Nové trendy využití laserů a přístrojové techniky pro ozbrojené síly

Svazek 1
Vydání 1
2022

Univerzita obrany

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

KONFERENCE - WORKSHOP

Nové trendy využití laserů a přístrojové techniky pro ozbrojené síly

1

2022

Konference – p. 1 – 244 Brno 2022
Editováno na Univerzitě obrany

OBSAH

Úvodní slovo	4
Úvod do problematiky lasery a nové výzvy jejich využití	16
Ochrana před lasery v AČR	44
Lasery a optika v protidronové obraně	66
Program 2023	91
Multispektrální a hyperspektrální zobrazovací systémy	104
Aplikace laserové techniky a jejich součástí ve zbraňových systémech	136
Výkonové vláknové lasery pro obranné účely	162
Pravděpodobnost ozáření objektivu kamery laserem	193
Bezpečnost a hodnocení rizika při použití laseru	200
Měření parametrů impulzních laserových dálkoměrů v polních podmínkách	209
Diskuse a průběh konference	232

REDAKČNÍ RADA

Mgr. Petr Přikryl

doc. Ing. Teodor Baláž, CSc

Mgr. Filip Chlup

Ing. Kateřina Nováčková

npor. Ing. Ivan Pemčák

Slovo redakce

Tato publikace vznikla za účelem uchování příspěvků, názorů a myšlenek z konference pořádané COC zejména (nikoliv však výhradně) pro potřeby členů Českého optického klastru a odborníků v oboru. V publikaci se nacházejí výstupy vybraných členů COC, záznamy z průběhu konference a další příspěvky rozvíjející odbornost.

Univerzita obrany, Kounicova 65, 61200 Brno, Česká Republika
Vydáno vydavatelstvím Univerzity obrany

Program

9:00 – 9:30	**Registrace příchozích účastníků**
9:30 – 9:35	**Úvodní slovo předsedkyně Českého optického klastru** Ing. Silvie Skyvová; Český optický klastr, z.s.
9.35 – 9:40	**Přivítání účastníků** brig. gen. prof. RNDr. Zuzana Kročová, Ph.D.; Univerzita obrany
9:40 – 10:10	**Úvod do problematiky lasery a nové výzvy jejich využití** doc. Ing. Teodor Baláž, CSc.; Univerzita obrany
10:10 – 10:30	**Ochrana před lasery v AČR** Mgr. Filip Chlup PRAMACOM-HT, spol. s r.o.
10:30 – 10:50	**Lasery a optika v protidronové obraně** Ing. Michael Písařík, Ph.D., Fyzikální ústav Akademie věd ČR, v. v. i. - Laserové centrum HiLASE;
10:50 – 11:10	**Coffee break**
11:10 – 11:30	**Program 2023** RNDr. Jiří Hynek; Asociace obranného a bezpečnostního průmyslu
11:30 – 12:00	**Multispektrální a hyperspektrální zobrazovací systémy** pplk. gšt. doc. Ing. František Racek, Ph.D., Univerzita obrany
12:00	**Oběd**
12:50 – 13:10	**Aplikace laserové techniky a jejich součástí ve zbraňových systémech** Ing. Michal Košejla, Fyzikální ústav Akademie věd ČR, v. v. i. – Centrum ELI Beamlines
13:10 - 13:30	**Představení sekce průmyslové spolupráce Ministerstva obrany** Ing. Petr Hakl - sekce Průmyslové spolupráce Ministerstvo obrany ČR
13:30 - 14:30	**Diskuse**

Místo konání: 22. 9. 2022 od 9:00 hod
Termín konání: Univerzita obrany, Kounicova 44, Brno

Ing. Silvie Skyvová; Český optický klastr, z.s.
Mgr. Petr Přikryl; Český optický klastr, z.s.

Úvodní slovo

Úvodního slova se ujala Ing. Silvie Skyvová, jakožto předsedkyně českého optického klastru. Ve své řeči přivítala všechny účastníky konference a následně s Mgr. Petrem Přikrylem představila COC, jeho cíle a také členy COC. Dále byly prezentovány pilíře COC a nově zřízená funkce „Ambasador Českého optického klastru“.

>>redakce<<

Představení Českého optického klastru

Nové trendy využití laserů a přístrojové techniky pro ozbrojené síly

Workshop Českého optického klastru

Brno 22.9.2022

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR | *Let's Make Optics for the Future. Together.*

18.10.2022 – Petr Přikryl a Silvie Skyvová

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR

ÚVODNÍ SLOVO

Vážené dámy a pánové, paní rektorko,

Je mi potěšením Vás všechny přivítat na workshopu s tématem Nové trendy využití laserů a přístrojové techniky pro ozbrojené síly, ráda bych tímto poděkovala Univerzitě Obrany za spolupráci a podporu v organizaci této akce. Jmenovitě paní brig. gen. prof. RNDr. Zuzaně Kročové, Ph.D a panu pplk. doc. Ing. Teodoru Balážovi, CSc., bez kterých by se celá akce nemohla uskutečnit.

Jedním z cílů COK je zlepšování podmínek pro rozvoj optického průmyslu v České republice. Věříme, že setkání tohoto typu, kde propojujeme světy školství, výzkumu a průmyslu přináší benefity pro všechny zúčastněné strany.

Laserové technologie jsou jedny z nejrychleji se rozvíjejících a rozšiřujících technologií poslední doby. V různých oborech jsou využívány pro odlišné aplikace a vzájemná prezentace těchto odlišných využit je přínosem pro všechny zúčastněné. Určitě to není poslední workshop na téma laserů, tento pojem rezonuje i v ostatních pilířích a jak mnozí určitě víte, tak jedním z pilířů COK je pilíř Laserové technologie a aplikace.

Věřím, že v dnešních přednáškách najdete řadu nových poznatků a inspiraci do další práce.

Děkujeme za účast a budeme se těšit na zpětnou vazbu.

Ing. Silvie Skyvová
Předsedkyně výkonné rady COK

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR

SPOLUPRÁCE A ROZVOJ OBORU

Český optický klastr je zřízen za účelem zlepšování podmínek pro rozvoj optického průmyslu v České republice formou spolupráce podniků, veřejného sektoru a vzdělávacího sektoru v celém hodnotovém řetězci oboru optika, optomechatronika, fotonika, optoelektronika a jemná mechanika, včetně související výroby, rozvoje technologií …..

„Optický ekosystém“

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR

ČLENOVÉ KLASTRU – 34 ČLENŮ

Seeing beyond

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Palacký University
Olomouc

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR

ČLENOVÉ KLASTRU

34 členů

6 velkých podniků:

Hella Autotechnik Nova; Meopta – optika; Thermo Fisher Scientific Brno , TESCAN ORSAY HOLDING, a.s., Varroc Lighting Systems, s.r.o., CRYTUR, spol. s.r.o.,

18 středních a malých podniků:

Pramacom-HT, spol. s r.o., ZEBR s. r. o., NETWORK GROUP, s.r.o., OPTICS TRADE, spol. s r.o., SQS Vláknová optika a.s., esc Aerospace s.r.o., aspericon s.r.o., TELIGHT Holding, s.r.o., Innovative Bioimaging, s.r.o, NenoVision s.r.o., FUJIFILM EUROPE GmbH, organizační složka v České republice, APPLIC s.r.o., Matex PM, s.r.o., LaserTherm spol. s r.o., Narran s.r.o., Lightigo s.r.o., Rigaku Innovatiove Solution Europe s.r.o., Carl Zeiss spol. s r.o.

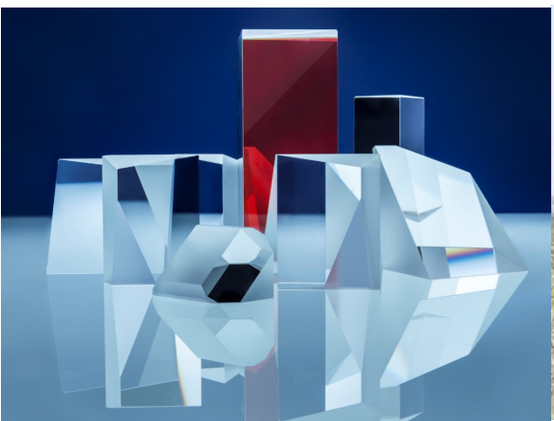
10 univerzit a výzkumných institucí: Brno University of Technology; Czech Technical University in Prague; Institute of Photonics and Electronics; Institute of Physics (HiLASE; ELI Beamlines); Institute of Plasma Physics (TOPTEC Centre); Institute of Scientific Instruments; Palacký University Olomouc; University of Defence; University of South Bohemia; VSB - Technical University of Ostrava

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR

HLAVNÍ PILÍŘE A AKTIVITY

Český optický klastr realizuje své aktivity zejména v těchto pěti pilířích:

- **Industriální a spotřební optika**
- **Vojenská optika**
- **Světelná technika**
- **Laserové technologie a aplikace**
- **Mikroskopie**



ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR

PILÍŘ – VOJENSKÁ OPTIKA

1. APPLIC s.r.o.
2. ASPHERICON s.r.o.
3. CRYTUR, spol. s.r.o.
4. České vysoké učení technické v Praze
5. esc AEROSPACE s.r.o.
6. MEOPTA - OPTIKA, s. r. o.
7. OPTICS TRADE , Spol. s.r.o.
8. PRAMACOM-HT, spol. s.r.o.
9. Výzkumné centrum speciální optiky a optoelektronických systémů TOPTEC
10. Univerzita obrany
11. Vysoké učení technické v Brně

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR

CÍLE PILÍŘŮ

Český optický klastr má zájem **podpořit růst hodnot a přínosů klastru** pro své členy. A to s ohledem na to, že každý z členů může mít odlišně zacílené oblasti svého zájmu. **Cílíme na podporu** spoluprací mezi členy nikoliv primárně individuálním způsobem, ale spíše pomáhat **vždy více členům COC současně**.

K tomu je třeba **sledovat oblasti společných zájmů** členů v rámci jednotlivých pilířů činnosti klastru – a k naplnění těchto společných zájmů služby a aktivity COC zaměřovat.

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR

GARANT PILÍŘE

Role garanta pilíře:

A. Osobnost s významným vztahem ke konkrétnímu pilíři, zvolená jeho příslušníky
B. Proaktivně iniciuje společná jednání pilíře
C. Pomáhá identifikovat specifické společné zájmy pilíře
D. Navrhuje společné aktivity pilíře a témata k založení pracovních skupin
E. Podniká další kroky k rozvoji svěřeného pilíře a vytváření hodnot pro jeho příslušníky
F. Definuje požadavky na podporu aktivit pilíře ze strany Provozního týmu optického klastru, s nímž úzce spolupracuje na realizaci těchto aktivit

Garant pilíře vojenská optika **– doc. Ing. Teodor Baláž, CSc.**

AMBASADOR ČESKÉHO OPTICKÉHO KLASTRU

CÍLE:

Zřízení funkce „Ambasador Českého optického klastru“ je motivováno snahou zapojit do činností se strategickou důležitostí pro rozvoj klastru několik významných osobností. Následně díky nim a jejich činnosti více zviditelnit Český optický klastr či jeho členy, zvýšit hodnotu COC pro členy. Zejména prostřednictvím zajištění cílené komunikace směrem k VIP představitelům **vybraných cílových skupin**. Těmi jsou:

A. Potenciální členové COC

B. Potenciální partneři a klienti pro členy COC

C. Politici a tvůrci dotačních programů

D. Zahraniční klastry a asociace pro obor Optika

Děkuji za pozornost

ČESKÝ OPTICKÝ KLASTR | *Let's Make Optics for the Future. Together.*

Mgr. Petr Přikryl
manažer
místopředseda výkonné rady Českého optického klastru
mob.: + 420 739 244 544
email: petr.prikryl@optickyklastr.cz

Český optický klastr, z.s.
Web: **www.optickyklastr.cz**

EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost

MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU

doc. Ing. Teodor Baláž, CSc.; Univerzita obrany

Úvod do problematiky laserů a nové výzvy jejich využití

Prvním příspěvkem autoři představili problematiku laserů, kde popisovali princip systému řízení palby, princip funkce a možnosti využití laserového dálkoměru a laserového gyroskopu. Následně byla rozebírána rizika při používání laserů, a co laserové záření může způsobit při zasažení lidské tkáně. A v neposlední řadě byla diskutována nebezpečná vzdálenost na pro používání laserových přístrojů, a jak ji ovlivňuje používání dalekohledových optických soustav.

>> redakce <<

Fakulta vojenských technologií | Katedra zbraní a munice

Laserová technika v AČR

doc. Ing. Teodor Baláž, CSc.,
Ing. Kateřina Nováčková,
npor. Ing. Ivan Pemčák

Univerzita Obrany v Brně, Kounicova 65, Brno, 662 10;

teodor.balaz@unob.cz; phone +420 973 443 486; www.unob.cz

Problematika Lasery ve vojenství

Přístrojové vybavení v SŘP:
- Impulzní laserové dálkoměry,
- Laserové gyroskopy,
- Naváděcí systémy PTŘS a PLŘS
- Značkovače a ozařovače cílů,

zbraňové systémy s usměrněnou energii:
- „oslepení“ popř. destrukce OE průzkumných senzorických systémů,
- Destrukce OE koordinátorů PTŘS a PLŘS,
- **Destrukce vojenských cílů laserovým zářením**

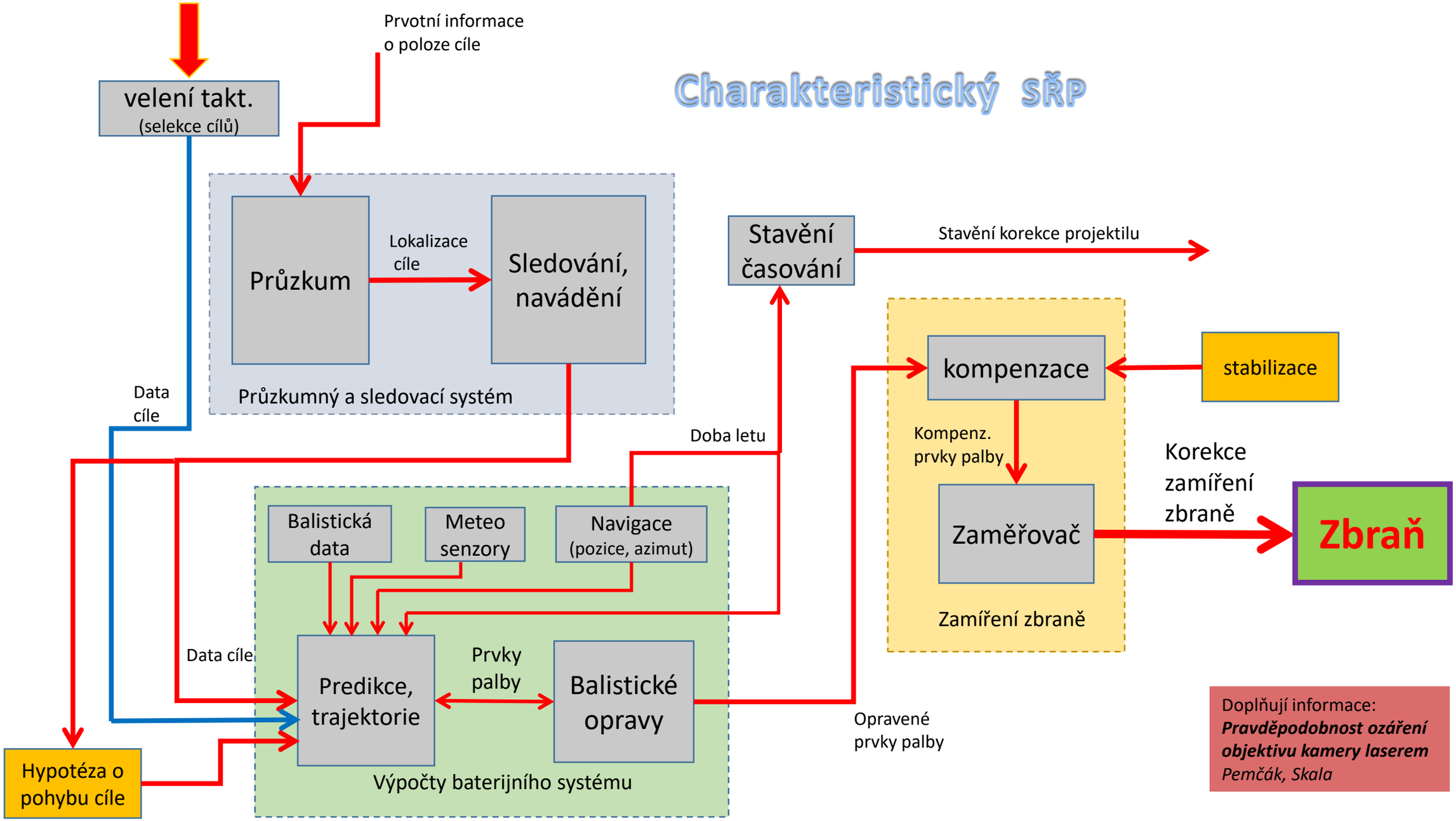
Ochrana vlastní BT:
- Skenování okolí,
- Dálkový průzkum,
- Chemický průzkum atmosféry s použitím lidarů

Technologické lasery:
- Rektifikace ZS,
- Justáž OM a OE systémů,

- Protiopatření proti laserovým systémům,
- Ochrana zdraví

- Bezpečnost v dopravě

Charakteristický SŘP

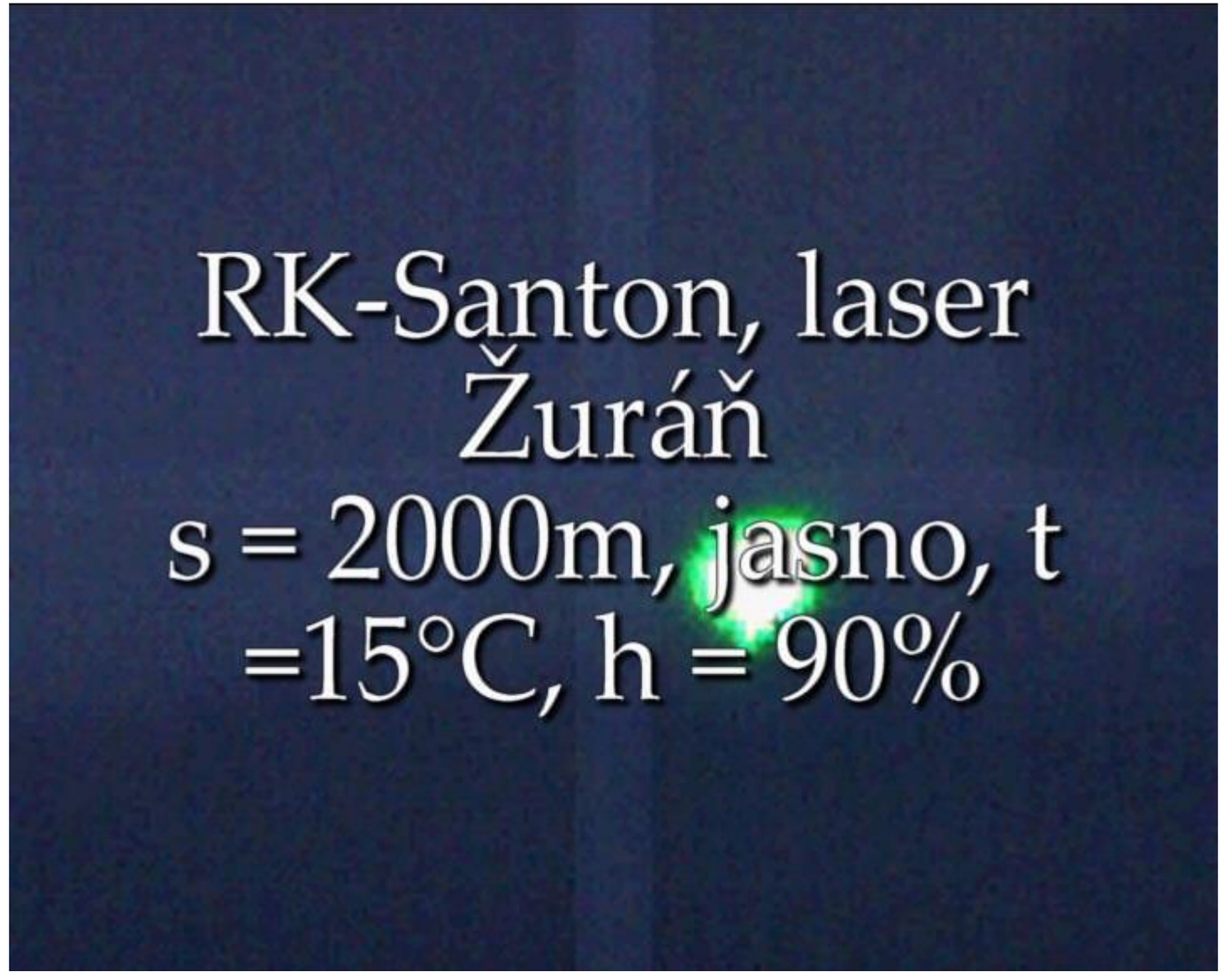


Doplňují informace:
Pravděpodobnost ozáření objektivu kamery laserem
Pemčák, Skala

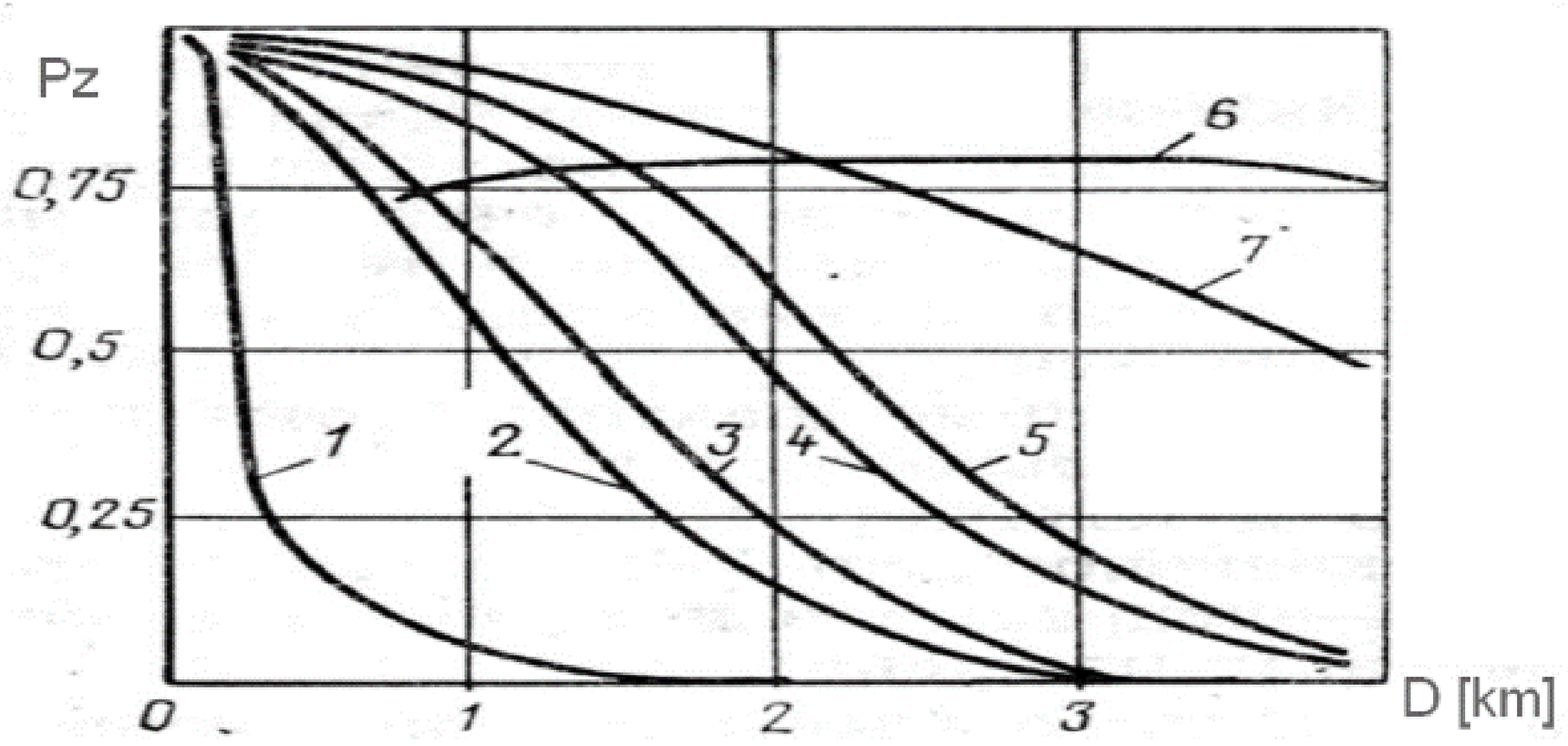
„klasický“ SŘP			laserový ZS	
činnost		chyby	činnost	chyby
objevení cíle identifikace				
lokalizace	D, α, ε	$\Delta D, \Delta\alpha, \Delta\varepsilon$	α, ε	$\Delta\alpha, \Delta\varepsilon$
časové změny polohy cíle, vektor pohybu cíle	$v_c = D \cdot \omega\ , \omega = \frac{d\alpha}{dt}\ ,$ $\frac{d\omega}{dt}\ \ \frac{d\varepsilon}{dt}$		$\omega = \frac{d\alpha}{dt}\ ,$ $\frac{d\omega}{dt}\ \ \frac{d\varepsilon}{dt}$	
hypotéza o pohybu cíle	predikce polohy cíle			
výpočet prvků střelby	α, ε, t_v	$\Delta\alpha, \Delta\varepsilon, \Delta\, t_v$	α, ε	$\Delta\alpha, \Delta\varepsilon$
výpočet nadběhu δ, $v_s \gg v_c$	$\delta = f(v_s, v_c, D_s, t_s)$		$\delta = 0$	
výpočet oprav prvků střelby	$\delta\alpha = f(T, T_n, p, H, w)$ $\delta\varepsilon = f(T, T_n, p, H, w)$	$\Delta\alpha + \Delta\delta\alpha, \Delta\varepsilon$ $+ \Delta\delta\varepsilon, \Delta\, t_v$	$\delta\alpha = f(T, p, H, w)$ $\delta\varepsilon = f(T, p, H, w)$	
přenos prvků střelby na zaměřovač	$\alpha + \delta\alpha + \delta, \quad \varepsilon + \delta\varepsilon,$		$\alpha + \delta\alpha,$ $\varepsilon + \delta\varepsilon$	
$P_z < 1$	více výstřelů (dávka)			
	více palebních prostředků			
	rozlet střepin, submunice			
	koncové navedení			

Laserový ZS: menší vplyv atmosféry, munice – energie, velmi vysoká přesnost navedení, $\omega = (0{,}01 \div 2)\ rad \cdot s^{-1}$

Změna průřezu laserové stopy



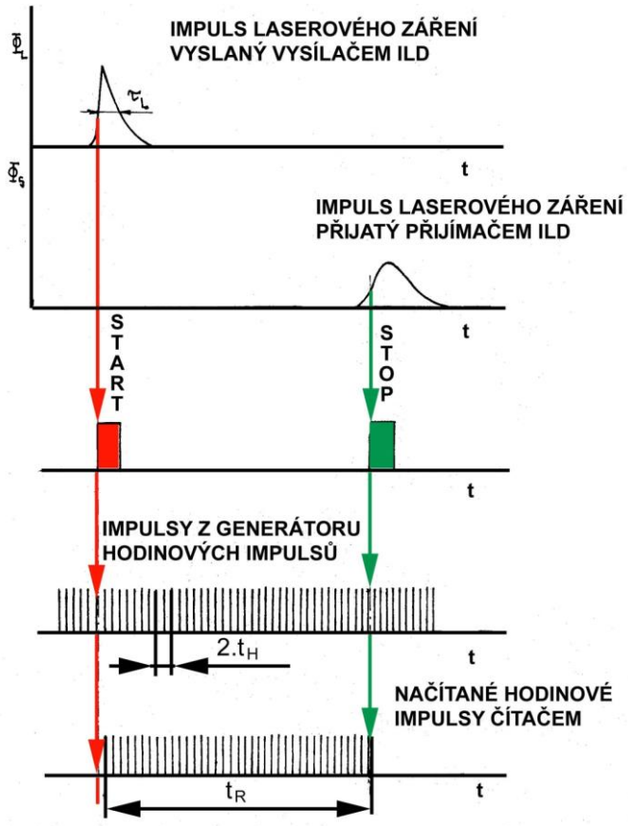
Pz při střelbě z jedoucího tanku

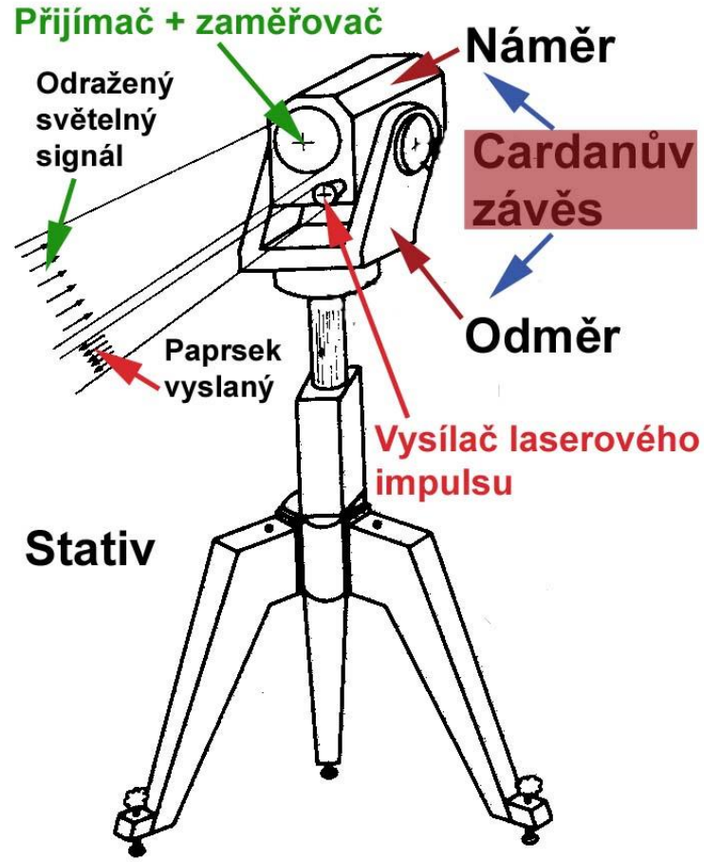


Rychlost střílejícího tanku v = 5 m/s , cíl tank			
1	Střelba bez stabilizace	5	Stabilizace s ILD a balistickým počítačem
2	Střelba se stabilizací	6	Střelba s PTŘS
3	Střelba se stabilizací s opt. dálkoměrem	7	Střelba z místa v ideálních podmínkách
4	Střelba se stabilizací s ILD		

Doplňují informace:
Pravděpodobnost ozáření objektivu kamery laserem
Pemčák, Skala

Princip činnosti ILD





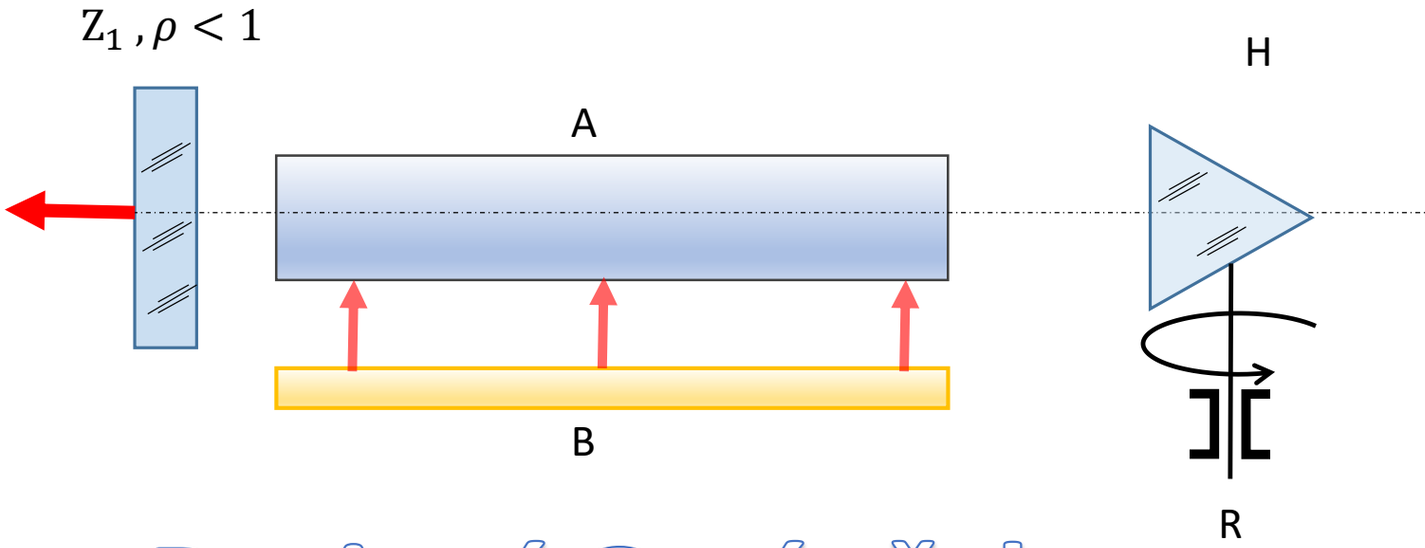
ILD – udávané výhody

- Vysoká přesnost
- Konstantní chyba měření
- Rychlost měření
- Jednoduchá obsluha
- Vhodný k integraci do SŘP
- Opakovatelnost měření

ILD – nevýhody

- Aktivní prostředek

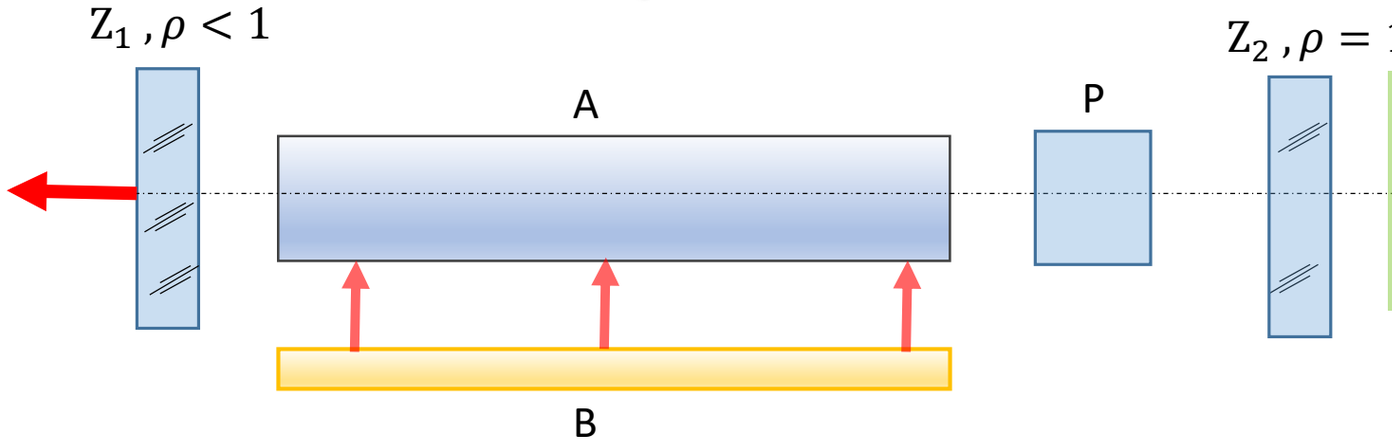
OM Q závěrka



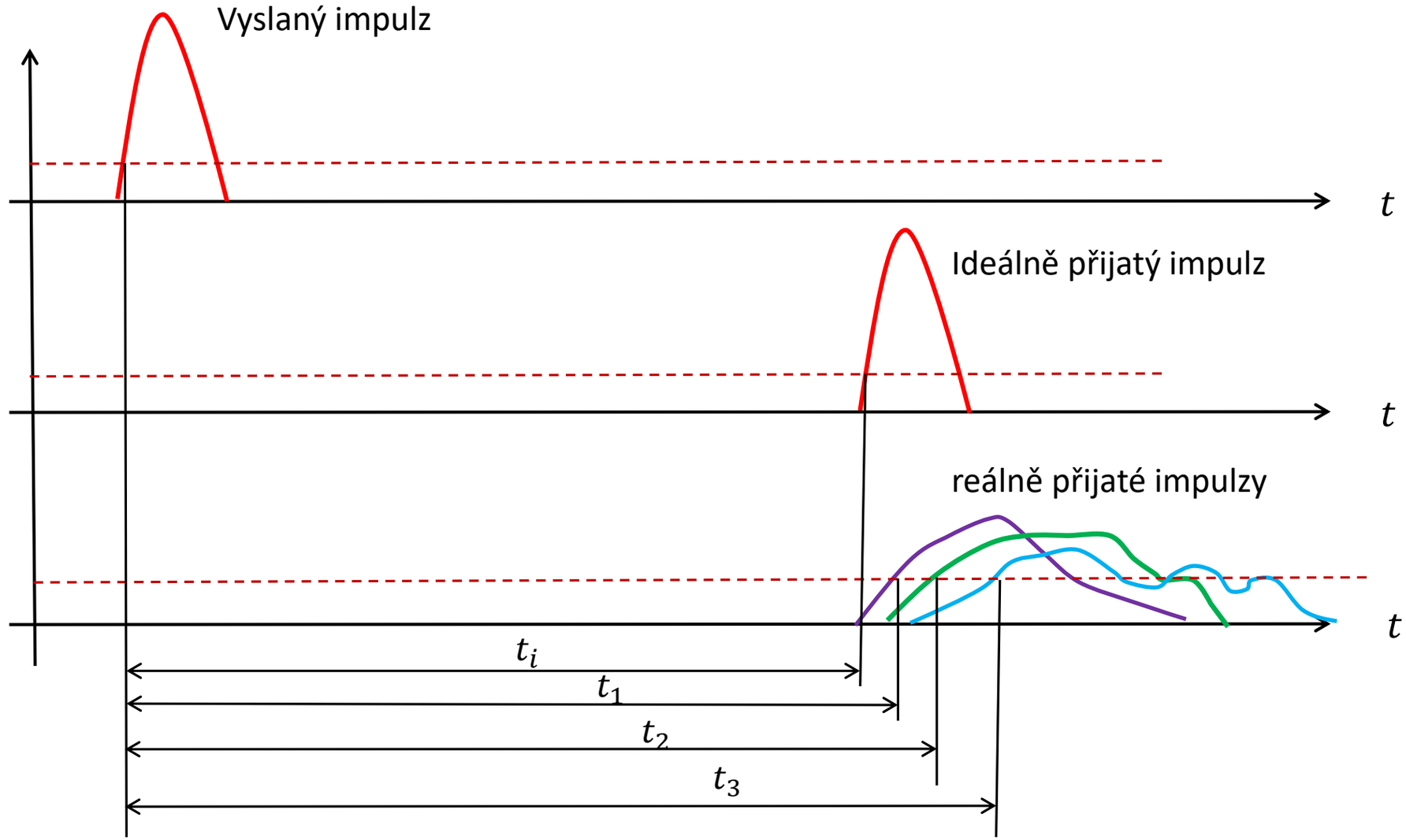
$\approx 30\,000$ ot/m^{-1}

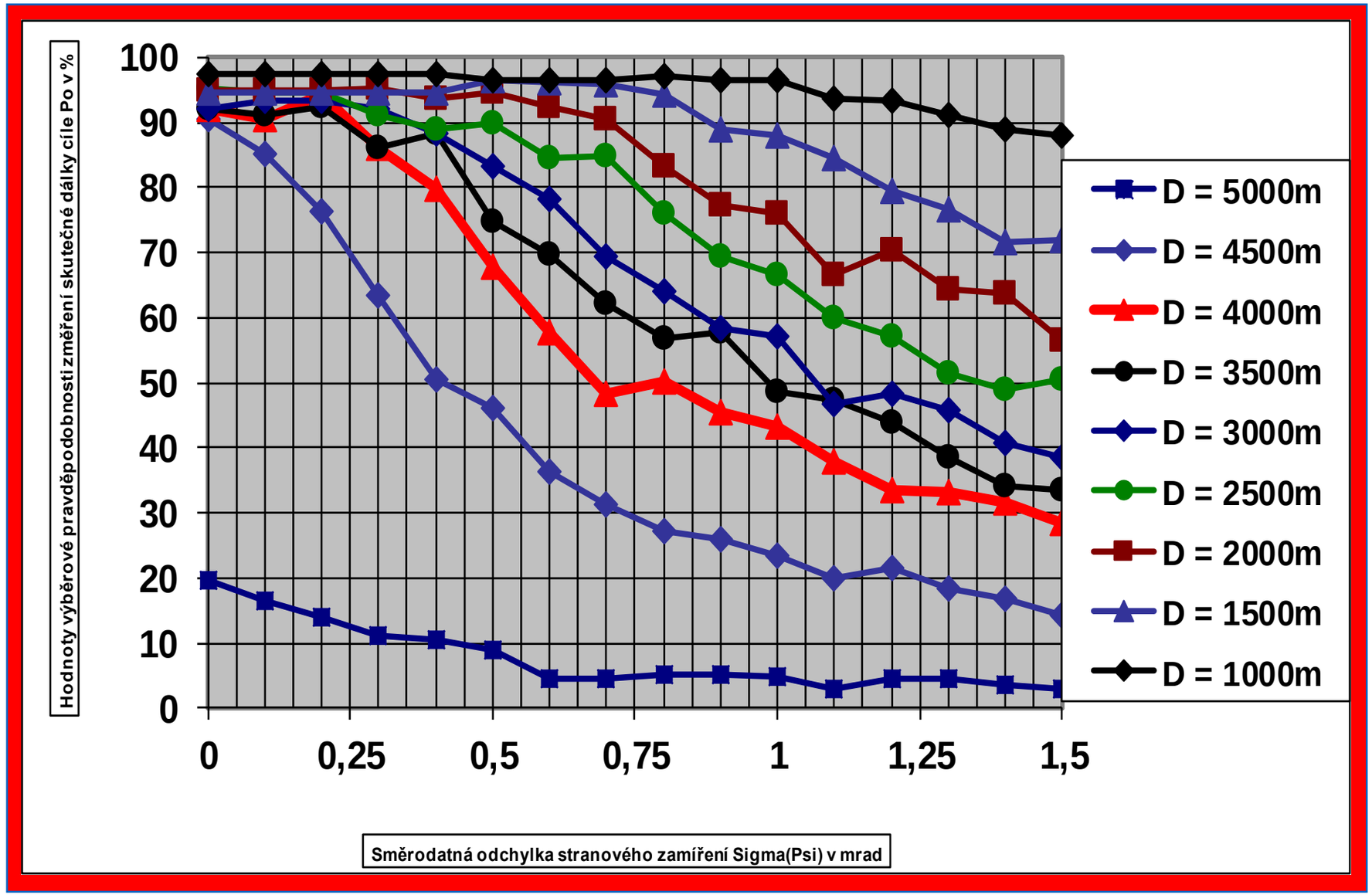
První ILD,
- velké ZS (lodě, letadla, tanky, dělostřelci)
- Monoimpulzy P[MW], τ [ns]
- $\lambda = 1{,}06$ [μm]

Pasivní Q závěrka

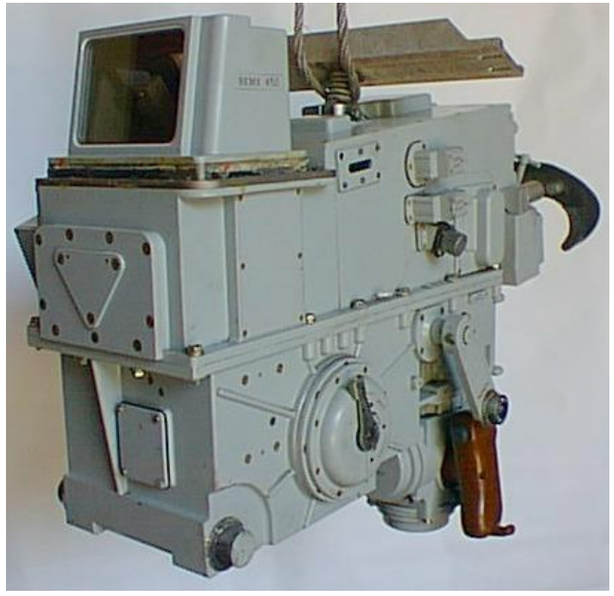


miniaturizace ILD,
- přenosné průzkumné systémy, všechny ZS
- Série impulzů P[MW], τ [ns]
- $\lambda = 1{,}54$ [μm]


Vyslaný impulz
t
Ideálně přijatý impulz
t
reálně přijaté impulzy
t
t_i
t_1
t_2
t_3


Hodnoty výběrové pravděpodobnosti změření skutečné dálky cíle Po v %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
0,25
0,5
0,75
1
1,25
1,5
D = 5000m
D = 4500m
D = 4000m
D = 3500m
D = 3000m
D = 2500m
D = 2000m
D = 1500m
D = 1000m
Směrodatná odchylka stranového zamíření Sigma(Psi) v mrad

ILD – OM Q závěrka



TPDK – 1 , tank T72

Dělostřelecký dálkoměr DAK – 2, dosah 8 km

ILD SŘP Kladivo (1983),
Tesla Kolín, Meopta Přerov

ILD – pasivní Q závěrka

$\lambda = 1{,}54\mu m$ → Oku bezpečné

HALEM 2

MOLEM

Sender
Typ Nd:YAG-Laser mit Ramanzelle
Wellenlänge 1543 nm
Laserklasse 1M EN 60825/2003
Augensicherheitsabstand (NOHD) 0 m
Pulsenergie 10 mJ
Pulsdauer 5 ns
Strahldivergenz 0,8 mrad
Meßrate 0,5 Hz

Empfänger
Typ InGaAs-PIN-Diode
alternativ:
InGasAs-Avalanche-Diode

Entfernungsanzeige
Meßbereich **50 m - 39995** m
Meßgenauigkeit 5 m
Doppelzielauflösung 20 m
Nahzielunterdrückung einstellbar in 10-m-Schritten bis zu 5000 m
Erstziel-/Letztziel-Logik wählbar

Dálkoměry s laserovými diodami

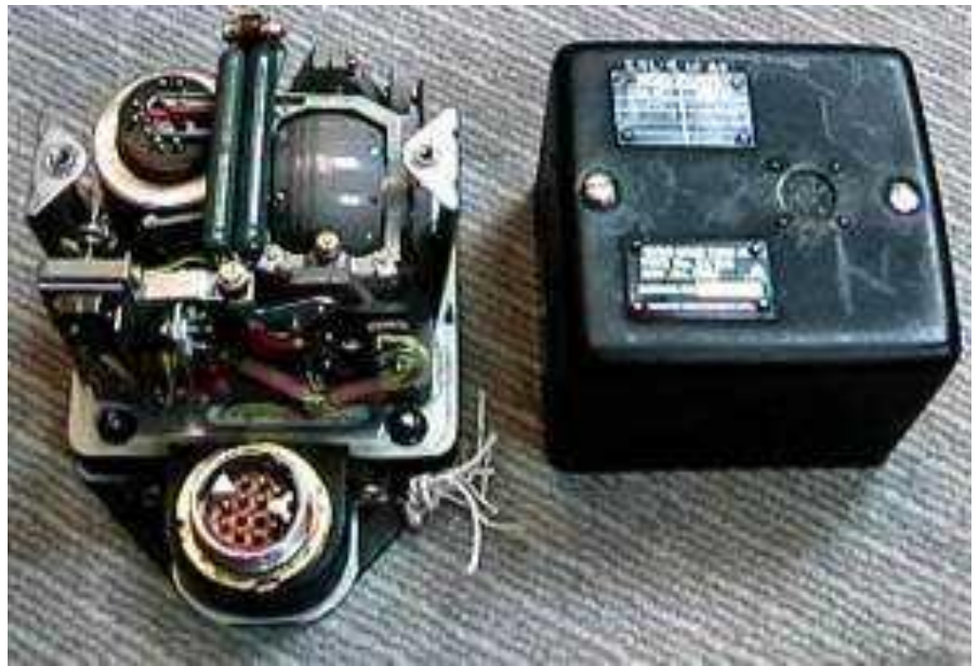
Leica vector

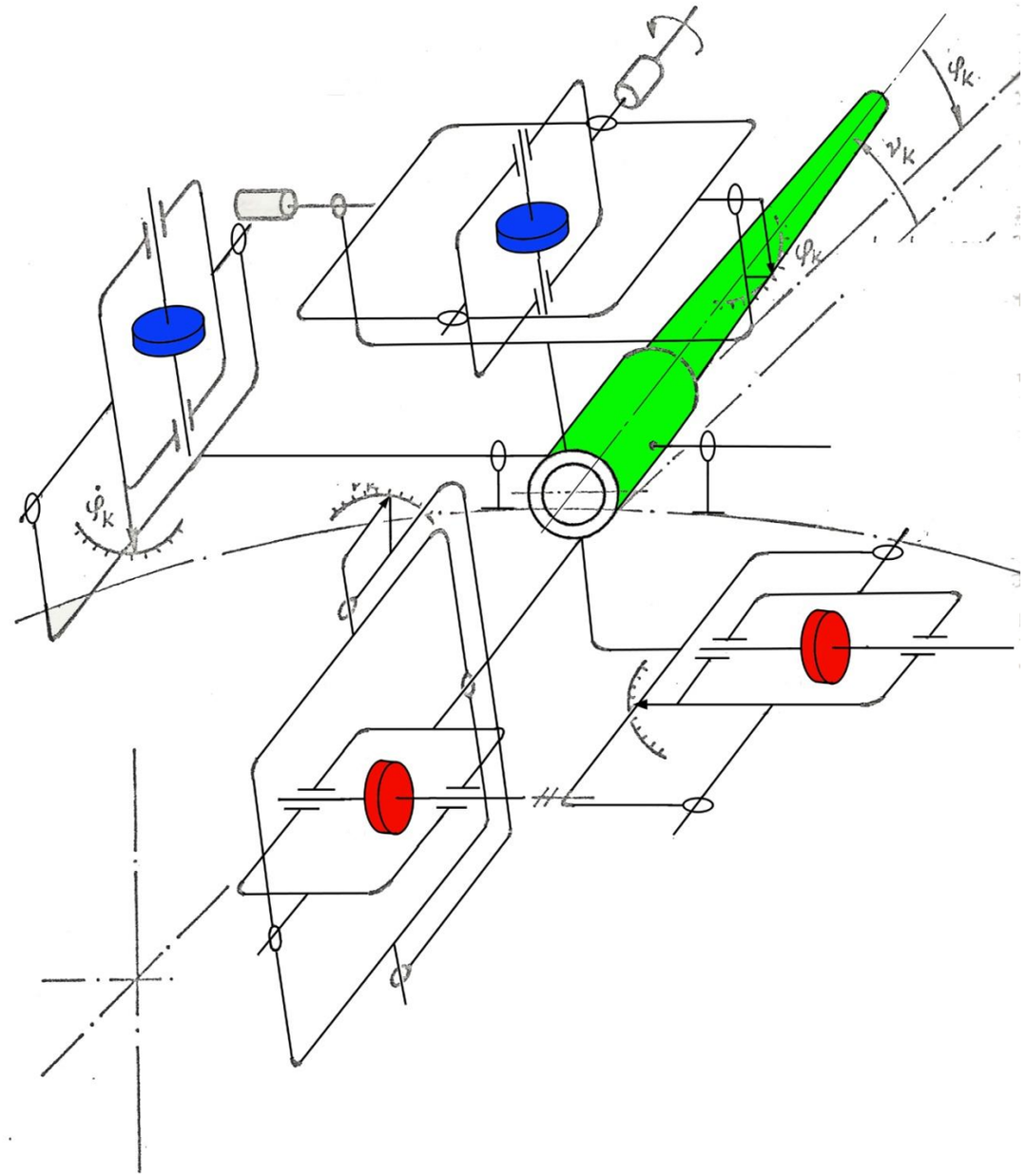
- Rozšířené i u ručních zbraní
- Dosah kolem km
- Proměnná doba vyzařování až 2,5 s
- $\lambda = 850\ nm$

gyroskopická stabilizace

Nevýhody mechanického gyroskopu

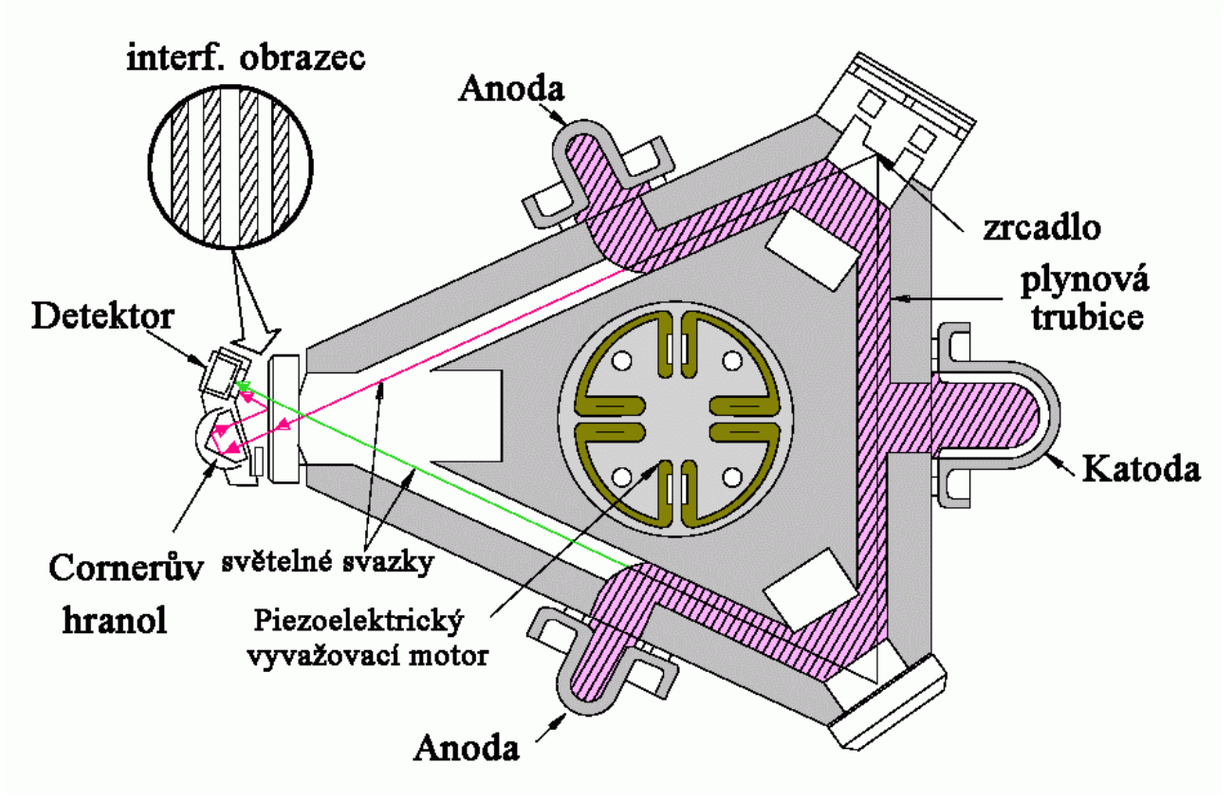
- Přesnost pohyblivých částí
  - tření
  - omezená životnost
  - cena
  - environmentální omezení
  - „**velmi vysoké**“ otáčky
- Náročné technologie
- Malá odolnost vůči rázům (výstřelům)





Kruhový laserový gyroskop

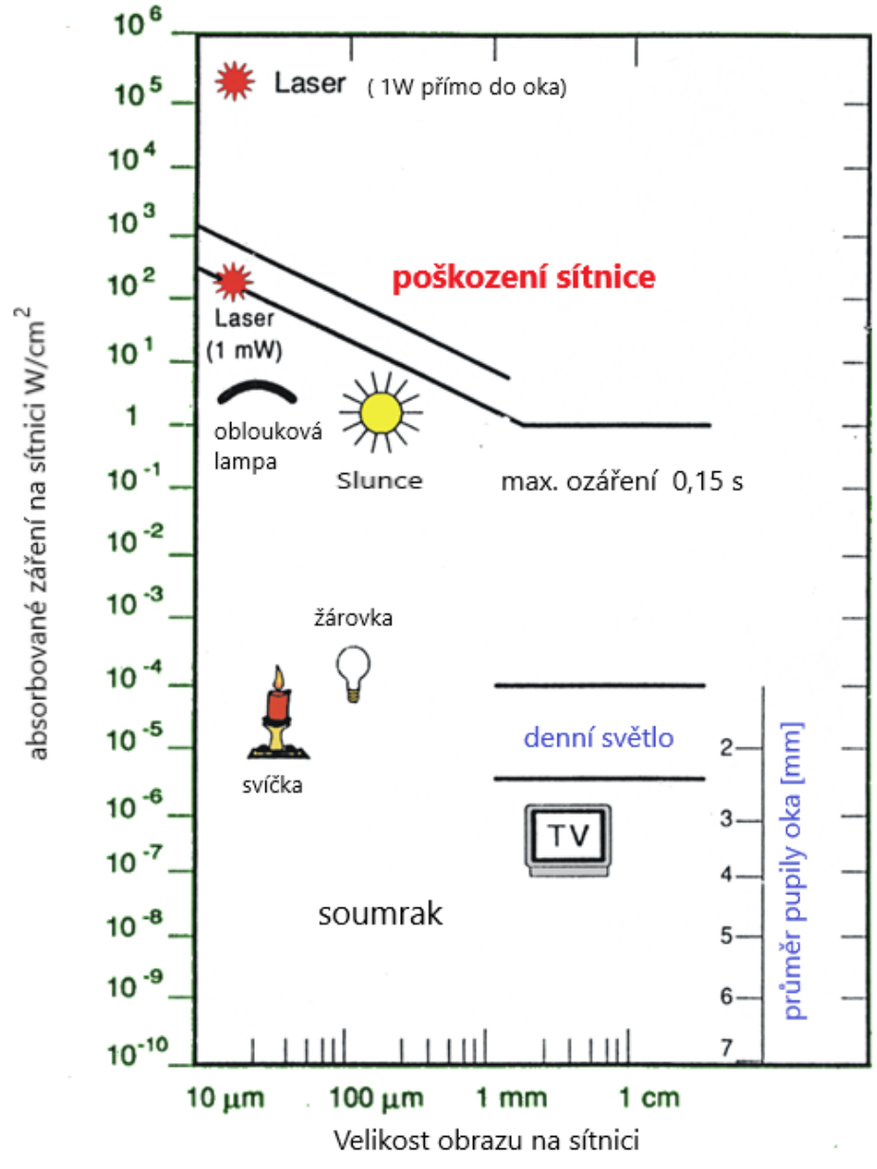
- Čtvercový nebo trojúhelníkový rezonátor
- Stojatá laserová vlna
- Dopplerův efekt



Aplikace optických gyroskopů a jejich parametry

typ	Rozsah [°/s]	Rozsah stability [ppm]	Kmitání stability [°/h]	Doba přípravy [s]	cena	rozměry	Životnost [rok]
Letecká navigace	100	25	0.01	>300	vysoká	nekritické	>1
Kozmické rakety	10-30	50	0.1	>300	střední	nekritické	>1
Vzduch –země (kozmické)	10	~50	0.1-0.001	>300	vysoká	Středné-malé	>1
Torpédo	400	100-500	10-100	-	nízká	Středné-malé	3-5
Vzduch –země (Taktická střela)	100-200	500	0.1	60	Velmi nízká	malé	3-5
Sledovací radar střely země-vzduch	200-500	>1,000	10-50	1/4-10	Nízká až střední	malé	5-10
kanón	>500	-	-	-	Velmi nízká	malé	-

Absorbované záření na sítnici od různých zdrojů



Doplňují informace:
Ochrana před lasery v AČR
Mgr. Filip Chlup

Bezpečnost a hodnocení rizika při použití laseru
Ing. Kateřina Nováčková

převzato: Laser Technik Hannover

Porovnání žárovky a laseru

Fotopické vidění K = 683 lm/W		skotopické vidění K = 1760 lm/W		
zdroj	Světelný tok Φ [lm]	Ω [sr] prostor. úhel	Svítivost I [cd]	Jas [cd/m2] r = 1 km
Žárovka 200 W, 2850 K	2500	4π	198,9	$2 \cdot 10^{-10}$
Laser 100 mW, 532 nm, 2θ = 1 mrad	58	$7{,}585 \cdot 10^{-7}$	$76{,}466 \cdot 10^{6}$	74

$$K_{532} = 580 \text{ lm/W}$$

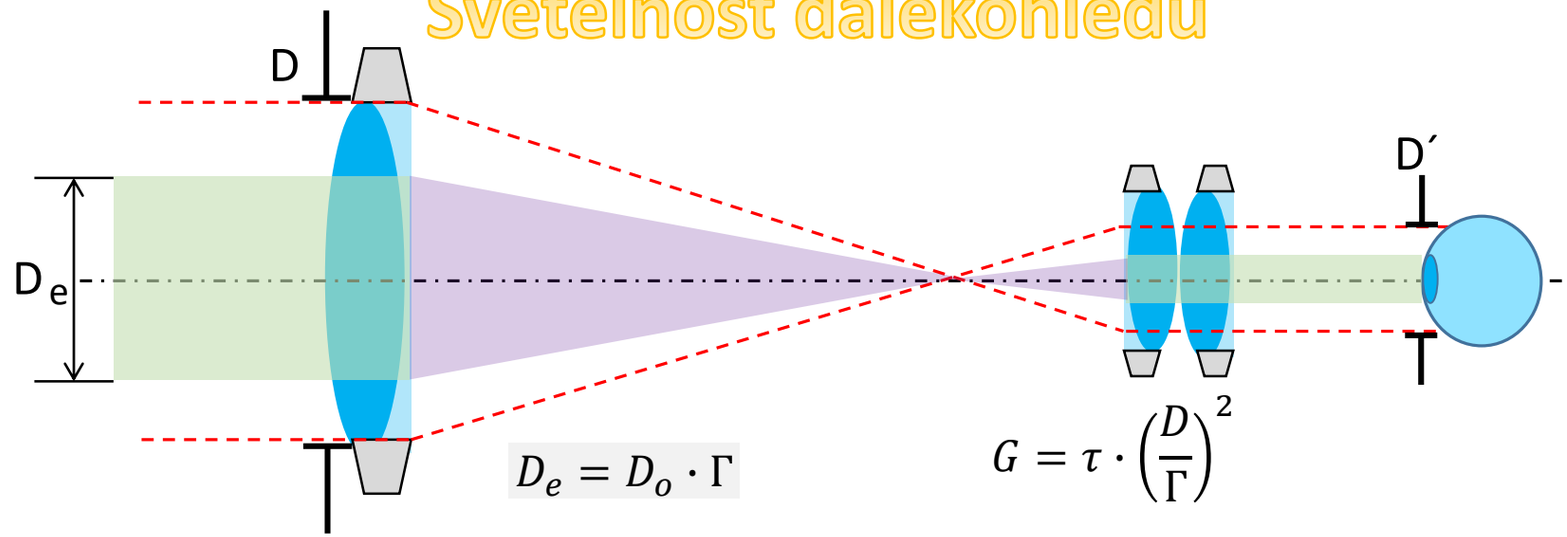
$$S_{koule} = 4\pi \cdot r_{koule}^2 = 12\,566\,371 \text{ m}^2 \text{ , } S_{kruh} = \pi \cdot r_{kruh}^2 = 1{,}57 \text{ m}^2$$

Lumen (lm), světelný tok vyzařovaný do prostorového úhlu 1 sr bodovým zdrojem, jehož svítivost je ve všech směrech 1 cd
Stará definice: světelný tok, který vysílá AČT při teplotě tuhnutí Pt (1768 °C) o velikosti $5{,}305 \cdot 10^{-7} m^2$ do celého poloprostoru. (stará def. Vyhovuje výpočtům)

Kandela (**cd)**, je svítivost světelného zdroje, který v daném směru vyzařuje monochromatického záření o frekvenci 540×10^{12} Hz ($\lambda = 555$ nm)a jehož zářivost v tomto směru činí 1/683 W/sr.

