

Ambis vysoká škola, a.s.

Bezpečnostní management

Přístroje pro pozorování za snížené viditelnosti

Bakalářská práce

Autor:

Michal Hořák

Bezpečnostní management v regionech

Vedoucí práce:

Mgr. Tomáš Novotný

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a v seznamu uvedl veškerou použitou literaturu.

Svým podpisem stvrzuji, že odevzdaná elektronická podoba práce je identická s její tištěnou verzí, a jsem seznámen se skutečností, že se práce bude archivovat v knihovně VŠ AMBIS a dále bude zpřístupněna třetím osobám prostřednictvím interní databáze elektronických vysokoškolských prací.

V Praze dne

Michal Hořák

Poděkování

Děkuji vedoucímu své práce panu Mgr. Tomáši Novotnému za konzultace a cenné rady při vypracování této bakalářské práce.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Akademický rok: 2020/2021

Student:	Michal Hořák
UČO:	29241
Program:	Bezpečnostní management v regionech
Studijní obor:	Bezpečnostní management v regionech
Téma:	Přístroje pro pozorování za snížené viditelnosti
Topic:	Apparatus for observation in reduced visibility
Vedoucí bakalářské práce:	Mgr. Tomáš Novotný
Cíl práce:	<p>Cílem práce je v teoretické části vypracovat deskripci a v praktické části provést komparaci přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti. Deskripce bude zahrnovat principy jejich fungování a využití u ozbrojených složek.</p> <p>Zásady pro vypracování práce: V bakalářské práci bude využita metoda analýzy a komparace u jednotlivých typů a generací přístrojů. Také budou zhodnoceny osobní zkušenosti s používáním noktovizoru a termovize.</p> <p>Osnova práce: Úvod, cíl, metody práce Historie a charakteristika přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti Principy fungování přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti Komparace a analýza poznatků mezi jednotlivými typy a generacemi přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti Posouzení získaných výsledků Závěr</p>
Základní prameny a odborná literatura:	<p>MILLER, D a F CH FOSS. <i>Moderní pozemní boj</i>. Praha: NAŠE VOJSKO, 2004. ISBN 80-206-0711-0.</p> <p>DANIELA, BORISSOVA. <i>NIGHT VISION DEVICES Modeling and Optimal Design</i>. Sofia: Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2015. ISBN 978-954-322-829-4.</p> <p>BORISSOVA, D a M DEKOV. <i>Optical Characteristics of Night Vision Goggles "PRILEP"</i>. Cybernetics and Information Technologies, 2002.</p> <p>FISHER, Pavel, Teodor BALÁŽ a Josef BUCHOLCER. <i>Optické přístroje 1. a 2. část</i>. Brno: Vojenská akademie, 2004. 552 s.</p> <p>MILAN, PODHOREC a HORÁK OLDŘICH. <i>Taktický průzkum. Vyd 1.</i> Brno: Univerzita obrany, 2007. 82 s.</p>

Anotace

Tato bakalářská práce analyzuje získaná data o přístrojích pro noční vidění a termokamerách. Poskytuje přehlednou deskripci z historického, vývojového a technologického hlediska řešeného tématu. V praktické části je provedena komparace noktovizoru KLÁRA s termovizí Prometheus a komparace přístrojů nočního vidění dle generačního vývoje.

Klíčová slova

Noční vidění, noktovizor, termokamera, termovize

Annotation

This bachelor thesis analyzes the obtained data about night vision devices and thermographic cameras. It provides a clearly arranged description of the historical, developmental and technological aspects of the theme. In the practical part there is a comparison between the night vision device KLÁRA and the thermovision Prometheus and a comparison of night vision devices depending on generational development.

Keywords

Night vision, noctovision, thermographic camera, thermovision

Obsah

1	Teoretická část práce	8
1.1	Historie a charakteristika přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti.....	10
1.1.1	Rozdělení přístrojů podle generací a technologie	19
1.1.2	Rozdělení přístrojů podle konstrukce	25
1.2	Principy fungování přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti.....	28
1.2.1	Princip fungování noktovizorů	28
1.2.2	Aktivní noktovizor.....	30
1.2.3	Pasivní noktovizor	31
1.2.4	Princip fungování termovizí	31
2	Praktická část práce	35
2.1	Porovnávané přístroje.....	36
2.1.1	Bi-okulární brýle nočního vidění KLÁRA.....	36
2.1.2	Termovize Armasight Prometheus 336	38
2.2	Rozdíly v přístrojích při praktickém používání.....	40
2.2.1	Porovnání efektivního dosahu přístrojů.....	40
2.2.2	Porovnání detekce za ztížených pozorovacích podmínek	42
2.2.3	Komparace přístrojů z uživatelského hlediska	44
2.2.4	Výsledky komparace noktovizoru KLÁRA a termovize Prometheus.....	48
2.3	Porovnání generací přístrojů pro noční vidění	50
2.3.1	Vysvětlení pojmů.....	51
2.3.2	Výstup z komparace přístrojů podle generací	52
3	Závěr.....	56
4	Seznam obrázků a tabulek a zkratk.....	60

Úvod

Cílem této práce je v teoretické části provést deskripci přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti. Vysvětlit jejich historický vývoj, charakteristiku dle vývojových generací a v neposlední řadě popsat principy na kterých takové přístroje fungují.

V praktické části je hlavním cílem provést komparaci dvou rozdílných typů přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti využívané při výkonu strážní a dozorčí služby v rámci AČR.

Porovnávanými přístroji budou brýle pro noční vidění KLÁRA od společnost Meopta a termovizní monokulár Prometheus 336 od společnosti Armasight.

Účelem této komparace je zjistit, který z přístrojů je z uživatelského a technologického hlediska vhodnější pro použití při ostraze objektů, ochraně osob a při vyhledávání narušitelů ve střežené oblasti. Poukázat také na silné a slabé stránky obou přístrojů, náležitě rozebrat a zdůvodnit tyto skutečnosti.

Vedlejším cílem praktické části je vytvořit ucelený přehled technických parametrů a shrnout rozdíly v jednotlivých vývojových generacích přístrojů pro noční vidění.

Postupy a výsledky všech zkoumaných problematik budou provedeny a vyhodnoceny na základě analýzy, syntézy, indukce a dedukce.

1 Teoretická část práce

Pro pozorování objektů za snížené viditelnosti (šero, tma, mlha, smog) nejsou oči člověka dostatečně přizpůsobeny. Od pradávna se lidé po setmění ukládali ke spánku v nějakém bezpečném úkrytu, proto v rámci evoluce nevznikl žádný vážný podnět k modifikaci očí pro lepší fungování za snížené viditelnosti. Zrak lidí se dokonale přizpůsobil k nejlepšímu výkonu za denního světla, kdy člověk vede aktivní život. Čím více se však lidstvo stávalo vyspělejší a civilizovanější, vznikala z mnoha důvodů i potřeba pohybovat se a pracovat v prostředí se sníženou viditelností. Lidé samozřejmě dokázali temné prostory osvětlit pomocí ohnišť, pochodní a různých svítidel. Takové řešení však není uspokojivé, pokud je naším cílem pozorovat a nebýt při tom sám tím, kdo je pozorován. Světelné zdroje navíc omezují náš rozhled do okolí, neboť oči se zaměří pouze na prostor, který je osvětlen a pozorovatel nedokáže vnímat možné nebezpečí ukrývající se v okolní tmě.

Pokud pozorovaný objekt není dobře osvětlen, či sám nezáří a nemá tedy dostatečný kontrast vůči pozadí, nelze rozlišovací schopnost našeho zraku adekvátně využít. Naproti tomu někteří zástupci zvířecí říše se v této problematice dostali o pár kroků vpřed. Šelmy vydávající se na lov pod rouškou tmy, získaly nad svou kořistí výhodu v podobě přirozeného nočního vidění. Nutnost zajistit si potravu a tím i přežití svého druhu způsobila, že například oko kočky má extrémně vysoký počet fotoreceptorů (tyčinek), které jsou velmi citlivé i na slabé světlo. Kočkám stačí až o 60 % méně světla k bezproblémovému fungování ve tmě. Noční vidění jim pomáhá vylepšit i odrazová buněčná vrstva (tapetum lucidum) v oblasti sítnice. Její funkce se podobá zrcadlu, dokáže odrážet světlo procházející okem a tím ho znásobit. Vlivem odrazu totiž světlo projde fotoreceptory hned dvakrát tzn. dovnitř a ven. Stejně tak dojde dvakrát k expozici obrazu a proto mohou kočky vidět ve tmě stejně dobře jako přes den. [9]

Lidstvo v této problematice tedy evolučně trochu zaostalo, ale co nedokázala vylepšit evoluce, to svedl člověk sám, pomocí svého důvtipu a technologických vynálezů.

Vzdálenosti, na které dokáže člověk pozorovat cíle (objekty, scénu) při snížené viditelnosti je možné vykompenzovat pomocí dalekohledů s dostatečným přiblížením, anebo znásobením světelnosti (jasu) obrazu pozorovaného cíle.

Pro pozorování v noci se používá přístroj zvaný noktovizor.

Výraz „noktovize“ se uplatňuje v prostředí přístrojů pro noční vidění k popsaní způsobu, kterým lze pozorovat noční scénu za použití tzv. zesilovače jasu obrazu (ZJO). Další variantou kromě noktovizního způsobu, jak tohoto docílit je i použití převaděče obrazu na elektrooptické bázi. Převaděč díky sestavě specifických součástí (fotokatoda, mikrokanálková destička, luminiscenční stínítko) dokáže několikanásobně zvýšit jas pozorovaného cíle.

Historicky první noktovizory využívaly princip elektrooptických převaděčů obrazu (EOP), tyto převaděče v podstatě dokázaly převést obraz cíle z infračervené (neviditelné oblasti spektra elektromagnetického záření) do té viditelné. Jako zdroj infračerveného (IR) záření pro tento účel používaly vlastní přídavné IR reflektory osazené paralelně s optikou noktovizoru, z tohoto důvodu bývají označovány jako „aktivní“.

Současné moderní noktovizory se zesilovači jasu obrazu ke svému fungování využívají principu zesilování běžně se vyskytujícího zbytkového světla. Tím je myšlen především měsíční svit a záře hvězd. Tyto přístroje jsou specifikovány jako „pasivní“.

Dalším typem přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti, kterými se tato práce zabývá jsou i termokamery, častěji označované jako termovize. Tato zařízení dovedou zachytit infračervené záření, které přirozeně vyzařuje z každého objektu. IR světlo projde objektivem termovize, vnitřní detektor procházející záření převede na elektrický signál a z něj pak procesor na displej přenese obraz pozorované scény v podobě barevného termografu.

1.1 Historie a charakteristika přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti

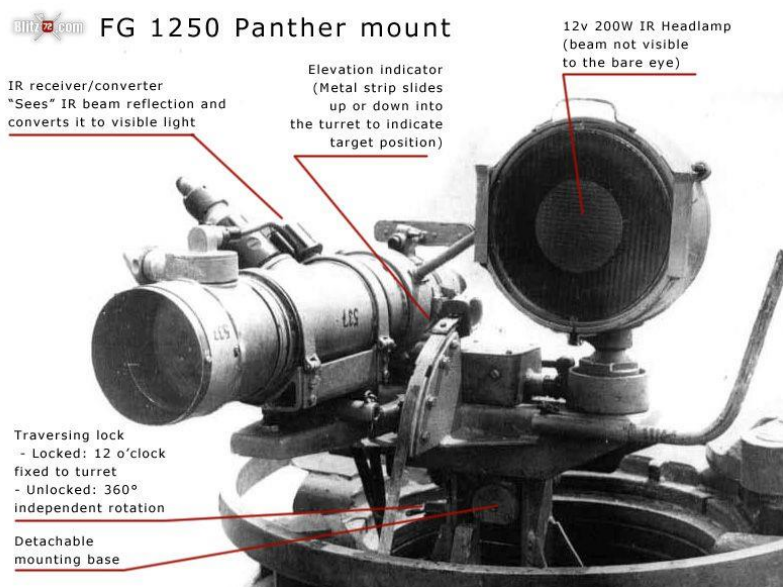
Prapůvod přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti lze dohledat již v roce 1800, kdy bylo infračervené záření objeveno Williamem Herschelem. V roce 1883 byl sestrojen Macedoniem Mellonim přístroj, který byl schopen detekovat člověka podle infračerveného záření. [11]

První prakticky využitelnou kameru citlivou na infračervené záření vynalezl roku 1929 maďarský fyzik Kálmán Tihanyi, své zařízení vyvinul pro protiletadlovou obranu Velké Británie. Za zmínku stojí také to, že Tihanyi byl v Londýně pověřen vývojem dálkově ovládaných systémů řízení palby pro protiletadlová děla. Technologie a koncepty které Tihanyi popsal ve svém patentu z roku 1929 byly tak převratné, že mnoho technologických společností se jeho myšlenkami inspirovalo až do 80. let minulého století. [12]

Po propuknutí druhé světové války byl zbrojní a technologický průmysl tlačěn k vývoji nových, převratných vynálezů, které by mohly zajistit jakoukoliv strategickou výhodu nad nepřítelem. Na scénu tak přicházejí první přístroje později označované jako noční vidění, noktovizory či anglickou zkratkou NVD (night vision devices). V tomto období se mluví o takzvané „Nulté“ generaci nočního vidění. Retrospektivní klasifikaci NVD na „generace“ zavedli američtí výrobci, pro lepší orientaci ve členění noktovizních přístrojů. V rámci této periodizace se typy noktovizorů z období druhé světové války označují jako Generace 0.

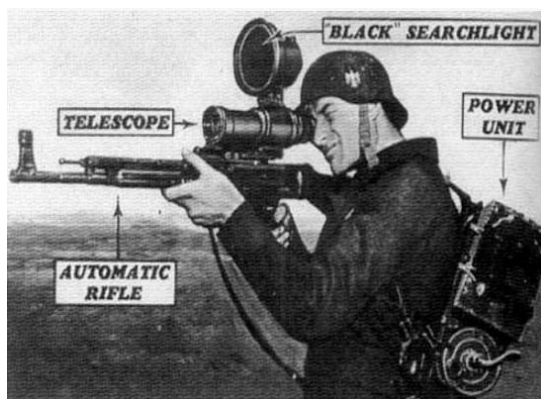
V Německé armádě probíhal vývoj noktovizorů již od roku 1935 a k jejich zavedení do výzbroje došlo v roce 1939. Elektrooptika té doby však nebyla příliš kompaktní v porovnání s dnešní technologií, a proto bylo možné vyvinout pouze velmi rozměrná a těžkopádná zařízení. Tyto přístroje mohly fungovat jedině za součinnosti přísvisitu masivního infračerveného reflektoru, což vylučovalo praktické využití u pěšího vojska. Využití tehdy našly jako noční mířidla pro tanky Panther. Zařízení Sperber FG 1250 s dosahem 600 m se využívalo v kombinaci s infračerveným vyhledávacím reflektorem o průměru 30 cm. Sovětská armáda přichází v roce 1942 s experimentálním zařízením PAU-2, které bylo sice testováno v polních podmínkách, ale o plošnějším využití nejsou další informace. [9]

Němci v průběhu války vybavili celkem 50 tanků zařízením Sperber FG 1250. Ke konci války si obdobná zařízení dokázala obstarat i velká Británie a Spojené státy Americké.



Obrázek 1 Zařízení Sperber FG 1250 [16]

Velký skok a inovaci v oblasti noktovizorů však opět zaznamenalo hitlerovské Německo. Wehrmacht byl na východní frontě vybaven infračerveným zaměřovačem ZG 1229 Vampir, který již byl dostatečně kompaktní pro to, aby mohl být nasazen na útočné pušce StG44. Díky kombinaci moderní útočné pušky s přelomovým vynálezem, měli Němci navrch při nočních bojových operacích. Naštěstí však získali tuto výhodu příliš pozdě a neměli čas využít takto přelomové vynálezy k ovlivnění průběhu války. [9]



Obrázek 2 Infračerveným zaměřovač ZG 1229 Vampir [26]

Americká armáda paralelně s německým Vampirem vyvinula své infračervené noční zaměřovače M1 a M3 známé také jako „snooperscope“ nebo „sniperscope“. Jejich potenciál však také do konce druhé světové války nestihl příliš vyniknout.



