цивилне објекте. Иако AI може бити супериорна у препознавању образаца, недостају јој интуиција, емпатија и разумевање намере, што је посебно значајно у хаотичним борбеним условима (ICRC, 2015). Како истиче Scharre (2018), AI можда неће препознати гест предаје или знак повлачења, већ би могла тумачити непредвиђену реакцију као претњу.

Други кључни фактор је пропорционалност, која захтева процену да ли је очекивана војна предност већа од могуће колатералне штете. То је дубоко морална и политичка одлука заснована на контексту, процени последица и вредности људског живота. Делегирање такве одлуке алгоритму ствара ризик од онога што Scharre назива „моралним бесмислом“ — доношења одлука о животу и смрти без људског суда и одговорности. Ови фактори указују да технички напредак мора бити праћен развојем правних и етичких механизма

који ће обезбедити контролисану употребу аутономног наоружања (Scharre, 2018).

### *6.2.3. Разорни утицај на економију рата и демократизација моћи*

Будући развој ваздухопловног наоружања ствара све израженији економски јаз између изузетно скупих система одбране и ултра-јефтних нападачких средстава, што обликује нову динамику савремених конфликта. Док најмоћније државе попут Сједињених Америчких Држава и Народне Републике Кине улажу стотине милијарди долара у развој ловаца шесте генерације и напредних платформи, паралелно се развијају токови који дубоко мењају однос трошкова у ваздушном ратовању. Један од најзначајнијих трендова јесте такозвано „асиметрично засићење“, где масовно произведени и релативно јефтини дронави, чија цена може бити тек неколико хиљада долара по јединици, имају потенцијал да презасите и савладају сложене и изузетно скупоцене системе противваздушне одбране, чије ракете често коштају милион долара или више (Kallenborn, 2020). Овако неповољан однос у трошковима (Cost-Exchange Ratio) чини традиционалне системе одбране економски неодрживим, приморавајући државе да убрзају развој система усмерене енергије, ласерског оружја и електромагнетних противмера (Adams, 2001).

Истовремено, технологија дронава и вештачке интелигенције доводи до такозване „демократизације моћи“, јер по први пут у савременој историји напредне ваздушне способности постају доступне регионалним силама и недржавним актерима. Док је нуклеарно оружје било резервисано за најмоћније државе, приступ јефтним дроновима и системима аутономног навођења омогућава мањим актерима да нанесу значајну штету технолошки супериорним противницима. На тај начин ваздушна моћ више није искључиво у домену великих сила, већ се распршила и постала доступна ширем спектру актера, што ствара нове облике нестабилности и потенцијала за ескалацију у регионалним сукобима (Horowitz, 2019).

## 7. Закључак

Развој ваздухопловног наоружања кроз историју представља један од најдинамичнијих и најважнијих аспеката војне технологије, директно одражавајући технолошки напредак и тренутне стратешке парадигме ратовања. Од првих митраљеза и невођених бомби из Првог светског рата, до данашњих хиперсоничних пројектила и аутономних ројева дрона, пут развоја је вођен константном потрагом за напредовање технологије, већом прецизношћу и дометом. Савремени ваздушни простор је трансформисан из арене за индивидуалне борбе пилота у комплексно, умрежено "когнитивно бојиште", где предност доноси бржа обрада информација и брзина одлучивања.

У закључку, трка у ваздухопловном наоружању се у 21. веку води између три главне силе (САД, Русија, Кина) и више није линеарна. Она се истовремено одвија у различитим димензијама: кинетичкој (Ваздухопловно наоружање), когнитивној (АИ и аутономија) и електромагнетној (DEW и EW). Ове технологије носе дубоке стратешке и етичке изазове, због чега је неопходан хитан дијалог на међународном нивоу налик онима из женевских конвенција, о новим нормама и механизмима контроле и пуотребе. За земље попут Србије, чије је ратно ваздухопловство у фази обнове, савремени трендови постављају изазов у смислу проналажења адекватног баланса између набавке страних модерних платформи и развоја сопствених, асиметричних одбрамбених способности, прилагођених новим претњама, и наравно, кључно јесте питање финасирања.

Будућност ваздухопловног наоружања је дефинисана брзином, интелигенцијом и умрежавањем. Стално супарништво односно условно речено „конкурвенција“ између офанзивних и дефанзивних технологија наставља да обликује глобалну безбедност, стављајући ваздухопловство у улогу главног носиоца стратешког одвраћања данас.