Od roku 1967 jednotka předefinována jako svítivost 1/600 000 m² povrchu AČT ve směru kolmém k tomuto povrchu při teplotě tuhnutí Pt (1768 °C) při normálním tlaku (101 325 Pa).

Světelnost dalekohledu



$MPE = 2{,}54\ \mathrm{mW \cdot cm^{-2}} = 25{,}4\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}, D_o = 8\ \mathrm{mm}, t_e = 0{,}25\ \mathrm{s}$

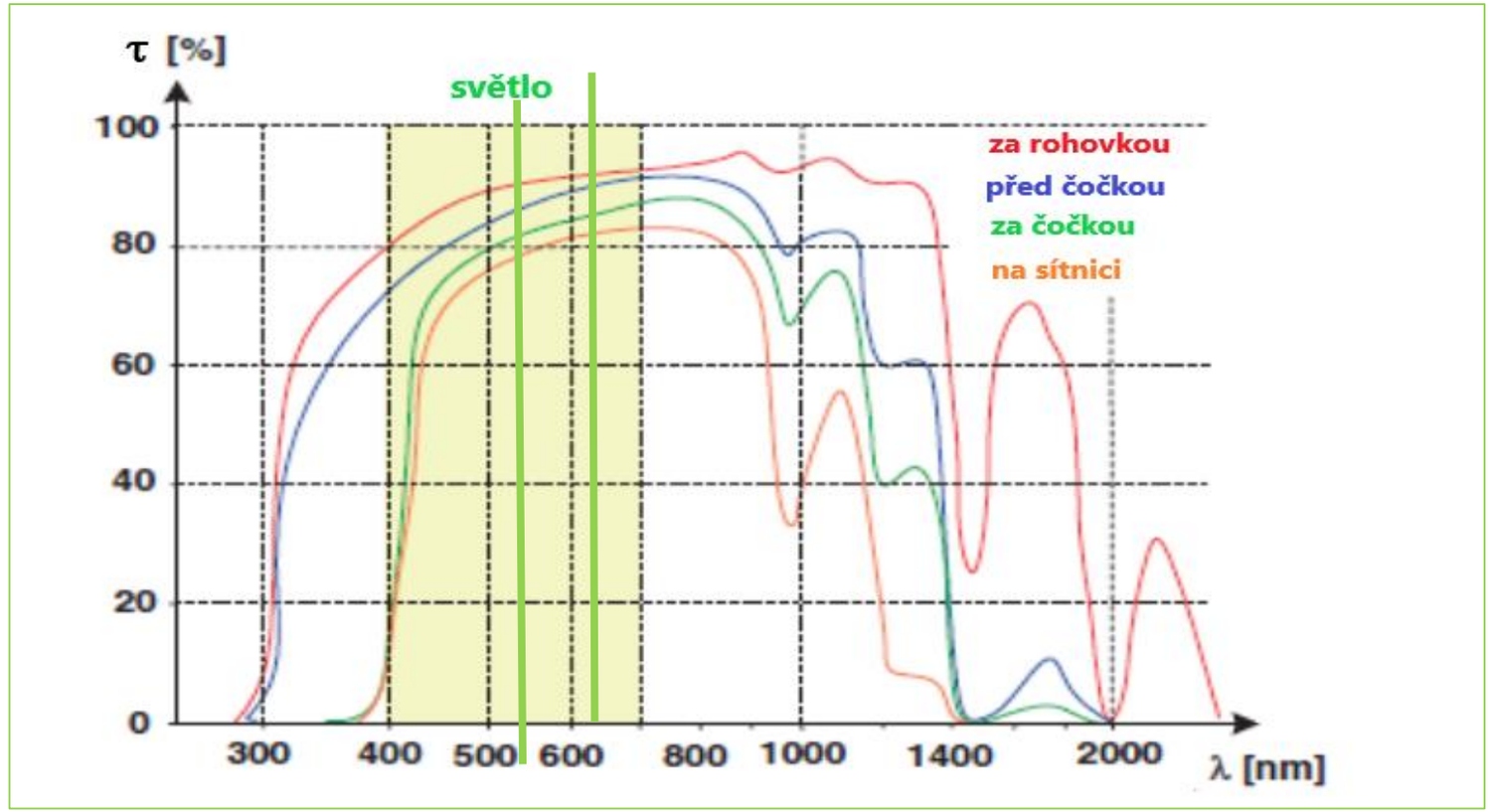
absorbovaná energie okem bez dalekohledu: $Q_\alpha = MPE \cdot \frac{\pi \cdot D_o^2}{4} \cdot t_e$

absorbovaná energie okem s dalekohledem: $Q_{\alpha\ dal} = Q_\alpha \cdot G_e$

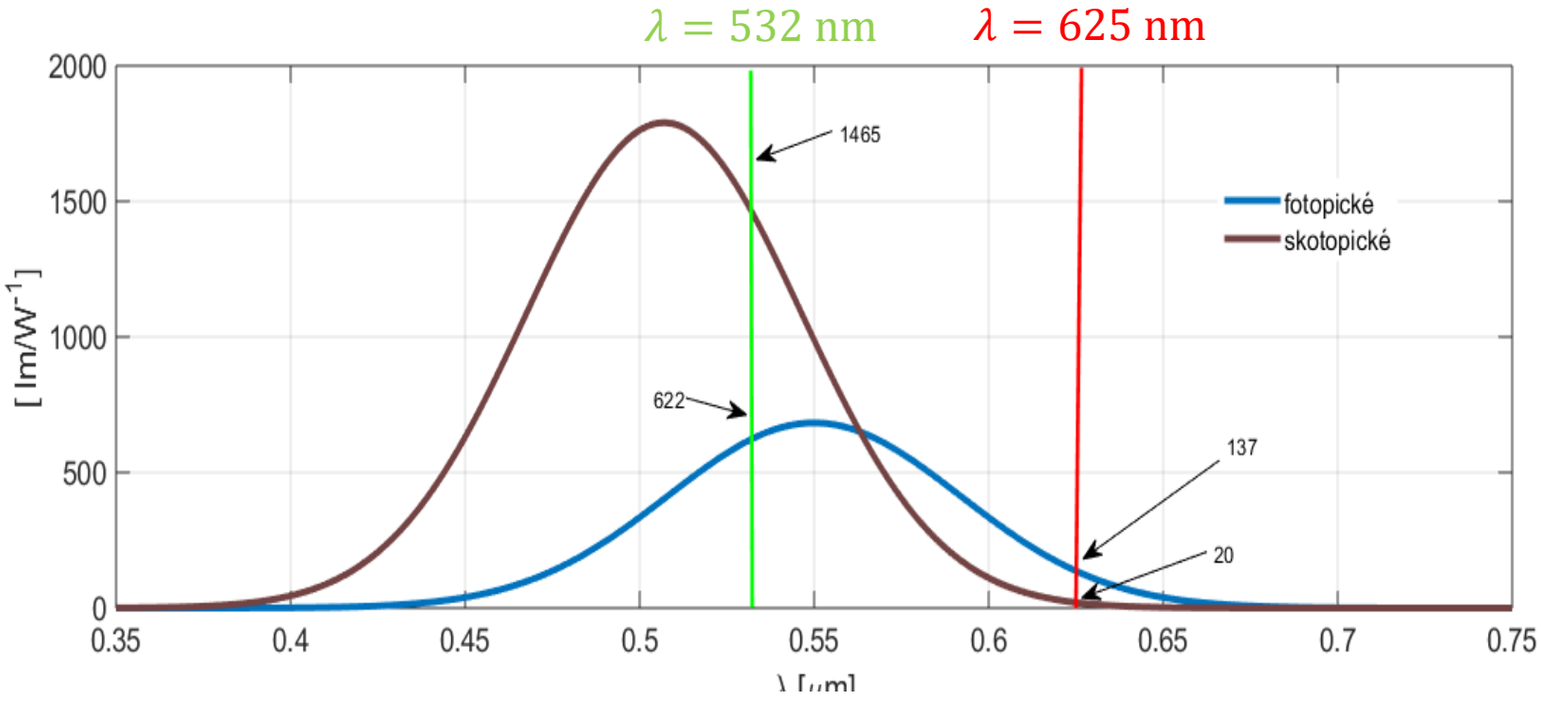
Dalekohled 8 x 64			
	okem absorbovaná energie Q_α		$k_{n/d}$
	den $D_o = 2$ mm	noc $D_o = 8$ mm	
oko	19,99 μJ	0,319 mJ	15,95
oko + dalekohled	68,9 μJ	18,37 mJ	266,62
$k_{dal/oko}$	3,26	57,58	

Doplňují informace:
Bezpečnost a hodnocení rizika při použití laseru
Ing. Kateřina Nováčková

Transmitance opt. záření lidským okem



Průběh spektrální citlivosti oka – ozáření zeleným a červeným laserem P = 1W



$$\varphi_{fot} = \frac{\Phi_{532}}{\Phi_{630}} = \frac{622}{137} = 4{,}5$$

$$\varphi_{skot} = \frac{\Phi_{532}}{\Phi_{630}} = \frac{1468}{20} = 73{,}4$$

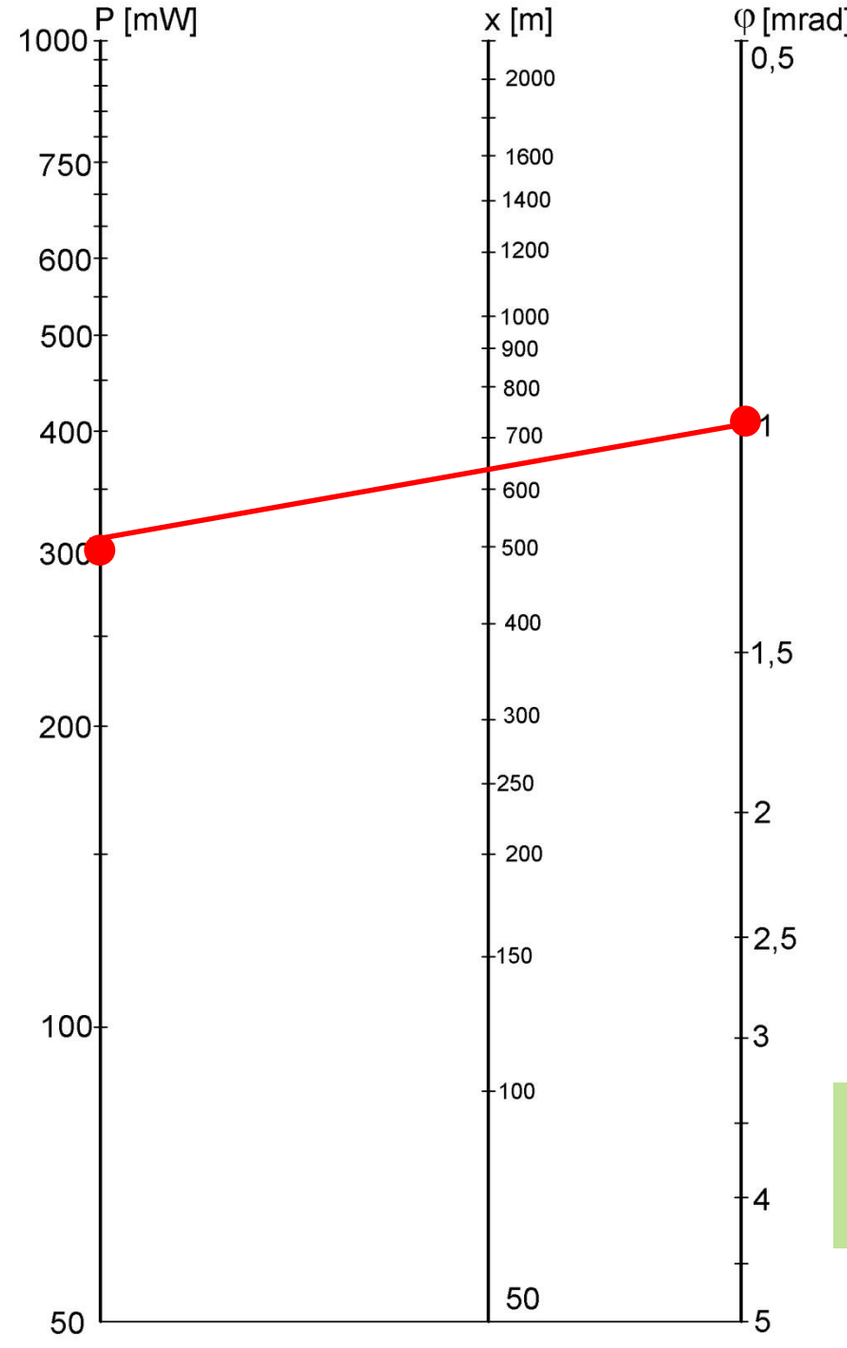
Expoziční limity osvětlení a odpovídající ozáření laserem pro různé vizuální efekty podle ANSI Z136.6 (2005, Table 5).

Vizuálný efekt	ozáření limit $[\mathrm{W} \cdot \mathbf{cm}^{-2}]$	Osvětlení limit [lx]
Poškození oka	2.5×10^{-3}	17000
Afterimages, oslepení	1×10^{-4}	680
oslnění	5×10^{-6}	34
Rušivé osvětlení, distraction	5×10^{-8}	0,34

Oslepení – následné obrazy

$$MPE = 100\mu W \cdot cm^{-2} = 1W \cdot m^{-2}$$

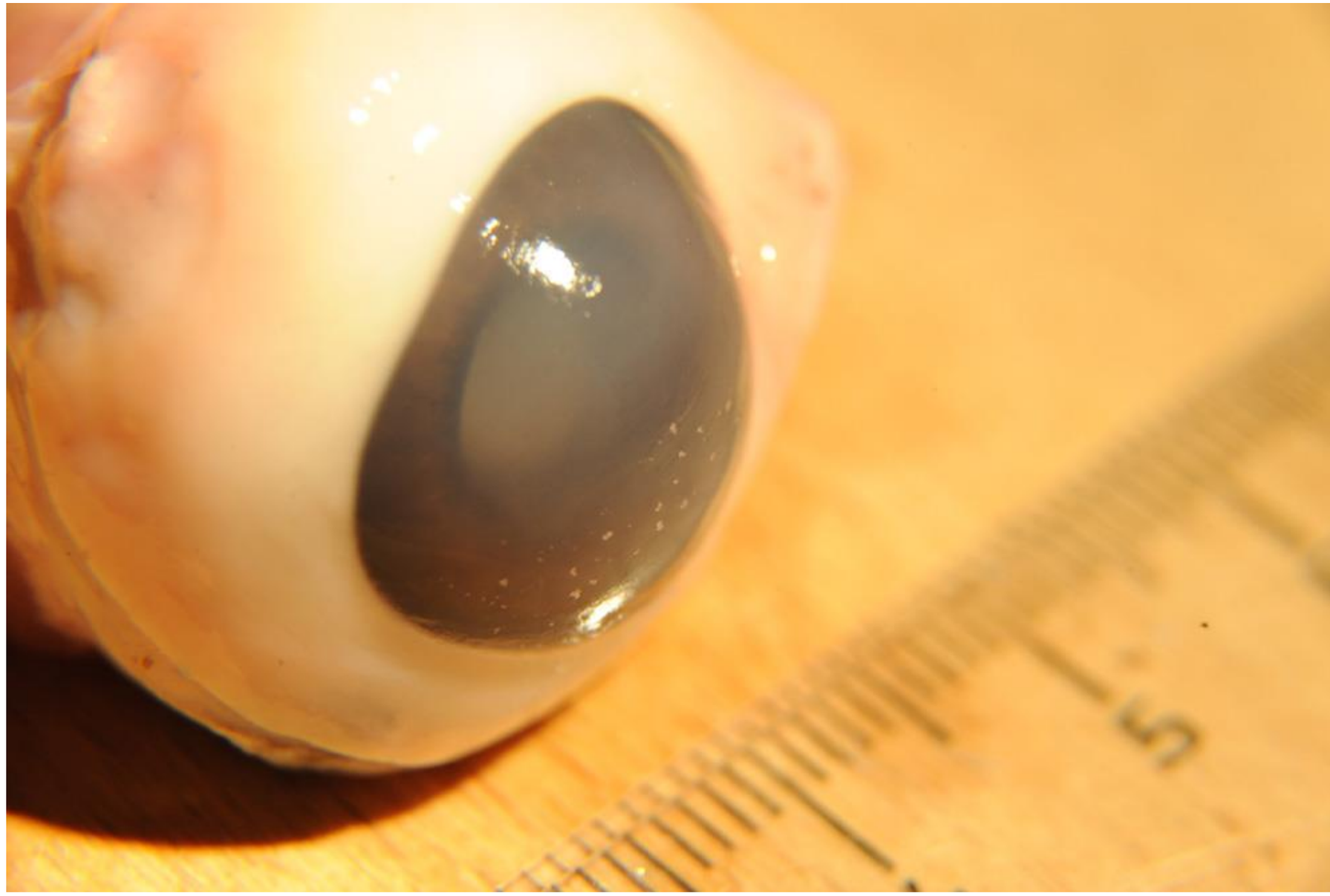
$$P = 300mW, \varphi = 1mrad$$



Doplňují informace:
Bezpečnost a hodnocení rizika při použití laseru
Ing. Kateřina Nováčková

Experiment VVP Jince - přesnost navedení

Poškození oka laserem 10,6 μm P = 30 W (UO Brno



Poškození oka laserem 10,6 µm P = 30 W, doba expozice 1s

Mgr. Filip Chlup; PRAMACOM-HT, spol. s.r.o.

Ochrana před lasery v AČR

Autor se v první části příspěvku zaměřuje na nebezpečí představované laserovým zářením ve vztahu k poškození zraku, rozdělením laserových zařízení do jednotlivých tříd nebezpečnosti a specifikům ozbrojeného a neozbrojeného oka. Dále uvádí výčet příkladů laserových zařízení používaných v ozbrojených složkách a jejich způsoby použít a rizika s nimi spojená. Jedná se zejména o laserové značkovače, kódované laserové značkovače (laserový paprsek nese informaci využívanou pro navádění přesné munice), laserové dálkoměry, laserové oslňovače a ozařovače cílů. V druhé části je pojednáno o způsobech ochrany zraku jednotlivce a doporučených parametrech ochranných prostředků. Na závěr jsou popsány možnosti diagnostiky parametrů laserových svazků prováděných ve firmě PRAMACOM.

>> redakce <<

Ochrana před lasery v AČR

„Nové trendy využití laserů a přístrojové techniky pro ozbrojené síly“

Mgr. Filip CHLUP

22. září 2022

Workshop Českého optického klastru

PRAMACOM-HT, spol. s r.o.

Motivace

Březen 2018 – zákaz použití laseru pro trvalé oslepení
Protocol on Blinding Laser Weapons (Protocol IV) – nekonvenční Ženeva, 109 zemí

NATO i AČR využívá řadu velmi nebezpečných laserů k osvětlení, označení,navedení či k měření – předpisy, měření, značení.

Nově i ničení neživých cílů
či dočasné oslepení osob.

Cílem je zmapování:
- názvosloví las. ochrany
- typy laserů
- taktika las. ochrany
- měření laserů

Laserové třídy IEC 60825-1 (STANAG 3606, Ed. 7)

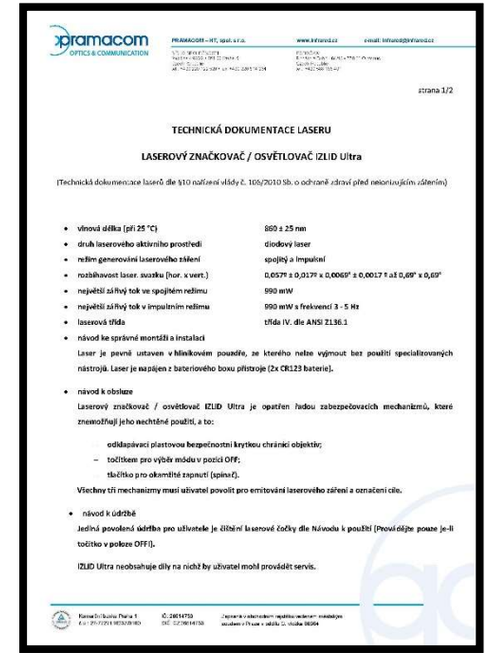
1. **bezpečná za všech okolností (eye-safe)**

2. **bezpečná při mrkacím reflexu lidského oka** (0,25 s - stres)

3R. **nízká nebezpečnost, jednoduchá pravidla**

3B. **nebezpečné pro oči při přímé expozici**

4. **nebezpečné pro oči (nepřímo) i kůži**



strana 1/2

TECHNICKÁ DOKUMENTACE LASERU

LASEROVÝ ZNAČKOVAČ / OSVĚTLOVAČ IZLID Ultra

(Technická dokumentace laserů dle §10 nařízení vlády č. 108/2010 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením)

- vlnová délka (při 25 °C) 860 ± 25 nm
- druh laserového aktivního prostředí diodový laser
- režim generování laserového záření spojitý a impulsní
- rozbíhavost laser. svazku (hor. x vert.) 0,057° ± 0,017° x 0,0069° ± 0,0017 ° až 0,69° x 0,69°
- největší zářivý tok ve spojitém režimu 990 mW
- největší zářivý tok v impulsním režimu 990 mW s frekvencí 3 - 5 Hz
- laserová třída třída IV. dle ANSI Z136.1
- návod ke správné montáži a instalaci
  Laser je pevně ustaven v hliníkovém pouzdře, ze kterého nelze vyjmout bez použití specializovaných nástrojů. Laser je napájen z baterioového boxu přístroje (2x CR123 baterie).
- návod k obsluze
  Laserový značkovač / osvětlovač IZLID Ultra je opatřen řadou zabezpečovacích mechanizmů, které znemožňují jeho nechtěné použití, a to:
  - odklápěvací plastovou bezpečnostní krytkou chránící objektiv;
  - točítkem pro výběr módu v pozici OFF;
  - tlačítko pro okamžité zapnutí (spínač).

  Všechny tři mechanizmy musí uživatel povolit pro emitování laserového záření a označení cíle.
- návod k údržbě
  Jediná povolená údržba pro uživatele je čištění laserové čočky dle Návodu k použití (Provádějte pouze je-li točítko v poloze OFF!).

  IZLID Ultra neobsahuje díly na nichž by uživatel mohl provádět servis.

Technická dokumentace laseru

Problematika lidského oka

a) spektrální citlivost

400 – 700 nm	- vysoká citlivost	záření proniká na sítnici
700 – 1400 nm	**- nízká citlivost**	**záření proniká na sítnici**

b) malá vstupní pupila

Oční pupila max. 8 mm průměr.

Co se stane pokud pozoruji optickým dalekohledem laserem označovaný cíl?

pramacom OPTICS & COMMUNICATION

Laserové třídy IEC 60825-1 (STANAG 3606, Ed. 7)

1. **bezpečná za všech okolností**

1M **bezpečná pro neozbrojené oko** (jinak 3B)

2. **bezpečná při mrkacím reflexu lidského oka** (0,25 s)

2M **bezpečná pro neozbrojené oko** (jinak 3B)

3R. **nízká nebezpečnost, jednoduchá pravidla**

3B. **nebezpečné pro oči při přímé expozici**

4. **nebezpečné pro oči (nepřímo) i kůži (lasery 1 000-1 400 nm)**
– definice NOHD, ENOHD, NSHD, OD

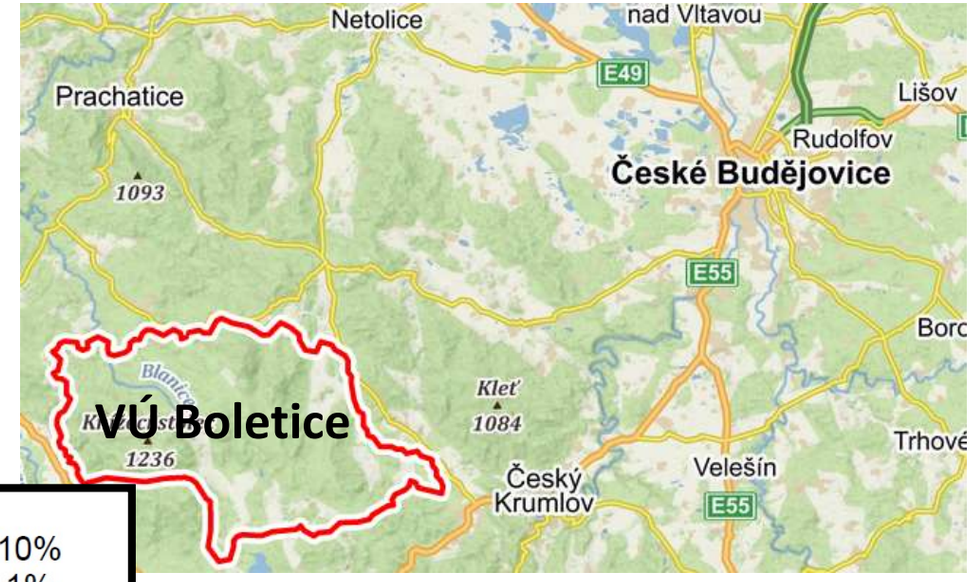
Laserové třídy IEC 60825-1 (STANAG 3606, Ed. 7)

Pro lasery třídy 4:

NOHD (jmenovitá vzdálenost nebezpečná pro zrak)
AČR např. 60 km (6 kg)

ENOHD (rozšířená jmenovitá vzdálenost nebezpečná pro zrak)
AČR např. 30 km (0,5 kg)
118 km (3 kg)

NSHD (jmenovitá vzdálenost nebezpečná pro kůži)
AČR např. 49 m (10 s)



OD (optická hustota - Exponent ochrany)
AČR např. 6 (1064 nm)

(OD)	
1	10%
2	1%
3	0.1%
4	0.01%
5	0.001%
6	0.0001%

Laserové značkovače

Použití: **označení vzdáleného cíle**

- **nejpoužívanější lasery v AČR (tisíce kusů – zbraňové, ruční, vozidlo, letecké)**
- **viditelné min. / neviditelné (830 až 860 nm), duální bezpečnost (1 / 3B / 4)**

Raven RQ-11B

- značkovač vzduch-zem

pro noční označení

- třída 3B, 830 nm

DBAL A3

- zbraňový laserový značkovač BREN 805 třída 1 a 3B

IZLID Ultra

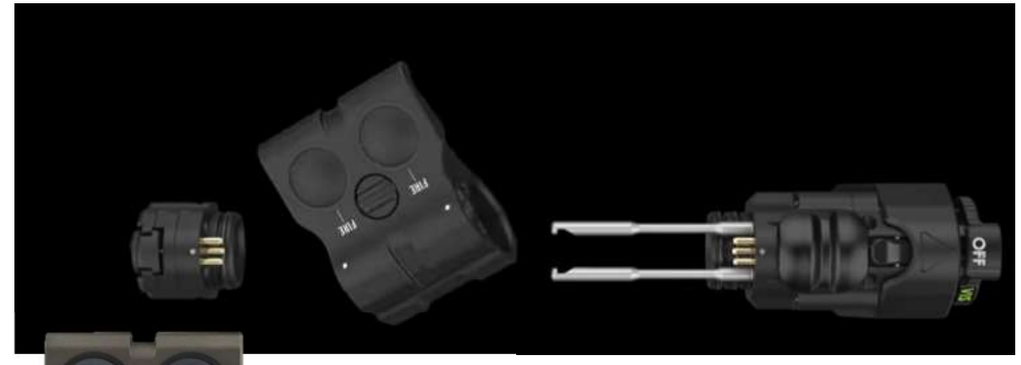
- značkovač zem-vzduch (pilot je ozařován)
- třída 4 (NOHD 744 m, NSHD 49 m, OD 3,1)
- dosah 15 km

Laserové značkovače

Použití: **označení vzdáleného cíle**

- **nově skrytá oblast SWIR (1064 nm – třída 4) nebo výměnné hlavice**

IZLID 1064
- skrytý značkovač zem-vzduch
- třída 4, dosah 5 km



MAWL
- výměnné hlavice
- třída 1, 3B či 4

Laserové značkovače - kódované

Použití: **označení vzdáleného cíle pomocí kódu**

- **nově od roku 2022 dle STANAG 3733 („Laser marker“)**
- **funguje v oblasti SWIR (kompatibilita s JAS-39 Gripen)**

CTAM

- kódovaný laserový značkovač zem-vzduch
  - třída 4, dosah 5 km

Litening IV

JAS-39

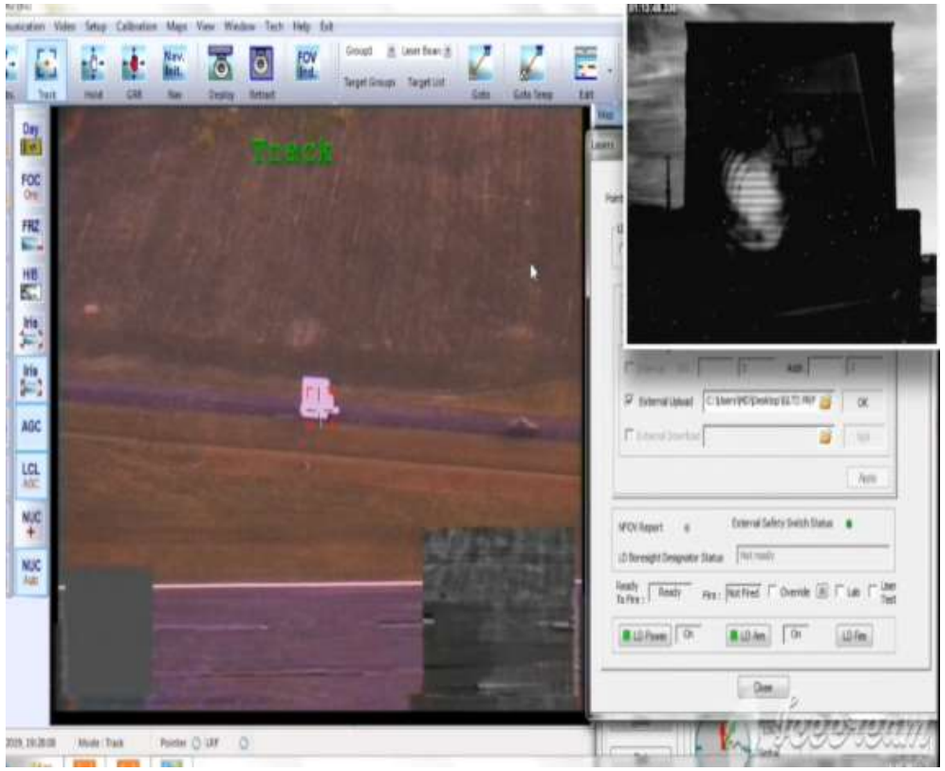
Mi-117

MX-15 FLIR

Laserové značkovače - kódované

Použití: **označení vzdáleného cíle pomocí kódu**

- **nově od roku 2022 dle STANAG 3733 („Laser marker“)**
- **funguje v oblasti SWIR (kompatibilita s JAS-39 Gripen)**
- **spolupráce laseru UAV a letadla**



Modul pro UAS PUMA

- třída 4
- ozáření na vzdálenost 1 km

Laserové dálkoměry

Použití: **měření vzdálenosti / rychlosti**

- **druhé nejpoužívanější lasery v AČR (několik stovek kusů)**
- **vždy třída 1 nebo 1M (nad 1400 nm)**

A) multi-pulzní laserové dálkoměry (diodové – ladí výkon)

PLRF-25C BT
- třída 1
- dosah 5 km

MOSKITO TI
- třída 1
- dosah 10 km
- včetně laserového značkovače 3B

JIM Compact
- třída 1
- dosah 12 km
- s las. značkovačem 3B
- možnost připojení laserového ozařovače 4

Laserové dálkoměry

Použití: **měření vzdálenosti / rychlosti**

- **druhé nejpoužívanější lasery v AČR (několik stovek kusů)**
- **vždy třída 1 nebo 1M (nad 1400 nm)**

B) jedno-pulzní laserové dálkoměry (pevnolátkové)

TLS 40
- třída 1
- dosah 20 km

LP 17D
- třída 1
- dosah 20 km

BAA II
- třída 1
- dosah 25 km
- s las. značkovačem 4
- možnost připojení laserového ozařovače 4

Laserové oslňovače

Použití: **dočasné oslepení osoby (varování)**

- **nově od roku 2022 v AČR na vozidlech pro ochranu VIP osob**
- **zelený oslňovací laser s rychlím laserovým dálkoměrem**

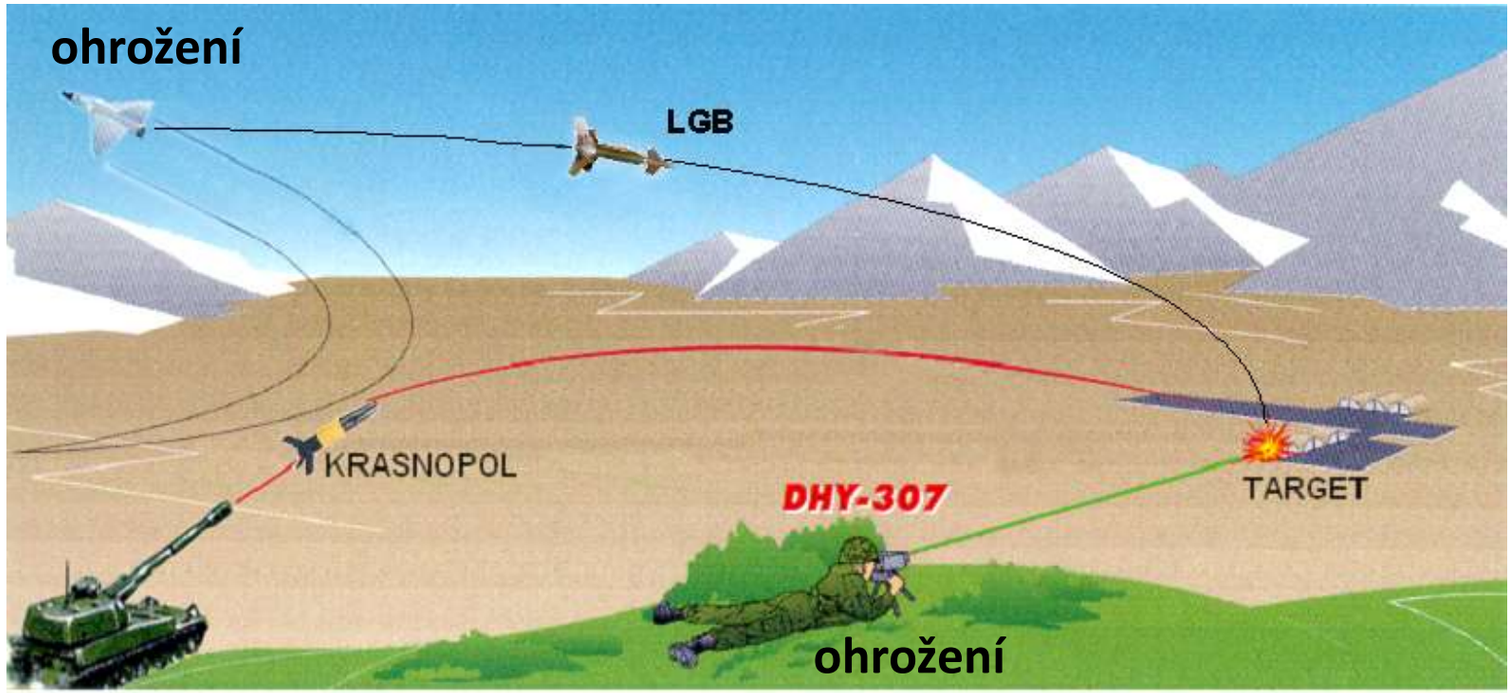
GLARE Recoil

- třída 2M (s dalekohledem 7x50 mm NOHD 264 m)
- dosah 4 až 20 km

Laserové ozařovače cílů

Použití: **kódované navedení laserem řízené munice (1064 nm)**

- **nejnebezpečnější lasery**
- **nově od roku 2022 i na vozidlech (KOPR)**



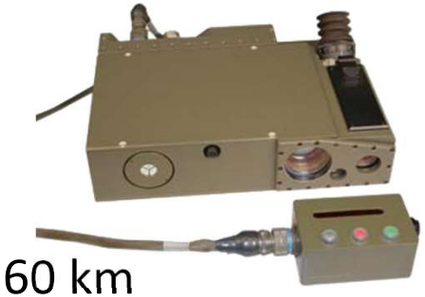
DHY-308

- třída 4
- ENOHD 118 km

Litening IV

DHY-307

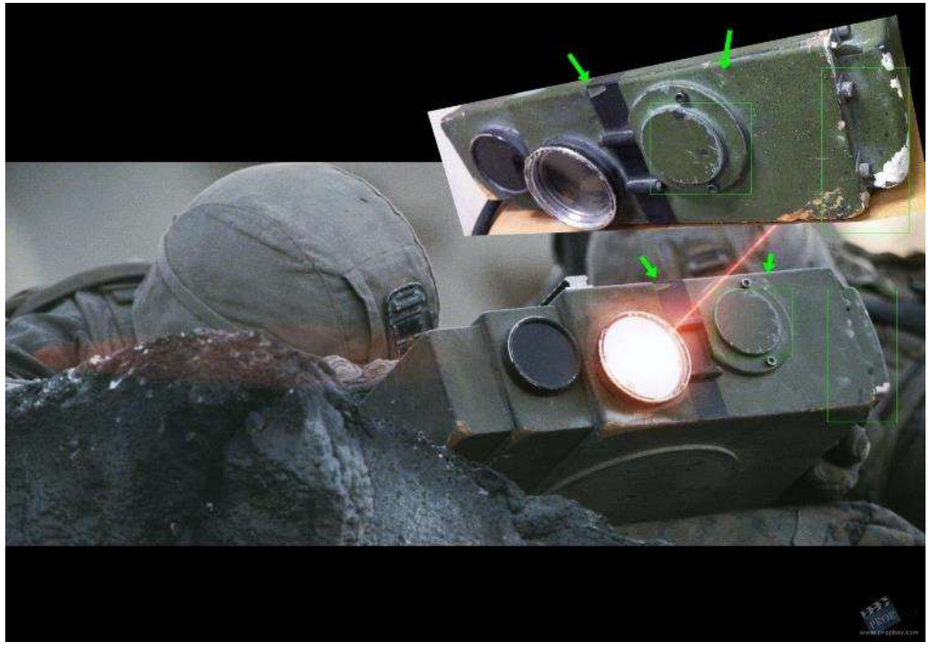
- třída 4
- NOHD 60 km

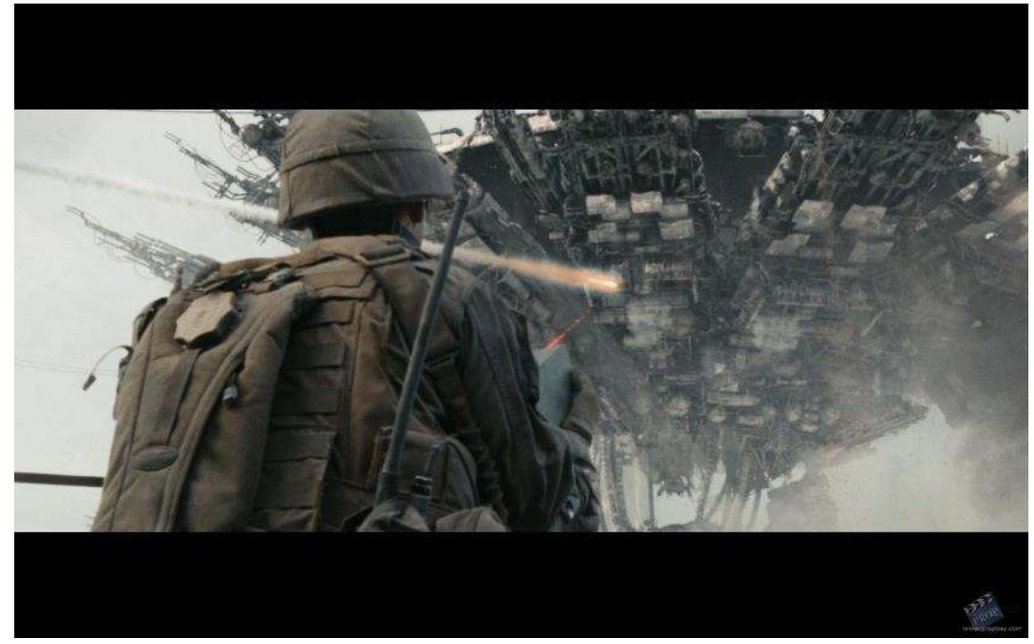


Laserové ozařovače cílů

Použití: **kódované navedení laserem řízené munice (1064 nm)**

- **nejnebezpečnější lasery**
- **nově od roku 2022 i na vozidlech (KOPR)**



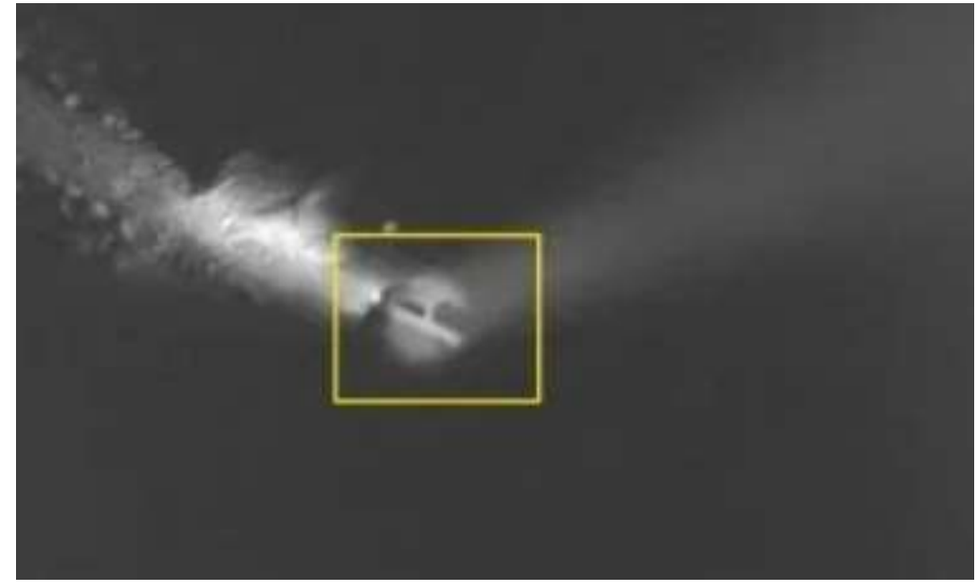


Bitva o Los Angeles (2011)

Laserové přisvětlovače

Použití: **osvícení objektu pro jeho identifikaci**

- **využity dlouhodobě s laserovými značkovači v oblasti NIR (demaskování)**
- **nově ze vzduchu pomocí UAV PUMA s pomocí stabilizace**
- **budoucí ve skryté oblasti SWIR**



Modul pro UAS PUMA

- třída 3B
- přisvícení na vzdálenost 1 km

Ochranné brýle

- mimo ochranou funkci proti laserům i střelecká funkce (broky)
- musí chránit proti vícero-druhů laserů (jaké?)
- taktické / vojenské schopnosti (barva, uchycení?)

Ochranné brýle

- mimo ochranou funkci proti laserům i střelecká funkce
- musí chránit proti vícero-druhů laserů (820 – 880 nm OD 4, 1064 nm OD 5)
- taktické / vojenské schopnosti

REVISION
StingerHawk
s filtrem E2-5.

OD4 820-880nm
0D5 1064nm

Nutno vybavit každého vojáka a ne jen specialisty („LASER ON!“).
Nepořizovat lasery mimo výše ochranný rozsah x analýza.

Analýza …

Laser System	Mode	Wavelength (nm)	Unaided NOHD (km)	7X50 Binoculars NOHD (km)	12-cm Optics NOHD (km)	Buffer Angle (mrad)	Unaided OD	Aided OD	Platform type
AC-130U ALLTV	Designator	860	0.28	1.64	8.37	5	3.0	2.9	Fixed Wing
AC-130U LIA	Illuminator	807	0.10	0.70	1.64	5	3.3	5.2	Fixed Wing
AC-130U LTD/RF	Combat	1064	3.10	18.00	29.00	5	0.8	3.4	Fixed Wing
ACP-2	Pointer	836	0.00	-	-	10	1.9	-	Man Transportable
ACP-2A	Pointer	800-850	0.14	0.97	2.25	10	2.2	2.2	Man Transportable
ACP-2B	Pointer	836	0.16	0.93	2.20	10	2.5	2.3	Man Transportable

Systémy varování před lasery

Systémy varování před lasery (Laser Warning System)

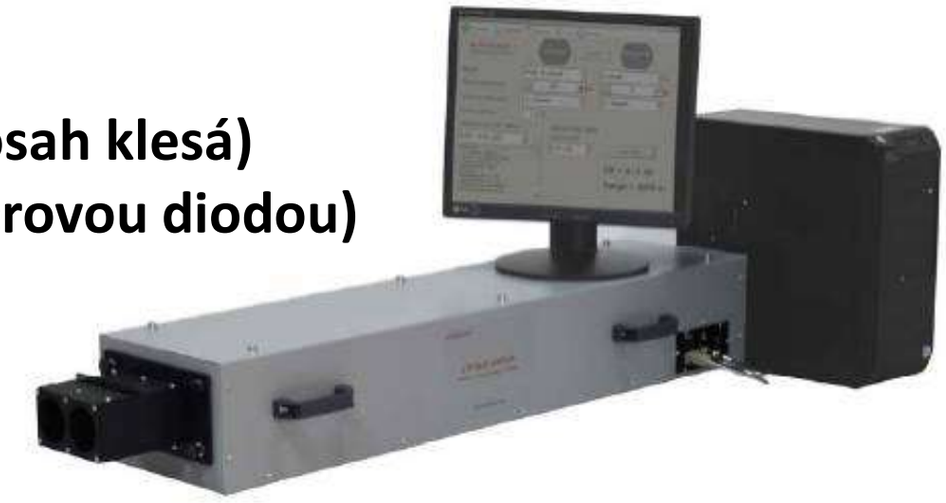
- proti laserovým dálkoměrům a ozařovačům
- zautomatizované (zadýmování, natočení termovize - střelba)
- citlivé i na odražené záření (zaměřit před cíl, opakovaně měřit)

USA: AN/AVR-2B(V)

rumunský systém pro vozidla

pramacom
OPTICS & COMMUNICATION

Lasery



- dosah – extinkční poměr (časem dosah klesá)
- přesnost (simulace vzdálenosti laserovou diodou)

- souosost s pozorovací větví

- hygienické parametry

(výkon, divergence, vlnová délka (VIS a NIR), počet/šířka pulzu)

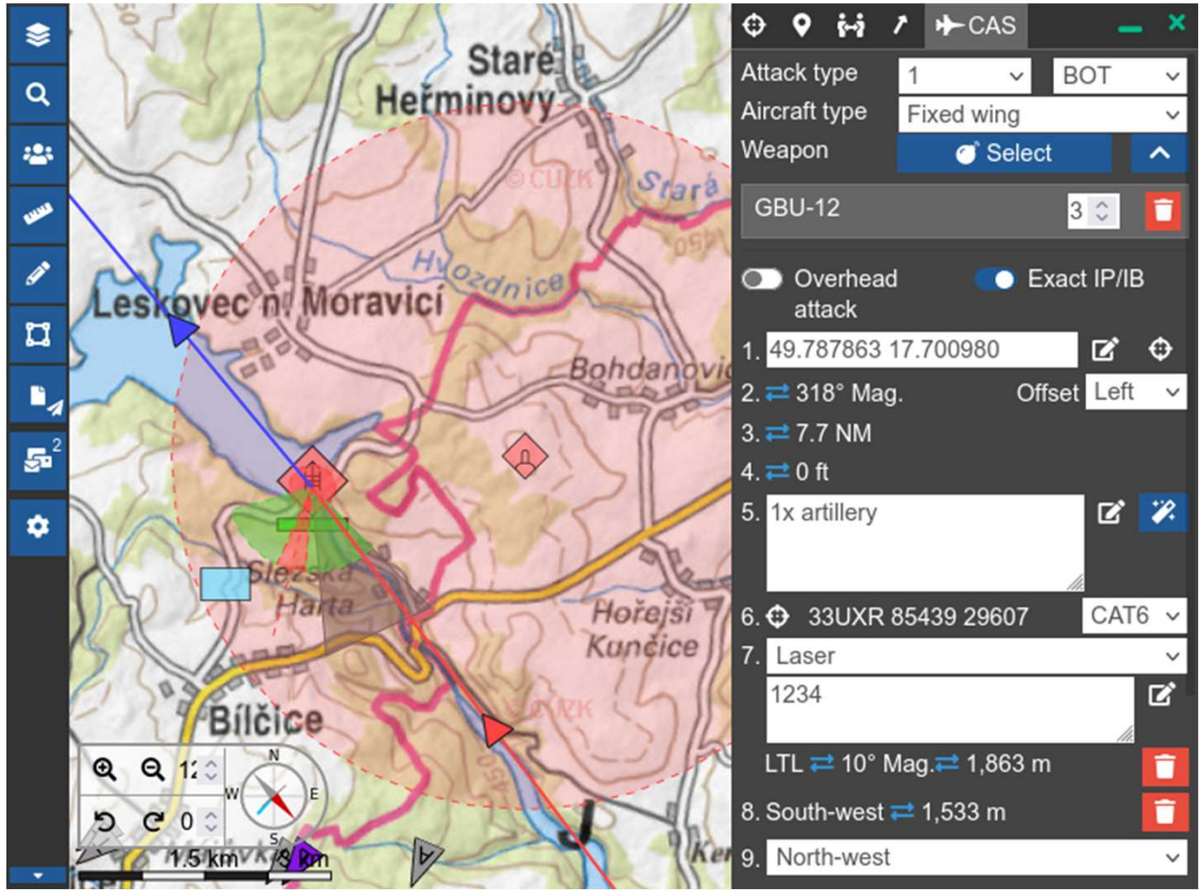
Úkol pro Český optický KLASTR …

Spektroradiometr VIS KONICA MINOLTA CS-2000	Spektroradiometr NIR RADOMA NVIS GS-1290-NVIS-2	Systém pro měření výkonu laserů INFRAMET	Systém pro měření laserové stopy LRF INFRAMET	Systém pro měření laserové stopy pulzních laserů INFRAMET	Systém pro měření parametrů LRF INFRAMET	Systém pro sesouhlasení optických os INFRAMET

Závěr - cíl zmapování

- názvosloví las. ochrany, typy laserů
- taktika las. ochrany, měření laserů

DĚKUJI ZA POZORNOST!



DaCAS – 08/2022, BoldQuest USA

11.8.2020 – Ondřejov Boletice

Ing. Michael Písařík, Ph.D.; Fyzikální ústav Akademie věd ČR, v. v. i. - Laserové centrum HiLASE,

Lasery a optika v protidronové obraně

V příspěvku jsou popsány charakteristiky nejběžnějších typů UAS, jejich rozměry a schopnosti. Je představena problematika klasifikace jednotlivých typů v závislosti na vzdálenosti a rozlišovací schopnosti detekčních systémů. Tyto schopnosti mohou být zásadně zdokonaleny využitím detektoru na bázi termokamer. V hlavní části autor pojednává o využití laserů k detekci UAS formolu lidaru a o využití laseru jako energetické zbraně, která je schopna přímým působením likvidovat UAS. Současně také pojednává o překážkách, které tomuto využití laserů brání. Dále jsou definovny pojmy „Maximum Permissible Exposure (MPE)“, „Nominal Ocular Hazard Distance (NOHD)“, „Nominal Hazard Zone (NHZ)“.