Obrázek 3 Infračervený zaměřovač M3 sniper scope [19]

K plošnějšímu využití nočních zaměřovačů došlo až v Korejské válce, kde poskytly americkým odstřelovačům velkou strategickou výhodu oproti takto nevybavenému nepříteli. Zařízení M3 nadále využívalo k osvětlení cílů velký, přenosný zdroj infračerveného světla. Takto osazená zbraň však stále nebyla příliš obratná, stejně tak velká baterie nesená v batohu na zádech se v mnoha situacích stávala proklínanou přítěží.

V šedesátých letech 20. století americká armáda během války ve Vietnamu přichází s první generací „pasivního“ přístroje pro pozorování za snížené viditelnosti. Puškohledy AN / PVS-1 a AN / PVS-2 využívaly zesilovače jasu obrazu, které ke své činnosti nevyžadovaly aktivní přísvit infračerveného reflektoru. Fungovaly na principu zesilování zbytkového světla, které dokázaly prostřednictvím technologicky pokročilé fotokatody S-20 až tisíckrát zintenzivnit. Pro správné použití však bylo zařízení v noci závislé na dostatečném měsíčním svitu. Obr. 4 vyobrazuje tento puškohled osazený na pušce L1A1, rozdíl oproti nulté generaci je znatelný na první pohled. Nevyskytuje se zde žádný neobratný, překážející reflektor, propojovací kabeláž, ani robustní napájecí baterie. [9]



Obrázek 4 Puškohled AN / PVS-2 Starlight [13]

Zkušenosti z Vietnamské války a stále pokročilejší technologie, vedly v 70. letech k vývoji druhé generace NVD. Požadavky na snižování hmotnosti, vylepšení výkonu a spolehlivosti, vedly k objevu mnohonásobně účinnější součástky pro zesilovač obrazu, který se pro druhou generaci stává charakteristickým znakem. Násobič elektronů MCP (Micro-Channel Plate) je destička s mikrokanálky umístěná přímo za fotokatodou S-25, která je citlivějším a účinnějším nástupcem S-20. MCP se skládá z milionů krátkých, paralelních, skleněných trubiček. Když trubičkami projdou elektrony, dojde ke znásobení jejich počtu. Díky těmto procesům je zbytkové světlo zesíleno na dvacet tisíckrát, vykreslení obrazu je oproti předchozí generaci jasnější, ostřejší a zkreslení obrazu není tak výrazné. [1]



Obrázek 5 Nejznámější zástupce NVD druhé generace, puškohled AN / PVS-4 [14]

V průběhu 80. let dochází k masivnímu rozšíření noktovizorů v ozbrojených složkách a na scénu díky vývoji přicházejí i propracovanější, kompaktní termovizní zařízení, kterými lze pozorovat tepelné záření člověka i v naprosté tmě. První přenosný, infračervený skenovací systém byl sestaven v roce 1973 a o necelé dva roky později byly další takové přístroje opatřeny i video výstupem. Opravdu plnohodnotná termovize v podobě přenosné videokamery s nahráváním byla vyvinuta v roce 1995.

Noktovizory třetí generace vyvinuté na přelomu 80. a 90. let nadále využívají MCP z předchozí generace, hlavním rozdílem je přidání citlivé chemické látky – arsenidu gallia do fotokatody. Obraz je díky tomu jasnější a ostřejší než v předchozích přístrojích. Kromě toho je destička MCP potažena tenkým ochranným filmem oxidu hlinitého, který prodlužuje životnost zesilovacích trubic. Třetí generace uživateli poskytla vynikající obraz za velmi špatných světelných podmínek, Praxe však poukázala na problém s ochranným filmem na MCP, který vytvořil iontovou bariéru snižující počet elektronů schopných zařízením proniknout. Iontová bariéra také začala způsobovat částečné narušení obrazu v podobě zářících kruhů při pozorování jasně, bodově svítících objektů. [10]

Zesílení světla u třetí generace bylo znásobeno padesát tisíckrát k čemuž zařízení potřebuje pochopitelně větší výkon a kapacita baterií při delším použití poměrně rychle klesá. Každopádně třetí generace poprvé představila i kompaktnější NVD v podobě brýlí pro noční vidění, které už se nemusí montovat na zbraně, nošení je možné přímo na hlavě a stává se tak nočním zrakem uživatele.



Obrázek 6 Bi-okulární brýle pro noční vidění AN / PVS-7 [27]

Problém s iontovou bariérou byl z počátku řešen ztenčováním ochranného filmu a u některých modelů NVD třetí generace byl odstraněn úplně. Definitivním řešením bylo přidání automatického, synchronizačního napájecího systému ABC (automatic brightness control) k regulaci napětí fotokatody. Díky tomu se přístroje mohly okamžitě přizpůsobovat neočekávanému přesvětlení.

V tomto případě okolo roku 2000 komerční trh hovoří již o čtvrté generaci, avšak armáda zatím tuto klasifikaci nepřevzala. Noktovizory se synchronizací napájení a s odstraněnou iontovou bariérou označuje jako Gen III +, případně GEN-III OMNI-VI-VII. Důvodem je to, že na základě armádních kritérií zde nedošlo k vynálezu nového typu zařízení, či nové technologie, ale pouze k úpravě generace 3.

Čtvrtá generace NVD dosahuje stoprocentního zlepšení světelné odezvy, excelentního výkonu při minimálním zbytkovém světle a trojnásobně lepšího rozlišení. Upravená MCP bez iontové bariéry minimalizovala rušení při pozorování objektů v blízkosti jasných bodových světel. Synchronizace napájení zase odbourala problém s nepoužitelností noktovizoru při náhlém přímém přesvětlení přístroje. Zároveň synchronizace šetří i spotřebu baterií a všechna tato vylepšení zvyšují detekční rozsah.



Obrázek 7 Binokulární brýle pro noční vidění P-45AG NVD-BNVD-SG-WP

Tento typ noktovizoru se také osvědčil pilotům vrtulníků při provádění nočních operací [21]

Americké letectvo dále experimentovalo také s panoramatickými brýlemi pro noční vidění (PNVG), které dovedou pokrýt zorné pole v úhlu až 169°. V současnosti jsou tyto PNVG zavedeny ve výzbroji vybraných posádek elitních bitevních letounů. Nejvíce je proslavili členové speciálních jednotek Navy SEALs, při operaci Neptun Spear. Zde došlo k využití PNVG během útoku na sídlo Usámy Bin Ládina v Pákistánu. Panoramatické brýle pro noční vidění představují revoluční inovaci. Předchozí modely NVD způsobovaly „tunelové“ vidění a uživatel měl velmi omezený přehled o situaci. V případě bojového nasazení to mohlo mít fatální následky, neboť při boji na krátkou vzdálenost voják doslova kroužil hlavou a hledal nepřítele, který se mohl snadno vytráčet ze zorného pole. PNVG poskytují realistické prostorové vidění a dokonalé situační povědomí.



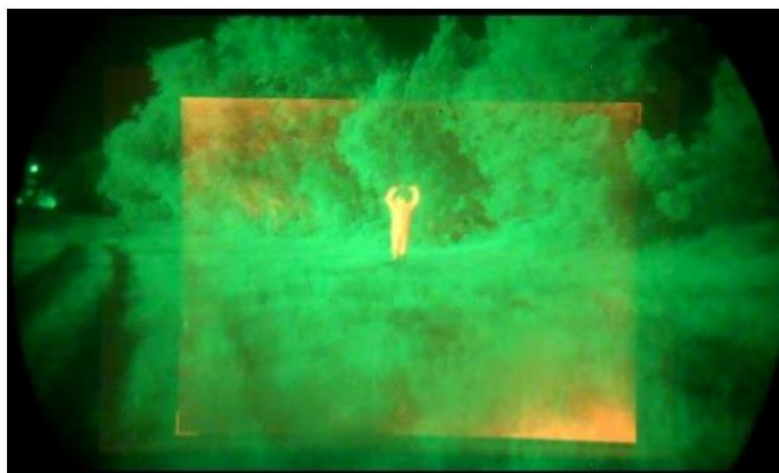
Obrázek 8 Ground Panoramic Night Vision Goggle od firmy L3 Communications [18]

V současnosti se výrobci NVD snaží zkombinovat termovizi a noční vidění v jeden ucelený přístroj. Cílem je poskytnout vojákům inteligentní brýle do špatných světelných podmínek. Dosud je v praxi při vojenských operacích za snížené viditelnosti využíváno noční vidění umístěné na hlavě a termovizní zaměřovač osazený na zbrani. Voják proto musí odklopit brýle nočního vidění a přenést pohled skrz zaměřovač. Tento proces může být v situacích, kde o životě, smrti, utajení a splnění úkolu rozhodují vteřiny, velmi kritický. Technologie budoucnosti by proto měly být schopny v kompaktních brýlích dle potřeby promítnout pohled skrz noktovizor i termovizi současně.

Tato technologie budoucnosti v oblasti prostředků pro pozorování za snížené viditelnosti se momentálně vyskytuje v podobě INVS, tzn. integrované systémy nočního vidění. Přístroje INVS jsou schopné kombinovat obrazový výstup ze dvou nebo více různých typů snímačů. Sloučením obrazu z nočního vidění a termovize získá uživatel zcela nový rozměr pozorování za snížené viditelnosti. Obraz není tak barevně zkraslený jako v obyčejné termovizi. Prvek termografického zobrazení pouze zvýrazní osoby v pozorované oblasti díky jejich tělesné teplotě. Okolní prostředí do tohoto obrazu tedy barevně nezasahuje, a přesto je stejně dobře viditelné jako skrze klasické noční vidění. Takové vylepšení maximalizuje detekční schopnosti přístrojů a situační povědomí uživatele. Ohromný potenciál a schopnost rozpoznávání INVS spočívá mimo to také především v mlze, dešti a smogu. S takovým typem zařízení se experimentuje například při navádění bezpilotních prostředků a jejich střel na cíl. [9, 10]

Existují dva způsoby optické integrace takto složených obrazů. Nejjednodušší metoda je dichoptická prezentace, která ukáže každému oku obraz z jiného zařízení zvlášť a mozek uživatele si oba obrazy sám přenesse do jednoho celku. Druhým, sofistikovanějším způsobem je překrývaná prezentace, kdy se technologicky pohled skrz noční vidění překryje obrysy z termovize na displej brýlí uživatele. [10]

Nicméně u takových zařízení jsou velmi vysoké nároky na spotřebu energie a jejich velikost zatím není možné minimalizovat do nějakých uživatelsky kompaktních brýlí. V současnosti se INVS používají pouze ve vozidlech a letadlech, jejich vývoj stále probíhá.



Obrázek 9 Pohled skrz přístroj, který kombinuje noční vidění a termovizi do jednoho obrazu [10]

Hlavní postavení ve vývoji NVD má USA, potažmo renomovaný úřad U.S.Army Night Vision and Electronic Sensors Directorate (NVESD), disponující laboratořemi schopnými měřit výkon přístrojů objektivně a správně. NVESD uvádí, že podle těchto standardů dovedou noční vidění vyrábět pouze čtyři firmy na světě, mimo USA je to Izrael a Ruská federace. Zde je potřeba zmínit, že při vývoji generací 2 a 3 v USA je Rusové vždy paralelně doháněli obdobnými přístroji, takže za studené války bylo možné pozorovat jakési soupeření i v tomto odvětví. V této práci nejsou z pohledu historie rozebírány přístroje jednotlivých států, neboť princip jejich fungování není z hlediska generací nikterak odlišný. Rozdílný je především jen design či některé vnější materiály. Noktovizory vojenské kvality samozřejmě dovede vyrábět více států, než uvádí kritéria NVESD. Normy používané například v Evropě však tento americký úřad neuznává, přesto že některá zahraniční zařízení jsou z hlediska kritérií pro zařazení do konkrétní generace dokonce výkonnější než americké ekvivalenty. [1]

V dnešní době je možné na civilním trhu pořídit noktovizory spadající dle principu fungování mezi starší generace. V souladu s moderní elektronikou však byly minimalizovány do kompaktních ručních velikostí a z marketingového hlediska jsou označovány např. jako Generace 2 +. Často jsou využívány k pozorování zvíře či k ostraze objektů. Modernizované generace 2 se těší oblibě u policejních a jiných profesionálních bezpečnostních složek po celém světě. To dokazuje, že s nástupem nových generací nedošlo k zániku těch předešlých, pokud se nezaměřujeme pouze na armádní využití, kde existují stále vyšší nároky kladené na zdokonalování operačního využití noktovizorů a uživatel není limitován pořizovací cenou.

Otázkou však zůstává, zda jsou běžně dostupná komerční zařízení opravdu na takové úrovni, aby mohla být srovnávána například s originály vyrobenými podle standardů NVESD. Civilní trh je totiž i plný náhražek, které zneužívají označení některé generace NVD, ale reálně se jedná o čistě elektronická zařízení, která nenásobí zbytkové světlo na velké vzdálenosti. Pouze promítají na displej obraz osvětlený infračervenou diodou do blízkého okolí uživatele.

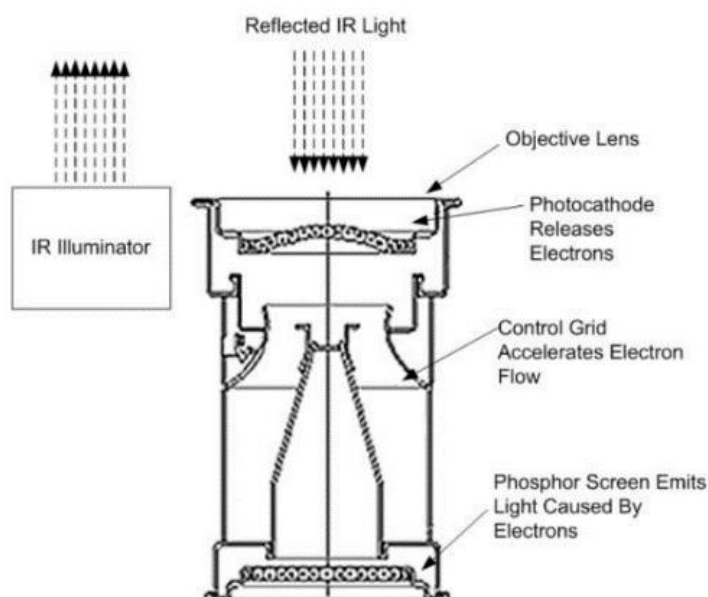
Při výběru takových zařízení je třeba dobře zvážit všechny technické parametry produktu a nenechat se unést nízkými cenami nabízených přístrojů, které jsou spíše kamerou než noktovizorem.

1.1.1 Rozdělení přístrojů podle generací a technologie

Generace 0

Hlavní nedostatek této generace je nutnost použití aktivního infračerveného osvětlovače. Zdroj IR světla (neviditelné pro lidské oko) je zaměřen na pozorovaný cíl a vzápětí se odráží zpět do objektivu pozorovatele. V návaznosti na to dojde k promítnutí obrazu v přístroji. Bez infračerveného osvětlovače žádný noktovizor nulté generace prakticky nemůže fungovat, (právě proto je pro ně typické označení „aktivní přístroje pro noční vidění“). Generace 0 obvykle používá fotokatodu S-1 (obsahující směs AgOCs) o fotocitlivosti $60 \mu\text{A} / \text{lm}$. Spektrální rozsah se pohybuje mezi 750 až 950 nm. Nejvyšší citlivost fotokatod S-1 je v modro-zelené oblasti elektromagnetického spektra. [1, 8]

Elektronová akcelerace i formování elektronového obrazu probíhá v elektrostatickém poli. Pro zesilovače jasu obrazu této generace je typická velká distorze (soudkovité zkreslení) obrazu. Slabinou zařízení nulté generace je i proces urychlování toku elektronů mezi fotokatodou a fosforovou clonou směrem k fosforové obrazovce, vlivem čehož dochází k razantnímu snižování životnosti zesilovací trubice. V nastupujících pasivních typech noktovizorů, zesilovače jasu obrazu generace 0 nenašly smysluplné uplatnění, dnes již nejsou využitelné ve vojenství ani dostupné pro komerční využití.



