

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

**LASERY**

Bakalářská práce

Vedoucí práce : RNDr. František Špulák

Autor: Jan Hommer

## **Anotace**

Tato bakalářská práce pojednává o širokých možnostech využití laserů a jejich praktického využití v každodenním životě. V úvodní části je popsána historie výzkumu, podstata a fyzikální vlastnosti laseru. Následující kapitola se věnuje rozdělením jednotlivých typů laserů podle různých kritérií. Další kapitola se zabývá bezpečností práce s lasery a jejich biologickými účinky. V závěru práce je popsána praktická ukázka měření rychlosti pomocí laserového měřiče rychlosti Micro DigiCam využívaného u Policie ČR.

## **Summary**

This bachelor thesis deals with the broad possibilities for the use of lasers and their practical use in everyday life. In the introductory section describes the history of research, principle of operation and physical properties of the laser. The following chapter deals with the distribution of types of lasers according to different criteria. The next chapter deals with the safety of lasers and their biological effects. In conclusion, this work is described a practical demonstration of speed measurement with a laser speed meter Micro DigiCam used by the Police of the Czech Republic.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „LASERY“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 10. listopadu 2009

.....

## **Poděkování**

Touto cestou chci poděkovat panu RNDr. Františku Špulákovi, za odborné vedení při zpracování této bakalářské práce a své rodině za trpělivý přístup k mé osobě v období celého studia vysoké školy.

## Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>1 HISTORIE</b> .....	<b>8</b>
<b>2 PRINCIP A FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY LASERU</b> .....	<b>9</b>
2.1 Teoretický základ laseru.....	10
2.2 Fyzikální princip laseru .....	12
<b>3 TYPY LASERŮ</b> .....	<b>14</b>
3.1 DĚLENÍ DLE AKTIVNÍHO PROSTŘEDÍ .....	14
3.1.1 Pevnolátkové lasery.....	14
3.1.1.1 Rubínový laser.....	15
3.1.1.2 Neodymový laser .....	16
3.1.2 Plynové lasery .....	16
3.1.2.1 Helium-neonový laser .....	16
3.1.2.2 Argonový laser .....	18
3.1.2.3 Laser s oxidem uhličitým (CO <sub>2</sub> laser).....	18
3.1.3 Kapalinové lasery .....	19
3.1.4 Chemické lasery .....	20
3.1.5 Plazmatické lasery .....	20
3.1.6 Polovodičové lasery .....	21
3.1.6.1 Injekční polovodičové lasery.....	21
3.1.6.2 Polovodičový laser buzený svazkem elektronů.....	22
3.1.7 Nové typy laserů.....	22
3.2 DĚLENÍ DLE VLNOVÉ DÉLKY .....	24
3.2.1 Infračervené lasery .....	24
3.2.2 Lasery v oblasti viditelného světla .....	25
3.2.3 Ultrafialové lasery .....	25
3.2.4 Rentgenové lasery .....	25
3.2.4.1 Klasické rentgenové lasery.....	26
3.2.4.2 Rentgenové lasery založené na volných elektronech.....	27
3.3 DĚLENÍ DLE VYUŽITÍ LASERŮ .....	28
3.3.1 Využití laseru pro účely měření .....	28
3.3.1.1 Laser ve stavebnictví .....	29
3.3.1.2 Laserové skenování (Laserscanning).....	30
3.3.2 Využití laserů v medicíně.....	31
3.3.2.1 Terapeutické lasery .....	32
3.3.2.2 Laseroterapie v gynekologii .....	32
3.3.2.3 Využití laseru v ORL a stomatologii .....	33
3.3.2.4 Využití v dermatologii .....	34
3.3.2.5 Využití laseru v oftalmologii .....	35
3.3.3 Využití laserů ve výpočetní technice .....	36
3.3.3.1 Optická mechanika (CD-ROM, DVD-ROM, BLU-RAY).....	37
3.3.3.2 Laserová tiskárna.....	38
3.3.4 Využití laserů v astronomii a geodézii a ekologii .....	39
3.3.5 Využití laserů v holografii.....	42
3.3.5.1 Holografické ukládání dat.....	42
3.3.6 Využití laseru v technologii .....	44

3.3.6.1	Řezání.....	45
3.3.6.2	Laserové značení.....	47
3.3.6.3	Laserové svařování.....	49
3.3.6.4	Laserové vrtání.....	49
<b>4</b>	<b>BEZPEČNOST PRÁCE S LASERY.....</b>	<b>51</b>
4.1	Biologické účinky laserů.....	51
4.1.1	Fotochemické účinky.....	51
4.1.2	Termické účinky.....	52
4.1.3	Netermické účinky.....	52
4.2	Ochranná opatření.....	53
4.3	Provozní řád a legislativa.....	53
<b>5</b>	<b>MĚŘENÍ RYCHLOSTI SYSTÉMEM MICRO DIGICAM.....</b>	<b>56</b>
5.1	Měřicí systém Micro DigiCam.....	56
5.2	Princip měření.....	57
5.3	Příprava měření systémem Micro DigiCam.....	58
5.4	Měření systémem Micro DigiCam.....	59
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>62</b>
	<b>Použitá literatura.....</b>	<b>63</b>
	<b>Přílohy.....</b>	<b>65</b>

## ÚVOD

Laserové technologie a výrobky zpracované těmito technologickými postupy se staly dnes již neodmyslitelnou součástí naší doby. I dnes dochází k neustálému vývoji a zdokonalování laserových technologií. Setkáváme se s nimi v mnoha oborech lidské činnosti. Existuje již velké množství možností pro uplatnění laserů a to nejen v oblastech technologické výroby, ale i v oblasti vědy a výzkumu, astronomie, geodézie a v neposlední řadě i v medicínské praxi, a to v celé řadě jejích oborů.