>>redakce<<

SUPERLASERS FOR THE REAL WORLD

Lasery a optika v protidronové obraně (C-UAS)

Dr. Michael Písařík

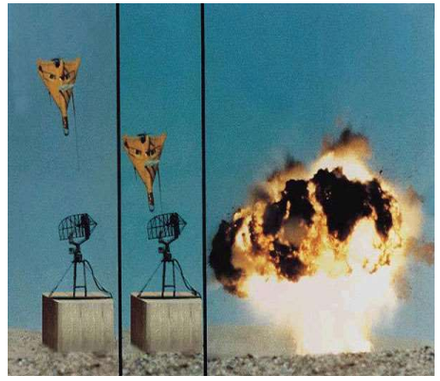
hilase

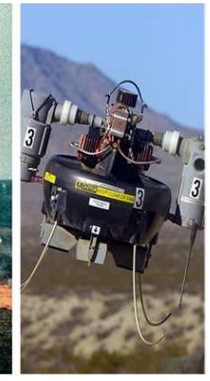
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 739573 (HiLASE CoE)

FZÚ





TAXONOMY (coherent with NATO)		Reference information regarding UAV threats			
Threat	**Weight [kg]**	**Reference size [cm^3]**	**Max speed [km/h]**	**Typical altitude [m]**	**Typical RCS [dBm^2]**
Class I (a) and (b) - micro	< 2 kg	25 x 25 x 30	80	100	-20 (objective -30)
Class I (c) - mini	> 2 & < 20	40 x 40 x 30	100	1 000	-13 (objective -20)
Class I (d) - small	> 20 & < 150	200 x 150 x 50	150	1 500	-10
Class II - tactical	> 150 & < 600	1 000 x 700 x 100	300	3 000	-3

	Symmetrical conflict	**Asymmetrical conflict**	
class I c - d), class II	Air-defence suppression (SEAD),	Hybrid aspectsHybrid aspects	class I a - d)
class I a - c), class II	ISR,	ISR,	class I a - b)
class I b - c)	Vehicle & man hunting,	Vehical & man attacks,	class I b - c)
class I c - d)	Damaging defence infrastructures	Damaging economical /critical infrastructure,	class I b - d)

Problém malých UAV

Rychlost pohybu 16-20 m/s

Váha:

DJI Phantom 4 1480 (2000)g

DJI MINI 2 249 (400) g

Dolet > 10 km, Dosah > 5 km

- Reakční doba C-UAS cca 40 sekund,
- Rychlost sUAV až 30 m/s,
- C-UAS systémy vyžadují provádění akcí na vzdálenosti kolem 1200 m,

Human-in-loop vyžaduje provedení Klasifikace UAV,
Human-on-loop vyžaduje provedení Identifikace UAV.

C-UAS se neobejdou bez O/E zařízení

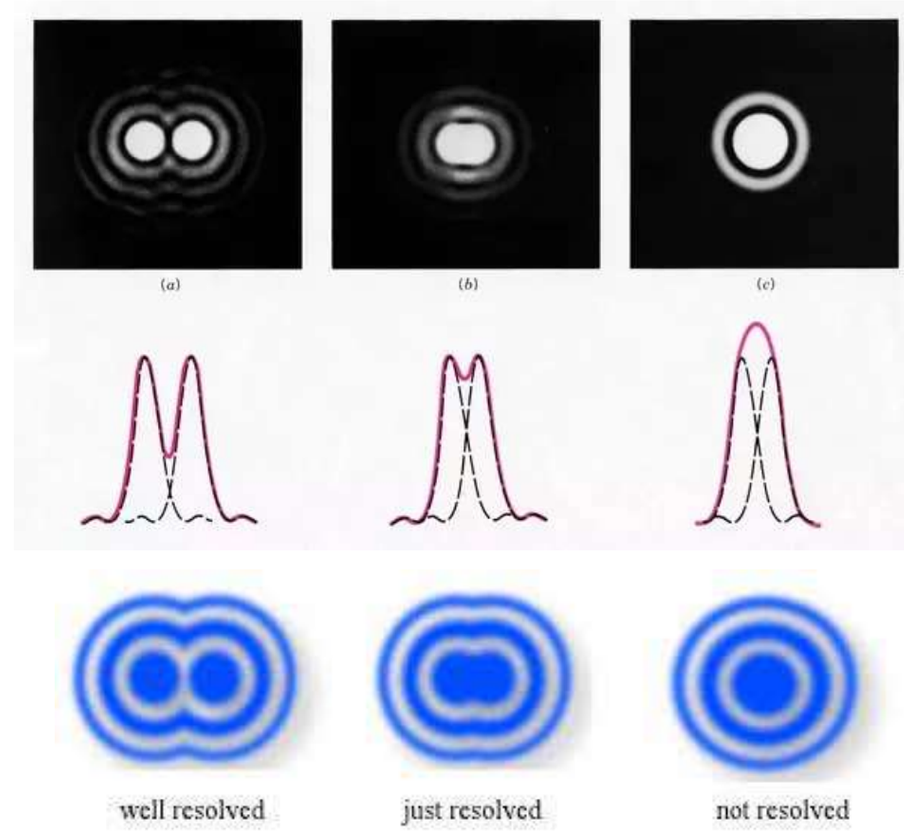
	Detection						Tracking					Classification										Identification									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
										10										20										30
Pixels in largest cross section required for NATO C-UAS action																														

Difrakční limit – Rayleighovo kritérium

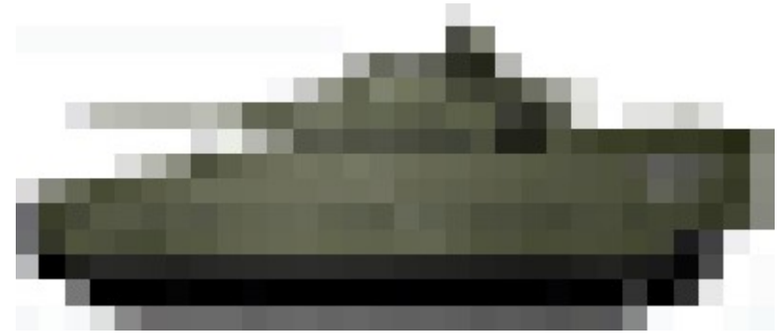
$$\theta = \frac{1.22 * \lambda}{D}$$

θ … úhlové rozlišení,
λ … vlnová délka,
D … průměr koncové optiky,

1.22 Rayleighova konstanta pro Gaussovský svazek



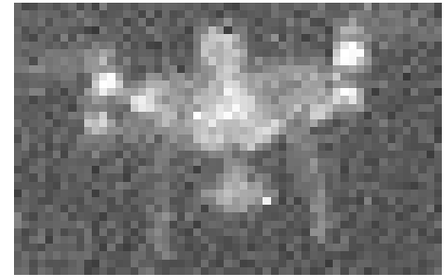
CV90 je:
20x větší než DJI Phantom 4
30x větší než DJI Mini 2



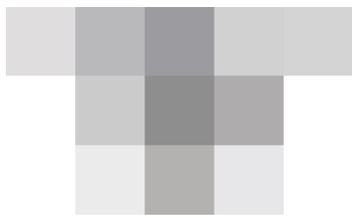
s“

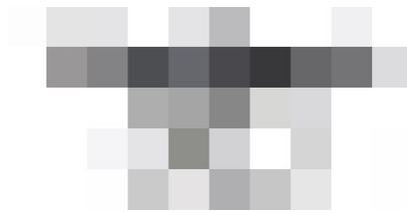
SUPERLASERS FOR THE REAL WORLD

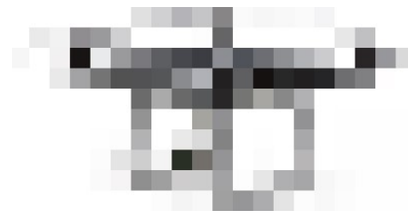
NATO TIE C-UAS 2022

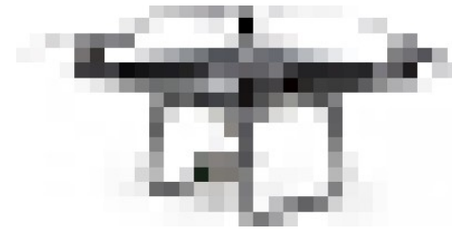


	Detection						Tracking					Classification										Identification									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
										10										20										30
Pixels in largest cross section required for NATO C-UAS action																														









LiDARY pro C-UAS

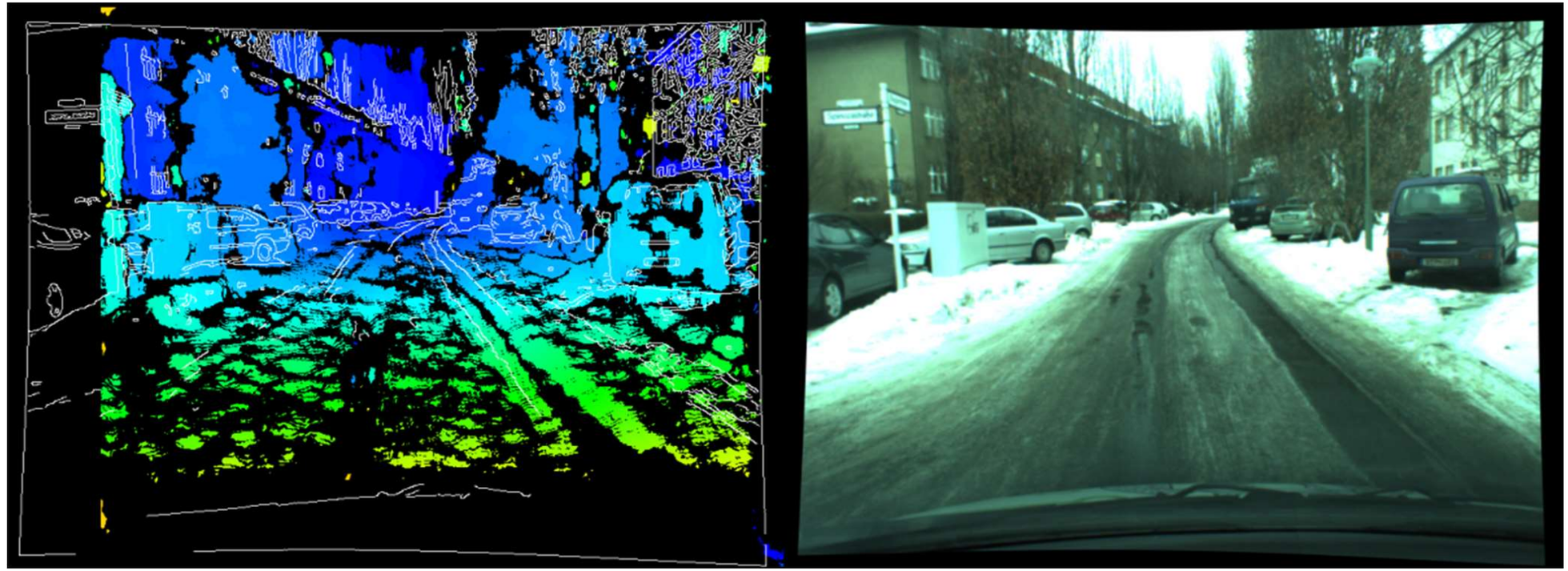
Co mi přináší LiDAR navíc oproti O/E systémům?

- 3D částečný obraz,
- Dopplerovskou a mikro-dopplerovskou informaci.

Jak lze tyto informaci využít?

- Detekce a trekování,
- Identifikace (rozpoznávání) UAV.

Jak stanovit požadavky na LiDAR?



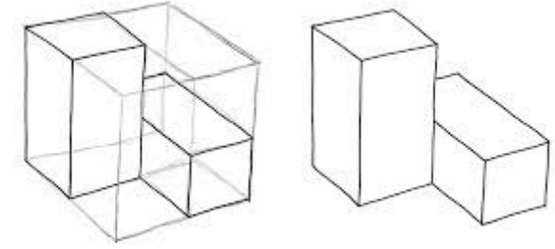
Identifikace z 30x20 bodů u O/E senzoru.

Pro 2D čtvercový objekt:

$$P = \sqrt{600} \approx 24{,}5$$

Pro 3D krychlový objekt:

$$P = \sqrt[3]{600} \approx 8{,}4$$



Laser-mater interaction

- There are 2 interactions defined by NATO:

- Dazzling,
- Burning.

- There are more levels in chemistry and physics but important is intensity on the spot (target).

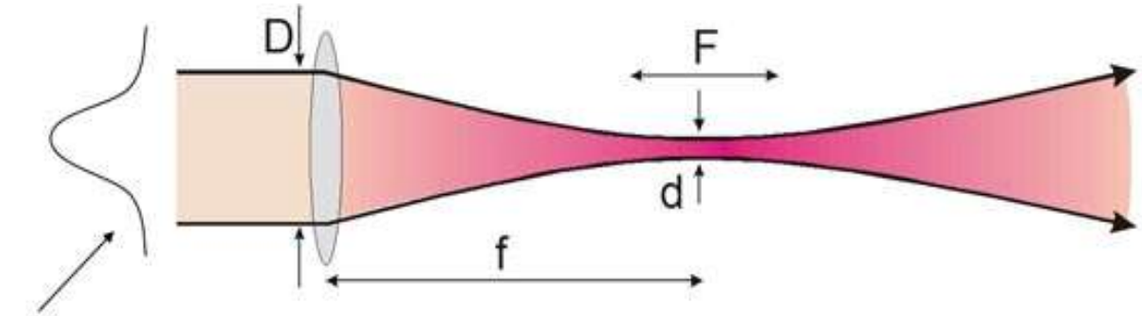
- Initialization of chemical reaction,
- Heating,
- Overheating (liquefaction),
- Evaporation,
- Ablation.

Intensity required for Defence applications

	DEW	DEW	Dazzling	Comm.	Inteligent ammunition	Sensors
Average intensity	100 kW/cm2	1 kW/cm2	100/cm2	< 10 mW	< 10 mW	< 1 mW
Other requirements	CW	CW	CW	pulsed	pulsed	pulsed
	*), **), ***)	*), **), ***)				
Notes	Cutting	Overheating				
*)	Longer wavelengths are better					
**)	Dielectric mirrow laser breadown limit is about 1 GW/cm2 at 1030 nm laser wavelength					
***)	Requirement for continuous wave laser average power could be lowered by combination with pulsed lasers					

Focusing of laser at 1 km distance

Beam diameter 1/e2 [mm]	Laser wavelength [nm]	Spot diameter [mm]
60	1060	22,5
60	1550	32,9
60	2000	42,4
120	1060	11,2
120	1550	16,4
120	2000	21,2
150	1060	9
150	1550	13,2
150	2000	17



$I(r) = I_0 \exp(-2r^2/w^2) = I_0 \exp(-8r^2/D^2)$ Numerical aperture NA = sin (D/2f)

For a Gaussian laser beam:

Diameter of the focal spot

$$d = \frac{4 \cdot f}{\pi \cdot D} \lambda \cong \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot NA}$$

Focal depth

$$F = \frac{8 \cdot f^2}{\pi \cdot D^2} \lambda \cong \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot NA^2}$$

Increasing of laser intensity by shortening of wavelength is not possible because of scattering of laser beam in atmosphere and safety conditions.

Linear interaction model for overheating

Model simplification for C-UAV application – spot size at the target 1 sqcm, aluminum target with melting temperature 660.3°C, air temperature 15 °C.

Cooling capability

$P = C * S * (t_{target} - t_{air})$, where C is cooling constant, about 1 W per sqcm*K for aluminum and Gaussian beam profile.

Laser absorption

$P = \alpha * I * S$, where I is laser intensity and α is laser absorption constant, α about 0.7 for aluminum & 1 micrometer radiation.

In this scenario is not possible to breach melting point with laser power bellow 921 W.

Maximum permissible exposure (MPE)

The single most useful number in laser safety calculations is the maximum permissible exposure. This is the minimum irradiance or radiant exposure that may be incident upon the eye or skin without causing biological damage. The MPE varies by wavelength and duration of exposure and is documented in tables published in ANSI z136.1 standard. Think of the MPE as your laser safety speed limit.

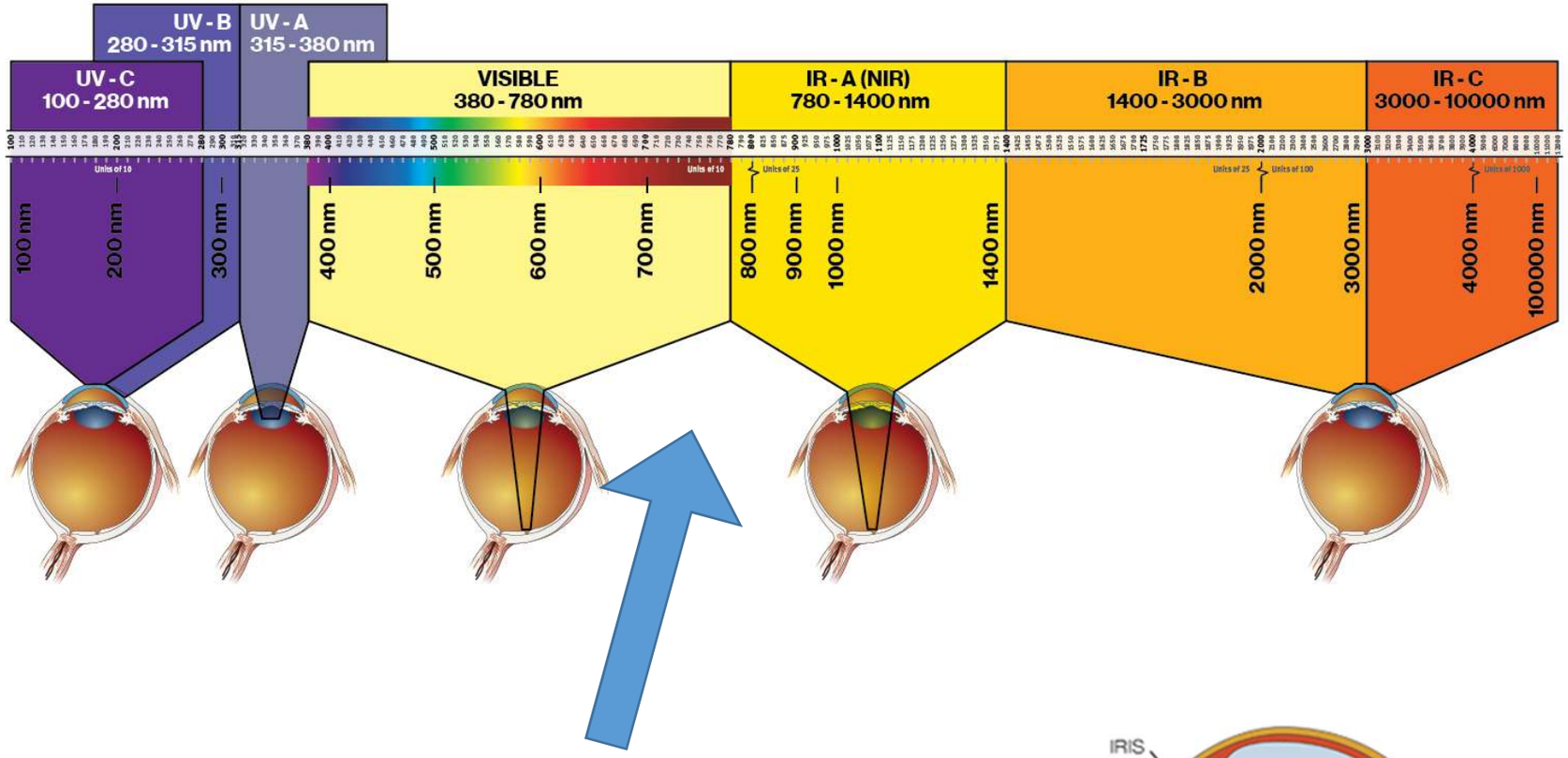
Nominal Ocular Hazard Distance (NOHD)

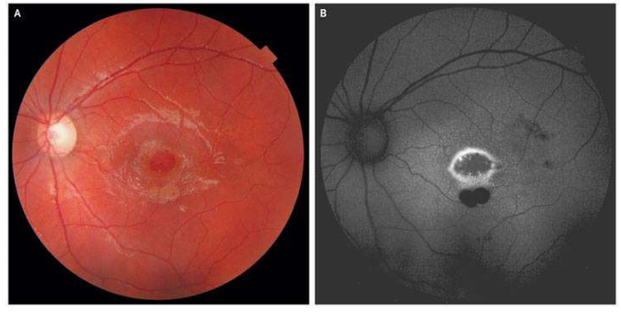
The Nominal Ocular Hazard Distance (NOHD), sometimes referred to as the Nominal Hazard Distance, is the distance along the axis of the emitted beam at which the irradiance is equal to the MPE. The NOHD is dependent on beam characteristics such as the power, diameter, and divergence. The NOHD is usually much greater than the largest dimension of your laboratory space.

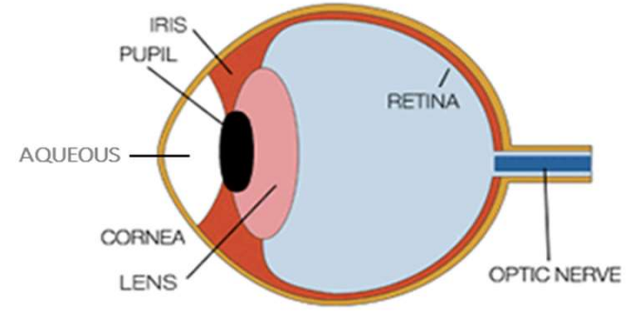
Nominal Hazard Zone (NHZ)

The Nominal Hazard Zone (NHZ). This is a distance within which exposure to a direct, reflected, or scattered beam is greater than the MPE. Mirrors, optics, and reflective materials in the beam path may result in diffuse or specular reflections in unintended directions. Specular reflections are hazardous over a greater range than diffuse reflections. If you are in the NHZ, you are at risk of an exposure above the MPE.

Depth of penetration of electromagnetic radiation in the human eye

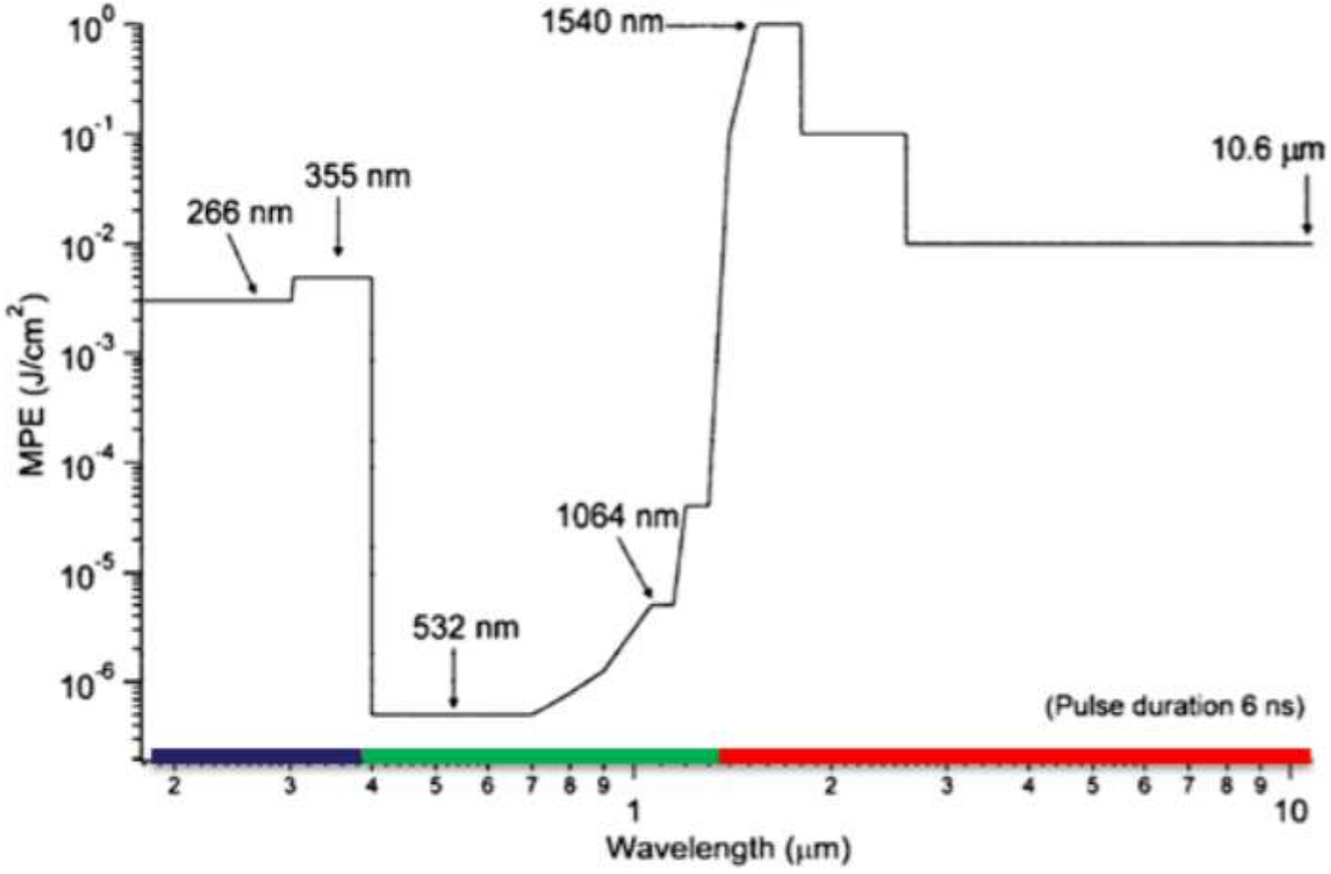






Retina damage is hardest laser limitation

Laser Wavelength Dependence of Maximum Permissible Exposure (MPE) on Eyes and Skin



Adapted from: Gottfried, J. L., F. C. De Lucia, C. A. Munson and A. W. Miziolek (2009). Analytical and Bioanalytical Chemistry 395(2): 283-300.

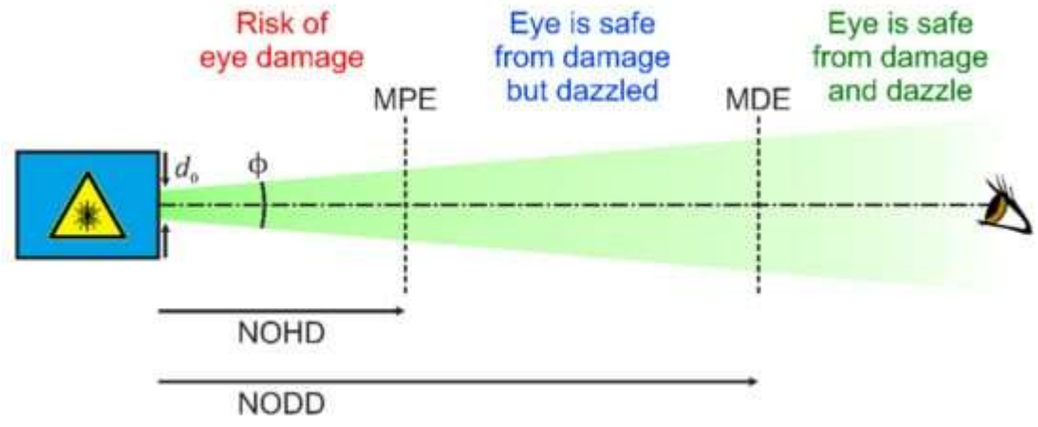
NOHD

Nominal Ocular Hazard Distance (NOHD)

The Nominal Ocular Hazard Distance (NOHD), sometimes referred to as the Nominal Hazard Distance, is the distance along the axis of the emitted beam at which the irradiance is equal to the MPE. The NOHD is dependent on beam characteristics such as the power, diameter, and divergence. The NOHD is usually much greater than the largest dimension of your laboratory space.

Any effective Laser effector will have NOHD > 1000 km

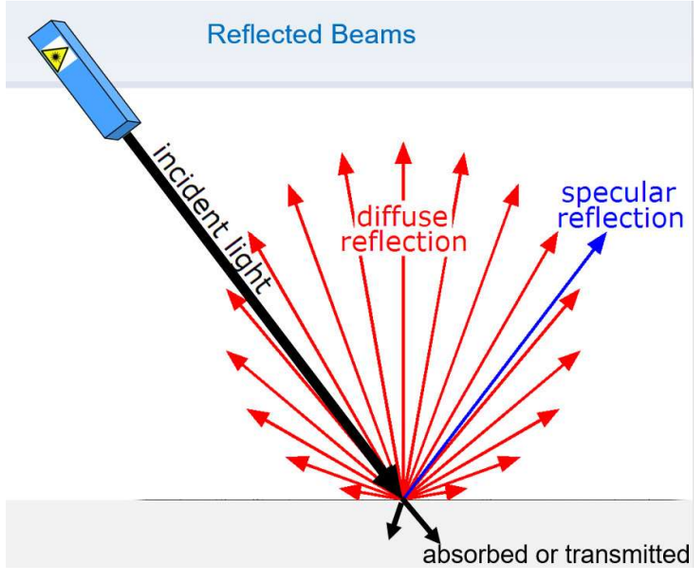
As a DEW it should be considered as a requirements for any C2 system



True laser limitation

Nominal Hazard Zone (NHZ)

The Nominal Hazard Zone (NHZ). This is a distance within which exposure to a direct, reflected, or scattered beam is greater than the MPE. Mirrors, optics, and reflective materials in the beam path may result in diffuse or specular reflections in unintended directions. Specular reflections are hazardous over a greater range than diffuse reflections. If you are in the NHZ, you are at risk of an exposure above the MPE.



NHZ in collateral damage – example

Laser effectors about 1 micrometr
NHZ > km

Laser effectors about 1.5 micrometers
NHZ < few meters

Laser effectors about 2 micrometers
NHZ < tens of meters

Rizika vedlejšího poškození podle MIL-STD-882

	Risk	Open area	Forested area	Low density urban area	High density urban area	Critical infrastructure
Civilian	Personnel	*low*	*low*	*high*	*high*	*high*
	electronic equipment	*low*	*negligible*	*low*	*low*	*low*
	mechanical equipment	*low*	*negligible*	*low*	*low*	*medium*
Military	electronic equipment	*low*	*low*	*low*	*low*	*low*
	mechanical equipment	*low*	*low*	*low*	*low*	*low*
Emergency services	electronic equipment	*negligible*	*negligible*	*negligible*	*negligible*	*negligible*
	mechanical equipment	*negligible*	*negligible*	*low*	*low*	*low*
	Energetic material and stored energy	*low*	*low*	*low*	*low*	*low*
	Wildlife & vegetation	*low*	*medium*	*low*	*low*	*negligible*
	Worst case	low	medium	high	high	high

HPDEW, 1550 – 2000 nm, M2 1.0, 60 kW, JEY-CUAS

Will laser plays any role in C-UAS?

Advantages

- Cheapest per shot than any other effector including HP μW,
- Laser cutting is fastest and cheapest way for any mass production,
- Lower collateral damage than guns, missiles and HP μW.

Disadvantages

- Lasers are expensive but overall laser effector will be cheaper than MBT or air-defense cell,
- Strong effect of weather on performance.

Conclusion

There is no laser effector ready to use in EU for CUAS and CRAM

Lasers will enter to operation as a DEW (laser effectors) from following reasons:

- Cheapest for a shot
- Capability to counter multiple UAVs and swarms
- Multi-role usage

Lasers disadvantages

- Lasers are very expensive

RNDr. Jiří Hynek; Asociace obranného a bezpečnostního průmyslu

Program 2023

Autor prezentuje činnost Asociace obranného a bezpečnostního průmyslu ČR (AOPB), základní údaje o organizace a její odbor působení. Zdůrazňuje důležitost komunikace mezi členy asociace, odbornou veřejností a podniky zabývající se obranným výzkumem. Dále jsou představeny organizace podporující výzkum v rámci ČR, EU a NATO.

>>redakce<<

Program 2023

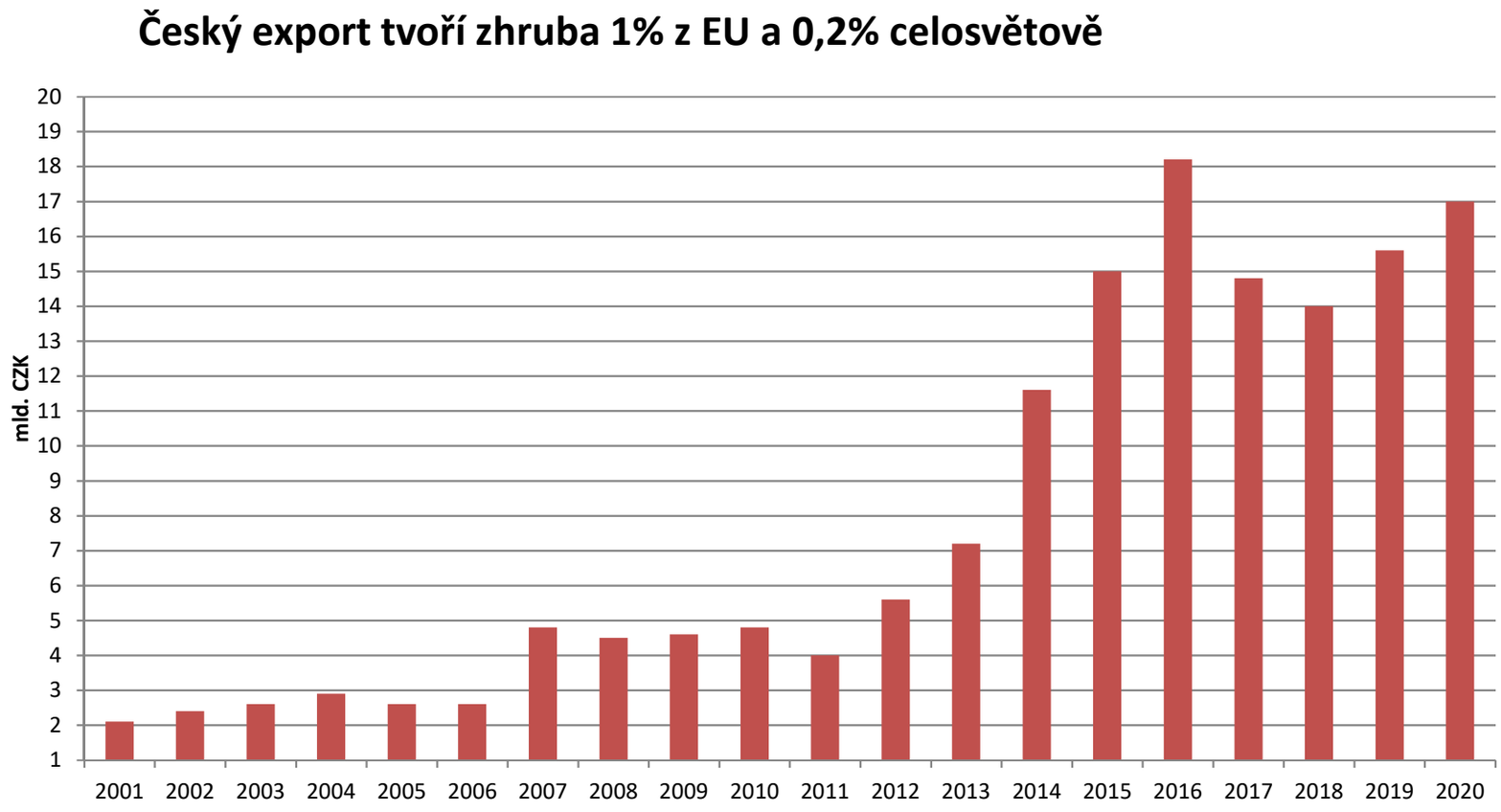
RNDr. Jiří Hynek
Asociace obranného a bezpečnostního průmyslu ČR

Základní údaje o AOBP

- Založena v roce 1997 (podle vzoru zemí NATO a EU)
- Dnes má přes 130 členů
- Obrat – více než 50 mld. CZK (civil, dual use, millitary)
- Přidaná hodnota více než 17 mld. CZK
- Počet zaměstnanců – cca 20 000
- Z toho VŠ – cca 4 000
- Export vojenského materiálu z ČR – 14 mld. CZK (rok 2020)
- Dohody o spolupráci – MO, MV, MZV, SSHR, ČEB
- Smlouvy o mezinárodní spolupráci (Finsko, Korea, Indie, …)
- Členství:
  - ASD (AeroSpace and Defence Industries Association of Europe)
  - NIAG (NATO Industrial Advisory Group)
  - Hospodářská komora ČR (oborová asociace v sekci průmysl a doprava)

AOBP

Vývoj exportu 2001 – 2020

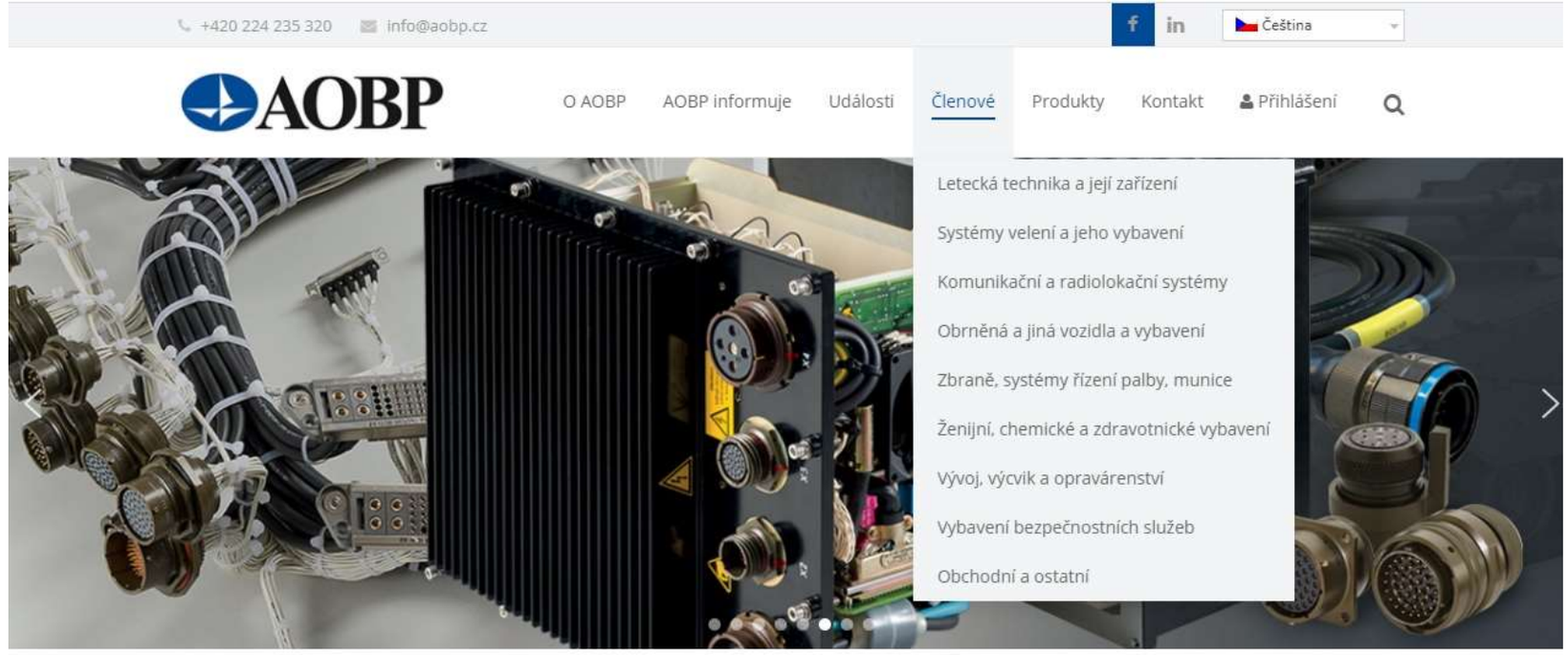


Poznámka – snímek č. 3

- Statistika EU – „x- tá výroční zpráva podle čl. 8 odst. 2 společného postoje Rady 2008/944/SZBP, kterým se stanoví společná pravidla pro kontrolu vývozu vojenských technologií a vojenského materiálu“
- Výroční zpráva
- Národní statistika – Výroční zpráva o kontrole vývozu vojenského materiálu, ručních zbraní pro civilní použití a zboží a technologie dvojího užití v ČR

Informační zdroje o nás

Informace o členech AOBP www.aobp.cz

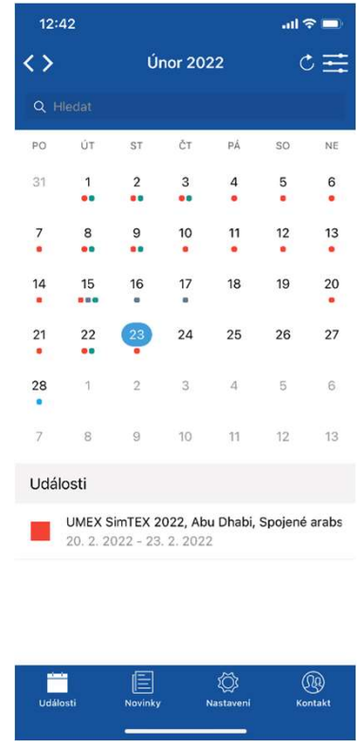


Informační zdroje u nás

Sdělení informace členům:

Mailchimp, web. stránky (interní sekce), mobilní aplikace

AOBP
Zprávy



Poznámka:

Možnost informovat naše členy prostřednictvím systému Mobilní aplikace

Výzkum, vývoj, inovace

- Bez vlastního VVI nelze udržet technickou a technologickou úroveň výrobků na potřebné výši
- Velmi důležitá je spolupráce průmyslu s vysokými školami a výzkumně vývojovými centry
- Klíčový je přenos VVI do praxe

AOBP

Národní

- Obranný výzkum, vývoj a inovace
- Bezpečnostní výzkum
- Programy přímé průmyslové spolupráce
- Role AOBP
  - Člen rady pro OVVI při MO
  - Člen expertní skupiny pro mezinárodní spolupráci v bezpečnostním výzkumu MV
  - „F35“, BVP, …

EU

- PESCO (Permanent Structured Cooperation), 47 programů, ČR vede Electronic Warfare Cap. (ERA)
- EDF (European Defence Fund) – 8 mld. EUR 2021 – 2027,výzkum 100%, vývoj 20-55% (výjimečně více)

  https://aobp.cz/evropsky-obranny-fond/

- Role AOBP
  - National Focus Point pro EDF
  - Senior Army Advisor při DEFIS (Generální ředitelství pro obranný průmysl a vesmír – řídí činnosti EK v obranném průmyslu a kosmickém odvětví)

Poznámky – snímek č.8

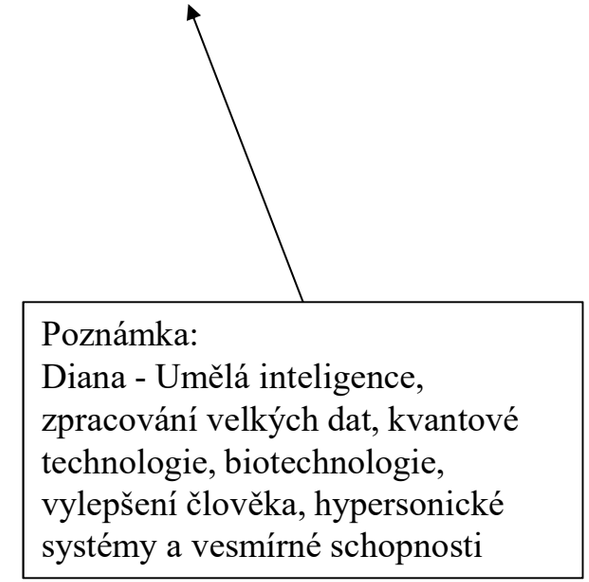
Permanentní strukturovaná spolupráce, neboli PESCO *(Permanent Structured Cooperation)*, je nástrojem, vycházejícím ze Smlouvy o EU (čl. 42.6 a 46 a Protokol 10), který umožňuje užšímu kruhu členských států formálně prohlubovat spolupráci v oblasti Společné bezpečnostní a obranné politiky (SBOP). PESCO je tedy nástroj ale i smluvní rámec. PESCO umožňuje zemím Evropské unie formalizovat těsnější a více strukturovanou spolupráci při rozvoji jejich schopností či budování společných obranných struktur. Toho dosáhne skrze společné budování vojenských schopností ve formě projektů PESCO, standardizací procedur a posilováním interoperability armád členských států. Tímto přispívá k naplnění cílů Společné bezpečnostní a obranné politiky a zároveň k posílení evropského obranného pilíře NATO.

- Evropský obranný výzkum a vývoj povede ke společným evropským akvizicím a proto je dobré se v této fázi zapojovat do projektů EDF, aby firmy nepřišly do budoucna o evropský trh
- Celkový rozpočet EDF je 2021-2027 téměř 8mld. EUR, výzvy každý rok
- Pokud se projekt dobře nastaví (rozmanitost partnerů v konsorciích z hlediska zemí a velikostí firem), může být pokryto z EDF 60-100 % nákladů projektu
- Letošní výzva – 33 témat v různých kategoriích, 924 mil EUR, podávání přihlášek do 24. 11. 2022

EDF – 3 firmy ze 3 států. Ale 2 státy se musí zavázat, že produkt budou jejich ozbrojené síly využívat.

NATO

- NIAG – NATO Industrial Advisory Group
- DIANA – Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic
- STO – Science Technology Board pro STO
- Role AOBP
  - Vedoucí české delegace při NIAG
  - Zástupce průmyslu při STB



Děkuji za pozornost

info@aobp.cz

www.aobp.cz

AOBP ČR, Washingtonova 25, Praha 1

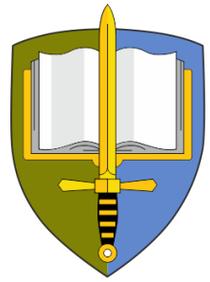
AOBP

pplk. gšt. doc. Ing. František Racek, Ph.D.; Univerzita obrany

Multispektrální a hyperspektrální zobrazovací systémy

Příspěvek představuje problematiku hyperspektrálních a multispektrálních systémů. Prezentace začíná shrnutím principu funkce těchto systémů a jejich historie vývoje. Hlavní pozornost je zaměřena na rozdíly mezi multispektrálními a hyperspektrálními systémy, jejich konstrukce a možnosti využití. Jedním ze zásadních přínosů těchto prostředků je možnost získat podstatně více informací o pozorované scéně než při použití konvenčních pozorovacích systémů. Autor dále prezentuje problematiku horizontálního hyperspektrálního průzkumu oproti doposud převážně používanému vertikálnímu snímkování. A zdůrazňuje výhodnost kombinace těchto systémů se strojovým učením a umělou inteligencí, která bude schopna zpracovávat množství dat nasbíraných hyperspektrálním průzkumem.

>>redakce<<



Fakulta vojenských technologií

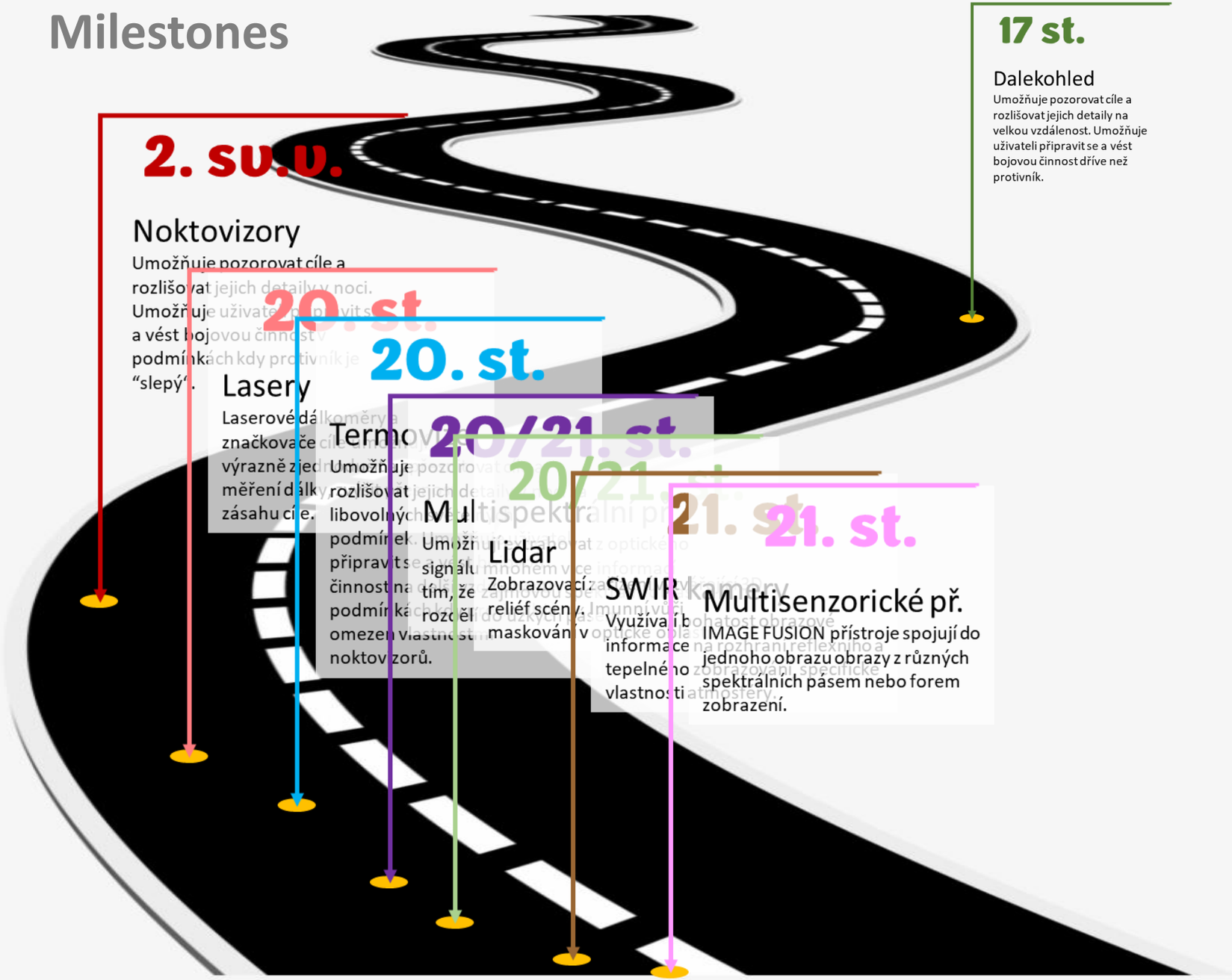
Katedra zbraní a munice

Multispektrální a hyperspektrální zobrazovací systémy

František Racek
Univerzita Obrany v Brně, Kounicova 65, Brno, 662 10;

frantisek.racek@unob.cz; phone +420 973 443 361; fax +420 973 443 772; www.unob.cz

Milestones



2. st.

Noktovizory

Umožňuje pozorovat cíle a rozlišovat jejich detaily v noci. Umožňuje uživateli připravit se a vést bojovou činnost v podmínkách kdy protivník je "slepý".

17 st.

Dalekohled

Umožňuje pozorovat cíle a rozlišovat jejich detaily na velkou vzdálenost. Umožňuje uživateli připravit se a vést bojovou činnost dříve než protivník.

20. st.

Lasery

Laserové dálkoměry a značkovače cíle. Umožňuje výrazně zjednodušit měření dálky do zásahu cíle.

20. st.

Termo

Umožňuje rozlišovat libovolných podmínek. připravit se a vést činnost na dálku v podmínkách omezen vlastnost noktovizorů.

20/21. st.

Multispektrální

Umožňuje signálu tím, že rozdělí

20/21. st.

Lidar

Zobrazovací reliéf scény.

21. st.

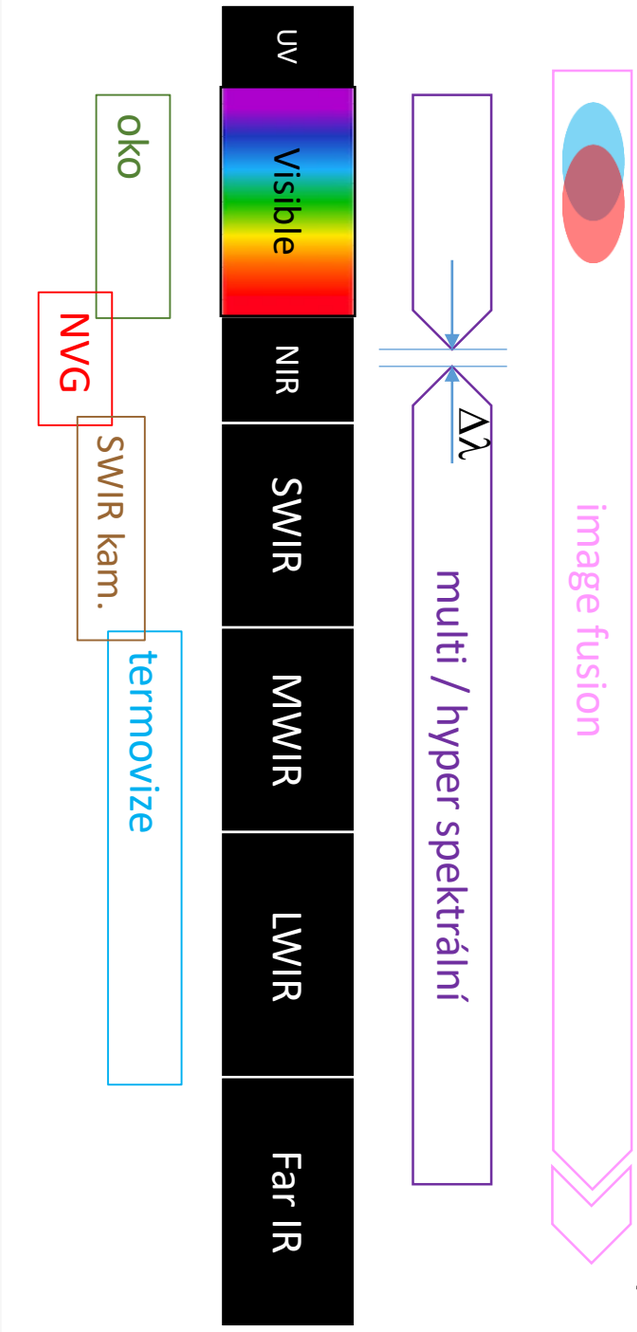
SWIR kamery

Využívá informace tepelného vlastnosti

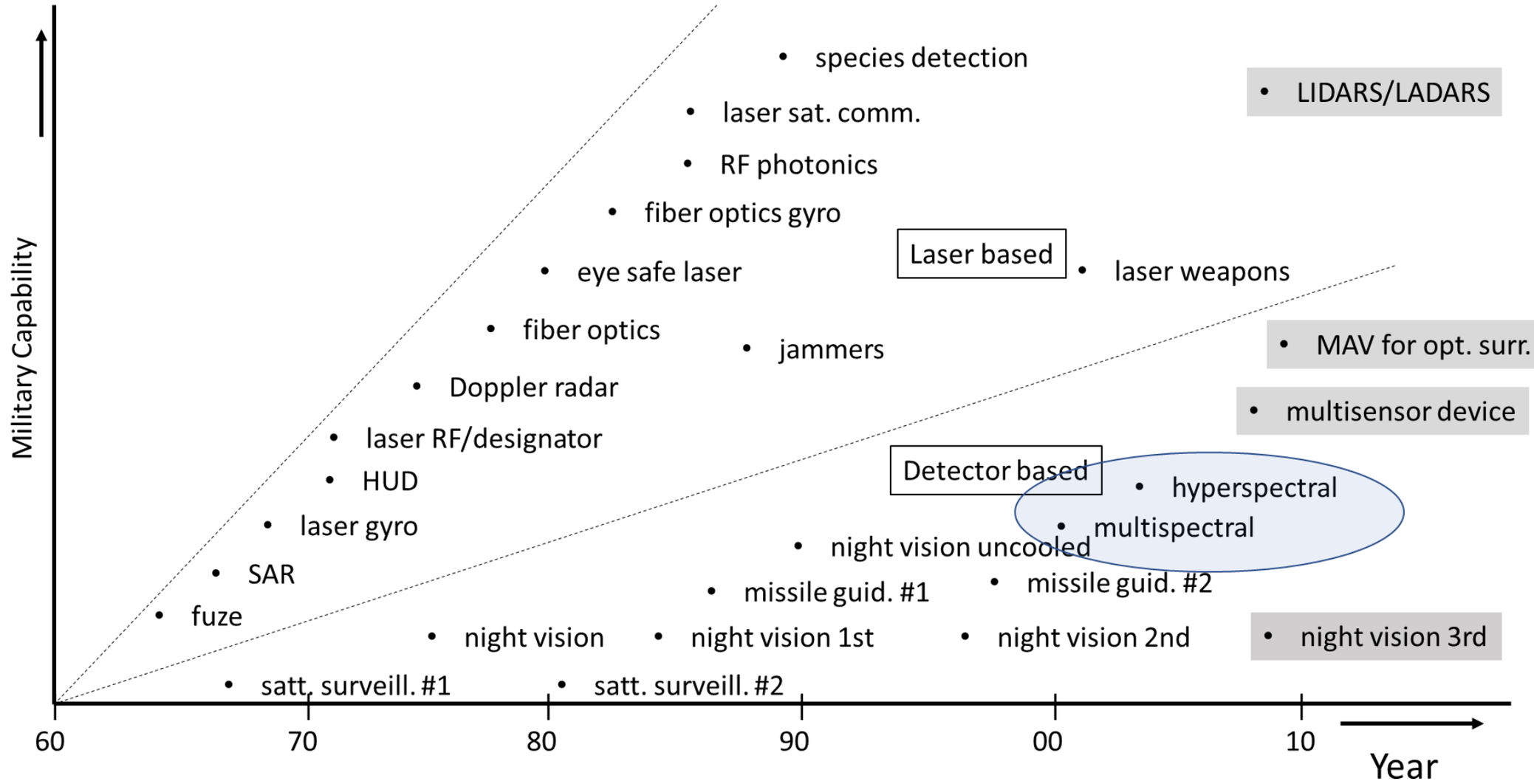
21. st.

Multisenzorické př.

IMAGE FUSION přístroje spojují do jednoho obrazu obrazy z různých spektrálních pásem nebo forem zobrazení.