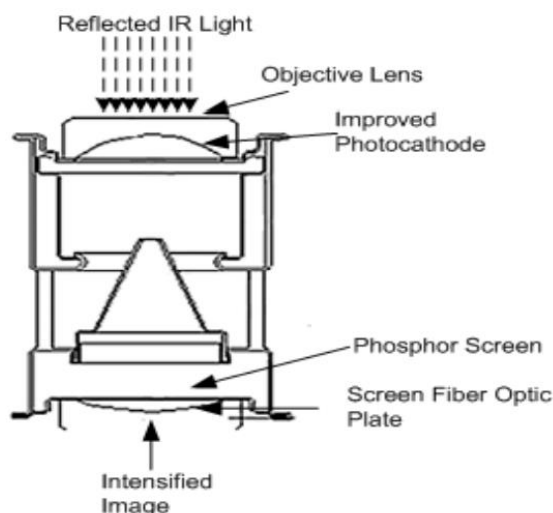
Obrázek 10 Infračervený osvětlovač a průřez zesilovací trubicí NVD generace 0 [1]

Generace 1

Momentálně nejpobulárnější typ přístrojů pro noční vidění v komerčním prostředí. Obraz je poměrně ostrý a jasný, avšak při pozorování noktovizorem lze rovněž zaznamenávat geometrickou distorzi a mírné rozmazání okrajů obrazu, což do určité míry limituje zorné pole uživatele. Po vypnutí vydává zařízení ještě nějakou dobu slabou zelenou záři a při zapnutí lze vnímat charakteristické bzučení. V těchto případech se jedná o běžnou vlastnost přístrojů generace 1 které nemají žádné negativní účinky.

První generace využívá multialkalickou fotokatodu S-20 s vyšší spektrální citlivostí (dosažení většího světelného zisku) 180-300 $\mu\text{A} / \text{lm}$ a zesílení světla je znásobeno až 1000krát. Díky tomuto novému prvku nepotřebuje mít zařízení první generace žádný výkonný přídavný zdroj infračerveného osvětlení. Zvýšená citlivost fotokatomy umožnila konstrukci a výrobu pasivních nočních zaměřovačů. Noktovizory, u kterých je požadováno větší zesílení jasu obrazu, jsou tvořeny sestavou dvou, případně i tří zesilovačů jasu obrazu za sebou. Takové konstrukční uspořádání však vede i ke prodloužení celkové délky noktovizoru, to se stává nepraktickým v bojovém nasazení. Pro statické pozorování, či běžné komerční využití na tom tolik nezáleží, ale pro vojáka „operujícího“ v terénu, kde je důležité mít perfektní povědomí o svém okolí, je pohled skrz dlouhý tubus velmi omezující. [8]

Maximální účinný dosah NVD první generace se pohybuje okolo 60 – 70 metrů. Rozlišení obrazu 25-35 lp / mm je částečně limitováno tzv. „šumem“ v obraze. Generace 1 v prostředí s nedostatečným zbytkovým světlem spoléhá i na vestavěný infračervený přísvit. To může být ale nevýhodou v případě, že je nepřítel vybaven také nějakým noktovizorem a v pohledu skrz něj pak může snadno detekovat výrazně zářící objektiv NVD skrytého pozorovatele ve tmě. Přístroje první generace jsou náchylné na přesvětlení silným zdrojem světla, které dočasně zkreslí obraz natolik, že noktovizor nelze efektivně používat k pozorování příliš osvětlené scény, kvůli přesvětlení klesá i životnost trubice zesilovače. Nutno poznamenat, že zabudovaný IR přísvit je u těchto přístrojů odpovědný za rychlou spotřebu baterií, neboť se aktivuje vždy, když uživatel zařízení používá. [10]



Obrázek 11 Průřez zesilovací trubicí NVD generace 1 [1]

Generace 2

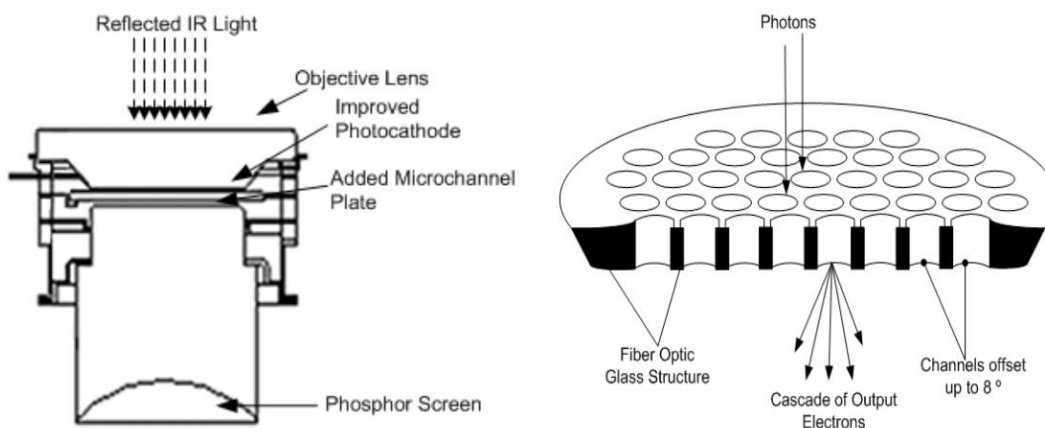
Přístroje druhé generace zpravidla využívají fotokatodu S-25 s rozšířenou citlivostí v červené spektrální oblasti. Zesilovač jasu obrazu byl v tomto případě vylepšen přidáním mikrokanálkové destičky MCP. Tato destička je tvořena milionem paralelních skleněných trubiček, ty umožňují mnohonásobně zvýšit počet elektronů, které procházejí skrz trubici zesilovače jasu obrazu. Tento upgrade razantně vylepšil schopnost noktovizorů zesilovat zbytkové světlo a tím poskytovat i mnohem jasnější obraz. Usměrnění elektronů do lineární dráhy při jejich průchodu mikrokanálky také zajistilo uspořádanější výstup a mnohem menší zkreslení výsledného obrazu. Na rozdíl od generací předchozích zde dochází k minimální distorzi obrazu a náchylnost přístrojů na přesvětlení je rovněž zanedbatelná.

NVD druhé generace mají obvykle spektrální rozsah 850 nm a citlivost $\sim 700 \mu\text{A} / \text{lm}$ v závislosti na vybraném modelu. Světlo je znásobeno 20 000krát. Maximální účinný dosah NVD druhé generace se pohybuje okolo 180 - 200 metrů. [1, 9]

Na rozdíl od generací předchozích zde nedochází téměř k žádné distorzi a náchylnost přístrojů na přesvětlení je rovněž zanedbatelná.

Byl vyřešen také jeden z hlavních nedostatků předchozích noktovizorů. Jelikož zesilovač jasu obrazu díky MCP nespotřebovává tolik energie, je několikanásobně prodloužena životnost napájecích baterií i trubice zesilovače.

Přístroje druhé generace se celkově vyznačují dobrou výkonností a spolehlivostí.



Obrázek 12 Průřez zesilovací trubici NVD generace 2 a mikrokanálková destička MCP [1]

Generace 3

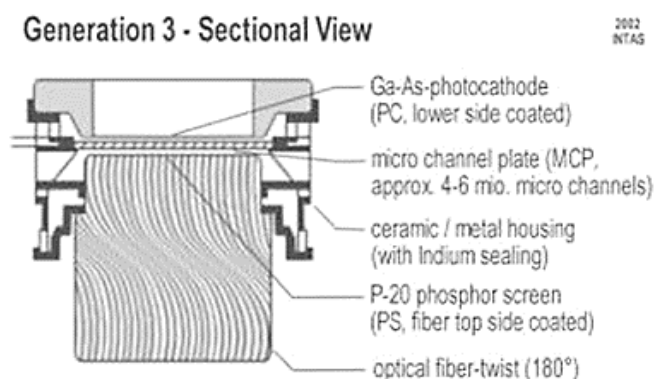
Přístroje třetí generace používají pro zesilovače jasu obrazu fotokatodu s citlivější chemickou sloučeninou gallium arsenidu (GaAs). Fotosenzitivita se pohybuje od 1600 do 2000 $\mu\text{A} / \text{lm}$. MCP je zde navíc potažena tenkým filmem oxidu hlinitého (vytváří iontovou bariéru) k potlačení šumu. Citlivá fotokatoda pracuje se světlem v rozsáhlém v pásmu 450 – 950 nm elektromagnetického spektra (z velké části odpovídá viditelnému spektru a zasahuje i do blízké infračervené oblasti). [1]

Noktovizory třetí generace vynikají v prostředí s naprosto minimálním zbytkovým světlem. Rozlišení se pohybuje v rozmezí 45-64 lp / mm. Pozorovaný obraz je velmi ostrý a nasycený, dobrý kontrast i v prostředí, kde lidské oko vidí naprostou tmou, zaručuje výborné detekční schopnosti. Přístroje třetí generace umí znásobit světlo až 50 000krát. Jsou zcela pasivní, jejich provoz je tedy skrytý a nezpozorovatelný skrz jiný noktovizor. [6, 12]

Maximální efektivní dosah v prostředí s volným výhledem se u NVD třetí generace pohybuje okolo 300 – 400 metrů.

Iontová bariéra u noktovizorů tohoto typu přinesla i negativní účinek a sice v podobě „halo“ efektu při zpozorování jasného bodového světla. Uživatel v takovém případě může vidět rušení ve formě zářivých disků kolem světelných objektů, takže za určitých podmínek může být použití NVD generace 3 omezené. U některých modelů byla proto iontová bariéra postupně odstraňována. Inovace v podobě automatického, synchronizovaného napájecího systému ABC

k regulaci napájení fotokatody, umožnila okamžité přizpůsobování zesilovače jasu obrazu v různých světelných podmínkách.



Obrázek 13 Průřez zesilovací trubicí NVD generace 3 [8]

Generace 4

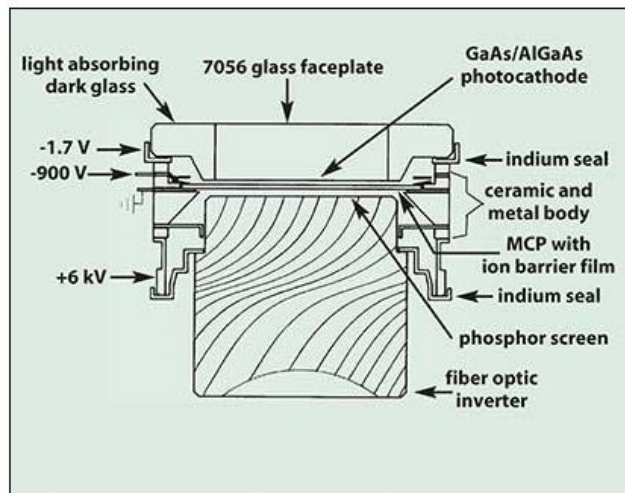
Přístroje této generace jsou v podstatě vylepšenými modifikacemi generace třetí, označení je spíše komerční záležitostí, protože z vojenského hlediska zde nejde o novou technologii ale pouze o upgrade.

Díky vylepšené technologii bez použití iontové bariéry a automatické synchronizaci napájení se u přístrojů čtvrté generace dosahuje podstatného zlepšení detekce cíle, zaměření a rozlišení, a to zvláště v extrémně špatných světelných podmínkách. MCP bez iontové bariéry propouští mnohem více elektronů a poskytuje vyšší poměr signálu než předchozí generace. Kvalita obrazu je díky trojnásobně lepšímu rozlišení a utlumení šumu maximalizována i v prostředí s minimem zbytkového světla. Synchronizované napájení odstraňuje možnosti vzniku halového efektu a zcela minimalizuje interferenci s jasnými světelnými zdroji, uživatel tedy není ohrožen nepoužitelností přístroje v případě náhlého přímého osvětlení.

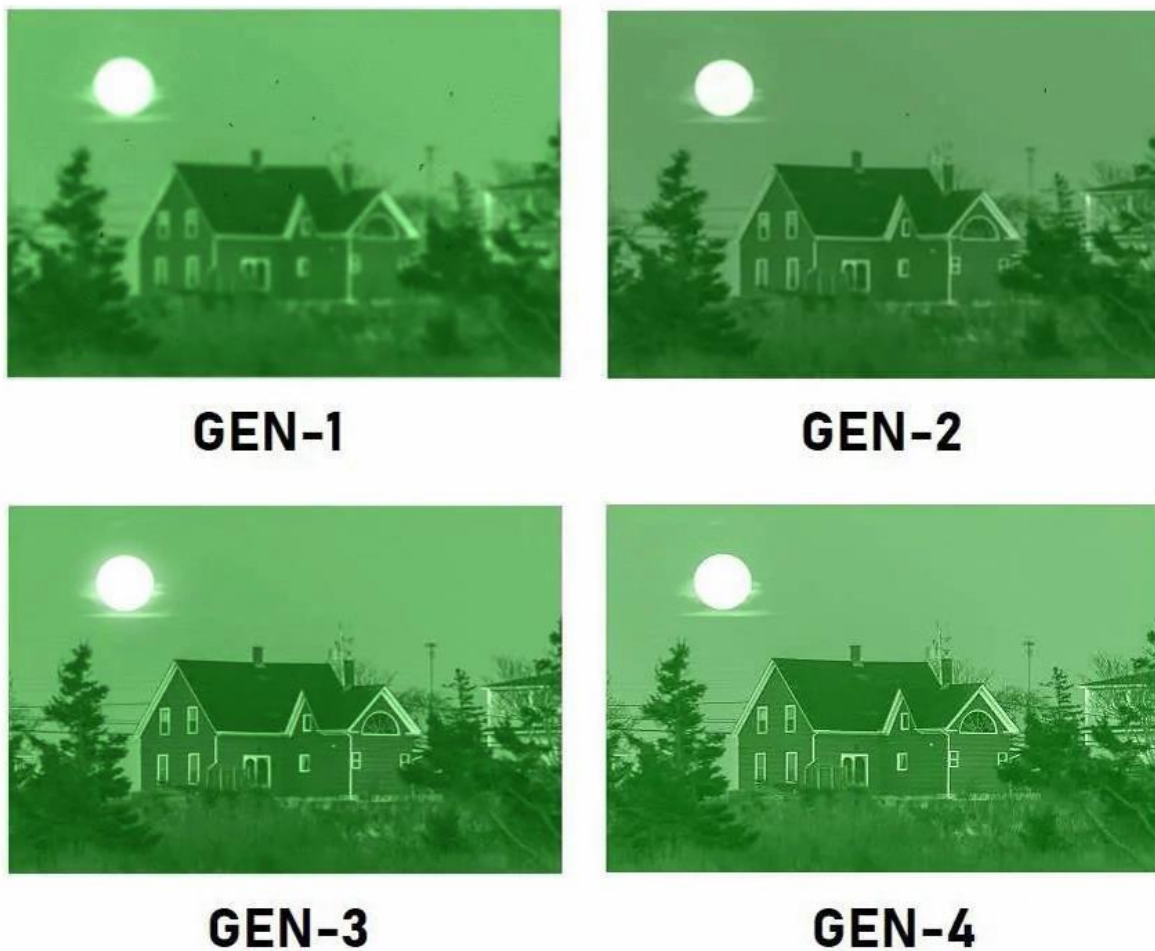
Pro použití v denních podmínkách (údržba, rektifikace) jsou noktovizory vybaveny ochrannými clonami a filtry, které zabraňují přesvětlení citlivé fotokatody denním světlem.

