

Proračun elemenata manevara za noćno gađanje ciljeva na zemlji za avion Pilatus PC-9M

Beljan, Ante

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:775182>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-26**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ante Beljan

**PRORAČUN ELEMENATA MANEVARA ZA NOĆNO
GAĐANJE CILJEVA NA ZEMLJI ZA AVION PILATUS
PC-9M**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 21. veljače 2023.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Zrakoplovna navigacija IV**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7035

Pristupnik: **Ante Beljan (0135256652)**
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Proračun elemenata manevara za noćno gađanje ciljeva na zemlji za avion Pilatus PC-9M**

Opis zadatka:

Tehničke karakteristike zrakoplova Pilatus PC-9M. Razvoj generacija naočala za noćno gledanje. Princip rada naočala za noćno gledanje. Primjena naočala za noćno gledanje u vojnom i civilnom zrakoplovstvu. Usporedba modela naočala i analiza njihovih karakteristika. Definiranje preduvjeta za provedbu misija noćnog gađanja. Proračuni elemenata gađanja ciljeva na zemlji u noćnim uvjetima

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Doris Novak

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTE PROMETNIH ZNANOSTI

PRORAČUN ELEMENATA MANEVARA ZA NOĆNO GAĐANJE
CILJEVA NA ZEMLJI ZA AVION PILATUS PC-9M
CALCULATION OF ELEMENTS OF MANEUVERS FOR NIGHT
SHOOTING OF GROUND TARGETS FOR PILATUS PC-9M

DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Ante Beljan

JMBAG: 0135256652

Zagreb, 2023.

Sažetak

Misija Hrvatskog ratnog zrakoplovstva je nadzor i zaštita zračnog prostora Republike Hrvatske, sudjelovanje u združenim i međunarodnim vojnim operacijama te provedba operacija pružanja pomoći civilnim institucijama u zemlji. Vodeći se misijom Hrvatskog ratnog zrakoplovstva, bilo bi bitno da se u početnu temeljnu obuku pilota aviona, koja se odvija na zrakoplovu Pilatus PC-9M uvede i obuka za letenje noću uz uporabu naočala za noćno gledanje. Sama obuka je dosta kompleksnija i zahtjevnija od trenutnog noćnog letenja koje se provodi na tom tipu zrakoplova no za što lakšu tranziciju na buduću borbeni zrakoplov koji će uskoro biti u sastavu Hrvatskog ratnog zrakoplovstva, ovakva vrsta obuke je neophodna. Kako bi se buduća tranzicija pilota sa Pilatusa PC-9M na zrakoplov 4.5 generacije obavljala što lakše te kako bi 392. Eskadrila aviona mogla povećati opseg zadaća koje izvršava, što bi značilo omogućavanje bilo koje vrste leta noću, uz dosadašnje VFR i IFR navigacijsko letenje noću. Uz povećani opseg borbenih i obučnih zadaća, 392. Eskadrila aviona bi dobila i mogućnost obavljanja obalne straže noću, što sada nije moguće.

Ključne riječi:

Naočale za noćno gledanje, gađanje ciljeva na zemlji, Pilatus PC-9M, generacije NVG-a, usporedba modela NVG-a, proračuni elemenata za gađanje

Summary

The mission of the Croatian Air Force is to monitor and protect the airspace of the Republic of Croatia, participate in joint and international military operations, and conduct operations to provide assistance to civil institutions in the country. Guided by the mission of the Croatian Air Force, it would be important to include night flying training with the use of night vision goggles in the initial basic training of airplane pilots, which takes place on the Pilatus PC-9M aircraft. The training itself is much more complex and demanding than the current night flying that is carried out on this type of aircraft, but for an easier transition to the future fighter aircraft that will soon be part of the Croatian Air Force, this type of training is necessary. In order to make the future transition of pilots from the Pilatus PC-9M to the 4.5 generation aircraft as easy as possible and so that the 392nd Aircraft Squadron could increase the scope of the tasks it performs, which would mean enabling any type of flight at night, in addition to the current VFR and IFR navigational flights at night. In addition to the increased scope of

combat and training tasks, the 392nd Aircraft Squadron would also have the possibility of performing coast guard at night, which is not possible now.

Keywords:

Night vision goggles, ground target shooting, Pilatus PC-9M, NVG generations, NVG model comparison, shooting element calculations

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Tehničke karakteristike zrakoplova Pilatus PC-9M	3
3. Princip rada naočala za noćno gledanje	5
3.1. Vidno polje naočala za noćno gledanje	6
3.1.1. Monokular	7
3.1.2. Binokular	8
3.1.3. Panoramski NVG	9
3.2. Razlučivost	10
3.3. Percepcija dubine	10
3.4. Fokus NVG naočala.....	11
3.5. Zaštita od prejake svjetlosti	12
3.6. Fuzija NVG-a i termovizije.....	13
3.7. NVG izvan vidljivog spektra svjetla.....	14
3.8. Korištenje zelenog svjetla za prikaz slike	14
3.9. Automatsko odvajanje NVG-a.....	16
3.10. Utjecaj NVG-a na zdravlje	16
4. Razvoj generacija naočala za noćno gledanje.....	19
4.1. Nulta generacija.....	19
4.2. Prva generacija NVG-a	20
4.3. Druga generacija NVG-a	22
4.4. Treća generacija NVG-a.....	23
4.5. Četvrta generacija NVG-a.....	24
5. Primjena naočala za noćno gledanje u vojnom i civilnom zrakoplovstvu	26
5.1. Potrebna oprema zrakoplova za noćno letenje uz korištenje NVG-a	26
5.2. Potrebna oprema zrakoplova za noćno grupno letenje.....	27
5.3. Prinudno napuštanje zrakoplova sa NVG naočalama	29
6. Usporedba modela naočala i analiza njihovih karakteristika	32
6.1. AN/AVS-9	32
6.2. AN/AVS-6	33
6.3. PNVG AN/AVS-10	34
6.4. Odabir naočala.....	36
7. Definiranje preduvjeta za provedbu misija noćnog gađanja.....	38

7.1. Zakonski i tehnički preduvjeti	38
7.2. Meteorološki preduvjeti	41
8. Proračuni elemenata gađanja ciljeva na zemlji u noćnim uvjetima	43
8.1. Odlazak i povratak iz zone djelovanja	43
8.2. Krug za gađanje, raketiranje i bombardiranje u noćnim uvjetima	44
8.3. Ostali načini gađanja ciljeva na zemlji	47
8.3.1. Napad sa iskakanjem iz pravca	48
8.3.2. Bojni zaokret sa promjenom pravca za 180°	49
8.3.3. Manevar polupetlja	51
Zaključak	54
Literatura	55
Popis kratica	57
Popis slika	60
Popis tablica	61
Popis jednadžbi	62

1. Uvod

U ovom diplomskom radu će biti obrađena tematika vezana za noćno gađanje sa zrakoplovom Pilatus PC-9M koji se nalazi u sastavu 392. eskadrile Hrvatskog ratnog zrakoplovstva. Trenutno se takve vrste letačkih zadaća ne izvode sa ovom letjelicom, iako već duži niz godina postoji naznaka da će se to uvesti te je ovaj rad pisan kako bi, ako je ikako moguće pomogao uvođenju noćnog gađanja. Kao osnova za ovaj rad, ponajviše će se koristiti trenutno javno dostupni dokumenti od Slovenskog ratnog zrakoplovstva, koje isti tip zrakoplova koristi već dugi niz godina te na njemu uspješno provodi noćna gađanja, kako vježbovna tako i uz upotrebu bojevog streljiva.

Trenutno noćno letenje na ovom tipu zrakoplova se sastoji od temeljnog i akrobatskog noćnog letenja te od noćnog navigacijskog letenja. Uz dobre temelje koje trenutni plan letačke obuke postavlja za buduće pilote nedostaje nekoliko stavki koje su obvezne za borbena letenje te koje će nedostajati svim budućim pilotima koji budu išli na borbene zrakoplove: noćno grupno letenje, koje je jedan od temelja za noćna borbena djelovanja, jer se u pravilu sve borbene zadaće, vježbovne ili stvarne obavljaju minimalno u sastavu pare te sama noćna gađanja koja bi se u vježbovnim uvjetima mogla izvoditi i samostalno.

Cilj ovoga rada je opisivanje potrebnih nadogradnji i nabavke opreme za zrakoplov Pilatus PC-9M te proračun osnovnih manevara za gađanje noću.

Rad je podijeljen na sedam poglavlja. U prvom poglavlju „Tehničke karakteristike zrakoplova Pilatus PC-9M“ će ukratko biti opisane tehničke karakteristike navedenog zrakoplova dok će detaljno biti opisan kokpit zrakoplova, instrumenti i prikaznici u zrakoplovu te trenutni sustav osvjetljenja te će biti ukratko navedene moguće modifikacije koje bi bile poželjne za obavljanje noćnog letenja uz korištenje naočala za noćno gledanje.

Kroz drugo poglavlje „Princip rada naočala za noćno gledanje“ će biti opisan princip rada naočala te potrebni uvjeti u kabini zrakoplova za njihov nesmetan rad, dok će u trećem poglavlju „Razvoj generacija naočala za noćno gledanje“ biti ukratko opisane starije generacije naočala, kako bismo dobili što točniji uvid u trenutno aktualne naočale, koje će biti detaljno opisane.

U četvrtom poglavlju „Primjena naočala za noćno gledanje u vojnom i civilnom zrakoplovstvu“ će biti opisan početak uporabe tih naočala, te na koje sve načine one olakšavaju letenje, kako vojsci, gdje se najčešće koriste, tako i civilstvu.

Peto poglavlje „Usporedba modela naočala i analiza njihovih karakteristika“ će na jednom mjestu objediniti i usporediti nekoliko već navedenih modela i pokušati analizom podataka izabrati koje bi bile najbolji odabir za korištenje na zrakoplovu Pilatus PC-9M.

U šestom poglavlju „Definiranje preduvjeta za provedbu misija noćnog gađanja“ će se usporediti noćno i dnevno gađanje te će se dati uvid u to koliko je noćno gađanje složenije, opasnije i zamornije po pilote od dnevnog gađanja.

U sedmom i završnom poglavlju „Proračuni elemenata gađanja ciljeva na zemlji u noćnim uvjetima“ će biti prikazani izračuni za osnovna gađanja noću te će oni biti uspoređeni sa načinom noćnog gađanja koje obavlja Slovensko ratno zrakoplovstvo.

U zaključku ovoga rada donose se konačna razmatranja o noćnom gađanju i bitnosti njegovoga što skorijeg uvođenja, kako bi budući piloti bili što osposobljeniji za sve vrste zadaća te kako se pri prijelazu na nove tipove zrakoplova ne bi morala ista obuka provoditi iz nule, a na puno skupljem i kompleksnijem sustavu.

2. Tehničke karakteristike zrakoplova Pilatus PC-9M

Zrakoplov Pilatus PC-9M je prvenstveno namijenjen za osnovnu i naprednu obuku, a u sastavu Hrvatskog ratnog zrakoplovstva se nalazi od 1997. godine te je od tada Eskadrila aviona u čijem se sastavu nalazi Pilatus PC-9M ostvarila preko 60000 sati naleta.

Zrakoplov je opremljen turboprop motorom proizvođača Pratt & Whitney, oznake PT6A-62, koji maksimalno razvija 950 konjskih snaga. Pogonjeni propeler je četverokraki propeler američkog proizvođača Hartzell. Opterećenja koja zrakoplov može podnijeti su ograničena na -3,5 g i na + 7 g, što zrakoplovu omogućava izvođenje većine akrobacija koje se ujedno mogu prenijeti na manevre koji se koriste u borbi. Zrakoplov može razvijati brzine od 79 čvorova, što je brzina sloma uzgona pa do 320 čvorova što je maksimalna brzina za ovaj zrakoplov. Sama raspoloživa snaga te relativno širok spektar brzina na kojima može letjeti, čini ovaj zrakoplov pogodnim za temeljnu i naprednu obuku pilota, no uz to ga čini pogodnim i za blisku zračnu potporu (Close Air Support – CAS), gađanje ciljeva na zemlji i presretanje sporije letećih zrakoplova. Zrakoplov Beechcraft T-6 Texan II kojega prvenstveno koristi Američko ratno zrakoplovstvo, a baziran je na Pilatusu PC-9M, te su po većini letnih karakteristika identični, uz razliku što je Texan naoružan i opremljen suvremenom avionikom.

Na slici 1 je prikazana prednja kabina Pilatusa PC-9M, sa svim instrumentima, prikaznicima, osiguračima i prekidačima koji se nalaze u zrakoplovu.



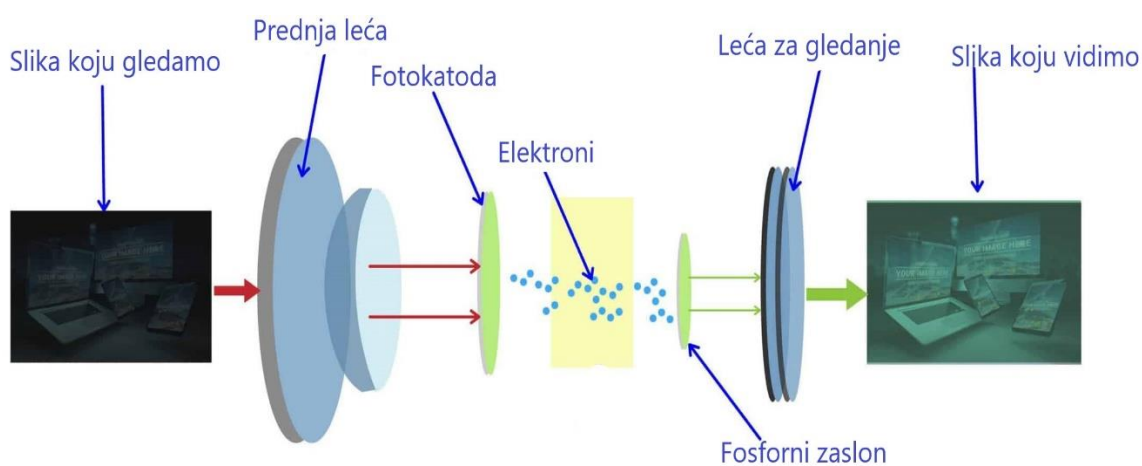
Slika 1. Kokpit zrakoplova Pilatus PC-9M [1]

Kako se rad prvenstveno odnosi na noćno letenje uz korištenje naočala za noćno gledanje (night vision goggles - NVG) tako će se u ovom poglavlju najviše pažnje posvetiti prikaznicima instrumenata zrakoplova i njihovoj kompatibilnosti sa NVG sustavom. Za razliku od svih borbenih zrakoplova, tako i za razliku od Pilatusa PC-9M kojega koristi Slovensko ratno zrakoplovstvo, zrakoplov koji se nalazi u sastavu Hrvatskog ratnog zrakoplovstva nije opremljen *head-up displayom* (HUD), odnosno nema sustav koji bi ispred pilota projicirao podatke potrebne za let i borbena djelovanja te time smanjio radno opterećenje pilota i značajno olakšao letenje. Zrakoplov je opremljen za noćno letenje te sukladno tome svi prikaznici su osvijetljeni. Pomoćni visinomjer, pomoćni umjetni horizont, akcelerometar, zrakoplovni sat, brzinomjer, radiomagnetski prikaznik, visinomjer i variometar su mehanički prikaznici te su osvijetljeni pomoću nekoliko žaruljica koje se nalaze u kućištu prikaznika te se razina osvijetljenja na njima regulira pomoću jednog potenciometra. Ostali instrumenti, koji se nalaze u kabini zrakoplova su prikazani na zaslonima od katodnih cijevi te svaki od njih ima potenciometar pomoću kojega se može regulirati količina osvijetljenja. Uz osvijetljenje prikaznika, kabina zrakoplova se još može osvijetliti pomoću tri različite svjetiljke koje se nalaze u kabini, no one nisu neophodne za letenje uz korištenje NVG-a, osim u slučaju otkaza NVG-a. Svi instrumenti, osim EADI-a, EHSI-a i ESDP-a su osvijetljeni pomoću žarulja sa žarnom niti, koje proizvode svjetlost u rasponu koji se nalazi u čitavom vidljivom spektru svjetlosti te će osvijetljenje tih instrumenata ili morati biti zamijenjeno ili će se morati koristiti određene vrste filtera, dok će EADI; EHSI i ESDP vjerojatno isto morati koristiti filtere, no informaciju o njihovoj valnoj duljini nije bilo moguće pronaći. [1]

3. Princip rada naočala za noćno gledanje

Naočale za noćno gledanje su optički uređaji koji se koriste za poboljšanje vidljivosti u uvjetima slabe osvjetljenosti. Ove naočale koriste posebne leće i filtere koji poboljšavaju kontrast i smanjuju sjaj, što pomaže korisnicima da vide bolje u mraku.

Osnovni princip rada naočala za noćno gledanje je pojačavanje svjetla koje dolazi iz okoline, tako da se bolje može vidjeti u uvjetima slabe osvjetljenosti. To se postiže pomoću specijalnih leća koje se nazivaju intenzifikacijske cijevi. Ove leće pojačavaju svjetlost tako da čak i mala količina svjetlosti koja dolazi iz okoline može biti dovoljna za stvaranje slike. Intenzifikacijske cijevi se sastoje od nekoliko slojeva. Prvi sloj je fotokatoda, koja pretvara svjetlost u elektrone. Drugi sloj je elektrostatski pojačivač, koji pojačava elektrone. Treći sloj je zaslon, koji se sastoji od stotine tisuća piksela, svaki od kojih emitira svjetlost kada se na njega usmjeri elektron. Konačno, posljednji sloj je leća za gledanje, koja prikazuje sliku koja se formira na zaslonu. Svjetlost koja dolazi iz okoline prolazi kroz objektiv na prednjoj strani naočala. Objektiv može biti izrađen od stakla ili plastike i može imati nekoliko slojeva za smanjenje sjaja i povećanje kontrasta. Nakon što svjetlost prođe kroz objektiv, dolazi do intenzifikacijske cijevi, gdje se pojačava. Fotokatoda u intenzifikacijskoj cijevi prima svjetlost koja se emitira iz objektiva i pretvara je u elektrone. Elektroni se zatim pojačavaju u elektrostatskom pojačivaču, gdje se stvara veći broj elektrona. Zaslon zatim prima ove elektrone i emitira svjetlost kroz stotine tisuća piksela. Leća za gledanje na kraju fokusira sliku koja se formira na zaslonu i prikazuje je korisniku. Taj opisani princip rada je prikazan na slici 2. [2]



Slika 2. Prikaz rada naočala za noćno gledanje. [2]

Po načinu rada naočale za noćno gledanje se dijele na pasivne i aktivne. Princip rada pasivnih naočala je opisan u osnovnom principu rada naočala. Pasivne naočale su jednostavnije za izradu i korištenje te su lakše, manje i ne zahtijevaju dodatne izvore napajanja za razliku od aktivnih naočala. No imaju i više nedostataka. Neki od njih su što ne rade u uvjetima potpunog mraka, odnosno mora postojati mali izvor svjetlosti, također pasivne naočale ne mogu filtrirati svjetlost, tako da u slučaju da korisnik pogleda u prejak izvor svjetlosti može ostati nakratko zaslijepljen. Pasivne naočale se u praksi ne koriste u vojnom letenju zbog lakog ometanja sa svjetlošću koje bi nastalo u uvjetima borbenih misija.

3.1. Vidno polje naočala za noćno gledanje

Ljudsko vidno polje je područje koje čovjek može vidjeti dok drži glavu nepomično usmjerenu prema naprijed. Vidno polje čovjeka se obično mjeri u stupnjevima i može varirati od osobe do osobe. Prosječni kutni vidni raspon čovjeka iznosi oko 180 stupnjeva. Ljudsko vidno polje se može podijeliti na tri glavna područja: centralno vidno polje, periferno vidno polje i slijepu točku.

