View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by DSpace at VSB Technical University of Ostrava

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2010 **Tomáš Vavřiník**

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Stanovení technických požadavků na noční zaměřovač odstřelovačské pušky

(Evaluation of Main Parameters of Night Vision Sight for Sniper Rifle)

Student: **Tomáš Vavřiník**

Vedoucí bakalářské práce: **mjr. Ing. František Racek, Ph.D.**

Uherský Brod 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student:	**Tomáš Vavřiník**
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Studijní obor:	2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace:	50 Lovecké, sportovní a obranné zbraně a střelivo
Téma:	Stanovení technických požadavků na noční zaměřovač odstřelovačské pušky Evaluation of Main Parameters of Night Vision Sight for Sniper Rifle

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši v oblasti zadaného segmentu trhu s nočními zaměřovači ručních zbraní pro bezpečnostní složky státu.

2. Analyzujte používané konstrukční principy nočních zaměřovačů ručních zbraní (zaměřovače s EOP ZJO, termovizní zaměřovače) a vyberte nejvhodnější z hlediska použití zbraně

3. Z taktických požadavků na zbraň určete potřebný dosah zaměřovače pro detekci, rozpoznání a identifikaci cíle. Určete požadovanou rozlišovací schopnost zaměřovače.

4. Navrhněte vhodnou mechanickou konstrukci zaměřovače a uchycení ke zbrani.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.* Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.* Praha: Český normalizační institut,1996.

Petruželka, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 30. 6. 2009 [cit. 2009-30-10]. Dostupný z www: <URL: http://www.345.vsb.cz/KE%20vyuka/Jak%20ps%C3%A1t%20cerven%202009.pdf.

Baláž, T. *Optické přístroje loveckých, sportovních a obranných zbraní.* [Skripta]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, 2006, 124 s.

Baláž, T. *Zaměřovací přístroje I.* Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-550-5

Baláž, T. *Zaměřovací přístroje II.* Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-551-2

Filip, M. *Analýza chyby zamíření malorážové zbraně v závislosti na typu zaměřovače.* [Bakalářská práce]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, 2007, 74 s.

Prajza, R. *Návrh parametrů nočního zaměřovače na pušku.*[Bakalářská práce]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, 2006, 74 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **mjr. Ing. František Racek, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář	prof. Ing. Radim Farana, CSc.
vedoucí katedry	*děkan fakulty*

Místopřísežné prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21.5.2010

.....
podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2010

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Vavřiník

Adresa trvalého pobytu autora práce: Popovice 64; 686 04 Kunovice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vavřiník, T. *Stanovení technických požadavků na noční zaměřovač pro odstřelovačské pušky : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2010, 50 s. Vedoucí práce: Racek, F.

Cílem této práce, je zpracovat přehled používaných puškových nočních zaměřovačů dostupných na současném trhu s uvedením jejich takticko-technických dat. Shrnout požadavky na noční zaměřovače a jejich typy konstrukčního provedení. Na základě takto získaných podkladů zvolit nejvhodnější konstrukční řešení pro ideový návrh puškového nočního zaměřovače. V úvodní fázi bakalářské práce jsem provedl stručný přehled všech generací noktovizorů dostupných na současném trhu, rozdíly mezi jednotlivými generacemi a způsoby jejich použití. V další části bakalářské práce jsem prováděl výpočet parametrů, které by měl můj navrhnutý zaměřovač splňovat. Na závěr jsem provedl celkové zhodnocení a vybral konkrétní noktovizor pro příslušnou zbraň.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Vavřiník, T. *Evaluation of Main Parameters of Night Vision Sight for Sniper Rifle : Bachelor Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2010, 50 p. Thesis head: Racek, F.

The principal aim of this bachelor study is to make the summary of the sniperscopes which are used in the present and are available on today´s market with introduction of their tactical and technical data and resume the requierements for sniperscopes including the types of their construction. On the basis of received information I chose the way of construction for ideal concept of the sniperscope. In the preambule of this study I made a short abstract of all generations of the sniperscopes available on the market today and I mentioned all the differences between particular generations and application methods. Second part of the study is based on the calculation of the parametres which should be fulfield by my own designed sniperscope. Finally there was made a total estimation and particular sniperscope for appropriate japon was chosen.

Obsah

Obsah 7
Seznam použitého označení 8
0. Úvod 9
1. Rozdělení a funkce nočních zaměřovacích přístrojů 10
1.1. Noktovizory 11
1.1.1. Základní parametry noktovizorů 12
1.1.2. Funkce noktovizoru 14
1.1.3. Aktivní noční zaměřovače 15
1.1.4. Pasivní noční zaměřovače 16
1.2. Zesilovače jasu obrazu 17
1.2.1 Popis zesilovačů jasu 20
1.2.2. Vazba s televizní kamerou 21
1.3. Termokamery 22
2. Generace noktovizorů 24
2.1. 0. generace noktovizorů 25
2.2. 1. generace noktovizorů 25
2.3. 2. generace noktovizorů 26
2.4. 2+. generace noktovizorů 26
2.5. supergen generace noktovizorů 27
2.6. 3. generace noktovizorů 27
3. Stanovení zaměřovače a jeho parametrů 28
3.1. Volba zbraně 28
3.2. Výběr generace ZJO 29
3.2.1. Dedal 33
3.2.2. Meopta 34
3.3. Hodnocení dosahu zaměřovače 35
3.3.1. Volba vhodného zaměřovače 35
3.3.2. Stanovení ohniskové vzdálenosti objektivu 45
3.4. Mechanická část 48
4. Závěr 49
Použitá a doporučená literatura 50

Seznam použitého označení

Značení	Název
ABC	Automatic Bright Control (el. obvody pro řízení jasu)
BSP	Bright Source Protection (ochrana proti zdrojům záblesků)
EBI	Equivalent Backround Illumination (obvody pro ekvivalentní základní úrovně záření)
EOP	Elektronooptický převodník
MCP	Microchannel plate (kanálková destička)
N	Počet cyklů ekvivalentního čárového testu
N_{50}	Počet cyklů ekvivalentního čárového testu pro 50% rozlišení cíle
$P_{(N)}$	Pravděpodobnost rozlišení cíle
S_{max}	Maximální dosah přístroje
SNR	Signal to noise ratio (poměr signálu k šumu)
ZJO	Zesilovač jasu obrazu
a	Rozlišovací schopnost
f´	Ohnisková vzdálenost objektivu
h	Kritický rozměr cíle (výška cíle)
α	Úhel pozorování cíle
φ	Úhel rozlišení

0. Úvod

Cílem této práce by mělo být zpracovat přehled puškových nočních zaměřovačů dostupných na současném trhu. Zaměřovač je zařízení, které slouží k zamíření zbraně na cíl. Zamíření zbraně je činnost, při které se osa vývrtu hlavně dostane do takové polohy, aby střední dráha letu procházela cílem. Zamíření se člení do dvou etap/fází. Tou první je vodorovné zamíření a druhou je svislé zamíření. Svislé zamíření je takové, při kterém se osa hlavně dostane do příslušné svislé polohy vůči cíli a u vodorovného zamíření do vodorovné polohy vůči cíli.

Zaměřovač je mechanický, optický nebo optoelektronický přístroj. Zamíření je taktéž dvojího druhu - přímé a nepřímé. U přímého zamíření je osa hlavně namířena přímo na cíl, nebo záměrný bod. U nepřímého zamíření většinou osu hlavně nemůžeme zamířit přímo na cíl, proto se provádí přes pomocný (odměrný) bod, který ale musí být viditelný, na rozdíl od cílového bodu. Nejen puškové noční zaměřovače, ale zaměřovače všeobecně, jsou v dnešní době již nedílnou součástí každé palné zbraně. [3]

1. Rozdělení a funkce nočních zaměřovacích přístrojů

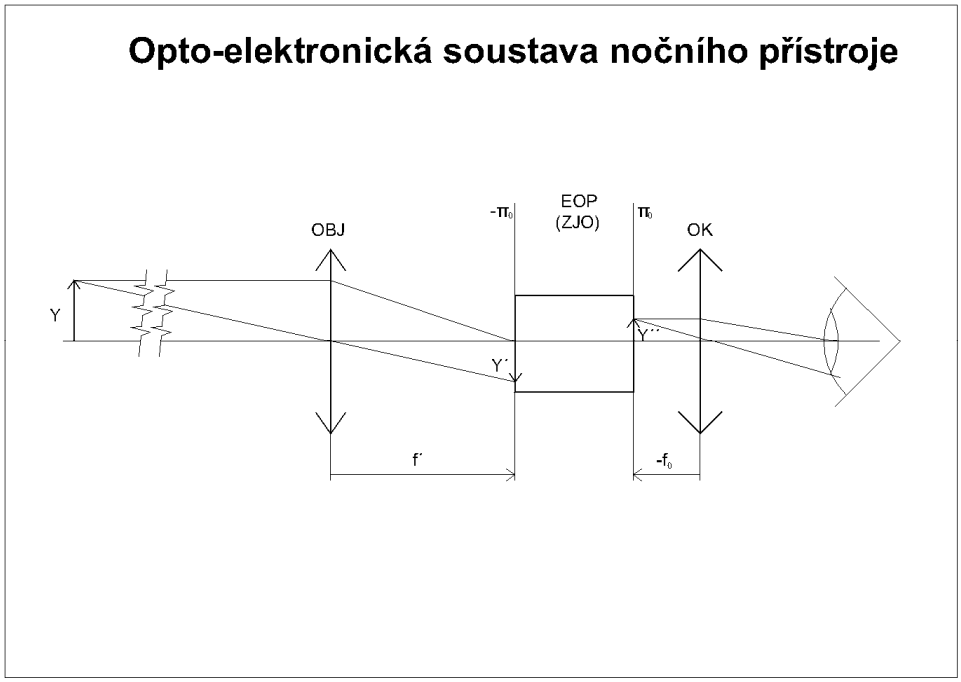
Noční zaměřovací přístroje jsou použity u zbraně ve dvojím provedení. Buď jsou navrhnuty konstruktérem jako samostatná zařízení, jejíž úkolem je nahradit za ztížených světelných podmínek denní zaměřovače, nebo jako optoelektronické předsádky, které tvoří s denním zaměřovačem jedno zařízení (jeden přístroj).

V dnešní době se nejčastěji používají kombinované zaměřovače. Za běžného provozu, za neztížených světelných podmínek, je součástí zbraně pouze optico-mechanická část zaměřovače (většinou se používá teleskopický denní zaměřovač). Za zhoršených světelných podmínek (mlha, tma, ...), se k okuláru zaměřovače nainstaluje další okulár se zesilovačem jasu.

Základní částí většiny nočních zaměřovacích přístrojů je dalekohledová soustava Keplerova typu. Tato dalekohledová soustava je tvořena z objektivu a spojného okuláru. Mezi objektiv a spojný okulár je vložen aktivní prvek - elektronooptický převodník (EOP), nebo zesilovač jasu obrazu (ZJO). Zesilovač jasu obrazu bývá v optické soustavě umístněn tak, že fotokatoda leží v obrazové ohniskové rovině objektivu a luminiscenční stínítko v předmětové ohniskové rovině okuláru [2] (viz obr. 1.).

Princip činnosti je následující: Objektiv dalekohledu vytváří v obrazové ohniskové rovině obraz Y´ „nekonečně“ vzdáleného předmětu Y. Tento obraz je snímán fotokatodou zesilovače jasu, transformován, nebo zesílen a zobrazen jako obraz Y´´ na luminiscenčním stínítku. Okulár dalekohledu pak plní funkci lupy, kterou je na luminiscenčním stínítku pozorován obraz Y´´ [3] (viz obr. 1).

Systém ochran, instalovaný u nočních zaměřovacích přístrojů, má jako jeden z hlavních úkolů chránit fotokatodu zesilovače jasu obrazu před intenzivními záblesky při výstřelu. Systém ochran je tvořen filtry, ochrannými clonami a u současných přístrojů nejčastěji tvoří systém ochran malý samostatný citlivý detektor, jehož úkolem je i řídit generování vysokého napětí pro napájení zesilovače jasu obrazu. Pokud dojde k náhodnému dopadu záblesku světla na jeho citlivou plochu, dojde ke snížení generovaného napětí a se sníženým napětím klesne i zesílení ZJO.



Obrázek 1 - Opto-elektronická soustava nočního přístroje [1]

1.1. Noktovizory

Noktovizor je přístroj pro noční vidění, který slouží zejména pro vojenské účely, k pozorování a pro ostrahu důležitých objektů. Pracuje na principu zesilování zbytkového světla. Noktovizor může být použit jako přístroj pro jednotlivé osoby, nebo jak součást pozorovací techniky vozidla.

Tato zařízení jsou tvořena několika samostatnými prvky. Optická soustava je tvořena jak objektivem, tak i výstupním zobrazovacím zařízením. Hlavním úkolem objektivu je snímat prostor a na příslušné objekty správně zaostřovat. Výstupní zobrazovací zařízení, které je nejčastěji tvořeno čočkou okuláru, sloužící k pozorování scény, bývá umístněno co nejblíže k oku pozorovatele a umožňuje individuální zaostřování k dosažení co nejvyšší kvality obrazu.

Zesilovač jasu obrazu je základní částí všech noktovizorů. Slouží k zesilování nejen viditelného, ale i neviditelného obrazu okolí (který již lidské oko není schopné za běžných podmínek vidět).

Hlavní uplatnění, nebo využití noktovizorů je pro infračervené pásmo, které je blízké viditelnému světlu. Noktovizory nezachycují tepelné vyzařování (těles majících

běžnou teplotu okolního prostředí), jež má nižší frekvence, ale naopak termovize využívá tohoto principu snímání teploty okolního prostředí. Činnost noktovizoru spočívá v zesilování záření o vlnových délkách 700 až 1 000 nm a následný převod tohoto zesíleného záření do viditelné oblasti spektra. Takto zesílený obraz se obvykle zobrazuje na zeleném stínítku. Výstupem pro pozorovatele je pak monochromatický zelený obraz.

1.1.1. Základní parametry noktovizorů

Stejně jako u jiných přístrojů, tak i u noktovizorů můžeme jejich kvalitu porovnávat, nebo hodnotit podle několika základních a důležitých parametrů. Mezi základní parametry k noktovizorům patří především zvětšení, rozlišovací schopnost, světelný zisk, a jiné. Podle těchto parametrů může uživatel porovnávat a hodnotit vybrané druhy přístrojů. Základní charakteristiky těchto parametrů jsou v následujícím textu popsány.

Zvětšení (Magnification) - poměr dvou sdružených veličin optické soustavy se nazývá zvětšením této optické soustavy. [5] Zvětšení je poměr reálného obrazu ke zvětšenému obrazu.