Je nutné dbát na to, že i přístroje s těmito ochrannými prvky a synchronizací jsou nadále velmi citlivé a zbytečným přesvětlováním postupně dochází k degradaci fotokatody.

Dosah noktovizorů v definovaných světelných podmínkách je závislý na zvětšení zaměřovače a na kvalitě zesvětlovače jasu obrazu. Maximální účinný dosah NVD generace 4 se pohybuje okolo 500 metrů.



Obrázek 14 Průřez zesilovací trubici NVD generace 4 [10]



Obrázek 15 Porovnání obrazu ze čtyř generací NVD [17]

1.1.2 Rozdělení přístrojů podle konstrukce

Přístroje pro noční vidění byly původně konstruovány jako monokuláry, následně i jako dalekohledy či brýle. Každá konfigurace je trochu jiná a má své vlastní silné i slabé stránky.

Monokulární dalekohledy pro noční vidění

V přední části mají konvenční objektiv, který zachycuje okolní zbytkové světlo a blízké infračervené světlo. Princip fungování je dále stejný jako u výše zmiňovaných noktovizorů. Objektiv je nastavitelný a slouží k zaostřování na různé vzdálenosti, zvětšení takových přístrojů je obvykle 1x – 4x. Monokuláry se hodí spíše na občasné či krátkodobé používání, kvůli malému zornému úhlu a nutnosti udržovat druhé oko zavřené. Výhodou je jejich pořizovací cena, skladnost, nízká váha a malé rozměry.



Obrázek 16 Monokulární dalekohled pro noční vidění Yukon NVMT Spartan 4x50 [22]

Binokulární dalekohledy pro noční vidění

Vypadají jako běžný dalekohled se dvěma okuláry, dvěma tubusy zesilovače obrazu a dvěma objektivy (dva monokuláry spojené dohromady). Stejně jako u monokulárů pro noční vidění je i v tomto případě zvětšení přiměřeně nízké 2x - 4x. Tyto přístroje jsou vhodné pro krátkodobé pozorování využívané např. k rychlému prověření střežených prostor při výkonu strážní a dozorcí služby. Uživatel používá obě oči a má mnohem lepší přehled o celkové situaci v prostředí se sníženou viditelností.



Obrázek 17 Binokulární dalekohled pro noční vidění Bushnell 2,5 x 42 se zabudovaným IR přísvitem [23]

Bi-okuláry

Jedná se o přístroj podobný binokuláru, také má dva okuláry, avšak pouze jeden tubus zesilovače jasu obrazu a jeden objektiv (obraz vycházející z jednoho tubusu zesilovače je rozdělen a směřován zrcadly na dva okuláry). Výhodu takových zařízení je podstatně nižší pořizovací cena, ovšem uživatel je ochuzen o kvalitní prostorové vidění. Využívají se spíše pro statické, dlouhodobé pozorování konkrétního objektu (cíle). Mívají často pevné zvětšení a kvůli vyšší váze (na úkor velkého průměru tubusu) bývají často osazeny na stativěch, ruční použití takových přístrojů bývá velmi nepraktické i kvůli jejich rozměrnosti.



Obrázek 18 Bi-okulární dalekohled pro noční vidění Nightspotter 7 se zvětšením 3 x 50 [20]

Brýle pro noční vidění

Hlavní rozdíl mezi dalekohledem pro noční vidění a brýlemi pro noční vidění je v tom, že brýle neposkytují žádné zvětšení a poskytují široký úhel zorného pole na krátkou vzdálenost. U těchto přístrojů je možná dioptrická korekce pro uživatele s dioptrickou vadou. Slouží především profesionálnímu použití, čemuž odpovídá i vysoká pořizovací cena. Brýle jsou osazeny buď na přilbě nebo uchyceny k hlavovému setu, takže uživatel má obě ruce volné. Může plnit různé úkoly, aniž by byl omezen a zpomalován procesem „zastav a podívej se“ který je uplatňován u předešlých, ručních přístrojů. Dle potřeby mohou být brýle odklopeny směrem nahoru, bez nutnosti je někam odkládat. V dnešní době jsou převážně všechny brýle pro noční vidění binokulární, aby bylo zajištěno co nejlepší prostorové vidění. Civilní trh často nabízí i monokuláry s hlavovým setem. Armáda české republiky u některých vojenských útvarů například stále používá bi-okulární brýle pro noční vidění KLÁRA. [2]

(viz. Obr. 6,7 a 28)

Puškohledy a zaměřovače pro noční vidění

Jedná se o monokuláry, které kombinují přístroj nočního vidění a optický zaměřovač montovaný na palné zbraně. Zvětšení je 2x nebo vyšší v závislosti na vybraném modelu, průměr čočky bývá malý. Jsou primárně určeny pro míření na velkou vzdálenost a k tomu jsou i konstrukčně uzpůsobeny, neposkytují proto příliš široký pozorovací úhel na krátkou vzdálenost. [4]

Monokuláry, binokuláry a puškohledy existují samozřejmě i v podobě termovizí, tento druh přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti bude podrobně rozebrán v následující kapitole bakalářské práce.



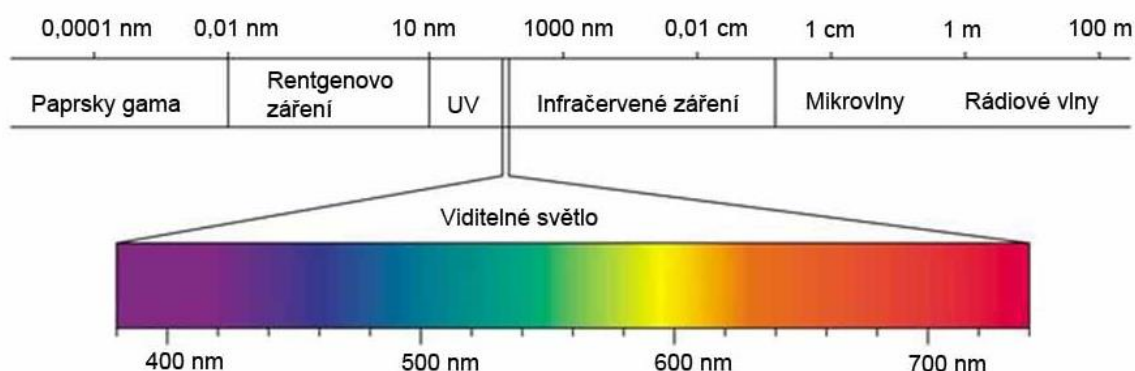
Obrázek 19 Termální puškohled Pulsar Core RXQ30V [25]

1.2 Principy fungování přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti

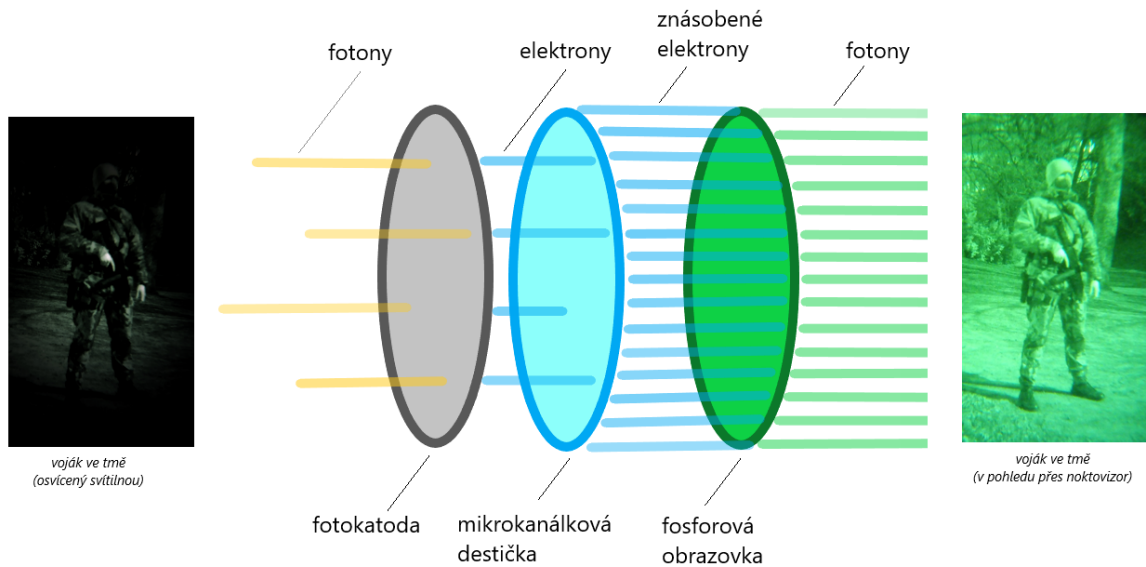
Tyto přístroje lze rozdělit do dvou základních kategorií a sice na noktovizory a termovize.

1.2.1 Princip fungování noktovizorů

Noktovizory jsou přístroje založené na zesílení zbytkového světla, (resp. elektromagnetického záření o vlnové délce 400 - 700 nm). Ke správnému fungování potřebují svit měsíce a hvězd, případně zdroj infračerveného záření, který funguje jako aktivní přísvit v situacích kdy nelze žádné zbytkové světlo zachytit. Základní součástí každého přístroje pro noční vidění je trubice zesilovače jasu obrazu, ve které se nachází fotokatoda. Účelem fotokatody je převod energie světelné na elektrickou (elektronový svazek). Elektrony procházejí soustavou trubiček v MPC kde dojde ke znásobení jejich počtu, odtud dopadnou na stínítko a znovu se z nich stávají fotony. Vlivem tohoto procesu vzniká monochromatický obraz v zelené barvě, který pozoruje uživatel nočního vidění. Noktovizory tímto způsobem umožňují sledovat infračervené světlo (elektromagnetické záření o vlnové délce 700 až 1000 nm). [1, 10,11]



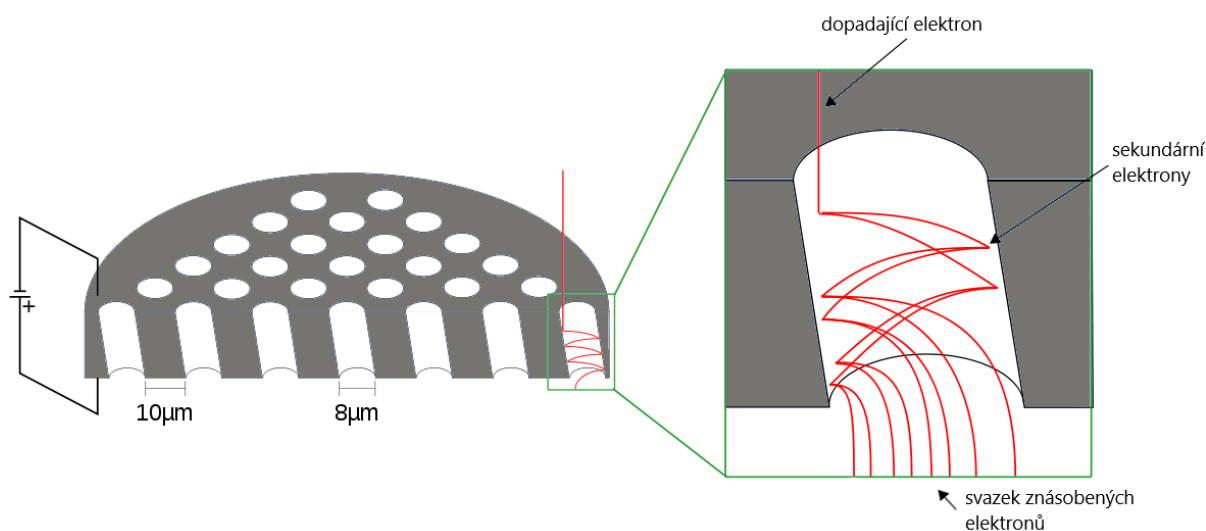
Obrázek 20 Elektromagnetické spektrum [15]



Obrázek 21 Princip fungování trubice zesilovače v noktovizoru [autor]

Čočka nočního vidění zachytává fotony, ty přeposílá do trubice se zesilovačem jasu obrazu, kde jsou vlivem fotokatody přeměněny na elektrony, následně dochází k fotoefektu (uvolnění elektronů z povrchu materiálu, kterým je arsenid gallia). Napětí až 6000 V způsobí elektronovou akceleraci a zrychlené elektrony dopadají na MCP destičku, zde procházejí skrz mikrokanálky. Při tomto procesu dochází srážením elektronů se stěnami kanálků k uvolňování dalších elektronů a napětí destičky potom znásobené elektrony odesílá na fluorescenční stínítko. [8, 10]

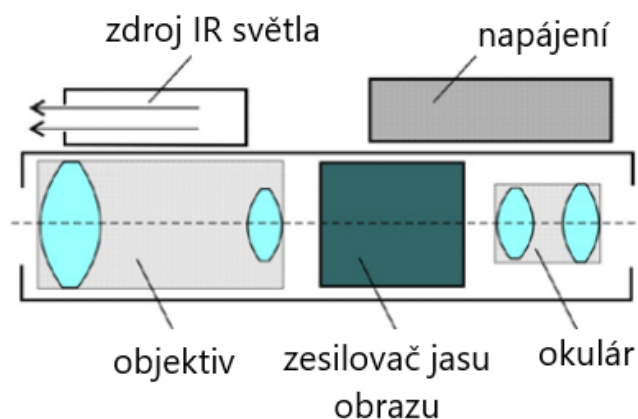
Elektrony dopadající na stínítko se přeměňují zpět na fotony, ale tentokrát už ve znásobeném množství oproti počtu, v jakém vstoupily čočkou do noktovizoru. Pozorovatel se dívá na zelený obraz (fluorescenční hmota vysílá do oka světlo ve vlnových délkách 550 nm). Jelikož je to světlo, na které je oko velmi citlivé, tak člověk dobře vnímá i kontrast objektů pozorovaných pomocí noktovizoru.



Obrázek 22 Detail mikrokanáلكvé destičky a násobení elektronů [autor]

1.2.2 Aktivní noktovizor

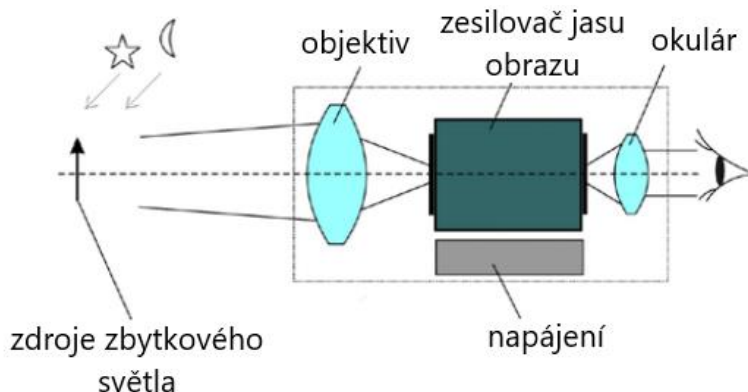
Aktivní přístroje pro noční vidění mohou fungovat bezchybně pouze s vlastním zdrojem IR osvětlení. Je velmi důležité, aby osa optiky noktovizoru byla vždy paralelně s osou přídatného infračerveného osvětlovače. Lidským okem jsou osvětlovače neviditelné, ale přitahují pozornost všech ostatních uživatelů noktovizorů. Hrozí tedy snadná detekce nepřítelem, výhoda aktivního přístroje se maximálně projeví v situacích, kde není žádné přirozené světlo. Neboť s přídatným zdrojem IR osvětlovače lze v takových podmínkách fungovat bez problémů.