- Centralno vidno polje je područje kojeg osoba može vidjeti izravno kada drži pogled usmjeren prema nekom objektu. Ovo područje pokriva otprilike 2-3 stupnja vidnog polja.
- Periferno vidno polje odnosi se na područje koje se nalazi izvan centralnog vidnog polja i obično se odnosi na područje koje se nalazi unutar kutnog raspona od oko 60 stupnjeva.
- Slijepa točka je područje unutar vidnog polja gdje se vidni živac spaja s mrežnicom, što uzrokuje slijepu točku. Ovo područje obično nije primjetno jer mozak automatski ispravlja nedostatak informacija iz tog područja

Vidno polje (FOV – Field of View) naočala za noćno gledanje varira ovisno o vrsti i modelu naočala. FOV se obično mjeri u stupnjevima i predstavlja kutni raspon koji korisnik može vidjeti kroz naočale. Pasivne NVG naočale imaju obično manje vidno polje od aktivnih NVG naočala, a FOV se obično kreće od 40 do 50 stupnjeva za pasivne NVG naočale. Aktivne NVG naočale, s druge strane, imaju veće vidno polje, a FOV se obično kreće od 50 do 60 stupnjeva. Međutim, postoje i specijalizirane naočale za noćno gledanje koje imaju široko vidno polje. Na primjer, neke naočale za noćno gledanje koje se koriste u vojne svrhe imaju vidno polje od 100 stupnjeva ili više. Vidno polje naočala ponajviše ovisi o broju okulara koji se nalaze na naočalama.

3.1.1. Monokular

Monokularne naočale za noćno gledanje obično imaju najmanje vidno polje od svih NVG naočala. Vidno polje monokularnih NVG-a ograničeno je veličinom leće objektiva, a to je leća na prednjoj strani naočala koja skuplja svjetlost. Što je manja leća objektiva, to je uže vidno polje. Osim toga, monokularni NVG tipično imaju faktor povećanja, što dodatno smanjuje vidno polje. Faktor povećanja može se prilagoditi kako bi se omogućio bliži ili širi pogled na promatranu scenu, ali to dolazi po cijenu smanjenja vidnog polja. Izgled monokularnog NVG-a je prikazan na slici 3. [4]



Slika 3. PVS-14 NVG monokular [4]

Tipično vidno polje za monokularne NVG je oko 40 stupnjeva, što je otprilike jednako gledanju kroz rolu papirnatog ručnika. Ovo ograničeno vidno polje može otežati navigaciju u potpunom mraku, osobito u nepoznatim ili složenim okruženjima. Stoga je ključno koristiti NVG zajedno s drugom opremom, kao što su svjetiljke ili dalekozori, kako biste pomogli u održavanju svjesnosti o situaciji i sigurnoj navigaciji. No uz nedostatak uskog vidnog polja značajna prednost monokularnih NVG naočala je manja masa i cijena te što jedno oko ostaje konstantno priviknuto na mrak, što može olakšati privikavanje na mrak ako je iz nekog razloga

potrebno isključiti NVG te se zbog toga najčešće koriste u policijskim postrojbama i vojsci. Najveći nedostatak ovih naočala je korištenje samo jednog oka, što smanjuje percepciju dubine te se iz toga razloga ne koriste u zrakoplovstvu.

3.1.2. Binokular

Binokularne naočale za noćno gledanje općenito imaju šire vidno polje u usporedbi s monokularnim NVG naočalama. Vidno polje binokularnih NVG-ova obično je šire jer koriste dvije leće objektiva umjesto jedne, što omogućuje veću kolekciju svjetla i šire vidno polje. Osim toga, dvije slike iz svake leće kombiniraju se u jednu sliku koju percipira korisnik, što može pružiti prirodiju i intuitivniju percepciju dubine i prostorne svijesti. Vidno polje binokularnih NVG-ova može varirati ovisno o specifičnom modelu i konfiguraciji, ali tipične vrijednosti kreću se od oko 50 do 60 stupnjeva. To je šire od vidnog polja većine monokularnih NVG-ova, koji su obično oko 40 stupnjeva. Izgled binokularnih NVG naočala je prikazan na slici 4. [3]



Slika 4. AN/AVS-9 NVG naočale na kacigi HGU-55/P [5]

Međutim, važno je napomenuti da šire vidno polje binokularnih NVG-ova može doći po cijenu povećane težine i glomaznosti, a i cijena ovih naočala je obično oko 50% veća od cijene monokularnih naočala. Dodatno, neki korisnici mogu osjetiti naprezanje očiju ili drugu nelagodu kada koriste binokularne NVG dulje vrijeme.

3.1.3. Panoramski NVG

Panoramske naočale za noćno gledanje pružaju još šire vidno polje u usporedbi s binokularnim NVG. Panoramske NVG postižu šire vidno polje korištenjem zakrivljene leće koja se proteže preko prednjeg dijela naočala ili kombinirajući dva binokulara, odnosno po jedan za svako oko, pružajući tako šire i prirodnije vidno polje. Zakrivljena leća omogućuje veću kolekciju svjetla, što može pružiti veću svijest o situaciji i smanjiti rizik od vizualnog tuneliranja. Točno vidno polje panoramskih NVG-ova može varirati ovisno o specifičnom modelu i konfiguraciji, ali tipične vrijednosti kreću se od oko 100 do 140 stupnjeva, što je negdje u rangu prirodnog vidnog polja, odnosno vidnog polja bez naočala za noćno gledanje. Ovo je znatno šire od vidnog polja monokularnih i binokularnih NVG-ova te su panoramske NVG naočale prikazane na slici 5. [3]



Slika 5. GPNVG-19, panoramske NVG naočale na HGU-55 kacigi. [6]

Panoramski NVG mogu biti posebno korisni u okruženjima u kojima je širokokutna vidljivost ključna, kao što je rad u urbanim ili zatvorenim okruženjima, ili kada se provode operacije potrage i spašavanja te su pogotovo pogodne za letenje. Međutim, važno je napomenuti da panoramski NVG-ovi mogu biti teži i glomazniji od drugih vrsta NVG-ova, što može utjecati na udobnost i upotrebljivost. Osim toga, panoramski NVG-ovi su skuplji od drugih vrsta NVG-ova, što može utjecati na njihovu dostupnost nekim korisnicima ili organizacijama.

3.2. Razlučivost

Razlučivost (Figure of merit -FOM) NVG naočala ili FOM je mjera kvalitete cijevi za pojačivač slike koja se koristi u NVG naočalima. Cijev za pojačivač slike ključna je komponenta koja pojačava dostupno svjetlo za stvaranje vidljive slike u uvjetima slabog osvjetljenja. FOM se izračunava množenjem rezolucije cijevi s omjerom signala i šuma cijevi. Razlučivost cijevi mjeri se u parovima linija po milimetru (lp/mm), što označava sposobnost cijevi da razlikuje blisko razmaknute objekte na slici. Veća razlučivost označava jasniju i oštrijiju sliku. Razlučivost cijevi ovisi o razmaku komponenti fotokatode i mikrokanalne ploče u cijevi. Omjer signala i šuma (SNR) cijevi je mjera njene sposobnosti da pojača dostupno svjetlo dok minimalizira šum u slici. SNR se mjeri kao omjer signala (svjetla) i šuma (slučajnih električnih signala) na slici. Veći SNR označava jasniju sliku s manje šuma. Za izračun FOM-a, razlučivost cijevi (u lp/mm) množi se SNR-om cijevi. FOM se izražava u jedinicama lp/mm x SNR. Viši FOM označava bolju kvalitetu slike, s većom sposobnošću otkrivanja niskih razina svjetla i razlikovanja blisko razmaknutih objekata. Viši FOM označava bolju kvalitetu slike, s oštrijim i jasnijim slikama i većom sposobnošću otkrivanja niskih razina svjetla. FOM može biti u rasponu od 500 do 3000, s višim vrijednostima koje ukazuju na bolje performanse [3]

3.3. Percepcija dubine

Percepcija dubine je sposobnost našeg mozga da procijeni razlike u dubini između objekata i da odredi njihovu trodimenzionalnu poziciju u prostoru. Dubina se odnosi na percepciju razlike u udaljenosti između objekata, što se obično povezuje s vizualnom percepcijom. Percepcija dubine omogućava nam da precizno procijenimo udaljenost do objekata, njihovu veličinu i oblik. Ova sposobnost nam omogućava da se orijentiramo u prostoru, navigiramo, izbjegnemo opasnosti i manipuliramo predmetima oko nas. Percepcija dubine se temelji na sposobnosti naših očiju da prikupljaju dvije nešto različite slike objekta, koje se prenose u naš mozak preko optičkih živaca. Kada mozak obrađuje ove dvije slike, on ih uspoređuje kako bi odredio razliku u udaljenosti između objekata. Percepcija dubine može biti oslabljena kada su oči u neravnoteži, što može uzrokovati problema s vidom ili kada se koriste alati poput naočala za noćni vid koji mogu promijeniti način na koji oči vide i obrađuju slike. Korištenje pomoćnih sredstava poput laserskih daljinomjera ili drugih tehnologija može poboljšati percepciju dubine. Kao što je već rečeno na percepciju dubine može utjecati korištenje naočala za noćno gledanje, osobito kada se koriste monokularne NVG naočale ili kada se koriste NVG naočale u uvjetima slabog osvjetljenja. [3]

Kada se koriste monokularne NVG naočale, percepcija dubine može se smanjiti jer korisnik prima samo jednu sliku. To može otežati točnu procjenu udaljenosti i prostornih odnosa.

Međutim, neki monokularni NVG-ovi uključuju znakove percepcije dubine, poput stereopsije ili paralakse pokreta, koji mogu pomoći korisniku da uoči dubinu unatoč nedostatku binokularnog vida. Pri korištenju binokularnih NVG-ova, percepcija dubine obično je poboljšana u usporedbi s monokularnim NVG-ovima, jer se dvije slike iz svake leće kombiniraju kako bi se pružila prirodnija i intuitivnija percepcija dubine i prostorne svijesti. Međutim, važno je napomenuti da na percepciju dubine još uvijek mogu utjecati drugi čimbenici pri korištenju NVG-a, kao što je ograničen periferni vid, smanjena osjetljivost kontrasta i izobličenje ili zamućenje objekata na rubovima vidnog polja. [22]

3.4. Fokus NVG naočala

Fokus se u naočalama za noćno gledanje odnosi na raspon udaljenosti na kojoj naočale mogu proizvesti jasnu i fokusiranu sliku. Na njega utječe udaljenost između leće objektiva (leće na prednjoj strani naočala koja skuplja ulaznu svjetlost) i leće okulara (leće koja povećava sliku).

Neke naočale za noćno gledanje imaju fiksni fokus, što znači da je udaljenost između objektiva i leća okulara postavljena na određenu udaljenost, obično oko 25 metara. To znači da će sve unutar te udaljenosti biti u oštrom fokusu, ali sve izvan te udaljenosti može izgledati mutno ili izvan fokusa. To može biti problematično u situacijama kada korisnik treba promatrati objekte na različitim udaljenostima, budući da će možda morati stalno podešavati naočale kako bi održao jasnu sliku.

Druga vrsta naočala za noćno gledanje ima podesivi fokus, što korisniku omogućuje ručno podešavanje udaljenosti između objektiva i leća okulara kako bi se proizvela jasna slika na različitim udaljenostima. To se može učiniti pomoću prstena za fokusiranje ili kotačića koji se nalazi na naočalama. Podešavanjem fokusa, korisnik može oštro fokusirati objekte na različitim udaljenostima, pružajući veću fleksibilnost i prilagodljivost u različitim operativnim scenarijima.

Beskonačni fokus je izraz koji se koristi za opisivanje sposobnosti naočala za noćno gledanje da proizvedu jasnu i fokusiranu sliku objekata na ekstremno velikim udaljenostima, obično izvan raspona tipičnih udaljenosti za promatranje te je ovakav oblik NVG-a najpoželjniji za uporabu u zrakoplovstvu, jer nakon postavljanja beskonačnog fokusa, pilot više ne mora podešavati naočale. Kada se naočale za noćno gledanje postave na beskonačni fokus, leće se podešavaju tako da dolazeće svjetlosne zrake budu paralelne jedna s drugom, što omogućuje da objekti na ekstremnim udaljenostima budu u oštrom fokusu. To se postiže podešavanjem fokusa leće objektiva, koja skuplja i fokusira dolazno svjetlo, tako da su svjetlosne zrake paralelne jedna s drugom prije nego što uđu u leću okulara. Beskonačni fokus je koristan za naočale za noćno gledanje jer korisniku omogućuje promatranje objekata na iznimno velikim udaljenostima bez potrebe za stalnim podešavanjem fokusa. [3]

Važno je napomenuti da beskonačni fokus nije isto što i imati podesivi raspon fokusa. Dok beskonačni fokus omogućuje objektima na ekstremnim udaljenostima da budu u oštrom fokusu, možda nije idealan za objekte na manjim udaljenostima. Naočale za noćno gledanje s podesivim rasponom fokusa mogu se postaviti za pružanje oštrog fokusa za objekte na različitim udaljenostima, pružajući veću fleksibilnost i prilagodljivost u različitim operativnim scenarijima, no opet tu treba uzeti u obzir raspon udaljenosti koje će pilot imati i olakšani rad naočala sa beskonačnim fokusom.

Općenito, širi raspon fokusa poželjan je u naočalama za noćno gledanje, jer omogućuje veću fleksibilnost i prilagodljivost u različitim operativnim scenarijima. Međutim, važno je napomenuti da mogu postojati kompromisi između raspona fokusa i drugih čimbenika kao što su jasnoća slike i vidno polje. Kao i kod svakog optičkog uređaja, pronalaženje prave ravnoteže između ovih čimbenika važno je za optimalnu izvedbu.

3.5. Zaštita od prejake svjetlosti

Naočale za noćno gledanje funkcioniraju na jako jednostavan način, pojačavaju dostupnu svjetlost do razine koju ljudsko oko može vidjeti. Uskoro nakon pojave prvih naočala došlo je do relativno jednostavnih i lakih načina ometanja, jaki izvor svjetlosti, poput svijetleće rakete ili reflektora i korisnik naočala na jako kratko vrijeme ostaje zaslijepljen. Stoga se razvila i ukomponirala zaštita od prejakih izvora svjetla.

Prilikom korištenja NVG-a, korisnikove zjenice su proširene kako bi što više svjetlosti ušlo u oko kako bi se poboljšao vid u uvjetima slabog osvjetljenja. Međutim, ako je korisnik NVG-a izložen iznenadnom bljesku jakog svjetla, to može uzrokovati privremeno ili čak trajno oštećenje očiju. Kako bi se to spriječilo, NVG su opremljeni značajkom zaštite od jakog izvora svjetlosti koja automatski prilagođava naočale kako bi smanjila intenzitet dolaznog svjetla.

Auto-gating je značajka koja pomaže u rješavanju ovog problema automatskim prilagođavanjem pojačanja cijevi pojačala slike kao odgovor na promjene u razinama svjetla. Kada NVG detektira jaki izvor svjetla, sustav automatskog zatvaranja brzo prilagođava pojačanje cijevi kako bi smanjio ukupnu svjetlinu slike. To pomaže spriječiti da slika postane zasićena i isprana, dok korisniku još uvijek omogućuje da vidi okolno područje. Sustav automatskog zatvaranja koristi zatvarač s brzim djelovanjem kako bi blokirao jarku svjetlost prije nego što stigne do cijevi pojačivača slike. To se postiže pomoću mikroprocesora koji kontinuirano prati razinu svjetlosti koja ulazi u NVG. Kada mikroprocesor detektira naglo povećanje razine svjetla, šalje signal zatvaraču koji se brzo zatvara kako bi blokirao jako svjetlo. Zatvarač se zatim ponovno otvara kada izvor svjetlosti prođe, dopuštajući korisniku da ponovno vidi normalno, zatvarač se brzo zatvara kako bi blokirao svjetlost, a zatim se ponovno

otvara kada izvor svjetlosti prođe. To se događa u roku od nekoliko milisekundi, tako da korisnik doživljava minimalne smetnje vida. [24]

Osim što štiti oči korisnika od oštećenja, značajka zaštite izvora svijetlog svjetla također pomaže poboljšati ukupnu izvedbu NVG-a sprječavajući zasićenje cijevi pojačivača slike jakim izvorima svjetla. To može uzrokovati "cvjetanje" cijevi ili privremeno preopterećenje, što može smanjiti kvalitetu slike koja se vidi kroz naočale.

3.6. Fuzija NVG-a i termovizije

Naočale za noćno gledanje dizajnirane su da poboljšaju vidljivost u uvjetima slabog osvjetljenja ili noću pojačavanjem dostupnih izvora svjetlosti. Međutim, NVG naočale su ograničene jer ne mogu vidjeti kroz zidove, lišće ili druge vizualne prepreke te ih dim i magla mogu lako ometati. Termovizija, s druge strane, radi tako da otkriva toplinu koju emitiraju objekti i pretvara je u vidljivu sliku. Iako i NVG i termalne slike imaju svoje prednosti, imaju i ograničenja. NVG-ovi su ograničeni jer ne mogu vidjeti kroz vizualne prepreke kao što su zidovi, lišće ili dim, dok toplinske slike imaju ograničenu rezoluciju i ne mogu pružiti istu razinu detalja kao vizualne slike. Spoj NVG naočala i termalne slike kombinira prednosti objiju tehnologija, omogućujući korisnicima da vide u uvjetima slabog osvjetljenja ili noću, kao i kroz vizualne prepreke. Ovo je osobito korisno u vojnim aplikacijama gdje su često vremenski uvjeti jako loši, a vidljivost često može biti ograničena što zbog dima vozila, a što zbog namjerne uporabe takozvanih dimnih zavjesa. [24]

Spajanje NVG-ova i toplinske slike obično se postiže upotrebom algoritama za obradu slike. Ovi algoritmi kombiniraju vizualnu sliku koju su snimili NVG-ovi s termalnom slikom koju je snimio uređaj za termoviziju, stvarajući spojenu sliku koja kombinira prednosti objiju tehnologija. Postoji nekoliko različitih vrsta fuzijske tehnologije koja se koristi u NVG naočalima i termovizijskim uređajima. Jedna uobičajena vrsta naziva se fuzija slike, koja kombinira vizualnu sliku i toplinsku sliku u jednu sliku koja se može gledati kroz naočale. Druga vrsta naziva se registracija slike, koja poravnava vizualnu sliku i termalnu sliku tako da se mogu vidjeti jedna uz drugu na zaslonu. Fuzija NVG-a i toplinske slike pruža nekoliko prednosti u odnosu na korištenje same tehnologije. Na primjer, spojena slika može pružiti potpuniju sliku okolnog okruženja, omogućujući korisnicima da identificiraju potencijalne prijetnje i da se učinkovitije snalaze. Osim toga, upotreba spojene slike može poboljšati točnost ciljanja i pomoći u smanjenju rizika od kolateralne štete. Još jedna prednost spojene slike je ta što se može koristiti za poboljšanje razlučivosti i kontrasta vizualne i termalne slike. To se postiže procesom koji se naziva višespektralna fuzija slike, koji kombinira slike različitih valnih duljina svjetlosti kako bi se stvorila detaljnija i preciznija slika. [24]

Nekoliko je izazova povezanih s fuzijom NVG-a i toplinske slike. Jedan od izazova je taj što dvije tehnologije snimaju slike u različitim rezolucijama i broju sličica u sekundi, što može otežati sinkronizaciju slika u stvarnom vremenu. Osim toga, proces fuzije može biti računalno intenzivan i zahtijeva specijalizirani hardver i softver.

Unatoč ovim izazovima, spoj NVG-a i termalne slike moćan je alat koji korisnicima pruža poboljšanu svijest o situaciji i sposobnost učinkovitog rada u uvjetima slabog osvjetljenja ili noću, kao i kroz vizualne prepreke, ali uz sve svoje prednosti ima i neka ograničenja, jedno od njih je cijena, a drugo i bitnije je što bi njegova uporaba na zrakoplovima u kojih se motor i ispušni sustav nalazi ispred pilota bila nemoguća.