Zorné pole (Field of View) – je souhrn všech bodů v prostoru, které člověk vidí při přímém pohledu vpřed. Je to zevní projekce všech bodů (objektů) zobrazených na sítnici, které oko vnímá centrálním i periferním viděním při fixaci oka na určitý bod. [4]

Rozlišovací schopnost (Resolving power) $R_\lambda = \frac{\lambda}{(\Delta\lambda)_{\min}} = m.N$ vyjadřuje minimální rozdíl vlnových délek $(\Delta\lambda)_{min}$, který je možno při určité vlnové délce λ rozlišit; přitom Λ je perioda mřížky, m difrakční řád a N celkový počet vrypů mřížky. Při úhlovém rozkladu může nastat vzájemné překrývání spekter sousedních, ale i vzdálenějších prvků. Největší interval vlnových délek $\Delta\lambda$, který se nepřekrývá se sousedním řádem, je dán vztahem $\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m}$. [4]

Absolutní rozlišovací schopnost nás informuje o rozměrech nejmenších vnímatelných předmětů resp. detailů předmětu a poskytuje nám velmi citlivé kritérium o kvalitě přístroje. [5]

Absolutní rozlišovací schopnost a citlivost mají blízký vztah k parametru **poměr signálu k šumu SNR** (signal to noise ratio, SNR), který je definován vztahem $SNR = \frac{\bar{n}^2}{\sigma_n^2}$. Signál je dán kvadrátem počtu fotonů a šum variancí. Čím větší je odstup signálu od šumu, tím je zpráva věrnější. [4]

Světelný zisk (Gain nebo Illumination Gain) je parametr zesilovače, který je dán poměrem výstupní a vstupní intenzity. Je-li *z* délka aktivního prostředí laserového zesilovače a signál je slabý, pak pro výstupní intenzitu I{z} platí $I\{z\} = I\{0\}.\exp\{N.\sigma.(\nu).z\} = I\{0\}.\exp\{\gamma.(\nu).z\} = I\{0\}.G\{\nu\}$, kde *v* je frekvence záření, *N* je hustota inverze populace, σ{υ} součinitel zesílení a G{υ} je zisk zesilovače. Zisk zesilovače závisí na frekvenci v oblasti vymezené šířkou pásma zesílení. Aby prostředí zesilovalo, musí se nacházet ve stavu inverze populace (N>0.). [4]

Při výběru určitého typu noktovizoru mají velký význam mimo jeho základních parametrů i parametry elektronických vlastností, tzn. jaký typ elektroniky je v daném noktovizoru použit.

Elektronické obvody pro řízení jasu ABC (Automatic Bright Control) automaticky sníží napájení mikrokanálkového zesilovače pro dosažení optimálního zobrazení (poměru kontrastu a jasu obrazu). Tento efekt nejenže chrání vlastní zesilovač, ale navíc se uplatní zejména v případě přechodu z nízké na vysokou intenzitu osvětlení (například při natočení zorného pole noktovizoru směrem k Měsíci nebo zdroji umělého osvětlení). Úzce souvisí i se schopností co nejrychlejšího návratu k nastavení optimálních hodnot a jejich ustálení po změně světelných podmínek. [9]

Další elektronickou funkcí je **ochrana proti zdrojům záblesků BSP** (Bright Source Protection) při rychlé změně intenzity osvětlení, například při ozáření noktovizoru světlometem, laserem, záblesku při výstřelu, výbuchu munice apod.

V případě, kdy je tato funkce aktivována, chrání zesilovač jasu před zničením, ale zároveň částečně snižuje citlivost noktovizoru. [9]

Obvody pro nastavení ekvivalentní základní úrovně záření EBI (Equivalent Background Illumination) dovolují automaticky a optimálně přizpůsobit provoz noktovizoru danému prostředí. Jestliže je noktovizor uveden do provozu a na fotokatodě zesilovače jasu není žádný signál, obvody EBI vyhodnotí nejnižší užitečnou úroveň osvětlení, na které ještě mohou být detekovány různé objekty. Objekty, jejichž intenzita osvětlení je nižší než tato nastavená úroveň, nemohou být zobrazeny. Obvody EBI hlavně urychlují nastavení počáteční prahové úrovně jasu prostředí při uvádění noktovizoru do provozu. [9]

1.1.2. Funkce noktovizoru

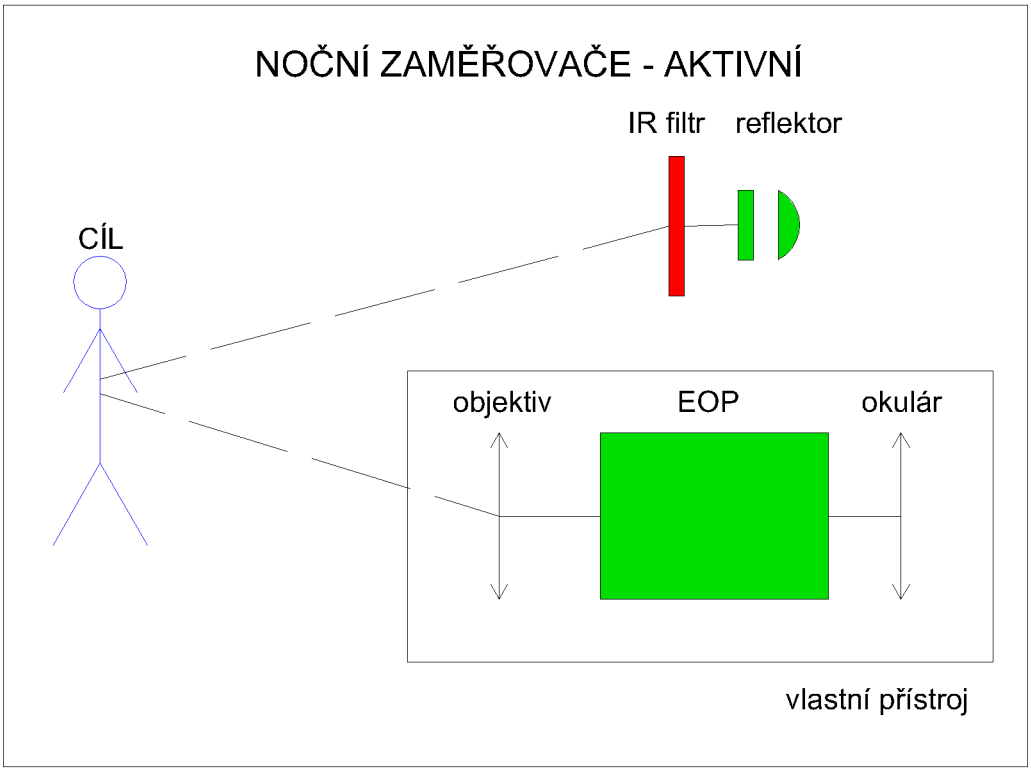
Optická soustava objektivu má za úkol snímat tok částic světla (tzv. fotonů), do zesilovače jasu obrazu. Tyto fotony jsou pro lidské oko za běžných podmínek neviditelné. V samotném noktovizoru, uvnitř tělesa je umístněna fotokatoda, jejíž hlavním úkolem je tento tok částic světla (nepatrné záření) přijmout a přeměnit jej na tok elektronů, které dopadají na plochu mikrokanálkového zesilovače. Mikrokanálkový zesilovač tok elektronů 8 000 až 65 000 krát násobí. Na fosforovém zobrazovacím zařízení je vytvářen zelený obraz takto zesílenými elektrony. Tento zelený obraz je již snadno viditelný lidským okem a jas i kontrast si můžeme libovolně nastavit. Na kvalitě zhotovení optické soustavy a samotného zesilovače závisí, zda je samotný noktovizor schopen na svém výstupu zobrazit obraz mající shodu s obrazem pozorovaného cíle, který je snímán objektivem.

Jak již bylo uvedeno výše, princip činnosti noktovizorů spočívá v zesilování zbytkového světla okolního prostředí a i noční oblohy (hvězd a Měsíce), které se v přírodě vždy nachází. Noktovizory jsou citlivé na infračervené (IR), oku neviditelné světlo. Pokud bychom chtěli použít noktovizor při úplném zatmění, tmě (např. v místnostech, nebo uzavřených prostorech), jsou tyto přístroje vybaveny IR ozařovači. Pokud je třeba IR ozařovač použít, je možno s ním po zapnutí ozářit požadovaný prostor umělým IR světlem o vlnové délce 810 nm.

K získání kvalitního obrazu noktovizoru zesílením zbytkového světla lze postupovat jen do určité míry, tímto postupem nelze pokračovat do nekonečna. Noktovizory mají zejména za zhoršených meteorologických podmínek dosah dosti omezen na desítky až stovky metrů. Toto omezení je nedostačující pro použití u řady aplikací, proto jsou používány u těch případů, kde není požadována vysoká kvalita a přesnost získaného obrazu pozorovaného objektu. Těmto noktovizorům v dnešní době plně konkurují přístroje s vysokou citlivostí, které se nazývají CCD kamery. Tyto přístroje se dělí podle dosahu na přístroje velkého, středního a malého dosahu.

První pokusy o využití noktovizorů pocházejí z období po druhé světové válce. Puškové noční zaměřovače (noktovizory) existují aktivní a pasivní (viz obr. 2 a 3).

1.1.3. Aktivní noční zaměřovače



Obrázek 2 - Aktivní noční zaměřovač

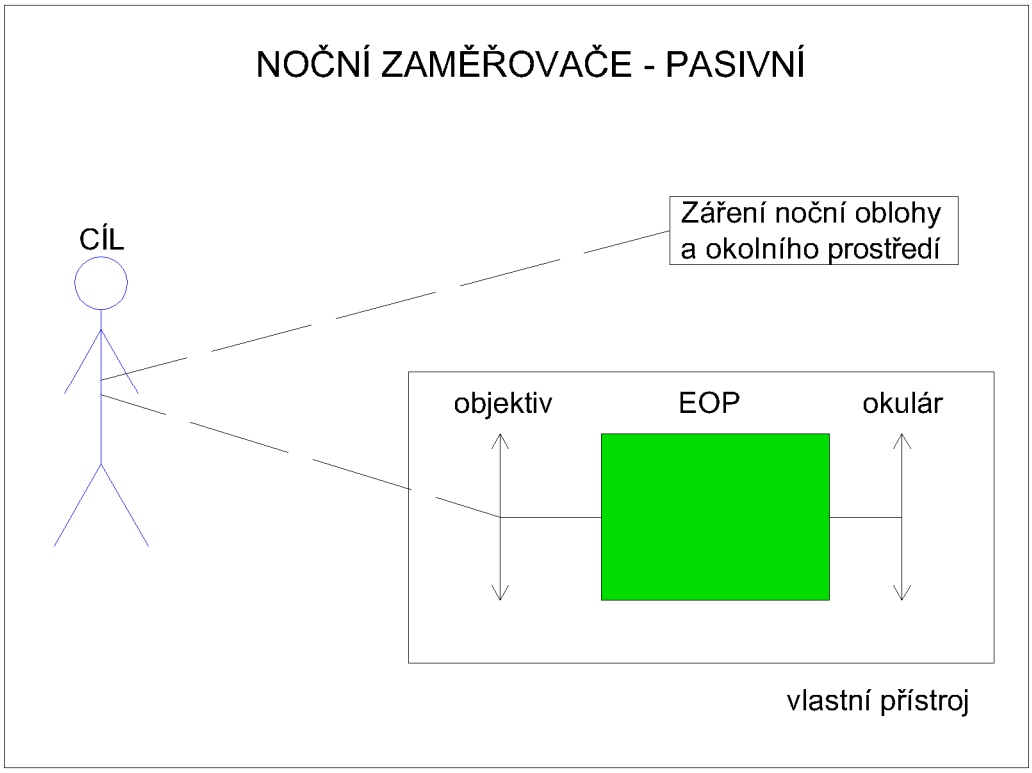
Aktivní noční zaměřovač (schéma na obr. 2) musí ke své činnosti použít nějaký osvětlovací přístroj, nejčastěji to bývá reflektor, který má za úkol osvětlit záměrný bod,

nebo oblast. Infračervené záření vyzařované z reflektoru se odrazí od pozorovaného předmětu k přístroji. Přístroj tento signál zesílí a převede ho na viditelný obraz. Aktivní noční zaměřovače se v dnešní době používají jen výjimečně, z důvodu složitého provozu a nutnosti mít ozařovací přístroj (reflektor).

Menší závislost na meteorologických podmínkách je jednou z výhod aktivních nočních zaměřovačů.

Nevýhoda spočívá v závislosti na IR reflektoru, nebo jiném podobném osvětlovacím (ozařovacím) zdroji.

1.1.4. Pasivní noční zaměřovače



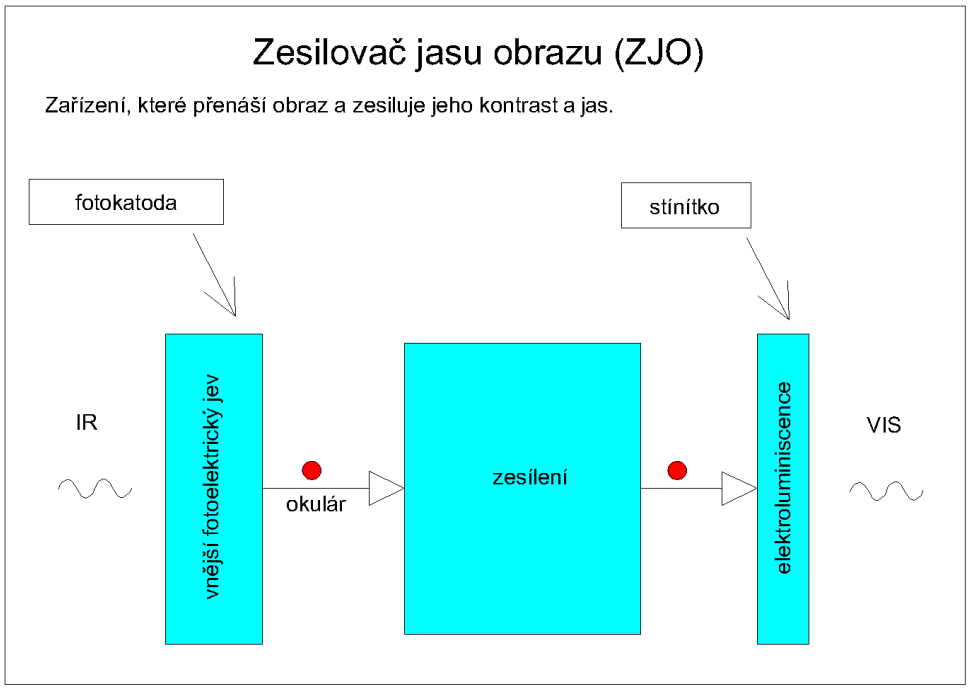
Obrázek 3 - Pasivní noční zaměřovač

Pasivní noční zaměřovače pracují v oblasti přelomu viditelného a infračerveného záření. Jak vyplývá z obr. 3, tyto přístroje nepotřebují ke své činnosti aktivní osvětlovací zařízení. Toto záření může být nahrazeno přírodními zdroji světla, jako je svit Měsíce, hvězd nebo zářením okolního prostředí (například z obydlené oblasti, zbytkové světlo). Následně je odraženo od pozorovaného předmětu, zesíleno zesilovačem jasu obrazu a převedeno do viditelné oblasti.

Pasivní zaměřovače ke své činnosti nepotřebují žádný reflektor, ani jiný osvětlovací zdroj, což je jednou z jejich výhod.

Pasivní noční zaměřovače dělíme na přístroje se zesilovačem jasu obrazu a termovizní přístroje.