Obrázek 23 Schéma aktivního noktovizoru [1]

1.2.3 Pasivní noktovizor

Na rozdíl od aktivního přístroje pro noční vidění se pasivní spoléhá především na zbytkové světlo v okolním prostředí. Existují i typy disponující malým IR přísvitem, ty však na rozdíl od aktivních NVD na tomto přísvitu nejsou závislé a fungují primárně bez přísvitu. Nevýhodou pasivních přístrojů je právě závislost na zbytkovém světle, pokud nejsou vybaveny žádným sekundárním zdrojem infračerveného přísvitu, jsou v prostředí s absolutní tmou naprosto nepoužitelné.

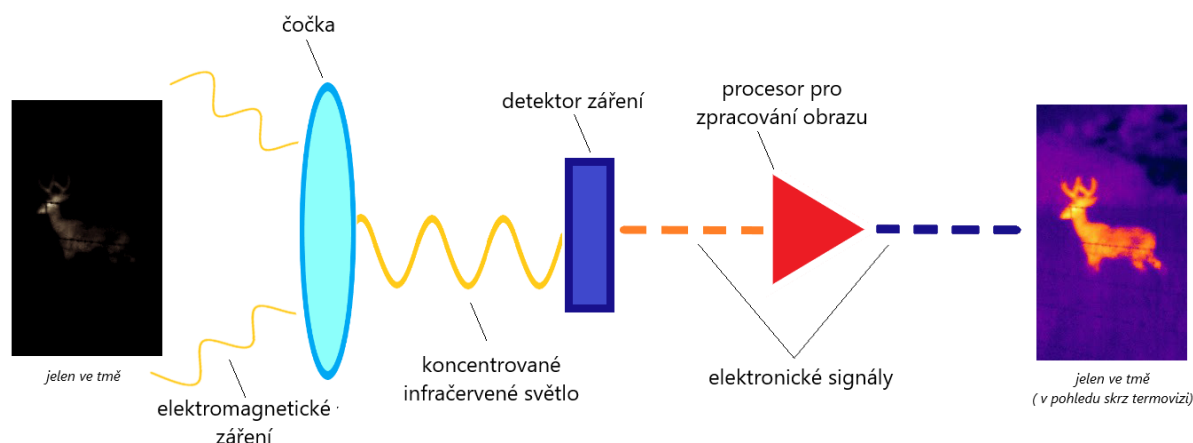


Obrázek 24 Schéma pasivního noktovizoru [1]

1.2.4 Princip fungování termovizí

Druhou kategorií přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti jsou termovizní kamery. Princip jejich fungování spočívá ve vyobrazování tepelného záření, které je přirozené všem objektům s vyšší teplotu, než jaká odpovídá definici absolutní nuly, tedy nad $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tyto přístroje jsou zcela pasivní, pro jejich správnou činnost není nutné žádné zbytkové světlo nebo přídavný IR přísvit. Mohou tedy pracovat i v dokonalé tmě. Termovize umí rozlišovat pozorované objekty podle teplotních rozdílů mezi nimi, takže pozorovaná scéna je kontrastně dostatečně dobře identifikovatelná. [12]

Čím vyšší má těleso teplotu, tím je vlnová délka záření kratší. Termokamera měří ve svém zorném poli dlouhovlnné infračervené záření a tím v podstatě vytváří obraz, kde jsou jednotlivé objekty vykresleny na základě vyzařovaného tepla v různých odstínech.



Obrázek 25 Princip fungování termovizního přístroje [autor]

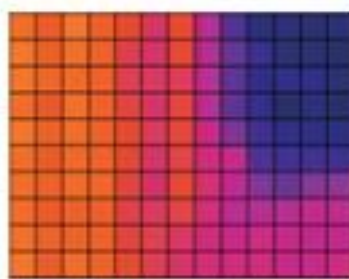
Termovize (termokamera) funguje na principu měření teploty objektů na dálku. Způsob zobrazování je podobný jako záznam filmu běžnou kamerou, stejně tak konstrukce je jim velmi příbuzná. Objektiv pohlcuje elektromagnetické záření, které na něj při pozorování scény dopadá. Záření je zkoncentrováno a přechází do detektoru ve kterém proběhne změna jeho intenzity. Odtud pokračuje v podobě elektronického signálu do procesoru a tam dochází k digitalizování příchozí informace. Výstupem této digitalizace je termografický snímek – termogram. Pro uživatele to znamená, že na displeji termovize pozoruje výsledný obraz, který poskytuje informaci o povrchovém rozložení teploty pozorovaných objektů. Termovize nedokáže vidět skrze sklo, které je nepropustné pro oblast vlnových délek tepelného záření. Čočky těchto přístrojů se proto vyrábějí z germania nebo safíru. Jelikož i přístroj sám vydává nějaké tepelné záření, musí být objektiv chráněn nezářivými clonami, aby nedocházelo k rušení.

Dnes zažitým slovem termovize se obecně označují všechny přístroje termografického měřicího systému. Původně se však jednalo o název firmy Thermovision, vyrábějící první infračervené kamery. Dnešní název této společnosti je FLIR a patří mezi špičku v oboru. Monokulární termovize Prometheus použitá v praktické části této práce používá teplotní snímač Tau 2 od tohoto výrobce.

Identifikace pozorovaných cílů či objektů nemusí být vždy snadná a je ovlivněna mnoha faktory. Na prvním místě je emisivita těles, která nám určuje poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování tělesa absolutně černého se stejnou teplotou.

Jednoduše řečeno emisivita definuje schopnost konkrétního tělesa vyzařovat teplo. Černému tělesu odpovídá emisivita 1, naproti tomu lesklému tělesu 0,1. Čím nižší emisivitu tělesa mají, tím horší mohou být výsledky měření. Zkreslení naměřených hodnot může být způsobeno také ochlazením objektů vlivem nepříznivého počasí, nebo odraženou teplotou v blízkosti velkého objektu vůči menšímu cíli. [12]

Termogram je sestaven z pixelů, obdobně jako obrázky v počítačích. Rozlišení takového obrazu je závislé na kvalitě použitého detektoru v termokameře. Prometheus 336 má například rozlišení 800 x 600 px. Jednotlivé čtverečky odpovídají povrchové teplotě měřeného objektu v daném bodu. [1]

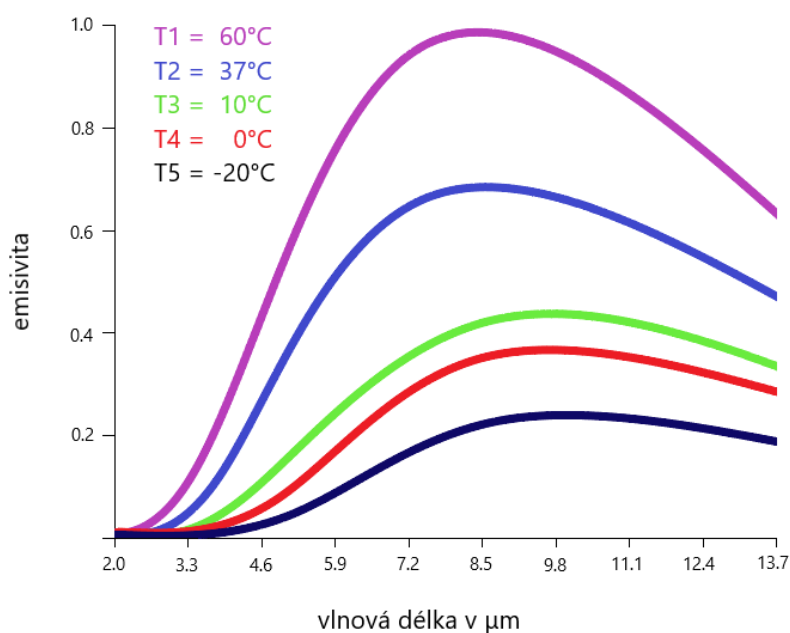


Obrázek 26 Detail pixelů v termografu [12]

Existují dva typy používaných detektorů:

Tepelné detektory u kterých je principem fungování změna elektrického odporu v souvislosti s intenzitou dopadajícího záření (detektor je ohříván dopadajícím zářením). Jedná se o nejběžnější typ. [6]

Fotonové detektory které v podstatě počítají množství fotonů dopadající na detektor, jsou velmi citlivé a musí mít chlazení, což vede k velkému rozměru a vyšší ceně. [6]



Obrázek 27 Graf představující vyzařování těles dle Planckova zákona [autor]

Vyobrazené křivky spektrálního vyzařování odpovídají černým tělesům. Celková energie vyzářená černým tělesem je definována podle fyzikálního zákona Josefa Stefana a Ludwiga Boltzmann, který říká že intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa. [1, 6]

Některá tělesa se nicméně chovají odlišně a musí u nich být zohledněn i jejich materiál a povrchová úprava.

Termografické kamery obvykle detekují záření v dlouhém infračerveném rozsahu elektromagnetického spektra cca 9000 – 14 000 nm (9–14 μm) [12]

2 Praktická část práce

Praktická část této bakalářské práce si klade za cíl provést komparaci dvou rozdílných typů přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti využívaných při plnění služebních povinností.

Provedena bude také komparace jednotlivých generací přístrojů pro noční vidění, kde je cílem vytvořit ucelený přehled v technologických parametrech a poukázat na vylepšení, kterými se generace 0 – 4 od sebe odlišují.

- Porovnávanými přístroji jsou bi-okulární brýle pro noční vidění KLÁRA od společnosti Meopta a termovizní monokulár Prometheus 336 od společnosti Armasight.
- Účelem této komparace je zjistit, který z přístrojů je z uživatelského hlediska vhodnější pro použití při ostraze objektů, ochraně osob a při vyhledávání narušitelů ve střežené oblasti.
- Dále je cílem poukázat také na silné a slabé stránky obou přístrojů, náležitě rozebrat a zdůvodnit tyto skutečnosti.
- Při komparaci generací přístrojů pro noční vidění bude provedena analýza vlastností těchto přístrojů, jejich technologických parametrů a popsány příklady jejich použití.
- Výsledky všech zkoumaných problematik budou vyhodnoceny na základě analýzy a následné syntézy, indukce a dedukce.

2.1 Porovnávané přístroje

2.1.1 Bi-okulární brýle nočního vidění KLÁRA

Brýle pro noční vidění KLÁRA představují spolehlivý a léty prověřený noktovizor se kterým je bezproblémová orientace i pohyb v nočních podmínkách. Lze jej používat ručně, ale primárně je určený pro montáž do odklápěcího úchyty na balistickou helmu či na speciální čelenku k tomu určenou. Zavedení tohoto noktovizoru do AČR probíhalo v 90. letech minulého století. Letectvo a speciální jednotky disponují v současné době modernějšími typy přístrojů nočního vidění, avšak u většiny vojenských útvarů AČR, zůstává KLÁRA nadále v aktivní službě.

Tento noktovizor je konstruován tak, aby uživatel mohl upravovat zaostření přístroje na blízko při čtení i pro pozorování do dálky, samozřejmostí je i dioptrická korekce +2D až -6D. Oproti americkému ekvivalentu AN/PVS-7B (viz. Obr.6) ze stejného období má KLÁRA o 25% větší zorné pole v úhlu 50° a při tom nižší hmotnost. Typologicky se řadí do třetí generace NVD, neboť má všechny prvky odpovídající této kategorii včetně mikrokonáلكové destičky.

Zajímavostí tohoto noktovizoru je i kompatibilita s ochrannou maskou OM90. K příslušenství noktovizoru patří afokální předsádka se zvětšením 4x, která z brýlí pro noční vidění dělá plnohodnotný dalekohled pro pozorování za snížené viditelnosti i na velké vzdálenosti. Zorné pole na blízko je však potom omezeno na pouhých 10°.



Obrázek 28 Bi-okulární brýle pro noční vidění KLÁRA [2]

Zorné pole	50°
Zvětšení	1x (4x s afokální předsádkou)
Rozsah ostření	25 m - nekonečno
Rozsah dioptrické korekce	+ 2D – 6D
Hmotnost	450g (900g s afokální předsádkou)
Typ zesilovače jasu obrazu	18 mm, XD-4
Napájení	1x AA 1,5 V
Výdrž zdroje	20 h
Rozsah pracovních teplot	- 30°C až + 50°C
Rozměry	140 x 140 x 95 mm

Tabulka 1 Základní optické parametry a provozní charakteristika přístroje KLÁRA [autor]

Tyto brýle pro noční vidění mají vestavěný i sekundární infračervený přísvit pro případ, že se uživatel vyskytne v prostředí bez přirozeného zbytkového světla. Přísvit je nezávislý na zapnutí přístroje a lze ho zapnout pouze podle potřeby, díky tomu noktovizor nevybíjí napájecí baterii tak rychle, jako jiné podobné noktovizory, kde je přísvit spřažený s běžným provozem NVD.

Afokální předsádka nebývá příliš často používána, smysl má z vojenského hlediska spíše pro ukryté pozorovací stanoviště průzkumníků, nebo velitele který může z dálky koordinovat nějakou noční operaci. Osazením předsádky na noktovizor je totiž možné pouze ruční použití. Délka a těžiště celkového přístroje je v takovém případě nepoužitelná na hlavovém setu.

2.1.2 Termovize Armasight Prometheus 336

Termovizní monokulár Prometheus je pro potřeby strážní a dozorčí služby v AČR používán poměrně krátce a sice od roku 2017. Má robustní tělo z odolných hliníkových slitin, disponuje 50 mm čočkou z germania a barevným LED displejem. Teplotní snímač Tau-2 17 μm spolehlivě detekuje jakýkoliv zdroj tepla. Slouží primárně pro ruční použití, případně pro montáž na palné zbraně.

Prometheus má čtyřnásobný digitální zoom a 13 barevných režimů pro vyobrazení termografu: White Hot, Black Hot, Fusion, Rainbow, Globow, Ironbow 1 a 2, Sepia, Color 1 a 2, Ice Fire, Rain a Custom. Nejvhodnější pro detekci osob je režim Fusion, který vykresluje oproti okolnímu prostředí osoby jasně oranžové, zatímco u jiných režimů je za určitých okolností viditelné překrývání osob a podobně tepelně vyzařujících objektů. Jas snímků, ostrost hran objektů a snížení šumu lze digitálně upravovat.

Termovize Prometheus dokáže do určité míry automaticky zlepšit ostrost objektů s podobným tepelným vyzařováním a zamezit tak nepřehlednému překrývání pozorované scény. Rozpozná cíl i ve velmi ztížených podmínkách jako je kouř, prach, mlha, sníh nebo opar. Samotný přístroj je přitom prakticky nedetekovatelný, nevydává totiž žádné tepelné či světelné vyzařování. Prometheus dokáže pořizovat i videa, je možné jej připojit také k externímu zdroji napájení.



Obrázek 29 Termovize Armasight Prometheus 336 [24]

Úhel záběru	7,8° x 5,9°
Digitální zvětšení	4x
Optické zvětšení	3x
Maximální zvětšení	12x
Rozlišení displeje	800 x 600 px
Rozsah ostření	5 m - nekonečno
Rozsah dioptrické korekce	+ 5D až - 5D
Hmotnost	550 g
Teplotní snímač	FLIR Tau-2
Napájení	2ks CR123A Lithium 3V / 2ks RCR123 nabíjecí li-ion 3,7V
Externí napájení	6V / 600 mAh
Výdrž zdroje	4 h
Rozsah pracovních teplot	- 40°C až + 50°C
Rozměry	194 x 68 x 62 mm

Tabulka 2 Základní optické parametry a provozní charakteristika přístroje Prometheus [autor]

Výrobce Armasight uvádí v příloženém návodu výdrž baterií termovize na 4 – 12 hodin v režimu standby. Praxe však ukázala, že nabíjecí baterie mnohdy vydrží 2 – 3 hodiny i když není přístroj zapnut celou dobu. Jako vhodnější se ukázalo použití lithiových baterií, jejichž výdrž v termovizi je až dvojnásobná, nicméně při pravidelném používání přístroje je takový provoz a spotřeba baterií velmi neekonomická. Kompromisem tedy může být použití externího zdroje, který může být vhodný pro použití na nějakém statickém pozorovacím stanovišti.