## 8. Литература

- Aarten, S. R. (2020). The impact of hypersonic missiles on strategic stability. *Militaire Spectator*, 189(4). <https://militairespectator.nl/artikelen/impact-hypersonic-missiles-strategic-stability>.
- Adams, T. K. (2001). Future warfare and the cost-exchange ratio. *Parameters: U.S. Army War College Quarterly*, 31(1), 57–71.
- Adamy, D. L. (2001). *EW 101: A First Course in Electronic Warfare*. Artech House.
- Bronk, J. (2020). *Russian Airborne Weapons: Long-Range Air-to-Air Missiles and Beyond Visual Range Combat*. Royal United Services Institute.
- Bronk, J., Reynolds, N., & Watling, J. (2022, November 7). *The Russian air war and Ukrainian requirements for air defence* (Special Report). Royal United Services Institute.
- Congressional Research Service. (2025, July 3). *Defense primer: U.S. precision-guided munitions* (IF11353). [https://www.congress.gov/crs\\_external\\_products/IF/PDF/IF11353/IF11353.18.pdf](https://www.congress.gov/crs_external_products/IF/PDF/IF11353/IF11353.18.pdf)
- Cvetković, D. (2008). *Vazduhoplovno bombardersko naoružanje*. Beograd.
- Cvetković, D., & Cvetković, I. (2018). *Bombarderi i lovci-bombarderi sa naoružanjem*. Beograd.
- Department of Defense (DoD). (2020). *Directed Energy Roadmap*. Washington, D.C.: Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering.
- Gertler, J. (2020). *F-35 Joint Strike Fighter (JSF) program* (CRS Report). Congressional Research Service.
- Grant, R. (2007). *The Evolution of Warfare: Weapons and Tactics of the 20th and 21st Centuries*. London: Osprey Publishing.
- Група аутора. (1987). *Ilustrovana istorija vazduhoplovstva Ratna krila*. Beograd: Vuk Karadžić & Službeni glasnik.
- Gunston, B. (2004). *Aircraft armament: Guns, rockets, missiles*. Crowood Press.
- Horowitz, M. C. (2019). The ethics of emerging military technologies. In *Routledge handbook of ethics and war* (pp. 429–440). Routledge.
- ICRC. (2015). *International humanitarian law and the challenges of contemporary armed conflicts*. International Committee of the Red Cross.
- International Institute for Strategic Studies. (2024). *The military balance 2024*. Routledge.
- Kallenborn, Z. (2020). The dangerous chemistry of drone swarms. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 76(5), 210–215.
- Kania, E. B. (2019). *The PLA's evolving airpower: Capabilities and strategic implications*. China Aerospace Studies Institute, U.S. Air Force.
- Kopp, C. (2019). *The F-22 and the future of air dominance*. Air Power Australia.
- Lake, J. (Ed.). (2023). *Jane's air-launched weapons*. Janes Information Group.
- Миљковић, М. и Бериша, Х. (2023). Примена вештачке интелигенције у савременом ратовању. *The Policy of National Security*, 25(2), 77-98.

- RAND Corporation. (2024). *The Future of Air Power: Challenges and Opportunities for the Next Decade*. (Research Report). Santa Monica, CA: RAND Corporation.
- Sayler, K. (2022). *Hypersonic weapons: Background and issues for Congress*. Congressional Research Service. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45811>
- Scharre, P. (2018). *Army of None: Autonomous Weapons and the Future of War*. New York: W. W. Norton & Company.
- Scharre, P. (2018). *Army of none: Autonomous weapons and the future of war*. W. W. Norton & Company.
- State Council of the People's Republic of China. (2017). *New Generation Artificial Intelligence Development Plan*.
- Trimble, S. (2023). NGAD: The Family of Systems Dominating the Air. *Aviation Week & Space Technology*, 185(1), 22-26.
- U.S. Government Accountability Office (GAO). (2023). *Hypersonic Weapons: DOD Should Clarify Roles and Responsibilities to Ensure Integration*. Washington, D.C.: GAO Report.
- Војни лексикон. (1981). Београд: Војноиздавачки завод (ВИЗ).
- Vlačić, S. (2012). *Višenamenski borbeni avioni*. Beograd.
- Warden, J. A. (1995). *The Air Campaign: Planning for Combat*. Washington, D.C.: National Defense University Press.
- Werrell, K. P. (2022). *The evolution of air-to-air missile warfare*. Air University Press.
- Živković, N. (2018). *Vazduhoplovstvo u savremenom ratu*. Beograd: Medija centar Odbrana