3.7. NVG izvan vidljivog spektra svjetla

U tradicionalnih NVG naočala, izvori svjetlosti koji se pojačavaju unutar su vidljivog spektra, odnosno uključuje samo raspon valnih duljina koje ljudsko oko može vidjeti. Nasuprot tome, naočale izvan vidljivog spektra (out of band – OOB) NVG naočale dizajnirane su za pojačavanje izvora svjetlosti u infracrvenom (IR) spektru, koji uključuje valne duljine koje su odmah iza crvenog kraja vidljivog spektra i nevidljive su golim okom. IR spektar proteže se od oko 750 nanometara do 1400 nm, dok se vidljivi spektar proteže od oko 400 nm do 750 nm. OOB NVG naočale koriste specijaliziranu cijev kao pojačivač slike, koja je osjetljiva na IR valne duljine.. Ove cijevi pretvaraju dostupno IR svjetlo u vidljivu sliku koja se može vidjeti kroz naočale, omogućujući korisnicima da rade u uvjetima u kojima ima vrlo malo vidljivog svjetla. [24]

Jedna od prednosti korištenja OOB NVG naočala je ta da mogu pružiti razinu skrivenosti i svjesnosti situacije koju je teško postići s drugim vrstama uređaja za noćno gledanje. Koristeći IR svjetlo, ove naočale omogućuju korisnicima da vide u potpunom mraku bez potrebe za korištenjem dodatnih izvora osvjetljenja koji bi mogli odati njihov položaj. Međutim, korištenje OOB NVG naočala također predstavlja neke izazove. Na primjer, nisu svi IR izvori svjetlosti jednaki. Neki izvori IR svjetla, kao što su mjesec i zvijezde, daju jači signal koji se lakše detektira naočalima, drugi izvori, poput umjetnih izvora svjetlosti, možda neće emitirati dovoljno IR svjetla da bi ga naočale detektirale. Još neki od značajnijih nedostataka ovih naočala su njihova cijena, koja je u pravilu dvostruko veća od one običnih NVG naočala te povećana potrošnja energije što dovodi ili do većih baterija ili do bržeg pražnjenja baterija.

3.8. Korištenje zelenog svjetla za prikaz slike

Naočale za noćno gledanje koriste niz leća, fotokatoda i fosfora za pojačavanje svjetla i stvaranje vidljive slike. Jedna važna značajka NVG-a je da emitiraju zeleno svjetlo kada su u

upotrebi. Ovo zeleno svjetlo ne emitira sam uređaj za noćno gledanje, već mala LED dioda koja je pričvršćena na uređaj. Zeleno svjetlo se koristi za pružanje određenog stupnja osvjetljenja korisnicima tijekom korištenja NVG-ova, što može biti od pomoći pri navigaciji u potpunom mraku ili pri obavljanju zadataka koji zahtijevaju određeni stupanj vidljivosti.

Postoji nekoliko razloga zašto se zeleno svjetlo koristi u NVG-ovima. Jedan od razloga je taj što je ljudsko oko najosjetljivije na zeleno svjetlo. Čunjići u ljudskom oku koji su odgovorni za vid boja najosjetljiviji su na zelenu svjetlost, što znači da možemo vidjeti više nijansi zelene od bilo koje druge boje. Zbog ove osjetljivosti na zeleno svjetlo uređaji za noćno gledanje koriste zeleno svjetlo za stvaranje vidljive slike. Još jedan razlog zašto se zeleno svjetlo koristi u NVG-ovima je taj što pruža visok stupanj kontrasta. Ljudsko oko može lakše razlikovati nijanse zelene od nijansi bilo koje druge boje, što znači da će slike stvorene korištenjem zelene svjetlosti imati veći kontrast od slika stvorenih korištenjem drugih boja. Ovaj visoki kontrast posebno je važan u uvjetima slabog osvjetljenja ili noću, gdje je vidljivost ograničena, a kontrast može biti kritičan za prepoznavanje potencijalnih prijatelja. [2]

Osim što je vidljivije i daje veći kontrast, manje je vjerojatno da će zeleno svjetlo ometati korisnikov prirodni noćni vid. Prilikom prijelaza iz jarko osvijetljenog okruženja u tamno okruženje, ljudskom oku treba vremena da se prilagodi nižim razinama svjetla. Ovaj proces, poznat kao prilagodba na tamu, može trajati nekoliko minuta i može se poremetiti izlaganjem jakom svjetlu. Manje je vjerojatno da će zelena svjetlost poremetiti prilagodbu na tamu nego druge boje svjetlosti, što znači da je manja vjerojatnost da će ometati korisnikov prirodni noćni vid. Drugi čimbenik koji treba uzeti u obzir je da je zeleno svjetlo manje vidljivo ljudskom oku na velikim udaljenostima nego druge boje svjetla. Zbog toga je promatraču teže otkriti korištenje NVG-a iz daljine, što može biti važno u vojnim primjenama gdje je tajnost kritična. [2]

Postoji nekoliko različitih vrsta NVG-ova dostupnih na tržištu, od kojih svaka vrsta koristi nešto drugačiju tehnologiju za pojačavanje dostupne svjetlosti. Neki NVG-ovi koriste tehnologiju pojačavanja slike, koja pojačava dostupno svjetlo i pretvara ga u vidljivu sliku. Drugi koriste tehnologiju termalnog snimanja, koja otkriva toplinu koju emitiraju objekti i pretvara je u vidljivu sliku. Međutim, bez obzira na vrstu NVG-a koja se koristi, upotreba zelenog svjetla je uobičajena značajka. Zeleno svjetlo koje emitiraju NVG-ovi osmišljeno je za pružanje određenog stupnja osvjetljenja tijekom korištenja uređaja, a istovremeno iskorištava osjetljivost ljudskog oka na zeleno svjetlo i njegovu sposobnost da lakše razlikuje nijanse zelene od nijansi bilo koje druge boje.

3.9. Automatsko odvajanje NVG-a

Automatsko odvajanje je značajka koja se nalazi u nekim naočalama za noćno gledanje i koja omogućuje da se naočale odvoje ili otrgnu od glave korisnika u slučaju nužde ili iznenadnog udara. Ova je značajka osmišljena kako bi spriječila ozljede korisnika i oštećenje naočala u situacijama kada se mogu zapetljati ili uhvatiti za prepreke te kako bi se u slučaju katapultiranja iz zrakoplova smanjila masa koju pilot ima na kacigi, odnosno na kralježnici.

Mehanizam za odvajanje obično se sastoji od mehanizma za brzo otpuštanje ili kopče koja povezuje naočale s nosačem za glavu ili kacigom. U slučaju iznenadnog udarca ili zapetljanja, ili u slučaju velikog opterećenja, obično iznad 11 „g“, mehanizam je dizajniran da otpusti naočale s nosača za glavu, dopuštajući im da padnu s glave korisnika. Dopuštajući da se naočale odvoje ili otrgnu u takvim situacijama, korisnik se može brzo i sigurno odvojiti od prepreke, a naočale se mogu lako izvući i ponovno pričvrstiti na nosač za glavu ili kacigu. [21]

Ukratko, automatsko odvajanje je sigurnosna značajka koja se nalazi u nekim naočalama za noćno gledanje i koja omogućuje da se naočale odvoje ili otrgnu od glave korisnika u slučaju nužde ili iznenadnog udara. Ova je značajka osmišljena kako bi se spriječile ozljede korisnika i oštećenja naočala, a posebno je važna u radnim scenarijima visokog rizika.

3.10. Utjecaj NVG-a na zdravlje

Iako su ove naočale ključne u poboljšanju svijesti o situaciji, smanjenju broja nesreća i smrtnih slučajeva te poboljšanju ukupne izvedbe, dolazi do pitanja ima li korištenje NVG-a negativnih posljedica po zdravlje. Naočale za noćno gledanje su povezane s nekoliko zdravstvenih učinaka, uključujući vizualnu nelagodu, glavobolje, naprezanje vrata i dezorijentaciju. Ti su učinci primarno posljedica činjenice da NVG mijenjaju prirodnu vizualnu percepciju i uzrokuju naprezanje očiju kako bi se prilagodile slikama sa zelenim tonovima. [22]

- Vizualna nelagoda: upotreba NVG-a povezana je s vizualnom nelagodom, poput umora i naprezanja očiju, suhoće i iritacije. Ova nelagoda često je posljedica činjenice da se zeleno obojene slike koje proizvode NVG razlikuju od prirodnog noćnog vida, što uzrokuje naprezanje očiju kako bi se prilagodile slikama. [22]
- Glavobolje: glavobolje su također česta nuspojava korištenja NVG-a. Te su glavobolje često posljedica naprezanja očiju tijekom duljeg korištenja NVG-a. Zeleno obojene slike koje stvaraju naočale mogu uzrokovati naprezanje očiju i umor, što može dovesti do glavobolje. [22]

- Naprezanje vrata: NVG se obično nosi na glavi, što s vremenom može uzrokovati naprezanje vrata. Težina naočala i težina kacige, zajedno s potrebom držanja glave u određenom položaju pogotovo u aviona koji mogu letjeti pod određenim „g“ opterećenjem, može uzrokovati nelagodu i bol u vratu. [22]
- Dezorijentiranost: NVG-ovi mogu uzrokovati dezorijentaciju, osobito kada se naočale koriste prvi put. Promijenjena percepcija okoline, zajedno sa zeleno obojenim slikama, može izazvati zbunjenost i dezorijentiranost. To može biti posebno problematično za pilote i vojno osoblje koje treba donositi brze i točne odluke u okruženjima sa slabim osvjetljenjem. [22]
- Utjecaj na spavanje: NVG također može utjecati na obrasce spavanja. Korištenje NVG-a može poremetiti prirodni cirkadijalni ritam tijela, što dovodi do poremećaja spavanja. To je zato što zeleno obojene slike koje proizvode NVG mogu ometati tjelesnu prirodnu proizvodnju melatonina, hormona koji regulira san. Poremećeni obrasci spavanja mogu imati negativan utjecaj na cjelokupno zdravlje i dobrobit. [22]
- Oštećenje oka: također postoji zabrinutost zbog mogućnosti da NVG uzrokuje oštećenje oka. Zeleno obojene slike koje stvaraju naočale mogu uzrokovati stanje poznato kao "noćno sljepilo", što je gubitak sposobnosti gledanja u uvjetima slabog osvjetljenja. Ovo stanje može biti privremeno ili trajno i može imati značajan utjecaj na sposobnost pojedinca da obavlja svoje radne dužnosti. [22]
- Osim toga, produljena uporaba NVG-a može dovesti do naprezanja i umora očiju, što može uzrokovati dugotrajno oštećenje očiju. To može dovesti do stanja poznatog kao "Sindrom računalnog vida", a to je skupina problema povezanih s očima i vidom uzrokovanih dugotrajnom upotrebom računala, tableta i pametnih telefona. Simptomi ovog stanja mogu uključivati naprezanje očiju, glavobolje, zamagljen vid i suhe oči. Međutim, važno je napomenuti da je rizik od dugotrajnih učinaka na oči zbog uporabe NVG-a relativno nizak kada se naočale pravilno koriste i uz odgovarajuću zaštitu za oči. Pravilna obuka, ograničenje izloženosti i korištenje ergonomskog dizajna također mogu pomoći u smanjenju rizika od dugotrajnih učinaka na oči[22]

Postoji nekoliko preventivnih mjera koje se mogu poduzeti kako bi se smanjio rizik od zdravstvenih učinaka povezanih s upotrebom NVG-a.

- Pravilan trening: pravilna obuka neophodna je za pojedince koji koriste NVG. Ova obuka treba uključivati informacije o tome kako pravilno koristiti i prilagoditi zaštitne naočale kako bi se smanjio rizik od vizualne nelagode, glavobolje, naprezanja vrata i dezorijentacije. [22]
- Ograničenje izloženosti: ograničenje izloženosti NVG-u također može pomoći u smanjenju rizika od zdravstvenih učinaka. Pojedinci bi trebali izbjegavati korištenje naočala tijekom duljeg razdoblja, a trebale bi raditi pauze kako bi se oči odmorile i smanjile naprezanje. [22]

- Zaštita za oči: zaštita očiju je ključna kada koristite NVG. Zaštitne naočale treba nositi s odgovarajućom zaštitom za oči kako bi se smanjio rizik od oštećenja oka. [22]
- Ergonomski dizajn: ergonomski dizajn također je važan za smanjenje rizika od naprezanja vrata i nelagode povezane s nošenjem NVG-a. Zaštitne naočale trebaju biti dizajnirane tako da ravnomjerno raspoređuju težinu i smanjuju opterećenje na vratu. [22]

4. Razvoj generacija naočala za noćno gledanje

Razvoj naočala za noćno gledanje bio je postupan proces koji se razvijao tijekom nekoliko desetljeća, obuhvaćajući više generacija tehnologije. Od pamtivijeka, ljudi su imali želju gledati u mraku, kako bi ili vidjeli nešto skriveno ili kako bi se i sami mogli bolje skriti. Neposredno prije Drugog svjetskog rata, dolazi do prvih pomaka u razvoju NVG naočala, što će biti opisano u slijedećem potpoglavlju.

4.1. Nulta generacija

Naočale za noćno gledanje nulte generacije, također poznati kao pasivni uređaji za noćno gledanje, bili su najraniji tip tehnologije noćnog gledanja. Razvijeni tijekom Drugog svjetskog rata, bili su to jednostavni uređaji koji su koristili cijev za pojačavanje slike za pojačavanje postojećeg ambijentalnog svjetla i omogućili gledatelju da vidi u uvjetima slabog osvjetljenja.

NVG-ovi nulte generacije bili su glomazni i teški, često sa masom većom od nekoliko kilograma. Također su bili ograničeni u svojoj učinkovitosti, jer im je bila potrebna određena razina ambijentalnog svjetla da ispravno rade. U potpunom mraku bili su u biti beskorisni. Također su imali ograničen domet i vidno polje, što ih je činilo izazovnim za korištenje u borbenim situacijama. [8]

Unatoč svojim ograničenjima, NVG-ovi nulte generacije predstavljali su značajan napredak u tehnologiji noćnog vida u to vrijeme. Prve uređaje za noćno gledanje uvela je njemačka vojska još 1939. Do kraja Drugog svjetskog rata njemačka vojska je noćnom optikom opremila približno 50 tenkova Panther. Pješništvo je bilo opremljeno prijenosnim sustavom "Vampir" koji se montirao na jurišne puške *Sturmgewehr 44*, što je prikazano na slici 6, gdje se možda najbolje i vidi masivnost tih prvih uređaja. [8]



Slika 6. Njemački vojnik sa NVG sustavom "Vampir" [7]

Paralelni razvoj noćnog vida odvijao se u Sjedinjenim Državama. M1 i M3 infracrveni uređaji za noćno promatranje, također poznati kao „sniperscope“ ili „snooperscope“, uvedeni su od strane američke vojske u Drugom svjetskom ratu. Bili su to aktivni uređaji, koji su koristili veliki izvor infracrvenog svjetla za osvjetljavanje ciljeva za snajperiste. [8]

Dok su NVG-ovi nulte generacije bili ograničeni u svojoj učinkovitosti, utrli su put razvoju naprednijih generacija tehnologije noćnog gledanja. Danas se NVG-ovi nulte generacije primarno koriste za civilne primjene, kao što su sigurnost i nadzor, a uglavnom su zamijenjeni naprednijim generacijama NVG-ova u vojnim aplikacijama.

4.2. Prva generacija NVG-a

Prva generacija naočala za noćno gledanje predstavljala je značajan napredak u tehnologiji noćnog gledanja, pružajući vojnom osoblju poboljšanu svijest o situaciji i operativne sposobnosti u uvjetima slabog osvjetljenja. Povijest i razvoj prve generacije NVG-a se može pratiti unazad do Drugog svjetskog rata, kada su njemačke i japanske snage razvile primitivne uređaje za noćno gledanje za upotrebu u borbi. Ti rani uređaji temeljili su se na infracrvenoj tehnologiji i bili su ograničeni u dometu i učinkovitosti. Nakon rata, vojska Sjedinjenih Država počela je mnogo ulagati u tehnologiju noćnog gledanja, prepoznajući njen potencijal za poboljšanje operativnih sposobnosti u uvjetima slabog osvjetljenja. Prva generacija NVG-a razvijena je kasnih 1950-ih i ranih 1960-ih, a temeljila se na korištenju cijevi za pojačivač slike za pojačavanje dostupne svjetlosti. Iako su napredovale, i ove naočale su i dalje bile masivne, pogotovo u usporedbi sa NVG-ovima koji se danas koriste i koji su svima poznati. Cijev za pojačivač slike korištena u prvoj generaciji NVG-a temeljila se na fotoelektričnom učinku, u kojem nadolazeći fotoni udaraju u fotokatodu, oslobađajući elektrone koji se ubrzavaju kroz vakuum prema fosfornom ekranu. Fosforni zaslon pretvara elektrone natrag u fotone, koji su zatim vidljivi korisniku kao poboljšana slika. Cijev za pojačivač slike bila je smještena u laganoj, prijenosnoj jedinici koja je bila pričvršćena na slušalice koje nosi korisnik. [8]

Ključne značajke prve generacije NVG-a:

- Prva generacija NVG-a predstavlja značajno poboljšanje u odnosu na ranije uređaje za noćno gledanje, pružajući svjetliju i jasniju sliku u uvjetima slabog osvjetljenja. Neke od ključnih značajki prve generacije NVG-a uključuju:
- Pojačanje dostupnog svjetla: Cijev za pojačivač slike korištena u prvoj generaciji NVG-a mogla je pojačati dostupno svjetlo do 100 000 puta, što je omogućilo gledanje u uvjetima slabog osvjetljenja.

- Jednobojna slika: Slika viđena kroz NVG prve generacije bila je jednobojna, obično zelena, zbog upotrebe fosfornog zaslona koji je emitirao zeleno svjetlo.

Dok je prva generacija NVG predstavljala značajno poboljšanje u odnosu na ranije uređaje za noćno gledanje, imala je nekoliko ključnih ograničenja koja su ograničavala njegovu učinkovitost u određenim situacijama. Neka od ključnih ograničenja prve generacije NVG-a uključuju:

- Osjetljivost na jako svjetlo: Prva generacija NVG-a bila je osjetljiva na izvore jakog svjetla, kao što su prednja svjetla vozila ili reflektori, što je moglo uzrokovati blijedu sliku i teško vidljivu.
- Ograničeni domet: Domet prve generacije NVG-a bio je ograničen, osobito u nepovoljnim vremenskim uvjetima ili u područjima s niskom razinom ambijentalnog osvjetljenja.
- Ograničeno vidno polje: Usko vidno polje koje se vidi kroz prvu generaciju NVG-a moglo bi ograničiti svijest o situaciji, osobito u bliskoj borbi ili u područjima s visokom razinom vizualnog nereda.
- Ograničena izdržljivost: Cijev pojačivača slike korištena u prvoj generaciji NVG-a bila je krhka i mogla se lako oštetiti ako padne ili bude izložena grubom rukovanju.

Unatoč svim nedostacima, prva generacija NVG-a imala je značajan utjecaj na vojne operacije, posebice tijekom Vijetnamskog rata. Sposobnost gledanja u uvjetima slabog osvjetljenja dala je vojnom osoblju značajnu prednost u noćnim operacijama, dopuštajući im da se kreću i bore protiv neprijatelja pod okriljem mraka. Korištenje prve generacije NVG-a omogućilo je vojnom osoblju izvođenje izviđačkih misija noću, pružajući vrijedne obavještajne podatke o položajima i kretanjama neprijatelja. Sposobnost da se vidi u mraku također je omogućila trupama da se snađu na nepoznatom terenu i izbjegnu prepreke, kao što su mine i zasjede, koje se mogu sakriti u sjeni. Prva generacija NVG-a također je imala značajan utjecaj na blisku borbu, dopuštajući vojnicima da se sukobe s neprijateljem iz neposredne blizine bez potrebe za umjetnim izvorima svjetlosti koji bi mogli otkriti njihov položaj. To je trupama dalo element iznenađenja i omogućilo im da zadrže inicijativu u borbi. Korištenje prve generacije NVG-a također je imalo psihološki utjecaj na neprijatelja, koji često nije mogao vidjeti ili razumjeti kako su se američke trupe mogle pomaknuti i napasti ih u mraku. To je dodatno povećalo zbrku i neizvjesnost noćnih operacija i pomoglo demoralizirati neprijatelja. [8]

Uz intenzivno korištenje u kopnenoj vojsci, prva generacija NVG-a imala je značajan utjecaj na vojne operacije, posebice u zračnim snagama. Sposobnost djelovanja noću uz poboljšanu svijest o situaciji dala je pilotima značajnu prednost u obavljanju njihovih misija. Prije razvoja prve generacije NVG-a, piloti su bili ograničeni u svojoj sposobnosti da rade u uvjetima slabog osvjetljenja. Za obavljanje svojih dužnosti oslanjali su se na ograničene mogućnosti instrumenata u kokpitu, poput osvijetljenih mjerača. Zbog toga je bilo izazovno provoditi

noćne operacije, poput potrage i spašavanja, zračne potpore i borbe zrak-zrak. Razvoj prve generacije NVG tehnologije promijenio je ovu dinamiku pružajući pilotima mogućnost da vide u uvjetima slabog osvjetljenja, uvelike povećavajući njihovu svijest o situaciji. Piloti su sada mogli letjeti noću bez potrebe za tradicionalnom rasvjetom, koja bi mogla upozoriti neprijatelja o njihovom položaju.