2.2 Rozdíly v přístrojích při praktickém používání

V rámci této bakalářské práce bylo provedeno porovnání obou přístrojů v různém prostředí, vzdálenostech a ztížených pozorovacích podmínkách.

2.2.1 Komparace efektivního dosahu přístrojů

Noktovizor i termovize byly použity pro pozorování statického a pohyblivého cíle v podobě člověka o výšce 180 cm na vzdálenosti 25, 50, 100, 150 a 200 metrů. Pro toto testování byla použita rovná louka s tmavým lesem na pozadí a volným výhledem v zorném poli směrem k pozorovanému cíli. Noční obloha téměř bez mraků a měsíc ve fázi první čtvrti. Pro hodnocení detekčních schopností byla zvolena stupnice 1 – 5, kde 1 znamená nejlepší výsledek. Aby bylo dosaženo zajímavých výsledů, nebyla u noktovizoru použita zvětšovací předsádka, ani zoom u termovize.

	Noktovizor		Termovize	
Vzdálenost v metrech	Statický cíl	Pohyblivý cíl	Statický cíl	Pohyblivý cíl
25	1	1	1	1
50	1	1	1	1
100	2	1	1	1
150	3	2	2	1
200	4	3	3	2

Tabulka 3 Efektivní dosah porovnávaných přístrojů [autor]

- Oba přístroje spolehlivě detekují statický i pohyblivý cíl na kratší vzdálenosti, mírné zhoršení se projevuje až na 100 metrech u noktovizoru, kdy je potřeba konkrétní cíl v podobě člověka o trochu déle rozpoznávat vůči okolnímu prostředí. Přesto je cíl stále dobře detekovatelný. Od 150 metrů lze bezproblémově zaznamenat cíl v pohybu vůči jeho pozadí, u termovize je však detekce okamžitá.

- U statického cíle se v případě noktovizoru znatelně zvyšuje časová prodleva ve vyhledávání, termovize stále nemá s detekcí výrazný problém. Nezkoušený uživatel však může být mírně zmaten při pozorování termograficky vyobrazené scény na takovou vzdálenost.
- Na maximální testované vzdálenosti 200 metrů nastává vážný problém s detekcí noktovizoru, uživatel pozorující monochromatický obraz, má problém na takové vzdálenosti, bez přiblížení detekovat nehybnou osobu. U pohyblivého cíle je ve stejné vzdálenosti detekce snazší, díky zpozorovanému pohybu v zorném poli se uživatel může na cíl zaměřit a identifikovat v něm lidskou postavu. Prodleva v této detekci je však ze všech testovaných vzdáleností nejhorší.
- Detekční vlastnosti termovize jsou mírně ohroženy až na vzdálenosti 200 metrů v případě statického cíle. Vzdálenost je dostatečně velká, aby uživatel bez použití zoomu musel cíl nějakou chvíli vyhledávat. Okolí ve scéně s pozorovaným cílem vyzařuje teplotu, jejíž barevné vykreslení na termografu se může částečně překrývat s odstínem pozorované postavy. Při důsledné analýze termografu je nicméně stále dobře znatelné výraznější barevné vykreslení cíle, oproti jeho okolí.

Shrnutí

Ze srovnávacího testu pro detekci cíle na různé vzdálenosti bez využití zvětšovacíh prvků jasně vítězí termovize. Zobrazení jednotlivých barevných pixelů v termografu, které tvoří výsledný obraz vykreslený podle teploty pozorovaných objektů, umožňuje uživateli velmi rychle a téměř okamžité detekovat hledaný cíl.

Vyhledávání téhož cíle ve stejných podmínkách pomocí noktovizoru na velké vzdálenosti, je oproti tomu značně obtížnější. Nehybný člověk dokáže snadno splynout se svým okolním prostředím a uživatel musí vynaložit více úsilí k rozeznání takového cíle v zeleném, výrazně barevně neodlišném obraze pozorované oblasti.

2.2.2 Komparace detekce za ztížených pozorovacích podmínek

Ve druhém srovnávacím testu byla prováděna detekce cíle v podobě člověka s výškou 180 cm, tentokrát se pozorovaný subjekt nepohyboval a byl pouze statický. Vzdálenost cíle od pozorovatele byla maximálně do 30 metrů, testování probíhalo v noci a za ztížených pozorovacích podmínek.

Byly zvoleny tyto modelové situace: prostor zadýmený kouřem dýmovnice, zastavěný prostor s velkými budovami, absolutní tma v jeskyni, intenzivní déšť, cíl mezi silnými zdroji světla a cíl v zalesněném, nepřehledném prostředí. Pro vyhodnocení výsledků byla opět použita stejná stupnice jako v předchozím srovnávacím testu.

	Noktovizor	Termovize
Typ podmínek	Detekční škála	Detekční škála
kouř dýmovnice	5	2
město a budovy	1	3
absolutní tma	2	1
intenzivní déšť	1	1
silné osvětlení	2	4
les	3	1

Tabulka 4 Porovnání detekce za ztížených pozorovacích podmínek [autor]

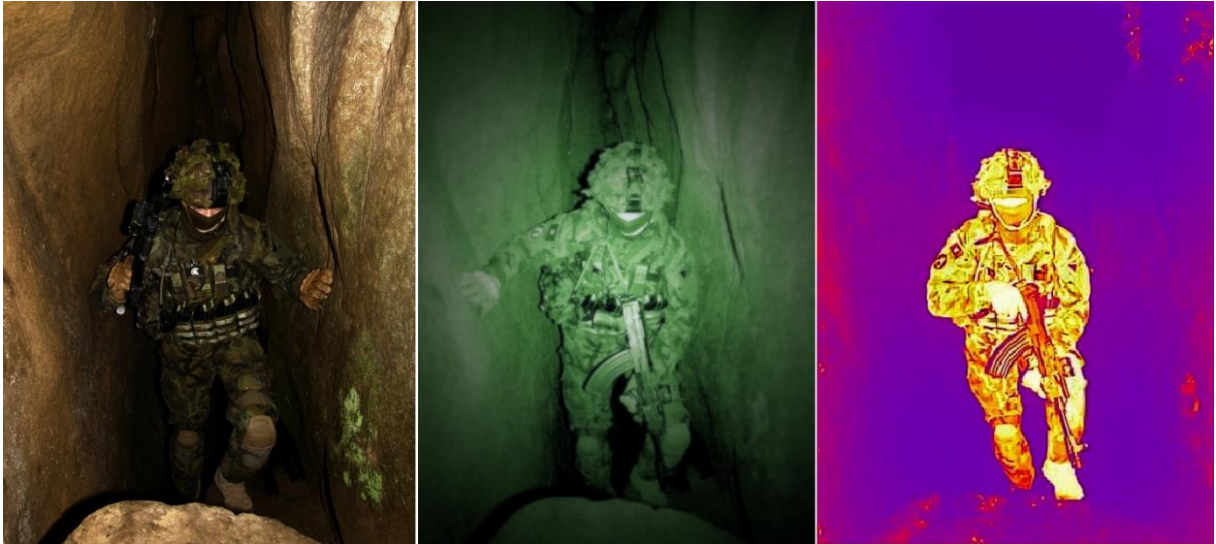
- Cíl uvnitř kouřové clony ze silné dýmovnice RDG 2 nebylo možné vůbec detekovat pomocí noktovizoru, dokud kouř nezačal ustupovat. Termovize dokázala cíl identifikovat prakticky okamžitě, ovšem termograf vyobrazoval i podstatné množství šumu.
- Ve vybraném prostředí mezi budovami bylo minimální okolní světlo, noktovizor detekoval cíl naprosto spolehlivě. Termovize se dostala do problémů, okolní vytápěné stavby narušovaly termograf svou povrchovou teplotou a člověk s nimi v některých místech téměř splýval.

- V absolutní tmě uvnitř jeskyně se musel noktovizor spoléhat na IR přísvit, detekce pak byla poměrně bezproblémová, ale s větší vzdáleností cíle by se postupně v takovém prostředí zhoršovala. Termovize pracovala bezchybně.
- Intenzivní déšť detekci kromě slabého šumu v obou přístrojích nijak zásadně neovlivnil.
- Cíl pod dvěma zdroji silného osvětlení značně ztížil detekci termovizi, byly zkoušeny různé zobrazovací režimy, z nichž některé pomohly cíl lépe rozeznat, ale i tak byla detekce zdlouhavá, a proto je hodnocena čtyřkou. Noktovizor Klára je pro tyto případy vybaven clonou, která nadměrné světlo v pozorované oblasti dokáže potlačit, detekce proběhla bez větších potíží.
- V lese dokázal pozorovaný cíl dobře splývat a částečně se vyhýbat odhalení noktovizorem, dokud se nedostal více do popředí před lesní porost. Jelikož termovize v tomto prostředí neměla žádné nedostatky, je noktovizor hodnocen trojkou.

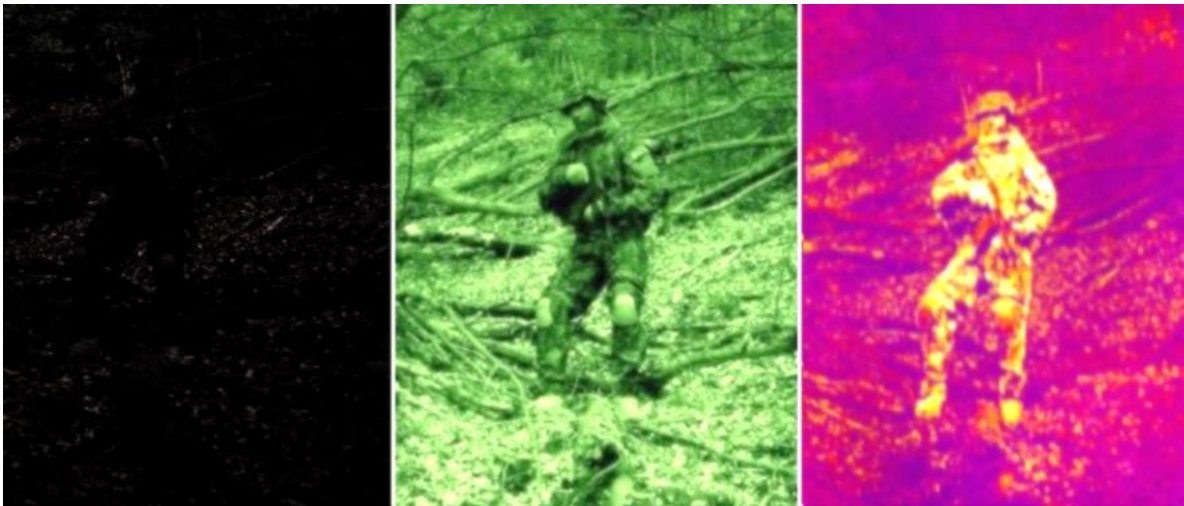
Shrnutí

Na základě výsledků tohoto testu obdržela lepší známky termovize, u které se projeví větší nedostatky ve dvou modelových situacích. Je nutné podotknout, že tyto nedostatky se dají upravit nastavením přístroje pomocí různých zobrazovacích režimů, bohužel to vyžaduje čas a delší přípravu. V testu šlo především o rychlou detekci v daném prostředí, okamžitě, tak jako v reálných podmínkách, proto je hodnocení adekvátní.

Výsledky jednotlivých modelových situací vypovídají o tom, že termovize i noktovizor mají své silné a slabé stránky. Je proto pochopitelné že v současné době jsou vyvíjeny takové prostředky pro pozorování za snížené viditelnosti, které oba typy přístrojů dovedou zkombinovat do jednoho a vytěžit tak maximum schopností z obou typů zařízení.



Obrázek 30 Porovnávání přístrojů v jeskyni při absolutní tmě (fotoaparát s bleskem, noktovizor, termovize) [autor]



Obrázek 31 Porovnávání přístrojů v nočním lese (fotoaparát, noktovizor, termovize) [autor]

2.2.3 Komparace přístrojů z uživatelského hlediska

Shrnutí získaných poznatků na základě praktického používání noktovizoru KLÁRA a termovize Prometheus.

- Nejdůležitějším faktorem z uživatelského hlediska je u těchto přístrojů vždy jejich hmotnost. Noktovizor KLÁRA je o 100 g lehčí než jeho protějšek Prometheus, ovšem situace se mění, pokud je požadavkem mít noktovizor vybaven i zvětšovací předsádkou. V takovém případě je hmotnost noktovizoru o 350 g těžší.
- Výhoda termovize tedy spočívá v její konstantní hmotnosti i s vestavěným zoomem.

Pokud neslouží noktovizor v konkrétním případě primárně k pozorování vzdálených objektů a je používán bez předsádky, je pro uživatele určitě vhodnější díky svým rozměrům. Jeho velikost je velmi kompaktní oproti robustnímu Prometheovi a při zavěšení na krku (jako dalekohled) v podstatě není uživatel nijak omezen. Naproti tomu termovize po zavěšení překáží svou délkou.

- Noktovizor je vybaven skořepinovým pouzdem, které drží pevný tvar, má pro přístroj přímo tvarované uložení a kapsičky na náhradní baterie. Pouzdro se zapíná plastovým trojzubcem a je vybaveno stahovací gumou kolem vstupního otvoru, aby přístroj nevypadl, pokud je pouzdro ponecháno otevřené v pohotovostní poloze.
- Termovize je dodávána v obalu z měkké látky, která nedrží pevný tvar a připomíná spíš jakýsi vak ve kterém se přístroj volně pohybuje, zapínání pouzdra je pouze na zip.

Při překonávání překážek či konfliktu se zadrženou osobou, která narušila střežený objekt je důležité, aby přístroj uložený v pouzdře byl dostatečně chráněn proti poškození. V tomto ohledu je na tom noktovizor mnohem lépe, neboť měkké pouzdro Promethea nijak nechrání proti pádu a jinému mechanickému poškození.

- S noktovizorem umístěným na hlavě může uživatel fungovat prakticky stejně dobře jako ve dne, je schopen manipulovat s předměty, chodit po schodech, či lézt po žebříku.

- Velkou nevýhodou Promethea je ruční držení, jeho konstrukce neumožňuje montáž na hlavový set. Uživatel je manipulačně omezen a musí být s obsluhou termovize mnohem opatrnější. Dlouhý tubus u monokulárního Promethea je příčinou horšího prostorového vnímání, sledování digitálního displeje přímo před jedním okem je dlouhodobě namáhavé a vyčerpávající.

Na základě dedukce a zhodnocení všech zkušeností z praxe je na místě vynést závěr, že termovize Prometheus není určena pro příliš aktivní “akční” použití. Konstrukce i malý zorný úhel jasně nasvědčují tomu, že přístroj vyniká především jako noční pozorovací dalekohled. Jeho umístění v případě střežení objektů by mělo být na pevných, vyvýšených stanovištích, odkud dokáže perfektně detekovat narušitele ve vzdáleném vnějším perimetru na základě tepelného záření i přes den.

- Hlavní nevýhoda noktovizoru je horší detekce malých cílů na velké vzdálenosti a nepoužitelnost pro vyhledávání osob ve dne, kdy noktovizor nemá žádné využití z hlediska ostrahy objektů či ochrany osob.
- Největší zjištěnou nevýhodou termovize při praktickém používání je velmi rychlá spotřeba baterií, především v mrazivém počasí. Je proto nutné mít vždy dostatečnou zásobu náhradních zdrojů, nebo používat silnější externí zdroj.
- S Noktovizorem je možné v noci ve střeženém prostoru spolehlivě rozlišit například uniformovanou osobu od člověka v civilním oblečení, nebo dokonce rozpoznat konkrétního kolegu. Obraz není nijak zkreslený.
- Termovize takto konkrétně identifikovat cíle vždy nedokáže, neboť termograf mnohdy na dálku nezobrazí všechny detaily, každopádně na rozdíl od noktovizoru odhalí každou osobu, která se ve střeženém prostoru pohybuje.
- Noktovizor je okamžitě připraven k použití.
- Termovizi je potřeba nejprve zapnout a načtení displeje trvá několik vteřin.