Tato bakalářská práce si proto klade za cíl podat ucelený přehled o vývoji a širokých možnostech využití laserových technologií. Metodika práce spočívala ve sběru dat a informací z knih a internetových článků, které jsem se snažil vytrždit a seřadit tak, aby bylo možné tuto práci využít např. při výuce.

Práce je rozdělena do několika částí. V první části by si měl čtenář vytvořit ucelenou představu o principech a fyzikálních základech laseru, další kapitola se zabývá jednotlivými typy laserů, jejich dělením a možnostem jejich využití. V předposlední části se krátce zmíním o biologických účincích laserů a v návaznosti na to o bezpečnostních předpisech, jež je nutné dodržovat při práci s těmito technologiemi.

Poslední kapitola je věnována praktické ukázce měření rychlosti pomocí laserového měřicího systému Micro DigiCam, který je standardní výbavou dopravní policie České republiky k měření rychlostních limitů na pozemních komunikacích.

## 1 HISTORIE

Historie vývoje laserových zařízení je relativně krátká. První základy pro vývoj laseru (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) položil v 1. polovině 20. století Albert Einstein. V roce 1917 vyslovil jako první myšlenku možnosti stimulované emise záření. Přesto trvalo ještě téměř 40 let, než bylo stimulované emise záření využito v prvním zařízení. V roce 1954 byl ve spolupráci amerického fyzika Ch. H. Townse a ruských fyziků N.G. Basova a A.M. Prochorova sestrojen přístroj nazvaný **MASER** (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Stimulované záření bylo tedy poprvé využito k zesílení záření v oblasti mikrovln. V roce 1964 se tito tři vědci za tento vynález podělili o Nobelovu cenu.

Již v roce 1958 se Shalov a Towns zmiňují o možnosti využití stimulované emise v oblasti infračerveného a optického spektra záření. Nositelům Nobelovi ceny se ještě podaří popsat metodu, jak dosáhnout stimulované emise v oblasti viditelného světla, ale laser, který by byl využitelný v praxi se jim již vyrobit nepodařilo.

Dalším iniciátorem vývoje laserových zařízení byl mladý fyzik T. Maiman, který na základě již publikovaných prací vyrábí v roce 1960, v kalifornském vědeckém ústavu první rubínový laser. Tento laser indukoval světlo v krátkých impulsech o vlnové délce ( $\lambda$ ) 694,3 nm. Ještě v témže roce se podařilo tomuto fyzikovi a jeho kolegům sestrojít helium-neonový laser, který byl již schopen pracovat v kontinuálním režimu. Tento typ laseru emitoval záření v infračervené oblasti spektra o vlnové délce  $\lambda=1150$  nm. Po roce 1961 šel vývoj laserových technologií již rychle kupředu. V roce 1960 byl sestrojen 1. neodymový laser. V roce 1964 pak první argonový laser.

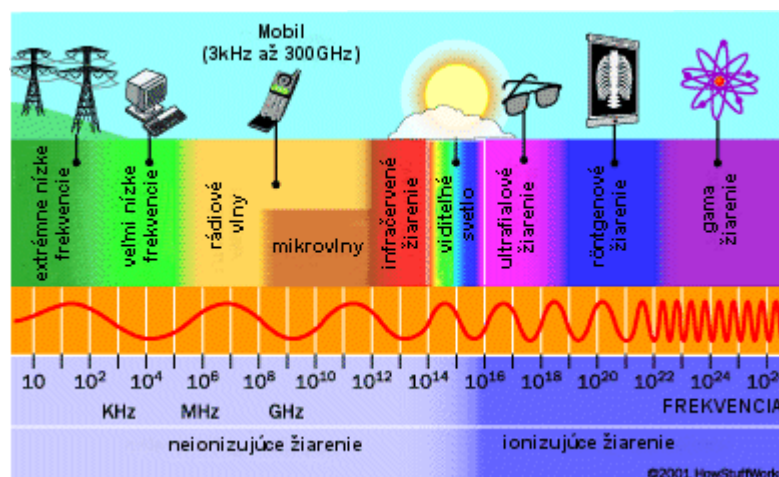
Po roce 1961 začínají laserové technologie rychle pronikat do různých oborů lidské činnosti. Za zmínku stojí aplikace laseru do medicíny. Zde bylo laserové záření poprvé použito v roce 1962 v oftalmologii a dále pak dermatologii a jinde. V průběhu let se pak laserové záření začíná využívat i v dalších oborech např. astronomie, geodézie, elektrotechnika aj.. V České Republice byl poprvé použit helium- neonový laser v roce 1963.



## 2 PRINCIP A FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY LASERU

Laserové záření patří do skupiny elektromagnetického záření. Abychom pochopili princip laseru, měli bychom si tedy nejprve charakterizovat elektromagnetické záření.

Na obrázku č. 1 začíná spektrum elektromagnetického záření rozhlasovými vlnami, jejichž vlnová délka je nejdelší a končí nebezpečným zářením gama ( $\gamma$ ), jehož vlnová délka je nejkratší. Světelné záření je jediné z typů elektromagnetického záření, které můžeme vnímat zrakem. V závislosti na vlnové délce můžeme vnímat jeho barvy od červené až po fialovou. Vlnová délka elektromagnetického záření také ovlivňuje účinky záření na živou tkáň. Čím kratší vlnová délka tím je záření nebezpečnější.