1.2. Zesilovače jasu obrazu

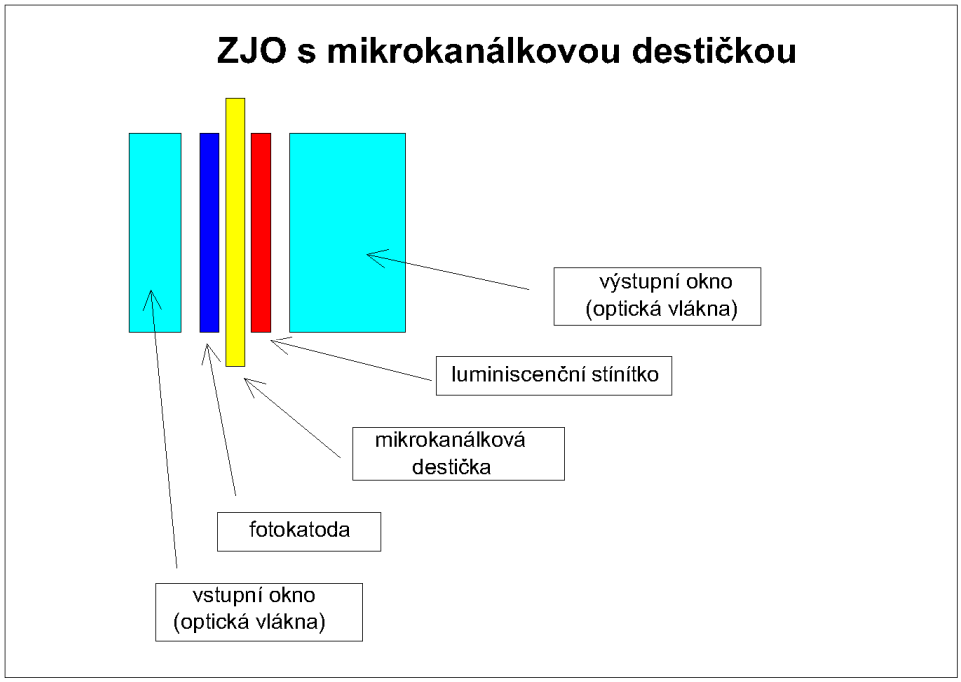


Obrázek 4 - Zesilovač jasu obrazu

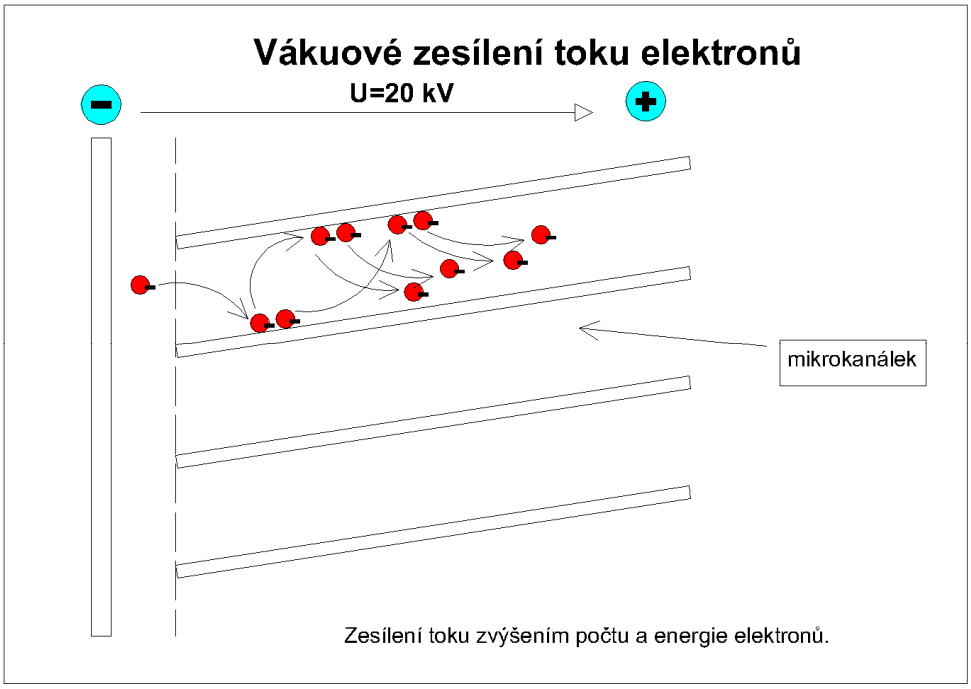
Typické schéma zesilovače jasu obrazu, které je použito u většiny přístrojů, je znázorněno na obr. 4. Obraz pozorovaného předmětu (okolí) se promítne na vstupní okno elektronky. Uvnitř této elektronky je fotokatoda. Záření vstřebané ve fotokatodě má za následek emisi elektronů, které se nazývají fotoelektrony. Naproti fotokatody, na druhé straně elektronky, bývá umístněno luminiscenční stínítko. Přiloženým napětím vzniká mezi fotokatodou a luminiscenčním stínítkem elektrické pole. Tímto elektrickým polem dochází ke zrychlení emitovaných fotoelektronů a zvýšení jejich energie (obr. 6). Touto energií po dopadu fotoelektronů na stínítko je vybuzena luminiscence. Na výstupním okně elektronky dochází k plošnému rozložení jasu luminiscenčního záření, stejně jako v obrazu scény na vstupu elektronky. Na vstupu je ale podstatně menší než na výstupu.

Zesilovač jasu s mikrokanálkovou destičkou je složen z objektivu a okuláru. Mezi nimi je vložena fotokatoda s mikrokanálkovou destičkou a luminiscenčním

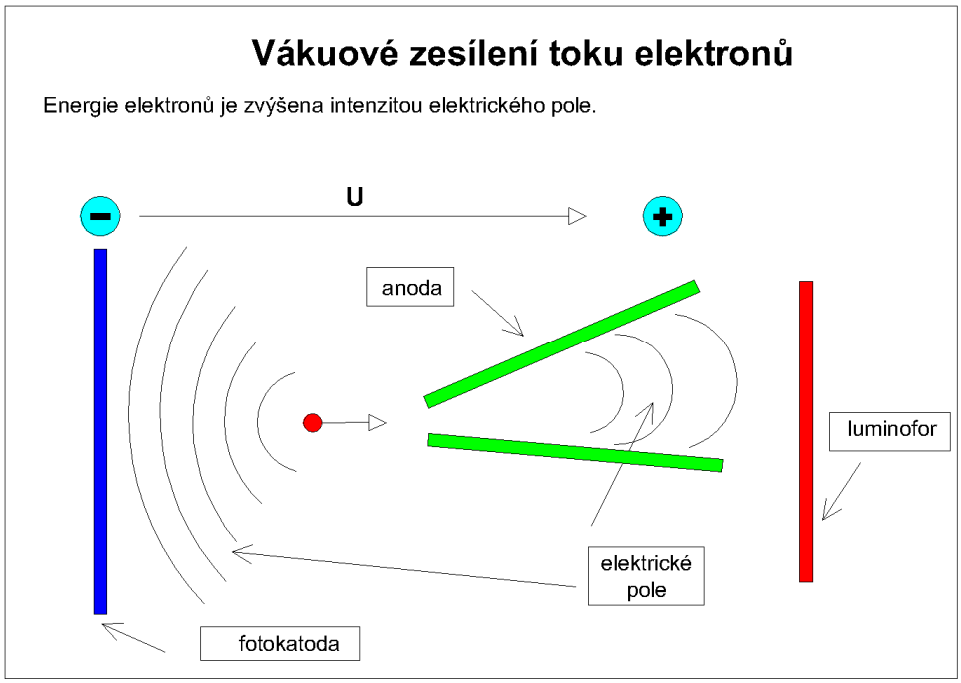
stínítkem (obr. 5). Tento mikrokanálkový zesilovač jasu obrazu patří k nejdůležitějším prvkům zesilovačů jasu obrazu. Mikrokanálkový zesilovač je skleněná, pokovená destička, na které je 2 až 6 miliónů kanálků (otvorů). Na těchto kanálcích dochází k násobení fotoelektronů, které jsou produkovány fotokatodou. Tento mikrokanálkový zesilovač jasu má velký podíl na geometricky nezkresleném obrazu. U těchto zesilovačů jsou použity i filtry, které potlačují určité části spektra (obvykle zelené). Tyto zesilovače jasu potřebují ke své funkci zdroje elektrického proudu. Nejčastěji tímto zdrojem jsou tužkové baterie, nebo články s vyšší kapacitou.



Obrázek 5 - Zesilovač jasu obrazu s mikrokanálkovou destičkou



Obrázek 6 - Vakuové zesílení toku elektronů



Obrázek 7 - Vakuové zesílení toku elektronů intenzitou elektrického pole

Zesílení toku elektronů může být provedeno dvěma způsoby. První způsob spočívá v zesílení toku zvýšením počtu a energie elektronů. Jak vyplývá z obr. 6, při pohybu elektronu v elektrickém poli, dochází po odrazu elektronu na mikrokanálek k jeho rozštěpení (násobení) a tím se zvyšuje počet elektronů. Pohybem elektronů od katody k anodě se tímto postupem při dalším dopadu elektronu na mikrokanálek násobí jejich počty.

Druhý způsob zesílení toku elektronů se provádí pomocí intenzity elektrického pole (obr. 7). Při průchodu elektronu elektrickým polem je jejich tok zrychlen zvýšením intenzity elektrického pole. Dopadající světlo na fotokatodu uvolňuje z fotokatody elektrony a ty se v elektrickém poli urychlí směrem od katody k anodě. Urychlené elektrony procházejí štěrbinou anody a dopadají na luminofor, kde se vyzáří.

Optoelektronické přístroje mají být použitelné za všech povětrnostních podmínek. Toto je jedním ze základních požadavků. Tyto přístroje pracují v jednom ze třech možných pásmech propustnosti atmosféry. Tato pásma jsou:

- světelná a blízká infračervená oblast, která se pohybuje v pásmu 0,4 až 1,5 μm
- střední infračervená oblast, nachází se v pásmu 3 až 5 μm
- vzdálená infračervená oblast, pásmo 8 až 14 μm

Tato pásma jsou představiteli oblasti kmitočtového spektra s minimálním útlumem šíření atmosférou. Právě pro noktovizory má praktický význam využívání těchto oblastí.

Převaděče obrazu se používají v těch případech, kdy spektrální charakteristika fotokatody použité v zesilovači jasu zasahuje i do oblasti vlnových délek záření sousedících s viditelnou oblastí. Na výstupu zesilovače se objeví i ta část obrazu, která není normálně zrakem vidět. Nejčastěji se jedná o blízký infračervený obor záření – oblast mezi 800 nm a 1 300 nm. Převaděče obrazu z infračervené oblasti mají nejčastější použití ve vojenské technice a při pozorování v noci.

1.2.1 Popis zesilovačů jasu

Výrobou zesilovačů jasu obrazu se zabývá větší množství firem. Mezi ty nejznámější s dosti kvalitními výrobky se řadí ruské firmy: MELZ, KATOD a EKRAN. Evropskou špičkou v tomto oboru i nadále je holandská firma PHOTONIS. Tato společnost vyrábí měniče, jejichž předností je především velmi čistý obraz s minimální zrnitostí a vysokým rozlišením. Tyto přístroje mají velmi kvalitní elektroniku, jsou odolné proti nárazům, vynikají velmi nízkou poruchovostí. V celosvětovém měřítku je nejlepším výrobcem těchto zařízení americká firma ITT.

Stejně jako u všech výrobků, tak i u přístrojů pro noční vidění, je důležité znát, jaké parametry má zesilovač jasu a jaké parametry očekáváme od tohoto přístroje.

K nejdůležitějším parametrům pro posouzení jejich kvality patří: citlivost fotokatody, rozlišení, poměr signál/šum, ale i životnost. Výrobce by měl udávat všechny dostupné parametry daného měniče, jinak nelze přesně posoudit kvalitu měniče.

Citlivost fotokatody – množství el. energie vytvořené dopadem světla na fotokatodu – udává se v μA/lm (jas obrazu). [7]

Rozlišení – udává počet dvojic čar na 1mm dokud je lze rozeznat jako dvě čáry, než splynou v jednu (ostrost obrazu). [7]

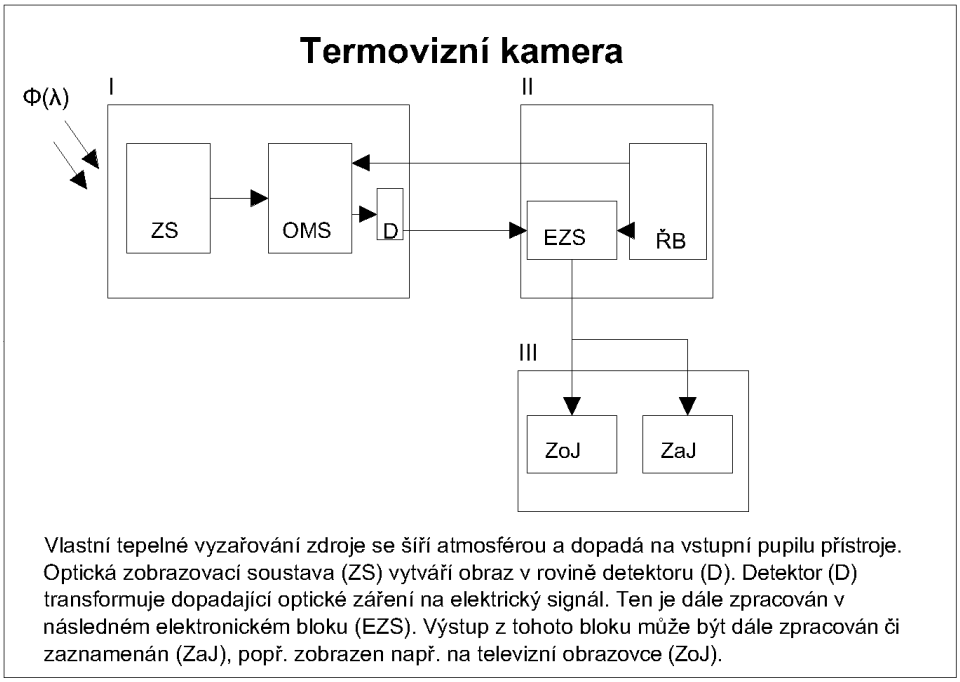
Zesílení jasu měniče – světlo dopadající na fotokatodu měniče je zesíleno v mikrokanálkové destičce a promítáno na obrazovce – kolikrát je světlo zesíleno. [7]

Světelnost objektivu – do obrazu se soustředí tím více světla, čím větší je průměr D vstupní pupily objektivu a čím je vzdálenost p´ obrazové roviny od objektivu menší. Množství světla, které projde objektivem, je úměrné D^2; osvětlení ubývá s druhou mocninou vzdálenosti, takže osvětlení obrazu je přímo úměrné výrazu $\left(\frac{D}{p'}\right)^2$. [5]

1.2.2. Vazba s televizní kamerou

V některých případech nemůžeme výstupní obraz zesilovače jasu obrazu pozorovat klasickým okulárem, např. pokud chceme pozorovat okolí za rohem, okolní zdí. V těchto případech je to nevýhodné, nemůžeme zbraní zamířit za okolní roh, zeď, protože zbraň a zesilovač jasu obrazu tvoří jeden celek. Tuto nevýhodu lze odstranit použitím zesilovače jasu obrazu, který má vazbu na televizní kameru. Zbraň zamíříme za tuto překážku a pozorovatel vidí na televizní kameře, co se děje v daném prostoru.