Korištenje prve generacije NVG tehnologije u operacijama zračnih snaga imalo je nekoliko prednosti, uključujući:

- Poboljšana svijest o situaciji: Piloti su mogli vidjeti teren, neprijateljske položaje i druge prepreke koje su prethodno bile skrivene u mraku.
- Povećana sigurnost: Poboljšana vidljivost koju pruža prva generacija NVG tehnologije pomogla je pilotima da izbjegnu nesreće i poboljšaju svoj odgovor na hitne situacije.
- Poboljšane operativne sposobnosti: Prva generacija NVG tehnologije omogućila je pilotima provođenje složenih misija noću, uključujući borbu zrak-zrak i blisku zračnu potporu.
- Poboljšana učinkovitost misije: Uz mogućnost djelovanja noću, misije zračnih snaga mogle bi se provoditi 24 sata dnevno, 7 dana u tjednu, uvelike poboljšavajući njihovu učinkovitost.

Unatoč svojim ograničenjima, kao što su ograničeni domet i vidno polje, prva generacija NVG tehnologije otvorila je put za razvoj naprednijih generacija NVG u zračnim snagama, koje su riješile ta ograničenja i dodatno poboljšale operativne sposobnosti.

4.3. Druga generacija NVG-a

Razvijeni 1970-ih, ovi su uređaji pružili povećanu osjetljivost i rezoluciju, omogućujući poboljšanu izvedbu u uvjetima slabog osvjetljenja. Razvoj druge generacije NVG-a započeo je 1970-ih uvođenjem mikrokanalne ploče (microchanal plate - MCP). Ovo je bio napredak u tehnologiji noćnog gledanja, budući da je omogućio mnogo više razine pojačanja od uređaja prve generacije. MCP su tanke staklene ploče koje sadrže milijune mikroskopskih kanala. Kada elektron uđe u jedan od ovih kanala, on pokreće kaskadu elektrona koja pojačava signal. To rezultira mnogo svjetlijom i jasnijom slikom nego što je to bilo moguće s prvom generacijom NVG-ova. Druga generacija NVG također je koristila drugačiju vrstu fotokatode od uređaja prve generacije. Umjesto upotrebe jednostavne vakuumske cijevi s jednom fotokatodom, druga generacija NVG-a koristila je višealkalnu fotokatodu. To je omogućilo mnogo veću kvantnu učinkovitost, što je mjera postotka fotona koji se pretvaraju u elektrone. To je rezultiralo svjetlijom i jasnijom slikom, s manje izobličenja i manje artefakata od prve generacije NVG-ova. Drugi ključni razvoj u drugoj generaciji NVG-a bilo je uvođenje krugova automatske kontrole pojačanja. Ovi krugovi reguliraju pojačanje cijevi pojačivača slike na

temelju količine svjetlosti koja ulazi u uređaj. To omogućuje dosljedniju i upotrebljiviju sliku u različitim uvjetima osvjetljenja, od zvjezdane svjetlosti do laganog umjetnog osvjetljenja. [8]

Druga generacija NVG-a ima niz tehničkih specifikacija koje ih čine vrlo učinkovitim u uvjetima slabog osvjetljenja. Neke od ključnih značajki ovih uređaja uključuju:

- Razlučivost: Druga generacija NVG ima razlučivost od oko 40 lp/mm (parova linija po milimetru). To znači da mogu razlikovati linije koje su udaljene 1/40 milimetra. To rezultira mnogo jasnijom i detaljnijom slikom nego što je to bilo moguće s uređajima prve generacije.
- Osjetljivost: NVG druge generacije imaju osjetljivost od oko 500-800 $\mu\text{A}/\text{lm}$ (mikroampera po lumenu). To znači da mogu pojačati čak i vrlo male količine svjetla, što rezultira puno svjetlijom slikom nego što je to bilo moguće s uređajima prve generacije.
- Omjer signala i šuma: Druga generacija NVG-ova ima omjer signala i šuma od oko 20:1. To znači da je signal (slika) oko 20 puta jači od šuma (nasumične pozadinske buke koja je uvijek prisutna)
- Vidno polje: Druga generacija NVG-a ima vidno polje od oko 40-50 stupnjeva, što je šire nego što je bilo moguće s uređajima prve generacije.

4.4. Treća generacija NVG-a

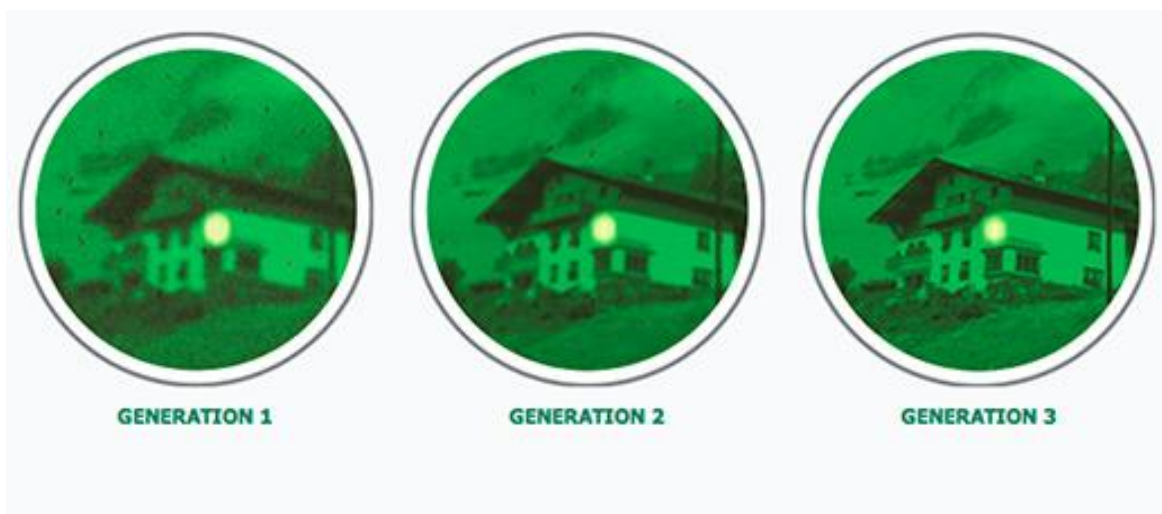
Treća generacija NVG-ova razvijena je 1990-ih i predstavljala je veliki korak naprijed u tehnologiji noćnog gledanja. U usporedbi s prethodne dvije generacije, treća generacija NVG-ova imala je poboljšanu osjetljivost, rezoluciju i pouzdanost. Ova su poboljšanja omogućena napretkom u tehnologiji fotokatode, koja je omogućila bolje pojačanje slike. Jedna od ključnih značajki treće generacije NVG-a bila je uporaba fotokatoda od galij-arsenida (GaAs). GaAs fotokatode imale su puno veću kvantnu učinkovitost od prijašnjih materijala korištenih u NVG-ovima, što znači da su mogle pretvoriti više fotona u elektrone i pružiti svjetliju sliku. GaAs fotokatode također su imale dulji životni vijek od ranijih materijala, što znači da su se NVG-ovi mogli koristiti dulje vrijeme prije nego što ih je potrebno zamijeniti. Drugi važan razvoj u trećoj generaciji NVG-a bila je uporaba mikrokanalnih ploča (MCP) u cijevi pojačala slike. MCP su značajno poboljšanje u odnosu na film ionske barijere koji se koristi u drugoj generaciji NVG. MCP se sastojao od tisuća mikroskopskih cijevi koje su pojačavale elektrone koje proizvodi fotokatoda. To je rezultiralo svjetlijom slikom s manje izobličenja i šuma. [8]

Treća generacija NVG-a također je imala poboljšanu optiku, uključujući kvalitetnije leće i premaze. To je omogućilo oštrije slike s manje izobličenja i većim kontrastom. Neki NVG-ovi treće generacije također su imali mogućnost automatskog podešavanja svjetline slike kako bi se spriječilo da korisnik bude zaslijepljen jakim izvorima svjetlosti.

Jedno od najznačajnijih poboljšanja u trećoj generaciji NVG-ova bilo je uvođenje automatskog usmjernog napajanja. To je omogućilo NVG-ovima da automatski prilagode razinu pojačanja na temelju količine dostupne svjetlosti. U uvjetima slabog osvjetljenja, NVG-ovi bi povećali razinu pojačanja kako bi pružili svjetliju sliku, dok bi u svijetlim uvjetima NVG-ovi smanjili razinu pojačanja kako bi spriječili da korisnik bude zaslijepljen.

Treća generacija NVG-ova također je imala poboljšanu ergonomiju i općenito su bili manji i lakši od ranijih generacija. To ih je učinilo lakšim za korištenje tijekom duljeg vremenskog razdoblja i smanjilo opterećenje na vratu i ramenima korisnika.

Ukratko, treća generacija naočala za noćno gledanje predstavlja značajan napredak u odnosu na prethodne generacije. Imali su poboljšanu osjetljivost, rezoluciju i pouzdanost, zahvaljujući napretku u tehnologiji fotokatode, mikrokanalnim pločama, optici i ergonomiji. Automatsko napajanje s usmjernicima također je bilo veliko otkriće koje je omogućilo učinkovitiju upotrebu NVG-ova u širem rasponu uvjeta osvjetljenja. Na slici 7 je prikazana usporedba kvalitete slike između prve tri generacije NVG naočala, što je možda najbolji primjer koliko su NVG naočale napredovale u pola stoljeća.



Slika 7. Usporedba kvalitete slike u prve tri generacije NVG naočala [8]

4.5. Četvrta generacija NVG-a

Četvrta generacija naočala za noćno gledanje (NVG) predstavlja najnoviji napredak u tehnologiji noćnog gledanja. Ove naočale nude nekoliko poboljšanja u odnosu na ranije generacije, uključujući poboljšanu kvalitetu slike, povećani domet i razlučivost te poboljšanu izdržljivost i pouzdanost.

Jedna od ključnih značajki četvrte generacije NVG-a je korištenje cijevi za pojačivač slike bez filma. Ova vrsta cijevi koristi fotokatodu izrađenu od galijevog arsenida (GaAs) umjesto tradicionalnog filma koji se koristio u ranijim generacijama. GaAs fotokatoda je učinkovitija u pretvaranju ulaznih fotona u elektrone, što rezultira svjetlijom i jasnijom slikom s većim kontrastom i rezolucijom. Još jedna važna značajka četvrte generacije NVG-a je korištenje zatvorenog napajanja. To omogućuje NVG-u da selektivno uključuje i isključuje napajanje cijevi za pojačivač slike, što pomaže u smanjenju učinaka cvjetanja i aureola uzrokovanih jakim izvorima svjetlosti. Ugrađeno napajanje također može pomoći u produljenju vijeka trajanja cijevi za pojačivač slike smanjenjem ukupne izloženosti jakom svjetlu. Četvrta generacija NVG također često ima napredne mogućnosti obrade slike. To može uključivati poboljšanje digitalne slike, automatsku kontrolu svjetline i noćni vid u boji. Poboljšanje digitalne slike koristi algoritme za poboljšanje slike koja se vidi kroz NVG, čineći je jasnijom i detaljnijom. Automatska kontrola svjetline prilagođava svjetlinu slike kao odgovor na promjene u razinama ambijentalnog osvjetljenja, dok noćni vid u boji može pružiti poboljšanu svijest o situaciji dopuštajući korisniku da razlikuje različite boje u uvjetima slabog osvjetljenja. [8]

Uz ove značajke, četvrta generacija NVG često nudi poboljšanu izdržljivost i pouzdanost u usporedbi s ranijim generacijama. To je djelomično zbog napretka u znanosti o materijalima i tehnikama proizvodnje, koje omogućuju proizvodnju robusnijeg i robusnijeg NVG-a. Četvrta generacija NVG također može biti više modularna i prilagodljiva od ranijih generacija, omogućujući korisnicima da prilagode naočale svojim specifičnim potrebama i preferencijama, no uz sve navedene prednosti četvrte generacije, naočale ove generacije još nisu ušle u uporabu u zrakoplovstvu jer nisu dovoljno ispitane u stvarnim, odnosno terenskim uvjetima.

Sve u svemu, četvrta generacija NVG predstavlja značajan korak naprijed u tehnologiji noćnog vida. S poboljšanom kvalitetom slike, povećanim dometom i rezolucijom te naprednim značajkama kao što su poboljšanje digitalne slike i noćni vid u boji, ove naočale nude poboljšanu svijest o situaciji i poboljšane operativne mogućnosti u uvjetima slabog osvjetljenja.

5. Primjena naočala za noćno gledanje u vojnom i civilnom zrakoplovstvu

Kako su prve generacije naočala za noćno gledanje bile razvijane prvenstveno za vojne uporabe, brzo su svoju primjenu našle u vojnom zrakoplovstvu. Nakon završetka vojnih karijera, brojni piloti su prelazili u civilne kompanije te tako su polagano prenosili pojedine novosti iz ratnih zrakoplovstava. Iako je krajem 60-ih godina prošlog stoljeća bilo nekoliko pokušaja da se NVG naočale krenu koristiti u civilnim komercijalnim letovima, ta ideja nije zaživjela, što zbog dodatne opreme i certifikacije koju bi posade morale često prolaziti, tako i zbog razvoja sustava za precizne prilaze i slijetanja, koji su u pravilu jednostavniji i zahtijevaju manje obuke. U civilnom letenju naočale za noćno gledanje se prvenstveno koriste u policijske svrhe te u svrhe medicinskog transporta, a obje zadaće se obavljaju prvenstveno sa helikopterima. Kako bi krenuli koristiti NVG u letenju, piloti moraju proći specijaliziranu obuku i certificiranje kako bi naučili kako učinkovito i sigurno koristiti naočale. Tijekom obuke piloti uče o ograničenjima i potencijalnim opasnostima povezanim s korištenjem NVG-ova, kao i o pravilnim tehnikama za njihovo korištenje tijekom leta. Tijekom leta, NVG obično nose piloti i svi drugi članovi posade koji trebaju jasno vidjeti okolinu, poput tehničara letača. Naočale su spojene na izvor napajanja i poseban izvor infracrvenog svjetla koji se koristi za osvjetljavanje okoline. Pilot može prilagoditi svjetlinu naočala i izvor infracrvenog svjetla kako bi optimizirao svoju vidljivost. Kako je civilno letenje u kome se koriste NVG naočale prvenstveno letenje policijskih helikoptera, ono u velikoj mjeri koristi slične, gotovo pa identične postupke poput vojnog letenja.

5.1. Potrebna oprema zrakoplova za noćno letenje uz korištenje NVG-a

Kao i bilo koji način letenja, i noćno letenje ima neke posebne zahtjeve koje zrakoplovi moraju zadovoljavati. Tih zahtjeva ima mnogo, a neki od njih ovise i samo o vrsti naočala za noćno gledanje, tako da će u nastavku biti nabrojani neki od osnovnih zahtjeva kojima zrakoplovi moraju udovoljiti.

Osvjetljenje pilotske kabine zrakoplova mora se moći prigušiti do razine koja omogućuje udobnu upotrebu NVG-a, bez izazivanja smetnji ili ometajućih refleksija. To može uključivati korištenje crvenog ili zelenog osvjetljenja kompatibilnog s NVG-om, koje pomaže u očuvanju noćnog vida pilota.

Neki zrakoplovi mogu zahtijevati posebne modifikacije rasvjete u kokpitu kako bi se osigurala kompatibilnost s NVG-ovima, ali većina zrakoplova koja je opremljena za noćno

letenje ima mogućnost prigušivanja svjetla kabine. instrumenti zrakoplova moraju biti čitljivi s NVG-ovima, odnosno oznake i brojčanici se moraju moći vidjeti kroz naočale.

Neki instrumenti mogu zahtijevati modifikacije ili zamjenu kako bi ispunili ovaj zahtjev. Na primjer, neki zrakoplovi mogu imati digitalni zaslon koji može biti teško čitljiv s NVG-ovima. U tim slučajevima može biti potrebna mehanička kopija toga instrumenta koja može služiti kao zaslon i kao redundancija glavnom instrumentu. Još jedan od razloga može biti i prejako svjetlo koje neki instrumenti emitiraju, a koje se ne može prigušiti, za to postoje jednostavni filteri svjetla koji se samo mogu prije leta staviti na instrument, a nakon leta ukloniti.

Sustav vanjske rasvjete zrakoplova mora biti kompatibilan s NVG-ovima. To može uključivati korištenje infracrvenih ili filtriranih svjetala koja emitiraju svjetlo u bliskom infracrvenom rasponu, koje je vidljivo NVG-ovima, ali to samo ako zbog položaja kabine, NVG nije u mogućnosti raspršiti svoje svjetlo na mjesta koja je potrebno osvijetliti. Vjetrobransko staklo mora biti kompatibilno s NVG-om. Vjetrobransko staklo može zahtijevati poseban premaz ili boju koja omogućuje jasnu vidljivost s naočalama. Neki proizvođači nude vjetrobranska stakla kompatibilna s NVG kao opciju za svoje zrakoplove, ali velika većina ih ne zahtjeva nikakve dodatne preinake.

5.2. Potrebna oprema zrakoplova za noćno grupno letenje

Naočale za noćno gledanje vitalni su alat koji koriste piloti zračnih snaga tijekom noćnih operacija. NVG-ovi su dizajnirani da pojačaju dostupno svjetlo i omoguće pilotima da vide u uvjetima slabog osvjetljenja, omogućujući im da rade u potpunom mraku. Korištenje NVG-ova postalo je sve važnije za vojne operacije jer omogućuje povećanu sigurnost, svijest o situaciji i učinkovitost misije. Kako se gotovo sve vojne zadaće izvode minimalno u formaciji od dva zrakoplova, poznatoj kao i para, za noćno vojno letenje dolazi do još jednog problema, sigurnog letenja u grupi u noćnim uvjetima. Za izvođenje grupnog noćnog letenja, vojni zrakoplovi moraju biti opremljeni određenom opremom i sustavima koji omogućuju sigurno i učinkovito djelovanje u uvjetima slabog osvjetljenja. Ovdje su neki od ključnih zahtjeva za opremu za grupno noćno letenje:

- Naočale za noćno gledanje: NVG su ključne za pilote kako bi vidjeli i sigurno radili noću. Oni pojačavaju dostupno svjetlo i omogućuju pilotima da vide u uvjetima slabog osvjetljenja.
- Osvjetljenje pilotske kabine: Kokpit zrakoplova mora imati odgovarajuće osvjetljenje kako bi piloti mogli čitati instrumente, karte i popise za provjeru bez ometanja noćnog vida.