Obr. č. 1 Spektrum elektromagnetického záření

Elektromagnetické záření můžeme charakterizovat pomocí kvant fotonů, nebo-li elektromagnetických kvant energie.

**Fotony** – jsou elementární částice nelátkové povahy. Mají tedy nulovou klidovou hmotnost (v klidu tedy neexistují), proto je nelze popsat jinak než matematicky. Ve vakuu se šíří rychlostí světla  $c = 299\,792\,498\text{ ms}^{-1}$ .

### Energie fotonu :

$$E = h \cdot f = m \cdot c^2 \quad (1)$$

f - frekvence elektromagnetického vlnění

h - Planckova konstanta ( $h=6,6256 \cdot 10^{-34}$ )

c - rychlost světla ve vakuu ( $c=299\,792\,498 \text{ ms}^{-1}$ )

m - hmotnost

### Hybnost fotonu:

$$p = m \cdot c = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

p – hybnost

$\lambda$  – vlnová délka

c - rychlost světla ve vakuu ( $c=299\,792\,498 \text{ ms}^{-1}$ )

### Hmotnost fotonu:

$$m = \frac{h \cdot f}{c^2} \quad (3)$$

f - frekvence elektromagnetického vlnění

h - Planckova konstanta ( $h=6,6256 \cdot 10^{-34}$ )

c - rychlost světla ve vakuu ( $c=299\,792\,498 \text{ ms}^{-1}$ )

Elektromagnetické záření má tedy vlastnosti:

1. **Vlnové** - jsou charakterizovány především interferencí (vzájemné ovlivňování, křížení), ohybem a polarizací.
2. **Korpuskulární** (částicové) - jsou charakterizované přítomností částic (fotonů), které mají svou hmotnost, frekvenci a vlnovou délku.

## 2.1 Teoretický základ laseru

LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) z anglického překladu vidíme že, laserové světlo vzniká zesílením světla pomocí stimulované emise

záření. Nejprve si ale musíme vysvětlit, jak vzniká samotné světlo. Běžné světlo vzniká na základě spontánní emise a vyzařují ho atomy.

### **Spontánní emise záření:**

Jak již bylo řečeno světlo vyzařují atomy. Tyto atomy se po dodání určitého množství energie (např. zahřátím) dostanou do excitovaného stavu. To znamená, že se elektrony obíhající v atomovém obalu na určité energetické hladině dostanou na vyšší energetickou hladinu. Z tohoto vybuzeného stavu se ale elektrony prakticky okamžitě vrací zpět do původního stavu, přičemž náhodně vyzařují kvantum energie (fotonů). Energie vyzářeného fotonu pak odpovídá vztahu (4), tedy rozdílu energií mezi jednotlivými energetickými hladinami.

$$H_f = E_2 - E_1 \quad (4)$$

$H_f$  – energie fotonu

Světlo vyzářené při spontánní emisí je pak nekoherentní (směsí různých vlnových délek a různých frekvencí ) a tvoří vždy rozbíhavý svazek paprsků.

### **Stimulovaná emise záření :**

Stimulovanou emisí vzniká laserové světlo. Stejně jako při spontánní emisí je nutné, aby se elektrony v elektronovém obalu dostaly na vyšší energetickou hladinu, ale je třeba, je v tomto vybuzeném stavu udržet dostatečně dlouhou dobu. Proto je nutné pro tvorbu laserového světla využít tzv. aktivní prostředí. Dnes je možno použít již velké množství látek. V těchto látkách zůstávají elektrony v excitovaném stavu dostatečně dlouho na tzv. metastabilní hladině.

Po další stimulaci fotonem, který má energii odpovídající rozdílu vyšší a nižší energetické hladiny atomu, se excitovaný elektron vrací zpět do původního stavu, přičemž vyzáří další kvantum energie o stejné vlnové délce. Tento nový foton pak vyvolá emisí dalšího a ten dalšího, vždy o stejné energii. Dochází tedy ke stimulované emisí a zesílení světla.

## 2.2 Fyzikální princip laseru

Pro činnost laseru je využitelná pouze emise stimulovaná a je nutné zajistit, aby co nejvíce atomů (molekul) v tzv. aktivním laseru bylo ve vybuzeném stavu. To znamená, že na vyšších energetických hladinách, musí být více částic než na hladinách nižších. Tento stav se nazývá inverzí populace. Při dopadu fotonu příslušné frekvence na tento systém dojde ke stimulaci excitovaných částic a vyzáření fotonů stejné vlnové délky, polarizace a směru pohybu jako původní foton. Každý z těchto fotonů, může stimulovat další atomy, a tak dochází k postupnému zvyšování počtu fotonů a zesilování původního záření.[1]

### **Koherence (uspořádanost)**

Světlo laseru je koherentní – uspořádané, světelné vlny nejsou vůči sobě ani posunuté, jsou ve fázi a mají malou divergenci (rozbíhavost). Paprsek laserového záření je tedy vždy rovnoběžný a ani se vzrůstající vzdáleností tato vlastnost u kvalitního laseru nemizí.

Pro vytvoření rovnoběžného paprsku laseru jsou používána dvě rovnoběžná zrcadla, mezi kterými je aktivní prostředí, ve kterém dochází ke stimulované emisi. Tyto dvě zrcadla zajišťují, že pouze fotony, které mají přesně rovnoběžný směr, jsou v podobě laserového paprsku vypuštěny polopropustným zrcadlem ven. Fotony, které neprobíhají rovnoběžně, se pouze několikrát odrazí od zrcadel optického rezonátoru a rozptýlí se do stran.