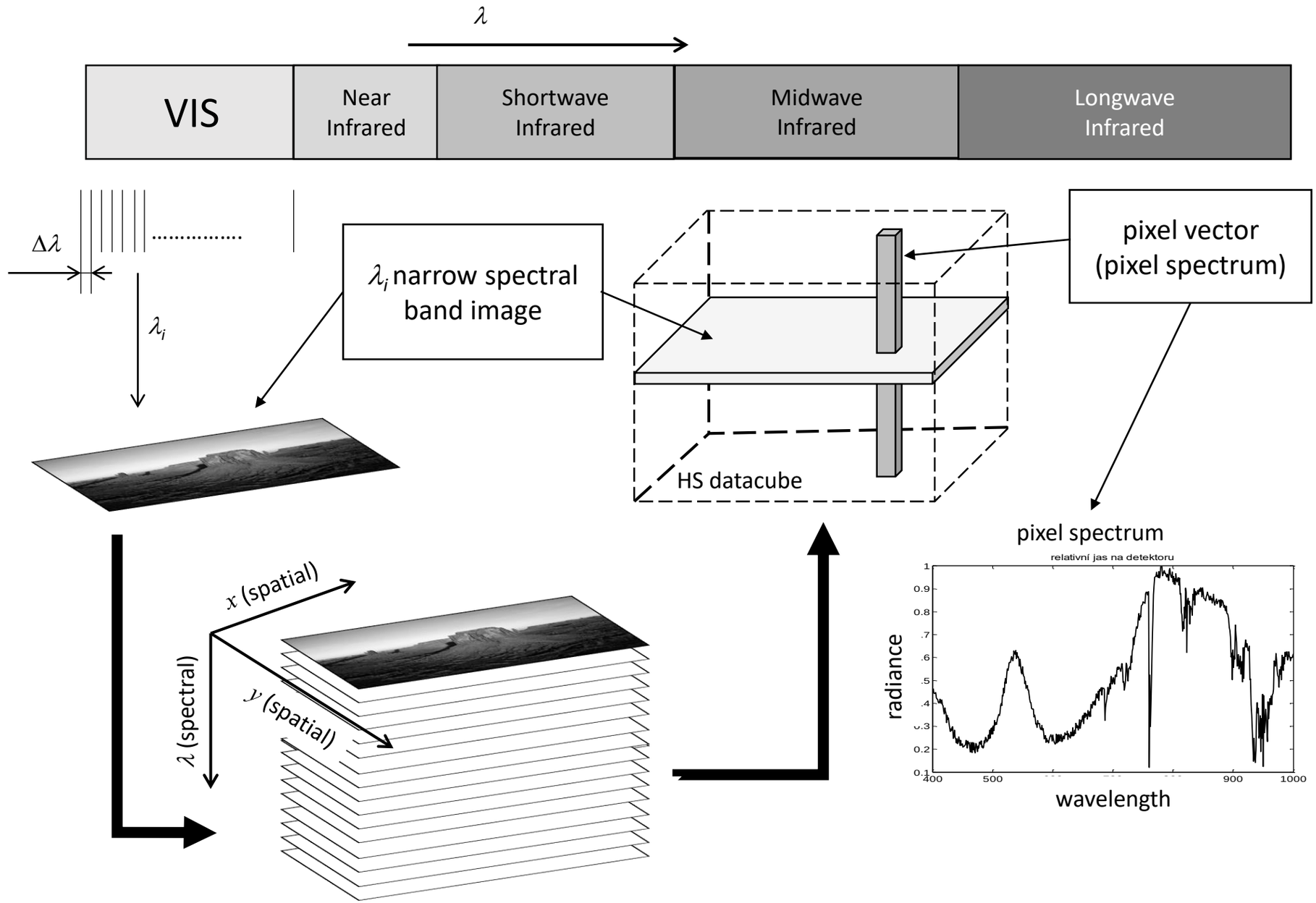


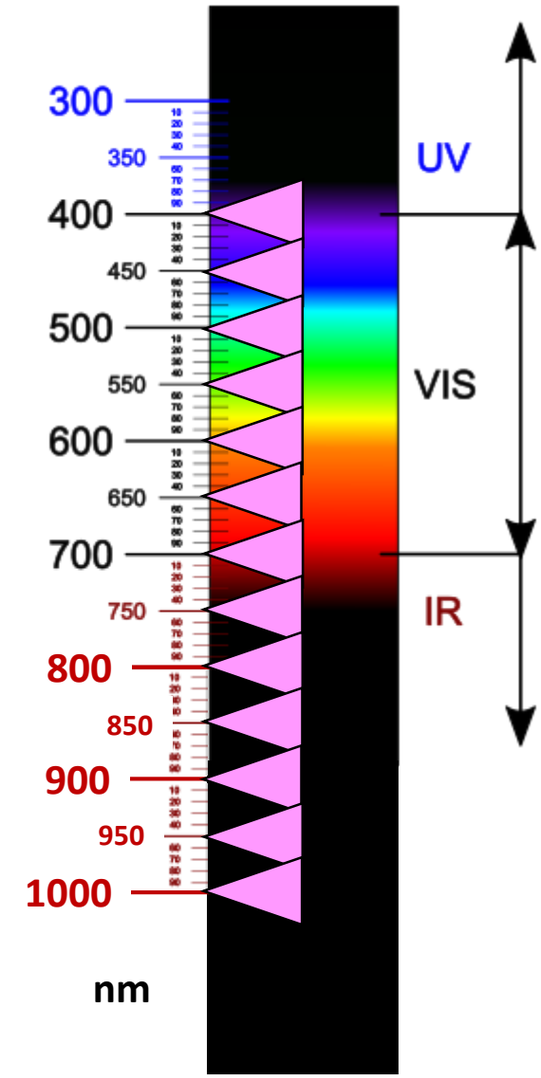
Vojenský potenciál optických přístrojů



Harnessing Light: Optical Science and Engineering for the 21st Century, ISBN 978-0-309-05991-6

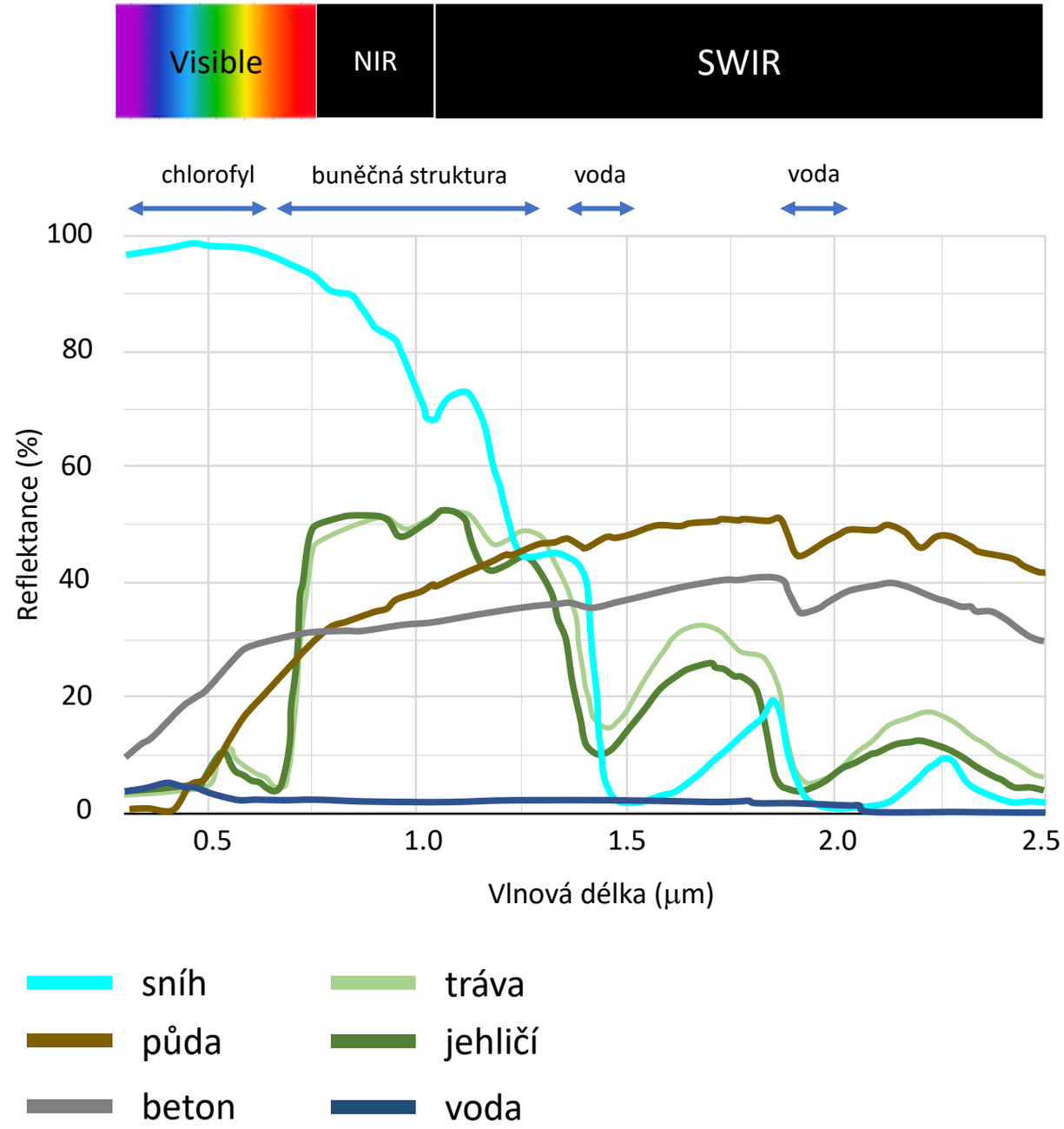
Hyper / multi spektrální kamery



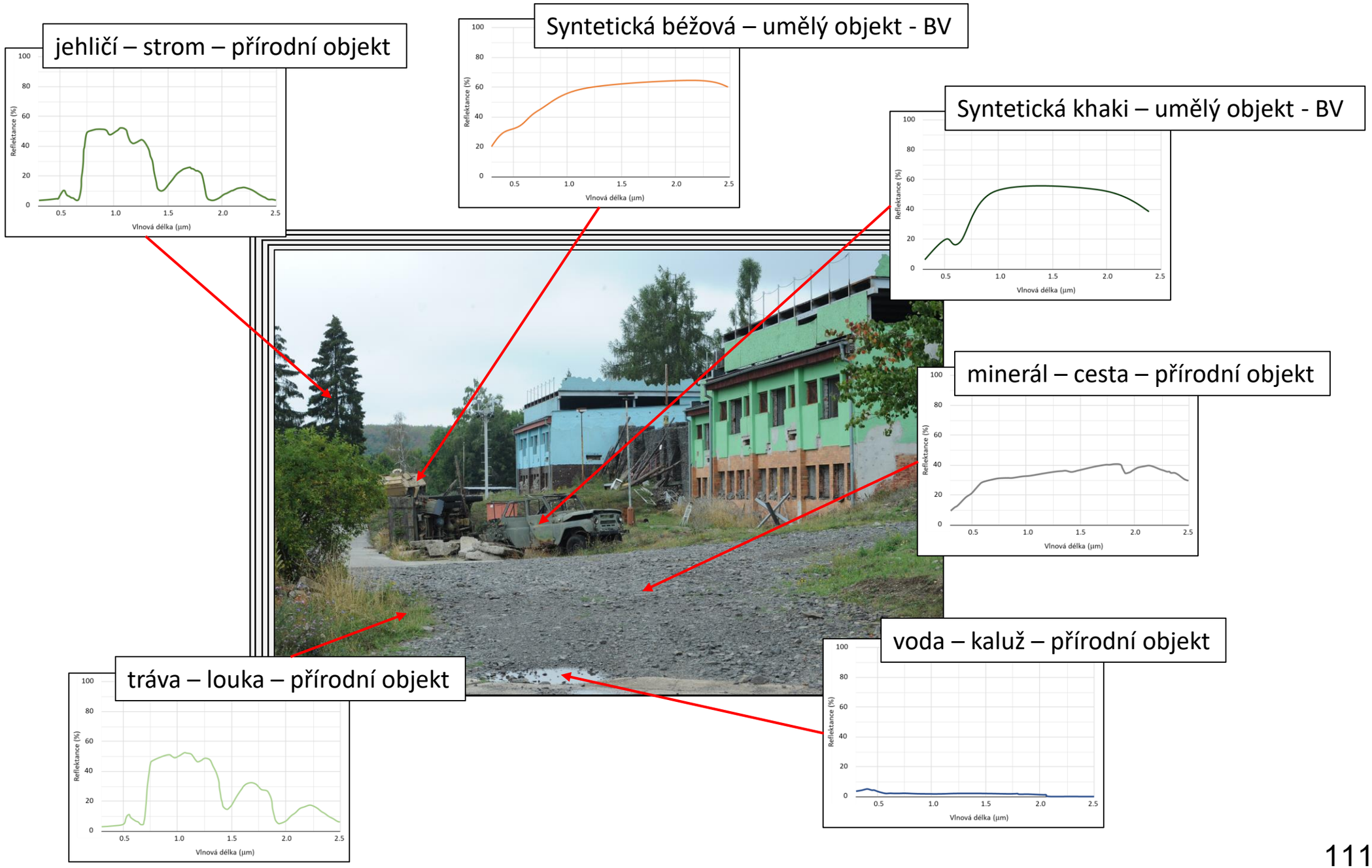

300
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
900
950
1000
nm
UV
VIS
IR

Spektrální reflektance

- Měřítko toho, kolik energie povrch odráží na konkrétní vlnové délce .
- Materiály s různými vlastnostmi odráží optické záření různými způsoby.
- Rozdíly ve spektrální odrazivosti umožňují identifikovat různé povrchové prvky nebo materiály.

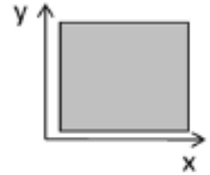
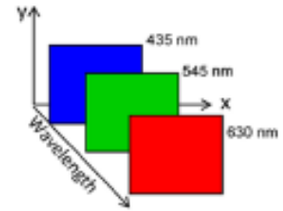
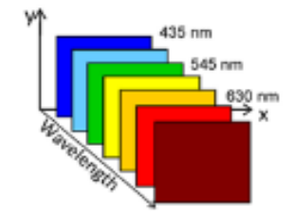
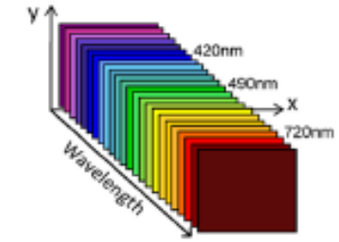


Výhody hyper / multi spektrálního snímání



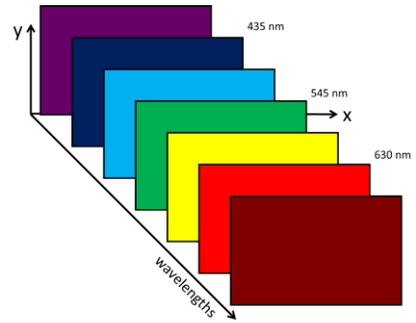
Porovnání hyper / multi spektrálního snímání

Table 1 Comparison of monochrome, RGB, spectroscopy, multispectral, and hyperspectral features.

Feature					
	Monochrome	RGB	Spectroscopy	Multispectral	Hyperspectral
Spatial information	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Band numbers	1	3	From several dozens to hundreds	3 to 10	From several dozens to hundreds
Spectral information	No	No	Yes	Limited	Yes
Multiconstituent information	No	Limited	Yes	Limited	Yes
Sensitivity to minor components	No	No	No	Limited	Yes

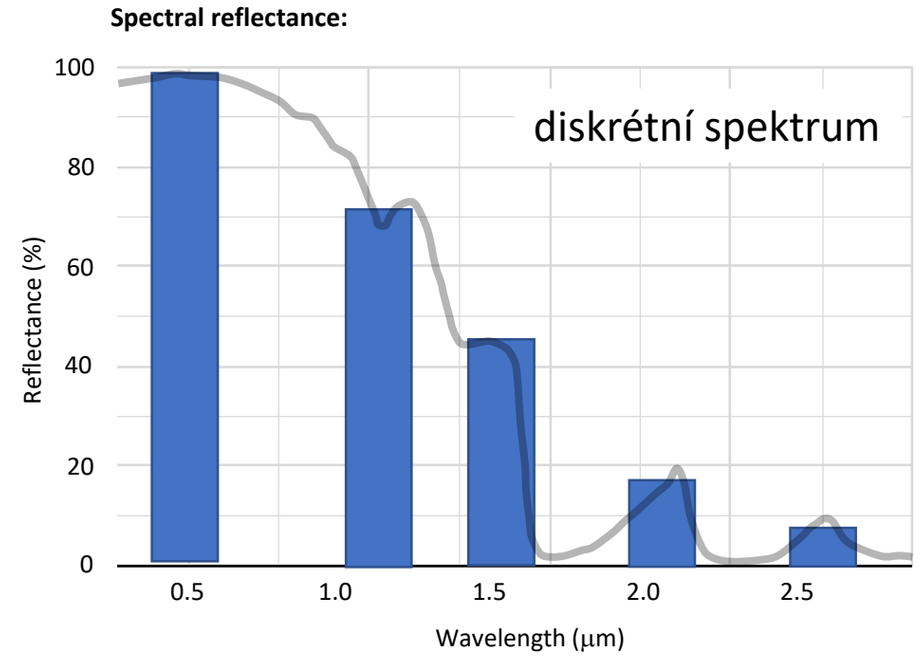
Q. Li, X. He, Y. Wang, H. Liu, D. Xu and F. Guo, "Review of spectral imaging technology in biomedical engineering: achievements and challenges," *Journal of biomedical optics,* vol. 18, no. 10, October 2013

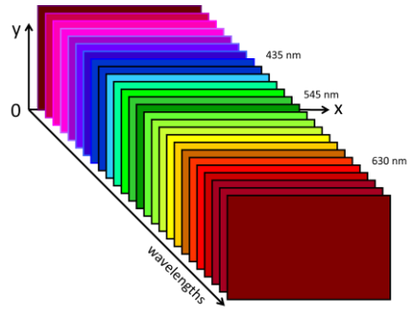
Porovnání hyper / multi spektrálního snímání



MULTISPECTRAL

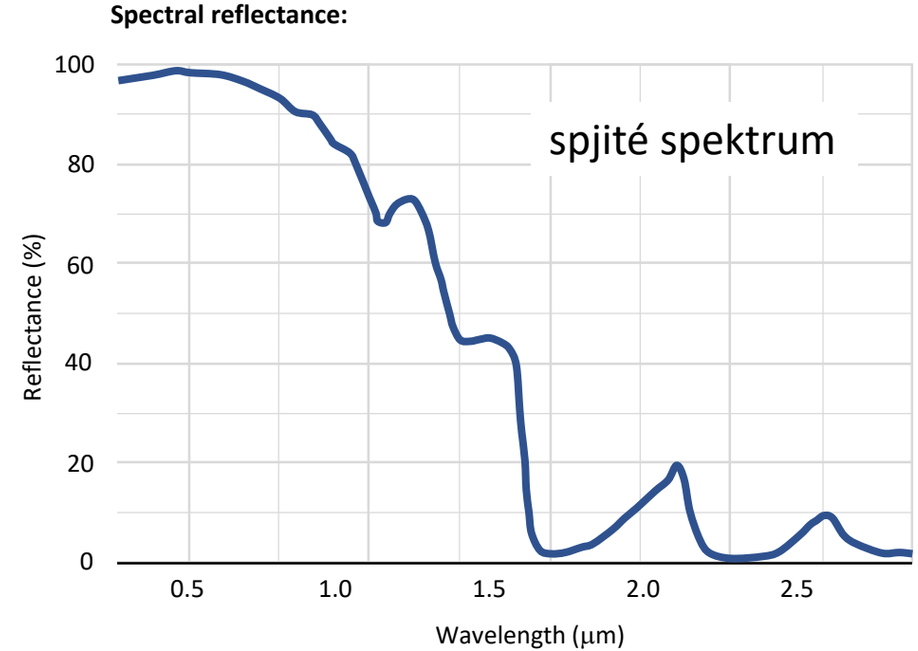
Multispektrální zobrazování se skládá ze spektrálních pásem, které jsou umístěny odděleně od sebe navzájem



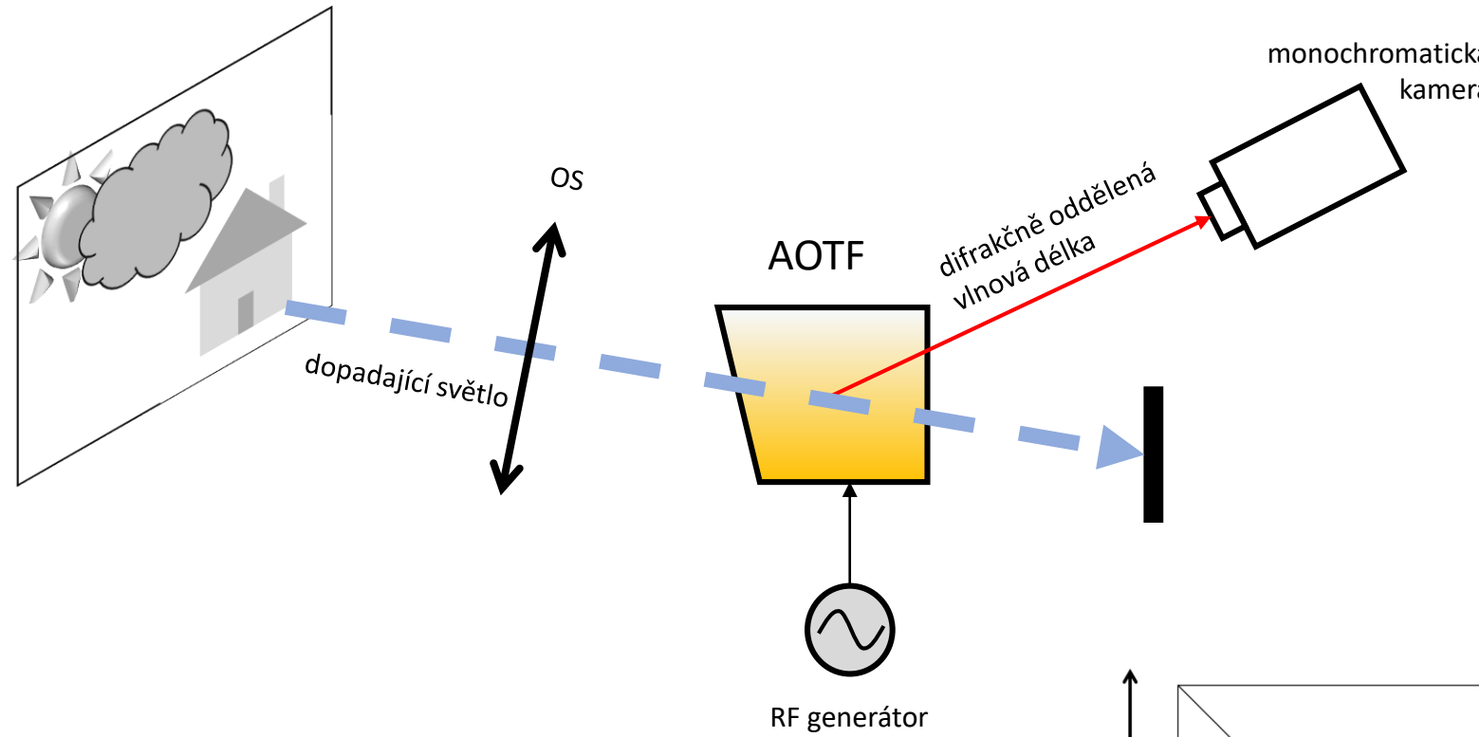


HYPERSPECTRAL

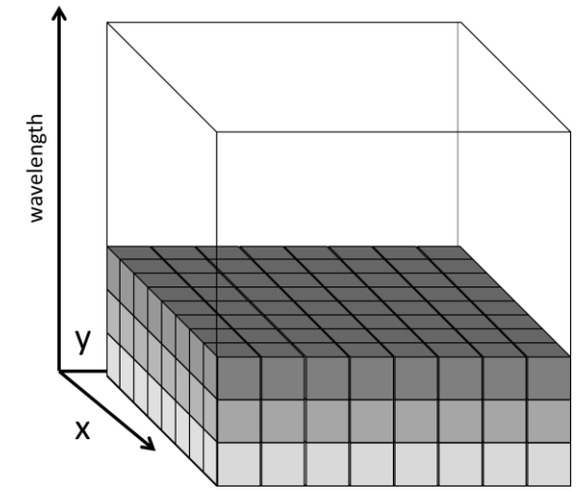
Techniky hyperspektrálního zobrazování využívají spojité a souvislé rozsahy vlnových délek (např. 400-1100 nm v krocích po 1 nm)



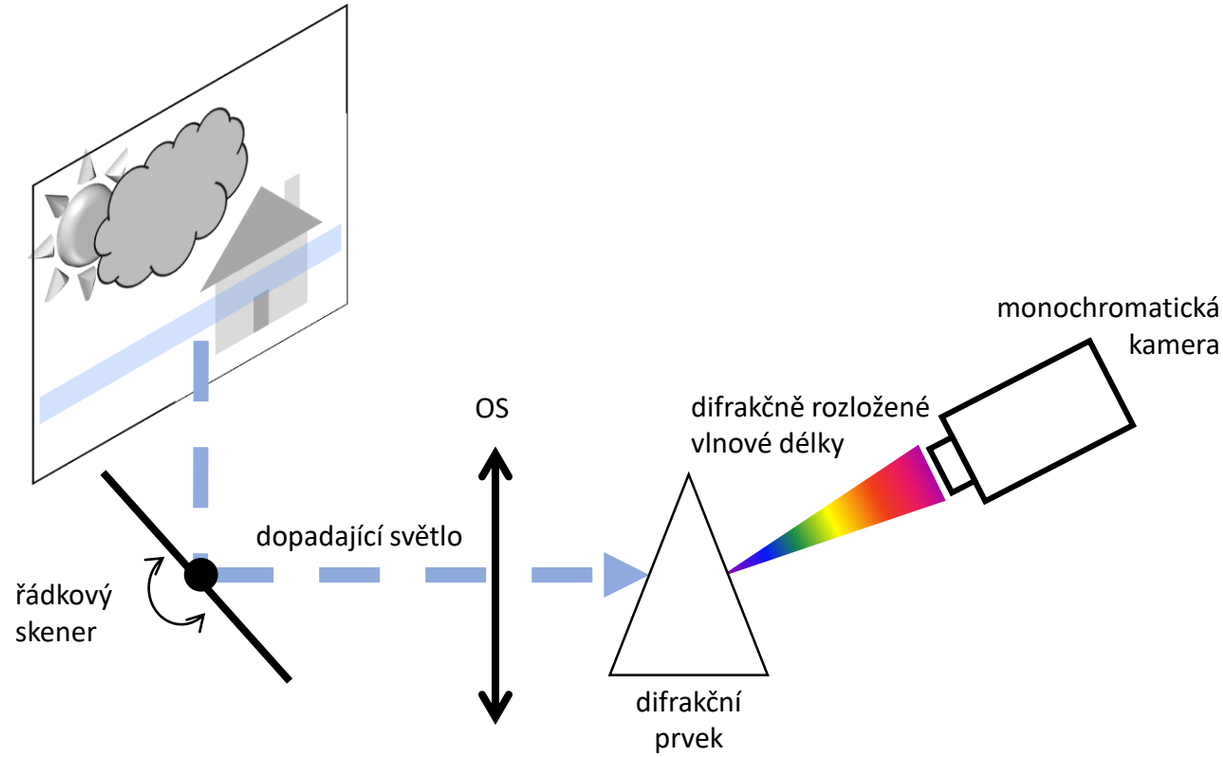
Hyperspektrální kamery
(zobrazující spektroradiometr)



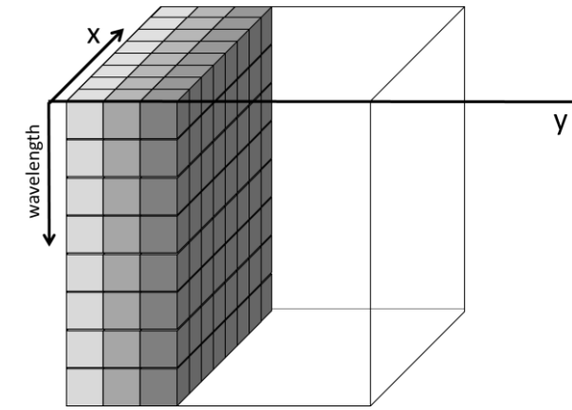
Acousto-optical tunable filter imager



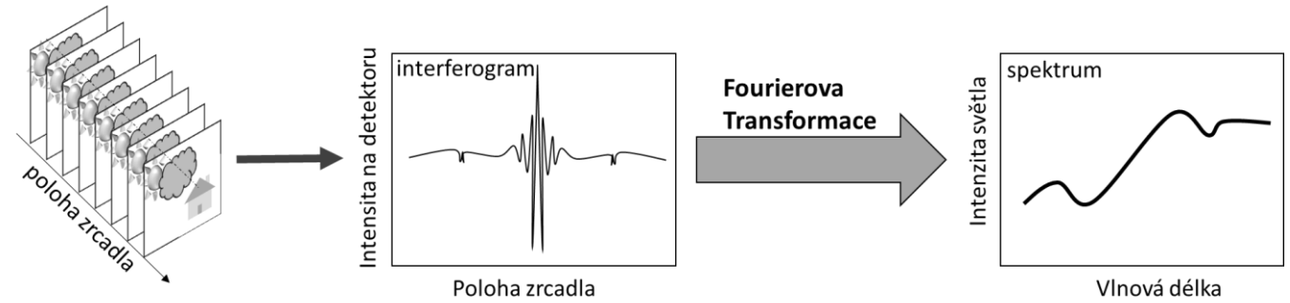
Hyperspektrální kamery
(zobrazující spektroradiometr)

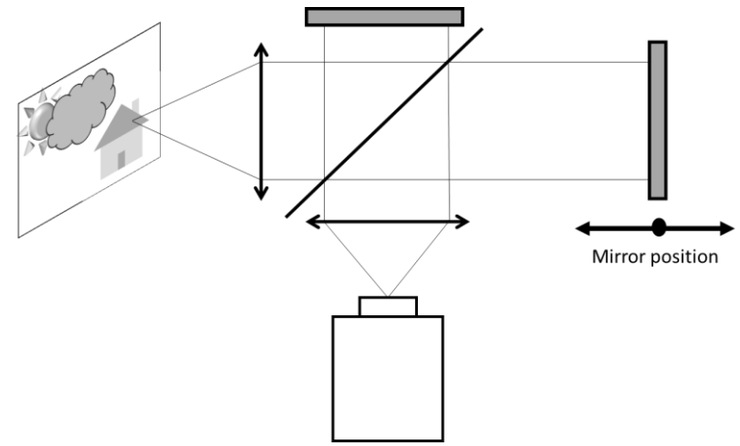


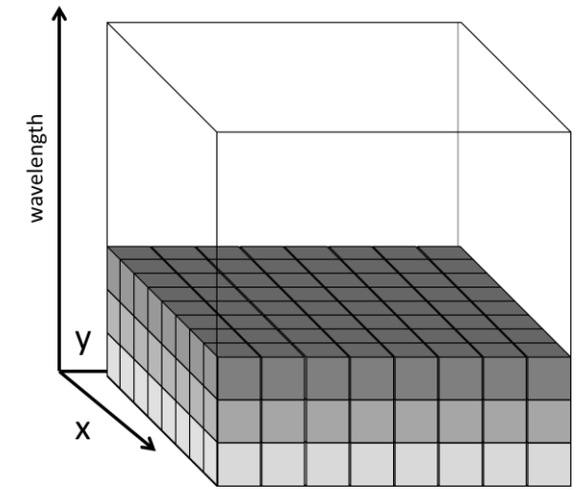
Line imaging spectrometer (pushbroom)



Hyperspektrální kamery
(zobrazující spektroradiometr)





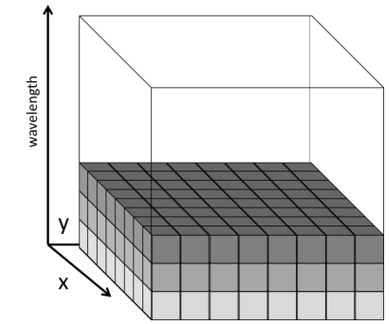


Fourie transform imager

Multispektrální kamery
(zobrazující spektroradiometr)

https://salvocoatings.com

- zachycuje vícekanálové spektrální snímky otáčením filtrů ve filtrovém kole
- Výhody
  - plné prostorové rozlišení na pásmo vlnových délek,
  - filtry lze přizpůsobit na základě požadavků aplikace.
- Omezení
  - pomalé a časově náročné zobrazování (skenování),
  - složitá registrace obrazu,
  - geometrické zkreslení,
  - pohyblivý mechanický prvek.



Filter-wheel camera

Multispektrální kamery
(zobrazující spektroradiometr)

https://hse-uav.com

- Původní, metoda získání multispektrální obrazové informace
- Výhody:
  - jednoduchá a
  - levná,
  - instantní (snapshoot) kamera,
  - typické MS kamery dronů.
- Omezení
  - optická paralaxa mezi kamerami
  - náročné ztotožnění obrazů
  - náchylné k chybám.

Multiple cameras

Multispektrální kamery
(zobrazující spektroradiometr)

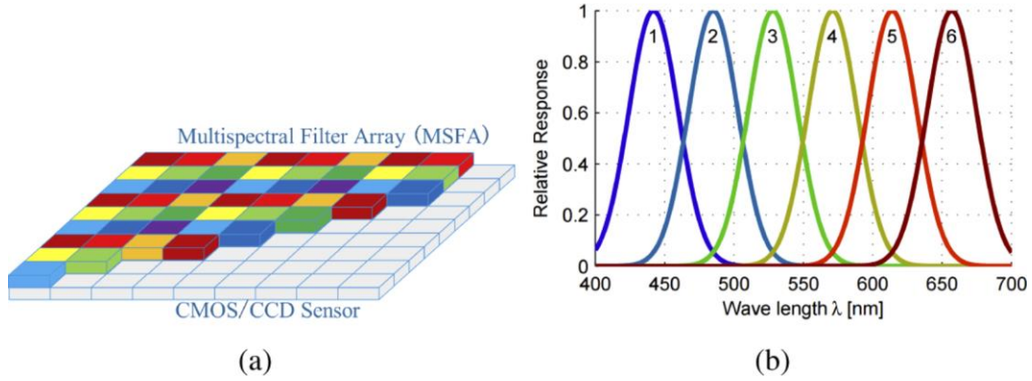


Fig. 1. A multispectral filter array and the constituent narrowband filters with the peak wavelength evenly shifted.

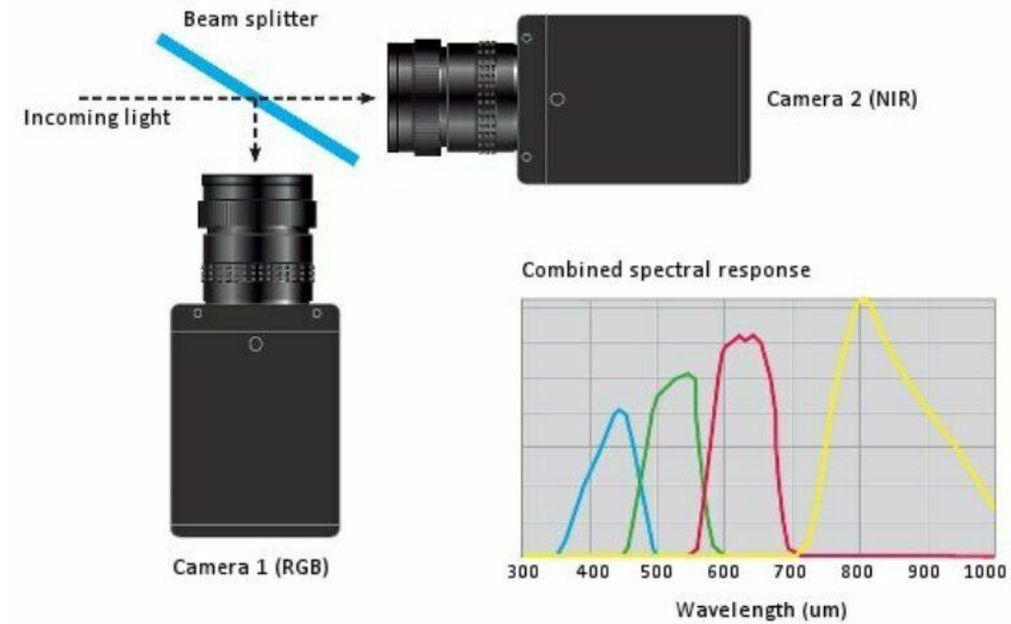
https://opg.optica.org

- Rozšířením konceptu Baeyerovi masky (Bayer CFA) na multispektrální filtrové pole (MSFA) – mosaic imaging
- Výhody:
  - Levné
  - Jednoduché
  - instantní (snapshoot) kamera,
  - Možnost zákaznické volby počtu a spektrálních čar kanálů
- Omezení
  - Inverzní závislost mezi počtem kanálů a rozlišovací schopností
  - Vliv crosstalk (přeslech) na citlivost
  - Problémy s MSFA interpolací (demosaicing) – řídká data

Pixelated multispectral filter array cameras

https://salvoimaging.com

Multispektrální kamery
(zobrazující spektroradiometr)

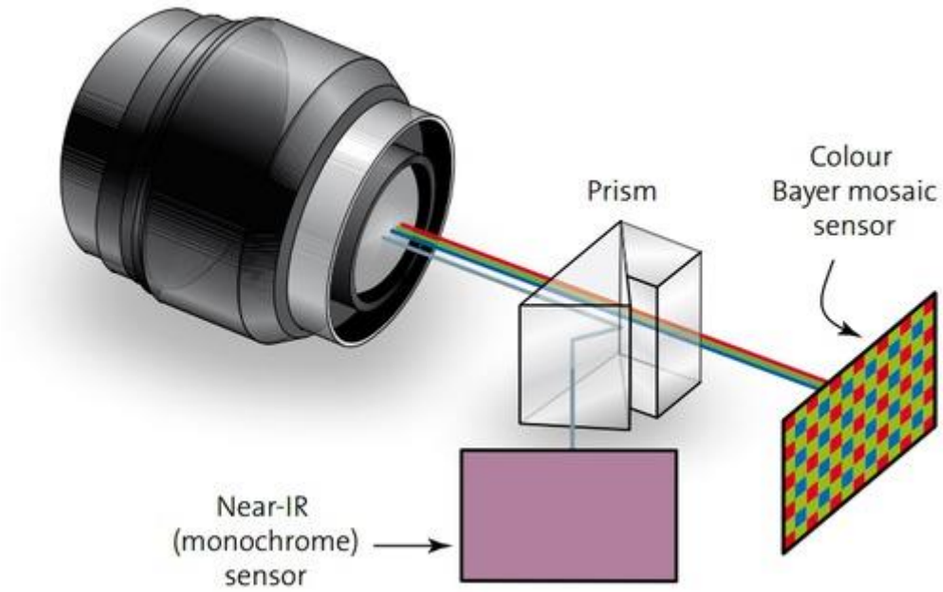


https://www.stemmer-imaging.com

- Způsob, řešení problémů spojených s metodou více nezávislých kamer
  - dokáže současně zachytit obrazy na více kamerách ze společné optické soustavy.
- Výhody
  - Odstraňuje optickou paralaxu.
- Nevýhodou
  - dochází ke ztrátě intenzity světla použitím děliče svazků
  - fyzicky poměrně velké a
  - drahé.

Cameras with a beam splitter

https://www.opto-e.com/



https://www.stemmer-imaging.com

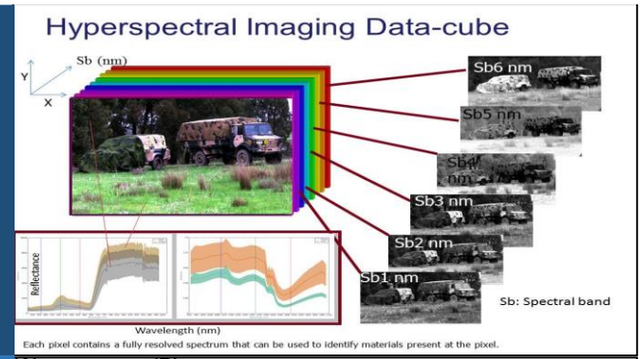
Multi-sensor dichroic prism camera

- Obdoba metody s děličem svazků
- výhody,
  - významné zmenšení velikosti (z vnějšku jediná kamera)
  - hranolové soustavy používají tvrdé dichroické povlaky, které fungují jako interferenční filtry
    - směrování příslušných spektrálních rozsahů na každý ze senzorů.
    - každý kanál přijímá plné množství světla pro rozsah, který potřebuje zachytit.
  - plné prostorového rozlišení FPA na vlnové pásmo.
- Omezení
  - velikost hranolu – a tím i kamery,
  - cena.

https://www.jai.com

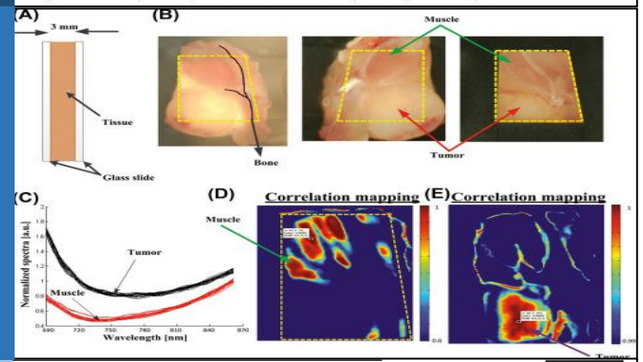
Možnosti použití hyper/multi spektrálního zobrazování

Vojenství



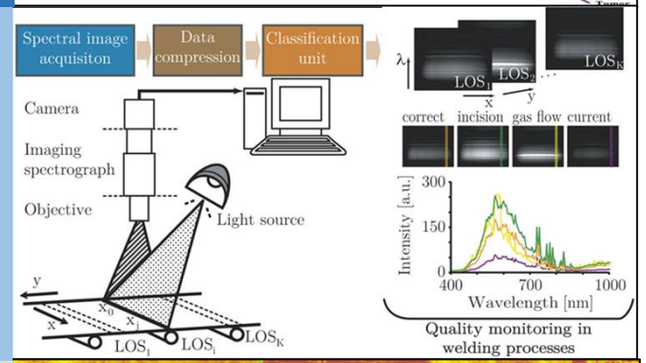
- Automatické vyhledávání cílů
- Detekce minových polí
- …

Lékařství



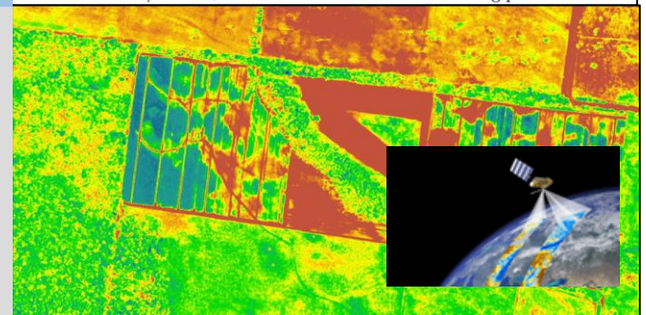
- diagnostika onemocnění, nádorů apod
- nekontaktní a neinvazivní diagnostika
- mikroskopie
- v kombinaci s nanotechnologiemi – diagnostika na buněčné úrovni
- forenzní analýzy

Průmysl



- Kontrola kvality výroby
- Kvality povrchových úprav
- Diagnostika procesů ve výrobě
- Třídění materiálů

Vzdálený průzkum Země



- studium povrchu Země, vegetace,
- kvalita vody, půdy a prostředí,
- geologie,
- mapování,
- smart agriculture

Použití hyper/multi spektrální prostředků ve zbraňových systémech

Zbraňový systém je definován jako kombinace jedné nebo více zbraní s veškerým souvisejícím vybavením, materiálem, službami, personálem a prostředky pro dodání a rozmístění (jsou-li použitelné) vyžadovanými pro soběstačnost splnění palebného úkolu.

[1]US Department of Defence, "DOD dictionary of Military and Associated Terms," November 2018. [Online]. Available: https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/dictionary.pdf. [Accessed January 2019]

Pro prostředky hyperspektrálního průzkumu, z hlediska použití ve vojenství platí, že na čím vyšší úrovni je definován zbraňový systém, tím je vyšší míra jejich uplatnění.

Taktická a strategická úroveň

- vzdálený průzkum Země
- nevadí složitost a komplexnost HSI
- dostatečný čas na zpracování dat,
- není nutné řešit úlohy bezprostředně v reálném čase
- vhodný mimo jiné pro výzkum a vývoj

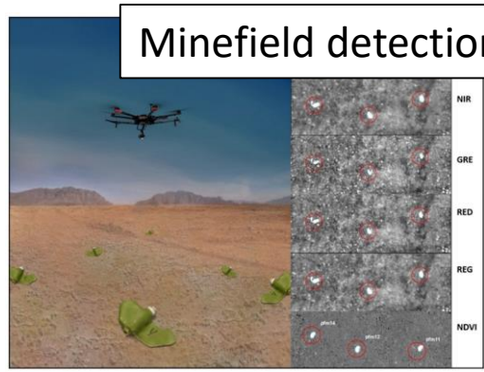
Operační úroveň

- pro bezprostřední boj, (ZS – tank, OT, BVP apod)
- Problém – doba skenování, technická složitost, doba zpracování dat
- Výhodné použití multispektrálních prostředků

Použití hyper/multi spektrální prostředků ve zbraňových systémech

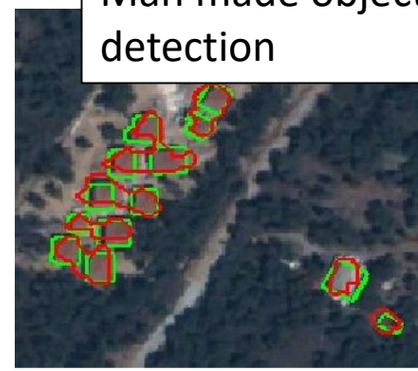
úloha	operátor	Strojové vidění
Zvýraznění kontrastu zájmových objektů vůči pozadí	✓	✓
Detekce / selekce přírodních / uměle vytvořených objektů	✓	✓
Detekce maskovaných objektů	✓	✓
Identifikace přátelských/nepřátelských (friendly/foe) objektů	✓	✓

Minefield detection



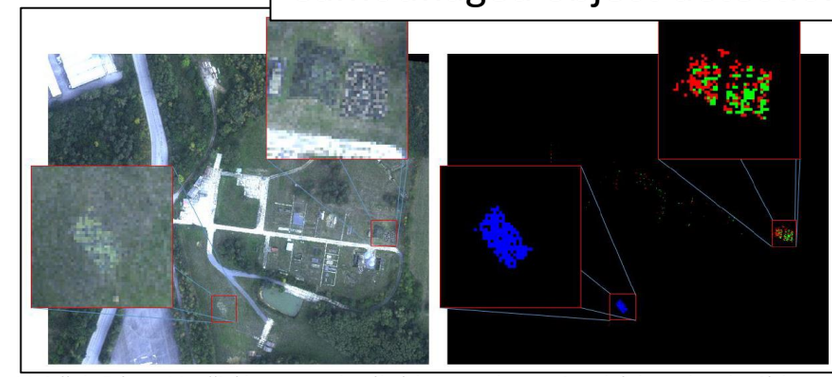
https://doi.org/10.3390/rs12050859

Man made object detection



https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7326158

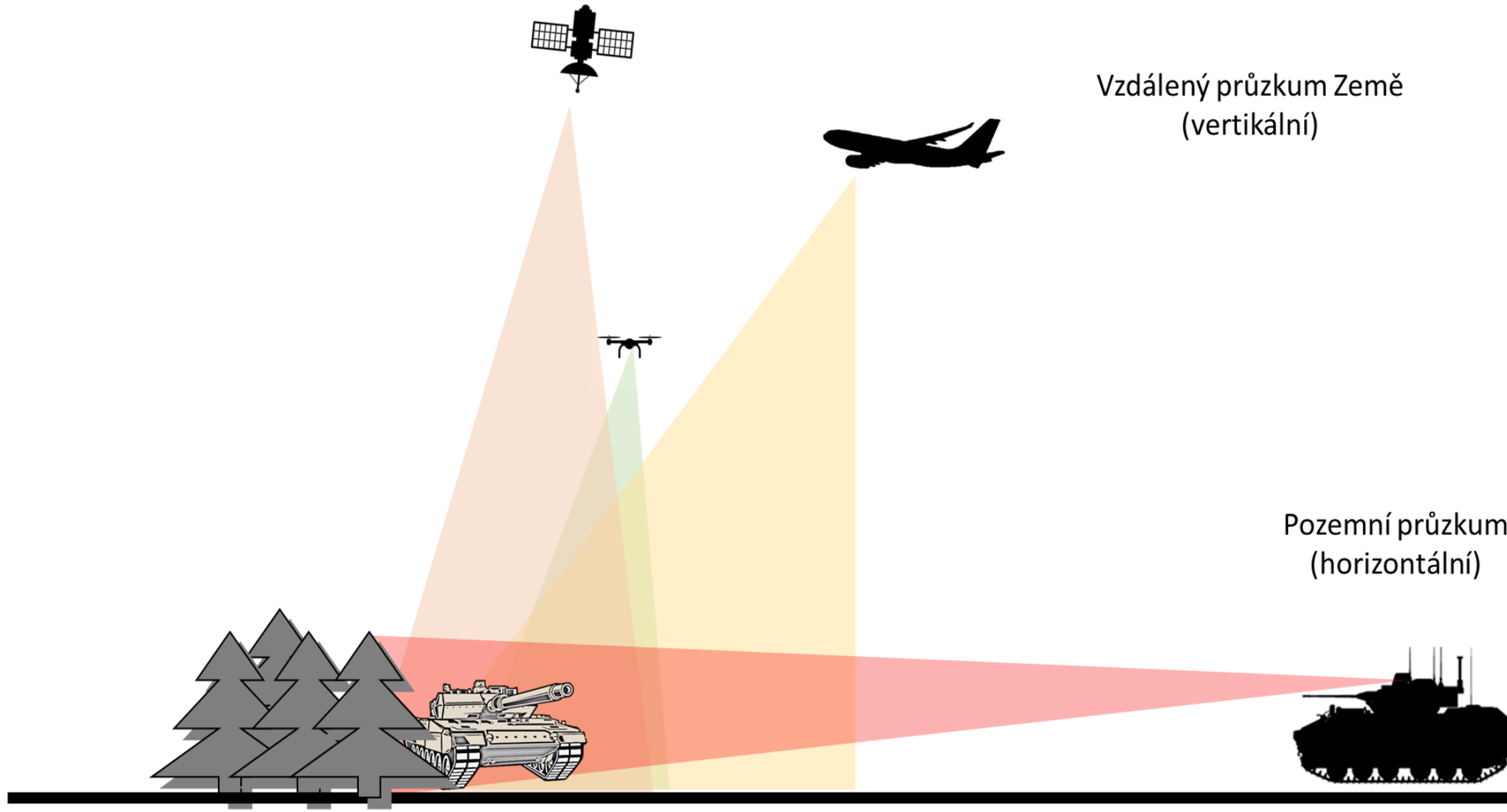
Camouflaged object detection



Vojtěch Bárta, Využití hyperspektrálních metod ve vojenských technologiích, Univerzita obrany, Brno 2019, p. 89.

Použití hyper/multi spektrální prostředků ve zbraňových systémech

Výraznější projev vlastností atmosféry | Jiné osvětlení objektů | Jiný kontrast objektů vůči pozadí



Využití hyperspektrálního zobrazování pro návrh vlastností průzkumného/pozorovacího multispektrálního prostředku

- Výběr spektrálních pásem
  - Vlnové délky
  - Počtu
  - Šířky
- Testování metod zpracování obrazu
  - Pro potřeby operátora
    - Zvýšení kontrastu objektů zájmu
    - Selekce objektů zájmu pro potřeby Image Fusion
  - Pro potřeby strojového vidění

Michal Čapka, Návrh základních parametrů multispektrálního průzkumného prostředku, Univerzita obrany, Brno, 2017, p. 56.