- Vanjska rasvjeta: Zrakoplov mora imati odgovarajuću vanjsku rasvjetu, uključujući navigacijska svjetla, svjetla protiv sudara i svjetla za slijetanje, kako bi pomogli pilotima da vide i da drugi zrakoplovi budu vidljivi tijekom noćnih operacija.
- Komunikacijska oprema: Učinkovita komunikacija neophodna je za sigurno i koordinirano grupno noćno letenje. Zrakoplov mora biti opremljen radio uređajima i drugim komunikacijskim sustavima koji omogućuju pilotima da razgovaraju međusobno, kao i s osobljem za podršku na zemlji.
- Instrumenti: instrumenti zrakoplova moraju biti dizajnirani za korištenje u uvjetima slabog osvjetljenja i moraju biti lako čitljivi pilotu. To uključuje instrumente za let, navigacijske sustave i opremu specifičnu za misiju.
- Sustavi kontrole okoliša kabine: zrakoplov mora biti opremljen sustavima kontrole okoliša koji omogućuju posadi upravljanje tlakom u kabini, temperaturom i kvalitetom zraka tijekom produženih noćnih misija.
- Rezervni sustavi: kako bi se smanjio rizik od kvara opreme, zrakoplov mora imati redundantne sustave i rezervnu opremu, kao što su rezervni izvori napajanja i rezervni komunikacijski sustavi.

Ovo su neki od ključnih zahtjeva za opremu za grupno noćno letenje, no jedni od najbitnijih su vanjsko osvjetljenje zrakoplova koje ponajviše varira o vrsti misije, odnosno razmaka između zrakoplova u grupi te sukladno tome postoji nekoliko svjetala koja se koriste.

Najbitnija od tih svjetala su takozvana formacijska svjetla: su vrsta sustava osvjetljenja instaliranog na vojnim zrakoplovima koji su posebno dizajnirani da pomognu pilotima da zadrže svoj položaj unutar formacije tijekom noćnog letenja. Ova svjetla su dodatak standardnim navigacijskim svjetlima i svjetlima protiv sudara koja svi zrakoplovi moraju imati. Svjetla za formaciju obično se sastoje od niza svjetala koja se nalaze na vrhovima krila i repu zrakoplova, odnosno nalaze se na nekim istaknutim točkama zrakoplova. Dizajnirani su da se vide iz različitih kutova i udaljenosti, što pomaže pilotima da odrede orijentaciju i položaj drugih zrakoplova u formaciji te da odrede svoj položaj u odnosu na zrakoplov ispred njih. Točna konfiguracija formacijskih svjetala može varirati ovisno o vrsti zrakoplova i specifičnoj jedinici ili eskadrili. Na slici 8 su prikazana dva zrakoplova F-35 Američkog ratnog zrakoplovstva sa zelenim formacijskim svjetlima koji lete u sastavu para. Iako se dva zrakoplova na slici nalaze u noći i sumaglici, zbog formacijskih svjetala se mogu izvrsno vidjeti te sukladno tomu održavati točnu poziciju u formaciji i tako povećati sigurnost letenja.



Slika 8. Formacijska svjetla na zrakoplovu F-35 [23]

Svaki zrakoplov u formaciji imat će isti tip i konfiguraciju formacijskih svjetala kako bi se osigurala ujednačenost i dosljednost, dok svaki od zrakoplova može imati različite boje formacijskih svjetala kako bi pomogla pilotima da razlikuju svoje zrakoplove od ostalih u formaciji. Na primjer, jedan zrakoplov može imati crvena formacijska svjetla, dok drugi imaju zelena ili bijela. Intenzitet formacijskih svjetala mora biti podesiv pomoću potenciometra, kako bi svjetla svjetlila toliko jako koliko je potrebno pilotu da ih vidi, a opet toliko slabo da budu neprimjetna za promatrače zemlje ili iz zraka od strane neprijateljskog zrakoplova.

Za razmaknuto grupno letenje, na udaljenostima od oko jedne nautičke milje ovakva svjetla postaju beskorisna pa se tada počinju koristiti trepereća formacijska svjetla. To su svjetla koja kratkim i usmjerenim svjetlosnim signalima daju zrakoplovu iza sebe poziciju i neke unaprijed dogovorene signale, na primjer dva bljeskanja znači ubrzaj, a tri uspori.

5.3. Prinudno napuštanje zrakoplova sa NVG naočalama

Izbaciva sjedala u zrakoplovu su ključna sigurnosna značajka za članove posade, dizajnirana da im omoguće siguran bijeg iz zrakoplova u slučaju nužde. Sjedala za izbacivanje odgovorna su za spašavanje tisuća života od svog početka i neprestano se poboljšavaju kako bi se povećala njihova učinkovitost i sigurnost. Jedan od čimbenika koji je posljednjih godina postao sve važniji je korištenje naočala za noćno gledanje od strane članova posade. Međutim, korištenje NVG-ova tijekom izbacivanja može potencijalno utjecati na sigurnost i učinkovitost

izbacivog sjedala, kako zbog dodatnog tereta koji pilot ima na glavi, tako i zbog velikim opterećenjima koje izbacivo sjedalo stvara u trenutku izbacivanja a koje možda može dodatno oštetiti kralježnicu zbog povećane mase kacige. Sukladno tomu Američko ratno zrakoplovstvo (USAF) je provelo skupa sa Američkom ratnom mornaricom (US NAVY)nekoliko istraživanja, od kojih posljednje koje je javno dostupno datira iz 2015. godine. Svrha istraživanja je bila procijeniti sigurnost izbacivih sjedala u zrakoplovu kada se koriste s NVG-ovima te identificirati potencijalne rizike i sigurnosne mjere koje se mogu poduzeti za ublažavanje tih rizika. Istraživanje je ispitivalo podatke o incidentima i nesrećama s izbacivanjem koji su se dogodili između 1998. i 2014. godine. Istraživanje je analiziralo podatke iz 297 izbacivanja koja su se dogodila tijekom razdoblja istraživanja, u kojima su piloti koristili NVG ili neki drugi sustav montiran na kacigu. Podaci su prikupljeni iz izvješća o nesrećama, sigurnosnih istraga i drugih izvora te su analizirani kako bi se identificirali trendovi i obrasci u ishodima katapultiranja i ozljedama. Sve u svemu, izvješće je pokazalo da je stopa preživljavanja u slučajevima izbacivanja bila visoka, 25 poginulih pilota od 297 te 46 teško ozlijeđenih, što podrazumijeva lomove, unutarnje ozljede i veće opekline. Tu u obzir treba uzeti i uvjete u kojima su se izbacivanja dogodila, jer izbaciva sjedala koja se koriste imaju sigurnosnu envelopeu do 450 KIAS, a većina smrtnih slučajeva i težih ozljeda se dogodila izvan sigurnosne envelope. Međutim, istraživanje je također identificiralo nekoliko čimbenika koji bi mogli utjecati na ishod izbačaja i povećati rizik od ozljeda. Jedna od primarnih zabrinutosti identificiranih u istraživanju bila je uporaba NVG-a tijekom izbacivanja. U istraživanju se navodi da dodatna težina i količina NVG opreme mogu utjecati na putanju izbačaja i položaj pri slijetanju, potencijalno povećavajući rizik od ozljeda, a na Slici 9 je prikazana usporedba modela kacige koju trenutno koristi HRZ i taj isti model kacige sa dvije vrste naočala za noćno gledanje. [21]



HGU-55/P kaciga sa
MBU-20P maskom
Masa: 1,25kg

HGU-55/P kaciga sa
MBU-20P maskom i
AN/AVS-9 NVG
Masa: 1,95 kg

HGU-55/P kaciga sa
MBU-20P maskom i
AVS-10 PNVG
Masa: 2,2 kg

Slika 9. Usporedba mase dva modela naočala koji se mogu koristiti na kacigi HGU-55/P. [21]

Osim toga, upotreba NVG-ova može potencijalno ometati pravilan rad sigurnosnog sustava sjedala za izbacivanje, što može povećati rizik od ozljeda glave i vrata tijekom izbacivanja. Istraživanje je također identificiralo druge čimbenike koji bi mogli utjecati na ishod katapultiranja i povećati rizik od ozljeda, uključujući dob i zdravlje putnika, vrstu i stanje katapultnog sjedala te visinu i brzinu zrakoplova u trenutku katapultiranja. [21]

Na temelju analize podataka, USAF daje nekoliko preporuka za poboljšanje sigurnosti izbacivih sjedala kada se koriste s NVG-ovima. Ove preporuke uključuju:

- Daljnje istraživanje i testiranje sustava izbacivih sjedala s NVG opremom kako bi se bolje razumio njihov utjecaj na ishode izbacivanja i stope ozljeda.
- Poboljšanja u obuci i obrazovanju za članove zrakoplovne posade o korištenju NVG opreme u kombinaciji s izbacivim sjedalima, uključujući pravilno pozicioniranje i učvršćivanje opreme.
- Razvoj novih sigurnosnih značajki i opreme koji su kompatibilni s NVG opremom, kao što su specijalizirani sigurnosni sustavi koji mogu prihvatiti dodatnu težinu i masu NVG opreme.
- Suradnja između proizvođača sjedala za izbacivanje, proizvođača zrakoplova i proizvođača NVG-a kako bi se osigurala kompatibilnost i sigurnost opreme.

Zaključno, upotreba naočala za noćno gledanje može utjecati na sigurnost i učinkovitost izbacivih sjedala u zrakoplovu. Dok je ukupna stopa preživljavanja u slučaju prinudnog napuštanja visoka, uporaba NVG-ova može potencijalno povećati rizik od ozljeda prinudnog napuštanja, no dok su piloti bili unutar sigurnih brzina za izbacivanje, broj povećanja ozljeda uz korištenje NVG-a u odnosu na izbacivanja bez NVG-a je zanemariv. [21]

6. Usporedba modela naočala i analiza njihovih karakteristika

U slijedećem poglavlju će biti dana usporedba nekoliko modela naočala. Uspoređivanjem njihovih karakteristika i kompatibilnosti sa kokpitom zrakoplova Pilatus PC-9M u sastavu HRZ-a bit će dan najbolji izbor naočala za eventualnu kupovinu i unaprjeđenje letačkih sposobnosti 93. Eskadrile aviona. Kroz idućih nekoliko potpoglavlja svaki model NVG naočala će biti analiziran, sukladno javno dostupnim podacima i na kraju će biti uspoređeni u tablici. Biti će opisana tri modela naočala, sva tri su američke proizvodnje te su najčešće korišteni modeli NVG naočala u svim članicama NATO saveza.

Bitno je za napomenuti da se sve naočale montiraju na nosač koji ima dodatnu masu te da sve naočale imaju određeni odmak od oka, većinom oko 25 milimetara kako bi omogućile pilotu nošenje vizira, kao zaštitu prilikom prinudnog napuštanja zrakoplova ili nošenje naočala. Uz to, taj razmak od NVG-a do oka se koristi za gledanje u kabinu, odnosno glava pilota i NVG su usmjereni vani, prema meti, dok pilot očima, između naočala, ima slobodan prostor za gledanje instrumenata u kokpitu.

6.1. AN/AVS-9

AN/AVS-9 (Aviator's Night Vision Imaging System – AN/AVS) je model NVG naočala posebno dizajniran za uporabu u zrakoplovima. Dizajnirane su kasnih 90-ih te su od tada dobile nekoliko modernizacija. Početni dizajn je bio od strane kompanije Hughes Aircraft Company, danas u vlasništvu Raytheon. Ovaj model je danas jedan od najkorištenijih NVG sustava u zrakoplovstvu.

Naočale za noćno gledanje AN/AVS-9 NVG su binokularni uređaj koji se montira na kacigu i daje pilotima sliku okoline u visokoj rezoluciji pri slabom osvjetljenju. Ove naočale su dizajnirane da budu kompatibilne sa širokim spektrom zrakoplova i koriste ih piloti i posade za obavljanje raznih zadataka tijekom noćnih operacija. Najbitnije od svega, u potpunosti su kompatibilne sa kacigom HGU-55/p. AN/AVS-9 NVG koriste cijevi za pojačavanje slike za pojačavanje dostupnog svjetla, što korisniku omogućuje da vidi u uvjetima vrlo slabog osvjetljenja. Uređaj uključuje kućište koje štiti optiku i elektroniku, napajanje te skup kontrola koje korisniku omogućuju podešavanje slike i svjetline. Naočale su opremljene i ugrađenim infracrvenim iluminatorom koji emitira IR zraku male snage koja korisniku omogućuje vidljivost u potpunom mraku. IR iluminator se može uključiti i isključiti prema potrebi i obično se koristi u situacijama kada vidljivo svjetlo može biti presvijetlo i može upozoriti na potencijalne prijetnje. [10]

AN/AVS-9 NVG također su dizajnirani da budu kompatibilni s drugim EVS tehnologijama, kao što su infracrvene (FLIR) kamere i *heads-up* zaslone. Ova integracija omogućuje pilotima potpuni pregled okoline, čak i u najmračnijim uvjetima, bez brige da će biti ometani od strane HUD-a koji im se nalazi u vidnom polju. Jedna od ključnih tehničkih karakteristika naočala AN/AVS-9 je cijev za pojačivač slike. Ove naočale koriste cijev za pojačivač slike generacije 3 ili 3+, koja pruža minimalnu razlučivost od 64 lp/mm i minimalni omjer signala i šuma od 24:1. To znači da piloti mogu vidjeti detalje čak i u uvjetima izuzetno slabog osvjetljenja, što im omogućuje sigurnu navigaciju noćnim nebom. Osim cijevi za pojačivač slike, naočale AN/AVS-9 imaju i kvalitetnu optiku. Ove naočale imaju vidno polje od 40 stupnjeva i žarišnu duljinu od 26 mm, omogućujući pilotima da vide široko područje i fokusiraju se na važne detalje. Leće su izrađene od visokokvalitetnog stakla i presvučene su kako bi se minimalizirao odsjaj i povećao prijenos svjetlosti, pružajući pilotima jasnu i svijetlu sliku čak i u najmračnijim uvjetima. Naočale AN/AVS-9 također su dizajnirane da budu lagane i prenosive. Teški su otprilike 680 grama, što ih čini jednostavnim za nošenje dulje vrijeme bez izazivanja umora. Osim toga, naočale koriste jednu ili dvije AA baterije, koje osiguravaju trajanje baterije između 20 i 40 sati, ovisno o vrsti baterije. [10]

Konačno, zaštitne naočale AN/AVS-9 dizajnirane su da budu vrlo otporne na čimbenike okoline. Oni mogu izdržati ekstremne temperature, udarce i vibracije, osiguravajući da se piloti mogu osloniti na njih čak i u najtežim uvjetima.

Naočale AN/AVS-9 NVG koriste zračne snage diljem svijeta za razne operacije, uključujući nadzor, potragu i spašavanje i borbene misije. Ove naočale su se pokazale kao neprocjenjivo sredstvo za pilote i posade, jer im omogućuju letenje noću i u uvjetima slabog osvjetljenja uz povećanu sigurnost i učinkovitost, što je jako bitna stavka, jer su se pokazale pouzdane te su relativno lako dostupne. Cijena naočala se kreće od 9450 do 12995 eura, ovisno o generaciji naočala (3 ili 3+) te o dodatcima koji se planiraju kupiti uz naočale.

6.2. AN/AVS-6

AN/AVS-6 NVG prvi put su predstavljene ranih 1980-ih kao poboljšanje u odnosu na prethodne NVG modele. Trenutno ih koriste mnoge zračne snage diljem svijeta, uključujući i Američko ratno zrakoplovstvo, no poglavito se koriste u rezervnom sastavu, dok ih u aktivnom sastavu mijenjaju modernije inačice NVG-ova. Jedna od ključnih značajki AN/AVS-6 NVG je njihova sposobnost da se koriste zajedno s drugom opremom avionike. Naočale se mogu integrirati sa sustavima zrakoplova, pružajući korisniku informacije kao što su visina, brzina i smjer. To omogućuje pilotu da se usredotoči na upravljanje zrakoplovom, dok još uvijek zadržava svijest o situaciji.

AN/AVS-6 NVG također su dizajnirani da budu lagani i udobni za nošenje dulje vrijeme. Zaštitne naočale obično se nose preko letačke kacige pilota ili člana posade, s nosačem za montažu koji se pričvršćuje na kacigu. AN/AVS-6 NVG koriste cijevi za pojačivač slike III generacije, koje pružaju veću rezoluciju i osjetljivost od prethodnih generacija. Cijevi za pojačivač slike III generacije također imaju dulji životni vijek, što ih čini pouzdanijima i isplativijima. Također, ovaj model NVG-a je opremljen širokokutnom lećom visoke rezolucije koja pruža veliko vidno polje. Leća je dizajnirana za pružanje jasne slike korisniku bez izazivanja izobličenja ili aberacije. Leća je također presvučena antirefleksnim materijalom kako bi se smanjio odsjaj i poboljšala kvaliteta slike. Leća je obično izrađena od stakla ili plastike, ovisno o preferencijama proizvođača. Neke leće također su opremljene infracrvenom tehnologijom koja može detektirati toplinske oznake i pružiti dodatne informacije o okolini korisnika. Naočale su dizajnirane za nošenje na glavi pilota ili člana posade, s nosačem za montažu koji se pričvršćuje na letačku kacigu. Montažni nosač obično je izrađen od laganih, izdržljivih materijala, poput aluminijske ili kompozitnih materijala. Nosač je podesiv, što korisniku omogućuje postavljanje naočala u najudobniji položaj. AN/AVS-6 NVG-ovi se napajaju pomoću dvije AA baterije pričvršćene na kacigu te po tvrdnjama proizvođača naočale sa dvije AA baterije mogu raditi 24 sata. Neki paketi baterija također su opremljeni indikatorom niske napunjenosti baterije, koji upozorava korisnika kada je baterija pri kraju i treba je zamijeniti, no opet to sve ovisi od dodatne opreme koja se kupi uz naočale. [11]

AN/AVS-6 NVG su dizajnirani da izdrže teške uvjete okoline, kao što su ekstremne temperature, visoka vlažnost i izloženost prašini i krhotinama. Naočale su obično zapečaćene kako bi zaštitile cijev pojačivača slike i leću od vlage i drugih onečišćenja. Neki AN/AVS-6 NVG-ovi također su opremljeni značajkom odmagljivanja, koja sprječava zamagljivanje i stvaranje kondenzacije na lećama. Ova značajka je osobito korisna u okruženjima visoke vlažnosti ili kada nositelj obavlja naporne aktivnosti.

6.3. PNVG AN/AVS-10

AN/AVS-10 PNVG je najsuvremeniji sustav naočala za noćno gledanje koji pruža široko vidno polje i napredne mogućnosti obrade slike. Ovaj NVG je razvila Američka mornarica u suradnji s Američkom vojskom početkom 2000-ih. Cilj projekta bio je stvoriti naočale sljedeće generacije za noćno gledanje koje bi vojnim pilotima i posadi zrakoplova pružile vrhunsku svijest o situaciji i učinkovitost misije.