1.3. Termokamery



Obrázek 8 - Termovizní kamera [2]

Termovizní systém je schopen zpracovávat obrazovou informaci o tepelném vyzařování pozorovaných objektů (termovizního systému). Vlastní vyzařování zdroje se šíří atmosférou a dopadá na vstupní pupilu přístroje. Optická zobrazovací soustava vytváří obraz v rovině detektoru. Základem optické soustavy termovizního systému je, obdobně jako u jiných zobrazovacích systémů, objektiv tvořený spojnou soustavou. Specifikou optických soustav pracujících ve střední a vzdálené infračervené oblasti spektra jsou použité optické materiály. Běžné optické materiály lze použít pouze ve spektrální oblasti viditelného a blízkého infračerveného záření. [2]

Základní vlastnosti termovizního systému:

Pro popis termovizních systémů lze použít většinu parametrů a vlastností definovaných pro přístroje pracující ve viditelné a blízké infračervené oblasti spektra. Jak z obr. 8 vyplývá, zesilovač jasu je v optické soustavě umístněn mezi objektivem a okulárem tak, že fotokatoda leží v obrazové rovině objektivu a luminiscenční stínítko v předmětové ohniskové rovině okuláru. [2]

Princip činnosti termokamer, termovizních systémů je odlišný od noktovizorů. Vyhodnocují tepelné vyzařování a tepelné charakteristiky daných objektů. Tyto přístroje pracují velmi přesně, jejich rozlišovací schopnost dosahuje hodnot 0,05 až 0,03°C. Termovizní systémy mohou pracovat ve dne i v noci a sledovat statické i pohyblivé cíle na vzdálenost 150 až 8 000 m. Ve výjimečných případech až na vzdálenost 20 km. Jejich velkou předností je schopnost odhalovat nejen spuštěné tepelné zdroje (elektrocentrály, spuštěné motory, vysílače, apod.), ale i zdroje, které byly před určitou dobou používány, díky jejich tepelnému vyzařování.

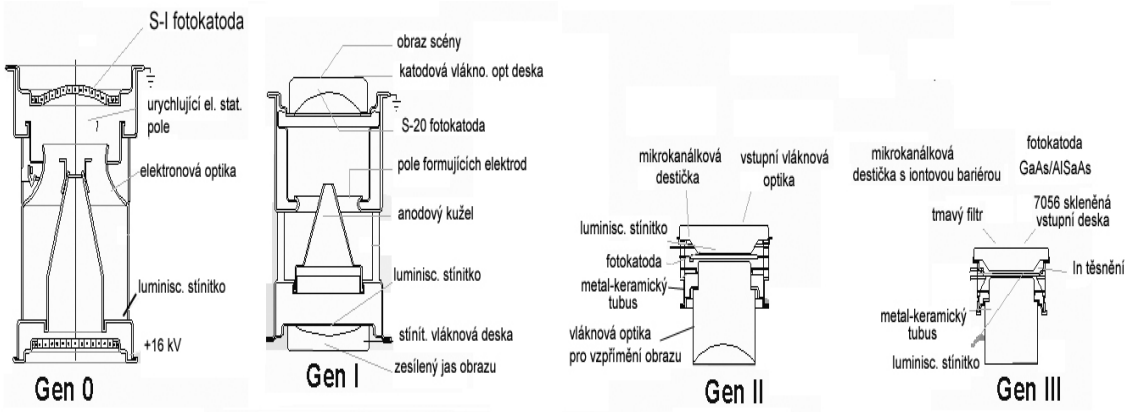
K nevýhodám termovizních systémů patří jejich vyšší hmotnost, neschopnost zobrazovat přirozený obraz prostoru, za nepříznivého počasí, v prašném a zakouřeném prostředí částečné snížení dosahu. Jsou podstatně dražší než noktovizory.

2. Generace noktovizorů

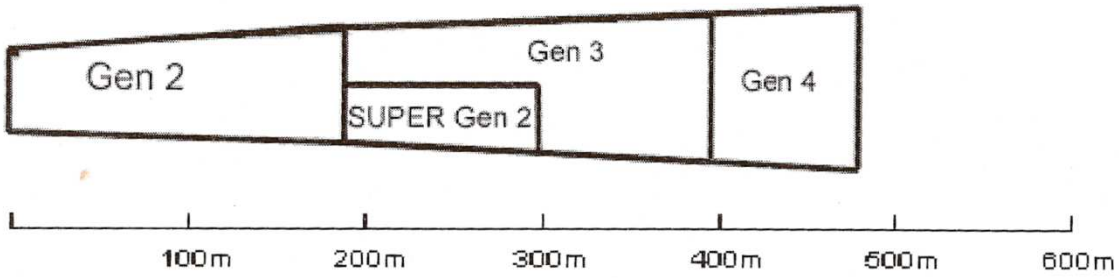
Vybrat vhodný typ, vhodnou generaci a konstrukční provedení noktovizoru je závislé především na konkrétním použití, na podmínkách ve kterých má být přístroj používán a úkolech které má plnit. Pokud chceme noktovizor používat většinou v prostředí s průměrnou až vyšší intenzitou osvětlení (např. obydlené, zastavěné území, která jsou aspoň z části přisvícena buď pouličním osvětlením, nebo nějakým podobným zdrojem), je lepší použít noktovizor 2. (2+. nebo i Supergen) generace. Použití přístroje 3. generace by bylo v těchto světelných podmínkách nevýhodné, neboť by byl nadměrně zahlcen a výstupní obraz by měl vysoký jas a malý kontrast. Pokud ale chceme používat noktovizor hlavně ve volné přírodě, kde je nízká intenzita osvětlení (nemáme umělé zdroje světla, pouze přírodní zdroje-Měsíc, hvězdy, okolní prostředí), je určitě lepší použít noktovizor 3. generace. Toto zařízení je mnohem citlivější na okolní prostředí a mělo by poskytovat obraz nočního bojiště mnohem jasnější a kontrastní a měly by v něm být pro pozorovatele snadno rozlišitelné i malé detaily. Další podmínkou pro spolehlivé použití a provoz je i kvalita samotného přístroje.

Pasivní prostředky pro noční vidění s přímým zesílením jasu pracují na principu přímého zesílení zbytkového světla noční oblohy (hvězd, Měsíce). První noktovizory byly vyráběny začátkem 50. let 20. století, v té době byly i prakticky použity.

Noktovizory se dělí podle typu použitého zesilovače jasu na noktovizory 0., 1., 2., 2+., Supergen a 3. generace. Na obr. 9 je znázorněn postupný vývoj konstrukčního uspořádání zesilovačů jasu obrazu a na obr. 10 orientační dosah nočních zaměřovačů různých generací při osvětlení 10^{-5} lx. Cíl představuje vozidlo, kontrast vozidla vzhledem k pozadí je C=0,3.



Obrázek 9 - Vývoj konstrukčního uspořádání ZJO [3]



Obrázek 10 - Orientační dosah nočních zam. různých generací při osvětlení 10^{-5}lx [3]

2.1. 0. generace noktovizorů

Noktovizory 0. generace využívaly technologie z období druhé světové války. Typickým znakem této generace je použití fotokatody typu S-1, která je tvořena sloučeninou AgOCs. Jejich citlivost se pohybuje ve spektrálním pásmu 450-950 nm. Nejvyšší spektrální citlivosti dosahují do 60 μA/lm v modro-zelené oblasti spektra. K urychlení toku elektronů se využívalo elektrostatické inverze. U těchto přístrojů fotokatoda dosahovala poměrně malé citlivosti. Tyto noktovizory se používaly u aktivních nočních přístrojů, tzn. u přístrojů, které ke své činnosti potřebují pomocný IR ozařovač. Z tohoto důvodu se rovněž tyto přístroje nazývaly aktivní noktovizory. Další nevýhodou je snadná odhalitelnost protivníkem z důvodu používání IR ozařovače. V dnešní době se téměř nepoužívají.

2.2. 1. generace noktovizorů

Noktovizory 1. generace byly vyvinuty v 60. letech 20. stol. a i v dnešní době jsou používány. U těchto přístrojů je nejčastěji využita fotokatoda typu S-20 (s fotointenzitou 180 ÷ 200 μA/lm) a k urychlení fotoelektronů se rovněž používá elektrostatické inverze, tím je dosaženo požadovaného zisku. Tyto přístroje ke své činnosti sice nevyžadují pomocný zdroj infračerveného záření, ale v mnoha případech je i u této generace používán tento zdroj k dosažení lepších výsledků pozorování. Nevýhodou těchto přístrojů je celkem vysoké geometrické zkreslení a poměrně nízká životnost, která dosahuje několika málo stovek hodin. Jejich provoz je již prakticky nezjistitelný protivníkem, až na některé výjimky , kdy je například použit IR ozařovač.

U těchto měničů hrozí poškození objektivu, pokud sundáme krytku objektivu při vysoké úrovni osvětlení, např. ve dne. Důvod poškození spočívá v tom, že tyto měniče nemají automatickou regulaci zesílení jasu obrazu, ani ochranu proti přesycení nadměrným světlem. Pokud dojde při nočním pozorování blízkých předmětů k ozáření infračerveným ozařovačem, je obrazovka značně rozjasněna a není možné pozorovat vzdálenější prostory, které mají nižší intenzitu světla. Pokud je toto ozáření delší, může nastat i trvalé poškození tohoto měniče. Praktický dosah těchto měničů je kolem 100 m.

2.3. 2. generace noktovizorů

Noktovizory 2. generace byly vyvinuty v 70. letech 20. stol. Tyto přístroje používají ke své činnosti zpravidla fotokatodu typu S-25, která má rozšířenou citlivost v červené spektrální oblasti. K dosažení lepších vlastností je zde využita nová technologie mikrokanálkového zesilovače. Citlivost fotokatody dosahuje hodnoty až 240 μA/lm. K zesílení jasu obrazu je použit mikrokanálkový zesilovač. Tyto přístroje dosahují vysoké výkonnosti při nízkých úrovních jasu obrazu a jsou podstatně citlivější než předchozí generace. Ke své činnosti nepotřebují IR ozařovače. Životnost těchto přístrojů dosahuje až 4 000 provozních hodin.

2.4. 2+. generace noktovizorů

Noktovizory 2+. generace jsou přístroje s kvalitnějším zesilovačem jasu obrazu se zvýšenou citlivostí, které byly vyrobeny v 80. letech 20. stol. U těchto přístrojů je zajištěna ochrana a adaptace při změnách intenzity osvětlení. Citlivost fotokatody se pohybuje v rozmezí hodnot 350 až 800 μA/lm. Mikrokanálková destička má přibližně 10 miliónů otvorů (kanálků), kde dochází k násobení elektronů a jejich následnému přenosu na fosforovou obrazovku. Zesílení dosahuje hodnot kolem 10 000 – 50 000 x.

Přístroje této generace mají již po celé ploše obrazovky obraz stejně ostrý, nedochází ke zkreslení oproti 1. generaci. Jsou rovněž vybaveny ochranou a automatickou regulací proti nadměrnému osvětlení. Měniče mají životnost v rozmezí 2 000 - 15 000 hodin, praktický dosah podle typu měniče 100 – 250 m.

2.5. supergen generace noktovizorů

Přístroje generace Supergen tvoří přechod mezi generacemi 2+. a 3. Přístroje této generace dosahují v mnoha případech kvalit přístrojů 3. generace.

2.6. 3. generace noktovizorů

Noktovizory 3. generace byly poprvé vyrobeny v 90. letech 20. stol. a neustále se zdokonalují. Tyto přístroje jsou v dnešní době nejrozšířenější pro svou vysokou rozlišovací schopnost zesilovače jasu obrazu, zisk, geometrickou přesnost, malý šum a snadnou přizpůsobivost danému prostředí. Je zde použita fotokatoda GaAs a využívá se proximitní fokusace kanálkovou destičkou a GaAs fotokatodou. Tato fotokatoda patří k fotokatodám s tzv. negativní elektronovou afinitou. Tyto fotokatody jsou netečné na modré světlo, v zelené oblasti mají malou citlivost a pro infračervenou oblast je citlivost 1 500-2 700 μA/lm ve spektrálním pásmu mezi 900-1 300 nm. Technická životnost je prodloužena až 10 000 provozních hodin. Praktický dosah, podle typu použitého měniče, dosahuje hodnot 150-400 m. Zesílení je 30 000 – 70 000 krát. Tyto přístroje nepotřebují ke své činnosti IR ozařovače.

Čtvrtá generace noktovizorů je pojem, který se používá pouze v USA. Evropští výrobci s tímto termínem nesouhlasí. Tvrdí, že se jedná o stejné přístroje, které patří do 3. generace. Noktovizory 4. generace nemají iontovou past. K tomu, aby mohla být tato past odstraněna, je nutné zmenšit obsah plynů v elektronce (zejména dusíku a kyslíku). Odstranění těchto plynů se dosahuje při vysokých teplotách ve vakuu. Po odstranění iontové pasti dojde ke zvýšení citlivosti fotokatody a z toho vyplývá zvýšená citlivost při velmi nízkých úrovních osvětlení.

3. Stanovení zaměřovače a jeho parametrů

V této části bakalářské práce je provedeno hodnocení a výběr zaměřovače pro vybranou zbraň. Vždy je nutné pro danou zbraň vybírat určitý typ zaměřovače, ne opačně. Zbraň není určená pro zaměřovač, ale zaměřovač je určen pro konkrétní zbraň.

3.1. Volba zbraně

Na základě zadání bakalářské práce a po konzultaci s vedoucím bakalářské práce bylo rozhodnuto stanovit technické požadavky na noční zaměřovač pro odstřelovačskou pušku CZ 700 M1 (obr. 11). Důvod výběru je ten, že se jedná o zbraň české výroby a navíc přímo i České zbrojovky Uherský Brod. Tato zbraň má kladné hodnocení v praxi a je to typický zástupce odstřelovacích pušek.