(12) **United States Patent**
Choiniere

(10) **Patent No.: US 11,244,184 B2**
(45) **Date of Patent: Feb. 8, 2022**

(54) **HYPERSPECTRAL TARGET IDENTIFICATION**

(71) Applicant: **BAE SYSTEMS Information and Electronic Systems Integration Inc.**, Nashua, NH (US)

(72) Inventor: **Michael J. Choiniere**, Merrimack, NH (US)

(73) Assignee: **BAE Systems Information and Electronic Systems Integration Inc.**, Nashua, NH (US)

(56) **References Cited**

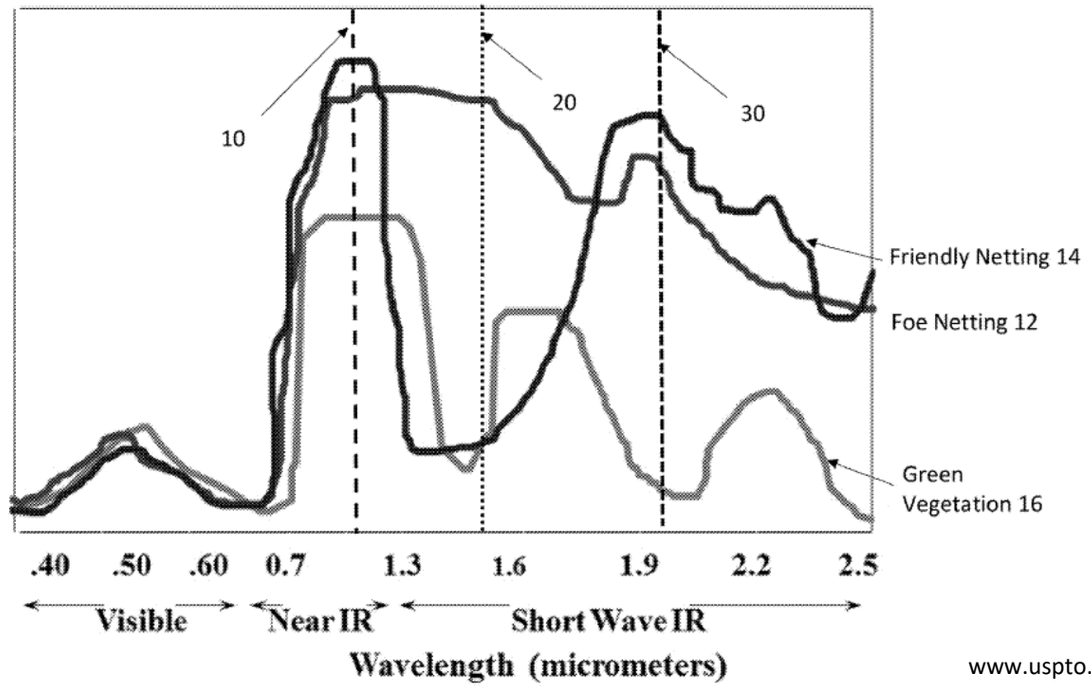
U.S. PATENT DOCUMENTS

6,282,301	B1 *	8/2001	Haskett	G06K 9/0063 382/103
2008/0063237	A1 *	3/2008	Rubenstein	G06K 9/0063 382/103
2010/0322471	A1 *	12/2010	Treado	G01N 21/359 382/103
2013/0044963	A1 *	2/2013	Robinson	G06T 7/194 382/260
2015/0235102	A1 *	8/2015	Blagg	G06K 9/52 382/191
2016/0065915	A1 *	3/2016	Potter	H04N 9/09

Claims:

1. … removal of vegetation from image
2. … automatic target recognition (ATR)
3. … eliminating clutter from image
4. … ATR and target type discrimination
5. … friend and foe determinations
6. … removal of ground and vegetation

FIG. 2



www.uspto.gov

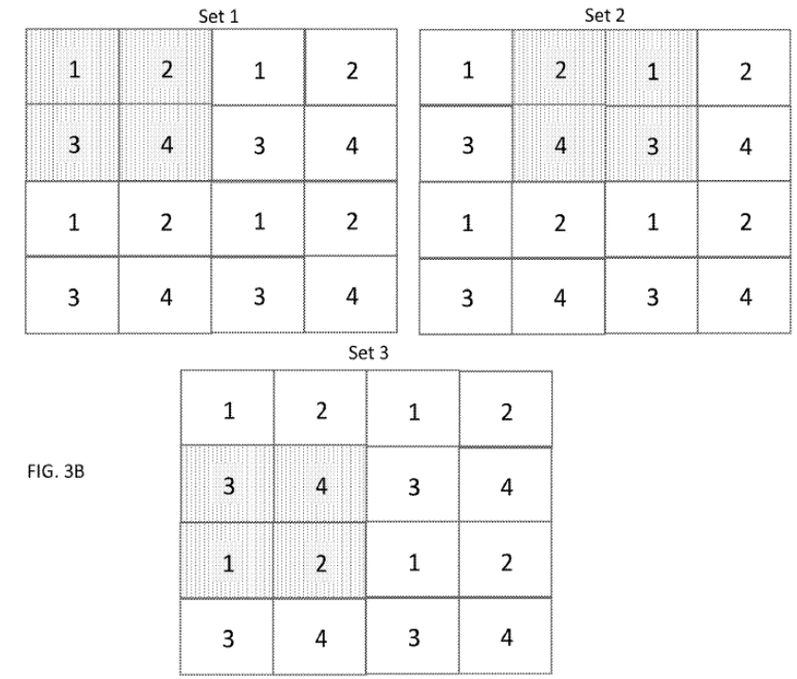
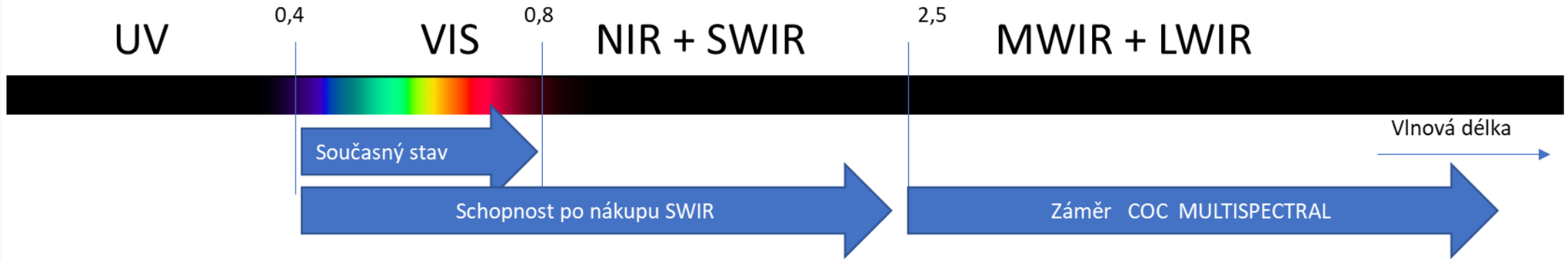


FIG. 3B

Návrh multispektrálního průzkumného prostředku

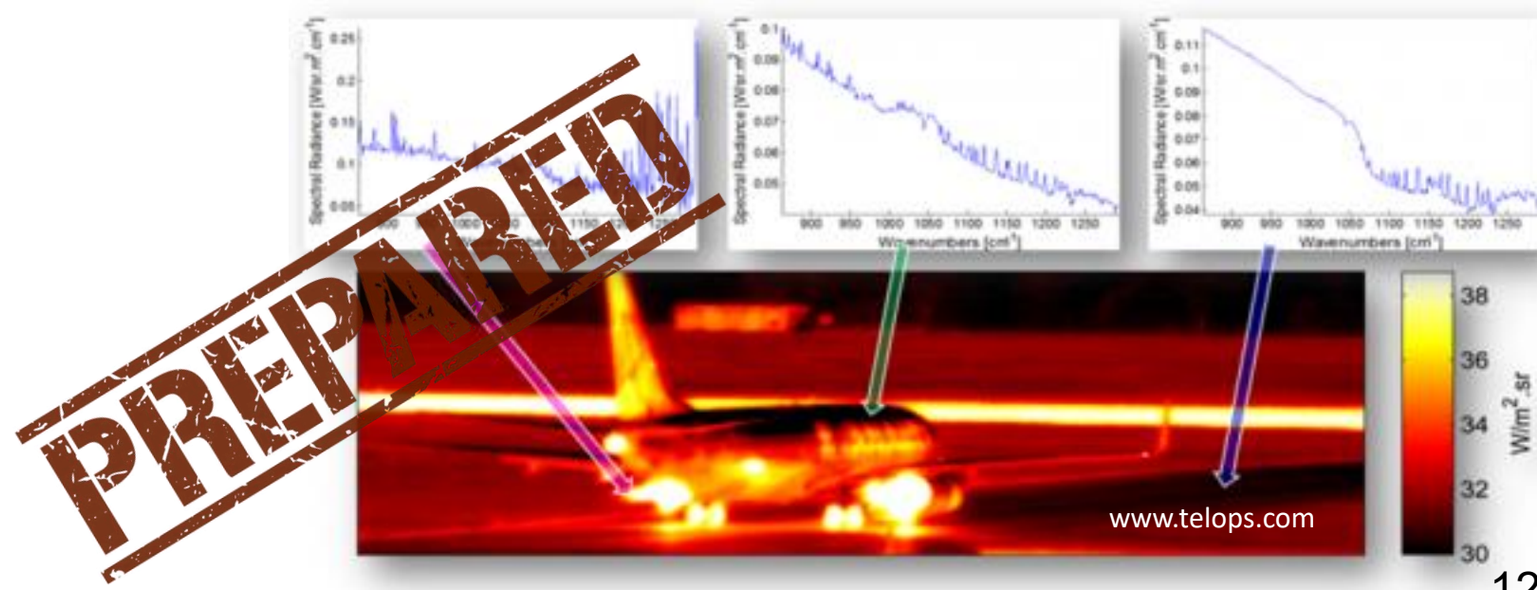


Cíle

1. **Vývoj nových MS termovizních prostředků (**demonstrátor / funkční vzor)
2. **Návrh principů a metod optimálního využití prostředků IR pozemního průzkumu**
3. **Návrh účinné ochrany vojenské techniky a prostředků**

Možní řešitelé projektu:

1 UO Brno
2. VVÚ Brno
3. VTÚ Slavičín
4. FIT VUT Brno
5. TOPTEC
6. APPLIC



Tréninkové soubory pro strojové vidění (deep learning)

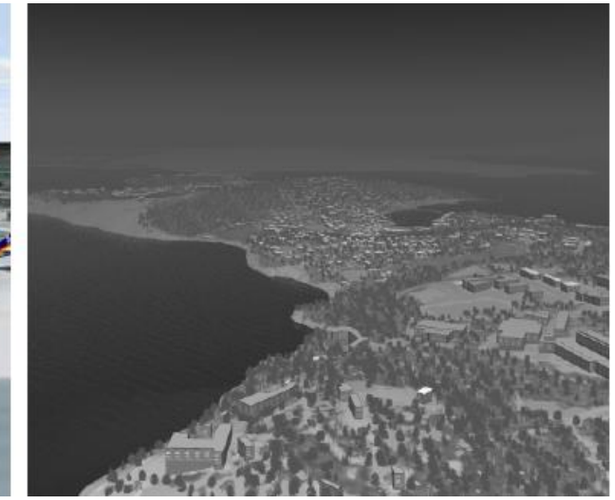
Hluboké učení (Deep Learning) je disciplína v rámci strojového učení, která se zabývá způsobem učení neuronových sítí s velkým počtem vrstev.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. Deep Learning. [s.l.]: MIT Press, 2016. 767 s. Dostupné online. (anglicky)

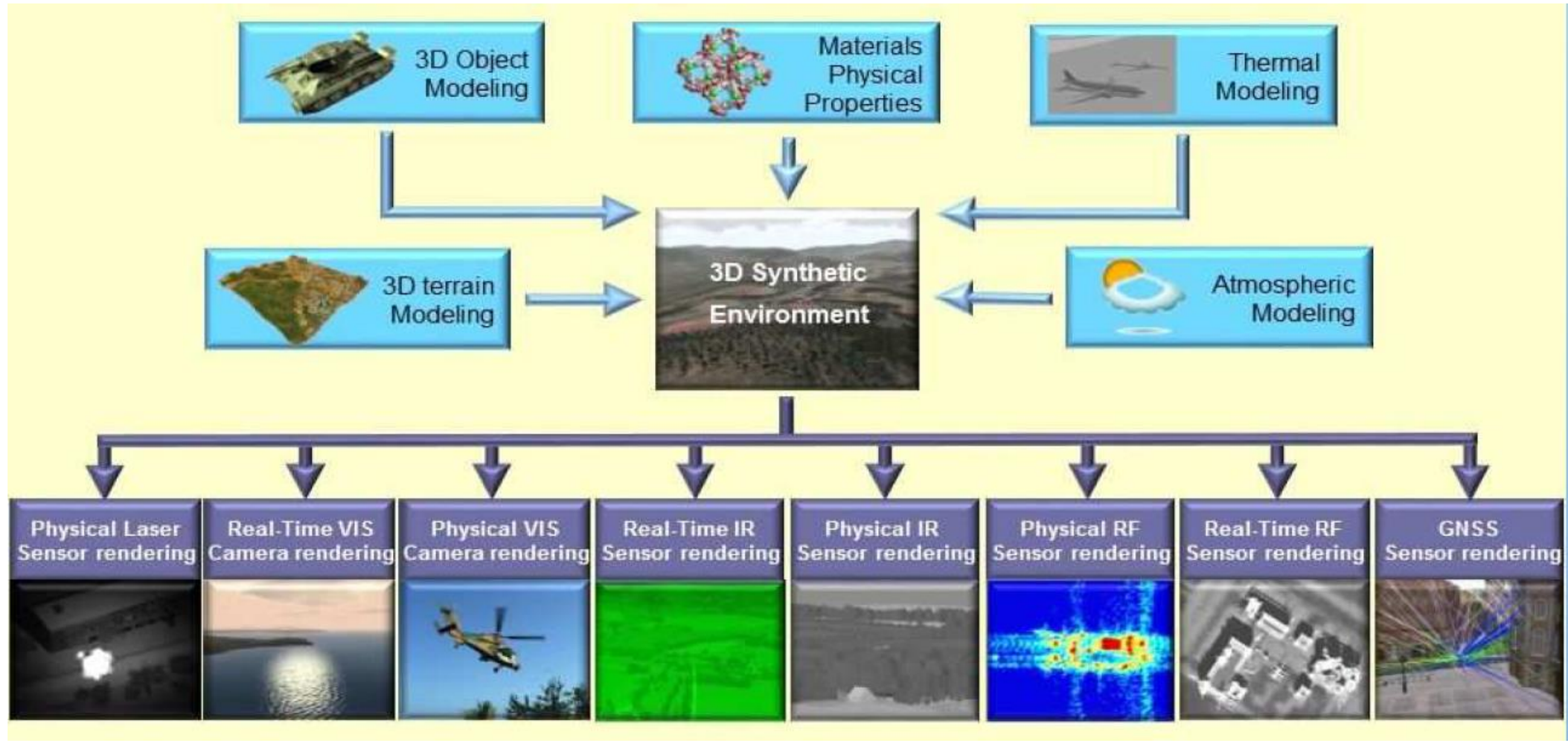
! Obrovské množství testovacích obrazů

Pokročilé modelování pro potřeby deep learning

- zlepšit metody strojového vidění / zpracování obrazu využitím Neuronových sítí (deep learning)
- přípravě tréninkových sad pro trénování neuronových sítí.
- V současnosti pocházejí hlavní datové soubory ze skutečných obrázků
  - Nutné nasnímat
  - Nutné „označit“ objekty.
- Náhrada reálných snímků syntetickými obrazy
  - Vytvoření „umělého 3D světa“
  - Možnost renderování syntetických obrazů pro potřeby AI
  - Potřeba vysoké úrovně realističnosti (fyzikálních vlastností objektů)

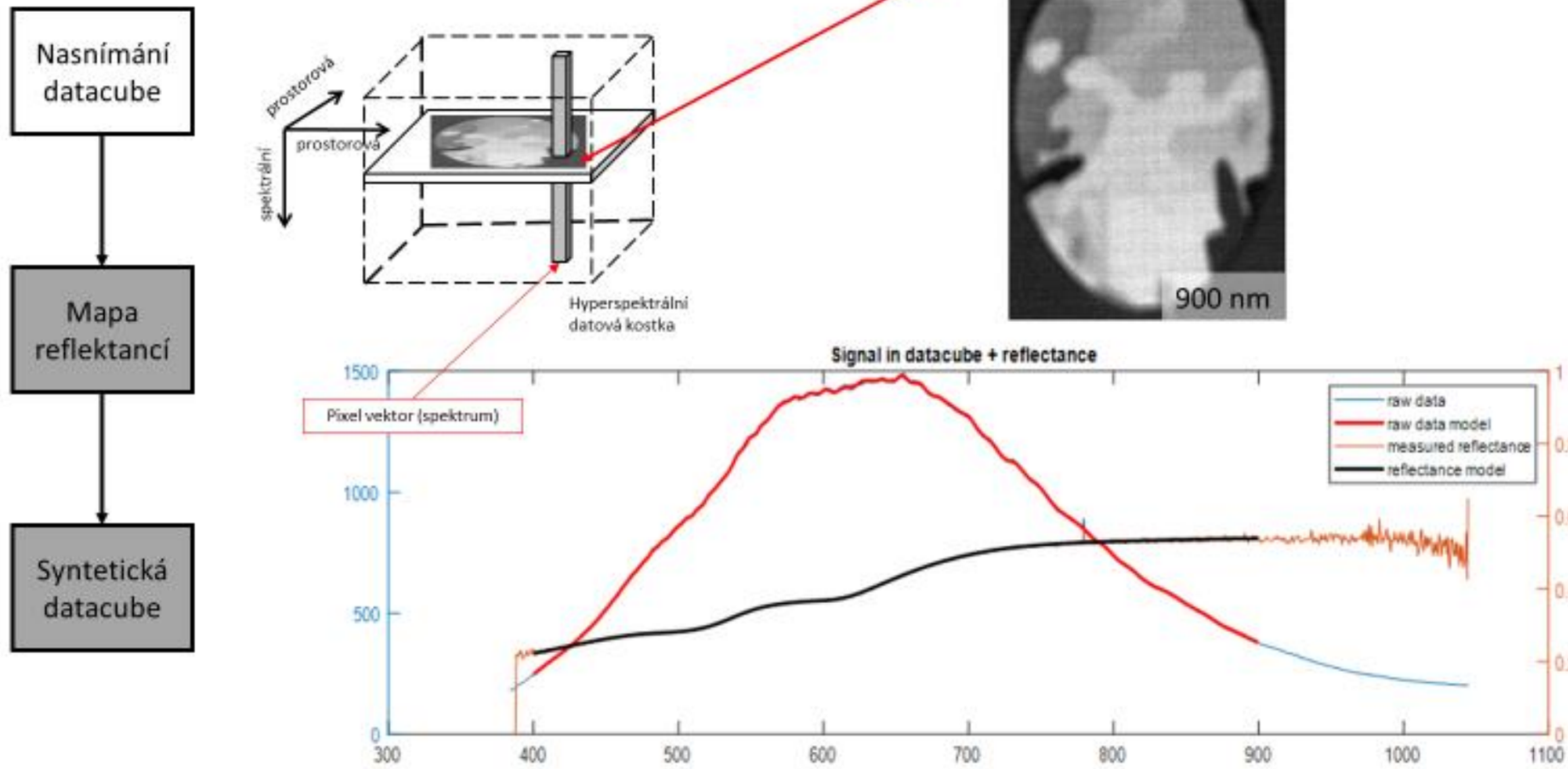


SE-WORKBANCH

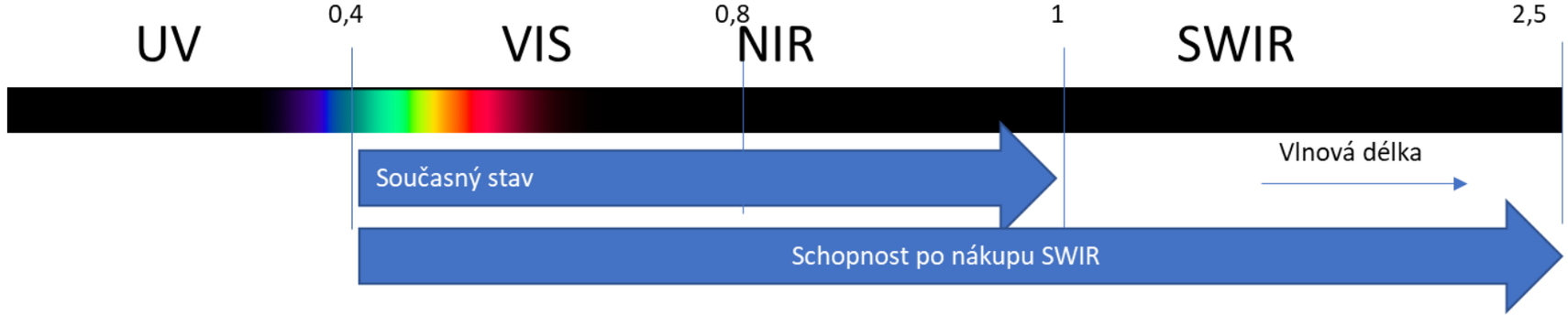


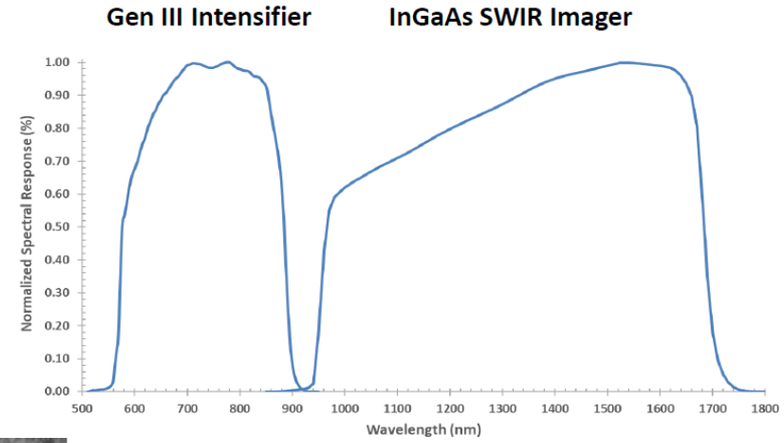
Testování fyzikálních vlastností maskovacích povrchů

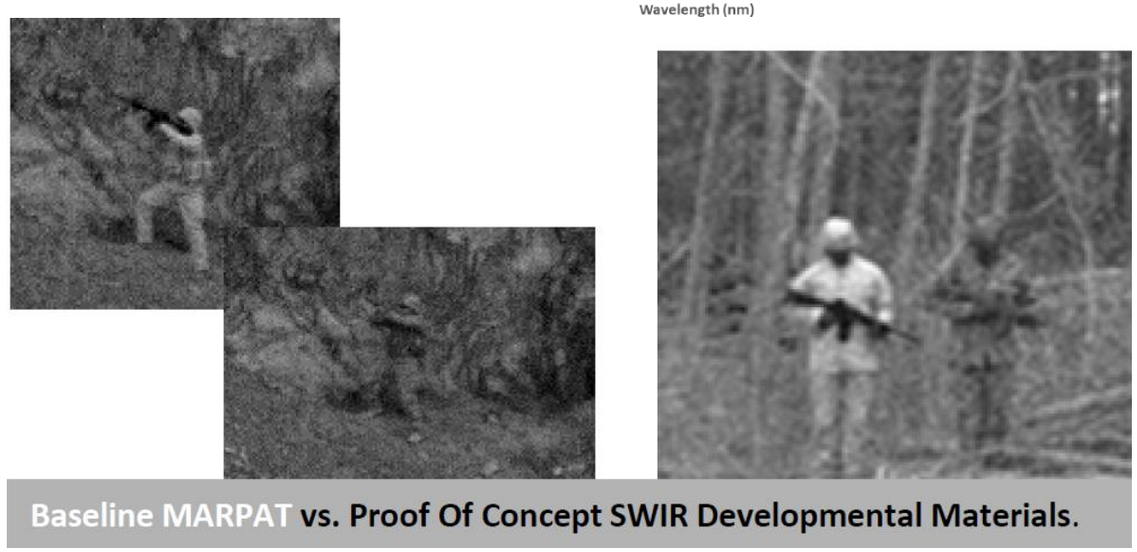
Testování fyzikálních vlastností maskovacích povrchů



Testování fyzikálních vlastností maskovacích povrchů







Baseline MARPAT vs. Proof Of Concept SWIR Developmental Materials.

DEVCOM: Changes to Camouflage Spectral Reflectance Requirements, 2019

ZÁVĚR

Čím disponujeme

1. Prostředky
    1. Hyperspektrální kamera VIS+NIR
    2. Hyperspektrální kamera SWIR (plánovaný nákup 2022)
    3. Multispektrální kamera + polarizovaný obraz (plánovaný nákup 2023)
    4. Termovizní kamery
    5. Přenosné a laboratorní spektrofotometry
2. Schopnosti
    1. Zkušenosti s experimentálním měřením v laboratorních a exteriérových podmínkách
    2. Základní analýzy zpracování a modelování HS/MS dat
    3. Schopnost testování prostředků a metod z pohledu vojenské praxe

Možné oblasti spolupráce

1. Vývoj multispektrálních prostředků speciálního využití v oblastech VIS+NIR, SWIR, LWIR, MWIR
2. Tvorba tréninkových souborů obrazů pro deep learning
3. Tvorba syntetického 3D prostředí pro potřeby testování AI

Ing. Michal Košejla; Fyzikální ústav Akademie věd ČR, v. v. i. – Centrum ELI Beamlines

Aplikace laserové techniky a jejich součástí ve zbraňových systémech

Prezentace podává aktuální přehled možného užití laserů ve vojenství s akcentem na zbraňové systémy a jejich součástí s cílem identifikovat možnosti případné spolupráce expertů a profesních odborníků ve vědě, výzkumu a vývoje s tvůrci a výrobci obranných systémů a jejich komponent. Dále je pojednáváno o laserových vysokoúrovňových systémech (HEL – High Energy Lasers), jejich konstrukci, aplikaci a rizicích spojených s jejich použitím ve zbraňových systémech.

>>redakce<<

BRNO, 22.9.2022

Aplikace laserové techniky a jejich součástí ve zbraňových systémech

Ing. Michal Košelja

ÚČEL A CÍL PREZENTACE

Podat aktuální přehled možného užití laserů ve vojenství s akcentem na zbraňové systémy a jejich součástí s cílem identifikovat možnosti případné spolupráce expertů a profesních odborníků ve vědě, výzkumu a vývoje s tvůrci a výrobci obranných systémů a jejich komponent.

Laser – užitné vlastnosti

1) monochromatický zdroj koherentního světla
2) schopnost jej generovat kontinuálně nebo modulovaně v úzkém svazku s malou divergencí
3) transport vysokého výkonu/energie
4) přenos rychlostí světla ~ $3*10^{8}$ ms^{-1}

Laser – možné aplikace ve vojenství

1) dálkoměr
2) zaměřovač (pointer), „oslňovač“ (dazzler)
3) analyzátor BOL
4) komunikace/distanční odposlech
5) iniciace energetických materiálů (rozbušek, trhavin, výbušnin apod.)
6) zážeh paliva vznětových a raketových motorů
7) zbraň – kategorie DEW (Directed Energy Weapons)

Aplikace – dělení dle „energie/výkonu“

1) nízkoúrovňové
   dálkoměr, zaměřovač (pointer), „oslňovač“ (dazzler), analyzátor BOL, distanční odposlech
2) středněúrovňové
   iniciace energetických materiálů (rozbušek, trhavin, výbušnin apod.) zážeh paliva vznětových a raketových motorů
7) vysokoúrovňové
   zbraň – Directed Energy Weapon

Laserové systémy

1) nízkoúrovňové
   energie v pulsu: μJ (10^{-6}J) – mJ (10^{-3}J)
   délka pulsu: fs (10^{-15}s) – ns (10^{-9}s)
   opakovací frekvence: Hz (s^{-1}) - GHz (s^{-12})
2) středněúrovňové
   energie v pulsu: mJ (10^{-3}J) – J
   délka pulsu: ns (10^{-9}s) – ms (10^{-3}s)
   opakovací frekvence: Hz (s^{-1}) - kHz (s^{-3})
7) vysokoúrovňové
   zbraň – Directed Energy Weapon
   výkon: min. 60 kW; doba ~ desítky sekund

Laserové středněúrovňové systémy

Laser Ignition Conference (LIC) 2015 © OS T3A.2

Overview of Optical/Laser Technological Advances Leading to Practical Laser Ignition Systems

Takunori Taira
Institute for Molecular Science (IMS), 38 Nishigo-naka, Myodaiji, Okazaki 444-8585, Japan
taira@ims.ac.jp

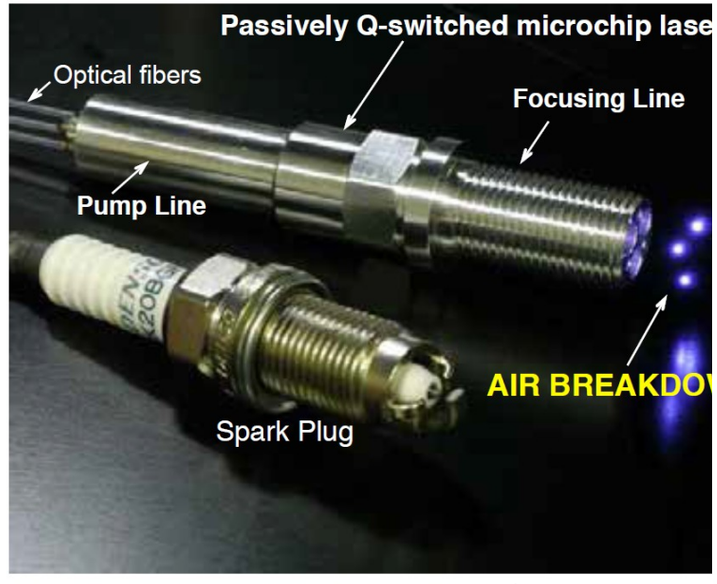


Fig. 3 Photo of the Nd:YAG/Cr^{4+}:YAG ceram laser with three-beam output and spark plug.

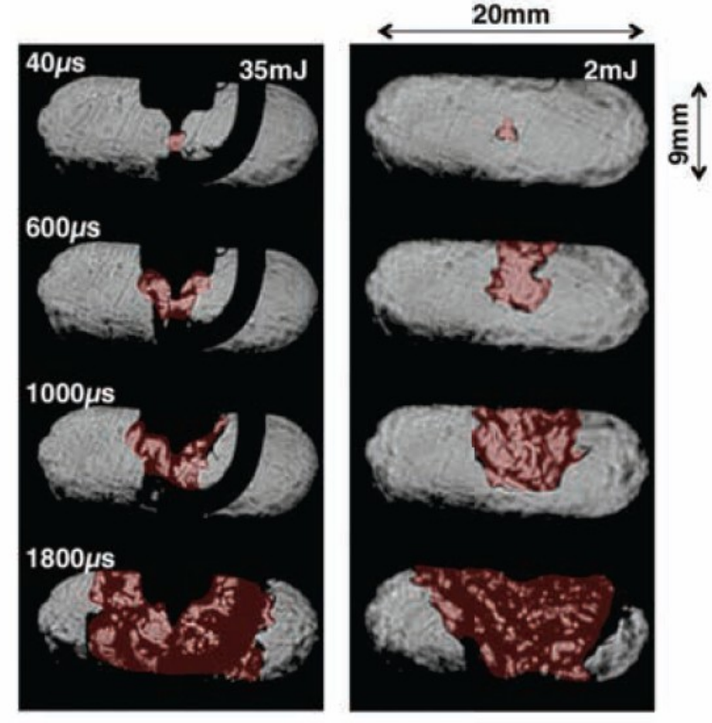


Fig. 1 Schlieren photographs of engine ignition by (a) a spark plug and (b) a microchip laser.

Laserové vysokoúrovňové systémy - typy

HEL – High Energy Lasers

1) chemické
   výkon: ~ MW; směs chemikálií
2) vláknové
   výkon: ~ 100 kW; koherentní sloučení jednotlivých svazků
3) pevnolátkové
   výkon: > 60 kW; disky, diodové čerpání
4) elektronové
   výkon: > 100 kW; vakuum

Laserové zbraně - HEL

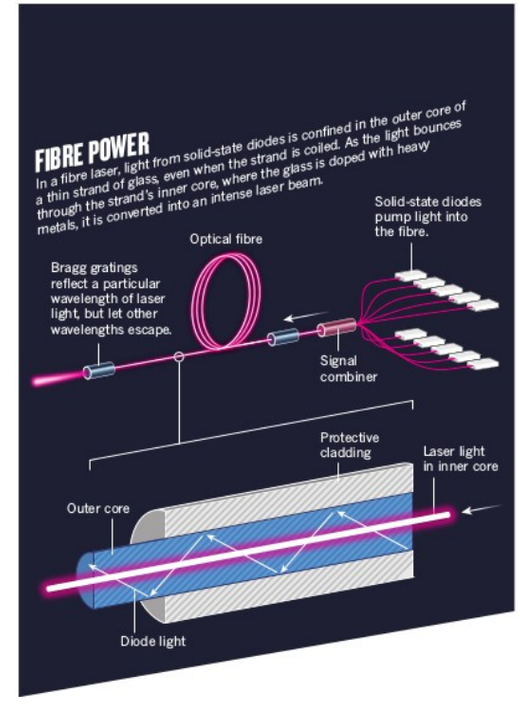
SOURCE	BEAM POWER MEASURED IN KILOWATTS (kW) OR MEGAWATTS (MW)				
	~10 kW	TENS OF kW	~100 kW	HUNDREDS OF kW	MW
NAVY BRIEFING (2010)	UAVS				
		Small Boats			
				Missiles (starting at 500 kW)	
SECOND NAVY BRIEFING (2010)		Short-range operations against UAVs, RAM, MANPADS (50 kW - 100 kW; low BQ)		Extended-range operations against UAVs, RAM, MANPADS, ASCMs flying a crossing path (> 100 kW, BQ of ~2)	Operations against supersonic, highly manueverable ASCMs, transonic air-to-surface missiles, and ballistic missiles (>1 MW)
INDUSTRY BRIEFING (2010)		UAVS and small boats (50 kW)	RAM (100+ kW), subsonic ASCMs (300 kW), manned aircraft (500 kW)		Supersonic ASCMs and ballistic missiles
DEFENSE SCIENCE BOARD REPORT (2007)		Surface threats at 1-2 km		Ground-based air and missiles defense, and countering rockets, artillery, and mortars, at 5-10 km[a]	"Battle group defense" at 5-20 km (1-3 MW)
NORTHROP GRUMMAN RESEARCH PAPER (2005)	Soft UAVs at short range	Aircraft and cruise missiles	Soft UAVs at long range	Aircraft and cruise missiles at long range, and artillery rockets (lower hundreds of kW) Artillery shells and terminal defense against very short range ballistic missles (higher 100s of kW)	

Acronymn Key:
UAVs = Unmanned Aerial Vehicles
RAM = Rockets, Artillery, and Mortars
MANPADS = Man-Portable Air Defense System
ASCMs = Anti-Ship Cruise Missiles

Laserové zbraně - HEL

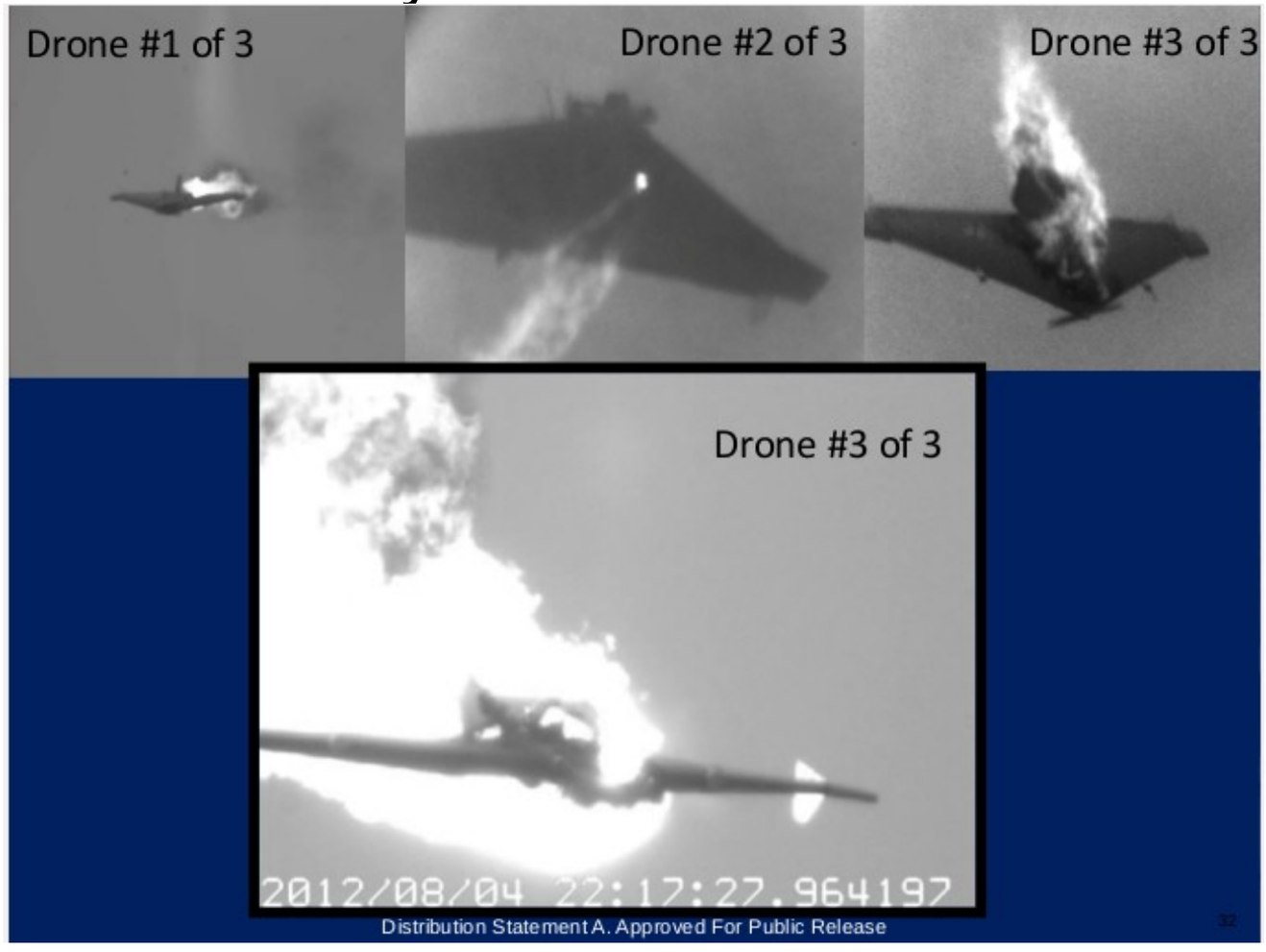
Vláknový laser vzhled a princip

The 33 kW beam-superimposing fibre-based solid state LaWS was tested in the Gulf on board USS Ponce in 2014. (US Navy)



Laserové zbraně - HEL

Vláknový laser – eliminace dronu



Laserové zbraně - HEL

Vláknový laser – likvidace střely

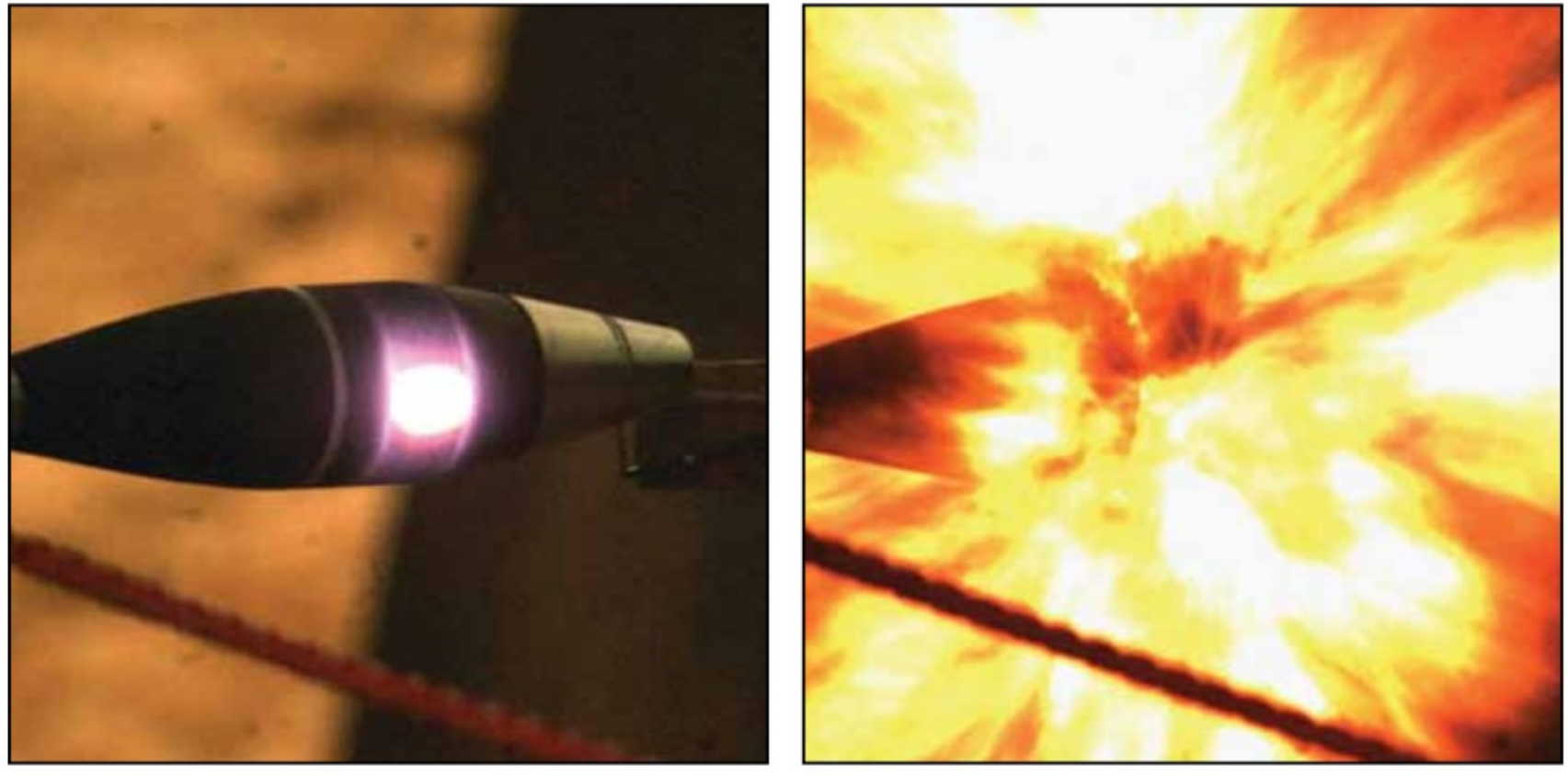


Figure 2. Explosive Target is Destroyed with NSWCDD's Fiber Lasers

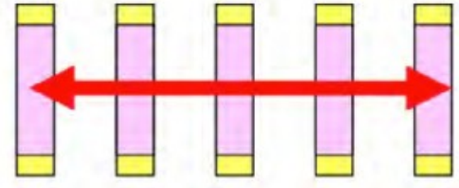
Laserové zbraně - HEL

Pevnolátkový laser – konstrukce/varianty

1. Northrop Grumman: End-pumped Slab: Nd:YAG

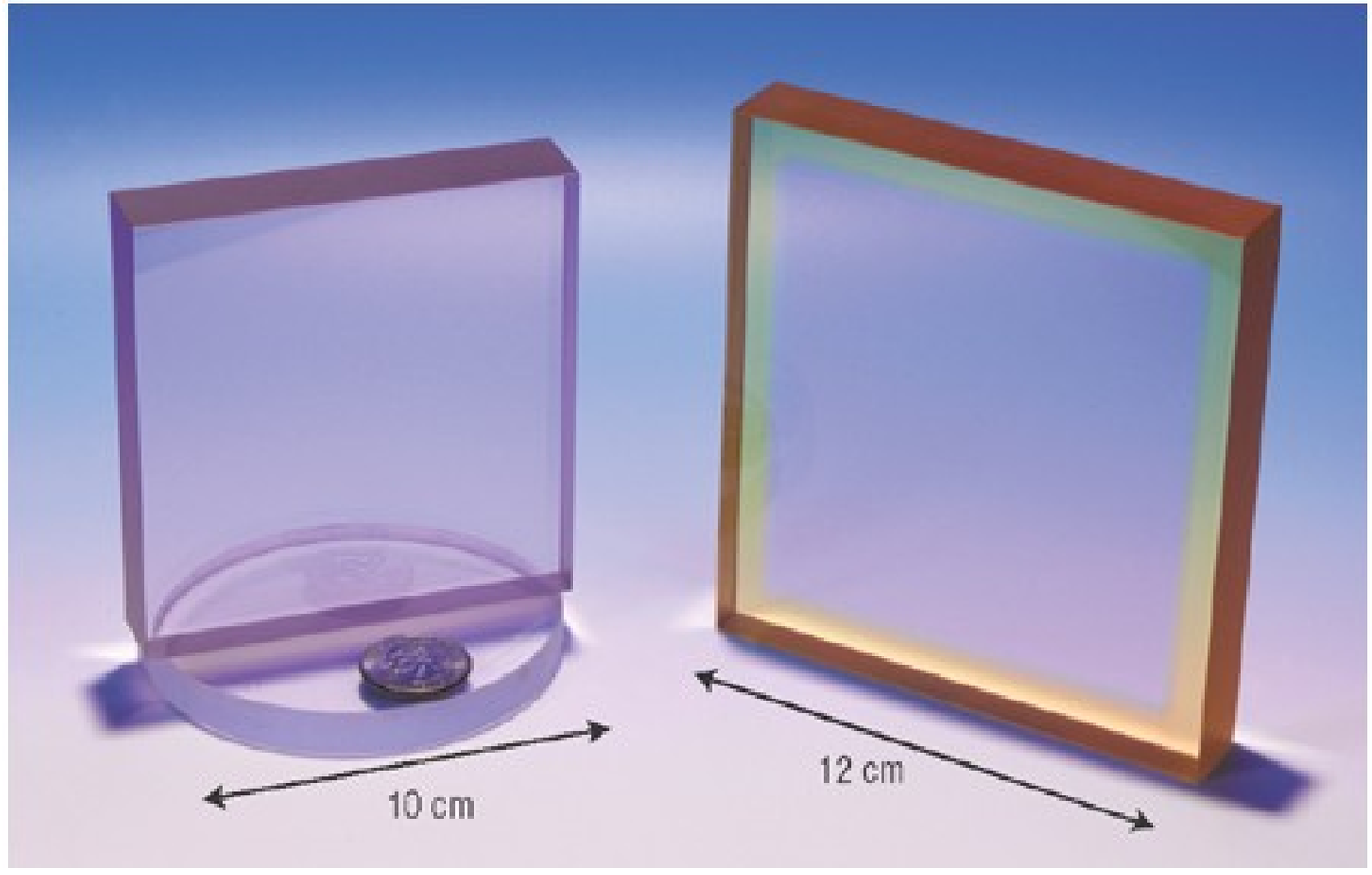
2. Textron: Zigzag Thin Slab Laser: Nd:YAG

3.LLNL: Thermo Capacity Laser; Nd:Sm:YAG



Laserové zbraně - HEL

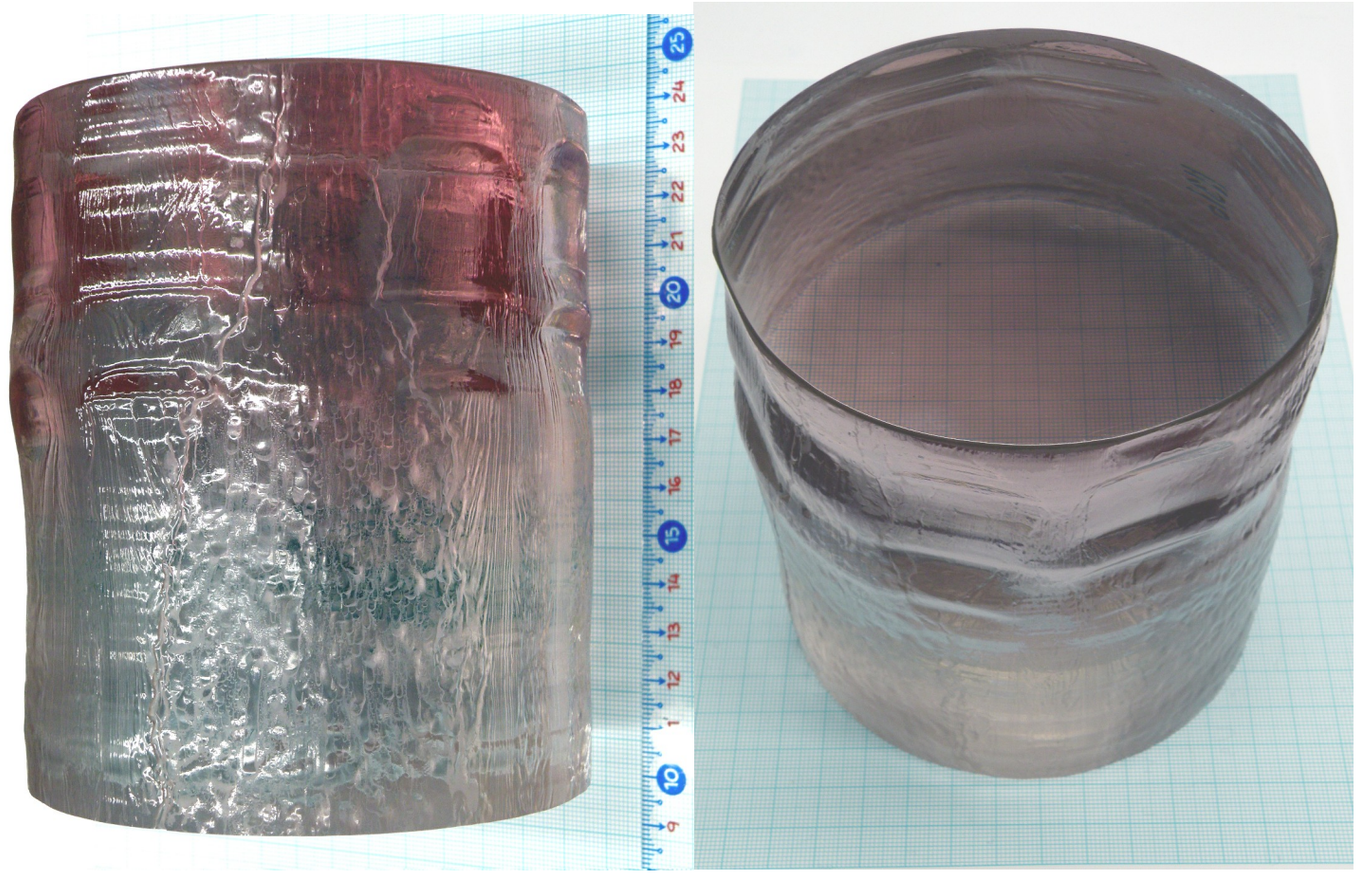
Pevnolátkový laser – keramické disky



Laserové zbraně - HEL

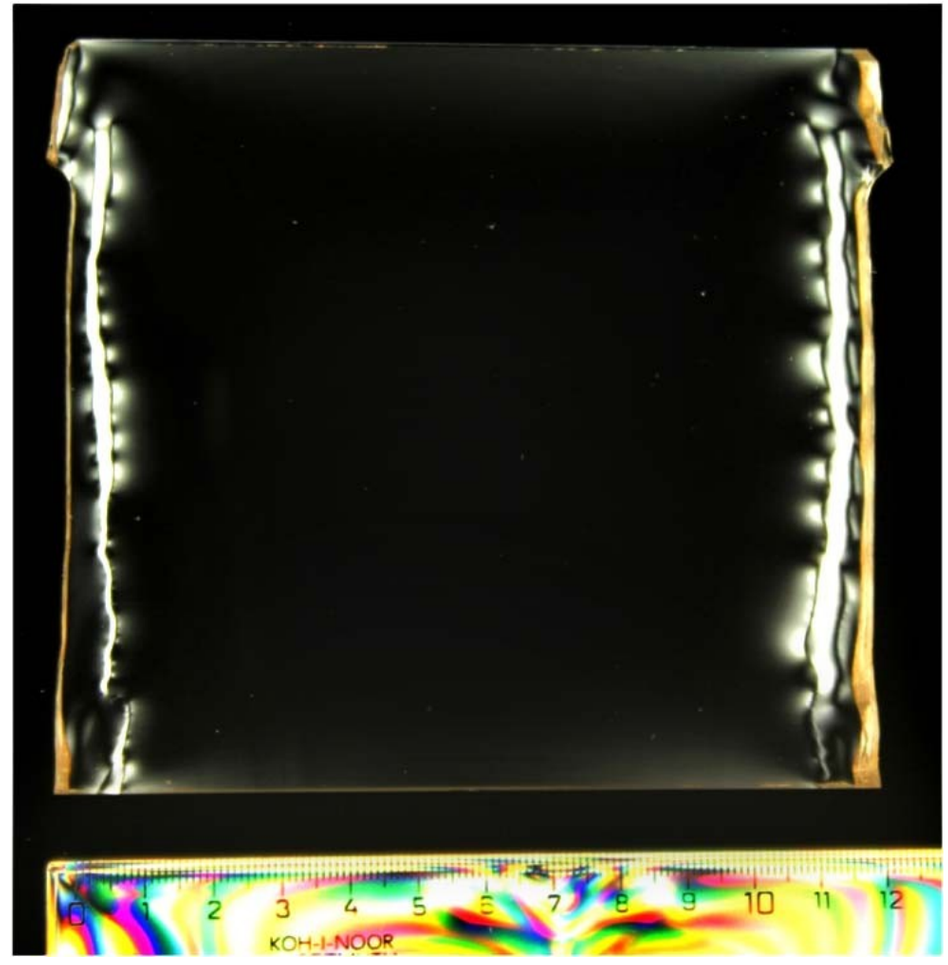
Crytur, s.r.o. Česká republika

producent největších krystalů YAG na světě



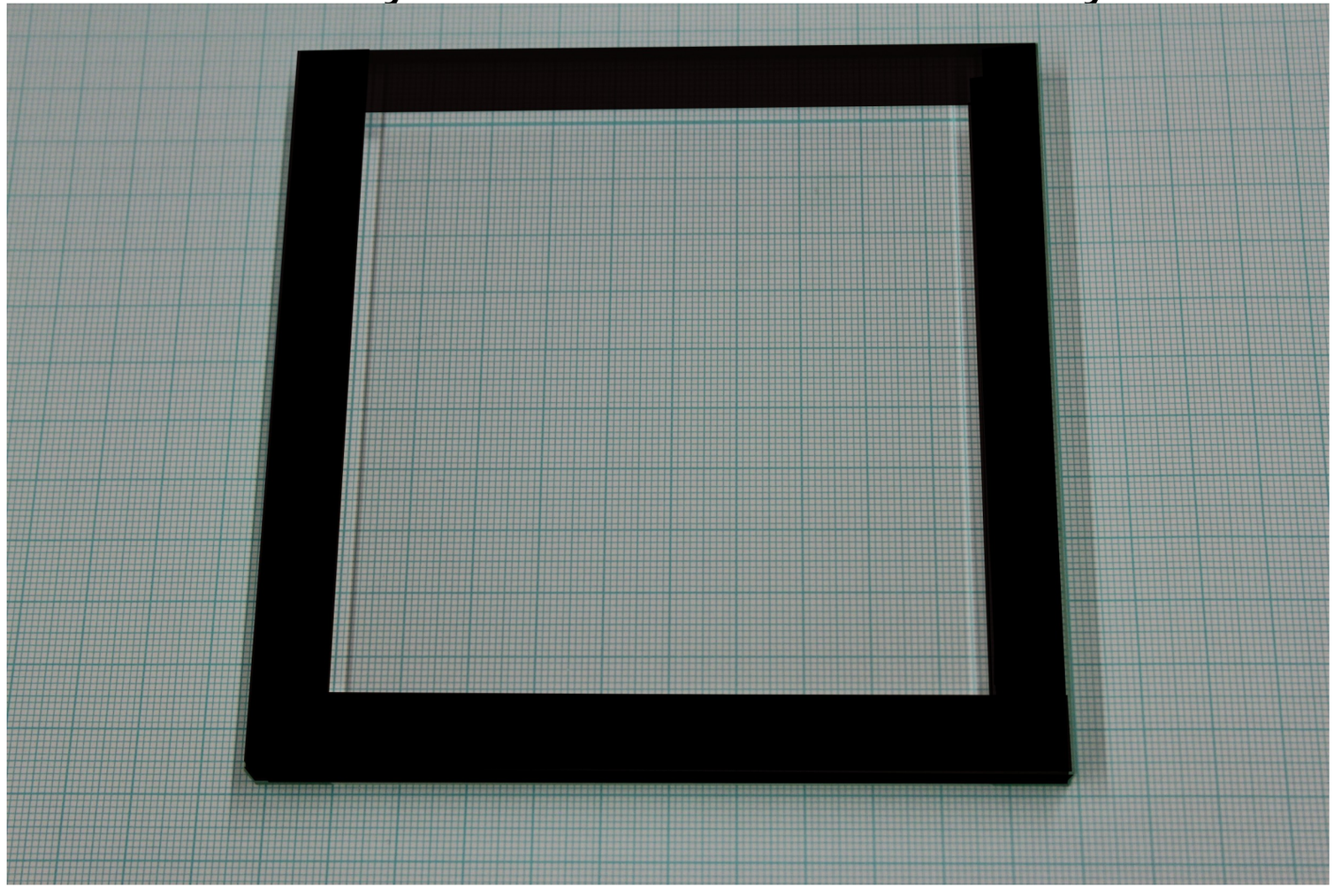
Laserové zbraně - HEL

Yb:YAG – řez podél osy růstu, zkřížené polarizátory



Laserové zbraně - HEL

Pevnolátkový laser – Yb:YAG laserový disk



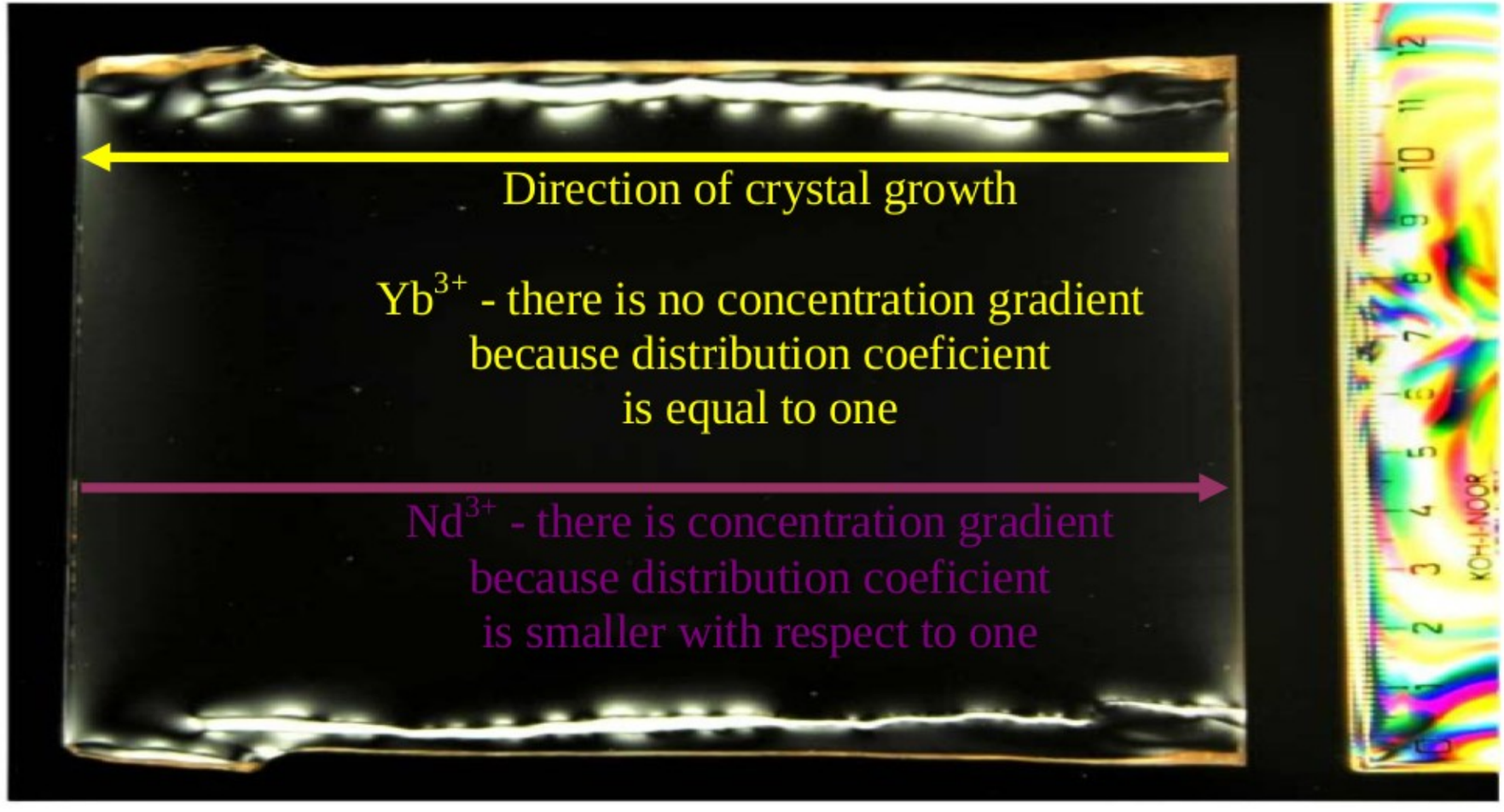
Laserové zbraně - HEL

Pevnolátkový laser – Nd:YAG nová konstrukce HEL

FEATURES	BENEFITS
The Twin Active Crystal Element® (TACE®) design allows for the largest active area currently available in crystal laser media, up to 10 times larger than current designs	A larger active area allows for higher average and peak energy of a laser system
Crystal laser media has no grains compared to ceramic laser media, where grain size ≈ 20 nm	Superior beam quality and Power Spectral Density (PSD) stability
Crystal laser media has better thermal management compared to glass laser media	Higher repetition rates achievable
The twin design results in an even amount of reflections	Laser beam polarization management made simple
The TACE® design has its foundations in the crystal manufacturing process	Competitive costs to ceramics and glass laser elements

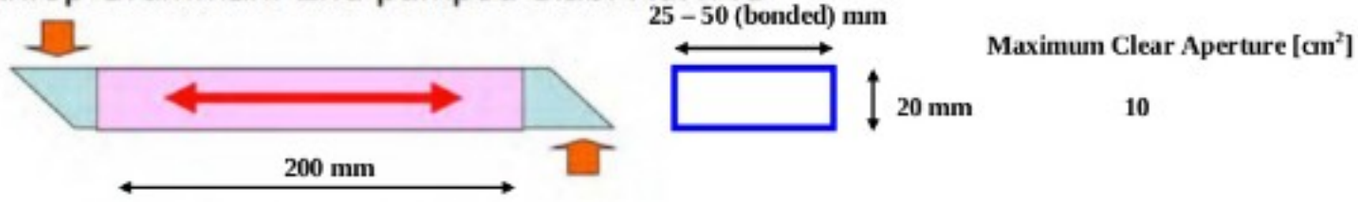
Laserové zbraně - HEL

Pevnolátkový laser – Nd:YAG nová konstrukce HEL



Laserové zbraně - HEL

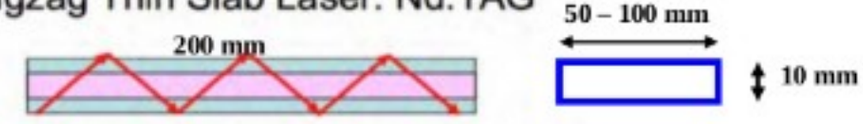
1. Northrop Grumman: End-pumped Slab: Nd:YAG



Maximum Clear Aperture [cm²]

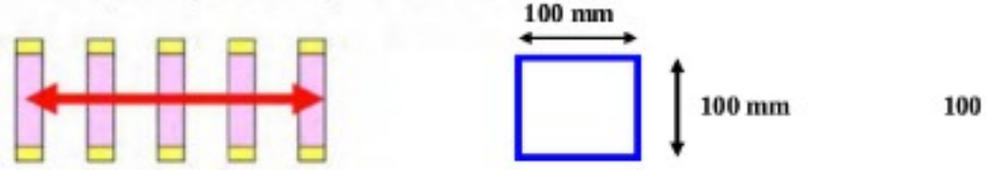
10

2. Textron: Zigzag Thin Slab Laser: Nd:YAG



10

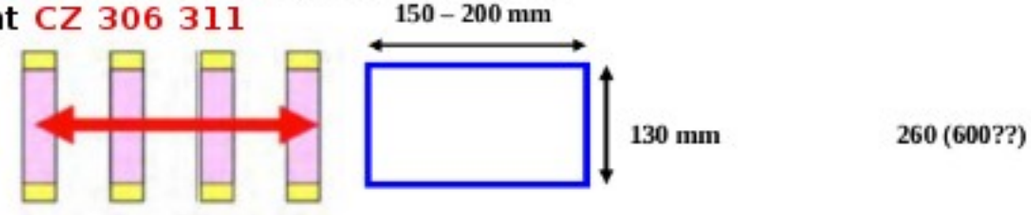
3.LLNL: Thermo Capacity Laser; Nd:Sm:YAG



100

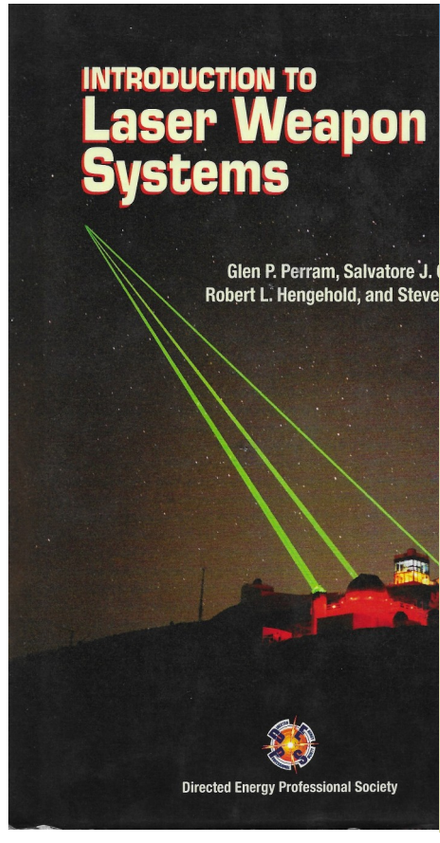
4. PV2015-501 invention Nd:Cr(Sm):YAG

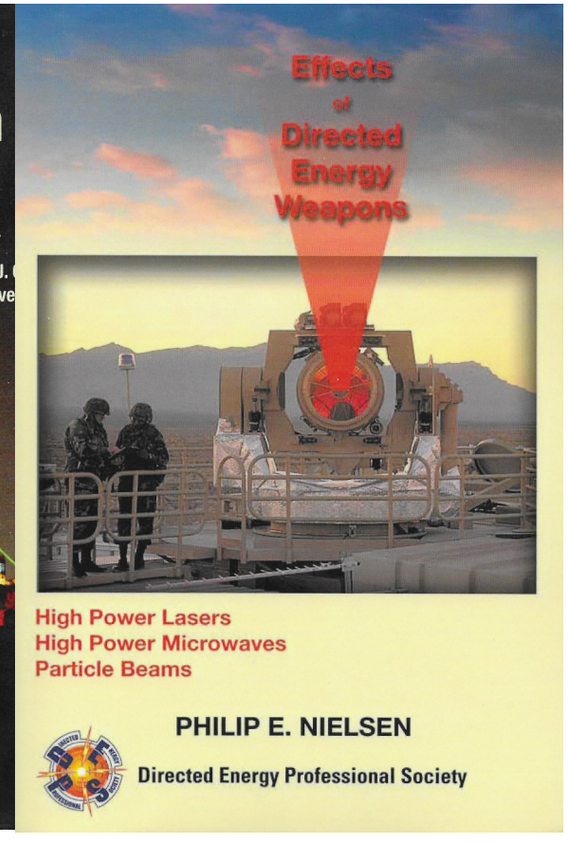
Patent CZ 306 311

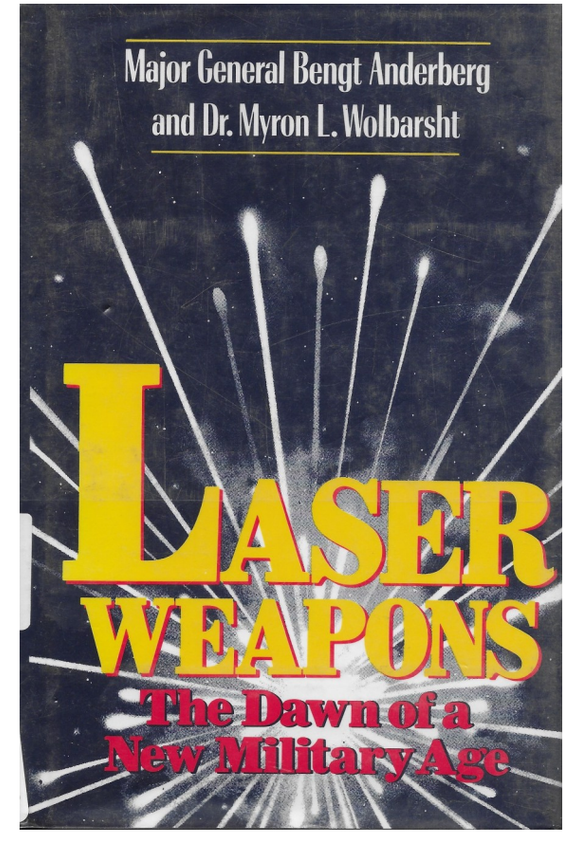


260 (600??)