Shrnutí hlavních předností a nedostatků z pohledu uživatele

Noktovizor KLÁRA

- + Rozměr a hmotnost
- + Připraven k okamžitému použití
- + Hlavový set
- + Odolné pouzdro
- + Výdrž baterií
- Špatná detekce na velkou vzdálenost
- Bez využití pro denní střežení
- Objektiv nemá zabudované zvětšení (musí se namontovat)
- Neefektivní v husté mlze či kouři

Termovize Prometheus

- + Spolehlivá detekce na velkou vzdálenost
- + Denní použití
- + Integrovaný zoom
- + Funkční i v mlze a kouři
- Rozměr a hmotnost
- Zdlouhavé zapínání přístroje
- Pouze ruční použití bez možnosti hlavového setu
- Pouzdro přístroj dostatečně neochrání
- Rychlá spotřeba baterií

Komparací vlastností přístrojů z uživatelského hlediska je zřejmé, že nedostatky noktovizoru doplňuje termovize svými přednostmi a stejně je tomu i naopak.

Tyto zjištění opět poukazují na to, proč se výrobci přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti v současnosti zaměřují na vývoj brýlí, které budou schopny vytěžit to nejlepší z obou typů přístrojů a vytvořit tak nové a univerzální zařízení.

2.2.4 Výsledky komparace noktovizoru KLÁRA a termovize Prometheus

Vyhodnocení výsledků získaných z praktického používání obou přístrojů, bylo provedeno na základě vlastních zkušeností a analýzou všech prakticky zjistitelných a ověřitelných skutečností, také pomocí dedukcí, které pomohly teorii zkoumané problematiky ověřit v praxi.

Jako lepší přístroj byl v této komparaci vyhodnocen termovizní monokulár Prometheus, který svými funkcemi dává termínu „pozorování za snížené viditelnosti“ opravdový smysl. Díky termovizi vidí uživatel všechny osoby, které naruší střežený prostor v noci i za denního světla. Přístroj není limitován špatným počasím a má vestavěný zoom, díky kterému lze pozorovat i velmi vzdálené objekty či cíle. Prometheus je rozhodně spolehlivým přístrojem pro strážní a dozorní službu, přednostně by měl být určen na takových strážních stanovištích, kde plně vynikne jeho potenciál. Je zbytečné tento přístroj používat v nočních podmínkách tam, kde je vyžadováno „operovat“ na krátké vzdálenosti, manipulovat s věcmi a překonávat různé překážky.

Komparace přístrojů z uživatelského hlediska poukázala na nedostatky termovize, které fakticky předurčují použití Promethea jako nočního dalekohled či k dennímu skenování prostoru na dálku z pevných stanovišť. Největší slabinou přístroje je rychlá spotřeba baterií a špatně zkonstruované pouzdro, které má uživatel připnuté na opasku či vestě a neposkytuje dostatečnou ochranu uvnitř uložené termovizi.

Naproti tomu noktovizor KLÁRA vyniká právě v „operování“ na krátkou vzdálenost, umožňuje komfortně překonávat nejrůznější překážky, mít volné ruce k manipulaci se zbraní či při zadržování narušitele střeženého objektu. Jeho výhodou je malý rozměr, kdy přístroj nepřekáží na hlavě, ani v úložném pouzdře, které je velmi odolné a uživatel si nemusí dělat větší starosti o poškození noktovizoru než o svůj život v případě napadení.

Noktovizor však není schopný kvalitní detekce cílů za každých podmínek a má problémy u velkých vzdáleností.

Ideálním řešením je možnost disponovat oběma typy přístrojů a v návaznosti na nastalé situaci zvolit použití toho, který se pro plnění daného úkolu hodí nejlépe. Problémem je však vysoká pořizovací cena u těchto přístrojů, nelze spolehlivě dohledat či ověřit částky za jaké armáda takové doplňky nakupuje. S jistotou lze ale říct, že cena takových přístrojů se nepohybuje pod 100 000 Kč.

Noktovizor může být z uživatelského hlediska upřednostněn především díky jeho kompaktnosti. Termovize Prometheus je z tohoto pohledu mnohdy spíše na obtíž než k užitku, právě proto že Promethea „není kam dát“ například při lezení po žebříku. Pouzdro nedrží žádný pevný tvar, pohupuje se a může dojít k otlučení přístroje. Druhou možností je zavěšení přístroje na krk, ale pak je nutné jej přidržovat ze stejného důvodu, neboť svými rozměry má tendenci zavazit o všechno co je v dosahu. Nicméně detekční schopnosti termovize jasně převyšují účinnost brýlí pro noční vidění. Dochází ale i k situacím, kdy je těžké všimnout si osoby v blízkosti budovy, která vyzařuje v pozorovaném termografu dostatečně vysokou teplotou na to, aby nehybný člověk v její blízkosti nebyl na první pohled okamžitě detekován.

Je potřeba znát nedostatky i silné stránky těchto přístrojů a podle toho s nimi zacházet. Špatný dosah noktovizoru lze částečně dohnat pomocí zvětšovací předsádky a zhoršenou detekci u Promethea mezi budovami přepínáním různých zobrazovacích režimů. Nakonec lze vždy najít takový režim vyobrazení termografu, kdy se objekty v pozorované scéně dokážou rozlišit natolik, aby bylo možné je identifikovat.

2.3 Porovnání generací přístrojů pro noční vidění

V rámci vedlejšího cíle praktické části této práce je zahrnuto i vypracování přehledné komparace vývojových generací přístrojů pro noční vidění. Informace obsažené v této kapitole jsou výsledkem podrobné analýzy veškerých dat získaných k řešenému tématu.

V teoretické části byla problematika vývojových generací vysvětlena z hlediska historického vývoje a principu fungování. Praktická část také poskytuje doplňující informace získané na základě srovnání generací.

V následující tabulce lze přehledně pochopit a porovnat odlišnosti mezi všemi generačními typy přístrojů nočního vidění.

	Gen 0	Gen 1	Gen 2	Gen 3	Gen 4
Fotokatoda	S-1	S-20	S-25 (MCP)	GaAs (MCP + iont. bariéra)	GaAs (MCP bez iont. bariéry)
Fotocitlivost [$\mu\text{A} / \text{lm}$]	60	180 – 300	700	1600 – 2000	1800 – 2200
Spektrální rozsah [nm]	750 – 950	750 – 800	780 – 850	450 – 950	450 – 1000
Rozlišení obrazu [lp / mm]	-	25 – 35	30 – 58	45 – 64	64 – 84
Efektivní dosah [m]	-	70	200	400	500
Životnost trubic [h]	1000	1500	5000	10 000	15 000
Zesílení světla	-	1000 x	20 000 x	50 000 x	70 000 x

Tabulka 5 Technické parametry jednotlivých generací [tabulka autor, uvedené hodnoty ze zdrojů: 1,3,8,10,11]

2.3.1 Vysvětlení pojmů

Fotokatoda je součástka jejíž povrch se po ozáření světlem nabíjí, díky tomu dokáže převést světlo (fotony) na elektrony pomocí fotoelektrického jevu. Jsou to základní stavební kameny trubic zesvětlovačů jasu obrazu u noktovizorů, kde generují elektronové paprsky a vedou k jejich akceleraci tolik potřebné pro správné fungování přístrojů nočního vidění. [8]

Fotocitlivost (fotosenzitivita) v podstatě vyjadřuje schopnost přístroje pro nočního vidění detekovat určité množství světelné energie a převádět ji na elektronový obraz v zesilovači jasu obrazu. Čím vyšší je hodnota, tím lepší je i schopnost přístroje „vidět“ v podmínkách se sníženou viditelností. Udává se v jednotkách mikroampérů na jeden lumen.

Spektrální rozsah představuje část elektromagnetického spektra (viz. obr. 20) ve které konkrétní přístroj pracuje. Viditelné světlo o vlnových délkách 400 – 700 nm, spadá do spektra pozorovatelného lidským okem, bývá také označováno jako světelné spektrum. Infračervené záření se vyskytuje na vlnových délkách od 700 nm po 1 mm. Viditelné světlo a blízké infračervené záření je absorbováno a emitováno elektrony v atomech a molekulách. Spektrální rozsah se udává v nanometrech. [6]

Rozlišení Udává hodnotu, jak detailní je obraz na výstupu. Rozlišení je neměnné a udává se jako počet rozlišitelných párů linek na milimetr (lp/mm).

Efektivní dosah vyjadřuje v metrech teoretickou vzdálenost, na kterou je možné přístrojem detekovat různé cíle za předpokladu, že mezi pozorovatelem a pozorovanou scénou není žádná překážka a panují ideální světelné podmínky.

Životnost trubic, které obsahují zesilovače jasu obrazu, běžným používáním postupně degenerují. Tento proces urychluje i přesvětlování přístrojů, nebo nesprávná manipulace na denním světle. Životnost je udávána v hodinách.

Zesílením světla se rozumí o kolik dokáže noktovizor znásobit zbytkové světlo.

2.3.2 Shrnutí z komparace přístrojů podle generací

Shrnutí komparace jednotlivých generací přístrojů nočního vidění je v této práci pojato především z vojenského a uživatelského pohledu.

Od doby, kdy první noktovizor kategorizován do generace 0, pomohl člověku porazit tmu, uplynulo více než 80 let. Tyto přístroje znamenaly obrovskou revoluci na bojištích druhé světové války. Objevil se moderní přístroj, který bojujícím stranám poskytoval technologickou nadřazenost nad protivníkem, takovými přístroji nevybavenému. Tankové přepady v režii německé válečné mašinérie, nebyly omezeny nocí či ranním šerem a naháněly všem hrůzu. Spojenci na tuto hrozbu museli flexibilně reagovat a okamžitě zahájit vlastní výzkum a vývoj přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti. V tomto období dochází k masivnímu rozvoji v oblasti přístrojů pro noční vidění. Jsou vyvíjeny nové a převratné technologie, objevovány lepší prvky a vytvářeny moderní elektro součástky, které jako mnoho jiných válečných vynálezů změní budoucnost lidstva.

Nultá generace

Nulté generaci vděčíme za přístroje, jaké máme dnes, komparací analyzovaných dat získaných pečlivým studováním dostupných zdrojů, bylo v tabulce 5 poukázáno na ohromný technologický skok a vylepšení parametrů noktovizorů nejnovějších generací. Od rozměrných, nemotorných těžitek provizorně upevněných na palné zbraně. S nepostradatelným těžkým batohem obsahující zdroj pro napájení noktovizoru a infračerveného reflektoru, se vývoj dopracoval až k lehkým a kompaktním brýlím nočního vidění. Hmotnost a ergonomie moderních přístrojů je natolik rozdílná, že se dá analogicky přirovnat k prvnímu letadlu bratří Wrightových s moderním proudovým stíhacím letounem.

Ve srovnávací tabulce chybí údaj o rozlišení obrazu u přístrojů nulté generace, obecně je velmi těžké tyto hodnoty definovat, neboť dnes se již takové přístroje nikde nepoužívají a technicko-taktická vojenská data k noktovizorům z doby jejich používání, nezahrnují veškeré informace, na které byl kladen důraz až po zavedení generace 1. Údaj o zesílení světla není uveden, protože generace 0 nepracovala na (pasivním) principu zesilování zbytkového světla, ale (aktivně) v součinnosti se svým IR reflektorem. Robustní zařízení Sperber FG 1250 montované na

tancích mělo efektivní dosah udávaný až do 600 metrů, lze tedy vydedukovat, že desetinásobně menší Vampir mohl pracovat účinně ve vzdálenostech do 100 metrů. Taková vzdálenost se může zdát poměrně malá, avšak v prostředí městského bojiště a boje v zastavěné oblasti (v moderní době označované jako MOUT či FIBUA) se většina kontaktů odehraje právě na takto krátké vzdálenosti okolo 50 metrů. Vedení boje proti takto vybaveným vojákům v noci bylo prakticky beznadějně. Jako účinná obrana mohly být použity jediné silné osvětlovače, které se zaměřily na budovu obsazenou nepřítelem a dokázaly přesvětlit přístroj pro noční vidění. Na straně spojenců se o využití nočních zaměřovačů uvažovalo primárně v rovině záškodnických operací, sabotáží a likvidací důležitých osob na straně protivníka.

První generace

U první generace se lze setkat s plošnějším zavedením nočních zaměřovačů v armádě a nasazením takových přístrojů do bojových operací v množství stovek či tisíců kusů. Ve Vietnamské válce se opět projevila důležitost takové technologické nadřazenosti v mnoha takticky nevýhodných situacích. Noční vidění dokázalo obrátit výsledek nejedné bitvy ve prospěch jednotek, které byly početně v nevýhodě, ale jejich vojáci disponovali nočními zaměřovači. Díky tomu dokázali bez větší újmy vyváznout z přestřelek, kde by za normálních okolností byli zdecimováni. Je znám případ vojáka, který jako jediný přežil sestřelení vrtulníku, ke kterému se následně vydala četa Severovietnamských vojáků, aby získali případné přeživší zajatce. Představa o krutých výslechových a mučících metodách NVA a Vietcongu byla pro tohoto vojáka velkou motivací k odhodlané obraně. Byl vybaven puškou s nočním zaměřovačem Starlight první generace, pažba zbraně se při havárii prakticky odlomila, ale přístroj zůstal funkční. Postupující nepřítel byl zaskočen přesnou palbou v noci z místa havárie a kvůli velkým ztrátám museli Vietnamci nakonec před tímto jedním střelcem ustoupit. Na základě amerických zkušeností inovoval své přístroje i Sovětský svaz, který naopak jejich potenciál plně využil na bojištích v Afganistánu proti technologicky zaostalým mudžahedínům.

První generace také neměla nijak zvlášť dobrý dosah, nejčastěji je udávána vzdálenost 70 metrů na kterou lze spolehlivě identifikovat cíl v podobě lidské postavy. V prostředí s hustou vegetací Vietnamské džungle tato vzdálenost byla rozhodně dostačující. Fotocitlivost a rozlišení obrazu bylo znatelně vyšší než u předchozí generace a použitá fotodiody představovala od těch v přístrojích z druhé světové války opravdu skokový technologický posun.

Druhá generace

Velkým krokem vpřed v problematice nočního vidění se stal vynález mikrokanálové destičky MCP, která dovede extrémně znásobit počet elektronů procházejících trubici zesilovače. Díky tomu je zbytkové světlo znásobeno 20 000krát. Rozdíl oproti první generaci je znatelný na první pohled, fotocitlivost u přístrojů této generace je až o 400 mikroampér na lumen vyšší, spektrální rozsah zůstává téměř stejný, ovšem rozlišení obrazu a dosah zařízení je v podstatě dvojnásobný. Mnohonásobně se také prodloužila životnost trubice zesilovače, takže délka služby těchto přístrojů je až pětinasobná, oproti generaci první.

Zkouškou v bojovém nasazení tyto přístroj prošly při invazi amerických jednotek zvláštního určení na Grenadu pod záštitou operace Urgent Fury. Vojáci díky přístrojům pro noční vidění mohli provádět nečekané noční přepady a zabezpečit rychlé vyproštění 800 amerických občanů a občanů dalších zemí. Při čemž zaskočený protivník nedokázal flexibilně reagovat. Takové úspěchy byly jen další motivací pro vývoj ještě lepšího NVD.