Obrázek 11 - Odtřelovací puška CZ 700 M1 [14]

Odstřelovací puška CZ 700 SNIPER M1, ráže .308 Win. je konstruována podle posledních požadavků družstev odstřelovačů na zbraně tohoto typu. Puška je určena k eliminaci živých cílů protivníka s vysokou účinností a ničení nepancéřovaných, příp. lehce obrněných cílů. Celková délka této zbraně je 1 142 mm, hmotnost 5 400 g. Kapacita zásobníku je 10 nábojů. Počáteční rychlost střely 890 m/s. Účinný dostřel kolem 800 m. K hlavním přednostem patří vysoká spolehlivost a vysoká pravděpodobnost zásahu cíle po celou dobu životnosti zbraně (10 000 ran, hlaveň 5 000 ran), snadná údržba, odolnost proti poškození. [14]

Odstřelovací puška CZ 700 SNIPER je opakovací puška s válcovým závěrem a otočnou klikou závěru. Uzamykání je provedeno trojicí axiálních ozubů ve dvou řadách umístěných na klice závěru. Snadno vyměnitelná hlaveň je našroubována na uzamykací rozměr do pouzdra zbraně a zajištěna dvojicí šroubů proti povolení. Spoušťový mechanismus je plně regulovatelný. Regulačními šrouby lze nejen regulovat odpor spouště do 20 N, ale i délku chodu spouště před spouštěním, odpor a délku namáčknutí

spouště. Povolením stranových šroubů lze v axiálním směru posouvat jazýček spouště. Používaný zásobník má kapacitu 10 nábojů. Pažba je vyrobena z vrstveného dřeva, zaručující vysokou odolnost proti klimatickým podmínkám a její stálost. Pažba je doplněna stavitelnou botkou a regulovatelnou lícnicí. Zbraň je dodávána s optickým zaměřovačem dle přání zákazníka jakékoliv značky. [14]

3.2. Výběr generace ZJO

Jak bylo v kapitole 2 uvedeno, v současné době dospěl vývoj nočních zaměřovačů počínaje (nultou) první generací až ke čtvrté generaci. Je to určitě velký pokrok, kdy v nulté generaci byly používány pouze aktivní zesilovače. První generace je možná ještě z části používala. Ve 2. generaci jsou již použity pouze pasivní přístroje, které se v následujících generacích zdokonalovaly. Pro běžné použití je 2+. generace plně dostačující.

U 2. generace je použit násobič elektronů, jehož funkce je založena na využití sekundární elektronové emise. V mikrokanálkové destičce dochází k násobení fotoelektronů a ke zvýšení jejich energie. Mikrokanálková destička je tvořena tenkou, skleněnou, polovodivou destičkou, ve které je mnoho otvorů, tzv. kanálků. Průměr kanálku se pohybuje v rozmezí hodnot 6 až 10 µm a délka kanálku je kolem 0,5 mm. Na vnitřní stěnu kanálků bývá nanesena tenká vrstva CsI nebo CuI. Zesilovač mívá jednu až tři takové destičky. Čím více destiček, tím je vyšší celkové zesílení, ale dochází k poklesu rozlišovací schopnosti. Rozlišovací schopnost je závislá na rozptylu elektronů, které z předcházející destičky vystupují a vstupují do následující destičky.

Celkový dynamický rozsah a rozlišovací schopnost jsou nižší oproti 1. generaci, ale zisk naopak dosahuje vyšších hodnot a to u zesilovačů s jednou destičkou až 104 lm/lm a u zesilovačů se dvěma destičkami až 107 lm/lm.

Mezi evropské výrobce noktovizorů, jejichž výrobky dosahují velmi vysoké kvality patří holandská firma PHOTONIS. Vyrábí v řadě 2+, supergen, přístroje typu XD 4, XR 5. Nejkvalitnější je asi přístroj typu XR5, který je vybaven technologií autogating, jež umožňuje činnost přístroje jak ve dne, tak i v noci. Pro denní provoz musí mít noční přístroje zavřenu krytku objektivu. Přístroje typu ONYX mají schopnost

zobrazovat obraz černobíle, na rozdíl od ostatních přístrojů, jež zobrazují obraz zelené barvy. Všechny tyto měniče mají čistý, ostrý obraz s velmi malou zrnitostí. Jsou odolné proti nárazům. Zesílení jasu dosahuje vysokých hodnot, poruchovost je minimální. Životnost je 15 000 hodin, dosah 300-400 m.

Tabulka 1 - Parametry měničů gen. 2+ dodávaných společností Nighttech [7]

Výrobce	Typ	Rozlišení	Citlivost fotokatody	Signál / šum	Zesílení jasu	Životnost (hod.)	Orient. cena (Kč)
USA	2+ MS	38 ÷ 45	350	15	15 000	2 500	50 000
Rusko	Ekran	38 ÷ 45	325	15	20 000	5 000	
Rusko	Ekran	45 ÷ 50	540	18	25 000	5 000	60 000
Rusko	Melz-A	58	600	20	30 000	5 000	
Rusko	Melz-D	60	650	22	35 000	5 000	90 000
Holandsko	DEP-0	50	500	13 ÷ 18	35 000	5 000	90 000
Holandsko	Výběr	60 ÷ 70	600 ÷ 750	20 ÷ 25	40 000	5 ÷ 10 000	105 000
Holandsko	XR 5	64 ÷ 72	700 ÷ 800	24 ÷ 28	45 000	15 000	175 000
USA	ITT	64 ÷ 72	2 400	26 ÷ 30	55 000	10 000	

V tab. 1 jsou uvedeni jedni z předních světových výrobců noktovizorů. Asi nejkvalitnější přístroje v dnešní době vyrábí společnost ITT z USA, v Evropě je to společnost PHOTONIS. Dosti kvalitní přístroje vyrábějí i společnosti Dedal a Dipol z bývalé ruské federace.

Tabulka 2 - Charakteristické hodnoty ZJO 2+. generace [3]

Rozlišení	**Min.**	**Typické**	**Max.**	
Limitní rozlišení	32	36		čar/mm
MTF	**Min.**	**Typické**	**Max.**	
2,5 čar/mm		86		%
7,5 čar/mm		58		%
15 čar/mm		28		%
odstup signal šum	**Min.**	**Typické**	**Max.**	
S/N (13µlx)	4,5			
další údaje	**Min.**	**Typické**	**Max.**	
lum. stínítko:P20 (nebo P22 a P43)				
HALO		1,0		mm
zesílení (2.10^{-5}lx)	$10^4/\pi$		$5.10^4/\pi$	$cd.m^{-2}.lx^{-1}$
Max. výstupní jas	2		17	$cd.m^{-2}$
E.B.I		0,15	0,25	µlx
svět. citlivost 2850K	300	450		$\mu A.lm^{-1}$
Rad. Citlivost 800nm		40		$mA.W^{-1}$
Rad. Citlivost 850nm		30		$mA.W^{-1}$
výst. Citlivost 2850K		2:1	3:1	
hmotnost (18mm)		80	98	g
šoková odolnost	75			g

V tab. 2 jsou uvedeny charakeristické hodnoty ZJO 2+. generace. U generace 2+ je dosaženo daleko kvalitnějších parametrů oproti předcházejícím generacím, jak vyplývá z tabulky.

U měničů tzv. „4.“ generace, které mají autogating je citlivost 2 100 až 2 700 mA/lm. Jsou to výrobky americké firmy ITT Night Vision, které ke svým potřebám využívá americká armáda. Vývoz těchto přístrojů z USA je ale přísně zakázán. Tato společnost je vyrábí v několika kategoriích - OMNI III, IV, V, VI, VII. Pokud dojde ke srovnání těchto výrobků a výrobků holandské společnosti PHOTONIS – XR 5, tak dojdeme k závěru že měniče společnosti PHOTONIS mají vyšší šum, jsou méně citlivé na zbytkové světlo a mají méně jasnější obraz žluté barvy. Přístroj je odolný vůči krátkodobému vysokému osvětlení, ale není konstruován pro denní použití s otevřenou krytkou objektivu.

Tabulka 3 - Charakteristické hodnoty ZJO 3. generace [3]

Rozlišení	**Min.**	**Typické**	**Max.**	
Limitní rozlišení	64	70		čar/mm
MTF	**Min.**	**Typické**	**Max.**	
2,5 čar/mm		93		%
7,5 čar/mm		82		%
15 čar/mm		67		%
25 čar/mm		46		%
30 čar/mm		35		%
odstup signal šum	**Min.**	**Typické**	**Max.**	
S/N (108µlx)	25	28		
Lum. Stínítko dynam. rozsah	Min.	Typické	Max.	
Automat. řízení jasu	10^{-6}		5.10^{-4}	lx
další údaje	**Min.**	**Typické**	**Max.**	
lum. stínítko:P20				
bezporuchovost	15.000			hodin
zesílení (2.10^{-5}lx)	$3.10^{4}/\pi$		$5.10^{4}/\pi$	$cd.m^{-2}.lx^{-1}$
Max. výstupní jas	2		17	$cd.m^{-2}$
E.B.I			0,25	µlx
svět. citlivost 2850K	700	800		$\mu A.lm^{-1}$
Rad. Citlivost 800nm	65	78		$mA.W^{-1}$
Rad. Citlivost 850nm	50	65		$mA.W^{-1}$
vstupní napětí	2		3,7	V
vstupní proud			35	mA
výst. homogenita 2850K		1,8:1	3:01	
hmotnost (18mm)		80	98	g
šoková odolnost	500			g

Pokud porovnáme hodnoty uvedené v tab. 2 s hodnotami uvedenými v tab. 3 je zde patrný dosti velký rozdíl v generacích 2+. a 3. generaci. Hodnoty rozlišení jsou dvojnásobné oproti předcházející generaci. Obdobným porovnáváním bychom mohli srovnávat všechny parametry uvedené v tabulkách.

Jak již bylo uvedeno, tak v celosvětovém měřítku patří k nejkvalitnějším výrobcům puškových nočních zaměřovačů ruské společnosti Dedal a Dipol, americké společnosti Bresser, Yukon, ITT, holandské společnosti. V České republice se výrobou puškových zaměřovačů, nejen denních, ale i nočních, zabývá především společnost Meopta s.r.o. Přerov.

3.2.1. Dedal

Dedal je ruská společnost, která vyrábí, dodává, montuje, ale i následně provádí servis přístrojů pro noční vidění, puškových nočních zaměřovačů, brýlí pro noční, ale i kombinované použití den/noc. Společnost Dedal je známá po celém světě.

Tabulka 4 - Parametry puškových zaměřovačů společnosti Dedal [11]

Technické charakteristiky:	Dedal-180 (64)	Dedal-180 (100)	Dedal-470 (100)	Dedal-470 (165)	Dedal-470 (110)
Zvětšení	1,8 (3,6)	2,8	3,7	6	3,9
Zorné pole (deg)	17 (8)	10	10	6,3	10
Objektiv	64 mmF/1.2	100 mmF/1.5	100 mmF/1.5	165 mmF/2.0	110 mmF/1.26
Vzdálenost výstupní pupily (mm)	45	45	45	45	45
Dioptrie nastavení (D)	+4, -4	+4, -4	+3, -4	+3, -4	+3, -4
Celkové rozměry (mm)	190x89x79	280x89x79	250x88x80	310x88x80	250x88x80
Hmotnost (kg)	0,7	0,83	0,9	1,2	0,9
Napájení- baterie typu AA	2 ks	2 ks	2 ks	2 ks	2 ks
Feed napětí (V)	3	3	3	3	3
Životnost baterie (h)	60	60	60	60	60
Typ zkumavky	Gen 1	Gen 1	II+, XR+5	II+, XR+5	III
Citlivost fotokatody (µA/lm)	min. 350	min. 350	340-1800	340-1800	340-1800
Gain	800	800	25000-45000	25000-45000	25000-45000
Usnesení (lp/mm)	50	50	36-70	36-70	36-70
Provozní teplota	-40℃ až +50℃	-40℃ až +50℃	-40℃ až +50℃	-40℃ až +50℃	-40℃ až +50℃
Relativní vlhkost (%)	až 98	až 98	až 98	až 98	až 98

Jak z tabulky 4 vyplývá, jedním z kvalitních výrobků společnosti Dedal je výrobek Dedal 470. Tento přístroj patří k tzv. 2+. generaci nočních zaměřovacích přístrojů. Je to dosti kvalitní přístroj, který má kvalitní optickou část, jejíž zvětšení je 6x, použitý objektiv je F165/2. Používá infračervený diodový ozařovač, ochranu proti bodovým zdrojům světla a automatickou regulaci zesílení jasu obrazu. Přístroj je vodotěsný.

3.2.2. Meopta

Společnost Meopta s.r.o. Přerov patří k nejznámějším a největším výrobcům opticko-mechanických přístrojů v České republice. Zabývá se i výrobou puškových nočních zaměřovačů. Mezi nejznámější a nejpoužívanější puškové noční zaměřovače patří výrobky MEO 50 a ZN 6x.

MEO 50 je zaměřovač pro noční použití na palné zbraně. Nejčastěji bývá použit na samopalech, ale je vhodný i na jednorázové a vícerázové pancéřovky či odstřelovačské pušky. Zaměřovač MEO 50 má použit mikrokanálkový převaděč XD-4, nebo zesilovač XR-5, který je vhodný jak pro noční, tak i pro denní použití.

ZN 6x je noktovizní přístroj, určený k zamíření zbraně za snížené viditelnosti a v noci při střelbě na vzdálenější cíle. Má použit mikrokanálkový zesilovač jasu obrazu generace 2+. Při denním použití je třeba na objektiv nasadit krytku, jako ochranu proti přesvícení. ZN 6x je určen především pro kulové zbraně.

V následující tabulce č.5 jsou shrnuty základní parametry obou přístrojů.

Tabulka 5 - Zesilovače jasu obrazu [12]

Model	MEO 50	ZN 6x
Zvětšení	3x	6x
Zorné pole	11°	5,5°
Rozlišovací mez	2,2´	45´´
Rozsah nastavení rektifikace	± 100´	± 108´
Dosah pozorování v noci	400 m	100m ÷ 1 100 m
Napájení	2 ÷ 3,5 V	2 ÷ 3,5 V
Rozsah pracovních teplot	-35 ÷ +52°C	-35 ÷ +50°C
Rozměry	190x115x280	135x140x250
Hmotnost	1,2	3,3

3.3. Hodnocení dosahu zaměřovače

Našim úkolem v této části bakalářské práce je stanovit parametry zaměřovače, které by měl navrhnutý přístroj splňovat. Tento výpočet bude rozdělen na dvě části. V první části budeme počítat dosahy různých zaměřovačů za stanovených podmínek a ve druhé části budeme navrhovat ohniskovou vzdálenost objektivu.

3.3.1. Volba vhodného zaměřovače

Dosah pozorovacího přístroje je parametr, který charakterizuje možnosti využití přístroje. Dosah pozorovacího přístroje udává vzdálenost, na kterou je daným pozorovacím přístrojem možné detekovat, případně rozpoznat nebo identifikovat vybraný cíl. [2]

Při určování dosahů přístrojů vycházíme z následujícího vztahu:

$$s_{\max} = \frac{f.h}{N} \qquad [2]$$

Nejprve je třeba stanovit základní parametry a z těchto parametrů následně vycházet při výpočtu. Zaměřovač je navržen pro odstřelovací pušku CZ 700 M1, jejíž základní parametry a stručný popis jsou uvedeny v kapitole 3.1. této bakalářské práce. Typickým cílem této odstřelovací pušky bude člověk, jehož výška je 1,8 m a cíl bude ve vzdálenosti 500 m. Budeme hledat zaměřovač, který musí splňovat tuto vzdálenost. Tyto vypočtené hodnoty jsou pro ideální podmínky, takže je třeba k těmto vypočteným dosahům připočíst rezervu, která bude zastupovat ztráty, jako jsou přírodní podmínky, odpor vzduchu a různé nepřesnosti.