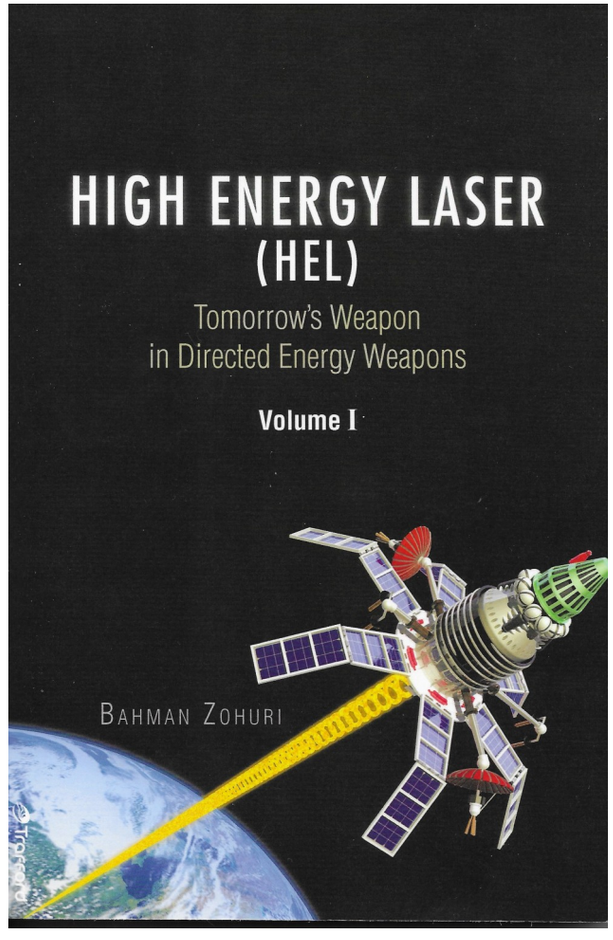
HEL – dostupná literatura

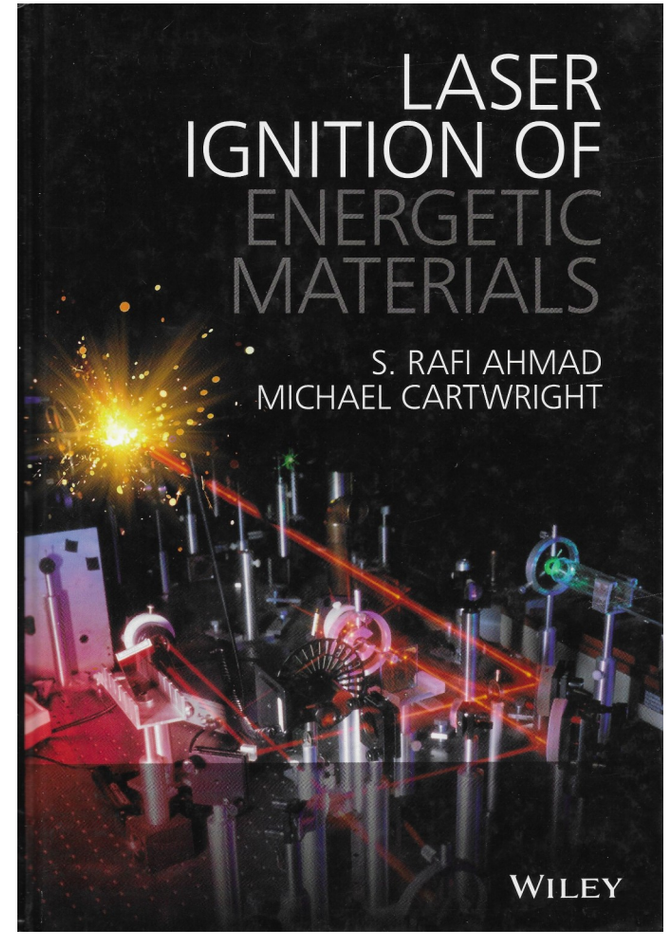






HEL – dostupná literatura





HEL – aktuální informace

Lockheed Martin v těchto dnech dodal US Army 300kW laserový systém

https://newatlas.com/military/lockheed-martin-delivers-record-300-kw-laser-weapon-to-us-military/

Laserové zbraně (HEL) – reálná hrozba

Laserové zbraně patří mezi systémy, které nemůže efektivně používat člověk s ohledem na reakční (zaměřovací) a účinkové efekty této zbraně.

Má-li se efektivně využít tato zbraň, pak jedině za případného využití umělé inteligence (AI), a za podmínky, že se nestane autonomní.

V opačném případě se potenciálně stává hrozbou pro lidstvo.

Možnost vývoje HEL v ČR?

Ano, pokud bude zájem ze strany armády, případně spojenců (NATO), najde se odborný a kompetentní „řešitel“ a za předpokladu že bude vytvořena efektivní koordinace ze strany státu mezi možnými participanty optického, strojírenského a zbrojního průmyslu jak ČR, EU a případně spojenců NATO.

Děkuji za pozornost

Ing. Pavel Honzátko PhD.; Ústav fotoniky a elektroniky Akademie věd ČR

Výkonové vláknové lasery pro obranné účely

Autor z úvodu představuje projekt TALOS (Tactical Advanced Laser Optical System) realizovaný agenturou EDA (European Defence Agency). Navazuje prezentací různých typů vláknových laserů, jejich funkce a konstrukce a principem výroby optického vlákna. Vystoupení autor zakončuje představením laserových systémů vyvíjených pro armádní použití v roli energetických zbraní. Zde rozebírá požadované výkonové požadavky kladené na laserové zbraně a způsoby jakými je naplnit.

>>redakce<<

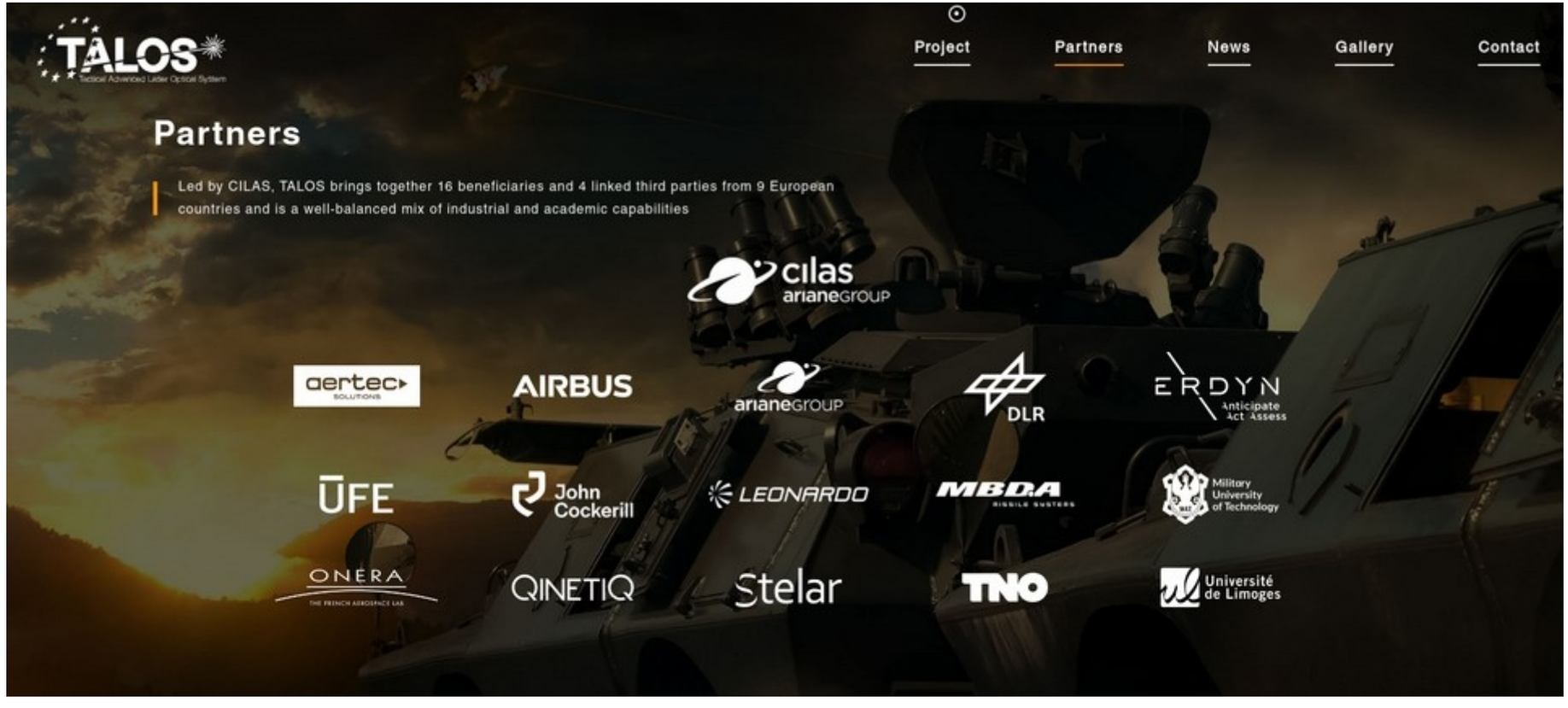
Výkonové vláknové lasery - ÚFE

Pavel Honzátko

Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR
Vláknové lasery a nelineární optika

Workshop Nové trendy využití laserů a přístrojové techniky pro ozbrojené síly, 22. září 2022

EDA - PROJECT TALOS (Tactical Advanced Laser Optical System)



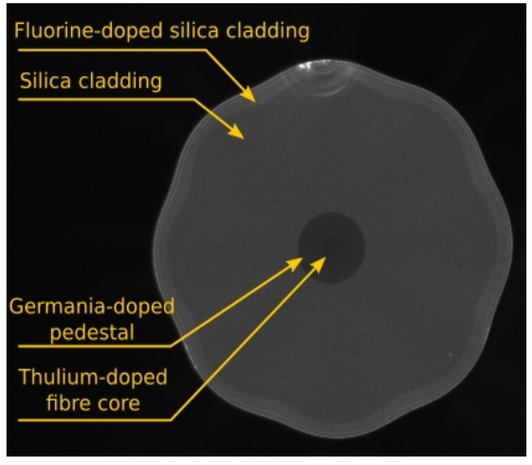
source: https://www.talos-padr.eu/index.php?p=partners

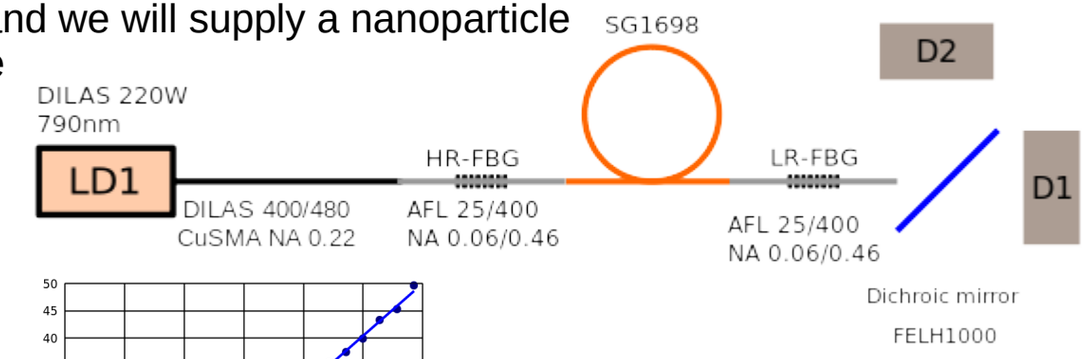
EDA - PROJECT TALOS (Tactical Advanced Laser Optical System) 2019-2023

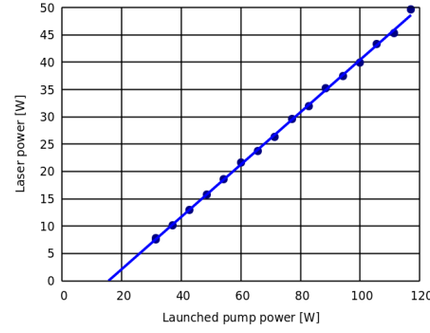
Consortium of 15 European companies and academic institutions leaded by the company CILAS of the Ariane group

P. Honzatko – member of the steering committee, coordinates one of work packages

We developed a master oscillator and we will supply a nanoparticle doped fibre into a high-power stage







TALOS Tactical Advanced Laser Optical System

EUROPEAN DEFENCE AGENCY

OUTLINE

- **Co je optické vlákno**
- **Vláknové technologie v ÚFE**
- **Základní úvahy o vláknových LDEW**
- **Aktivity LDEW v Evropě a ve světě**
- **Klíčové faktory při vývoji LDEW**

LDEW = Laser directed energy weapon

OPTICKÉ VLÁKNO

- **Jádro – dopování GeO2 – index lomu o 0.002-0.01 vyšší než u pláště. Efekt úplného vnitřního odrazu. Ztráty 0.2 dB/km (½ fotonů/15 km).**

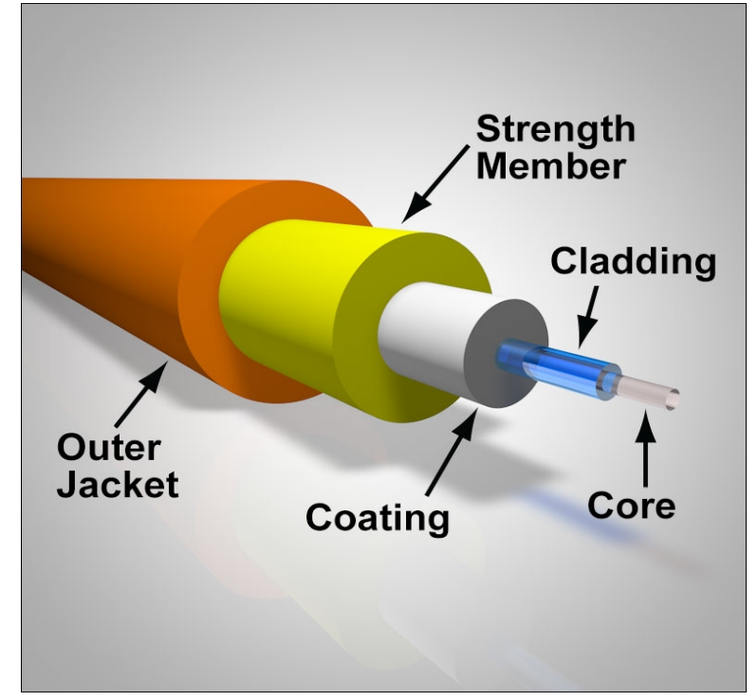
  Dopování vzácnými zeminami:

  Er2O3 – zesílení/generace - 1550 nm – telekomunikace

  Yb2O3 - zesílení/generace - 1064 nm – velké výkony – průmysl, LDEW

  Tm2O3, Ho2O3 – zesílení/generace – 1950-2150 nm – medicína, LDEW

- **Plášť – zpravidla nedopovaný křemen, index lomu 1.44 @ 1550 nm.**
- **Pokryv – polymer – ochranná funkce, příp. optická funkce (fluorovaný akrylát) – vnější optický plášť dvouplášťových vláken**



Source: https://www.thorlabs.com

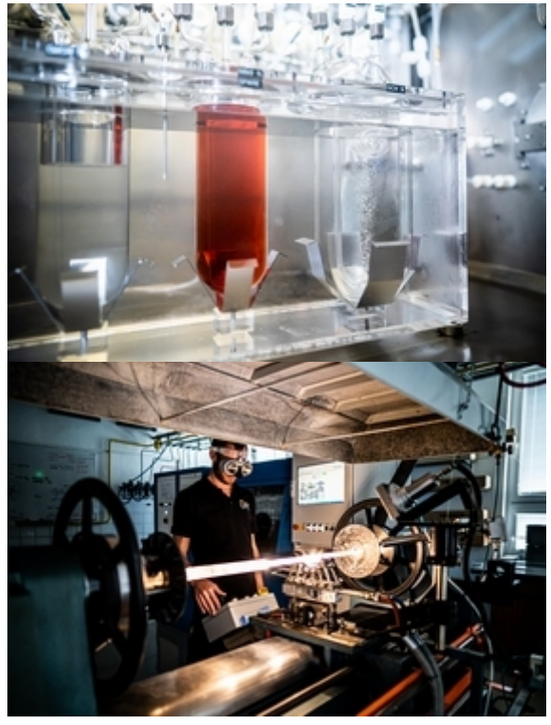
Základní přednosti vláknových laserů:

- **Dobré chlazení (velký povrch/aktivní objem) → přenos/generace velkého výkonu**
- **Difrakčně limitovaný svazek – lze sfokusovat na dálku, příp. na malou plochu**

FILANO FACILITIES

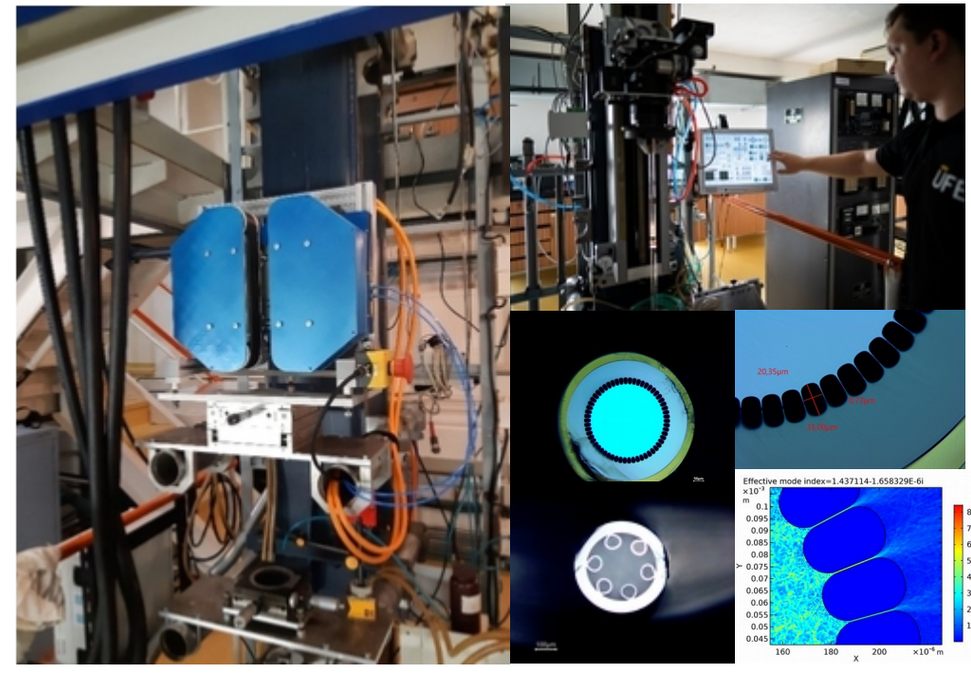
MCVD – preform fabrication

- Refurbished 2015



Fiber drawing – 2 drawing towers

- Capillary drawing system 2018
- New drawing control system 2020



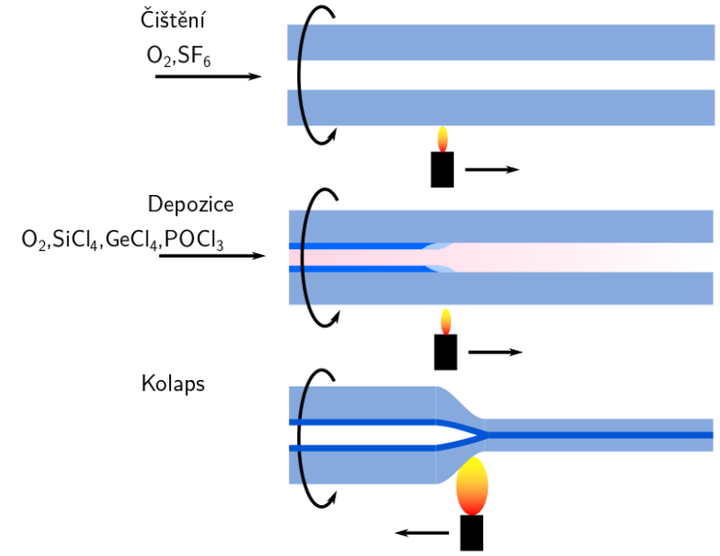
FUNDAMENTALS OF FIBRE TECHNOLOGY - PREFORMS

MCVD – Modified chemical vapor deposition
Silica tube = reactor

Ultrahigh purity precursors $SiCl_4$, $GeCl_4$,
Impurities concentration: ppb, i.e. 10^{-6} mol%
(4 orders of magnitude better then melting)

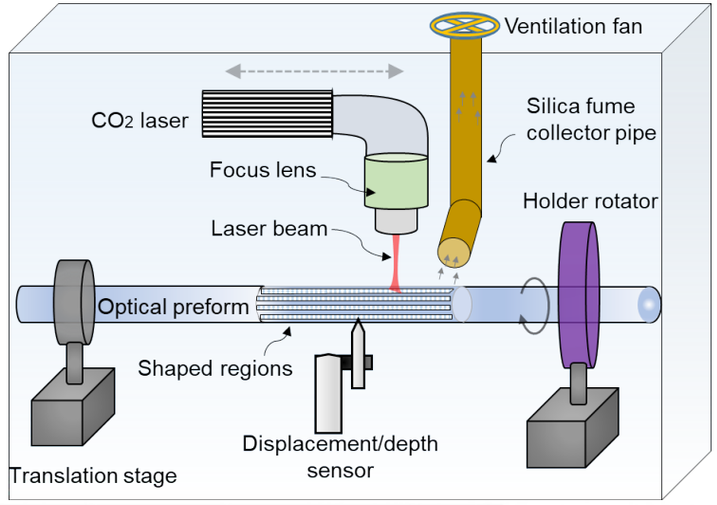
Temperature gradient, T is
the highest at substrate surface
Homogeneous reaction in gas phase
at temperatures > 1200 °C → oxides
$SiCl_4 + O_2 \rightarrow SiO_2 + 2\,Cl_2$
$4\,POCl_3 + 3\,O_2 \rightarrow 2\,P_2O_5 + 6\,Cl_2$
Thermophoretic particle deposition
Layer fusion at burner pass

Collapse at 1800-2000 °C
UFE– nanoporticle doping since 2010



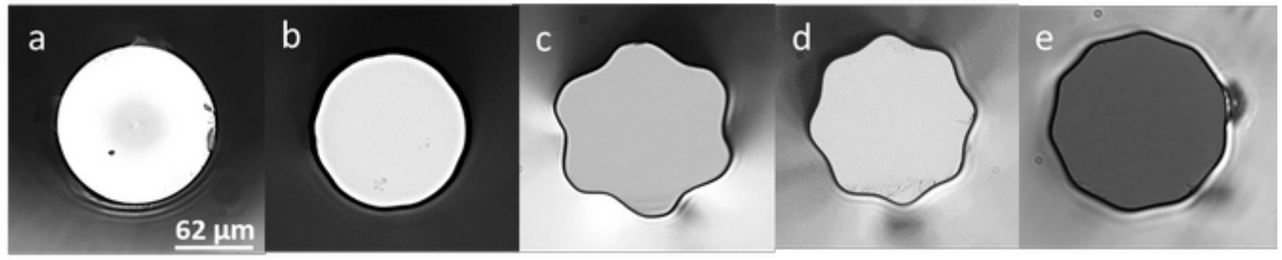
FILANO FACILITIES

CO2 laser preform shaping (in house developed, continuous improvements)

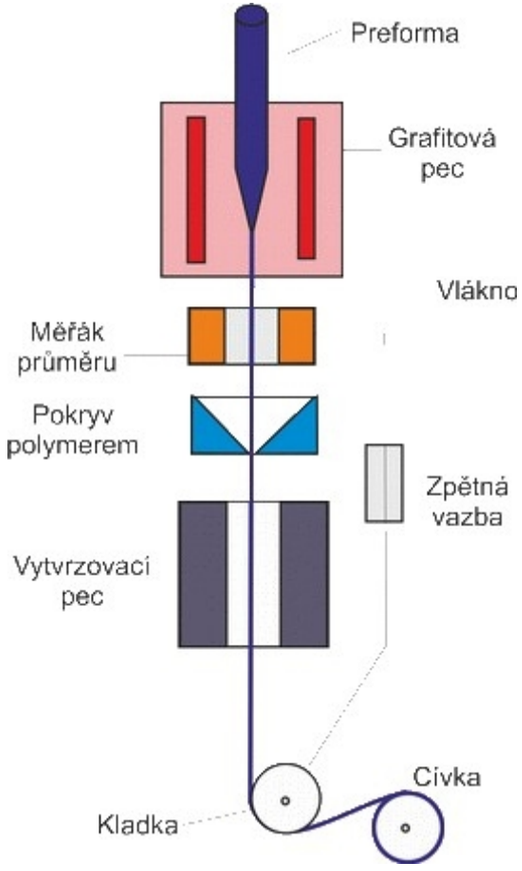


Tvarování preforem - směšování plášťových vidů (mode scrambling) – zvýšení účinnosti čerpání

Patent 305 888, P. Peterka et al., 2016

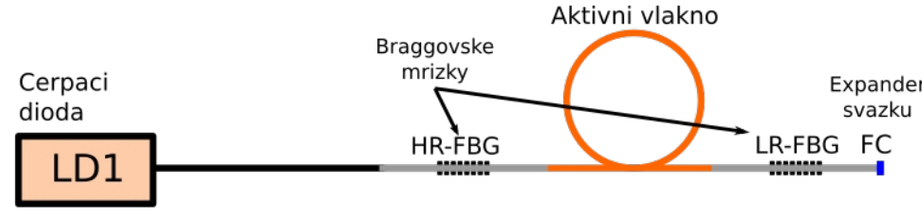


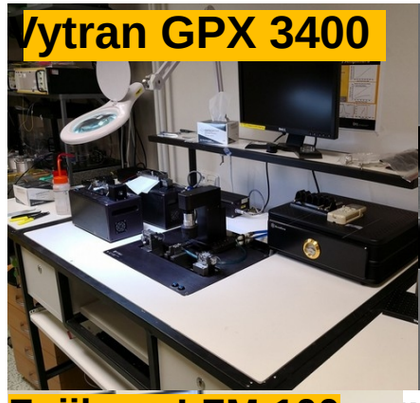
FUNDAMENTALS OF FIBRE TECHNOLOGY - DRAWING

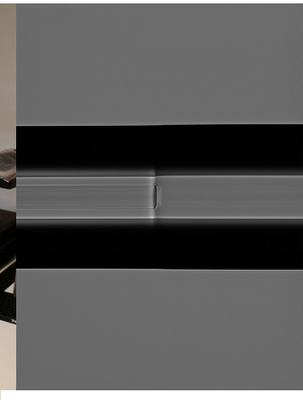


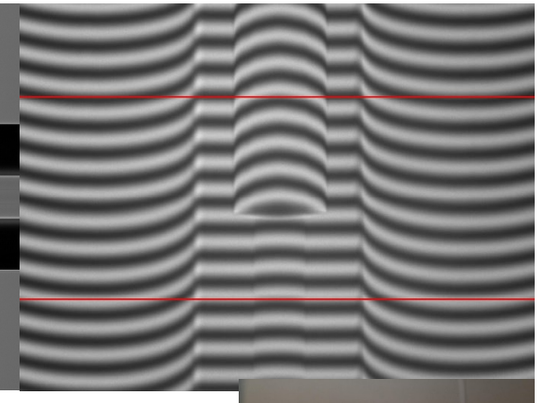
FILANO FACILITIES

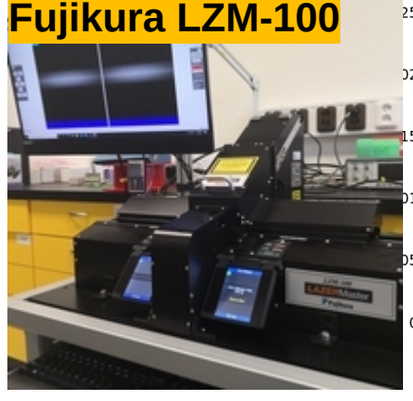
Fibre processing and splicing

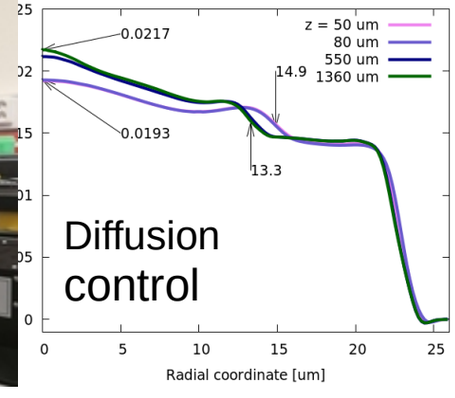


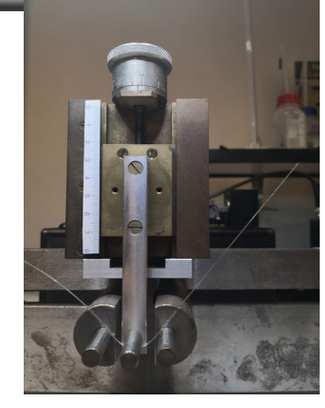












Themomechanical stripping

Cleaving PM, LD, microstructured fibres

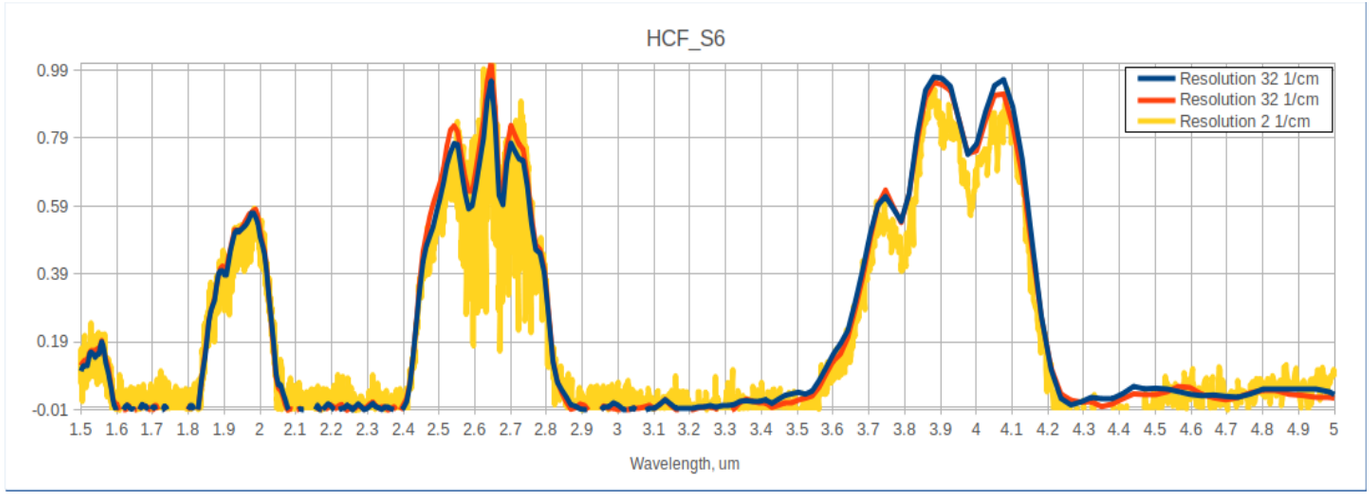
Splicing
- **125-2000 µm fibers**
- **PM, standard, special**

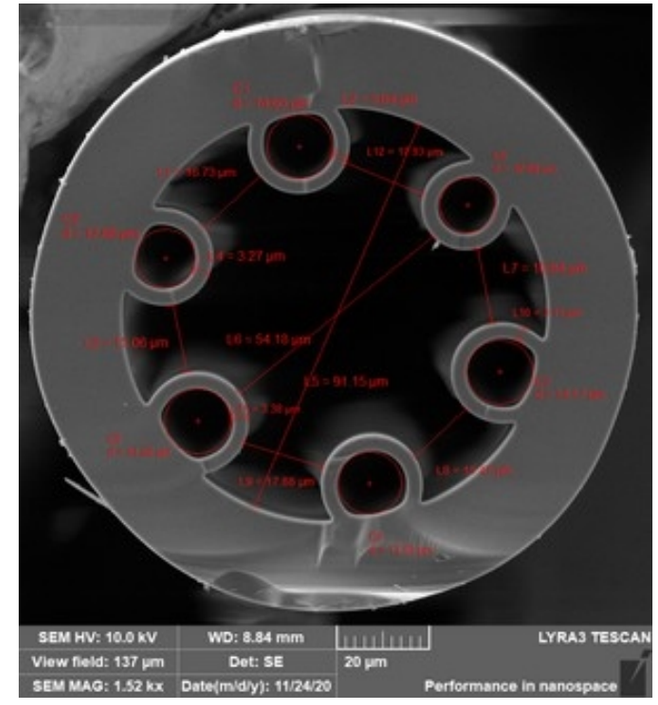
Tapering, recoating

NEGATIVE CURVATURE HOLLOW CORE FIBRES

Applications

- **Extension of silica fibre spectral transmission range**
- **Gas fibre lasers**
- **Gas cells**
- **Delivery of giant pulses**





STATE OF THE ART

Ytterbiové vláknové lasery

Ytterbium-doped fibre lasers: 1070-1080 nm
diffraction limited BPP = λ /π = 0.341 mm mrad

BPP = Beam parameter product =

poloviční úhel divergence x poloměr laserového svazku v ohnisku

Commercial lasers:

- **IPG Photonics – US: YLS-10000-SM 10 kW, BPP=0.34 mm·mrad (M^2=1), WPE=32%**
- **nlight – US: AFX-1000, 1.2 kW, BPP<0.5 mm·mrad (M^2<1.5)**
- **Trumpf – D: TruFiber 2000, 2 kW, BPP=0.38 mm·mrad (M^2=1.1)**
- **Fujikura – JAP: FLC-1000S-W, 1 kW, BPP<0.477 mm·mrad (M^2<1.4)**
- **Raycus – PRC: RFL-C1000, 1 kW, BPP<0.5 mm·mrad (M^2<1.5)**

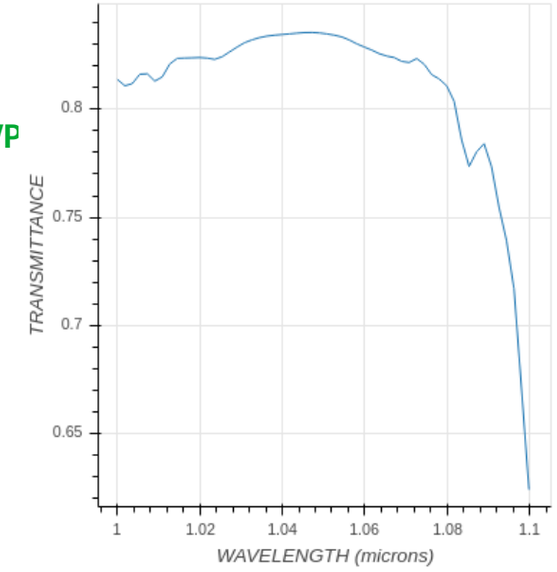
Ytterbiové vláknové lasery

Ytterbium-doped fibre lasers: 1070-1080 nm
diffraction limited BPP = λ /π = 0.341 mm mrad

Commercial lasers:

- **IPG Photonics – US: YLS-10000-SM 10 kW, BPP=0.34 mm·mrad (M^2=1), WP**
- **nlight – US: AFX-1000, 1.2 kW, BPP<0.5 mm·mrad (M^2<1.5)**
- **Trumpf – D: TruFiber 2000, 2 kW, BPP=0.38 mm·mrad (M^2=1.1)**
- **Fujikura – JAP: FLC-1000S-W, 1 kW, BPP<0.477 mm·mrad (M^2<1.4)**
- **Raycus – PRC: RFL-C1000, 1 kW, BPP<0.5 mm·mrad (M^2<1.5)**

E→A, h=5km, Elev 45°, summer, visibility 23 km



Advantages

- **Mature**
- **Efficient**
- **Less atmospheric absorption**

Disadvantages

- **Atmospheric scattering**
- **Collateral damage**
- **Eye sensitivity to**

Thuliové vláknové lasery

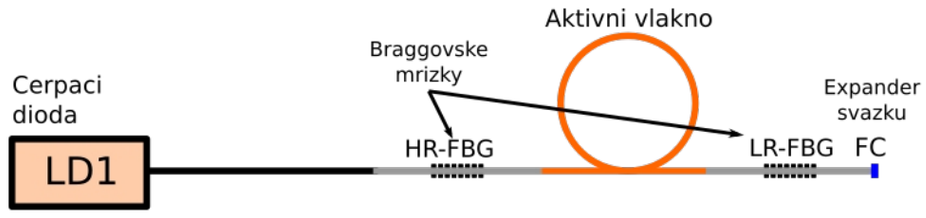
Thulium-doped fibre lasers: 1950-2050 nm

Diffraction limited BPP = λ /π = 0.648 mm·mrad

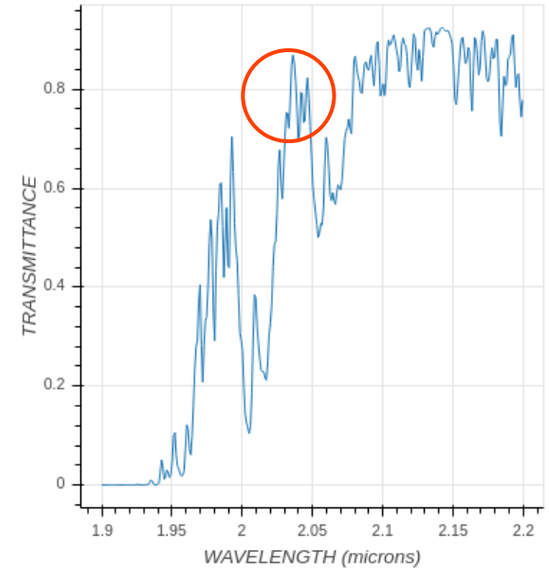
Best published results

QPeak (U.S.) 2011: 1 kW, 2045 nm, SE=53.2%, M^2 N/A

IAP Jena (D) 2018: 0.57 kW, 1970 nm, SE=49%, M^2=2.6



E → A, h=5km, Elev 45°, summer, visibility 23 km



Advantages

- **Less atmospheric scattering (RS .. λ^{-4}, MS?)**
- **Lower collateral damage**

Disadvantages

- **CO2, water absorption ⇒ thermal blowing**
- **Less efficient**
- **Less mature**

Holmiové vláknové lasery

Holmium-doped fibre lasers: 2130-2140 nm

Diffraction limited BPP = λ /π = 0.648 mm·mrad

Best published results

DSTO 2013, 407 W, 2120 nm, SE 38 %, M^2 N/A

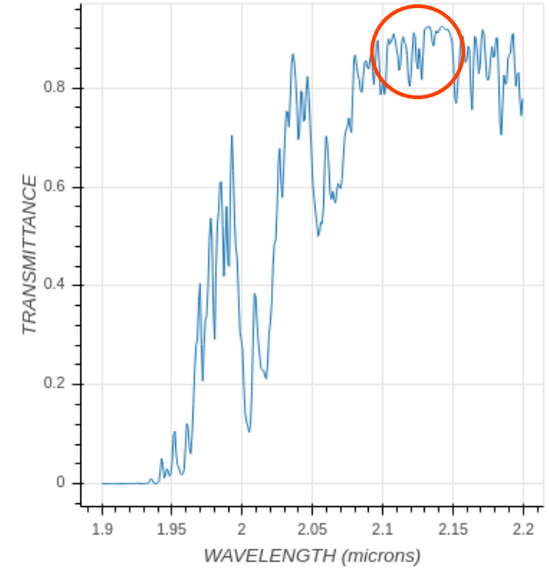
DSTO 2013, 140 W, 2128 nm, SE 57 %, M^2 N/A

Onera, 90 W, 2120 nm, SE 49 %, M^2 N/A

Quantum defect (signal 2140 nm, pump 1940 nm): 0.9

Small power regime SE: > 83% UFE, high power regime 48% UFE

E → A, h=5km, Elev 45°, summer, visibility 23 km



Advantages

- **Less atmospheric scattering**
- **Less absorption**
- **Lower collateral damage**

Disadvantages

- **Less mature**
- **So far SE > 80% at low powers, <60% at high powers**

Jaký výkon potřebuje armáda

USS Ponce 2014, 30 kW (6x5kW YDFL) –

Operational demonstrations show that a power of 150 kW is needed

2022 - Helios 60 kW LDEW was deployed by Lokheed Martin to be build into Arleigh Burke-class destroyer

Jak získat 150 kW? Jeden laser 1 kW (thuliový), 10 kW (ytterbiový)!

Kombinování svazků

Konverzní účinnost ytterbiových laserů 0.8
Celková účinnost ytterbiových laserů 0.32

Čerpání 150kW/0.8~190 kW čerpání, cca 6250 čerpacích 30 W diod, 6-10 M€
Napájecí zdroj: 150kW/0.32~0.5MW po dobu cca
battery energy storage system (BESS) containers
500kW - 2MW

Possibly no beam combining

Rheinmetal 10 kW

Boeing CLWS 5 kW

Sikorski CH-54 Tarhe s baterkou :-)

Energie potřebná ke zničení cíle v nultém přiblížení

Předpoklad: **zničení = vaporizace (odpaření)**
Teplo potřebné ke změně teploty o ΔT beze změny skupenství: Q = mcΔT
Teplo potřebné ke změně skupenstvi: Q=mL

Příklad: 1 kg kostka ledu o teplotě -10 °C. c=4.2kJ/kg, L_l=334kJ/kg, L_g=2440kJ/kg
Q(1kg) = 42 kJ+334 kJ+420 kJ+2440 kJ=3236 kJ (75% tepla na odpaření)
Q(1g=cm^3 vody)=3.2 kJ

Hustota materiálů 2-20 g/cm3. Pro odpaření 1 cm^3 čehokoliv ~ 10 kJ

Sofistikovaněji
- Odraz
- Vedení tepla
- Radiace

Obecné kritérium poškození (nulté přiblížení): 10 kJ/cm^2. Poškození během časů řádu sec → I=10 kW/cm^2.
Mají smysl krátké (pikosekundové) pulzy? Ne – filamentace svazku, ionizační potenciál vzduchu - rozhodující je celková energie. Hrubá síla CW laseru.

Může být nižší na “slabých místech” (palivová nádrž vozidla, motor rakety).

Šíření laserových svazků

Rayleigh range - Rayleighova vzdálenost z_R; poloměr svazku w(z)

$$z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}, w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2}$$

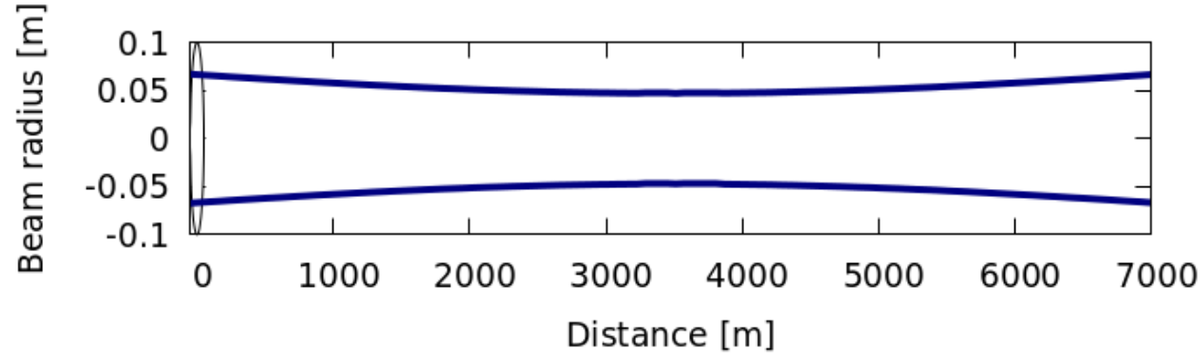
Předpokládejme cíl v Rayleighově vzdálenosti a oříznutí svazku v objektivu o průměru D na úrovni 10^{-2}, tj.

$$D = 3\, w(-z_R)$$

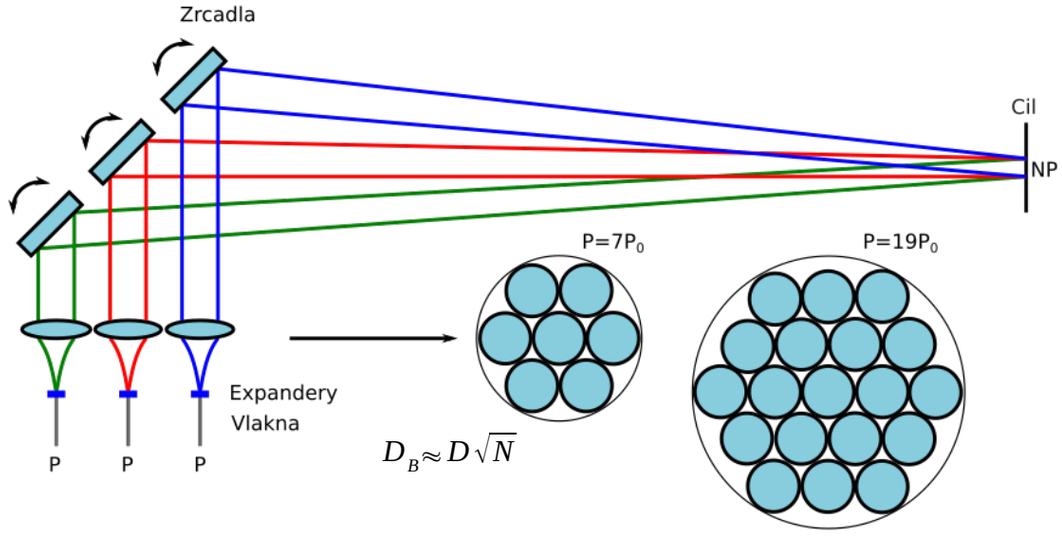
Pro objektiv o průměru D=20 cm dostaneme spot v ohnisku o poloměru w_0=4.7 cm. Plocha = 70 cm^2, 86.5% výkonu. Nulté přiblížení: Na odpaření čehokoliv je zapotřebí cca P=81 kW.

$$w_0 = \frac{D}{3\sqrt{2}}$$

λ [um]	1	2
z_R[km]	7 km	3.5 km



Nekoherentní kombinování svazků



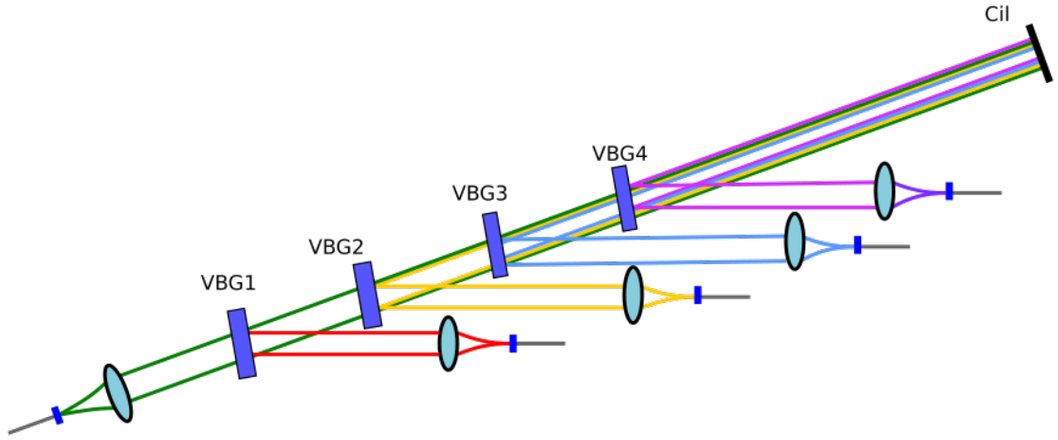
P. Sprangle et al., High-Power Fiber Lasers for Directed-Energy Applications, NRL 2008

D_B=5x20 cm = 1 m
Divergence odpovídá D
P=19 x 10 kW = 190 kW pro ytterbiový laser
P=19 x 8 kW = 152 kW

Pro thuliový laser zapotřebí 150-300 svazků
D_B~260 – 350 cm

Spektrální kombinování svazků

O. Andrushyak et al., Fiber laser system with kW-level spectrally-combined output, SSDLTR 2008



! Velikost optických prvků
Ibsen transmission grating – 40x15 mm
Optigrate VBG 50x50 mm
MDDM (patent ÚFE) – fotolitograficky 20x20 cm ?
! Práh poškození: 150 kW/300 cm^2 v polních podmínkách

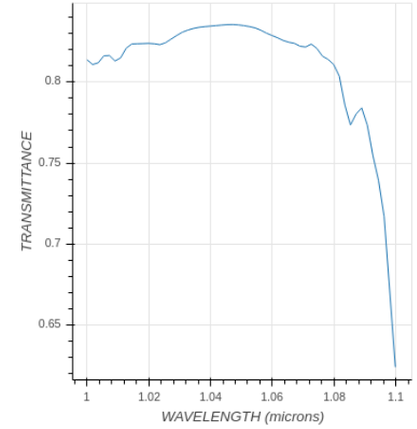
$D_B = D$ = 20 cm

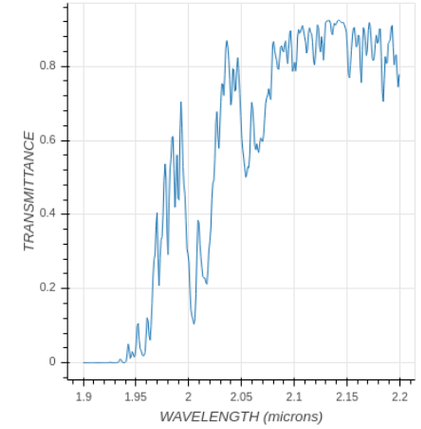
Δλ=0.5 nm, λ ϵ (1075,1085) nm
P=19 x 10 kW = 190 kW pro ytterbiový laser
P=19 x 8 kW = 152 kW
Pro thuliový laser zapotřebí 150-300 svazků

Δ λ=0.5 nm, λ ϵ (1950,2050) nm

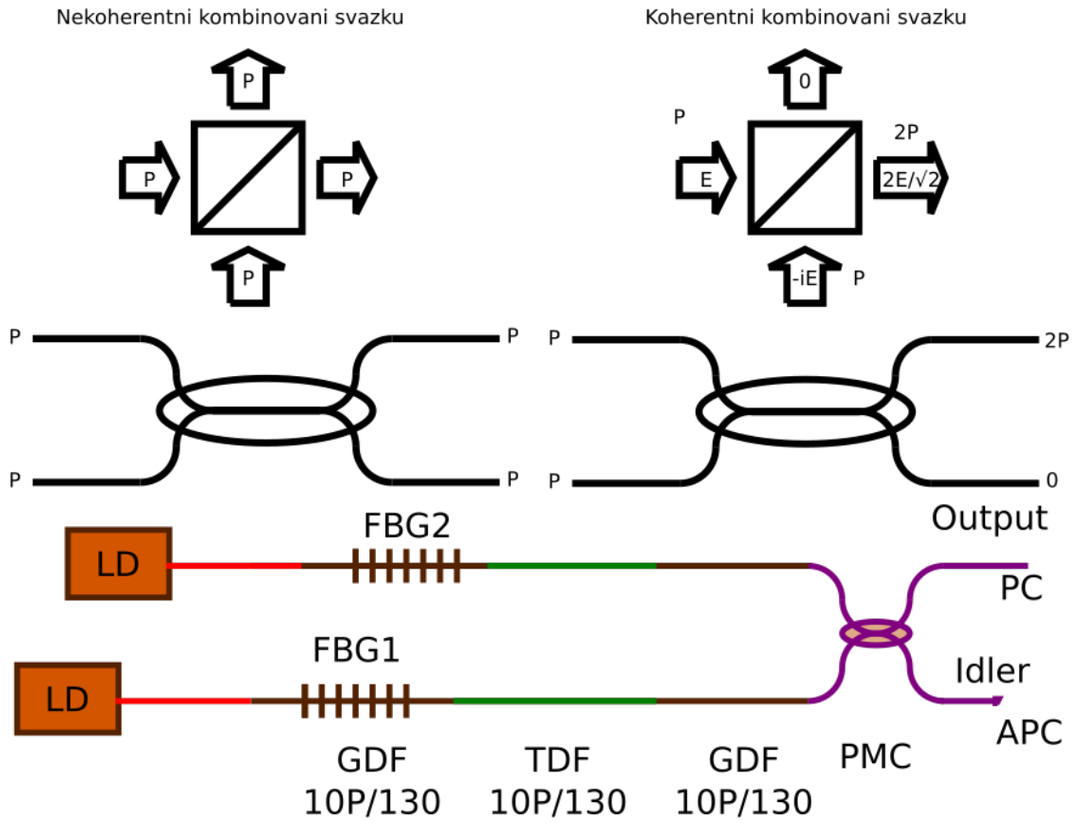
Chybí atmosférické transmisní okno

Spektrální kombinování thuliových laserů není účelné

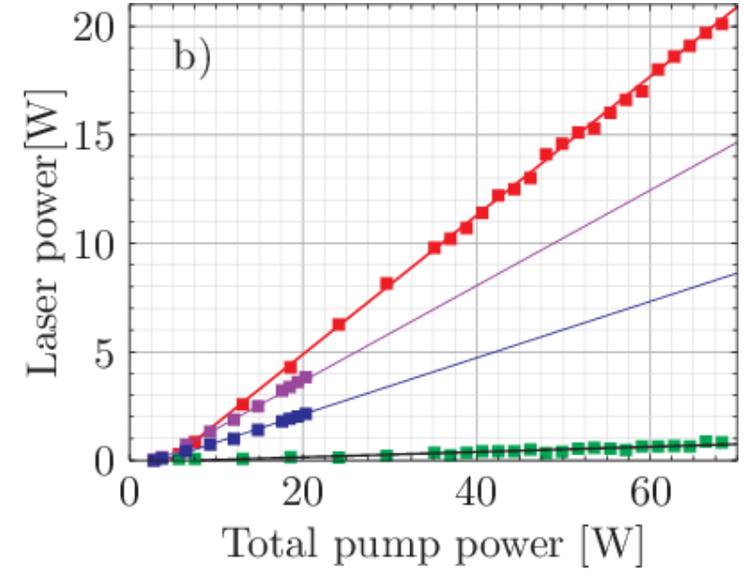




Koherentní kombinování svazků se společnou aperturou



Konstruktivní interference v blízkém poli



IOP Publishing
Laser Physics Letters
Laser Phys. Lett. **10** (2013) 095104 (5pp)
doi:10.1088/1612-2011/10/9/095104

LETTER

Coherently combined power of 20 W at 2000 nm from a pair of thulium-doped fiber lasers

P Honzatko[1], Y Baravets[1], F Todorov[1], P Peterka[1] and M Becker[2]

[1] Institute of Photonics and Electronics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v.v.i., Chaberska 57, 182 51 Prague, Czech Republic
[2] Institute of Photonic Technology, Albert Einstein Straße 9, D-07745 Jena, Germany

E-mail: honzatko@ufe.cz

Koherentní kombinování svazků se skládanou aperturou

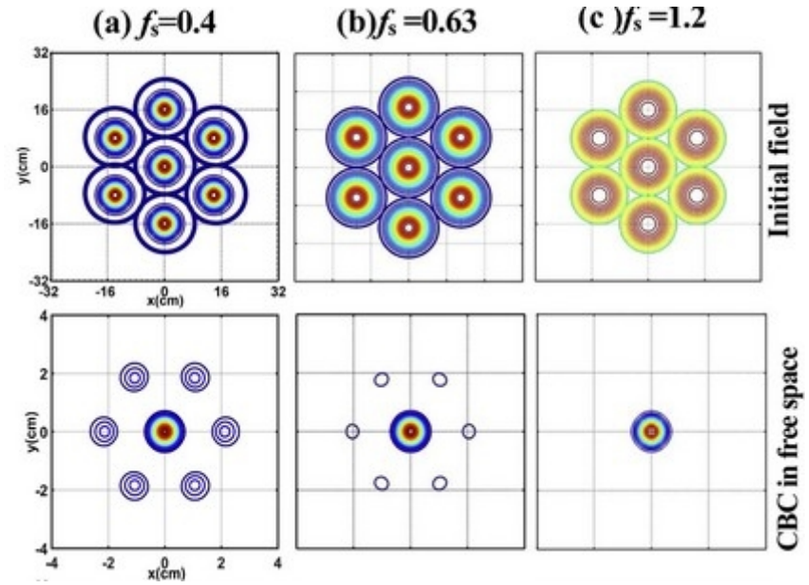
Konstruktivní interference
ve vzdáleném poli

D_B=5x20 cm = 1 m
Divergence odpovídá D_B
Rayleighova vzdálenost

$$w_{0C} = \frac{D_B}{3\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{N}\,D}{3\sqrt{2}}, \quad z_{RC} = \frac{\pi w_{0C}^2}{\lambda} = N\, z_R, \quad I = \frac{P_C}{\pi w_{0C}^2} = \frac{P}{w_0}$$

Je-li cíl blíže, než je maximální Rayleighova vzdálenost objektivu, lze svazek sfokusovat na menší spot.