Třetí generace

Představuje to nejlepší, co člověk v rámci přístrojů nočního vidění vynalezl. S dosahem 400 metrů, velmi širokým spektrálním rozsahem, maximálně znásobenou fotocitlivostí a rozlišením obrazu přichází na scénu špičkový přístroj pro noční operace, vše je navíc minimalizováno do brýlí nočního vidění, které uživatel nosí na hlavě, není nijak omezen, získává perfektní přehled a operační povědomí.

Potenciál těchto přístrojů se nejvíce projevil při nasazení v Perském zálivu. Přístroje používali také piloti bojových vrtulníků, kteří tak mohli spolehlivě poskytovat palebnou podporu pozemním jednotkám i v průběhu nočních bojových střetů s nepřítelem. Noktovizory byly vybaveny i iontovou bariérou na jejíž použití se vytvořily odlišné názory a v některých typech přístrojů byla odstraněna. Pomohla sice k výraznější redukci šumu a prodloužení životnosti přístrojů, avšak z uživatelského hlediska způsobovala i halo efekty, například v oblasti s blízkým pouličním osvětlením. Kolem jasně zářících světel tyto noktovizory vytvářely z pohledu uživatele v pozorované scéně rušení ve formě světelných disků, takové rozptýlení je při bojích uprostřed nepřátelského území vsutku nežádoucí a z toho vzešel podnět k dalším vylepšením noktovizorů.

Čtvrtá generace

Přístroje vojensky označované jako GEN-III OMNI-VI-VII, jsou modifikovanou verzí třetí generace. Modernizace a upgrady v rámci tendru „Omnibus“ představují mnohá zlepšení v podobě perfektního rozlišení obrazu, vyššímu znásobení zbytkového světla a prodlouženou celkovou životností přístrojů, největším rozdílem je odstranění iontové bariéry. Tyto moderní noktovizory slouží především profesionálnímu použití, jejich výrobní náklady jsou velmi vysoké. Je zajímavostí, že u generace 3 byl zaveden prvek, který přístroje vylepšil i omezil zároveň. Negativní vlivy iontové bariéry byly řešeny úpravami ostatních součástí a fotokatody, kdy se poměr šumu snížil na takové minimum, že iontová bariéra mohla být zcela odstraněna z nových konstrukcí. Uživatel má tak k dispozici bezkonkurenčně nejlepší přístroj pro noční vidění, který má dosah půl kilometru, automatickou synchronizaci pro práci v různých světelných podmínkách, vysokou životnost a dokonalou ergonomii.

Pro zpracování této kapitoly byla uplatněna především syntéza, bez které by nebylo možné pospojovat všechna zjištěná fakta do přehledného celku a v neposlední řadě metoda indukce utvářející závěry na základě všech zjištěných skutečností.

3 Závěr

Přístroje pro pozorování za snížené viditelnosti představují velmi zajímavé a rozsáhlé téma. Pro pochopení celkové problematiky bylo nejprve důležité vypracovat stručnou a zároveň obsáhlou deskripci obsahující vysvětlení proč tyto přístroje vůbec vznikly. Popsat jejich historický vývoj, který doprovázel známé válečné konflikty, ve kterých tyto přístroje byly používány. Bylo nutné nastudovat množství zdrojů a porozumět principům, na jejichž základě všechny typy přístrojů pro noční vidění a termovize fungují.

V praktické části byla prováděna komparace noktovizoru KLÁRA a termovize Prometheus které jsou zavedeny a používány v Armádě České republiky. Byly provedeny dva praktické testy, jejichž cílem bylo odhalit silné a slabé stránky obou přístrojů a ze získaných výsledků byl jako lepší vyhodnocen Prometheus. Zohledněny byly také uživatelské postřehy a zkušenosti s oběma přístroji a je dobré poznamenat, že noktovizor KLÁRA, je navzdory horším výsledkům z testování také stále velmi výkonným a nepostradatelným přístrojem pro výkon strážní a dozorčí služby.

Díky provedené komparaci je také snazší pochopit důvod, proč jsou momentálně vyvíjeny přístroje, které spojují noktovizní a termovizní principy v jedno speciální zařízení, schopné zkombinovat ty nejlepší vlastnosti z obou typů a vzájemně vyloučit své nedostatky.

K závěru práce a jako vedlejší cíl v praktické části byla vypracována i přehledná komparace vývojových generací přístrojů pro noční vidění. Důvodem pro tuto komparaci bylo vytvořit ucelený přehled o technických rozdílech a definitivní vysvětlení pojmů u jednotlivých generací přístrojů pro noční vidění.

Lze s jistotou říct, že vývoj v oblasti přístrojů pro pozorování za snížené viditelnosti stále intenzivně probíhá. A je otázkou času, než se objeví nový typ přístroje, či další převratné vylepšení, které si zatím nedokážeme představit. Posunou člověka opět o kus dál v překonávání noční temnoty a snížené viditelnosti.

Nezbývá než doufat, že budou využívány smysluplnějším způsobem než jenom k vedení válečných konfliktů.

Seznam použité literatury a obrázků

Monografie

- [1] BORISSOVA, Daniela. *Night vision devices: Modeling and Optimal Design*. 1113 Sofia, Acad. Georgi Bonchev Str., Bl. 5: Printing-office of the Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2015. ISBN 978-954-322-829-4.
- [2] FISCHER, Pavel, Josef BUCHOLCER, Teodor BALÁŽ, Zdeněk ŘEHOŘ a František RACEK. *Optické přístroje I*. 1. část... Brno: Vojenská akademie v Brně, 2004.
- [3] FISCHER, Pavel, Josef BUCHOLCER, Teodor BALÁŽ, Zdeněk ŘEHOŘ a František RACEK. *Optické přístroje II*. 2. část... Brno: Vojenská akademie v Brně, 2004.
- [4] HORÁK, Oldřich a Milan PODHOREC. *Taktický průzkum*. Brno: Univerzita obrany, 2008.
- [5] MILLER, David a Christopher F. FOSS. *Moderní pozemní boj*. Praha: Naše vojsko, 2004. ISBN 80-206-0711-0.

Webová stránka

- [6] KOCHANEK, Ed. *Thermal Imaging from the Beginning of the Thermographer's Camera to the Present*. IRINFO.ORG [online]. c 2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: https://irinfo.org/12-1-2013-kochanek/?fbclid=IwAR1LNBCxOeE6ABGqd4zgciumKXmVdedXCWYnuKKSOXMMXFbA_Kpj8x2DtUE

Elektronické zdroje

- [7] *Areport* [online].2016.2016 [cit.2021-04-19]. Dostupné z: https://www.mocr.army.cz/assets/multimedia-a-knihovna/casopisy/a-report/ar3_2016.pdf
- [8] BENTELL, J., P. NIES, J. CLOOTS, J. VERMEIREN, B. GRIETENS, O. DAVID, A. SHURKUN a R. SCHNEIDER. Flip Chipped InGaAs Photodiode Arrays for Gated Imaging with Eye-Safe Lasers. In: *Transducers 2007 - 2007 International Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference* [online]. IEEE, 2007, 2007, s. 1103-1106 [cit. 2021-04-19]. ISBN 1-4244-0841-5. Dostupné z: doi:10.1109/SENSOR.2007.4300327
- [9] *Global Defence Technology: Night vision: A light in the dark?* [online]. 2018. 2018 [cit. 2021-04-19].Dostupné.z: https://defence.nridigital.com/global_defence_technology_may18/night_vision_a_light_in_the_dark?fbclid=IwAR144PbOMo0wF_RVe6S4mIUlla_vylgoUuWl_wpKu07XsnbTMRP5UoVDjwY

- [10] *Night Vision Technologies Handbook* [online]. 2013. System Assessment and Validation for Emergency Responders (SAVER) United States. Department of Homeland Security, 2013 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.hsdl.org/?view&did=812232>
- [11] PINGGERA, Peter, Toby BRECKON a Horst BISCHOF. On Cross-Spectral Stereo Matching using Dense Gradient Features. In: *Proceedings of the British Machine Vision Conference 2012* [online]. British Machine Vision Association, 2012, 2012, 103.1-103.12 [cit. 2021-04-19]. ISBN 1-901725-46-4. Dostupné z: doi:10.5244/C.26.103
- [12] SOROKO, M. a M. C. G. DAVIES MOREL, ed. *Equine thermography in practice* [online]. Wallingford: CABI, 2016 [cit. 2021-04-19]. ISBN 9781780647876. Dostupné z: doi:10.1079/9781780647876.0000

Elektronické obrázky

- [13] [AN PVS 2]. In: *forum.escapefromtarkov.com* [online]. Prosinec 2017 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://forum.escapefromtarkov.com/uploads/monthly_2017_12/Capture.JPG.ce2f18d2dcd9df2a332a011a7e6c81bf.JPG
- [14] [AN / PVS-4]. In: *militarypresentations.com* [online]. Prosinec 2017 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://www.militarypresentations.com/images/IMG_8458%20copy.jpg
- [15] [Elektromagnetické spektrum]. In: *labguide.cz* [online] 27. ledna 2015.[cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://labguide.cz/fluorochromy/elektromagnetickespektrum/?fbclid=IwAR3DxLBiGmLK4NrUjk8wy54V1Wa7onR7nV0Ev2c1eCqfAWjOqxm7N4596YI>
- [16] [FG 1250 Panther mount]. In: *blitz72.com* [online].Březen 2020 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://weaponsandwarfare.files.wordpress.com/2020/03/panther-fg-1250.jpg>
- [17] [Gen1]. In: *thehuntingjack.com* [online]. Květen 2015 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://thehuntingjack.com/wp-content/uploads/2019/05/gen1.jpg>
- [18] [Ground Panoramic]. In: *media-expl.licdn.com* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://media-expl.licdn.com/dms/image/C5112AQHvRW_13Q49Ww/article-cover_image-shrink_720_1280/0/1520127807399?e=1622678400&v=beta&t=6tYsT37qILVM1v7QNinKnfEISlyuf3ryaNsdVyTRHWU
- [19] [M3 Sniperscope-white01]. In: *photonics.com* [online]. 3. března 2009 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://www.photonics.com/images/Web/Articles/2009/3/8/ImageIntensification_ITT_NightVision_Figure4.jpg
- [20] [Nightspotter 7]. In: *optics-trade-static.eu* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://www.optics-tradestatic.eu/media/catalog/product/cache/1/image/495x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/7/_/7_1_2.png
- [21] [NVS6-3/XT]. In: *i.pinimg.com* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://i.pinimg.com/564x/23/e3/bd/23e3bdf7b4cb311c355c28afc554398b.jpg>

- [22] [nvdnvmtpartan].In: *cdn.t1.levenhuk.com*[online].[cit.20210420].Dostupné z: https://cdn.t1.levenhuk.com/i/h230/i/h230/media/product/poster/14860_yukon-nvd-nvmt-spartan-4x50_00.jpg
- [23] [portable bushnell]. In: *lh3.googleusercontent.com* [online].[cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://lh3.googleusercontent.com/proxy/E7MGQsGXCHxyB1u4tvoXz2CVPZqe8_aCybBY_4uSHf1YjQCuexI5NBEBE2dLpa_es-3nm9gLAjxgwsWwW5Ndzva8aeqZdFzvGpUBtgUnaMm9KRiCZJqpzvOk5Kn0ILh2iazZaBqAofR-_4YKAK4QJ1PQe1Y
- [24] [Prometheus336].In: *www.nightvision4less.com*[online].[cit.2021-04-20].Dostupné z: https://www.nightvision4less.com/images/product/large/52232_2_.png
- [25] [PULSAR].In: *scheels.scene7.com*[online].[cit.2021-04-20].Dostupné z: <https://scheels.scene7.com/is/image/Scheels/81249502332?wid=1200&hei=1200>
- [26] [Zielgerat1229].In: *exastory.cz*[online].Červenec2015[cit.2021-04-20].Dostupné z: <https://www.exastory.cz/wp-content/uploads/2015/07/Vampir.png>
- [27] [3rd_gen__2]. In: *defence.nridigital.com* [online]. Květen 2018 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://defence.nridigital.com/defence/global_defence_technology_may18/night_vision_a_light_in_the_dark/53905/3rd_gen__2_.960_0_1.jpg

4 Seznam obrázků, tabulek a zkratek

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1	Zařízení Sperber FG 1250.....	11
Obrázek 2	Infračerveným zaměřovač ZG 1229 Vampir	11
Obrázek 3	Infračervený zaměřovač M3 sniper scope	12
Obrázek 4	Puškohled AN / PVS-2 Starlight.....	13
Obrázek 5	Nejznámější zástupce NVD druhé generace, puškohled AN / PVS-4.....	13
Obrázek 6	Bi-okulární brýle pro noční vidění AN / PVS-7	14
Obrázek 7	Binokulární brýle pro noční vidění P-45AG NVD-BNVD-SG-WP.....	15
Obrázek 8	Ground Panoramic Night Vision Goggle od firmy L3 Communications	16
Obrázek 9	Pohled skrz přístroj, který kombinuje noční vidění a termovizi do jednoho obrazu	17
Obrázek 10	Infračervený osvětlovač a průřez zesilovací trubcí NVD generace 0.....	19
Obrázek 11	Průřez zesilovací trubcí NVD generace 1	21
Obrázek 12	Průřez zesilovací trubcí NVD generace 2 a mikrokanálková destička MCP.....	22
Obrázek 13	Průřez zesilovací trubcí NVD generace 3	23
Obrázek 14	Průřez zesilovací trubcí NVD generace 4.....	24
Obrázek 15	Porovnání obrazu ze čtyř generací NVD	24
Obrázek 16	Monokulární dalekohled pro noční vidění Yukon NVMT Spartan 4x50	25
Obrázek 17	Binokulární dalekohled pro noční vidění Bushnell 2,5 x 42 se zabudovaným IR přísvitem.....	26
Obrázek 18	Binokulární dalekohled pro noční vidění Nightspotter 7 se zvětšením 3 x 50 ...	26
Obrázek 19	Termální puškohled Pulsar Core RXQ30V	27
Obrázek 20	Elektromagnetické spektrum.....	28
Obrázek 21	Princip fungování trubice zesilovače v noktovizoru.....	29
Obrázek 22	Detail mikrokanálkové destičky a násobení elektronů	30
Obrázek 23	Schéma aktivního noktovizoru.....	30
Obrázek 24	Schéma pasivního noktovizoru	31
Obrázek 25	Princip fungování termovizního přístroje	32
Obrázek 26	Detail pixelů v termografu	33
Obrázek 27	Graf představující vyzařování těles (v rozmezí teploty běžné na Zemi) dle Planckova zákona	34

Obrázek 28	Bi-okulární brýle pro noční vidění KLÁRA	36
Obrázek 29	Termovize Armasight Prometheus 336.....	38
Obrázek 30	Porovnávání přístrojů v jeskyni při absolutní tmě (fotoaparát s bleskem, noktovizor, termovize).....	44
Obrázek 31	Porovnávání přístrojů v nočním lese (fotoaparát, noktovizor, termovize)	43

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1	Základní optické parametry a provozní charakteristika přístroje KLÁRA	37
Tabulka 2	Základní optické parametry a provozní charakteristika přístroje Prometheus	39
Tabulka 3	Efektivní dosah porovnávaných přístrojů.....	40
Tabulka 4	Porovnání detekce za ztížených pozorovacích podmínek	42
Tabulka 5	Technické parametry jednotlivých generací.....	50

Seznam použitých zkratk

AČR – Armáda České republiky
EOP – elektro-optický převaděč obrazu
ZJO – zesilovač jasu obrazu
NVD – night vision devices
MCP – Micro channel plate
GEN – generace (nočního vidění)
PNVG – panoramic night vision goggles
INVS – integrated night vision systems
NVEDS – Night vision and electronic sensors directorate
IR – infračervené záření (infra red)
MOUT - military operations on urbanized terrain
FIBUA - fighting in built-up areas
NVA – North Vietnamese army