### **Monochromaticita (jednobarevnost)**

Viditelné světlo se skládá z fotonů mnoha vlnových délek. Je tedy složeno z vlnové délky všech barev. Laserové světlo je monochromatické. Laserový paprsek tedy vyzařuje světlo o stejné vlnové délce, stejné frekvenci a všechny paprsky mají tedy i stejné množství energie.

### **Intenzita**

Intenzita záření je dána vztahem tedy množstvím energie na jednotku plochy kolmo ke směru paprsku. Měří se ve watttech na  $\text{cm}^2$ . [2]

Intenzita laseru je velice vysoká a můžeme ji definovat jako výkon laseru na jednotku plochy. S přibývajícím vzdáleností pak intenzita paprsku laseru klesá jen nepatrně.

### 3 TYPY LASERŮ

Lasery můžeme dělit podle různých hledisek. Nejzákladnější dělení je asi podle aktivního prostředí. Tedy podle typu prostředí, ve kterém dochází ke stimulované emisi záření. Další možnost dělení je podle způsobu jakým dodáváme laseru energii (podle typu buzení). Různé typy laserů mohou mít také rozdílnou vlnovou délku. Na vlnové délce závisí pak i barva laserového paprsku. Lasery mohou také pracovat v různých časových režimech (kontinuální, pulzní), proto je v neposlední řadě můžeme rozdělit i podle režimu práce. V dalších kapitolách proberu podrobněji jednotlivé typy laserů.

#### 3.1 DĚLENÍ DLE AKTIVNÍHO PROSTŘEDÍ

Aktivní prostředí je látkové prostředí umístěné mezi dvěma rovnoběžnými zrcadly optického rezonátoru. Toto prostředí může být různého skupenství (pevné, plynné nebo kapalné látky). Jako první byl vyroben pevnolátkový rubínový laser, jehož aktivním materiálem je  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$ . V současnosti je jako aktivního prostředí využíváno velké množství látek.

##### 3.1.1 Pevnolátkové lasery

Jako první byl zkonstruován laser s pevnolátkovým aktivním prostředím. V pevnolátkových laserech je využíváno opticky propustné látky – dielektrika. Matrice dané látky musí tedy být opticky homogenní a musí ji být možné technologicky vyrobit.

Mezi takové látky patří :

- *sklo* - oproti jiným krystalům menší tvrdost a tepelnou vodivost a větší rozměr.
- *keramika* - má horší vlastnosti než krystaly, ale je ekonomicky nejvýhodnější.
- *krystaly*:
  - a) oxidy : jsou tvrdé a mají velkou tepelnou vodivost (krystal rubínu  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}^{3+}$ ),
  - b) granáty : YAG ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ) jde o velice tvrdý granát a lze ho uměle vyrobit,

- c) fluoridy : jde o měkčí izotopické krystalky,
- d) fosfáty : do této skupiny patří např. kalcium fluorofosfát,
- e) oxysulfidy : patří sem např. gadolinium, lutecium, lanthan oxysulfid.

Aktivní prostředí musí obsahovat také tzv. aktivátor. Aktivátory jsou ionty nebo atomy, které jsou součástí chemické matrice dielektrika.

Lze využít :

- transmisní skupiny prvků (železa a chromu s nezaplňenou slupkou 3d )
- atomy vzácných zemin (neodym a samarium s nezaplňenou slupkou 4f )
- skupiny aktinidů (uran s nezaplňenou slupkou 5f )

### 3.1.1.1 Rubínový laser

Rubínový laser sestrojil v roce 1960 americký vědec Theodor H. Maiman. Jde o pevnolátkový laser a jako aktivní prostředí zde použil krystal rubínu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), v němž jsou rovnoměrně rozptýleny trojmocné ionty chrómu  $\text{Cr}_3^+$  v koncentraci asi 0,05 %. Jeho vlnová délka je 694,3 nm. K excitaci iontů chrómu dochází po osvětlení krystalu rubínu intenzivním impulsem světla (vhodné vlnové délky – např. xenonová výbojka) s dobou trvání impulsu řádu desetin milisekundy.

Rubínový laser pracuje obvykle v impulsním režimu. Délka budícího impulsu je několik desetin milisekundy, až jedna milisekunda. Doba trvání výstupního impulsu by měla být co možná nejkratší, aby se dosáhlo co největší časové koncentrace energie, tj. co největší hustoty zářivého toku. Bez zvláštní konstrukční úpravy laseru trvá výstupní impuls přibližně jednu milisekundu a sestává z několika kratších impulsů. Aby se dosáhlo co možná nejkratšího impulsu, musí se laser poměrně složitě konstrukčně upravit, ale poté lze dosáhnout impulsu o době trvání řádově  $10^{-9}$  až  $10^{-12}$  sekundy. Zařízení má tak obrovskou hustotu, že odpovídá okamžitému výkonu řádu  $10^9$  wattů. Střední hodnota výkonu rubínových laserů je však malá, řádu desítek miliwattů. Celková účinnost je pouze několik procent. Při kontinuálním provozu je nutné účinné chlazení celého zařízení. Rubínového laseru se využívá v průmyslu k vrtání tvrdých materiálů, v lékařství v dermatologii a k laserové lokaci družic. [3]

### 3.1.1.2 Neodymový laser

Jedním z nejpoužívanějších pevnolátkových laserů je Nd:YAG laser, jehož aktivním prostředím je krystal yttrium – aluminium granát dotovaný neodymem. Laser vyzařuje infračervený paprsek o velké energii a vlnové délce 1064 nm, vyznačuje se také vysokou účinností. Lasery pracující v kontinuálním režimu jsou buzeny kryptonovou výbojkou a dosahují výkonů 100 W – 200 W. Lasery pracující v impulsním režimu jsou pak buzeny výbojkou xenonovou a dosahují energie až 5 Joulů při délce pulsu  $10^{-4}$ .