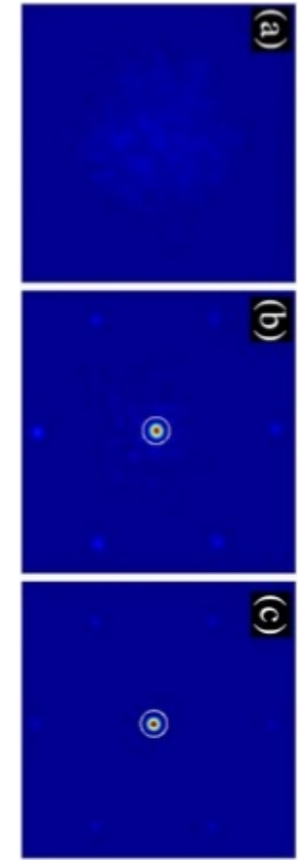
Rostoucí koeficient plnění apertury – klesající velikost satelitních píků – více výkonu v hlavním spotu

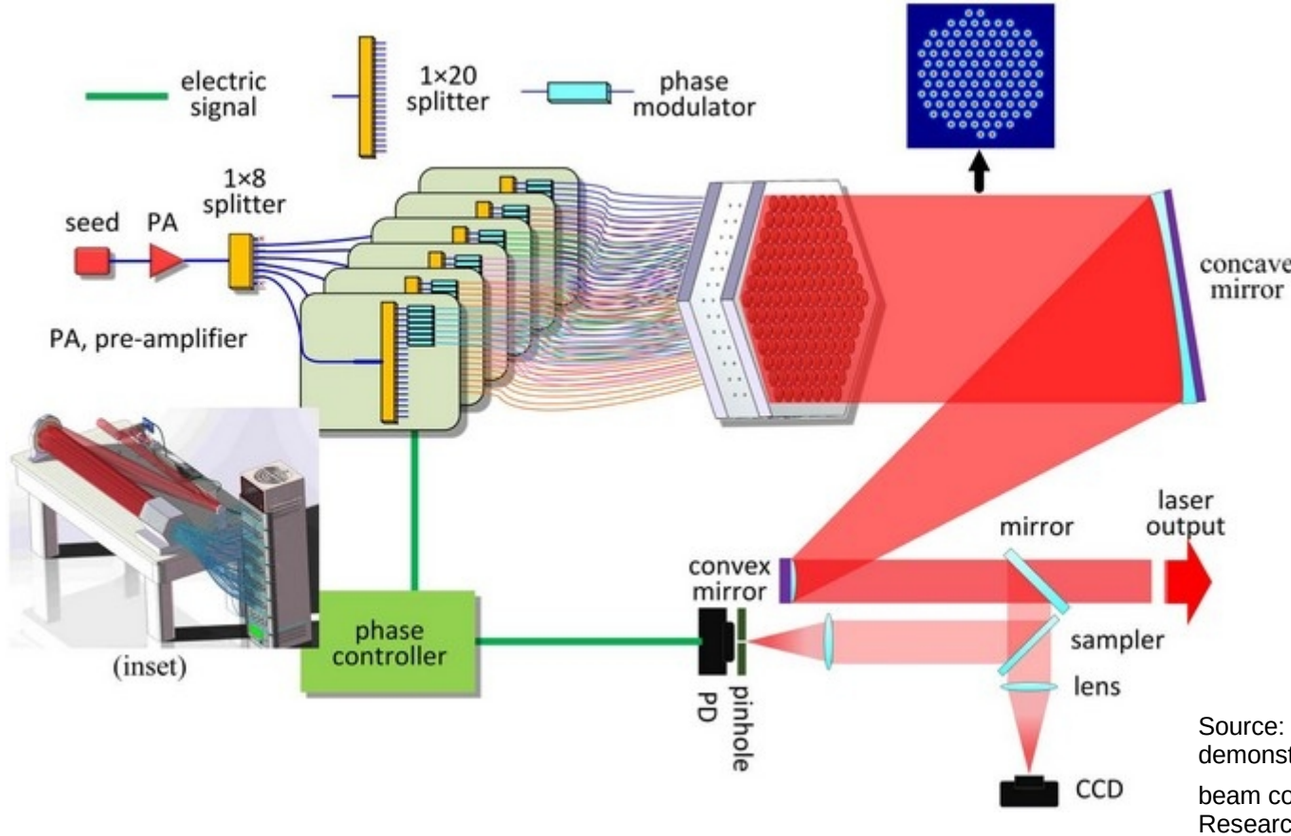


Xiaoqing Li et al., Influence of fill factors on the thermal blooming of array laser beams in the air, Optik - International Journal for Light and Electron Optics 182 (2019) 314–323.

Koherentní kombinování svazků se skládanou aperturou

Konstruktivní interference ve vzdáleném poli

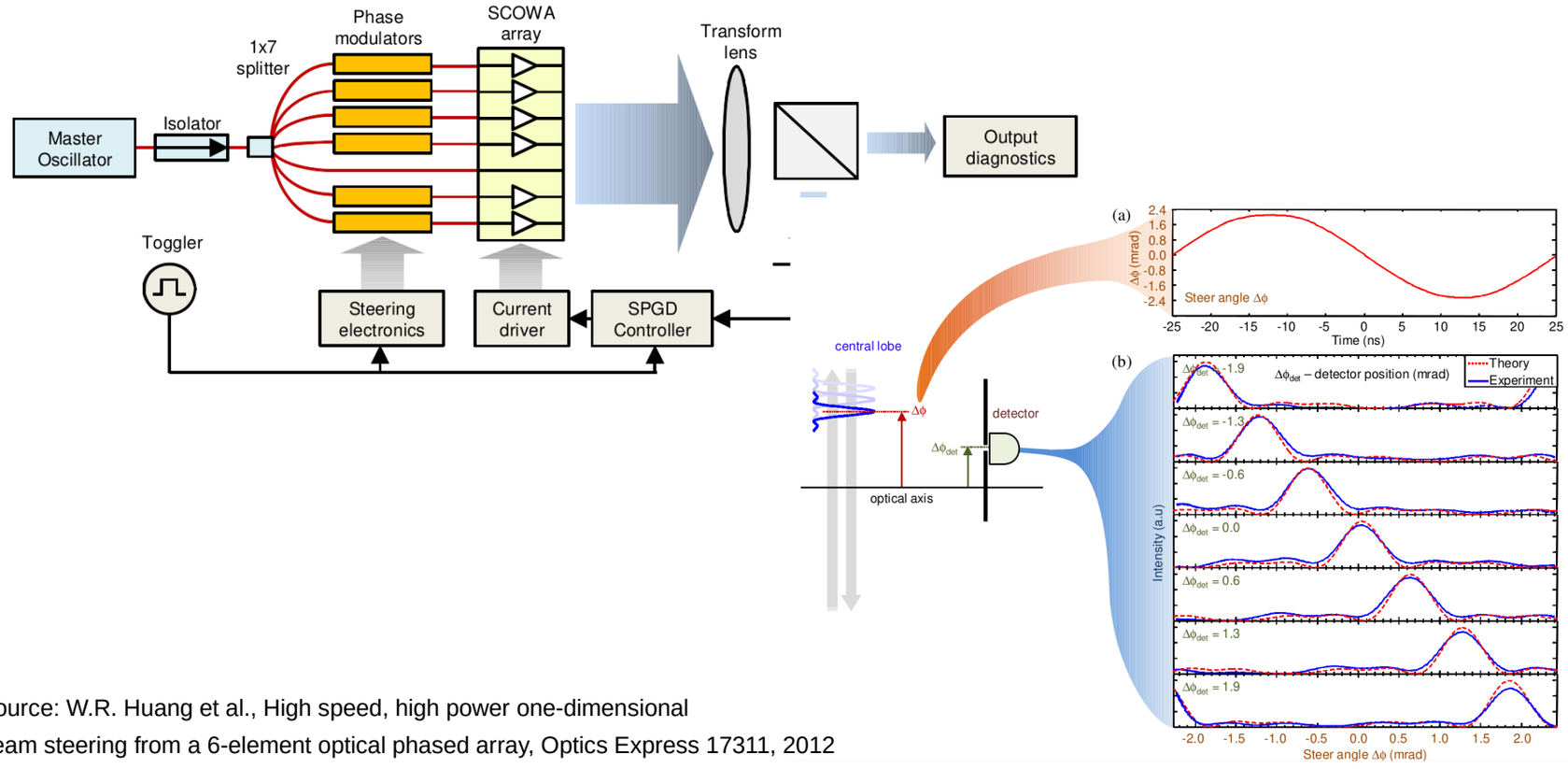




Source: Hongxiang Chang et al., “First experimental demonstration of coherent

beam combining of more than 100 beams”, Photonics Research 1943 2020

Koherentní kombinování svazků se skládanou aperturou – elektronické skenování

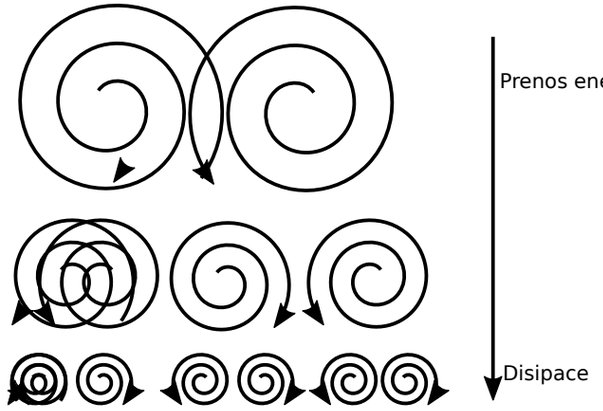


Source: W.R. Huang et al., High speed, high power one-dimensional beam steering from a 6-element optical phased array, Optics Express 17311, 2012

Vliv atmosféry

Thermal blowing: absorpce energie svazku → zahřátí plynu → změna indexu lomu
Turbulence → změny hustoty → změny indexu lomu

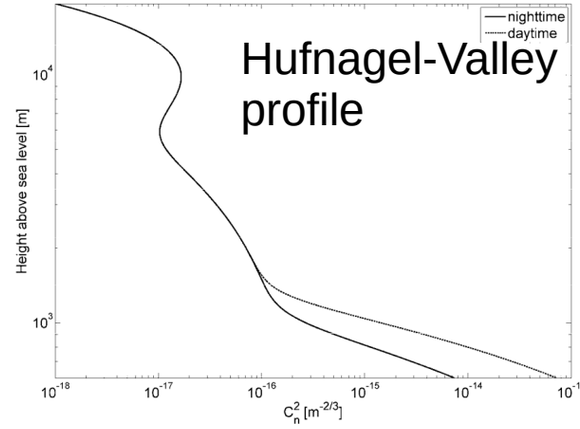
Kolmogorov – vírové kaskády

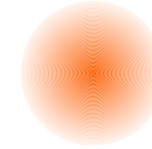


$$\left\langle \left(v_1 - v_2 \right)^2 \right\rangle = C_v^2 R^{2/3}$$

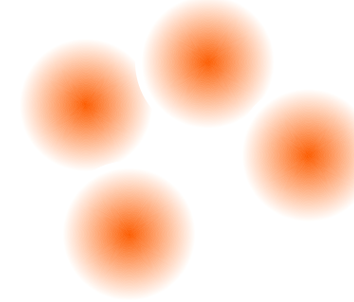
$$\left\langle \left(n_1 - n_2 \right)^2 \right\rangle = C_n^2 R^{2/3}$$

$$C_n^2 = C_T \left(79 \cdot 10^6 \frac{P}{T^2} \right)$$





Důsledek



Lék: Adaptivní optika
Greenwood frequency

ZÁVĚR

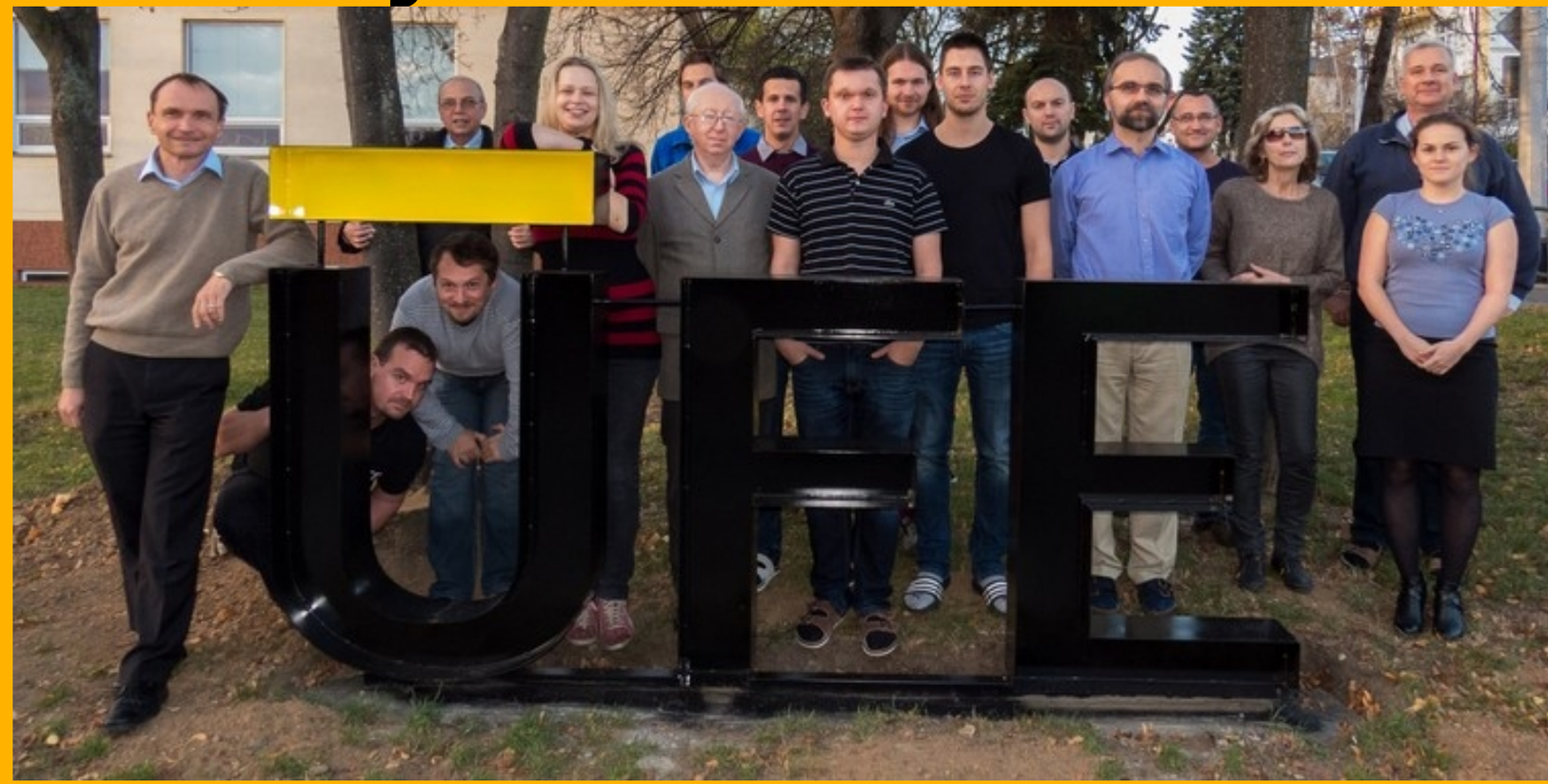
LDEW mají místo ve výzbroji armády
- výstřel rychlostí světla (doba k zasažení cíle řádu 10-100 μs) - nízká cena výstřelu
- rychlá příprava

Thuliové a holmiové lasery (1950-2050 nm) mají menší rozptyl v atmosféře a výrazně zmenšují zónu kolatelárních škod

LDEW potřebuje vysoký výkon cca 100 – 200 kW
Ytterbiové vláknové lasery jsou zralé pro použití
Thuliové a holmiové potřebují klíčový nápad pro zvýšení energetické účinnosti a výkonu

Integrace se zbraňovými systémy se řeší (Dragonfire, Helios, TALOS)
Velký dosah (byť divergovaného svazku) – povolení výstřelu s ohledem na ledadla, družice
Nutná legislativa pro příp. nasazení

Thank you.



www.ufe.cz

Příspěvky prezentované v rámci diskuse

Ing. Ivan Pemčák; Univerzita obrany
Ing. Jiří Skala; Univerzita obrany

Pravděpodobnost ozáření objektivu kamery laserem

1. Úvod

V současné době jsme sledováni kamerovým systémem téměř v každém veřejném prostranství. Ať se jedná o kamery pro sledování pohybu osob nebo pro měření rychlosti motorových vozidel hlídající rychlou jízdu, jsme neustále pod dohledem. Většinou přítomnost kamer bereme jako součást života v moderním světě. Existují ale situace kdy je přítomnost kamer nežádoucí (velmi často se jedná o ilegální aktivity), tehdy je potřeba nalézt nějaký způsob jak zabránit kameře plnit svou funkci.

Možností znemožnění funkce kamery existuje mnoho, od fyzického poškození kamery, vyřazení digitální infrastruktury kamery až po zamaskování útočníka. V tomto případě se budeme zaměřovat na nedestruktivní způsob, který spočívá v oslnění kamery laserovým svazkem. Tato problematika se ukázala jako jeden ze zásadních prvků vzešlých z protestů v Hong Kongu v roce 2019. Zde protestující v masovém měřítku používali laserová ukazovátka k oslnění (v některých případech i oslepení) zasahující policie a kamerových systémů monitorující pohyb demonstrantů a detekující jejich identitu prostřednictvím rozpoznání obličeje. [1]

V případě že paprsek laseru dopadne na objektiv kamery, dojde k jejímu přeexponování a dočasné ztrátě obrazové informace. V extrémních případech může dojít k trvalému poškození kamery. [2] Trvalé poškození kamery v našem případě není pravděpodobné, a proto jej zde nebudeme uvažovat.

Obrázek 1 - Ozáření bezpečnostní kamery [1]

2. Teoretický rozbor

Z praktických poznatků je zřejmé že člověk není schopen v ruce udržet laser tak aby paprsek dopadal do stále stejného bodu. Mimo jiné je to způsobeno třesem rukou. Ten může mít mnoho příčin a stupňů intenzity, z nichž je většina ovlivněna fyziologií každého jedince a bude se lišit vzhledem k věku a tělesné kondici. Vzhledem ke komplexnosti této problematiky z hlediska fyziologie a medicíny se zaměříme pouze na kvantifikace tohoto jevu. Částečně je tato problematika popsána v dostupné literatuře. [3] Tato práce byla též použita ke komparaci získaných výsledků.

Dalším parametrem ovlivňující „pravděpodobnost zásahu bodu“ je divergence laserového svazku. Oproti předpokladu v reálných podmínkách laserový svazek vždy diverguje, zejména pokud se jedná o parsek vyzářený laserovou diodou. Divergence svazku je přímo úměrná podílu vlnové délky λ a průměru svazku v pase $2w_0$. [4] Kde průměr svazku v pase $2w_0$ lze chápat, jako nejužší průměr svazku ve vzdálenosti, na kterou je laser kolimován. Předpokládejme, že je naším záměrem ozářit bod v konkrétní vzdálenosti. Je-li známá divergence laserového paprsku θ pro danou vzdálenost, nesmí být maximální amplituda výchylky kmitu laserové stopy od ozařovaného bodu větší než $\theta/2$.

Vlastnosti laseru

Pro celkovou analýzu je nezbytné určit vlastnosti použitého laseru. Na experimenty byly použity dva typy laserových ukazovátek. Ta jsou běžně dostupná a jejich cena se pohybuje v rozmezí 1-20 USD.

Obrázek 2 - Typ použitého laseru
Zdroj: aliexpress.com

Vlastnosti použitých laserů byly následující.

Tabulka 1 - Parametry laseru

Barva laseru	Zelená	Fialová
Spojitý výkon [W]	0.8	0.4
Vlnová délka [nm]	532	405
Úhel divergence [´]	3,64	3,43

Použité lasery jsou inzerovány s výkonem 5mW. Vzhledem k pořizovací ceně a obvyklé zemi původu (Čínská lidová republika) lze očekávat výrazné deviace od inzerovaných vlastností. Nejzávažnějším parametrem, z hlediska bezpečnosti, je dramatické překročení udávaného výkonu. Je tedy nezbytné dbát při manipulaci všech bezpečnostních opatření bez ohledu na štítek na laserovém zařízení a jeho udávaný výkon. Metodika měření zmíněných vlastností je popsána v literatuře. [4]

3. Experiment

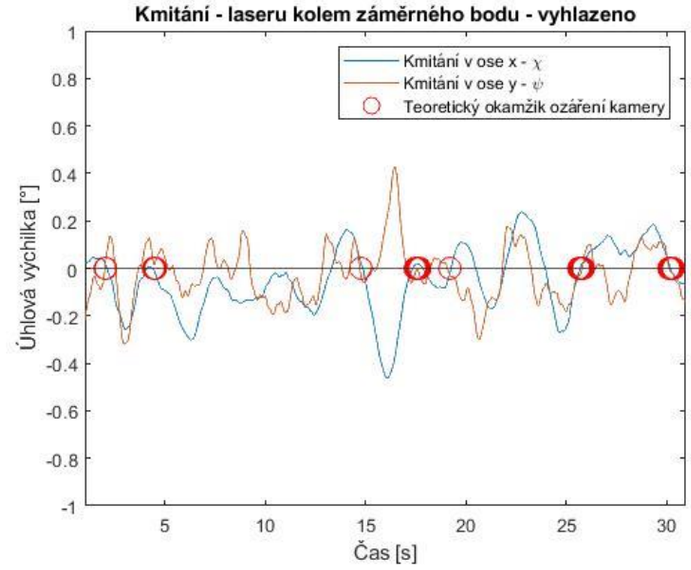
Kmitání laserové stopy kolem cíle

Pro určení parametrů kmitání byl realizován experiment. Účastník experimentu ozařoval střed terče laserovým ukazovátkem ze vzdálenosti 6m. Plocha terče byla snímána kamerou se vzorkovací frekvencí 60 snímků za sekundu.

V prostředí MATLAB byl záznam na základě známého rozměru terče a vzdálenosti, ze které byl terč ozařován, vyhodnocen. Za bod dopadu laserového svazku byl považován střed dopadu světelné stopy. Výstupem experimentu byl záznam úhlové výchylky v ose x a v ose y laserové stopy od středu záměrného obrazce.

Data byla vyhlazena v prostředí Matlab příkazem *smoothdata* metodou *'movmean'*. Tímto procesem byl mimo jiné odstraněn i šum způsobený fyziologickým třesem rukou. Ten obvykle dosahuje frekvence 4-12 Hz. [5] Snímkovací frekvence společně s použitým vyhodnocovacím algoritmem nebyla vhodná pro záznam tohoto třesu. Amplituda kmitů způsobených fyziologickým třesem rukou dosahuje řádově nižší amplitudy, než je amplituda oscilace kolem záměrného bodu.

Ilustrativní záznam z jednoho experimentu je znázorněn na obrázku 3.



Obrázek 3 - Záznam kmitání laseru kolem cíle
Zdroj: autor

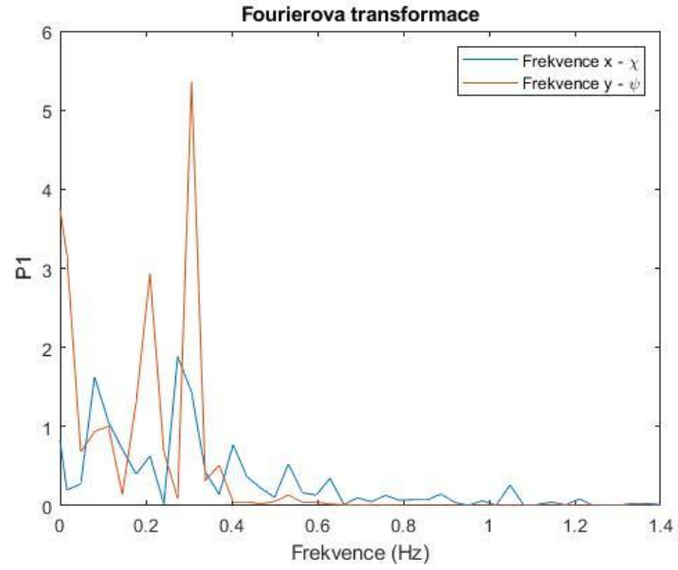
Ze záznamu byla vyhodnocena pozice laserového svazku vzhledem k teoretické poloze kamery (vzhledem k 0). Byly zjištěny všechny snímky, pro něž platí, že střed laserového svazku je ve vzdálenosti rovné nebo menší poloměru šířky svazku na dané vzdálenosti. Poměr „zásahů“ a minutí kamery byl v rozmezí 2 - 4% (na obr 3 je 2,8%).

Experiment byl zopakován na vzdálenost 6m při různých způsobech úchopu laserového ukazovátka. Testovány byly tyto tři pozice:

1) Laserové ukazovátko drženo v dominantní natažené ruce před tělem
2) Laserové ukazovátko drženo v dominantní ruce, v pěsti vedle hlavy
3) Laserové ukazovátko bylo drženo oběma rukami před tělem

Vyhodnocením záznamů pohybu světelné stopy v rovině cíle nebyl zpozorován zásadní rozdíl mezi jednotlivými typy úchopů. Pro další pokusy byla využívána 1. varianta úchopu. Jedná se o intuitivní a přirozený způsob použití laserového ukazovátka. Experiment byl dále realizován v omezeném rozsahu na vzdálenosti 17m a 34m. Výsledky byly podle očekávání shodné.

Průběhy kmitání byly analyzovány pomocí Fourierovy transformace za účelem zjištění frekvence oscilace v obou osách.



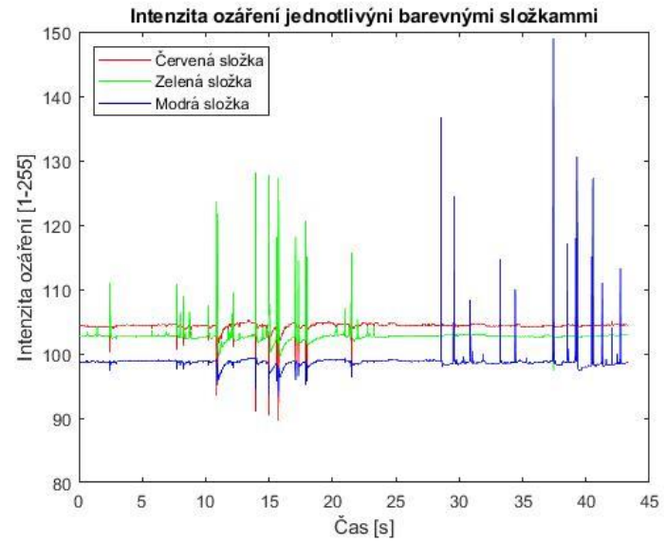
Obrázek 4 - Fourierova transformace záznamu kmitání laseru
Zdroj: autor

Srovnáním provedených pokusů bylo zjištěno, že laserový paprsek z v ruce drženého laserového ukazovátka bude kolem cíle oscilovat složeným pohybem s frekvencí v rozmezí 0,1-0,4 Hz v obou osách. S maximální amplitudou nepřesahující 0,4° v obou osách.

Záznam laserové stopy v cíli

Pro zjištění poměrné doby osvitu objektivu kamery laserem a pro komparaci s výsledky předchozího experimentu byla ozařována kamera ve stejných vzdálenostech jako při předchozím pokusu.

Kamerový záznam byl vyhodnocen v prostředí Matlabu. Byla určena průměrná intenzita jednotlivých barevných složek na detektoru kamery. Ze záznamu je patrné, v kterých okamžicích docházelo k oslnění kamery.



Obrázek 5 - Intenzita ozáření detektoru kamery – 2 navazující pokusy
Zdroj: autor

Na záznamu jsou zachyceny dva navazující pokusy lišící se pouze použitým laserem. Zelený laser (0-25 s) výrazným způsobem ovlivňuje detektory všech barev. Fialový laser (25-45 s) prakticky ovlivňuje pouze detektory modré barvy. Pro vyhodnocení je tedy vhodnější použít laser fialové barvy, kde komparací jednotlivých barevných složek lze nalézt ozářené snímky.

V průběhu 20s záznamu bylo zaznamenáno 18-24 „zásahů“ objektivu kamery. Kdy zásah objektivu kamery znamenal přibližně 0.04s – 0,05s doby osvitu. Poměrná doba osvitu se pohybovala u většiny pokusů v rozmezí 1-4% celkového záznamu.

Závěr

V článku byly demonstrovány možnosti zjištění poměrné doby ozáření objektivu kamery laserovým ukazovátkem. Kdy bylo zjištěno, že pravděpodobnost zásahu (či poměrná doba osvitu cíle) je do 5% a není teoreticky závislá na vzdálenosti cíle. Oba experimenty se navzájem podpořily a jejich výsledky v předpokládané míře korelovaly.

Bude-li laser upevněn, např. na pažbě pušky, bude jeho navedení a udržení na cíli mnohem přesnější. Samostatnou kapitolu tvoří lasery připevněné na naváděném stativu. Tento problém bude řešen v nadcházejících experimentech.

Tato problematika začala jako nebezpečí pro piloty dopravních letadel a s postupem času se rozšířila i na další oblasti. Lze předpokládat, že s rostoucí dostupností laserů, jejich rostoucím výkonem a klesající cenou se budou zvyšovat rizika jejich zneužití k trestné činnosti. Je pouze otázkou času kdy tyto incidenty přesáhnou hranice pouhého vandalismu a začnou být používány systematizovaně, například k oslepení dopravních kamer. Je proto nezbytné se problematikou laserové bezpečnosti preventivně zaobírat.

Zdroje

[1] https://www.cbc.ca/news/world/hong-kong-protest-lasers-facial-recognition-technology-1.5240651

[2] https://ipvm.com/reports/lasers-cameras

[3] Dirk Dobermann, Stabilisierung der Bildlage abbildender optischer Systeme, ISBN 978-3-86360-056-3 (Druckausgabe)

[4] Bc. Anna Hajnová, Diagnostika laserových svazků, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

[5] prof. MUDr. Evžen Růžička, DrSc., MUDr. Petr Hollý, Klinická klasifikace třesu, Neurologická klinika a Centrum klinických neurověd, Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta a VFN v Praze

Ing. Kateřina Nováčková; Univerzita obrany

Bezpečnost a hodnocení rizika při použití laseru

Cílem tohoto článku je shrnout vlivy laserového záření na člověka a způsoby hodnocení bezpečnosti při používání laseru, které jsou navrženy v diplomové práci s názvem „Návrh metodiky hodnocení bezpečnosti použití laserových přístrojů při výcviku v AČR“.

1. Vliv laserového záření na lidskou tkáň

Lasery vyzařují elektromagnetické záření, které může při překročení hygienických norem negativně působit na lidskou tkáň. Toto elektromagnetické záření představuje největší nebezpečí pro tkáně oka a negativně působí také na tkáně pokožky. Laserové záření může na lidské tkáně působit buď tepelně nebo fotochemicky. Typ a velikost poškození závisí na vlnové délce laseru, energii laseru, době ozáření, typu ozařované tkáně a na její absorpci, reflektanci a transmitanci. [1]

1.1. Vliv laserového záření na zrak

Laserové záření o vlnové délce menší, než je 315 nm dopadající na povrch oka poškozuje rohovku. Záření mezi 315 a 400 nm může způsobit fotochemický šedý zákal. Záření ve viditelném spektru mezi 400 a 780 nm prochází až na sítnici, kde může způsobit škody. Při zasažením velkým množstvím kumulované energie může dojít k lokálním tepelným sraženinám a otokům v okolí sítnice. Velikost a závažnost poškození zraku závisí na rozsahu zasažení sítnice a vzdálenosti od žluté skvrny. Ve viditelném spektru existují přirozené reflexy oka, které však fungují pouze do určitého výkonu laseru a při překročení tohoto výkonu dochází k poškození dříve, než nastane přirozený reflex. Záření v blízkém infračerveném spektru od 780 do 1400 nm představuje nebezpečí pro sítnici. Záření o vyšší vlnové délce může způsobovat zakalení případně i spálení rohovky. [1] [2]

1.2. Vliv laserového záření na pokožku

Na kůži laserové záření působí tepelně a může způsobovat zarudnutí pokožky, ztmavnutí pigmentace a v krajních případech spáleniny případně i roztržení kůže. U kožních buněk hraje při ozařování roli její pigmentace a vlnová délka působícího laserového záření. [1]

Tabulka 2 – Přehled možných poškození tkání oka a pokožky při nadměrném vystavení záření [1]

CIE spektrální oblast	Oko	Pokožka
UV-C (180 ÷ 280) nm	Zánět rohovky	Opálení, zrychlení stárnutí pokožky, zvýšená pigmentace
UV-B (280 ÷ 315) nm		
UV-A (315 ÷ 400) nm	Fotochemický šedý zákal	Ztmavnutí pigmentu, fotosenzitivní reakce, spálení pokožky
VIS (400 ÷ 780) nm	Fotochemické a tepelné poškození rohovky	
IR-A (780 ÷ 1400) nm	Šedý zákal, spálení sítnice	Spálení pokožky
IR-B (1,4 ÷ 3) µm	Zkalení rohovky, šedý zákal, spálení rohovky	
IR-C (3 ÷ 1000) µm	Spálení rohovky	

2. Hodnocení rizika při používání laseru

Pro zajištění bezpečnosti při provozu laserových zařízení je potřeba stanovit oblast, ve které je používání laseru nebezpečné. Pro správné určení této oblasti je potřeba znát parametry laserového systému, vyzařovaného svazku, provozní podmínky a také informace o místě použití. Rizikové faktory při určování ohrožené oblasti jsou atmosférické podmínky a odrazy laserového svazku. [3]

Existují dva způsoby, jak lze velikost nebezpečné vzdálenosti určit, a to buď pravděpodobnostním hodnocením rizika nebo deterministickým hodnocením rizika.

2.1. Pravděpodobnostní hodnocení rizika

Pravděpodobnostní hodnocení rizika je založeno na pravděpodobnosti ozáření a riziku zranění. Ke stanovení celkové pravděpodobnosti nebezpečí je potřeba vyhodnotit dílčí faktory, které mohou znamenat potenciální nebezpečí. Určení této pravděpodobnosti vyžaduje detailní znalost laserového systému. Celková pravděpodobnost nebezpečí je následně porovnána s přípustnou úrovní nebezpečí. Jako přípustná úroveň se používá mez minimálního oftalmoskopicky pozorovatelného poškození. Pravděpodobnost překročení této meze je porovnána s přípustnou mírou rizika zranění. [3]

2.2. Deterministické hodnocení rizika

Tato metoda porovnává fyzikální vlastnosti laseru a šíření laserového svazku s maximálními přípustnými dávkami ozáření. Z maximální přípustné dávky ozáření se vypočítá jmenovitá vzdálenost nebezpečná pro zrak. [1] [3]

Maximální přípustná dávka ozáření, anglicky Maximum Permissible Exposure **(MPE),** je maximální možná hodnota ozáření, které mohou být vystaveny osoby, aniž by došlo k trvalým fyziologickým následkům. V deterministickém hodnocení rizika se MPE používá jako vztažná hodnota k porovnání možného ozáření. Úroveň maximální přípustné dávky se mění v závislosti na typu tkáně (oční, kožní), vlnové délce, délce impulzu, době trvání ozáření, případně i velikosti obrazu na sítnici. Tabulky MPE pro zrak i pokožku lze nalézt v ČSN EN 60825-1. [1] [3]

Jmenovitá vzdálenost nebezpečná pro zrak, anglicky Nominal Ocular Hazard Distance **(NOHD)**, je vzdálenost od výstupní apertury laseru, za kterou dochází již nedochází k překročení hodnoty MPE pro zrak. Hodnota NOHD ohraničuje minimální vzdálenost, ve které se může nacházet člověk, aniž by byl ohrožen jeho zrak. [1] [3]

Vzdálenost nebezpečná pro zrak při použití zvětšovací optické soustavy je **rozšířená jmenovitá vzdálenost nebezpečná pro zrak (**Extended Nominal Ocular Hazar Distance **ENOHD**). Zvětšující vysokosvětelné optické přístroje násobí množství záření, které prochází optickou soustavou do oka pozorovatele, proto je s tím nutno počítat i při výpočtu bezpečné vzdálenosti. [1] [3]

2.3. Výpočet NOHD

Ke stanovení NOHD je nezbytné znát vlnovou délku, dobu ozáření, MPE, divergenci svazku a vyzařovaný výkon.

Vzorec pro výpočet NOHD:

$$NOHD = \frac{1}{\phi}\sqrt{\frac{4}{\pi}\frac{P}{MPE}}, \quad (1)$$

kde

P [W]	je vyzařovaný výkon laseru,
ϕ [rad]	je divergence laserového svazku a
MPE	je maximální přípustná dávka ozáření. [3]

3. Hodnocení bezpečnosti při provozu laseru pomocí nomogramu

Výpočet pomocí nomogram je graficko-početní metoda, pomocí které lze provádět konkrétní výpočty za pomoci zahrnutí dat z tabulek a vzorců. Existuje mnoho typů nomogramů a lze je vytvořit téměř pro jakýkoli matematický problém. Většina nomogramů se sestává ze tří případně více rovných (nebo zakřivených) stupnic, z nichž každá stupnice představuje proměnnou ve zobrazované rovnici. [4]

Nespornou výhodou využití nomogramu je, že uživatel nemusí znát danou problematiku ani potřebné rovnice, nemusí hledat v tabulkách a nemusí používat kalkulačku ani speciální výpočetní program. Pro dosažení výsledku je nutné pouze propojit vstupní hodnoty za pomoci úsečky. [4]

3.1. Nomogramy pro výpočet NOHD

Pro hodnocení bezpečnosti laseru a k určení vzdálenosti nebezpečné pro zrak lze použít nomogramy. Výsledkem těchto nomogramů je jmenovitá vzdálenost nebezpečná pro zrak. Pro zjištění výsledné vzdálenosti je nutné znát vlnovou délku laseru, dobu ozařování, divergenci svazku a vyzařovaný výkon. [5]

Nomogramy jsou vytvořeny pro charakteristické vlnové délky a časy ozařování. A to konkrétně pro zelený laser o vlnové délce 525 nm a infračervené lasery o vlnových délkách 840 nm a 1064 nm. Časy ozařování 2 nanosekundy zastupující nanosekundové lasery, 0,25 sekund pro lasery ve viditelném spektru (0,25 sekund je rychlost přirozeného reflexu oka) a 11 sekund pro déle trvající ozáření. [5]

3.2. Vzorový příklad výpočtu NOHD pomocí nomogramu

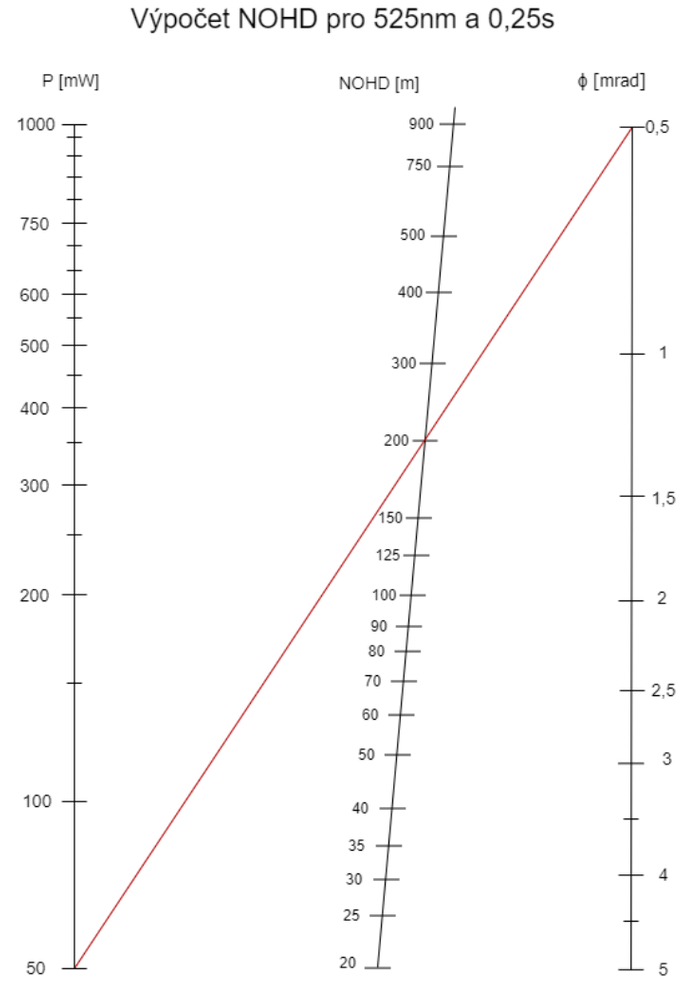
Pro demonstraci výpočtu vzdálenosti NOHD pomocí nomogramu je uveden vzorový příklad znázorněný na obrázku č. 1. Uvažujeme zelený laser o vlnové délce 525 nm, divergenci svazku 0,5 mrad a vyzařovaném výkonu 50 mW. Doba ozařování je 0,25 sekund.

Při výpočtu NOHD pomocí vzorce bude výsledná vzdálenost 200 metrů. Pro zjištění vzdálenosti pomocí nomogramu vybereme nomogram pro uvažovanou vlnovou délku a dobu ozařování a úsečkou spojíme divergenci svazku a vyzařovaný výkon. Hodnota, ve které úsečka protne prostřední stupnici NOHD je výsledná vzdálenost – v tomto případě 200 metrů.

4. Nomogram pro výpočet ENOHD

Pro výpočet rozšířené jmenovité vzdálenosti nebezpečné pro zrak je nutno znát parametry zvětšovací optické soustavy a NOHD, která může být vypočítána z výše zmíněných nomogramů, případně jinou metodou. [5]

Nomogram pro výpočet ENOHD lze využít pro vlnové délky v rozsahu 400 až 1400 nm a dalekohledy 6x30, 7x50, 10x50 a 8x56 s transmitancí optické soustavy 90 %. Tento nomogram pokrývá většinu používaných vlnových délek i zvětšovacích přístrojů. [5]



Obrázek č. 1 – Vzorový příklad pro výpočet NOHD pomocí nomogramu

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ČSN EN 60825-1. *Bezpečnost laserových zařízení* – část 1: Klasifikace zařízení a požadavky.04/2015. Edice 3.

[2] BALÁŽ, Teodor, František RACEK a Pavel MELŠA. *Laserové ozařování letadel*. Brno: Univerzita obrany, Fakulta vojenských technologií. 2011.

[3] ČOS 051636. Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování, Praha. Vojenský technický ústav.

[4] *The Art of Nomography.* 2008. Ron Doerfler. Dead Reckonings: Lost Art in the Mathematical Sciences.

[5] NOVÁČKOVÁ, Kateřina. *Návrh metodiky hodnocení bezpečnosti použití laserových přístrojů při výcviku v AČR.* Brno, 2022. Diplomová práce. Univerzita Obrany. Vedoucí práce Teodor BALÁŽ.

SEZNAM PŘÍLOH

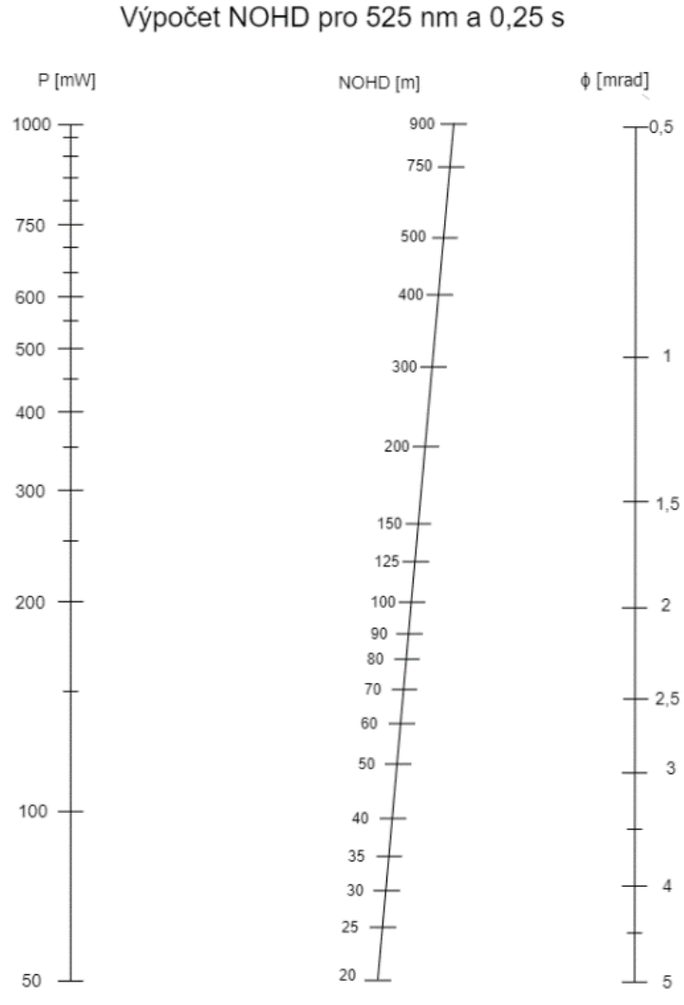
Příloha č. 1 – Nomogram pro výpočet NOHD – 525 nm a 0,25 s

Příloha č. 2 – Nomogram pro výpočet NOHD – 840 nm a 2 ns

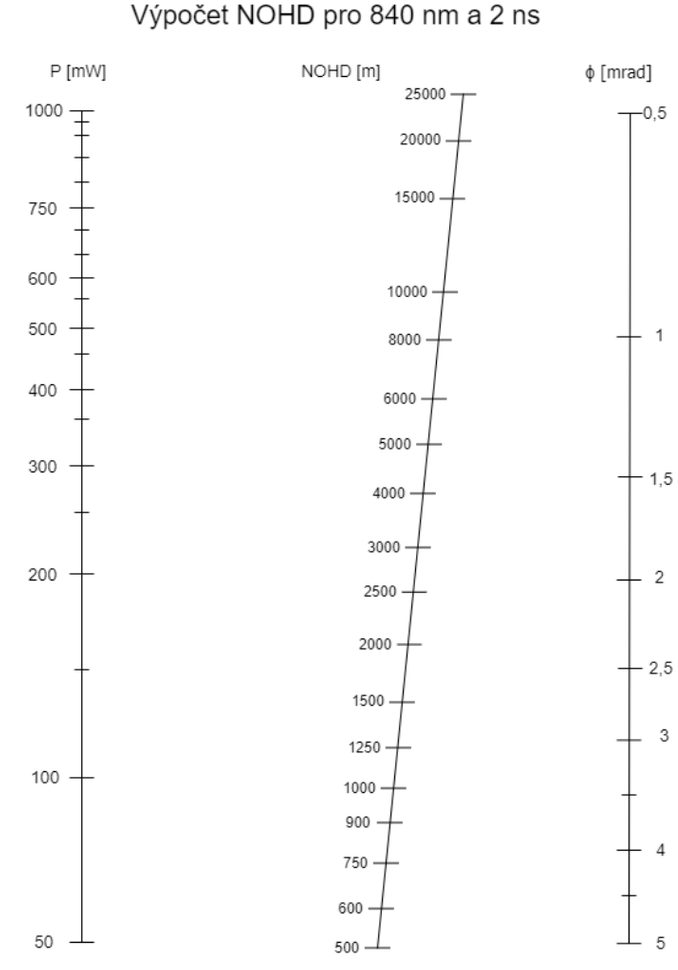
Příloha č. 3 – Nomogram pro výpočet NOHD – 1064 nm a 11 s

Příloha č. 4 – Nomogram pro výpočet ENOHD

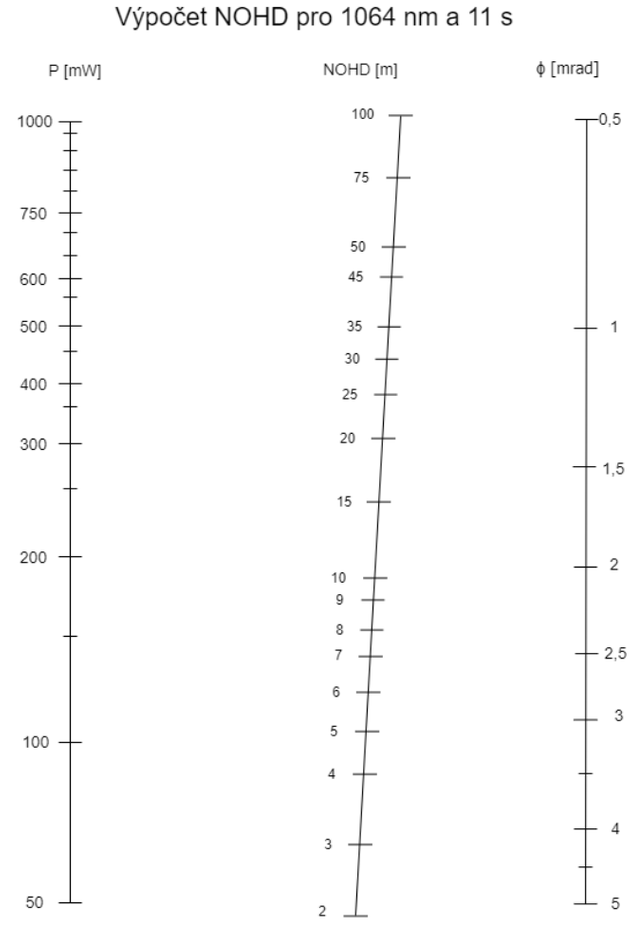
Příloha č. 1



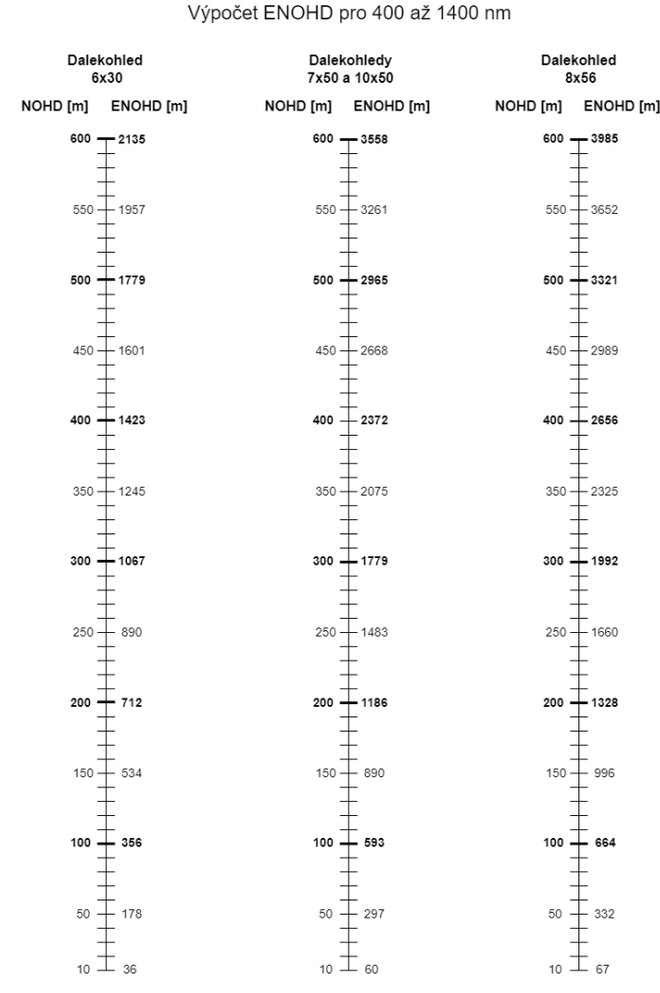
Příloha č. 2



Příloha č. 3



Příloha č. 4



Ing. Josef Bača; Univerzita obrany

Měření parametrů impulzních laserových dálkoměrů v polních podmínkách.

Měření dosahu laserových dálkoměrů nepodléhá žádným objektivním standardům, které by umožňovaly přístroje mezi sebou porovnávat. Cílem článku bylo analyzovat princip měření dosahu dálkoměrů a stanovit objektivní kritéria pro možné porovnání dosahu jednotlivých přístrojů. Pro určení dosahu dálkoměru byla využita analýza výpočtu poměru signál-šum. Z analýzy byly vybrány konstrukční charakteristiky ovlivňující dosah dálkoměru, které je možné objektivně měřit a porovnávat. Přínosem článku je koncepce, podle které je možné rozvíjet standardizaci měření dosahu impulzních laserových dálkoměrů.

1. Úvod

Impulzní laserové dálkoměry (ILD) jsou nedílnou součástí moderních zbraňových systémů jednotlivce i systémů řízení palby (SŘP). Testování a kontrola parametrů laserových dálkoměrů je nedílnou součástí provozu a oprav těchto systémů. AČR bohužel nemá schopnosti, které by umožňovaly tyto charakteristiky měřit a posuzovat.