Razvoj AN/ASV-10 PNVG započeo je 2002. odabirom tvrtke L-3 Communications, obrambenog izvođača specijaliziranog za naprednu avioniku i optiku, za dizajn i proizvodnju sustava. Proces razvoja uključivao je opsežna istraživanja i razvoj, testiranje i procjenu kako bi se osiguralo da naočale zadovoljavaju rigorozne zahtjeve vojnih operacija. Jedan od ključnih

ciljeva dizajna AN/ASV-10 PNVG bio je pružiti šire vidno polje od prethodnih sustava naočala za noćno gledanje. Kako bi se postigao ovaj cilj, AN/ASV-10 PNVG dizajniran je sa sklopom cijevi za pojačivač panoramske slike, koji je pružao vidno polje od 97 stupnjeva. Ovo široko vidno polje omogućilo je pilotima i posadi da vide više okoline i poboljšalo njihovu svijest o situaciji, čineći ih učinkovitijima u borbenim i drugim misijama. [12]

Još jedna ključna značajka AN/ASV-10 PNVG bile su njegove napredne mogućnosti obrade slike. Naočale su koristile digitalnu obradu signala za poboljšanje kvalitete slike i pružanje naprednih značajki kao što su spajanje slike i poboljšanje kontrasta. Ove značajke omogućile su pilotima i posadi da jasnije vide u uvjetima slabog osvjetljenja i noću te poboljšale njihovu sposobnost prepoznavanja ciljeva i drugih objekata u okruženju. Razvoj AN/ASV-10 PNVG trajao je nekoliko godina i uključivao je opsežna testiranja i evaluacije kako bi se osiguralo da naočale ispunjavaju zahtjeve vojnih operacija. Naočale su testirane u različitim okruženjima, uključujući pustinju, džunglu i urbana okruženja, te su ocjenjivane njihove performanse u dnevnim i noćnim uvjetima. Godine 2008. AN/ASV-10 PNVG odobren je za punu proizvodnju i počeo se raspoređivati u vojne jedinice diljem svijeta. Naočale su korištene u raznim misijama, uključujući borbene operacije u Iraku i Afganistanu, a hvaljene su od strane vojnog osoblja zbog svojih vrhunskih performansi i naprednih sposobnosti. AN/ASV-10 PNVG opremljen je s četiri cijevi za pojačivač slike, koje pružaju panoramski pogled na okolinu korisnika. Cijevi pojačivača slike raspoređene su u binokularnu konfiguraciju, s dvije cijevi za svako oko. Ova konfiguracija pruža široko vidno polje i eliminira potrebu da nositelj pomiče glavu kako bi vidio različite dijelove slike. Cijevi za pojačivač slike koje se koriste u AN/ASV-10 PNVG su najsuvremenije cijevi generacije III+, koje pružaju vrhunsku rezoluciju, osjetljivost i pouzdanost u usporedbi s prethodnim generacijama. Cijevi su dizajnirane da pojačaju ambijentalno svjetlo i daju jasnu sliku korisniku, čak i u uvjetima vrlo slabog osvjetljenja. Uz sve dosada nabrojane značajke, ove naočale još koriste i fuziju slike. AN/ASV-10 PNVG nema klasični prikaz slike pomoću bijelog fosfor, nego ima OLED zaslon visoke rezolucije koji pruža jasnu i svijetlu sliku korisniku. Zaslon je postavljen ispred svakog oka, omogućujući korisniku da vidi sliku iz obje cijevi pojačala slike istovremeno. OLED zaslon ima nekoliko prednosti u odnosu na druge vrste zaslona, uključujući visok kontrast, brzo vrijeme odziva i nisku potrošnju energije. Zaslon je također dizajniran da bude podesiv, omogućujući korisniku da prilagodi svjetlinu i kontrast slike prema svojim željama. [12]

Sve napredne karakteristike ovih naočala imaju svoju cijenu, imaju daleko najveću masu od svih modela naočala i najkraće vrijeme rada na jednom punjenju baterija. Kako je ovo relativno nov model naočala, teško je doći do točne cijene, no na nekim online stranicama se spominju cifre od preko 20000 eura, što s obzirom na kompleksnost ovih naočala djeluje realno.

6.4. Odabir naočala

Sukladno ovim podacima, sve naočale imaju neke svoje prednosti. Po tehničkim značajkama, najbolji izbor bi bile AN/AVS-10 PNVG naočale, no one su ujedno gotovo duplo skuplje od slijedećih AN/AVS-9 naočala. Uz cijenu, AN/AVS-10 su relativno nove naočale te još nisu ni u Američkom ratnom zrakoplovstvu ušle u punu uporabu. Međutim, AN/AVS-9 iako dosta starije, pokazale su se jako dobrima kroz dugi niz godina te ih koristi i Slovensko ratno zrakoplovstvo na svojim Pilatusima PC-9M.

Tablica 1. Usporedba tri modela NVG naočala.

Model NVG-a	AN/AVS-9 (F4949)	AN/AVS-6	AN/AVS-10 PNVG
Generacija	3 ili 3+	3	3+
Početak proizvodnje	Kasnih 90-ih	Kasnih 80-ih	2008
Vidno polje	40° horizontalno, 30°vertikalno	40° horizontalno, 30°vertikalno	97° horizontalno, 40° vertikalno
Povećanje slike	1x	1x	1x
Fokus	Od 41 cm do beskonačnosti	Od 25,4 cm do beskonačnosti	Od 45 cm do beskonačnosti
Međuzjencični razmak [mm]	51-72	Da	Da
Rezolucija [lp/mm]	64	64	64
Dimenzije (DxŠxV)[cm]	8,3x13x10,3	15x15x8	11,7x23,1x10,4
Masa [g]	640	750	800
Izvor napajanja	4 AA baterije	2 AA baterije	4 AA baterije
Trajanje rada [h]	~30	~24	~8
Prilagođavanje dioptrije	+2 do -6	Da	Ne

Automatsko odvajanje [opterećenje]	11-15 „g“	Da	Da
Cijena [EUR]	9450-12995	7500-11000	20000+

7. Definiranje preduvjeta za provedbu misija noćnog gađanja

Iz dokumenta „Uputa o letenju vojnih zrakoplova na aerodromu Zadar“ i „Pravilnika o letenju vojnih zrakoplova“ je samo definirano da je: „NVIS let: noćni let u vizualnim meteorološkim uvjetima s posadom koja koristi NVG u helikopteru koji leti pod NVIS odobrenjem.“ Iz toga se može zaključiti samo da se let izvodi uz korištenje NVG naočala te da meteorološki uvjeti moraju zadovoljavati minimum od 5 kilometara horizontalne vidljivosti te od 1000 stopa vertikalne separacije od oblaka. [20]

7.1. Zakonski i tehnički preduvjeti

Kako u zakonu nisu definirani ostali uvjeti koje kokpit zrakoplova ili pojedina rasvjetna tijela na zrakoplovu moraju zadovoljavati, za referencu će biti korišteni NATO-ov standard, STANAG 3800 i MIL-STD-3009 koji relativno detaljno opisuju zahtjeve koje kokpit zrakoplova mora zadovoljavati te koje će u slučaju uvođenja NVG opreme na letaćku obuku s Pilatusom PC-9M vrlo vjerojatno koristiti i Hrvatsko zakonodavstvo. Po STANAG-u i po MIL-STD-u, zrakoplov mora zadovoljavati slijedeće preduvjete:

- Rasvjeta u kokpitu mora biti kompatibilna s NVIS (Night Vision Imaging System), što znači da bi trebala emitirati svjetlost u specifičnom spektru boja koji je optimiziran za korištenje NVG-a. Valna duljina svjetlosti koju emitira osvjetljenje kokpita mora biti unutar raspona od 580 do 940 nanometara da bi se smatralo NVIS-kompatibilnim. raspon od 580 do 940 nanometara temelji se na osjetljivosti ljudskog oka i dizajnu NVG cijevi za pojačavanje slike. Ljudsko oko najosjetljivije je na svjetlo u zeleno-žutom dijelu vidljivog spektra, što odgovara valnim duljinama od približno 550 do 580 nanometara. Međutim, NVG cijevi za pojačavanje slike dizajnirane su za pojačavanje svjetlosti u bliskom infracrvenom području spektra, koje ima veće valne duljine od vidljive svjetlosti. Fotokatoda u cijevi pojačivača slike najosjetljivija je na svjetlost u rasponu od 700 do 900 nanometara, zbog čega rasvjeta kompatibilna s NVG-om obično emitira svjetlost u tom rasponu. Međutim, neke NVG cijevi za pojačavanje slike također su osjetljive na kraće valne duljine, do oko 580 nanometara. Stoga osvjetljenje kokpita koje emitira svjetlo u zeleno-žutom dijelu spektra može uzrokovati efekte "cvjetanja" ili "aureole" oko svijetlih objekata kada se gledaju kroz NVG. To može smanjiti učinkovitost NVG-ova i otežati jasnoću pilota. NATO STANAG 1445 za NVG prikladnost kokpita u vezi osvjetljenja kokpita definira slijedeće:

rasvjeta u kokpitu mora biti kompatibilna s NVG-ovima i osiguravati dovoljno osvjetljenja za sve instrumente i zaslone u kokpitu. Rasvjeta u kokpitu trebala bi imati temperaturu boje između 5500 K i 6500 K i indeks reprodukcije boja (CRI) od najmanje 70. Osvjetljenje bi trebalo biti podesivo i prigušivo kako bi se omogućila optimalna vidljivost s NVG-ovima. Kako bi se postigla odgovarajuća rasvjeta za kokpite opremljene NVG-om, može se koristiti kombinacija vanjske i unutarnje rasvjete. Vanjska rasvjeta može se koristiti za osvjetljavanje prostora kokpita i zaslona, dok se unutarnja rasvjeta može koristiti za osvjetljavanje pojedinačnih instrumenata i kontrola. Kako bi se izbjegli ovi problemi, rasvjeta u kokpitu koja je kompatibilna s NVG-ima mora emitirati svjetlost u specifičnom spektru boja koji je optimiziran za korištenje NVG-a. Standard zahtijeva da osvjetljenje kokpita bude u rasponu od 580 do 940 nanometara kako bi se osiguralo da ne ometa rad NVG-a i da pilot može učinkovito tumačiti i reagirati na instrumente i zaslone zrakoplova. [14],[15]

- Intenzitet osvjetljenja: Osvjetljenje kokpita mora biti niskog intenziteta kako bi se izbjeglo preopterećenje NVG-ove cijevi za pojačavanje slike. Standard specificira maksimalnu razinu intenziteta za različite vrste osvjetljenja kokpita, kao što su osvjetljenje ploče s instrumentima i osvjetljenje kabine. [14],[15]
- Odsjaj i refleksija: Rasvjeta u kokpitu mora biti dizajnirana tako da minimalizira blještavilo i refleksije koji mogu ometati rad NVG-a. To se može postići upotrebom filtera, premaza ili drugih sredstava. [14],[15]
- Mogućnost prigušivanja: Rasvjeta u kokpitu mora imati mogućnost prigušivanja koja omogućava pilotu da prilagodi intenzitet osvjetljenja na razinu koja je prikladna za misiju i operativno okruženje. Raspon zatamnjenja trebao bi biti kompatibilan s upotrebom NVG-a, što znači da bi trebao omogućiti postupan prijelaz s normalnog osvjetljenja na osvjetljenje niskog intenziteta kompatibilno s NVIS-om. Norme ne navode određeni raspon prigušivanja, ali daje smjernice o tome kako prigušivanje treba provesti. Prema MIL-STD-3009, rasvjeta u kokpitu trebala bi imati mogućnost prigušivanja koja omogućava pilotu da prilagodi intenzitet osvjetljenja na razinu koja je prikladna za misiju i operativno okruženje. Zatamnjenje bi trebalo biti glatko i kontinuirano, bez ikakvih naglih promjena u intenzitetu koje bi mogle zaprepastiti ili dezorijentirati pilota. Zatamnjenje bi također trebalo biti proporcionalno, što znači da bi intenzitet osvjetljenja trebao biti izravno proporcionalan položaju regulatora zatamnjenja. Osim toga, standard preporuča da se rasvjeta u kokpitu opremi "blackout" modom koji omogućava pilotu da brzo isključi svu nebitnu rasvjetu u kokpitu u slučaju nužde. Način rada zamračenja trebao bi biti lako dostupan i ne bi trebao ometati rad drugih sustava u kokpitu ili avionike. [14], [15]

Osvjetljenje kokpita mora se testirati na kompatibilnost s NVG-ovima kako bi se osiguralo da ispunjava zahtjeve navedene u standardu. Ovo testiranje može uključivati procjenu osvjetljenja pod simuliranim NVG uvjetima kako bi se osiguralo da ono ne ometa rad NVG-a te se u tim uvjetima koriste i detaljne tablice koje specificira svaki proizvođač naočala te koje nisu javno dostupne.

Kako su zrakoplovi Pilatus PC-9M nabavljeni kasnih 90-ih godina, odnosno većina ih je kupljena 1997. godine, vrlo vjerojatno će biti potrebne preinake na pojedinim instrumentima, ovisno o tipu NVG naočala koje se kupe, kako bi kokpit u potpunosti bio NVG kompatibilan. Jedna od najvećih stavki koja će se morati modificirati su instrumenti i prikaznici u kokpitu. Tu opet postoji nekoliko rješenja, najbolje i najskuplje bi bio potpuni *up-date* kokpita na *glass cockpit* te pogotovo na neku verziju tog kokpita koja je kompatibilna sa zrakoplovima *Dassault Rafale*. Slijedeće opcije su zamjena pojedinačnih instrumenata novima, koji su kompatibilni sa NVG-om, odnosno koji bi proizvodili samo svjetlost specificiranu u prethodnom poglavlju ili nabavka filtera svjetla za trenutne instrumente. Instrumenti i zaslone u kokpitu moraju biti filtrirani kako bi se eliminiralo svako zalutalo svjetlo koje bi moglo ometati korištenje NVG-a. Filtri moraju biti kompatibilni s NVG-ovima i osiguravati dovoljan kontrast i čitljivost za sve instrumente i zaslone. Standard navodi da filtri moraju osigurati minimalni prijenos od 70% unutar NVG spektralnog raspona od 600 do 950 nanometara. Filtri s višim prijenosom mogu pružiti bolju vidljivost, ali također moraju biti pažljivo odabrani kako bi se izbjegle bilo kakve smetnje s NVG-ovima, pri čemu bi se bilo potrebno konzultirati sa proizvođačem NVG-a. Filtri se mogu nanositi kao premazi na instrumente ili kao prekrivni filmovi na zaslonima. Obloženi filtri često se koriste za pojedinačne instrumente, dok se preklapajući filtri koriste za veće zaslone kao što su višenamjenski zaslone ili u slučaju Pilatusa PC-9M elektronički komandno-položajni prikaznik (electronic attitude and direction indicator – EADI) i elektronički prikaznik vodoravne situacije (electronic horizontal situation indicator – EHSI). Na slici 10 je prikazan kokpit zrakoplova koji je opremljen prije navedenim filterima svjetla, koji se na slici vide kao plava stakla instrumenata ispred kojih se nalaze. [13]



Slika 10. Kokpit zrakoplova opremljen filtrima svjetla.[13]

7.2. Meteorološki preduvjeti

Prema NATO-ovom standardizacijskom sporazumu 4370, sljedeći vremenski minimumi vrijede za pravila noćnog vizualnog letenja (visual flight rules - VFR):

Strop (najniži sloj oblaka) mora biti najmanje 1000 stopa iznad najviše prepreke unutar radijusa od 5 nautičkih milja od položaja zrakoplova, vidljivost mora biti najmanje 5 kilometara te u blizini planirane rute ne smije biti grmljavinskog nevremena ili drugih opasnih vremenskih uvjeta.[17]

Ovo su osnovni preduvjeti koji su i uvjet za dnevno VFR letenje, no ovdje treba uzeti u obzir i da će let od aerodroma polijetanja do lokacije mete najvjerojatnije biti proveden u brišućem letenju, koje se provodi kako bi se smanjila vjerojatnost otkrivanja, ili povećalo vrijeme do otkrivanja. Brišući let definira se kao let koji se izvodi na maloj visini s prilagođenom brzinom za praćenje reljefa zemljišta zbog zaštite od otkrivanja i djelovanja protivničke protuzračne obrane. Visina leta u brišućem letu za avione ograničena je od 100 do 330 stopa iznad terena. Zbog povećanja sigurnosti, vježbovni brišući letovi se provode unutar koridora za brišuće letenje koji su široki 3 NM, visine do 1000 ft iznad terena, te minimalno 1 km udaljeni od gradova, industrijskih postrojenja i nacionalnih parkova te se biraju na takav način kako bi u sebi imali što manje umjetnih prepreka poput dalekovoda i

u zadnje vrijeme vjetroelektrana. Kako je već rečeno, brišuće letenje provodi se samo u vizualnim meteorološkim uvjetima. Međutim, letenje u blizini tla i velikim brzinama nosi rizike zbog različitih geografskih oblika na Zemlji i prepreka koje mogu biti pogubne za posadu i zrakoplov. Također, ptice su uvelike povećavaju mogućnost sudara zrakoplova tako da bi buduće zakonodavstvo u vezi noćnog brišućeg letenja uz korištenje NVG naočala bilo potrebno podrobno analizirati i zakonski definirati. [19]

U izvršnoj pripremi, neposredno pred let, imperativ je da se posade zrakoplova što bolje upoznaju sa meteorološkim uvjetima na ruti, kako bi bili pripravnici na eventualne prepreke i promjene u letu.

8. Proračuni elemenata gađanja ciljeva na zemlji u noćnim uvjetima

Uz same elemente gađanja, potrebno je i paru zrakoplova koji će vršiti napad, dovesti do ciljeva na zemlji u što je moguće idealnijim uvjetima. Godine 2013. Eskadrila aviona je započela sa označavanjem zrakoplova Pilatus PC-9M sa fluorescentnim naljepnicama kako bi se omogućilo grupno letenje noću, što bi bio jedan od prvih preduvjeta za provedbu misija noćnog gađanja ciljeva na zemlji, no iz nepoznatih razloga taj je projekt nije dovršen te je danas Eskadrila aviona i dalje bez sposobnosti noćnog grupnog letenja. [16]

Postoji više načina za djelovanje na objekte na zemlji iz zraka, a jedan od osnovnih načina je GRB krug (gađanje, raketiranje, bombardiranje - GRB) koji će biti objašnjen sa proračunima u jednom od slijedećih potpoglavlja. Neki od drugih načina djelovanja na objekte na tlu su napadi iz pravca, no za takva djelovanja, kako bi napad bio uspješan, potrebno je imati zrakoplov opremljen *head-up displayom* i ostalim uređajima poput daljinomjera, koji je u mogućnosti stalno proračunavati mjesta gdje će ubojna sredstva pogoditi te na takav način na displeju pilotu stalno prikazivati pilotu putanju sredstva i eventualne ispravke koje mora napraviti kako bi pogodio metu.

8.1. Odlazak i povratak iz zone djelovanja

Polijetanje treba biti izvedeno u točno predviđeno vrijeme, kako bi se na određenim kontrolnim točkama dolazilo u najavljenim vremenima, kako postrojbe protuzračne obrane, koje se nalaze na prvim linijama ne bi zamijenile protivničke i prijateljske zrakoplove te najvažnije, kako bi samo gađanje bilo provedeno u planiranom, odnosno najboljem bremenu. Nakon polijetanja, vođa para i njegov pratitelj lete u razmaknutom postroju, odnosno pratitelj održava razmak od vođe od nekih 35 metara te je na odmaku od približno 180 metara, što pratitelj procjenjuje po vizurama na vođin zrakoplov, odnosno u noćnim uvjetima po vizurama na zrakoplov i po fluorescentnim naljepnicama. Letenje u razmaknutom postroju se prakticira u brišućem letenju kako bi pratitelj imao vremena uz praćenje vođe motriti zračni prostor. [18]

U vježbovnim uvjetima, po dolasku u zonu, vođa i pratitelj će obići zonu djelovanja, kako bi odredili ciljeve gađanja i orijentire koje će koristiti. U borbenim uvjetima, taj dio se preskače jer bi dva zrakoplova bila nepotrebno izložena protivničkoj protuzračnoj obrani.

Po završetku djelovanja, para se na matični aerodrom vraća ili unaprijed planiranom rutom ili najkraćim putem, ovisno o protivničkoj protuzračnoj obrani te sukladno tome se vraćaju ili u razmaknutom ili u primaknutom postroju.

8.2. Krug za gađanje, raketiranje i bombardiranje u noćnim uvjetima

Kako trenutno zrakoplov Pilatus PC-9M nije opremljen sa *head-up displayom* ili sa bilo kakvim drugim ciljničkim spravama, sva gađanja se provode prema slijedećim proračunima za GRB krug. GRB krug uključuje let u kružnom uzorku oko mete dok se u preletima mete po njoj djeluje iz mitraljeza, sa raketama ili bacajući bombe. GRB krug omogućuje preciznije ciljanje neprijatelja i minimizira rizik od prijateljske vatre, zbog toga što će prijateljske snage znati kojom će vjerojatnom putanjom zrakoplovi ići, no isto tako olakšava i protivničkoj protuzračnoj obrani predviđanje slijedeće pozicije zrakoplova po kojoj mogu djelovati. U GRB krugu zrakoplov leti po unaprijed proračunatim putanjama kako bi se za svako ubojno sredstvo s kojim djeluje po meti doveo u idealne uvjete za djelovanje s tim sredstvom.