Osvědčují se i takzvané YAP lasery s krystalem yttrio - hlinitého perovskitu. Vedle korundu, skla a yttrio-hlinitého granátu se jako základní materiál používá také fluorit, wolframán vápenatý a jiné. Jako aktivní příměsi slouží většinou prvky vzácných zemin: chrom, kobalt, nikl nebo uran. Tyto prvky vydávají převážně červené a infračervené záření. [4]

### 3.1.2 Plynové lasery

Aktivní prostředí plynových laserů tvoří atomy (He-Ne), ionty (Ar laser), molekuly (CO<sub>2</sub> laser) či jejich směsi v plynné fázi. Využívají se zejména lasery pracující v kontinuálním režimu, ale existují i výkonné pulsní zařízení. Výhoda těchto laserů spočívá ve vysoké účinnosti, která se pohybuje okolo 40% (CO<sub>2</sub> laser). Nevýhodou je jejich malý výkon. Výkon laseru je totiž závislý na velikosti objemu plynu tvořícího aktivní prostředí, proto jsou výkonné plynové lasery velice rozměrné. Uplatnění nacházejí zejména v průmyslu v technických oblastech a dále v medicíně např. jako laserový skalpel (CO<sub>2</sub> laser). Dále se tento typ laseru využívá v oblasti zábavy při různých laserových show, např. argonový laser emitující modré nebo zelené světlo.

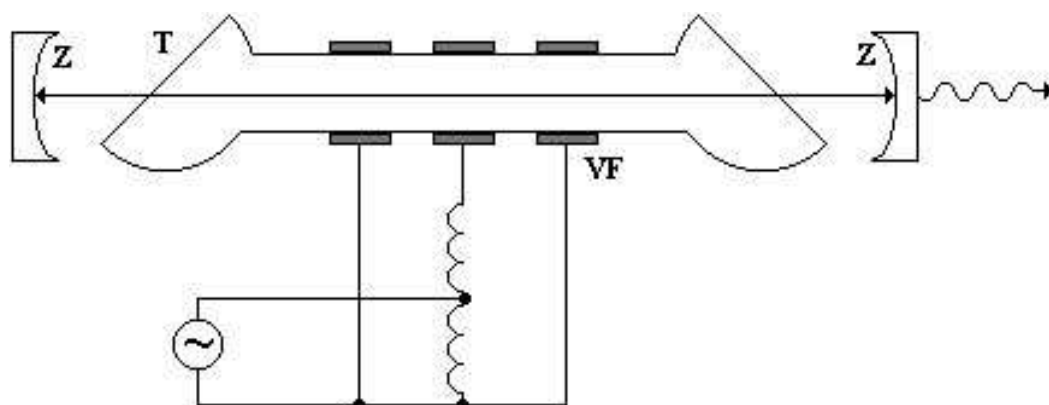
#### 3.1.2.1 Helium-neonový laser

Nejznámějším z plynových laserů je laser helium – neonový s vlnovou délkou 632,8 nm, což odpovídá červenému světlu. Zároveň He-Ne laser generuje i infračervené záření. Na obrázku č. 2 je zobrazen princip He-Ne laseru, který se skládá ze skleněné trubice (T) naplněné směsí hélia a neonu a vysokofrekvenčních elektrod (VF). VF



elektrody zde slouží k buzení elektrického výboje a nazýváme je budící VF. Skleněná trubice je umístěna mezi kulovými zrcadly (Z) a její konce jsou uzavřeny okénky skloněnými pod Brewsterovým úhlem. Jako aktivní plyn je zde použit neon.

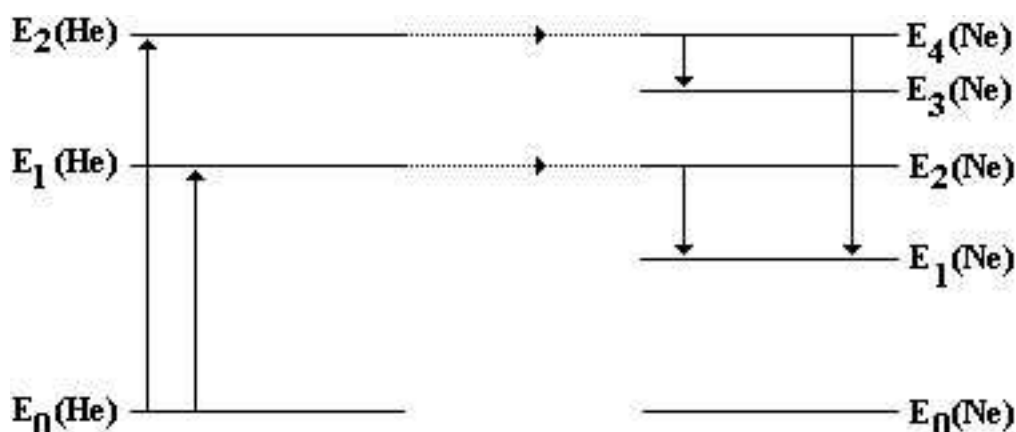
Brewsterův úhel - je to úhel dopadu svazku paprsků optických zařízení na rozhraní dvou dielektrických prostředí, při kterém dochází k odrazu jen záření lineárně polarizovaného v rovině kolmé k rovině dopadu. Záření s polarizací v rovině dopadu prochází rozhraním bez odrazu. Odrazu od rozhraní se užívá pro přípravu lineárně polarizovaného záření.[9]