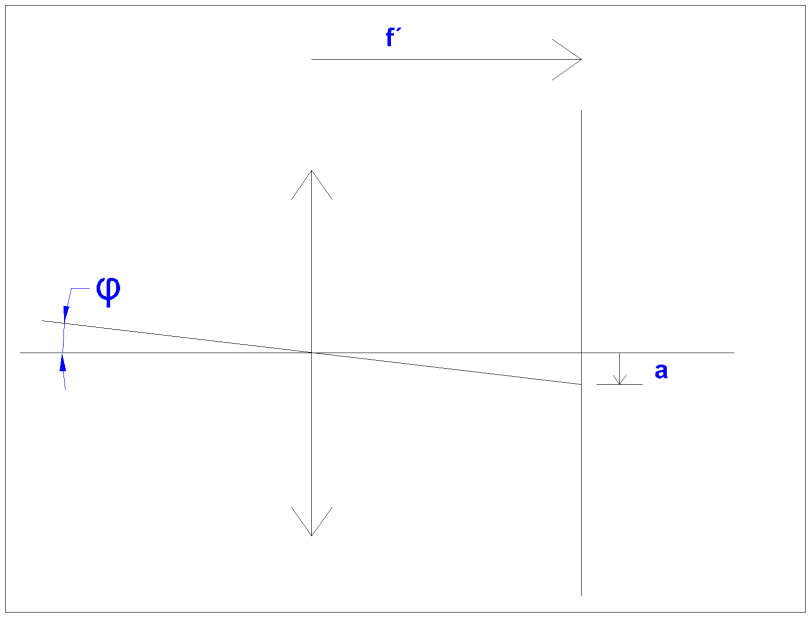
Na základě průzkumu bylo vybráno šest různých zesilovačů jasu obrazu 2+. generace od třech různých výrobců. Pro 80-ti, 90-ti a 95-ti procentní pravděpodobnost rozlišení cíle vypočten počet čar ekvivalentního testu při minimální, střední a maximální rozlišovací schopnosti. Tímto jsme získali pro jeden typ zesilovače jasu obrazu 9 různých hodnot dosahů. V tab. 6 jsou uvedeny ohniskové vzdálenosti a rozlišovací schopnosti pro vybrané zesilovače jasu obrazu.

Tabulka 6 - Ohniskové vzdálenosti a rozlišovací schopnosti pro vybrané typy zaměřovačů

	ohnisková	Rozlišovací schopnost		
	vzdálenost	min.	střed.	max.
DEDAL 440	80	35	40	45
DEDAL 450	100	40	45	50
DEDAL 530	100	60	66	72
MINI 14	25	58	65	72
DIPOL 641	80	58	65	72
DIPOL 741	100	58	65	72

Ověření dosahu zaměřovače

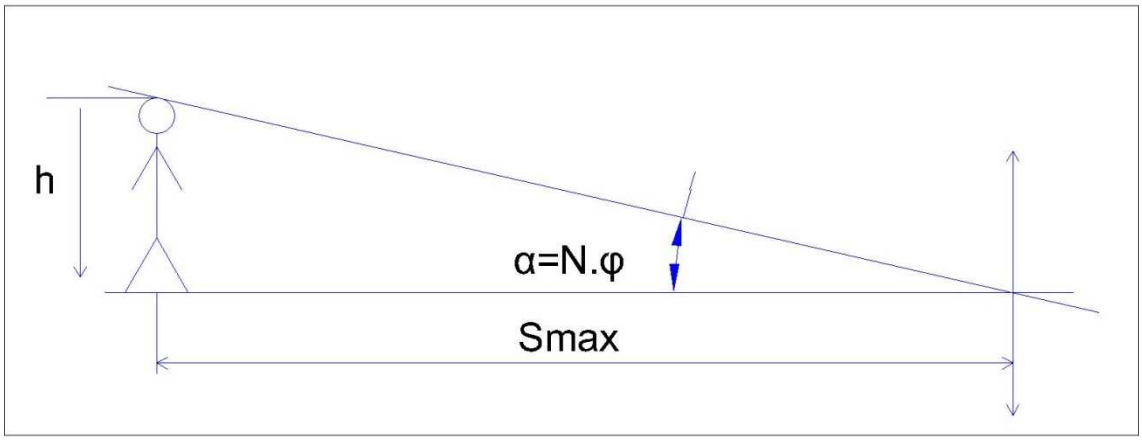
Při výpočtu úhlu rozlišení vycházíme ze schéma podle obr. 12. Obrázek znázorňuje hodnoty, které jsou potřebné k výpočtu stanovení rozlišovací schopnosti. Ze zadaného úhlu rozlišení a dané rozlišovací schopnosti jsme schopni vypočítat ohniskovou vzdálenost objektivu. Zadané neznámé veličiny mohou být i jiné a můžeme počítat kteroukoliv jinou veličinu. Našim úkolem je zjistit maximální dosah takovéhoto zaměřovače za ideálních podmínek.



Obrázek 12 - Rozlišovací schopnost ZJO

Podle obr. 12 vypočteme úhel rozlišení pro jednotlivé zesilovače jasu obrazu. Při výpočtu vycházíme z vlastností goniometrických funkcí a pravoúhlého trojúhelníku. Následující výpočty jsou pro zaměřovač DEDAL 440.

DEDAL 440:



Obrázek 13 - Dosah ZJO

Při výpočtu dosahu zesilovače jasu obrazu postupujeme podobně, jako při určování rozlišovací schopnosti ZJO. Pro určení dosahu musíme znát alespoň dvě veličiny a třetí dopočítat podle obr. 13. Známe úhel rozlišení φ, počet cyklů ekvivalentního testu N, výšku cíle h (kritický rozměr cíle) a máme vypočíst maximální dosah zaměřovače. Opět vycházíme z vlastností goniometrických funkcí a pravoúhlého trojúhelníku.

Pro 80-ti, 90-ti a 95-ti procentní pravděpodobnost rozlišení cíle zjistíme výpočtem počet čar ekvivalentního testu. Při výpočtu vycházíme z následujícího vzorce:

$$P_{(N)} = \frac{\left(\frac{N}{N_{50}}\right)^{\left[2,7+0,7.\left(\frac{N}{N_{50}}\right)\right]}}{1+\left(\frac{N}{N_{50}}\right)^{\left[2,7+0,7.\left(\frac{N}{N_{50}}\right)\right]}} \qquad [2]$$

Po dosazení a výpočtu dosáhneme následujících výsledků:

Počet cyklů ekvivalentního testu pro 80%-ní rozlišení cíle: $N_{80} = 11{,}616832$

Počet cyklů ekvivalentního testu pro 90%-ní rozlišení cíle: $N_{90} = 14{,}002225$

Počet cyklů ekvivalentního testu pro 95%-ní rozlišení cíle: $N_{95} = 16{,}324384$

Úhel rozlišení φ: $$\varphi_{\min} = \tan^{-1}\left(\frac{1/35}{80}\right) = 3{,}57142857.10^{-4}[rad] = 0{,}02046277°$$

Výpočet dosahu pro N_{80}=11,616832 cyklů při minimální rozlišovací schopnosti.

$$\tan(\alpha) = \frac{1{,}8}{s_{\max}} \quad => \quad s_{\max} = \frac{1{,}8}{\tan\left(11{,}616832 * 3{,}57142857 * 10^{-4}\right)} = 433{,}85m$$

Zaměřovač má za ideálních podmínek, při minimální rozlišovací schopnosti a 80%-ní pravděpodobnosti splnění průzkumné úlohy dosah 433,85 m.

Úhel rozlišení φ: $$\varphi_{střtř} = \tan^{-1}\left(\frac{1/40}{80}\right) = 3{,}125.10^{-4}[rad] = 0{,}01790493°$$

Výpočet dosahu pro N_{80}=11,616832 cyklů, při střední rozlišovací schopnosti.

$$\tan(\alpha) = \frac{1{,}8}{s_{\max}} \quad => \quad s_{\max} = \frac{1{,}8}{\tan\left(11{,}616832 * 3{,}125 * 10^{-4}\right)} = 495{,}83m$$

Zaměřovač má za ideálních podmínek, při střední rozlišovací schopnosti a 80%-ní pravděpodobnosti splnění průzkumné úlohy dosah 495,83 m.

Úhel rozlišení φ: $$\varphi_{\max} = \tan^{-1}\left(\frac{1/45}{80}\right) = 2{,}7778.10^{-4}[rad] = 0{,}015915493°$$

Výpočet dosahu pro N_{80}=11,616832 cyklů, při maximální rozlišovací schopnosti.

$$\tan(\alpha) = \frac{1{,}8}{s_{\max}} \quad => \quad s_{\max} = \frac{1{,}8}{\tan\left(11{,}616832 * 2{,}7778 * 10^{-4}\right)} = 557{,}80m$$

Zaměřovač má za ideálních podmínek, při maximální rozlišovací schopnosti a 80%-ní pravděpodobnosti splnění průzkumné úlohy dosah 557,80 m.

Úhel rozlišení φ: $$\varphi_{\min} = \tan^{-1}\left(\frac{1/35}{80}\right) = 3{,}57142857.10^{-4}[rad] = 0{,}02046277°$$

Výpočet dosahu pro N_{90}=14,002225 cyklů, při minimální rozlišovací schopnosti.

$$\tan(\alpha) = \frac{1{,}8}{s_{\max}} \quad => \quad s_{\max} = \frac{1{,}8}{\tan\left(14{,}002225 * 3{,}57142857 * 10^{-4}\right)} = 359{,}94m$$

Zaměřovač má za ideálních podmínek, při minimální rozlišovací schopnosti a 90%-ní pravděpodobnosti splnění průzkumné úlohy dosah 359,94 m.

Úhel rozlišení φ: $$\varphi_{střtř} = \tan^{-1}\left(\frac{1/40}{80}\right) = 3{,}125.10^{-4}[rad] = 0{,}01790493°$$

Výpočet dosahu pro N_{90}=14,002225 cyklů, při střední rozlišovací schopnosti.

$$\tan(\alpha) = \frac{1{,}8}{s_{\max}} \quad => \quad s_{\max} = \frac{1{,}8}{\tan\left(14{,}002225 * 3{,}125 * 10^{-4}\right)} = 411{,}36m$$

Zaměřovač má za ideálních podmínek, při střední rozlišovací schopnosti a 90%-ní pravděpodobnosti splnění průzkumné úlohy dosah 411,36 m.

Úhel rozlišení φ: $$\varphi_{\max} = \tan^{-1}\left(\frac{1/45}{80}\right) = 2{,}7778.10^{-4}[rad] = 0{,}015915493°$$

Výpočet dosahu pro N_{90}=14,002225 cyklů, při maximální rozlišovací schpnosti.

$$\tan(\alpha) = \frac{1{,}8}{s_{\max}} \quad => \quad s_{\max} = \frac{1{,}8}{\tan\left(14{,}002225 * 2{,}7778 * 10^{-4}\right)} = 462{,}77m$$

Zaměřovač má za ideálních podmínek, při maximální rozlišovací schopnosti a 90%-ní pravděpodobnosti splnění průzkumné úlohy dosah 462,77 m.

Úhel rozlišení φ: $\varphi_{\min} = \tan^{-1}\left(\frac{1/35}{80}\right) = 3{,}57142857.10^{-4}[rad] = 0{,}02046277°$

Výpočet dosahu pro N_{95}=16,324384 cyklů, při minimální rozlišovací schopnosti.

$\tan(\alpha) = \frac{1{,}8}{s_{\max}}$ => $s_{\max} = \frac{1{,}8}{\tan\left(16{,}324384 * 3{,}57142857 * 10^{-4}\right)} = 308{,}73m$

Zaměřovač má za ideálních podmínek, při minimální rozlišovací schopnosti a 95%-ní pravděpodobnosti splnění průzkumné úlohy dosah 308,73 m.

Úhel rozlišení φ: $\varphi_{střtř} = \tan^{-1}\left(\frac{1/40}{80}\right) = 3{,}125.10^{-4}[rad] = 0{,}01790493°$

Výpočet dosahu pro N_{95}=16,324384 cyklů, při střední rozlišovací schopnosti.

$\tan(\alpha) = \frac{1{,}8}{s_{\max}}$ => $s_{\max} = \frac{1{,}8}{\tan\left(16{,}324384 * 3{,}125 * 10^{-4}\right)} = 352{,}84m$

Zaměřovač má za ideálních podmínek, při střední rozlišovací schopnosti a 95%-ní pravděpodobnosti splnění průzkumné úlohy dosah 352,84 m.

Úhel rozlišení φ: $\varphi_{\max} = \tan^{-1}\left(\frac{1/45}{80}\right) = 2{,}7778.10^{-4}[rad] = 0{,}015915493°$

Výpočet dosahu pro N_{95}=16,324384 cyklů, při maximální rozlišovací schopnosti..

$\tan(\alpha) = \frac{1{,}8}{s_{\max}}$ => $s_{\max} = \frac{1{,}8}{\tan\left(16{,}324384 * 2{,}7778 * 10^{-4}\right)} = 396{,}94m$

Zaměřovač má za ideálních podmínek, při maximální rozlišovací schopnosti a 95%-ní pravděpodobnosti splnění průzkumné úlohy dosah 396,94 m.

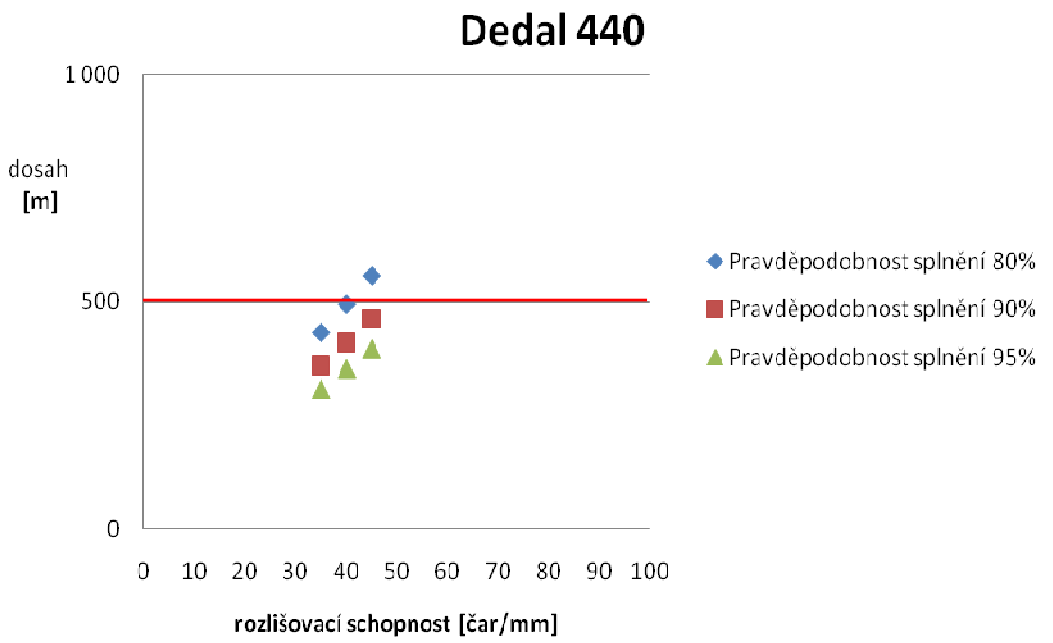
Předcházejícími výpočty jsme zjišťovali dosah pro zaměřovač typu Dedal 440 při minimální, střední a maximální rozlišovací schopnosti pro 80ti, 90ti a 95ti procentní pravděpodobnost splnění úkolu. Obdobně můžeme určit dosahy pro další typy zaměřovačů s jinými parametry (rozlišení a ohnisková vzdálenost).