Navzdory tomu, že i když jsou ILD důležitou součástí moderních SŘP, tak problematice měření a testování jejich parametrů je věnováno pouze málo pozornosti. Nejsou zpracovány žádné standardy, které by normovaly testování vojenských ILD. Situace tohoto odvětví je velice rozdílná s testováním například termovizních systémů, kde jsou vydány standardizované definice jmenovitého statického dosahu infračervených zobrazovacích systémů (ČOS 585501, vycházející ze Stanag 4347 Ed. 1) a další články a publikace. [1]

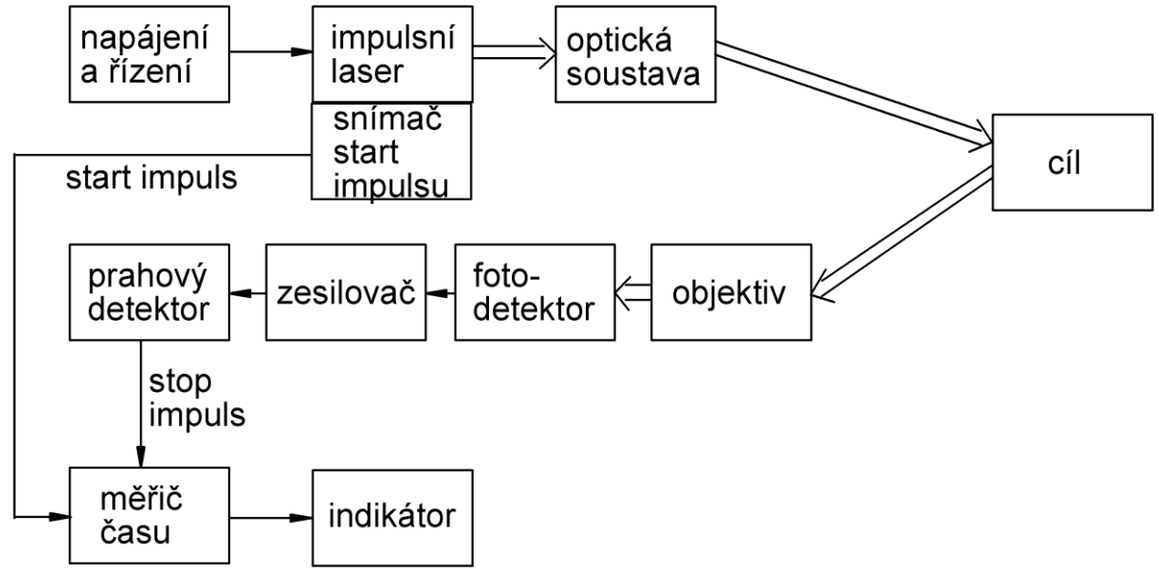
Na trhu s ILD se realizuje veliké množství výrobců a prodejců z různých zemí. Široké spektrum používání ILD v různorodých zbraňových systémech vede přirozeně k rozdílným požadavkům na provoz ILD. Proto se v praxi nesetkáváme s jednoznačným vymezením parametrů ILD a někteří výrobci ILD udávají parametry vypočítané např. pro ideální atmosféru a někteří dokonce udávají maximální dosah jako maximální vzdálenost detekovatelnou elektronickým systémem přijímače při použití teoretického v podstatě neomezeného velmi silného impulzu. Zřídka se objeví výrobce, který udává odpovídající data s poměrně přesným vyhodnocením výkonu ILD. Bez funkčního systému mezinárodní standardizace jsou však výsledky mezi sebou neporovnatelné.

Výchozím bodem pro určení dosahu je princip funkce ILD a srovnáním způsobu měření dosahu v polních a laboratorních podmínkách. Hlavní otázkou, na kterou hledám odpověď, je zobecnění výpočtu dosahu podle objektivně porovnatelných konstrukčních parametrů ILD. Tyto parametry dosahu budou limitovány v návaznosti na požadovaný odstup signál-šum. Tímto způsobem lze nastínit možný vývoj standardizace posuzování dosahu ILD.

2. Impulzní laserový dálkoměr

2.1. Popis impulzního laserového dálkoměru

Impulzní laserový dálkoměr slouží k aktivnímu získání informace o vzdálenosti k cíli. Zjednodušené blokové schéma ILD je na obr. 2-1.



obr. 2-1 Blokové schéma ILD

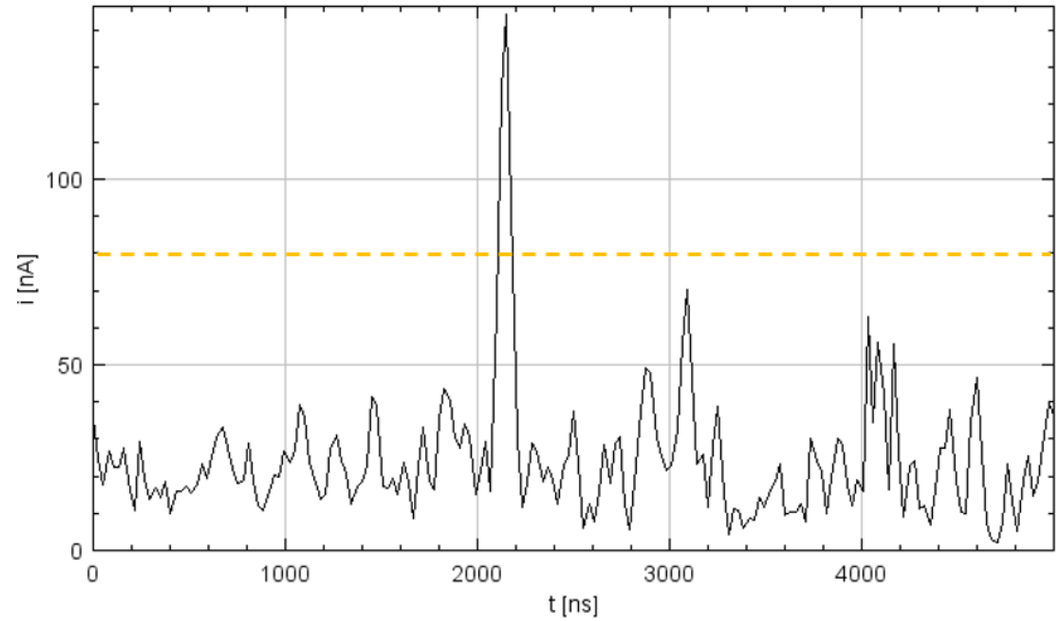
Řídící jednotka dá povel k vyslání impulzu, impulzní laser vyšle laserový impuls, který je usměrněn optickou soustavou, která zmenšuje divergenci laserového svazku (tzv. expandér), na cíl a současně s vysláním impulzu se aktivuje snímač start impulzu a spustí se čítač hodinových impulzů, který načítá impulzy generované generátorem hodinových impulzů.

Od cíle se laserový impulz odrazí. Odražená energie impulzu od cíle dopadá na objektiv přijímací větve ILD, který ji usměrní na fotodetektor – lavinovou, popř. PIN diodu. Fotodetektor transformuje přijatý impulz na elektrický signál, který je zesilovačem zesílen a převeden na prahový detektor hradla. V okamžiku, kdy je na prahovém detektoru rozeznán vyšší než prahový proud, tak je zastaven časoměr a indikátor (čítač) spočítá počet časových impulzů a naměřenou vzdálenost cíle zobrazí na displeji, případně je hodnota dálky cíle dále zpracovávaná v SŘP.

2.2. Princip měření vzdálenosti impulzním laserovým dálkoměrem

Impulzní laserový dálkoměr je aktivní prvek měřící vzdálenost. Laserový vysílač vyšle impulz monochromatického záření na určité vlnové délce odpovídající typu laseru a měří dobu, za kterou přijímač přijme odraz impulzu.

Přijatý odraz laserového impulzu od plochy cíle se projeví zvýšením proudu v detektoru, který pokud proud přesáhne hraniční mez (threshold), tak zastaví časový čítač a na základě doby od vyslání k návratu vypočítá vzdálenost.



obr. 2-2 Graf průběhu simulovaného proudu na detektoru

Průběh proudu na přijímači je znázorněn na obrázku obr. 2-2, kde hraniční hodnota proudu při, které se zastaví časoměr, je naznačena žlutou čarou. Ze zjištěné doby je pak vypočítána vzdálenost. Vzdálenost k cíli se vypočítá podle vztahu (2.1), kde *R* je vzdálenost, c je rychlost světla a *t* je doba mezi vysláním impulzu a zachycením odrazu. [1]

$$R = \frac{c.t}{2} \quad . \qquad (2.1)$$

2.3. Vliv základních parametrů na dosah impulzních laserových dálkoměrů

Celkový výkon a parametry jsou ovlivněny konstrukčními vlastnostmi ILD, které jsou voleny s ohledem na předpokládané využití přístroje. Není efektivní konstruovat dálkoměr, který má řádově vyšší dosah než palebný prostředek, ke kterému je přiřazen v SŘP.

2.3.1. Mezi hlavní konstrukční charakteristiky řadíme:

Charakteristiky vysílače:

- Energie impulzu Q_L [J]
- Výkon (zářivý tok) impulzu Φ_L [W]
- Délka impulzu t_p [s]
- Vlnová délka laserového záření λ [m]
- Frekvence impulzů f_p [Hz]
- Rozbíhavost (divergence) svazku Ω_L [sr]
- Průměr svazku v rovině výstupní pupily A_L [m^2]
- Transmitance vysílače τ_v [1]

Charakteristiky přijímače:

- Poměr signál šum SNR [1]
- Specifická detektivita D^* [m/W·$\sqrt{\text{Hz}}$]
- Plocha apertury přijímače A_I [m^2]
- Plocha detektoru A_d [m^2]
- Transmitance optické soustavy τ_p [1]

Charakteristiky nespolupracujícího cíle (protivníka) a atmosféry, které mají vliv na dosah přístroje

- Reflektivita cíle ρ [1]
- Plocha cíle A_O [m^2]
- Úhel natočení cíle θ_{LO} [rad]

- Koeficient útlumu atmosféry γ [km^{-1}]

Z těchto parametrů vycházejí taktické parametry, které jsou zásadní pro vedení bojové činnosti a to:

- Dosah
- Minimální rozlišitelná vzdálenost dvou cílů a úhlová rozlišitelnost
- Přesnost měření
- Úhlová velikost laserového svazku v poměru k úhlové velikosti cíle
- Chyba zamíření

Důraz je kladen na dosah přístroje, což je maximální vzdálenost, na kterou je schopen dálkoměr s pravděpodobností 50 % změřit vzdálenost definovaného cíle v daných podmínkách.

Stále musíme pamatovat, že měření vzdálenosti pomocí ILD je aktivní způsob měření a že hrozí riziko prozrazení pozice měřícího přístroje. Pokud budu měřit vzdálenost mimo prostor, který jsem schopný aktivně zabezpečit palbou SŘP, pak pouze informuji protivníka o své přítomnosti bez možnosti dalšího ohrožení jeho pozice. Pro vedení bojové činnosti je dostačující mít ILD s dosahem o 25 % vyšším, než je účinný dostřel zbraňového systému v SŘP. [2]

3. Testování dálkoměrů

Testování ILD může probíhat buď v polních nebo laboratorních podmínkách. Testování v polních podmínkách má tu výhodu, že se přístroj měří v podmínkách skutečného nasazení, nevýhodou je složitější organizace měření, nízká přesnost a problematická opakovatelnost měření, navíc se dají zjišťovat pouze některé charakteristiky přístroje, zejména jeho dosah. [1]

Testování v laboratorních podmínkách umožňuje získat informace o všech důležitých parametrech přístroje a komplexně je vyhodnocovat a sledovat. Nevýhodou je to, že přístroj se testuje v simulovaných podmínkách, které pouze předpokládají vnější vlivy na výkon přístroje. Dále je také nutné uvažovat vysoké pořizovací a udržovací náklady na provoz testovací stanice. [1]

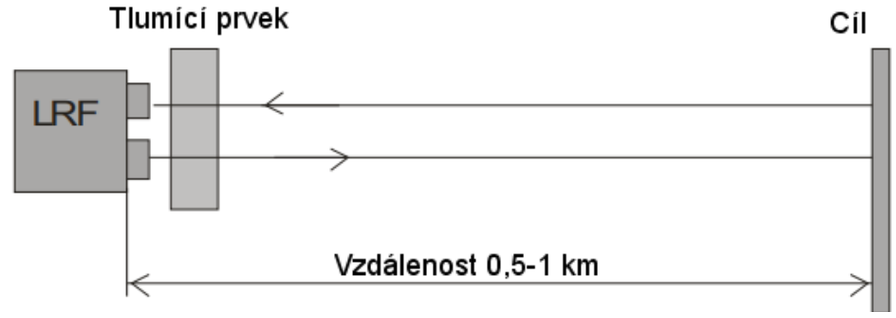
3.1. Testování v polních podmínkách

Testování v polních podmínkách probíhá buď tak, že se měří dálkoměrem pohyblivý cíl, toto simuluje skutečné nasazení, nebo máme ILD a cíl ve stejné vzdálenosti a před ILD je vložen tlumící prvek (atenuátor), který tlumí laserový impulz a simuluje tím zvětšující se vzdálenost mezi ILD a cílem. Z těchto dvou typů testů je častější testování s tlumícím prvkem, které je jednodušší na provedení.

Pro měření kratší vzdálenosti cca do 1 km je testování relativně jednoduché, problém nastává pří měření středních a delších vzdáleností v řádech jednotek až desítek kilometrů. První skupinou problémů je vliv atmosférických podmínek, které přestávají mít zanedbatelný vliv na přesnost a opakovatelnost měření v polních podmínkách. Druhá skupina problémů spočívá v náročnosti provedení samotného měření reálných vojenských cílů na střední a dlouhé vzdálenosti. Z těchto důvodů se výsledné testování zřídka provádí ve reálném polním nasazení s reálnými cíli. [1]

3.1.1. Průběh měření v polních podmínkách

ILD je v pevné vzdálenosti k cíli a měří se vzdálenost, vzdálenost se volí tak, aby byl zajištěn maximální zisk (gain) přijímače, který je uměle snížen pro kratší vzdálenosti, tak aby nebyl poškozen vysokou energií blízko odraženého impulzu, dostatečná vzdálenost je v rozmezí 0,5-1 km.



obr. 3-1 Schéma měření ER ILD v polních podmínkách (1)

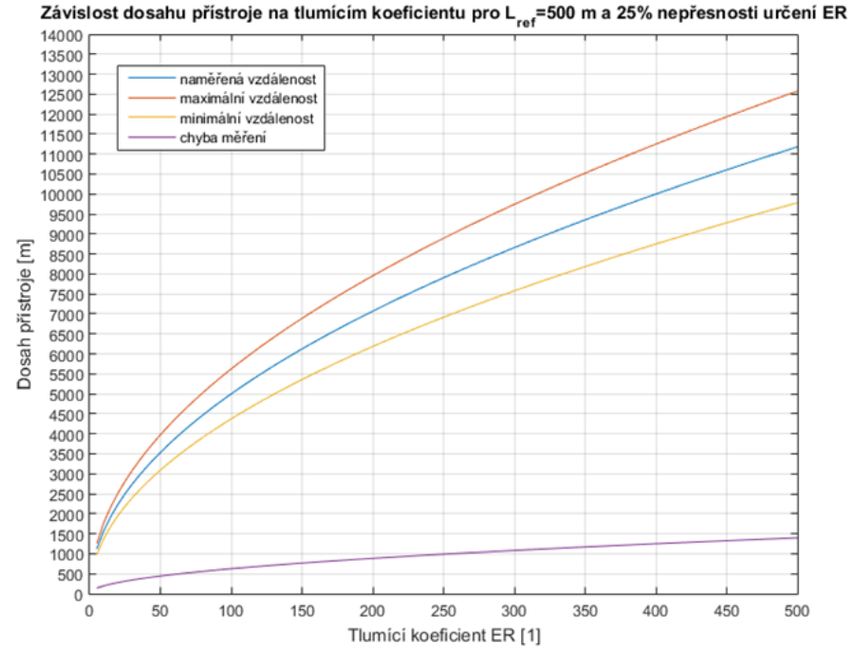
Tlumícím prvkem se zvyšuje poměr tlumení (ER = extinction ratio), dokud ILD není schopný naměřit správnou vzdálenost. Poté se vyhodnotí, při kterém utlumení začala výrazně klesat pravděpodobnost správného měření pod určenou mez a stanoví se výsledný poměr tlumení. Ze vztahu tlumení ER a referenční vzdálenosti R_{ref} se následně vypočítá předpokládaný dosah na daný cíl podle vztahu [3]

$$R_{max} = R_{ref}.\sqrt{ER} \quad . \qquad (3.1)$$

Pokud budeme uvažovat stálost atmosférických podmínek a zanedbáme chybu určení referenční vzdálenosti, pak je nejistota tohoto měření závislá na chybě tlumení tlumícího členu. Nepřesnost měření je dána vztahem

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial ER} \cdot \Delta ER\right)^2} \quad , \qquad (3.2)$$

kde ΔER je absolutní chyba určení tlumícího koeficientu. Pokud si pro příklad dosadíme za $R_{ref} = 500$ m a $\Delta ER/ER = 25$ %, pak je výsledek měření včetně velikosti chyby měření vidět na obr. 3-2.

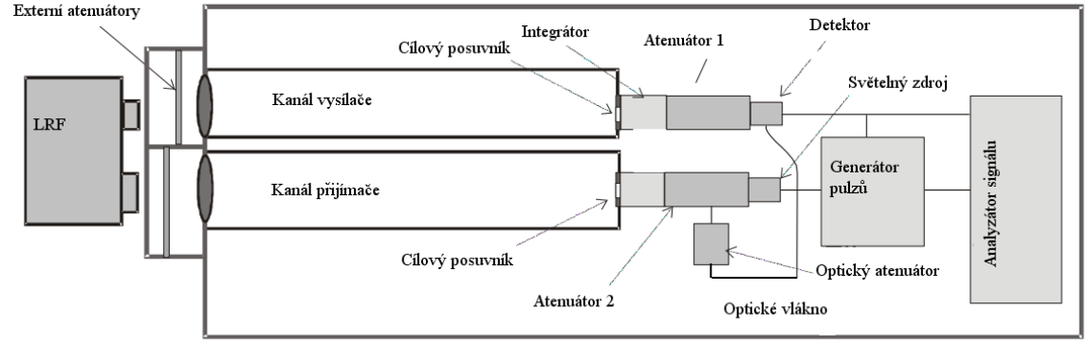


obr. 3-2 Závislost dosahu přístroje na naměřeném koeficientu tlumení

3.2. Testování v laboratorních podmínkách

Testování ILD v laboratorních podmínkách umožňuje komplexní analýzu parametrů testovaného přístroje včetně jeho dosahu na požadovaný cíl. Výhodou testování v laboratoři je zabezpečení opakovatelností měření, možnost jeho záznamu a rychlost měření. Laboratorní testovací stanice mají také udávanou přesnost měření a podléhají pravidelným kalibracím. Schéma laboratorní stanice je na obr. 3-3, stanice je ovládaná počítačem, který vyhodnocuje a zároveň zaznamenává výsledky měření parametrů ILD. S testovací stanicí tohoto typu lze měřit výše zmíněné hlavní parametry ILD. [3]

Z komerčně dodávaných stanice jsem zvolil stanici LUNI od polské firmy Inframet. Stanice LUNI je modernizovaná verze stanice LTE



obr. 3-3 Blokové schéma laboratorní stanice [3]

obr. 3-4 Testovací stanice LUNI [4]

3.2.1. Popis funkce testovací stanice:

Atenuátory (tlumící prvky) mají za úkol řízeně regulovat vstupní a výstupní laserový impulz. Externí dva jsou tvořeny sklem o definované transmitanci. **Atenuátor 1 a 2** je tvořen optickými destičkami s elektronicky řízenou proměnnou transmitancí. **Optický atenuátor** je tvořen optickým vláknem s proměnnou délkou a transmitancí. Celkové tlumení je možné až do velikosti 40 dB (10 000krát).

Objektiv kanálu vysílače zaostří vyslaný impulz do roviny **cílového posuvníku**, který reguluje účinnost optického integrátoru (simuluje velikost cíle). **Optický integrátor** koncentruje přijatý impulz, který je dále tlumen v **atenuátoru 1**. Po průchodu tlumícím členem, je laserový impulz přiveden na **detektor**, který jej převede na elektronický impulz. **Detektor** je tvořen InGaAs PIN diodou. Elektrický impulz je doveden do generátoru impulzů a analyzátoru signálu.

Analyzátor signálu zaznamená časový průběh impulzu a odešle tyto data do počítače. Generátor pulzu přijme elektrický impulz a s prodlevou jej pošle do impulzního **světelného zdroje**. Ten vyšle impulz, který je po utlumení v atenuátoru 2 a prostorové integraci kolimován do přijímače testovaného přístroje. [4]

Optické vlákno slouží pro testování v optickém módu, kdy je vyslaný impulz doveden na přijímač testovaného přístroje bez převodu na elektrický pulz. Toto testování simuluje testování v polních podmínkách. Stanice je kalibrována na test ve vzdálenosti 500 m, reflektivita cíle je $\rho_c = 0{,}4$, cíl má difuzní lambertovský povrch, viditelnost je 20 km a pravděpodobnost správného změření je 90 %.

Tabulka 3 Limitující charakteristiky pro testovaný přístroj [4]

Parametry	Hodnota
Typy testovaných dálkoměrů	Optimalizováno na všechny typy dálkoměrů
Testované vlnové délky	V rozsahu 800-1700 nm
Střední hodnoty vlnových délek pulzních světelných zdrojů	905nm, 1060 nm, 1540 nm, 1550 nm, 1570 nm, s vyměnitelnými zdroji
Maximální velikost optických částí dálkoměru	Průměr kolimátoru je 120 mm a musí být schopný překrýt vysílač nebo přijímač
Rozsah měření	Simulovaná vzdálenost od 40 m do 40 km, volitelně až 98 km
Podmínky měření	Standardní laboratorní/dílenské prostředí, stanice není vhodná pro testování v polních podmínkách

Tabulka 4 Měřící rozsah a přesnost vybraných parametrů testovací stanice [4]

Parametr	**Rozsah měřeni**	**Přesnost měření**
Energie pulzu	**10 nJ-200 mJ**	**10 %**
Délka trvání pulzu	**4-600 ns**	**5 % nebo 1 ns**
Peakový výkon pulzu	**1 W-10 MW**	**10 %**
Opakovací frekvence pulzu	**0,1 Hz-50 kHz**	**2 %**
Úhel rozbíhavosti svazku	**až 10 mrad**	**50 %**
Citlivost přijímače	**0,1 nW.cm^{-2} až 10 µW cm^{-2}**	**10 %**
Zorné pole přijímače	**5 mrad**	**0,2 mrad nebo 10 % zorného pole**
Dosah dálkoměru	**40 m až 40 km**	**Záleží na použitém teoretickém modelu**
Přesnost dálkoměru	**v rozsahu vzdáleností 40 m až 40 km**	**1,5 m**
Přesnost diskriminačního měření	**Až 3 odrazy ve vzdálenosti 50-6000 m**	**1,5 m**
Relativní poměr útlumu	**Minimálně 0,1 dB a 60 dB pro cíl ve vzdálenosti 500 m**	**1 dB**
Absolutní poměr útlumu	**100-160 dB**	**1 dB**
Prostorové rozložení světelné intenzity laserového paprsku	**až do 10 mrad**	**0,1mrad**
Měření nesouososti mezi optickým zaměřovačem a vysílačem	**22 mrad**	**0,1 mrad**
Měření nesouososti mezi připojeným pozorovacím přístrojem a vysílačem	**22 mrad**	**0,1 mrad**
Paralaxa mezi vysílačem a přijímačem ILD	**11 mrad**	**0,1 mrad nebo 10 % zorného pole přijímače**

4. Výpočet dosahu impulzního laserového dálkoměru

Dosah na cíl je komplexní parametr, který je omezen vlastnostmi cíle, konstrukce a vzdálenosti. Podle [3] lze problém dosahu ILD považovat za funkci poměru signál-šum přijímače ILD.

4.1. Šumový ekvivalent ozáření

Šum je jev vyvolávající odezvu přijímače, která není způsobená signálem vyslaného laserového impulzu. Šumy mají různou velikost a příčinu vzniku a pro jejich kvantifikaci je nutné je nahradit určitým ekvivalentem. Proto se zavádí šumový ekvivalent ozáření, který nahrazuje šumy jednou hodnotou, která předpokládá maximální úroveň šumu, který může nastat. Vztah pro šumový ekvivalent ozáření E_n je

$$E_n = \frac{\sqrt{\Delta f . A_d}}{D^* . A_1 . \tau_p} \quad \text{[J]}, \tag{4.1}$$

kde Δf je spektrální šířka šumu v přijímači, A_d je plocha detektoru, A_1 je plocha apertury přijímače, τ_p je transmitance přijímače, D^* je specifická detektivita. [3]

4.2. Signální ozáření

Ke zjištění SNR je nutné ještě definovat signální energii ozáření. Signální energie ozáření je energie, při které je změřená vzdálenost se stanovenou pravděpodobností. K jejímu určení je nutné definovat další vztahy.

Zjednodušený geometrický vztah mezi vysílačem, cílem a přijímačem je na obr. 4-1. Dále je nutné zpřehlednit myšlenku měření několika předpoklady: přijímač a vysílač jsou spřažené a jsou na stejném místě. Vzdálenost od vysílače a od přijímače k cíli jsou shodné a ovlivňují je stejné atmosférické podmínky. [3]

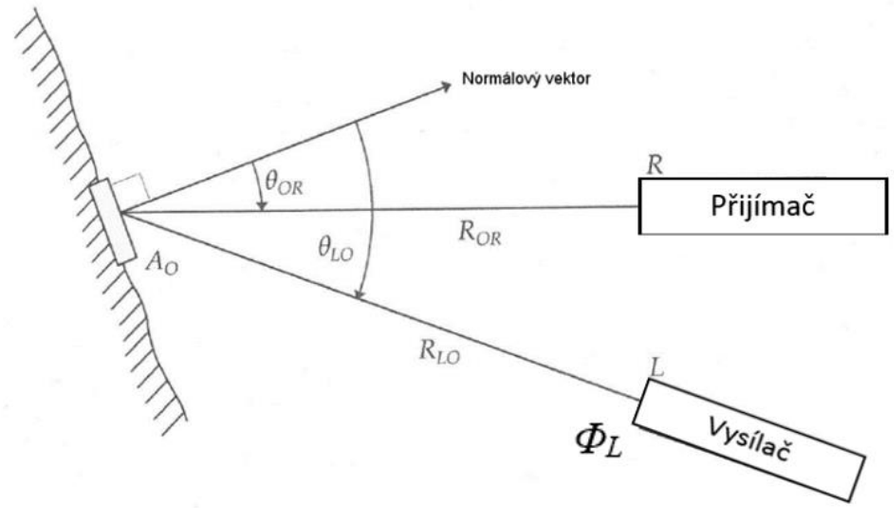
Vyzařování laserového impulzu je z [3] definováno jako závislost optického výkonu, plochy svazku na zdroji a rozbíhavosti svazku a dále konstantní rozložení zářivého toku, úhlové i plošné, ve svazku. Pak je možné zjednodušeně definovat zář L_L jako

$$L_L = \frac{\Phi_L}{\Omega_L . A_L} \quad \text{[W]}, \tag{4.2}$$

kde je Ω_L prostorový úhel laserového svazku a A_L je plocha vyzařující laserový svazek. Toto zjednodušení dává řádově přesný odhad záře laserového vysílače. Následně pak můžeme dosadit do rovnice pro výpočet ozáření cíle

$$E_O = \frac{L_L . A_L . \tau_{OL} . cos\theta_L . cos\theta_{LO}}{R_{LO}^2} = \frac{\phi_L . \tau_{LO} . cos\theta_{LO}}{\Omega_L . R_{LO}^2} \quad \text{[J]}, \tag{4.3}$$

τ_{LO} je transmitance atmosféry od vysílače k cíli, upravíme vztah dosazením (4.2) a za $cos\theta_L = 1$, protože předpokládáme, že laser září ve směru k cíli.



Obr. 4-1 Geometrický vztah při měření vzdálenosti [3]

A_0 je zasažená plocha cíle, Φ_L je světelný tok laseru, R_{LO} je vzdálenost vysílače a cíle, R_{OR} je vzdálenost cíle a přijímače, θ_{LO} je úhel dopadu laserového impulzu a θ_{OR} je optická osa přijímače. [3]

4.2.1. Odraz impulzu od cíle

Když laserový impulz dopadne na povrch cíle, tak je od něj odražen. Většina přírodních povrchů rozptýlí světlo do všech stran (ideální difuzní lambertovský povrch). Plocha cíle s reflektivitou ρ odrážející laserový svazek má pak zář. [3]

$$L_O = \frac{\rho . E_O}{\pi} = \frac{\rho . \phi_L . \tau_{LO} . \cos\theta_{LO}}{\pi . \Omega_L . R_{LO}^2} \quad \text{[W]}, \tag{4.4}$$

z toho pak vyplývá podle [3]

$$E_R = \frac{L_O . A_O . \tau_{LO} . \cos\theta_{OR}}{R_{OR}^2} \quad \text{[J]}, \tag{4.5}$$

kde A_O je plocha ozářená laserem viditelná pro přijímač. Po dosazení vztahu (4.4) za L_O a následné úpravě vznikne vztah

$$E_R = \frac{\rho . \phi_L . \tau_{LO} . \cos\theta_{LO} . A_O . \tau_{LO} . \cos\theta_{OR}}{\pi . \Omega_L . R_{LO}^2 . R_{OR}^2} \quad , \tag{4.6}$$

pro který stále uvažujeme shodné umístění přijímače a vysílače, pak $R_{LO}^2 = R_{OR}^2 = R^4$, $\tau_{LO} = \tau_{OR} = \tau_a$ a $\cos\theta_{LO} = \cos\theta_{OR}$. Po dosazení dostaneme výsledný vztah

$$E_R = \frac{(\cos^2\theta_{LO}.A_O.\rho).\phi_L.\tau_a^2}{\pi.\Omega_L.R^4} \quad , \qquad (4.7)$$

kde R je vzdálenost k cíli, součin $\cos^2\theta_{LO}.A_O.\rho$ odpovídá průmětu cíle do roviny kolmé ke směru impulzu. [3]

4.2.2. Výpočet poměru signál – šum

Výsledný SNR získáme spojením rovnic (4.1) a (4.7) [3]

$$\frac{E_R}{E_n} = \frac{\frac{(\cos^2\theta_{LO}.A_O.\rho).\phi_L.\tau_a^2}{\pi.\Omega_L.R^4}}{\frac{\sqrt{\Delta f.A_d}}{D^*.A_1.\tau_p}} = \frac{\rho.\phi_L.\tau_a^2.\cos^2\theta_{LO}.A_O.D^*.A_1.\tau_p}{\pi.\Omega_L.R^4\sqrt{\Delta f.A_d}} \quad , \qquad (4.8)$$

pro šíření světla v atmosféře uvažujeme Bourgerův zákon transmitance, pak můžeme dosadit $\tau_a = e^{-\gamma R}$ s atmosférickým koeficientem tlumení γ. Světelný tok Φ_L odpovídá vyzářené energii Q_Lv čase t_p. Spektrální šířku šumu v přijímači definujeme jako $\Delta f = \frac{k_n.k_f}{t_p}$, k_n a k_f jsou koeficienty šumu elektroniky přístroje. [3] Po dosazení do (4.8) a seskupení proměnných dostaneme tři skupiny vlivů na dosah ILD

$$\frac{E_R}{E_n} = \overbrace{\left(\frac{D^*.\rho.A_O.cos^2\theta_{LO}}{\pi.\sqrt{k_n.k_f}}\right)}^{A}.\overbrace{\left(\frac{Q_L.A_1.\tau_p}{\Omega_L.\sqrt{t_p.A_d}}\right)}^{B}.\overbrace{\left(\frac{e^{-2.\gamma.R}}{R^4}\right)}^{C} \quad . \qquad (4.9)$$

Skupinu A tvoří parametry, které nejsme schopni nijak ovlivnit, skupinu B tvoří parametry, které volíme při konstrukci přístroje a skupinu C tvoří vliv atmosféry a vzdálenosti, která určuje dosah přístroje.

Dosah přístroje pak můžeme určit jako vzdálenost, pro kterou SNR nabývá nejmenší požadovanou velikost

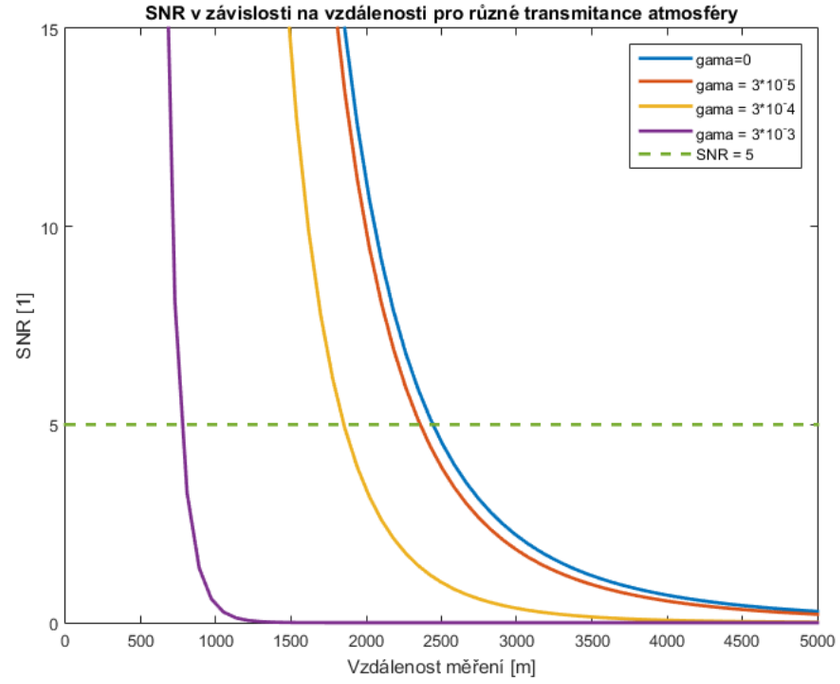
$$R^4 e^{2\gamma R} = \frac{1}{\pi SNR_t}.\overbrace{(\rho A_O cos^2\theta_{LO})}^{\text{Cíl}}\overbrace{\left(\frac{D^*}{\sqrt{k_n}}.\frac{Q_L A_1 \tau_p}{\Omega_L\sqrt{t_p A_d}}\right)}^{\text{ILD}} \quad . \qquad (4.10)$$

Jako příklad volím tento případ – potřebujeme zjistit dosah ILD na standardizovaný cíl 2,3x2,3 m, pro dosah volíme minimální $SNR = 5$, máme určeny následující parametry:

Tabulka 5 Přehled veličin vstupujících do příkladového výpočtu

Parametr	Velikost	Jednotka	Parametr	Velikost	Jednotka
τ_p	0,8		A_d	$4 \cdot 10^{-6}$	m^2
A_1	$8 \cdot 10^{-3}$	m^2	ρ	0,1	
k_n	1		$\cos\theta$	0,5	
k_f	1		λ	1,06	µm
Ω_L	$1 \cdot 10^{-3}$	Sr	Q_L	0,06	J
A_O	5,29	m^2	Φ_L	4	MW
γ	$3 \cdot 10^{-5}$	1/m	t_p	15	ns
D^*	$2{,}7 \cdot 10^9$	$m/W \cdot \sqrt{Hz}$	SNR	≥ 5	

Po dosazení do (4.9), (4.10)(4.10) a (5.1) dostaneme výsledný dosah dálkoměru $R = 2358$ m. Kromě vlastností cíle je také nutné uvažovat vliv atmosféry, který se projevuje absorpcí a rozptylem záření. Vliv atmosféry na dosah ILD je vidět na obr 4-2. Pro výpočet jsou použity hodnoty veličin z výše uvedeného příkladu, změna je provedena pouze v parametru γ, na obrázku je vidět i dosah v případě zanedbání vlivu atmosféry.



obr. 4-2 Vliv transmitance atmosféry na dosah přístroje

5. Měření divergence svazku ILD v podmínkách AČR

AČR nedisponuje diagnostickou stanicí na měření vlastností ILD, z tohoto důvodu není možné objektivně měřit vlastnosti zavedených ILD. Druhým problémem je nutnost měřit vlastnosti ILD přímo v SŘP, nikoliv samotného přístroje, který sice může být funkční, ale nemusí správně komunikovat s ostatními prvky SŘP.

Divergence svazku ILD je důležitým parametrem ovlivňujícím dosah ILD. Se současně dostupnými prostředky je možné měřit divergenci svazku ILD dvěma způsoby – posunem terče a vyhodnocením zaznamenaného obrazu se stopou impulzu.

5.1. Měření s posuvným terčem

5.1.1. Princip měření

ILD je zamířen na terč ve známé vzdálenosti. Terč se posunuje v horizontální ose roviny terče, dokud odražený impulz přestane být dostačující ke spolehlivému určení vzdálenosti. Z výsledného posunu terče je pak vypočítána divergence svazku.

5.1.2. Postup měření

Ve vzdálenosti d je umístěn terč se známými rozměry. ILD se zaměří na střed terče a změří se jeho vzdálenost. Poté se terč posune v horizontální ose o určitou vzdálenost a opět se změří vzdálenost, tento postup se opakuje, dokud ILD ukazuje správnou vzdálenost. Když ILD přestane udávat správnou vzdálenost, měření se zastaví a zaznamená se poslední posun terče, kdy ILD udával správnou vzdálenost. Následně se provede se stejný proces ovšem s posunem terče na opačnou stranu.

Obdobným způsobem by probíhalo měření pomocí děleného terče, kdy je terč rozdělený na dvě poloviny, které se od sebe vzdalují. ILD měří vzdálenost ke středu terče, po každé sérii měření se od sebe obě poloviny terče vzdalují, dokud ILD měří stejnou vzdálenost. Tento způsob je rychlejší, přesnější a měří celý svazek najednou. Nevýhodou je náročnější konstrukce terče.

5.1.3. Vyhodnocení měření

Výpočet úhlové velikosti terče $2\omega_t$

$$2\omega_t = \tan^{-1}\frac{x}{d}\ [\text{rad}] \quad , \qquad (5.1)$$

Celkový posun terče

$$x_M = x_L + x_P\ [\text{m}] \quad , \qquad (5.2)$$

Výpočet divergence svazku $2\omega_s$

$$2\omega_s = \tan^{-1}\frac{x_M}{d}\ [\text{rad}] \quad , \qquad (5.3)$$

Nejistota měření je pak dána nejistotou určení vzdálenosti k terči a nejistotou velikosti kroku na obě strany, v případě děleného terče na kroku zvětšení mezery v terči.

$$\Delta x_M = 2.\Delta x_k;\ \Delta x_M = \Delta x_{děl} \quad , \qquad (5.4)$$

Nejistota měření vzdálenosti je dána přesností ILD

$$\Delta 2\omega_s = \sqrt{\left(\frac{\partial 2\omega_s}{\partial d}.\Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial 2\omega_s}{\partial x_M}.\Delta x_M\right)^2} \quad , \qquad (5.5)$$

po provedení parciálních derivací je pak vztah pro nepřesnost měření

$$\Delta 2\omega_s = \sqrt{\left(\frac{-x_M}{x_M^2 + d^2}.\Delta d\right)^2 + \left(\frac{d}{d^2 + x_M^2}.\Delta x_M\right)^2} \quad , \qquad (5.6)$$

5.1.4. Experimentální ověření

V roce 2003 proběhlo na K-201 experimentální měření divergence svazku ILD v polních podmínkách. Výsledkem měření, na který se chci zaměřit, je zjištěná nepřesnost měření ve srovnání s měřením, které by poskytla laboratorní měřící stanice. [5]

Podmínky experimentu

- Vzdálenost měření: d_1=1250 m a d_2=2345 m
- Šířka terče 1,37 m
- Krok posunu Δx=0,1 m

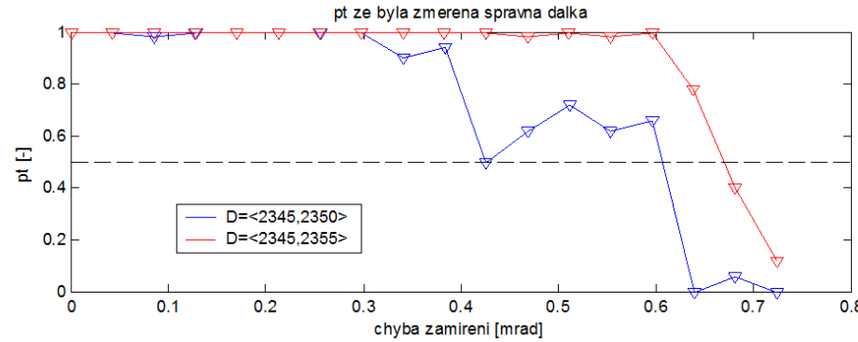
Průběh experimentu

Ve stanovené vzdálenosti 2345 m byl umístěn terč, na jehož střed byl zamířen ILD a byla změřena „správná vzdálenost“. Terč se následně posunul o krok 0,1m v horizontální rovině doprava a proběhla série měření vzdálenosti. Toto měření se opakovalo, dokud neklesla pravděpodobnost změření správné vzdálenosti pod 50 %. Měření se opakovalo pro terč ve vzdálenosti 1250 m. [5]

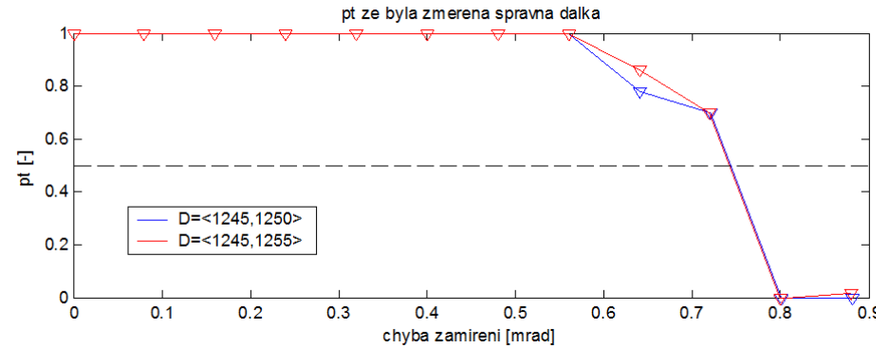
Výsledky

Grafické znázornění výsledků je vidět na obrázcích obr. 5-1 a obr. 5-2, tolerance správného měření dálky byla naměřená hodnota v daných intervalech.

Měření dálky začalo vykazovat chybné hodnoty mimo interval ± 5 m od správné hodnoty při posunu terče o 0,7 mrad na vzdálenost 2350 m a o 0,75 mrad na vzdálenost 1250 m. Tento rozdíl je způsobený klesající energií impulzu kvůli útlumu atmosféry a nižší odraženou energií od terče.



Obr. 5-1 Pravděpodobnost změření správné vzdálenosti v závislosti na úhlovém posunu terče na vzdálenosti 2350 m [5]



Obr. 5-2 Pravděpodobnost změření správné vzdálenosti v závislosti na úhlovém posunu terče na vzdálenosti 1250 m [5]

Nepřesnost měření

Nepřesnost měření při tomto experimentu závisí na vzdálenosti k terči a chybě kroku posunu terče. Předpokládejme maximální chybu kroku jako polovinu jeho velikosti $\frac{\Delta x}{2}$, Nepřesnost měření je pak dána vztahem

$$u_{2\omega} = \arcsin\frac{\Delta x}{2d} \approx \frac{\Delta x}{2d}\ \text{mrad} \quad , \qquad (5.7)$$

po dosazení do (5.7) vyjde nepřesnost pro jednotlivá měření $u_{2\omega d1} = 0{,}04$ a $u_{2\omega d2} = 0{,}02$ mrad. Tato přesnost měření je řádově vyšší než udávaná přesnost stanice, která má nepřesnost až 50 % naměřené hodnoty, v našem případě by to bylo až 0,35 mrad. Ze vztahu (0.7) vyplývá, že s delší vzdáleností měření klesá nepřesnost měření úhlu divergence.

5.2. Měření zaznamenané stopy ILD

Zbraňové stanice s ILD mají z důvodu rektifikace a kontroly ILD možnost zobrazení jeho stopy na displeji zobrazovací jednotky. To se děje pomocí citlivé vrstvy na bázi fosforu, která reaguje na záření o vlnové délce použitého laseru a zobrazí jeho stopu. Toho se dá využít pro měření rozbíhavosti svazku ILD.

5.2.1. Princip měření

Ze zaznamenaného obrazu stopy impulzu se změří její rozměry, porovnají se se známým rozměrem v obrazu a z nich se vypočítá divergence svazku.

5.2.2. Postup měření

Do vzdálenosti d se umístí terč s měřítkem a měří se k němu vzdálenost. Odražený laserový impulz se na displeji zobrazovací jednotky projeví jako skvrna v odpovídající velikosti na displeji. Zaznamená se obraz displeje a pomocí měřítka se změří rozměry stopy impulzu.

5.2.3. Vyhodnocení měření

Výsledkem měření je šířka stopy laserového impulzu x změřená podle měřítka, které je na terči. Pak je divergence svazku určena

$$2\omega = \arcsin\left(\frac{x}{2d}\right) \approx \frac{x}{2d} \quad , \tag{5.8}$$

Nepřesnost měření je pak dána nepřesností změřené šířky stopy a nepřesností změřené vzdálenosti k terči.

$$\Delta 2\omega_s = \sqrt{\left(\frac{-x}{2d^2}.\Delta d\right)^2 + \left(\frac{1}{2d}.\Delta x\right)^2} \quad , \tag{5.9}$$

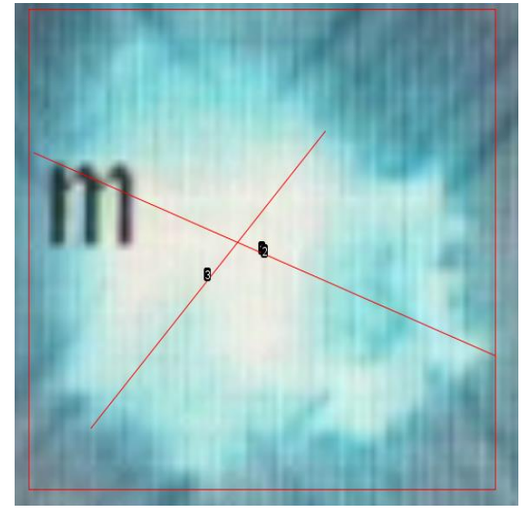
Nepřesnost měření vzdálenosti k terči Δd je dána nepřesností měřidla. Nepřesnost měření rozměrů stopy impulzu je dána rozlišovací schopností zobrazovací jednotky, nepřesností záznamového zařízení a nepřesností rozměrů měřítka.

5.2.4. Experimentální ověření

Při rektifikaci zbraňové stanice se využívá originální rektifikační terč. Terč se rektifikuje na vzdálenost $d = 15$ m. Sestává se z několika záměrných křížů s přesnými vzdálenostmi, které slouží pro rektifikaci jednotlivých prvků zbraňové stanice. VIM modul zobrazuje stopu ILD při měření. Průměry kruhů jsou známé, takže je možné podle záznamu vyhodnotit šířku stopy ILD na dané vzdálenosti.

5.2.5. Měření a výpočet

Z pořízeného záznamu lze zjistit rozměry stopy laserového impulzu, VIM modul je schopný stopu zobrazit v obrazu.



Obr. 5-3 Měření stopy laserového impulzu

Z obr. 5-3 je vidět, že stopa laserového impulzu nemá očekávaný kruhový tvar, ale je deformovaná. K měření stopy je využitý obdélník, kterým je ohraničena celá stopa laserového impulzu. Pomocí známého průměru kruhu jsou přepočítány obrazové rozměry obdélníka na skutečné rozměry. K tomu je doplněno měření nejužší a nejširší části stopy laserového impulzu.

Vzdálenost k terči $d = 15$ m, průměr rektifikačního kruhu $x_{rekt} = 44$ mm, podle technologického předpisu k rektifikaci se musí celá stopa impulzu vejít do určeného kruhu, tvar stopy se v předpisu neřeší.

Maximální povolený úhel $2\omega_{rekt}$ podle (5.8) je pak

$$2\omega_{rekt} = 1{,}47 \text{ mrad} \quad , \qquad (5.10)$$

Úhel divergence z naměřených rozměrů je v tabulce 6.

Tabulka 6- Naměřené vybrané rozměry stopy laserového impulzu

Rozměr	x [mm]	2ω [mrad]	$2\omega_{rekt}$
Obdélník šířka	47,1	1,57	+7 %
Obdélník výška	42,9	1,43	-3 %
Rozměr nejdelší	49,9	1,66	+13 %
Rozměr nejkratší	35,5	1,18	-20 %

Nepřesnost měření

Vzdálenost k terči byla měřena pásmem, přesnost měření je Δd = 5 cm. Nepřesnost měření stopy impulzu je dána rozlišovací schopností zobrazovací jednotky a měřením šířky obrazce, záznamové zařízení má řádově vyšší rozlišovací schopnost než zobrazovací jednotka a jeho nepřesnost se zanedbává. Celková nepřesnost měření šířky impulzu $\Delta x = 2$ mm.

Nepřesnost měření úhlu divergence je pak podle (5.11)

$$\Delta 2\omega_s = \sqrt{\left(\frac{-x}{2d^2}.\Delta d\right)^2 + \left(\frac{1}{2d}.\Delta x\right)^2} = 0{,}07 \text{ mrad} \quad , \qquad (5.11)$$

Výška obdélníka odpovídá rozměrově předpokládané velikosti stopy impulzu. Šířka obdélníka a nejdelší rozměr však ukazují nerovnoměrné rozložení vyzařované energie impulzu, kdy jsou o více než 15 % širší, než je předpokládaný rozměr. Nejkratší rozměr ukazuje výraznou deformaci impulzu v pravém horním kvadrantu obdélníka.

5.2.6. Dílčí závěr

Z doprovodných záznamů získaných při měření lze získat data, která mohou iniciovat další měření. Dálkoměr není správně rektifikován, neboť stopa impulzu je mimo předpokládanou oblast podle rektifikačního terče. Je nutné jej znovu rektifikovat. Z naměřených hodnot lze usoudit, že laserový dálkoměr nemá kruhový tvar impulzu, a proto může docházet k chybnému měření dálky.

6. Změna pravděpodobnosti změření správné vzdálenosti v závislosti na reflektivitě cíle

Reflektivita cíle ovlivňuje množství odražené energie laserového impulzu zpět k přijímači. Nespolupracující cíl (protivník) se snaží svoji reflektivitu minimalizovat, a tím pádem i snížit pravděpodobnost změření správné vzdálenosti. Podle rovnice (4.9.) se se snižující se reflektivitou cíle lineárně snižuje přijatý signál, SNR a tím pádem i dosah přístroje.

6.1. Pravděpodobnost správné detekce cíle

Šumový proud má normální hustotu rozdělení pravděpodobnosti s nulovou střední hodnotou a rozptylem $\sqrt{\tilde{\imath}_N^2}$, hustota rozdělení pravděpodobnosti je pak

$$p_0(i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \tilde{\imath}_N^2}} \cdot e^{-\left(\frac{i^2}{2\tilde{\imath}_N^2}\right)} \quad , \qquad (6.1)$$

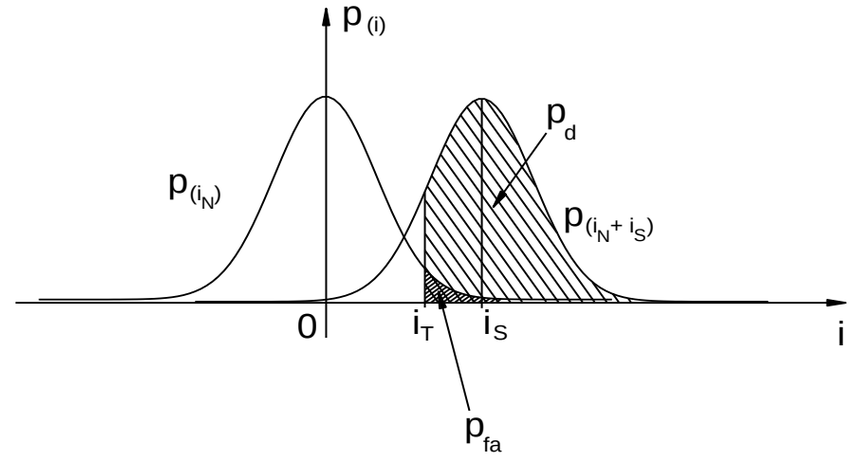
Signální proud je pak definován normálním rozdělením se střední hodnotou i_s a rozptylem $\sqrt{\tilde{\imath}_N^2}$.

$$p_1(i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \tilde{\imath}_N^2}} \cdot e^{-\left(\frac{(i-i_s)^2}{2\tilde{\imath}_N^2}\right)} \quad , \qquad (6.2)$$

Poměr SNR je pak

$$SNR = \frac{i_s}{\sqrt{\overline{i_N^2}}} \quad , \qquad (6.3)$$

Ze statistického hlediska má šumový i signální proud normální rozložení podle obr. 6-1. Čím je vyšší střední hodnota signálního proudu, tím je vyšší pravděpodobnost správné detekce vzdálenosti. Vyšší hodnota prahového proudu snižuje pravděpodobnost správné detekce.



obr. 6-1 Rozdělení signálního a šumového proudu

Falešná detekce nastane, pokud šumový proud přesáhne hraniční proud i_t a signální proud nebude detekován. Pravděpodobnost tohoto jevu odpovídá hodnotě distribuční funkce rozložení pravděpodobnosti $p_0(i)$ pro vyšší než prahový proud.

$$p_{fa} = \int_{i_T}^{\infty} p_0(i) \cdot \mathrm{d}i \quad , \qquad (6.4)$$

Správná detekce je jev, který nastane, pokud signální proud bude vyšší než hraniční proud a zároveň bude vyšší než šumový proud. Pravděpodobnost je možné vyjádřit jako rozdíl hodnoty distribuční funkce pro signální proud vyšší než prahový a pravděpodobnosti falešné detekce.

$$p_d = \int_{i_T}^{\infty} p_i(i) \cdot \mathrm{d}i - p_{fa} \quad , \qquad (6.5)$$

6.2. Vliv změny reflektivity na správnou detekci

SNR je podle rovnice 4.9. přímo úměrný změně reflektivity cíle. Reflektivita ovlivňuje velikost odražené energie a tím i vyvolaný signální proud i_s.

7. Závěr

Článek se věnuje rozboru činnosti ILD, který tvoří jednu z hlavních částí systémů řízení palby i průzkumných pozorovacích systémů. Ukazuje možnosti měření dosahu laserového dálkoměru v polních i laboratorních podmínkách a modeluje předpokládané výsledky.

Matematický model se věnuje teoretickému rozboru funkce ILD a převádí úlohu hledání dosahu na hledání vzdálenosti, ve které klesne SNR pod zadanou mez. Model porovnává i vliv atmosféry na dosah přístroje. Proměnlivost atmosféry neumožňuje reprodukovatelné měření ve skutečných podmínkách. Pro teoretické posouzení dosahu lze vliv atmosféry zanedbat nebo stanovit konkrétní hodnotu útlumu atmosféry. Rozbor jednotlivých veličin ukázal, jakým způsobem lze efektivně zvýšit dosah ILD pomocí změny konstrukčních charakteristik přístroje.

Z výsledků zkoumání vyplývá, že dosah ILD podle metody zadaného SNR na daný cíl a za daných podmínek je ovlivněn konstrukčními charakteristikami přístroje. Tyto charakteristiky je možné objektivně měřit a porovnávat mezi sebou u jednotlivých typů ILD. Tyto výsledky mohou vytvořit základ pro standardizaci měření dosahu ILD, která zatím na poli ILD chybí.

Seznam literatury

[1] *STATIONS FOR TESTING LASER RANGE FINDERS.* **Chrzanowski, Krzysztof.** Paris : OECD CONFERENCE CENTER, 2014. OPTRO-2014- 2951830, https://paperzz.com/doc/7858894/stations-for-testing-laser-range-finders.

[2] **Katedra zbraní a munice, Univerzita Obrany.** *Chyba zamíření a její vliv při měření dálky laserovým dálkoměrem.* [prezentace] Brno : Univerzita obrany, 2022.

[3] **Willers, Cornelius J.** *Electro-Optical System Analysis and Design: A Radiometry Perspective.* Bellingham, WA USA : SPIE Press, 2013. https://doi.org/10.1117/3.1001964.

[4] **Krysztof, Chrzanowski.** LUNI Universal station for testing laser range finders. *Inframet.* [Online] Inframet, 2021. [Citace: 13. 2 2022.] https://www.inframet.com/Data_sheets/LUNI.pdf.

[5] *Chyba zamíření a její vliv při měření dálky laserovým dálkoměrem.* **K-201.** Brno : UO, Katedra zbraní a munice, 2003. Výukové materiály.

Diskuse a průběh konference

Vývoj exportu 2001 – 2020
AOBP
Vývoj exportu 2001 – 2020
AOBP

1918
100
2018
1918
100
2018

1918
100
2018
1918
100
2018

SUPERLASERS FOR THE REAL WORLD

ČESKÝ
OPTICK
KLASTR
Český optický klastr zlepšuje podn
tického průmyslu v České repu
mou spolupráce podniků, veře
dělávacího sektoru v oboru
elektronika, optomechatron
hanika v oblastech:
USTRIÁLNÍ A SPOTŘEB
NSKÁ OPTIKA
LNÁ TECHNIKA

Název:	Sborník - Český optický klast 2022
Podnázev:	Nové trendy využití laserů a přístrojové techniky pro ozbrojené síly
Editoři:	npor. Ing. Ivan Pemčák; Ing. Kateřina Nováčková;
Vydavatel:	Univerzita obrany, Brno
Rok vydání:	2022

Publikace neprošla jazykovou úpravou.

ISBN 978-80-7582-177-5 (e-kniha)