Obr. č. 2 Helium-neonový laser

(<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=788>)

Způsob čerpání je znázorněn na obrázku č. 3. Atomy helia se snadno excitují v elektrickém výboji na metastabilní hladiny a při nepružných srážkách předávají svou energii atomům neonu. Metastabilní hladiny helia  $E_1(\text{He})$  a  $E_2(\text{He})$  totiž téměř přesně odpovídají energetickým hladinám neonu  $E_2(\text{Ne})$  a  $E_4(\text{Ne})$ . Při srážkách tak mohou atomy helia předávat přesně taková kvanta energie, která jsou atomy neonu schopny přijmout. Atomy neonu pak přecházejí stimulovanou emisí na nižší hladinu. Červené světlo  $\text{He} - \text{Ne}$  laseru odpovídá přechodu  $E_4 \rightarrow E_1$ . [5]



Obr. č. 3 Způsob čerpání hélíum-neonového laseru  
<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=788>

### 3.1.2.2 Argonový laser

Tento typ laseru vydává modrozelené světlo (zelené s vlnovou délkou 514 nm a modré s vlnovou délkou 488 nm). Je pro něj typická vysoká hustota elektrického proudu protékajícího výbojem a vysoká teplota. Výbojová trubice se většinou zhotovuje z keramického materiálu a proud se izoluje od stěn magnetickým polem. Laser je schopen generovat výkon desítky wattů ve spojitém režimu a je vhodný i pro technologické účely. Podobné vlastnosti má i kryptonový a kadmiový laser a lasery s parami kovů (např. mědi). Hélium-kadmiový laser je zajímavý tím, že je tříbarevný - vyzařuje světlo modré, zelené a červené.

### 3.1.2.3 Laser s oxidem uhličitým (CO<sub>2</sub> laser)

Řadí se mezi nejvýkonnější plynové lasery s velkou účinností, jehož pracovním plynem je oxid uhličitý. Generuje záření v infračervené oblasti spektra s vlnovou délkou 10,6 μm. V praxi nachází uplatnění především v průmyslu (technologie, vojenská a kosmická technika) a v medicíně.

U tohoto laseru se postupně uplatňovaly nové způsoby čerpání energie:

1. V roce 1966 využití tepelné energie, která vzniká při prudké expanzi zahřátého plynu. Tak byly realizovány gazodynamické lasery s rychlým, nadzvukovým proudem oxidu uhličitého.
2. V letech 1970-1971 to pak bylo čerpání pomocí svazku elektronů (elektroionizační lasery EIL). To umožnilo použít plyn pod vysokým tlakem a dále zvýšit laserový výkon.
3. V roce 1969 vznikly v USA lasery s oxidem uhličitým pod atmosférickým tlakem a s příčným buzením (tak zvané TEA lasery, transverse excitation atmospheric - příčné buzení, atmosférický). Takové lasery umožní vytvořit výkonné tepelné stroje s uzavřenou cirkulací plynu, v nichž se tepelná energie mění v obrovskou energii infračerveného záření. CO<sub>2</sub> laser nachází uplatnění v technologii, ve vojenské a kosmické technice a ve vědeckém výzkumu. [5]

### 3.1.3 Kapalinové lasery

Kapalinové lasery využívají jako aktivní prostředí roztoky organických barviv nebo speciálně připravené kapaliny, dopované ionty vzácných zemin. Pro buzení kapalinových laserů se užívá optické záření. Uplatnění nacházejí kapalinové lasery především ve spektroskopii a informační technice.

Novou aplikací je využití možnosti naladění přesné vlnové délky v medicíně, ve fotodynamické terapii, kdy se působením záření přesné vlnové délky ničí rakovinotvorný nádor předem „napuštěný“ speciálním organickým barvivem (barvivo se působením rozpadá a volný generovaný kyslík ničí rakovinotvorné buňky). [6]

Důležitou skupinou kapalinových laserů jsou tzv. barvivové lasery, které využívají roztoků různých organických látek, například rhodaminu. Příkladem uvádím rhodamonový laser, který generuje pulsní záření od zelené až po červenou oblast spektra. Výhodou těchto laserů je možnost plynulé změny vlnové délky laserového záření.

Podstatnou nevýhodou těchto laserů je nepříliš dlouhá životnost aktivního prostředí, které se vlivem světla a tepla rozkládá. Další nevýhoda spočívá v jejich

toxicitě. V současné době dochází právě z těchto důvodů k nahrazování kapalinových laserů lasery pevnolátkovými (přeladitelnými).

### 3.1.4 Chemické lasery

Využívají k čerpání energie do aktivního prostředí energie exotermických řetězových chemických reakcí. První takový laser s použitím reakce mezi vodíkem a chlorem byl zkonstruován v roce 1965 a první výkonné lasery tohoto druhu založené na reakci vodíku a fluoru vznikly v roce 1969. Zvláštním druhem chemického laseru založeného na disociaci molekul ultrafialovým zářením (takzvaný fotodisociační laser) je laser *jódový*.

Po dlouhou dobu nebyly k dispozici lasery generující ultrafialové záření. Podařilo se ho nakonec získat pomocí speciálních plynových laserů (dusíkový laser), avšak rozhodující obrat znamenaly až lasery excimerové. Tato skupina laserů využívá jako aktivního prostředí zvláštního druhu molekul, excimerů, vytvářených za účasti atomů vzácných plynů. Tyto molekuly, jinak nestabilní, mohou existovat jen za zvláštních podmínek, například v plynovém výboji, s atomy ve vysoce vybuzených, excitovaných stavech. Při rozpadu těchto exotických molekul vzniká právě ultrafialové záření. První excimerový laser byl realizován v roce 1970. Šlo o laser s kapalným xenonem buzený elektronovým svazkem. V roce 1976 se pak objevily plynové excimerové lasery s excimery XeF, KrF, ArF, tedy molekulami tvořenými atomy vzácných plynů a fluoru.