Tabulka 7 - Vypočtené dosahy zaměřovačů

	80%ní pravděpodobnost splnění			90%ní pravděpodobnost splnění			95%ní pravděpodobnost splnění		
	Dosah zaměřovače (m)			Dosah zaměřovače (m)			Dosah zaměřovače (m)		
	min. rozliš. schop.	střed. rozliš. schop.	max. rozliš. schop.	min. rozliš. schop.	střed. rozliš. Schop.	max. rozliš. schop.	min. rozliš. schop.	střed. rozliš. schop.	max. rozliš. schop.
MINI 14	224,67	251,78	278,9	186,39	208,89	231,38	159,88	179,17	198,47
DEDAL 440	433,85	495,83	557,8	359,94	411,36	462,77	308,73	352,84	396,94
DEDAL 450	619,78	697,96	773,73	514,2	579,05	642,75	441,05	496,68	551,32
DEDAL 530	929,66	1022,65	1115,62	771,29	848,43	925,56	661,58	727,74	793,9
DIPOL 641	718,95	805,72	892,49	596,47	668,46	740,45	511,62	573,37	635,12
DIPOL 741	898,69	1007,15	1115,62	745,59	835,58	925,56	639,53	716,71	793,9

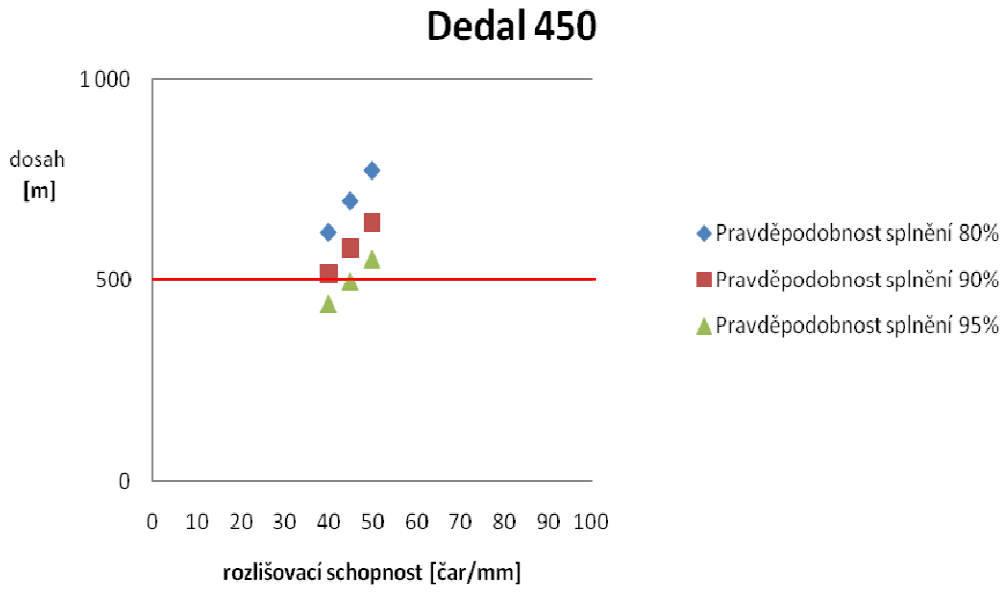
Výsledky výpočtů jsou uvedeny v tab. 7. Červeně označené hodnoty našemu požadavku nevyhovují, naopak zeleně označené hodnoty náš požadavek splnily. Našim úkolem je navrhnout zaměřovač, který bude schopen zamířit na cíl do vzdálenosti 500 metrů. Z uvedených zaměřovačů našemu požadavku vyhovují jen zaměřovače Dedal 530, Dipol 641 a Dipol 741. Ostatní zaměřovače nesplnily všechny naše podmínky.

S vyšší rozlišovací schopností se zvyšuje i dosah zaměřovače, ale s vyšší pravděpodobností splnění úkolu jeho dosah naopak klesá, jak je uvedeno v tab. 7. V následujících grafech jsou graficky znázorněny vypočtené hodnoty a porovnání s požadovanou hodnotou.



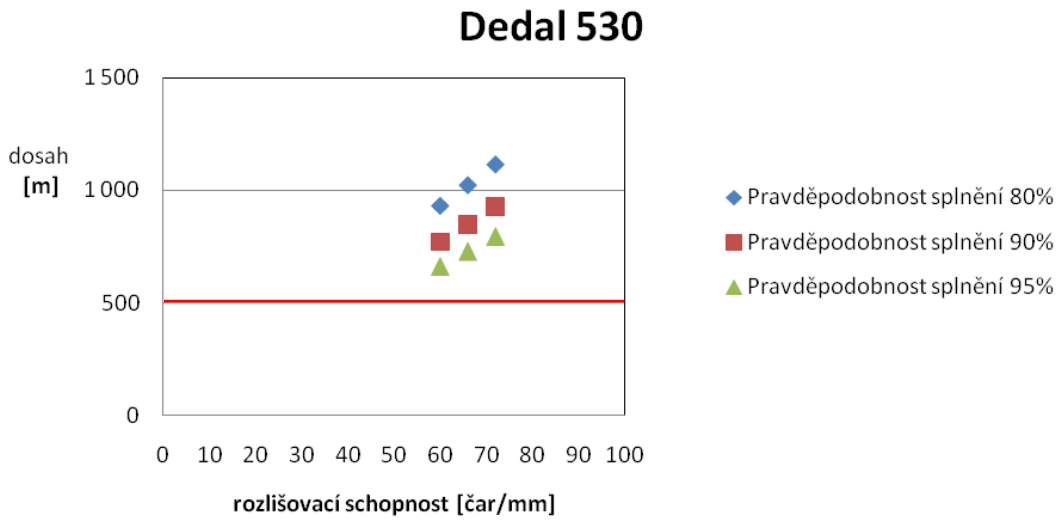
Obrázek 10 - Grafické znázornění vypočtených dosahů pro zaměřovač Dedal 440.

Jak z obrázku 10 vyplývá, zaměřovač DEDAL 440 našemu požadavku zamíření zbraně na cíl vzdálený 500 m vyhovuje jen z části. Modré kosočtverce značí 80%-ní pravděpodobnost splnění úlohy pro minimální, střední a maximální rozlišovací schopnost, hnědé čtverce znázorňují 90%-ní a zelené trojúhelníky 95%-ní pravděpodobnost splnění úlohy. V tomto případě úloha vyhovuje pouze pro 80%-ní pravděpodobnost splnění úlohy při maximální rozlišovací schopnosti, což je nedostatečné.



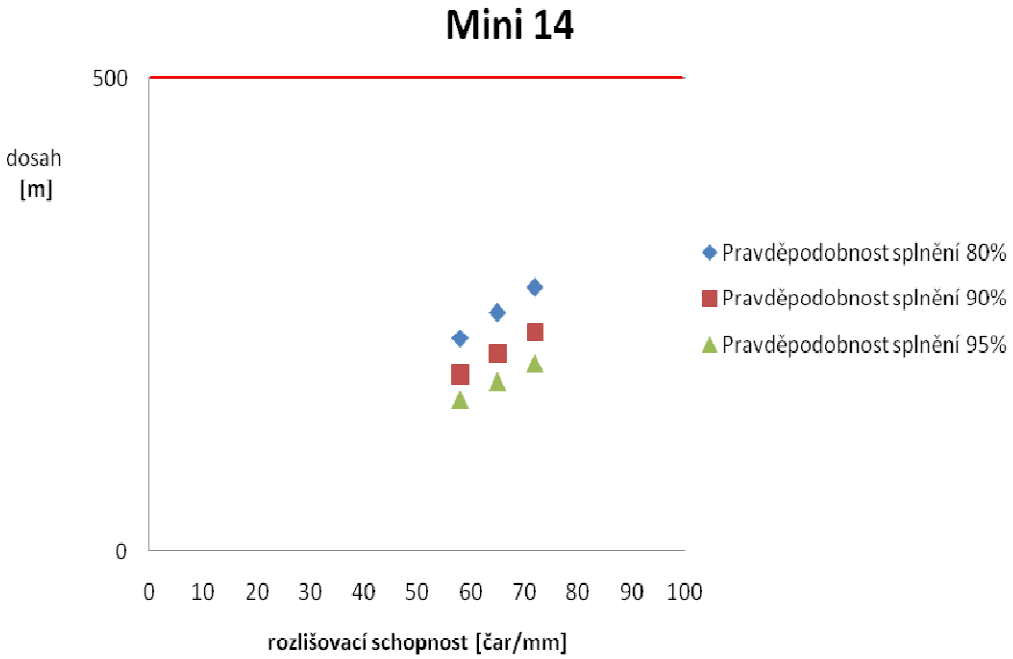
Obrázek 11 - Grafické znázornění vypočtených dosahů pro zaměřovač Dedal 450.

U zaměřovače DEDAL 450 jsme dosáhli lepších výsledků, ale pouze z části. Opět nevyhovuje našemu zadání, viz. obr. 11.



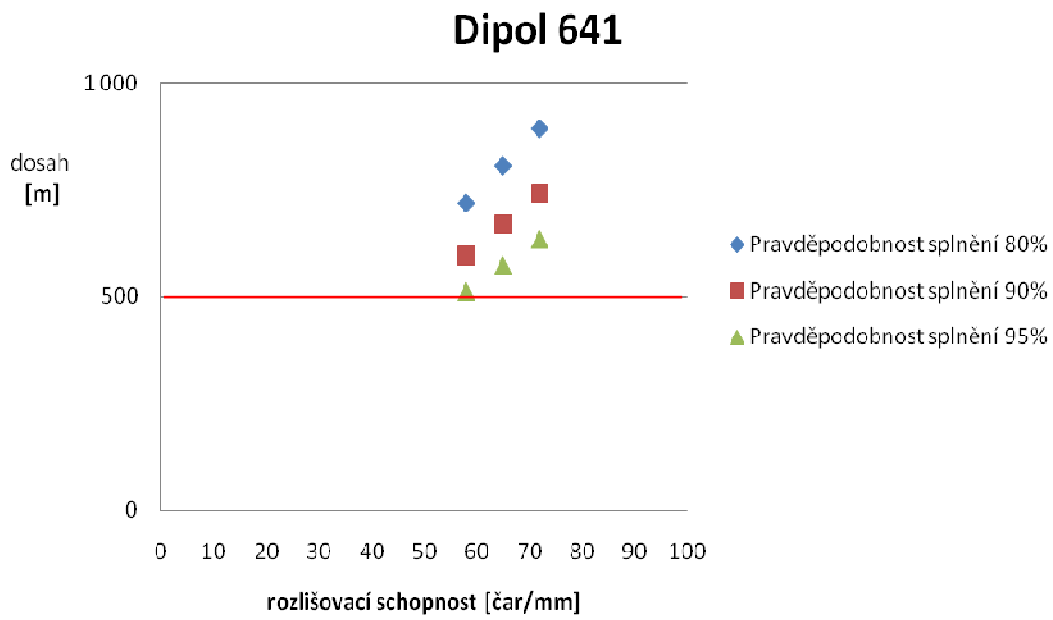
Obrázek 12 - Grafické znázornění vypočtených dosahů pro zaměřovač Dedal 530.

Zaměřovač Dedal 530 naše požadavky splnil. Ve všech devíti případech vyšel výsledek výpočtu dosahu nad hranicí 500 m.



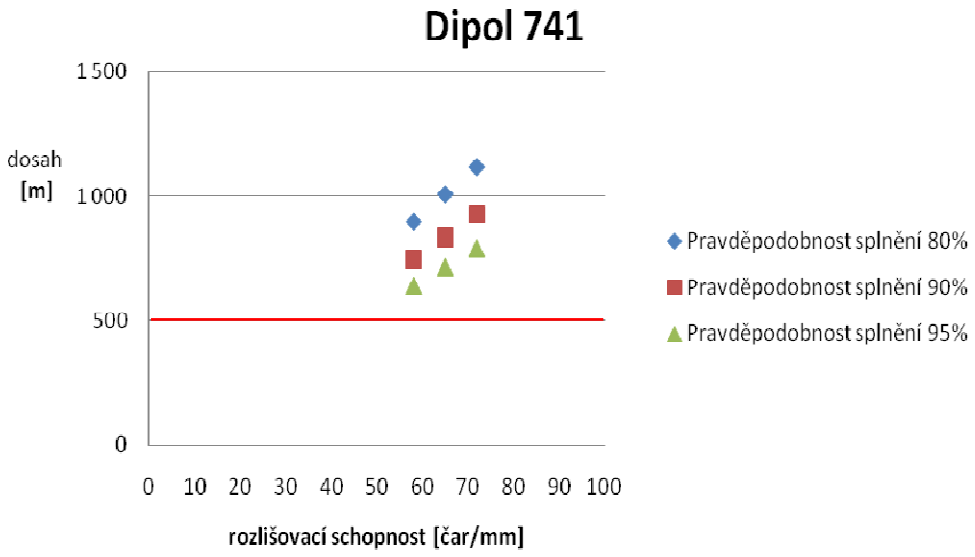
Obrázek 13 - Grafické znázornění vypočtených dosahů pro zaměřovač Mini 14.

U zaměřovače MINI 14 ve všech devíti případech vyšel výpočet dosahu hluboce pod hranící 500 m. Našemu požadavku nevyhovuje.



Obrázek 14 - Grafické znázornění vypočtených dosahů pro zaměřovač Dipol 641

U zaměřovače Dipol 641 jsou všechny naše požadavky splněny, jen při 95%-ní pravděpodobnosti splnění úlohy a minimální rozlišovací schopnosti je výsledek dosahu těsně na požadované hranici.



Obrázek 15 - Grafické znázornění vypočtených dosahů pro zaměřovač Dipol 741

Zaměřovač Dipol 741 splnil všechny naše kladené požadavky. Ve všech devíti případech výpočtů vyšel jeho dosah nad hranicí 500 m.

3.3.2. Stanovení ohniskové vzdálenosti objektivu

Úlohu můžeme obrátit. Uvažujme, že máme zaměřovače se ZJO s rozlišovacími schopnostmi 45 čar/mm, 60 čar/mm a 70 čar/mm. Přístroj bude použit na vzdálenost 500 m. Je třeba navrhnout ohniskovou vzdálenost objektivu přístroje tak, aby byla splněna průzkumná úloha (identifikace člověka) na 80, 90 a 95%.