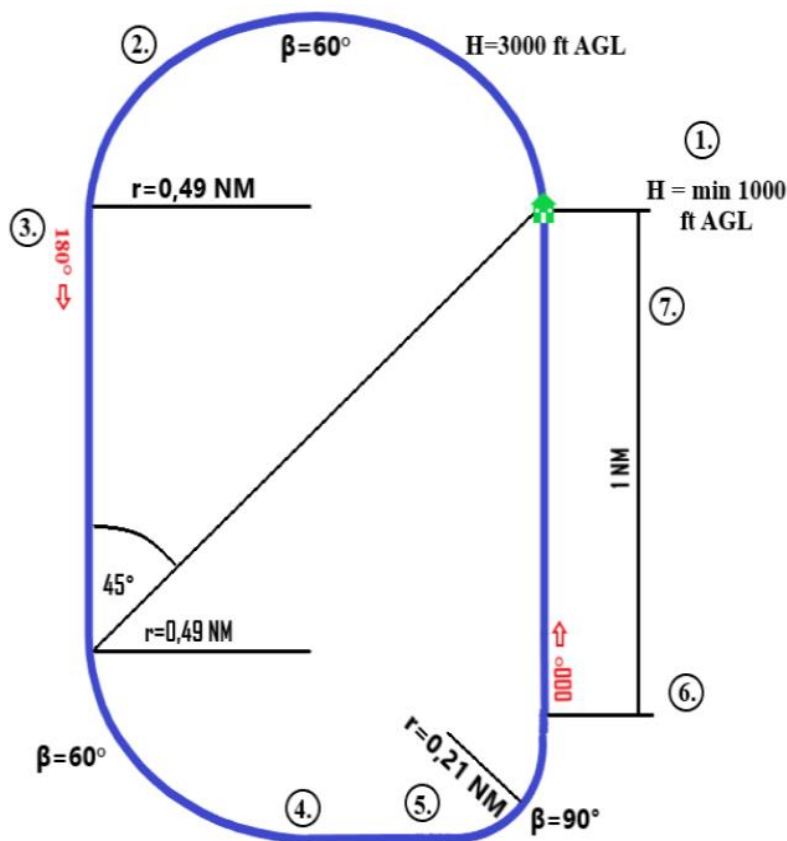
Korištenje GRB kruga datira iz Drugog svjetskog rata, kada su jurišni zrakoplovi prvi put korišteni kao podrška kopnenim trupama. Za to vrijeme piloti bi nadlijetali neprijateljske položaje i bacali bombe u ravnoj liniji, međutim ta je taktika često bila netočna i rezultirala je civilnim i prijateljskim žrtvama. Kroz rat, GRB krug je razvijan kao preciznija alternativa. Iako zastarjeo, danas se GRB krug još uvijek koristi u modernom vojnom zrakoplovstvu, posebice u naprednoj obuci pilota. Krug omogućuje pilotima da održe stabilan i predvidljiv obrazac leta, što je kritično kada se napadaju ciljevi na zemlji, kako se ne bi doveli u uvjete iz kojih je moguć udar u zemlju ili neke druge visoke prepreke. Također omogućuje brze prilagodbe koje se temelje na promjenama u ciljnom području ili položajima neprijatelja.

Razvoj naprednih sustava za ciljanje i oružja također je povećao učinkovitost GRB kruga te se GRB krug uz korištenje *head-up displaya* gotovo i istisnuo iz modernih gađanja ciljeva na zemlji. Na primjer, moderni zrakoplovi opremljeni su navođenim projektilima i pametnim bombama koje se mogu precizno ciljati kako bi se smanjila kolateralna šteta te osim toga, napredni senzori i ciljne kapsule omogućuju pilotima lakše i preciznije identificiranje ciljeva sa sigurne udaljenosti, bez potrebe da ulaze u područje pokriveno protivničkom protuzračnom obranom ili bez toga da moraju ići u rizičnije brišuće letenje.

GRB krug sa zrakoplovom Pilatus PC-9M se provodi na slijedeći način:

Po dolasku u zonu djelovanja, pratitelj povećava odmah od vođe, a vođa izvodi iskakanje, odnosno naglo povećava visinu kako bi imao dovoljno visine za provedbu gađanja. Pratitelj se to cijelo vrijeme trudi održavati što točniji odmak od približno 400 metara, dok istovremeno pokušava i sam odrediti metu. Na metu oba zrakoplova dolaze okomito te izvode poluprevrtanje, podešavaju kut i brzinu te ispuštaju ubojna sredstva i ili idu u povratak na matični aerodrom ili idu u novi krug. U školskom GRB krugu, se provodi

promjena vodstva, kako bi oba zrakoplova, odnosno oba učenika letača u jednom letu vidjela kako se vodi i prati u GRB krugu. GRB krug na slici ima zadane headinge i visine te je namijenjen za poligon Modrino. U slijedećim jednadžbama i tablicama će biti dani točni proračuni za GRB krug. Prikaz GRB kruga je prikazan na slici 11.



1. Prolazak OD-a, za ulazak u prvi krug zaokret na 3000 ft AGL, za svaki idući krug penjući zaokret
2. Prevođenje na 3000 ft AGL i podešavanje postavke snage
3. Formiranje borbenog postroja
4. Pravocrtni let
5. Poluprevrtanje
6. Kut napada $\alpha=25^\circ$
7. Vađenje, ne ispod 1000 ft AGL i penjanje u novi krug sa $\alpha=20^\circ$ i 3-4 "g"

Slika 11. GRB krug za zrakoplov Pilatus PC-9M sa opisom

$$r = \frac{v^2}{g \cdot \tan \beta} \quad (1)$$

Gdje su:

- r – radijus zaokreta [m]
- v – stvarna brzina aviona kroz zrak [m/s]
- g – ubrzanje zemljine sile teže [m/s²]
- β – poprečni nagib [°]

Tablica 2. Polumjeri zaokreta

	1. zaokret	2. zaokret (poluprevrtanje)	3. zaokret
Vođa	~700 m	~350 m	~750 m
Pratitelj	~860 m	~425 m	~860 m

Kako se cijelo vrijeme vođa i pratitelj nalaze na razmaku od približno 150 metara, tako za proračune, brzina vođe iznosi približno 110 m/s dok je pratiteljeva brzina 121 m/s. Ta povećana brzina se odnosi samo na zaokrete, kako bi pratitelj koji je na vanjskoj strani ostao na istom razmaku od vođe. Od izlaska iz prvog zaokreta pa do ulaska u poluprevrtanje, jedno kratko vrijeme zrakoplovi održavaju pravocrtni horizontalni let, okomito na objekt djelovanja, kako bi se u poluprevrtanje mogli uvesti u točki iz koje će izići u pravcu objekta djelovanja, bez potrebe za dodatnim podešavanjem pravca leta.

U fazi od točke 7 do točke 8 na slici 11. par postavlja kut spuštanja, postavljajući se tako u idealne uvjete za gađanje. Tu u obzir treba uzeti balističke karakteristike sredstva sa kojim se djeluje, tako da se za gađanje topom ili mitraljezom, raketama ili bombama kutovi spuštanja i brzine razlikuju. Kako je Pilatus PC-9M u sastavu HRZ-a nenaoružan, uzima se prosječni kut spuštanja od 25°. Neke od osnovnih jednadžbi koje se koriste za sve načine gađanja u GRB krugu su slijedeće:

Visina uvođenja zrakoplova u poniranje (H_{UV}):

$$H_{UV} = \Delta H_{UV} + \Delta H_V + \Delta H_P + H_{SIG} \quad (2)$$

Gubitak visine pri uvođenju zrakoplova u poniranje (ΔH_{UV})

$$\Delta H_{UV} = r_{UV} * (1 - \cos \lambda) \quad (3)$$

Gdje je:

- r_{UV} polumjer uvođenja u napad [m] te za Pilatus PC-9M iznosi približno 1500 m.
- λ kut poniranja zrakoplova [°]

Gubitak visine pri vađenju iz napada (ΔH_V):

$$\Delta H_V = r_V * (1 - \cos \lambda) \quad (4)$$

Gdje je:

- r_V polumjer vađenja [m] te je on jednak:

$$r_V = \frac{V_V^2}{g(n - \cos \lambda)} \quad (5)$$

Gdje je:

- V_V brzina vađenja, te ona iznosi 290 čvorova, odnosno 157 m/s.
- n je oznaka za opterećenje pri vađenju, te ono obično iznosi 3 „g“.

Gubitak visine zrakoplova u poniranju (ΔH_P):

$$\Delta H_P = V_{SR} * t_p * \sin \lambda \quad (6)$$

Gdje je:

- V_{SR} srednja brzina zrakoplova tijekom poniranja
- t_p vrijeme poniranja, a sastoji se od vremena potrebnog za ciljanje, otvaranje i prekid paljbe te od vremena gađanja.

H_{SIG} je sigurnosna visina te se razlikuje za uvježbane pilote i za učenike letače, a za učenike letače iznosi 1000 stopa iznad tla te bi se u skladu sa trenutnim zakonodavstvom ta sigurnosna visina od 1000 stopa primjenjivala u noćnom GRB krugu.

Unoseći u navedene jednadžbe prosječne brzine zrakoplova u poniranju prema objektu djelovanja od prosječno 135 m/s i uzimajući da je učeniku letaču za ciljanje potrebno 2 sekunde, dok otvaranje i prekid paljbe te paljba traju 3,5 sekundi, dobije se visina od 1153 metra, što preračunato u stope iznosi 3782,808 stopa, što se zbog lakšeg upravljanja zaokružuje na visinu od 3800 stopa.

Ovim jednadžbama se dobije osnovna visina uvođenja za održavanje kuta spuštanja od 25°. Kako je već rečeno zbog predvidljive putanje, zrakoplov je laka meta, no GRB krug je idealan način za početnu obuku učenika letača, kako bi se u poznatim uvjetima doveli u idealne uvjete gađanja. Ovakav GRB krug bi se mogao primjenjivati u noćnim gađanjima, uz poštivanje svih trenutnih propisa, jer je minimalna visina 1000 stopa iznad visine tla.

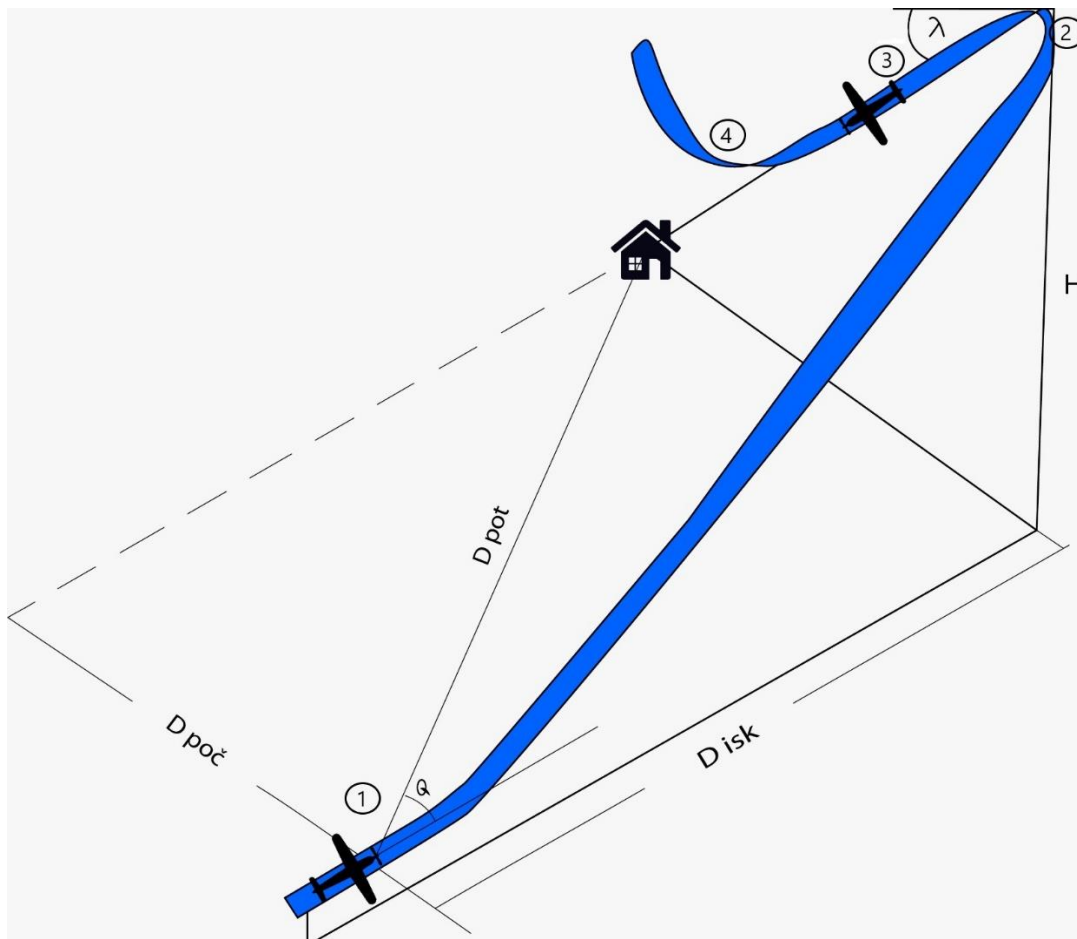
8.3. Ostali načini gađanja ciljeva na zemlji

Kako se GRB krugom kruži oko mete na približno 3000 stopa iznad mete, zrakoplovi su napretkom protuzračne obrane postali lake mete. Zbog toga su uvedeni neki od slijedećih načina gađanja meta na tlu, a koji bi se mogli koristiti u noćnim uvjetima.

8.3.1. Napad sa iskakanjem iz pravca

U brišućem letu vođa para održava brzinu od 250 čvorova te po dolasku do orijentira iskakanja vođa iskače te za njim pratitelj, odnosno naglo povećavaju visinu kako bi se mogli dovesti u idealne uvjete za gađanje. Po iskakanju par se nalazi okomito na objekt djelovanja te se manevrom poluprevrtanja postavljaju na objekt djelovanja u kutu spuštanja od približno 25° . Ovaj manevar je prikazan na slici 12. Na slici su označene četiri točke te one prikazuju slijedeće:

1. Točka iskakanja zrakoplova, koja je pod 45° u odnosu na trenutni pravac leta i objekt djelovanja.
2. Poluprevrtanje.
3. Točka otvaranja paljbe.
4. Točka vađenja zrakoplova iz napada.



Slika 12. Napad sa iskakanjem iz pravca.

Visina iskakanja (H_{isk}) se određuje na slijedeći način:

$$H_{isk} = \frac{1}{2g} (V_{pri}^2 - V_{poi}^2) \quad (7)$$

Gdje je:

- V_{pri} brzina na uvođenju u iskakanje te iznosi 250 čvorova, odnosno 135 m/s.
- V_{poi} brzina po završetku iskakanja, odnosno brzina za uvođenje u poluprevrtanje iznosi 140 čvorova, odnosno 75 m/s.

Iz ovoga se može izračunati da će zrakoplov Pilatus PC-9M popeti za 642,6 metara, odnosno približno 2100 stopa što pilote dovodi u poznate uvjete za gađanje, odnosno tim manevrom se piloti dovode u dio GRB kruga nakon poluprevrtanja. Kako bi piloti mogli znati kada točno krenuti sa iskakanjem uvode se slijedeći izračuni iz kojih se dobiva potrebna udaljenost za iskakanje (D_{isk}) i potrebni bočni odmak za uvođenje u iskakanje ($D_{boč}$), uzimajući u obzir da je napadni kut 30° u penjanju kako bi objekt djelovanja ostao u vidokrugu pilota, a kako bi zrakoplov opet uspio što brže popeti, dok je napadni kut tijekom ciljanja 25° :

$$D_{isk} = \frac{H_{isk}}{\tan \alpha} * 1,33 \quad (8)$$

$$D_{boč} = \frac{H_{isk} + H_L}{\sin \lambda} \quad (9)$$

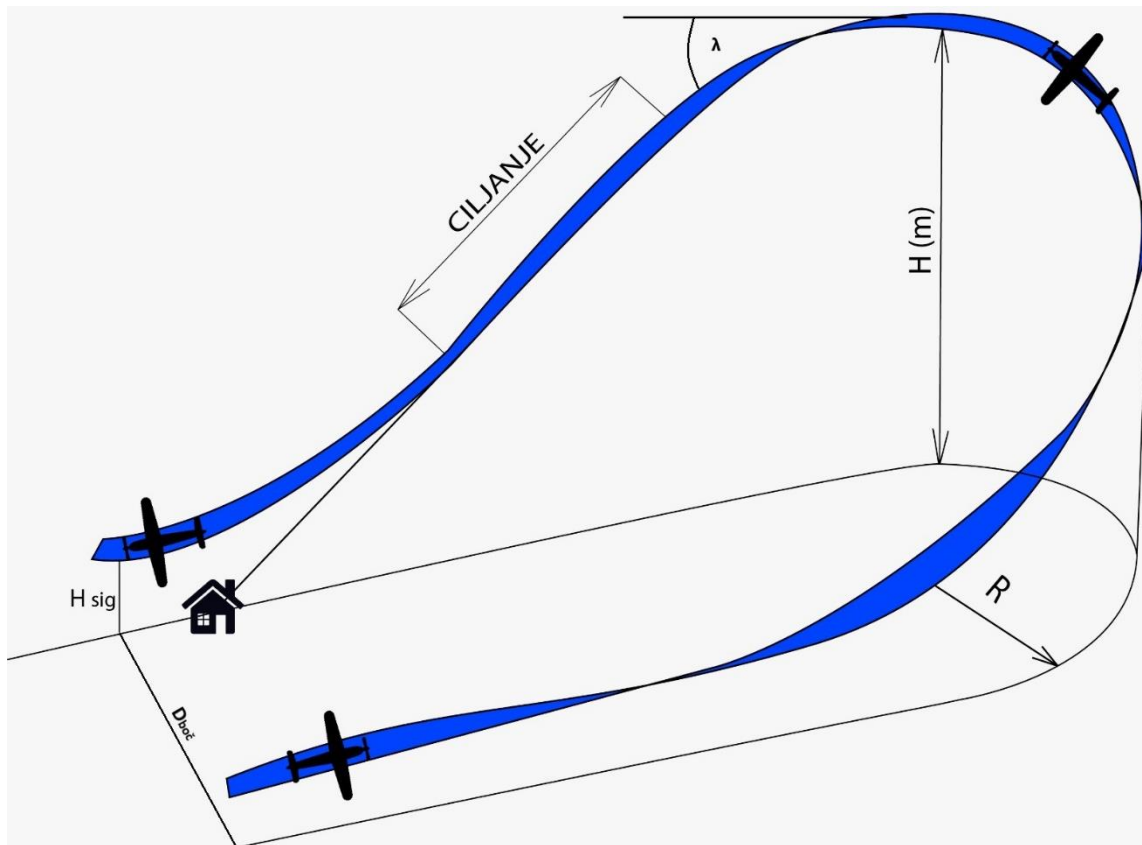
Gdje je:

- H_L visina leta zrakoplova te ona je u brišućem letenju do 330 stopa iznad terena, dok ćemo za izračun uzimati da iznosi 100 metara (328 stopa).

Bočna širina od objekta djelovanja po kojoj se okomito na objekt djelovanja mora kretati zrakoplov iznosi 1751 metar. Duljina iskakanja za Pilatus PC-9M iznosi približno 1480 metara. Koeficijent 1,33 sa kojim se množi omjer je uveden kako bi se povećala udaljenost, jer samo dijeljenje visine iskakanja sa tangensom kuta ne uzima u obzir udaljenost koju će zrakoplov prijeći za vrijeme postavljanja kuta i za vrijeme ponovnog prevođenja u horizontalni let. Nakon poluprevrtanja, poniranje i odlazak iz zone objekta djelovanja se odvija po već opisanoj jednadžbi (2).

8.3.2. Bojni zaokret sa promjenom pravca za 180°

Bojni zaokret se rabi u uvjetima dobre vidljivosti kada zrakoplov nadlijeće bočno od objekta djelovanja te kroz zaokret penje i okreće se za 180° kako bi se doveo u idealne uvjete za gađanje. Izgled ovog zaokreta je prikazan na slici 13.



Slika 13. Bojni zaokret sa promjenom pravca za 180°.

Visina iskakanja se određuje po jednadžbi (7), s tim da je brzina u gornjoj točki 160 čvorova, što znači da će visina iskakanja iznositi 548 metara, odnosno 1799 stopa. Zadano opterećenje za ovaj zaokret iznosi 3 „g“ te je preporuka održavati nagib β jednak 70°.