### 3.1.5 Plazmatické lasery

V plazmatickém laseru je inverze populace vytvářena uvnitř chladnouceho plazmatu. U těchto laserů se používají ionty argonu s vlnovou délkou 747 nm, ionty kadmia s vlnovou délkou 537,8 nm a ionty rtuti s vlnovou délkou 567 nm. Plazmatické lasery s aktivním prostředím vytvořeným mnohonásobně nabitými ionty jsou jednou z cest k vytvoření rentgenového laseru. Rentgenový laser je zdrojem koherentního rentgenového záření. U rentgenových laserů jsou ještě mnohé konstrukční problémy. Jedním z těchto problémů je, že potřebná zrcadla s vysokou odrazivostí v oblasti vlnových délek 10 nm prakticky neexistují.

### 3.1.6 Polovodičové lasery

Jsou dnes vůbec nejrozšířenější lasery. Hlavní výhodou polovodičových laserů je jejich kompaktnost a mimořádně velká účinnost, která dosahuje až 70%. Mohou pracovat jak v kontinuálním, tak v pulsním režimu a dosahují relativně vysokých výstupních výkonů (desítky Wattů).

Funkce polovodičového laseru je založena na vzniku stimulované emise záření v aktivním polovodičovém materiálu při kvantových přechodech elektronů z vodivostního do valenčního energetického pásu a na existenci zářivé rekombinace nosičů náboje (elektronů a děr).[14]

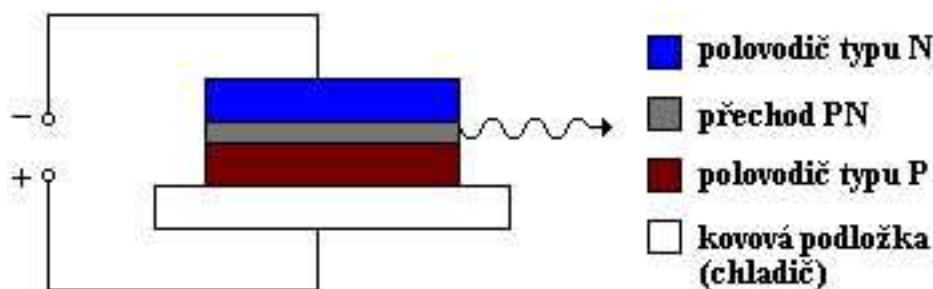
Aktivní prostředí je tvořeno polovodičovým materiálem, ve kterém jsou aktivními částicemi nerovnovážné elektrony a díry, tj. volné nosiče náboje, které mohou být injektovány. Významnou vlastností polovodičový laserů je možnost jejich přeladování v širokém spektrálním pásmu a pomocí výběru aktivního prostředí generace záření vlnových délek od  $\lambda = 0,3 \mu\text{m}$  až po  $\lambda = 30 \mu\text{m}$ . Hlavní nevýhodou těchto laserů je teplotní závislost aktivního polovodičového materiálu, která ovlivňuje parametry generovaného záření.

Polovodičové lasery dnes nahrazují zejména lasery pevnolátkové a helium-neonové, protože jsou levnější a menší. Uplatnění našly polovodičové lasery především v telekomunikacích a výpočetní technice (CD/DVD/BlueRay/HD-DVD přehrávač), ale s úspěchem jsou dnes využívány i pro buzení pevnolátkových laserů.

#### 3.1.6.1 Injekční polovodičové lasery

Ve většině případů je aktivní materiál složen z polovodiče typu P a N. Polovodiče vytvářejí tzv. P-N přechod. Buzení je v tomto případě prováděno přiložením elektrického pole k polovodičovému přechodu. Rezonátor je tvořen vybroušenými stranami polovodičového materiálu. V P-N přechodu elektrony a díry rekombinují při současné emisi záření. Odrazem od zrcadel otevřeného rezonátoru a mnohonásobným přechodem oblastí přechodu vzniká laserové záření. Nejznámější je GaAs polovodičový laser. Laser generuje záření v blízké infračervené oblasti na vlnové délce v okolí  $\lambda = 0,82$  až  $0,9 \mu\text{m}$ . Celkový laser je velmi malý, jeho rozměry jsou pouze 1 mm. Tloušťka P-N přechodu je  $2 \mu\text{m}$ . Výstupní výkon kontinuálního provozu je kolem 10 mW, v impulsním provozu je dosaženo 100 W. Polovodičové lasery s injekčním

buzením jsou nejlevnější a nejmenší lasery. Velký komerční význam mají především pro aplikace v počítačové technice a v samotné technice laserů, protože jsou využívány jako zdroje záření pro buzení pevnolátkových laserů. Účinnost polovodičových laserů dosahuje 50 až 60 %.



Obr. č. 4. Polovodičový laser injekčního typu

(<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=786>)

### 3.1.6.2 Polovodičový laser buzený svazkem elektronů

Aktivní prostředí je tvořeno vlastním polovodičem. Laser může být buzen fotony. Mnohem častěji je místo fotonů užito k buzení svazku elektronů. Rychlé elektrony procházejí polovodičovým vzorkem a iniciují přechody z pásu valenčního do pásu vodivostního. Mezi takto buzené aktivní materiály patří galium arsenidový (GaAs) polovodičový laser, kadmium sulfidový (CdS) a kadmium selenidový (CdSe) polovodičový laser. Teplotní závislost je natolik velká, že tyto polovodičové lasery generují záření pouze při nízkých teplotách, např. GaAs lasery se chladí na 80 K a některé systémy CdS a CdSe pracují pouze při teplotě kapalného helia (4,2 K).