S_{max}=500m

$$tg\alpha = \frac{1{,}8}{500} = 0{,}0036 \qquad => \alpha = 0{,}206263915° \qquad \alpha = N.\varphi => \varphi = \frac{\alpha}{N}$$

$$\alpha_{rad80} = 0{,}0036/11{,}616832 = 3{,}09895.10^{-4}\, rad$$
$$\alpha_{80} = 0{,}017755684°$$

$$\alpha_{rad90} = 0{,}0036/14{,}002225 = 2{,}57101.10^{-4}\, rad$$
$$\alpha_{90} = 0{,}014730858°$$

$$\alpha_{rad95} = 0{,}0036/16{,}324384 = 2{,}19989.10^{-4}\, rad$$
$$\alpha_{95} = 0{,}01263538°$$

Výpočet pro ZJO s rozlišovací schopností 45 čar/mm.

$$\varphi = \frac{1/45}{f'} => f' = \frac{1/45}{\varphi}$$

$$f'_{80} = \frac{1/45}{3{,}09895.10^{-4}} = 71{,}708mm$$

$$f'_{90} = \frac{1/45}{2{,}57101.10^{-4}} = 86{,}4338mm$$

$$f'_{95} = \frac{1/45}{2{,}19989.10^{-4}} = 101{,}015mm$$

Pro zadaný ZJO s rozlišovací schopností 40 čar/mm a požadovaným dosahem 500 m při splnění průzkumné úlohy na 80% je třeba na jeho výrobu použít objektiv s ohniskovou vzdáleností 71,708 mm, při splnění průzkumné úlohy na 90% je třeba na jeho výrobu použít objektiv s ohniskovou vzdáleností 86,4338 mm a při splnění průzkumné úlohy na 95% je třeba na jeho výrobu použít objektiv s ohniskovou vzdáleností 101,015 mm.

Výpočet pro ZJO s rozlišovací schopností 60 čar/mm.

$$\varphi = \frac{1/60}{f'} => f' = \frac{1/60}{\varphi}$$

$$f'_{80} = \frac{1/60}{3{,}09895.10^{-4}} = 53{,}7816mm$$

$$f'_{90} = \frac{1/60}{2{,}57101.10^{-4}} = 64{,}825mm$$

$$f'_{95} = \frac{1/60}{2{,}19989.10^{-4}} = 75{,}761mm$$

Pro zadaný ZJO s rozlišovací schopností 60 čar/mm a požadovaným dosahem 500 m při splnění průzkumné úlohy na 80% je třeba na jeho výrobu použít objektiv s ohniskovou vzdáleností 53,7816 mm, při splnění průzkumné úlohy na 90% je třeba na jeho výrobu použít objektiv s ohniskovou vzdáleností 64,825 mm a při splnění průzkumné úlohy na 95% je třeba na jeho výrobu použít objektiv s ohniskovou vzdáleností 75,761 mm.

Výpočet pro ZJO s rozlišovací schopností 70 čar/mm.

$$\varphi = \frac{1/70}{f'} => f' = \frac{1/70}{\varphi}$$

$$f'_{80} = \frac{1/70}{3{,}09895.10^{-4}} = 46{,}09856mm$$

$$f'_{90} = \frac{1/70}{2{,}57101.10^{-4}} = 55{,}5646mm$$

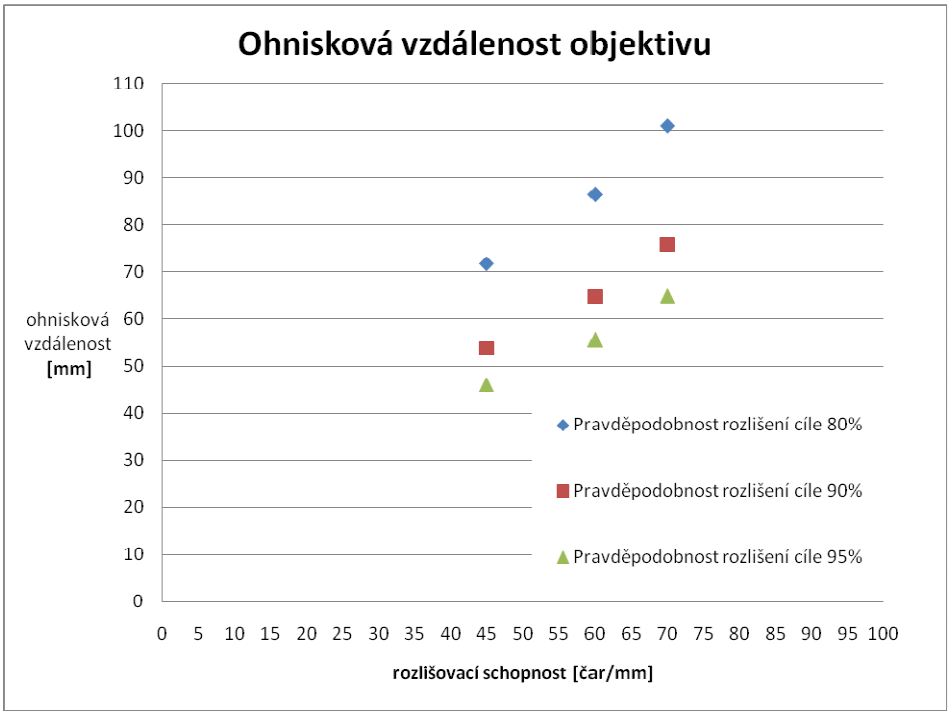
$$f'_{95} = \frac{1/70}{2{,}19989.10^{-4}} = 64{,}9383mm$$

Pro zadaný ZJO s rozlišovací schopností 70 čar/mm a požadovaným dosahem 500 m při splnění průzkumné úlohy na 80% je třeba na jeho výrobu použít objektiv s ohniskovou vzdáleností 46,09 mm, při splnění průzkumné úlohy na 90% je třeba na jeho výrobu použít objektiv s ohniskovou vzdáleností 55,56 mm a při splnění průzkumné úlohy na 95% je třeba na jeho výrobu použít objektiv s ohniskovou vzdáleností 64,93 mm.

Předcházejícími výpočty jsme zjišťovali ohniskovou vzdálenost objektivu přístroje s rozlišovací schopností 40, 60 a 70 čar/mm při 80, 90 a 95%-ní pravděpodobnosti splnění průzkumné úlohy. Souhrn těchto vypočtených výsledků je uveden v tab. 8. S vyšší rozlišovací schopností je třeba použít přístroj s větší ohniskovou vzdáleností objektivu. Naopak s vyšší pravděpodobností splnění průzkumné úlohy je třeba použít přístroj s menší ohniskovou vzdáleností objektivu.

Tabulka 8 - Vypočtené ohniskové vzdálenosti objektivu

Rozlišovací schopnost [čar/mm]	Pravděpodobnost rozlišení cíle		
	80%	90%	95%
	Ohnisková vzdálenost objektivu [mm]		
45	71,7	53,8	46,1
60	86,4	64,8	55,6
70	101,0	75,8	64,9



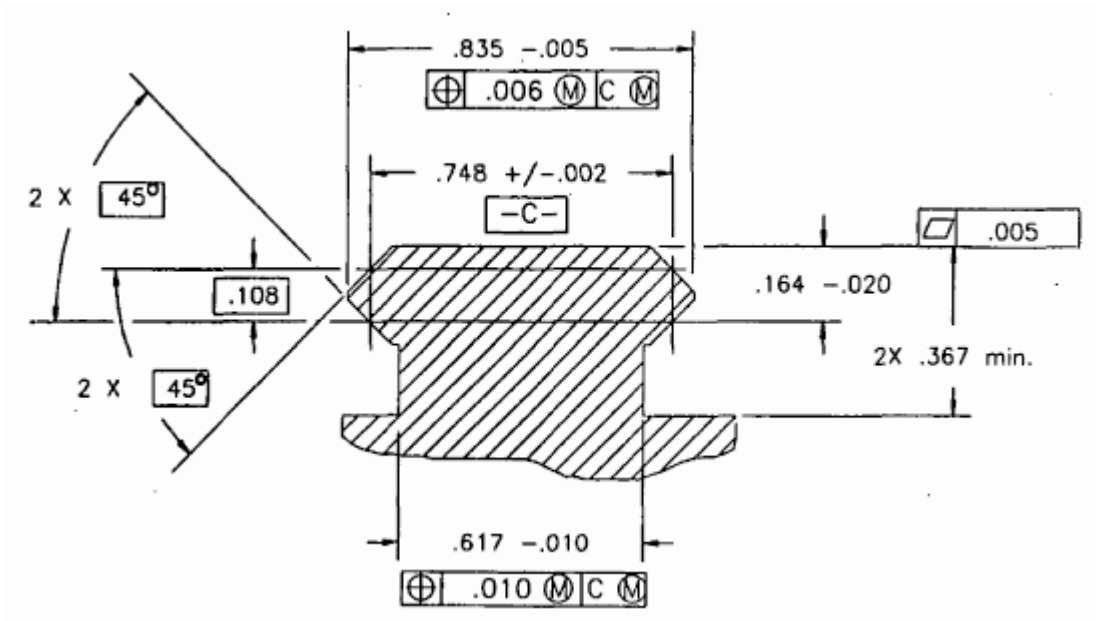
Obrázek 16 - Grafické znázornění vypočtených ohniskových vzdáleností

Na obr. 16 jsou graficky znázorněny vypočtené hodnoty z tab. 8. Modré kosočtverce značí 80%-ní pravděpodobnost splnění úlohy pro 45, 60 a 70 čar/mm, hnědé čtverce znázorňují 90%-ní a zelené trojúhelníky 95%-ní pravděpodobnost splnění úlohy.

3.4. Mechanická část

Pro zajištění požadovaného rozptylu (střelba až na 500 m) při hmotnosti noktovizoru 1 kg je nutno použít montáž mechanicky stálou a trvanlivou, kde bude zajištěno opakovatelné připevnění na stejnou pozici ke zbrani. Z tohoto důvodu bych volil montáž jednodílnou násuvnou, vyrobenou z oceli např. 12 060 pro dodatečné tepelné zpracování kalením. Montáž bude ke zbrani fixována dvěma kameny (pro každý kamen budou použity dva šrouby M5x0,5 s hlavičkou TORX pro možnost použití většího momentu pro utažení). Na vrchní ploše montáže bude vytvořeno přípojné rozhraní dle MIL-STD 1913, které používá NATO. Spojení mezi picatiny lištou a noktovizovrem bude realizováno za pomoci vhodného redukčního prvku (např. dle katalogu Recknagel 6). Nejen tato společnost, ale i obdobné společnosti, které se touto problematikou zabývají, mají bohatou nabídku a jsou schopny i výroby na zakázku dle požadavků zákazníka.

Military standard 1913 je norma převzatá z americké armády, která stanovuje jednotné normy pro inženýrské a technické požadavky v oblasti armádních složek. Touto normou se i řídí Severoatlantická společnost NATO. Z tohoto důvodu je i navržené řešení uchycení zaměřovače ke zbrani univerzální a spolehlivé. Na obr. 17 je znázorněn průřez držáku lišty na zaměřovač. Obrázek je převzatý z normy MIL-STD 1913. Uvedené rozměry jsou v palcích.



Obrázek 17 – Průřez držáku lišty na zaměřovač [15]

4. Závěr

Zadáním bylo navrhnout vhodné parametry zaměřovače pro odstřelovací pušku. Na základě konzultace s vedoucím bakalářské práce, byla zvolena odstřelovací puška CZ 700 M1, kde její taktická úloha bude střelba na cíl typu člověk na vzdálenost 500 m. Předcházejícími výpočty, analýzou použité zbraně, jejich takticko-technických dat a taktických požadavků na ni kladených a srovnáním byl vybrán pro tuto zbraň zaměřovač typu Dipol 741 (obr. 18). Je to výrobek Běloruské společnosti DIPOL. Tento přístroj má vysoce kvalitní optickou soustavu, ve které je dosaženo vysoké ostrosti obrazu a minimálních ztrát rozlišení. Je zde použit optický systém, který významně prodlužuje vzdálenost oka od okuláru, viditelnost obrazovky je v celém jejím průměru. Objektiv je pevně vestavěn, zaostření je možné provádět pomocí zaostřovacího kolečka. Přístroj Dipol 741 je vodotěsný.

Obrázek 18 - Zaměřovač Dipol 741 [11]

Výběr byl proveden na základě analýzy dosahu zbraně na cíl, kterým je člověk, jehož výška je 1,8 m. Dosahy jendotlivých zaměřovačů byly vypočteny pro 80, 90 a 95%-ní splnění průzkumné úlohy. Jak již bylo uvedeno výše, s vyšší rozlišovací schopností se zvyšuje dosah zaměřovače. Při vyšší pravděpodobnosti splnění úlohy naopak jeho dosah klesá. Výpočty jsou pro ideální podmínky. Byla stanovena vzdálenost cíle, na kterou bude zbraň používána, na 500 m. Ve vybraném zaměřovači Dipol 741 je již počítáno i s rezervou, která bude zastoupena ve ztrátách.

Tímto krokem podstata návrhu puškového zaměřovače nekončí. Je třeba ještě stanovit jeho další parametry a vlastnosti, což je problematika navazujícího studia.

Použitá a doporučená literatura

Odborné publikace:

[1] BALÁŽ, Teodor; ŘEHOŘ, Zdeněk. *Optické přístroje LSOZ*. Ostrava: VŠB Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1806-1.

[2] FISCHER, Pavel, a kol. *Optické přístroje : 2.část*, Brno: VA, 2004.

[3] BALÁŽ, Teodor, a kol. *Zaměřovací přístroje I*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-550-5

[4] MECHLOVÁ, Erika; KOŠŤÁL, Karel, a kol. *Výkladový slovník fyziky*. Praha: Prometheus, 2001. ISBN 80-7196-151-5.

[5] FUKA, Josef; HAVELKA, Bedřich. *I Optika*. Praha: SPN, 1961

[6] FISCHER, Pavel; MELŠA, Pavel. *Optical Sights I*. Brno : Univerzita obrany, 2009. ISBN 978-80-7231-571-0.

[7] Night Tech. *Night Tech s.r.o. : noční vidění – přístroje* [online]. [Slušovice] : Night Tech, [cit. 1.5.2010]. Dostupné z WWW <http://nighttech.aspweb.cz/>

[8] MICHALEC, Libor. 21.století: *Jak pracuje noktovizor* [online]. Praha : RF HOBBY, s.r.o. 21.12.2003 [cit.1.5.2010]. Dostupné z WWW <http://www.21stoleti.cz/view.php?cisloclanku=2003122132>

[9] KAUCKÝ, Stanislav. *Brýle pro noční vidění pro bojové vrtulníky* [online]. [S.l.], [1.5.2010]. Dostupné z WWW <http://www.vrtulnik.cz/avionic/nvg.htm>

[10] JEDLIČKA, Miroslav. Zesilovače jasu obrazu. In *Světlo : časopis pro světelnou techniku a osvělování* [online]. Praha : FCC Public, c2010. ISSN 1212/0812. Dostupné z WWW <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=35868>

[11] Night Vision. *WORKERHIRE s.r.o. : noční vidění – přístroje* [online]. [Zlín] : Night Vision, [cit. 1.5.2010]. Dostupné z WWW <http://www.night-vision.cz/>

[12] Meopta. *Meopta – Optika, s.r.o. noktovizní zaměřovací přístroje* [online]. [Přerov] : Meopta, [cit. 20.4.2010]. Dostupné z WWW <http://www.meopta.com/>

[13] Hubertshop.cz. *KH Konvert s.r.o. : puškohledy* [online]. [Kyjov] : KH Konvert, [cit. 20.4.2010]. Dostupné z WWW <http://www.hubertshop.cz/>

[14] *Odstřelovač* [online]. [S.l.], c2005-2009 [cit. 20.4.2010] Dostupné z WWW <http://www.odstrelovac.estranky.cz/>

[15] Americká norma *MIL-STD 1913* : [online]. [cit. 20.4.2010]. Dostupné z WWW <http://www.biggerhammer.net/picatiny/1913_specs.pdf>