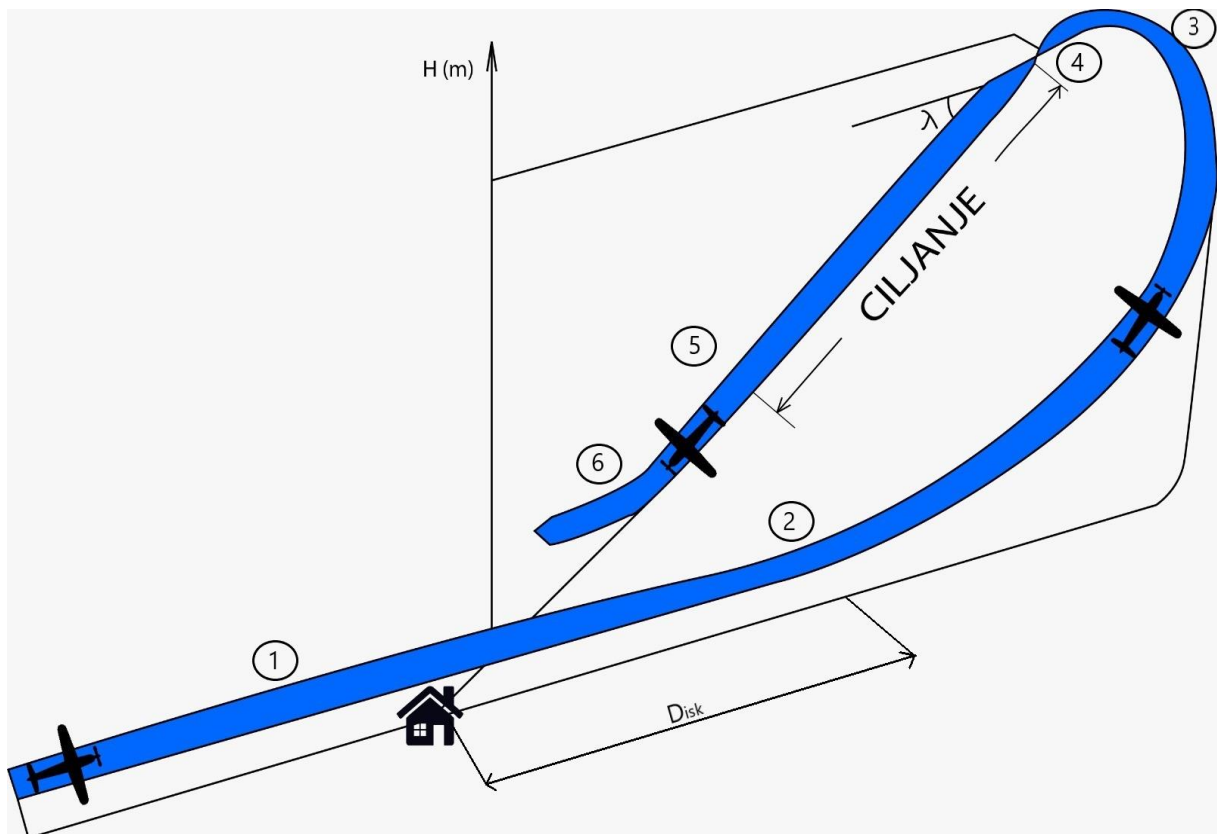
$$n = \frac{1}{\cos \beta} \quad (10)$$

Unošenjem opterećenja od 3 „g“ u jednadžbu (10) se dobije da potrebni nagib iznosi 70,5° te će se sa tom brojkom dalje računati polumjer zaokreta i bočni odmak od objekta djelovanja koji je potreban za mjesto uvođenja. Iz jednadžbe (1) se ako uzmemo pretpostavku za linearno usporenje sa 250 na 160 čvorova dobije polumjer zaokreta od 442 metra, što ujedno i znači da je bočna udaljenost od objekta djelovanja za uvođenje ($D_{boč}$) u bojni zaokret dvostruko veća:

$$D_{boč} = 2 \frac{v_{str}^2}{g * \tan \beta} \quad (11)$$

8.3.3. Manevar polupetlja

U slučaju da je neki od dosadašnjih manevara iz bilo kojih razloga bio neuspješan ili je potrebno ponoviti gađanje, uvodi se manevar „polupetlja“. Uz ponavljanje napada „polupetlja“ se može primjenjivati u uvjetima slabe vidljivosti, što je posebno kritično za noćno letenje, pogotovo za letenje u sumrak i zoru kada je česta pojava izmaglice.



Slika 14. Manevar "polupetlja".

Na slici 14 je označeno 6 točki manevara polupetlje, a te točke označavaju slijedeće:

1. Gađanje iz prvog naleta.
2. Točka uvođenja u polupetlju.
3. Gornja točka polupetlje.
4. Okretanje zrakoplova prema objektu djelovanja i početak ciljanja.
5. Točka otvaranja paljbe.
6. Točka vađenja iz napada.

Zrakoplov prelijeće preko objekta djelovanja te naglo povećava visinu, što se može dobiti iz jednadžbe (7), uzimajući pretpostavku da je usporenje linearno sa 156 m/s na 97 m/s,

odnosno da je srednja brzina 126,5 m/s te se tako dobiva visina iskakanja od 761 metar, odnosno od 2496 stopa. Kroz zaokret se održava opterećenje od 4 „g“ kako bi polumjer zaokreta bio što manji te i kako bi manevar polupetlje služio kao proturaketna obrana od protivničke protuzračne obrane. Polumjer zaokreta se računa na način da se jednadžba (10) u kojoj je prikazana ovisnost opterećenja kroz zaokret o nagibu zrakoplova uvrsti u jednadžbu (1) za izračunavanje polumjera zrakoplova:

$$r = \frac{V_{sr}^2}{g \cdot \tan(\cos^{-1} \frac{1}{n})} \quad (12)$$

Za zrakoplov Pilatus PC-9M taj polumjer iznosi 421 metar, te kako je zrakoplov sa visine leta od 100 metara iznad terena iskočio za 761 metar, potrebno je po slijedećoj jednadžbi proračunati vrijeme za koje je potrebno produžiti u pravcu (D_{isk}), nakon preleta objekta djelovanja, kako bi nakon točke 4, na slici 14, ostalo dovoljno vremena za ciljanje i otvaranje paljbe, odnosno kako bi zrakoplov imao 5,5 sekundi leta potrebnih za to pri prosječnoj brzini od 250 čvorova, odnosno 135 m/s u toj fazi. Kako je brzina leta nakon prvog djelovanja na objekt djelovanja 290 čvorova, odnosno 156 m/s, a prosječna brzina tijekom gađanja iznosi 250 čvorova ili 135 m/s, potrebno je uvesti slijedeće jednadžbe:

$$D_g = t_g * V_g \quad (13)$$

Gdje je:

- D_g udaljenost koju će zrakoplov prijeći tijekom gađanja.
- t_g vrijeme potrebno za gađanje, iznosi 5,5 sekundi.
- V_g prosječna brzina zrakoplova u gađanju te ona iznosi 250 čvorova ili 135 m/s.

Iz toga se dobije da je put koji zrakoplov prijeđe u gađanju jednak 742,5 metara. Po slijedećoj jednadžbi će se ta dužina iz spuštanja preračunati u dužinu za horizontalni let.

$$D_{isk} = D_g \cos \lambda \quad (14)$$

Gdje je:

- D_{isk} dužina za koju je potrebno produžiti u pravcu nakon prvog preleta objekta djelovanja.
- λ kut spuštanja.

Dužina za koju je potrebno produžiti nakon preleta objekta djelovanja iznosi 673 metra, odnosno pilot će morati produžiti neko određeno vrijeme koje se izračunava po slijedećoj jednadžbi, uzevši u obzir da je brzina zrakoplova 290 čvorova, odnosno 156 m/s jer je zrakoplov već izvršio jedan napad.

$$t_{isk} = \frac{D_{isk}}{V_{isk}} \quad (15)$$

Gdje je:

- t_{isk} vrijeme za koje pilot mora nastaviti letjeti u pravcu nakon preleta objekta djelovanja.
- V_{isk} brzina sa kojom pilot prelijeće objekt djelovanja.

Po jednadžbi (15) se dobije da po preletu objekta djelovanja pilot mora nastaviti sa letom u pravcu za 4,3 sekunde kako bi se doveo u najidealnije uvjete za provedbu idućeg gađanja, odnosno kako ne bi prerano izašao iz polupetlje te tako završio preblizu i previsoko u odnosu na objekt djelovanja.

Zaključak

392. Eskadrila aviona smještena u Zadru već dugi niz godina uspješno provodi temeljnu i naprednu obuku pilota čemu su dokaz obuka pilota Kraljevskog Omanskog ratnog zrakoplovstva te visoka uvježbanost pilota Protupožarne eskadrile, koji su svi prošli kroz ovu eskadrilu.

Ideja za implementaciju NVG sustava u obuku i u zadaće koje obavlja ova eskadrila postoji već dugi niz godina. Iz trenutnih mogućnosti koje eskadrila ima, najveći joj je nedostatak nemogućnost obavljanja složenijih zadaća noću. Naime zbog neimanja NVG-a i potrebne obuke za sam NVG, ova eskadrila koja inače obavlja misije CAS-a i ostalih vrsta potpore kopnenoj vojsci i mornarici nije u mogućnosti te zadaće obavljati noću. U ovom radu je dana analiza tri najčešće korištena modela NVG naočala u ostalim zapadnim zrakoplovstvima, od kojih model AV/AVS-9 se koristi u Slovenskom ratnom zrakoplovstvu na istom tipu letjelice te je po omjeru uloženog i dobivenog najvjerojatnije jedan od prvih izbora za buduću nadogradnju mogućnosti ove eskadrile.

U radu su napravljeni i osnovni proračuni elemenata manevara za noćno gađanje, koji će se u skoroj budućnosti moći koristiti kao teorijska osnova za izvođenje noćnog gađanja.

Ovim radom se nastojalo ukazati na pozitivne učinke koje bi nabavka sustava za noćno gledanje imala na 392. Eskadrilu aviona, a i samim time na cijelo Hrvatsko ratno zrakoplovstvo. Radom se nastojalo ukazati da je zbog budućeg uvođenja zrakoplova *Dassault Rafale* u sastav Hrvatskog ratnog zrakoplovstva ovo idealan trenutak za modernizaciju 392. Eskadrile aviona u kojoj se obučavaju budući borbeni piloti, kako bi im se u samim početcima karijere omogućila osposobljenost za provođenje svih zadaća, danju i noću. Uz bolju obučenosť budućih i trenutnih pilota, uvođenje bi i jednim dijelom smanjilo cijenu obuke budućih borbenih pilota jer noćno letenje sa NVG-om ne bi morali prolaziti iz početka na skupljoj letjelici, nego bi na tu letjelicu došli sa dobrim temeljima iz noćnog letenja sa NVG-om.

Literatura

- [1] Pilatus Aircraft Ltd. Aircraft Flight Manual. Stans; 1998
- [2] [Mrežno]. Available: <https://www.boatsafe.com/why-is-night-vision-green/> [Pokušaj pristupa 03. ožujka 2023.]
- [3] [Mrežno]. Available: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20030063076/downloads/20030063076.pdf> [Pokušaj pristupa 03. ožujka 2023.]
- [4] [Mrežno]. Available: <https://www.nvdevices.com/product/pvs-14-night-vision-monocular/> [Pokušaj pristupa 03. ožujka 2023.]
- [5] [Mrežno]. Available: <https://www.flightgear.ch/ch-hgu-55-nvg> [Pokušaj pristupa 04. ožujka 2023.]
- [6] [Mrežno]. Available: <https://encyclopedia.pub/entry/29146> [Pokušaj pristupa 09. ožujka 2023.]
- [7] [Mrežno]. Available: <https://www.nightvision.com.au/the-history-of-night-vision-technology/> [Pokušaj pristupa 09. ožujka 2023.]
- [8] [Mrežno]. Available: <https://www.agmglobalvision.eu/blog/difference-between-night-vision-generations> [Pokušaj pristupa 09. ožujka 2023.]
- [9] [Mrežno]. Available: https://nightflightconcepts.com/media/F4949_Marketing_Data_Sheet_v4.pdf [Pokušaj pristupa 01. travnja 2023.]
- [10] [Mrežno]. Available: https://www.asu-nvg.com/Documents%20and%20Settings/39/Site%20Documents/Product%20Spec%200Sheets/ASU_AV5-9%20White%20Phosphor.pdf [Pokušaj pristupa 01. travnja 2023.]
- [11] United States. Department of the Army. (1989). *Operator's manual: aviator's night vision imaging system AN/AVS-6(V)1, (NSN 5855-01-138-4749) and AN/AVS-6(V)2, (NSN 5855-01-138-4748)*. Washington, DC: Headquarters, Dept. of the Army.
- [12] [Mrežno]. Available: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA430243.pdf> [Pokušaj pristupa 01. travnja 2023.]
- [13] [Mrežno]. Available: <https://www.ahlers-aerospace.com/nvg-modification/> [Pokušaj pristupa 01. travnja 2023.]
- [14] [Mrežno]. Available: <https://standards.globalspec.com/std/750585/stanag-3800> [Pokušaj pristupa 02. travnja 2023.]

- [15] [Mrežno]. Available: <https://www.appliedavionics.com/pdf/MIL-STD-3009.pdf>
[Pokušaj pristupa 02. travnja 2023.]
- [16] [Mrežno]. Available: <https://www.morh.hr/samostalni-nocni-letovi-kadeta-u-zemuniku/> [Pokušaj pristupa 02. travnja 2023.]
- [17] [Mrežno]. Available: <https://nso.nato.int/nso/nsdd/main/standards?search=4370>
[Pokušaj pristupa 11. travnja 2023.]
- [18] Jelača J. Taktički navigacijski postupci avionom Pilatus PC-9M u misiji bliske zračne potpore. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2021.
Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:927938> [Pristupljeno: 13. travnja 2023.]
- [19] Ministarstvo obrane Republike Hrvatske. Uputa o letenju vojnih zrakoplova na aerodromu Zadar. Zagreb, 2021.
- [20] Vlada RH. Pravilnik o letenju vojnih zrakoplova. Zagreb: Narodne novine; 2016.
- [21] [Mrežno]. Available: <https://media.defense.gov/2015/Mar/09/2001713475/-1/-1/1/DODIG-2015-090.pdf> [Pokušaj pristupa 12. travnja 2023.]
- [22] [Mrežno]. Available: https://static.e-publishing.af.mil/production/1/af_a3_5/publication/afpam11-417/afpam11-417.pdf
[Pokušaj pristupa 12. travnja 2023.]
- [23] [Mrežno]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Formation_light [Pokušaj pristupa 12. travnja 2023.]
- [24] [Mrežno]. Available: <https://euro-sd.com/2019/09/articles/14476/image-fusion-promises-to-maintain-the-night-time-combat-edge/> [Pokušaj pristupa 12. travnja 2023.]
- [25] [Mrežno]. Available: <https://dk.mors.si/Dokument.php?id=839&lang=slv> [Pokušaj pristupa 18. travnja 2023.]
- [26] [Mrežno]. Available: <https://dk.mors.si/Dokument.php?id=357&lang=slv> [Pokušaj pristupa 18. travnja 2023.]
- [27] Dedukić M. Oborožitveni sistem Pilatus PC-9M Hudournik. Diplomski rad. B&B Višja strokovna škola. 2019.
- [28] Program letačke izobrazbe učenika letača na avionu Pilatus PC-9M
- [29] Zarić V. Osnove konstrukcije zrakoplovnog naoružanja sa gađanjem, raketiranjem i bombardiranjem. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 1997.

Popis kratica

AGL	(Above Ground Level) iznad razine tla
AN/AVS	(Aviator's Night Vision Imaging System) zrakoplovni sustav za noćno gledanje
CRI	(color reproduction index) indeks reprodukcije boje
EADI	(Electronic Attitue and Direction Indiacator) elektronički komandno-položajni prikaznik
EHSI	(Electronic Horizontal Situation Indicator) elektronički prikaznik vodoravne situacije
ESDP	(Engine System Display Panel) prikaznik sekundarnih i motorskih parametara
FOM	(figure of merit) razlučivost
FOV	(field of view) vidno polje
ft	(feet) stopa
GaAs	galijev arsenid
GRB	gađanje, raketiranje, bombardiranje
HGU	(Head Gear Unit) kaciga
K	Kelvin
Lp/mm	linija parova po milimetru
MBU	(Mask Breathing Unit) maska za disanje
MCP	(microchanal plate) mikrokanalna ploča
MIL-STD	(Military Standard) vojni standard
NATO	(North Atlantic Treaty Organisation) Sjevernoatlanski vojni savez
nm	nautička milja
NVG	(Night Vision Goggles) naočale za noćno gledanje
NVIS	(Night Vision Imaging System) sustav za noćno gledanje
OOB	(out of band) izvan vidljivog spektra
PNVG	(Panoramic Night Vision Goggles) panoramske naočale za noćno gledanje
SNR	(signal to noise ratio) omjer signala i šuma

STANAG (Standardization Agreement) sporazum o standardizaciji
US NAVY (United States Navy) Ratna mornarica Sjedinjenih Američkih Država

USAF (United States Air Force) Zračne snage Sjedinjenih Američkih Država
VFR (Visual Flight Rules) vizualno letenje

Popis slika

Slika 1. Kokpit zrakoplova Pilatus PC-9M [1]	3
Slika 2. Prikaz rada naočala za noćno gledanje. [2]	5
Slika 3. PVS-14 NVG monokular [4]	7
Slika 4. AN/AVS-9 NVG naočale na kacigi HGU-55/P [5]	8
Slika 5. GPNVG-19, panoramske NVG naočale na HGU-55 kacigi. [6].....	9
Slika 6. Njemački vojnik sa NVG sustavom "Vampir" [7]	19
Slika 7. Usporedba kvalitete slike u prve tri generacije NVG naočala [8]	24
Slika 8. Formacijska svjetla na zrakoplovu F-35 [23]	29
Slika 9. Usporedba mase dva modela naočala koji se mogu koristiti na kacigi HGU-55/P. [21]	30
Slika 10. Kokpit zrakoplova opremljen filtrima svjetla.[13]	41
Slika 11. GRB krug za zrakoplov Pilatus PC-9M sa opisom [28]	45
Slika 12. Napad sa iskakanjem iz pravca	48
Slika 13. Bojni zaokret sa promjenom pravca za 180°	50
Slika 14. Manevar "polupetlja".	51

Popis tablica

Tablica 1. Usporedba tri modela NVG naočala.....36

Tablica 2. Polumjeri zaokreta.....46

Popis jednadžbi

(1)	Polumjer zaokreta.....	45
(2)	Visina uvođenja zrakoplova u poniranje (H_{UV}).....	46
(3)	Gubitak visine pri uvođenju zrakoplova u poniranje (ΔH_{UV}).....	46
(4)	Gubitak visine pri vađenju iz napada (ΔH_V).....	46
(5)	r_V polumjer vađenja [m].....	47
(6)	Gubitak visine zrakoplova u poniranju (ΔH_P).....	47
(7)	Visina iskakanja (H_{isk}).....	49
(8)	Udaljenost za iskakanje.....	49
(9)	Bočni odmak od objekta djelovanja potreban za uvođenje u iskakanje.....	49
(10)	Ovisnost nagiba i opterećenja kroz zaokret.....	50
(11)	Bočna udaljenost od objekta djelovanja za uvođenje u bojni zaokret.....	50
(12)	Polumjer zaokreta u ovisnosti o opterećenju i brzini.....	52
(13)	Udaljenost koju će zrakoplov prijeći tijekom gađanja.....	52
(14)	Dužina iskakanja u ovisnosti o dužini gađanja.....	52
(15)	Vrijeme nastavka leta u pravcu nakon preleta objekta djelovanja.....	52

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

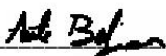
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom Proračun elemenata manevara za noćno gađanje ciljeva na zemlji za avion Pilatus PC-9M, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 20.03.202

Ante Beljan 
(ime i prezime, potpis)