### 3.1.7 Nové typy laserů

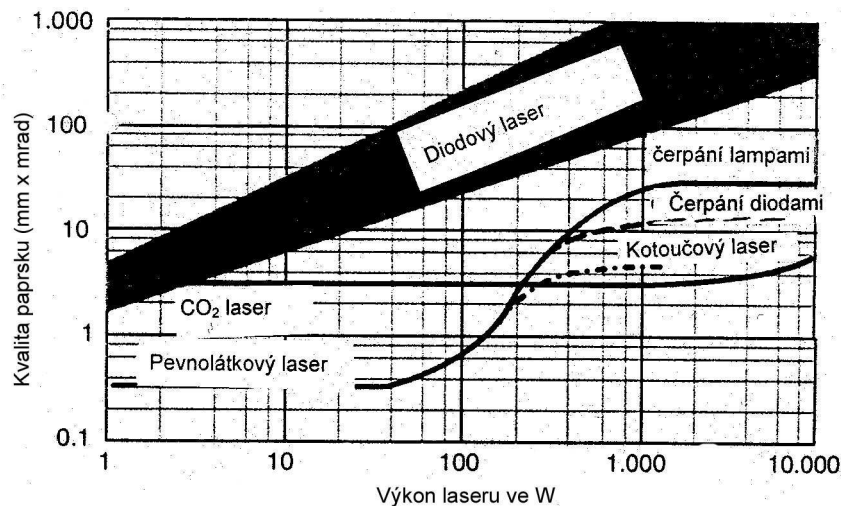
Razantní nástup zaznamenávají pevnolátkové lasery čerpané diodami. Nejčastěji se jedná o Nd:YAG lasery, které využívají pro čerpání energie z krystalu laserové diody (příp. diodové lasery), oproti stávajícím výbojkám.

Výhody těchto laserů:

- vyšší účinnost,
- menší spotřeba elektrické energie,
- menší celkové rozměry,
- delší trvanlivost diod oproti výbojkám (životnost diod je cca 10.000 hodin),
- menší provozní náklady. [6]

**Kotoučové lasery** – hlavním rozdílem proti stávajícím typům laseru je tvar použitého krystalu, který již nemá tvar válce nebo desky, ale je nahrazen kotoučem o tloušťce 0,2 mm a průměru 5-7 mm. Kotouč je vyroben z krystalu Yb:YAG, čímž se oproti krystalu z Nd:YAG zvýší účinnost čerpání ze 76 % na 91 %. Výkony kotoučových laserů se dnes pohybují do 350W, ale do budoucna bude možné vyrobit kotoučové lasery o výkonu řádově kW (skládáním několika kotoučů) a tím umožnit jejich použití pro obrábění a integraci do obráběcích strojů a center.

**Diodové lasery** – jedná se o vysoce výkonové lasery, u kterých je funkce založena na vzniku stimulované emise záření v aktivním polovodičovém materiálu. Na rozdíl od ostatních druhů laserů se děje přechod elektronů mezi dovolenými energetickými pásy a ne mezi energetickými hladinami. Buzení je realizováno fotony, svazkem elektronů nebo elektrickým polem. Polovodičové lasery generují záření o vlnové délce v rozsahu 808 až 940 nm. Mohou být postaveny lasery o výstupním výkonu 30 W až 8 kW. Výhodou těchto laserů je především kompaktní konstrukce, malé rozměry, vysoká účinnost a hospodárny provoz. Účinnost je až 50 %. Hospodárnost provozu těchto laserů je dána tím, že pro svůj provoz nepoužívá ani lampy ani drahé plyny, ale diody, jejichž životnost je cca 10.000 hodin. U vysoce výkonných diodových laserů má vystupující paprsek tvar obdélníkové plochy. Laser o výstupním výkonu 150 W má po zaostření rozměr stopy 0,6 x 1,2 mm. Lze jej zaostřit i na 1,3 x 1,3 mm nebo na stopu ve tvaru kruhu o průřezu 1,5 mm. Srovnání kvality paprsku vysoce výkonných diodových laserů s CO<sub>2</sub> a Nd:YAG lasery je na obrázku č. 5. [11]



Obr. č. 5 Srovnání kvality paprsku vysoce výkonných diodových laserů s CO<sub>2</sub> a Nd:YAG

### 3.2 DĚLENÍ DLE VLNOVÉ DÉLKY

Od spuštění prvního laseru uběhlo téměř čtyřicet let. Během této doby se začaly objevovat nové typy laserů, lišící se jednak konstrukčním uspořádáním nebo rozdílným aktivním prostředím. Vznikaly také lasery s dalšími vlnovými délkami v oblasti *viditelného, infračerveného, ultrafialového* a dokonce i *rentgenového záření*. Každý z těchto laserů našel uplatnění v jiné oblasti lidské činnosti.

#### 3.2.1 Infračervené lasery

Elektromagnetické vlny kratší než 1mm se nazývají jako infračervené a jsou považovány za „světlo“, přestože toto záření je viditelné pouze při vlnových délkách více než 10<sup>3</sup>krát kratších než vlnová délka 1 mm, která je považována za začátek infračervené oblasti.

V současnosti se infračervený laser uplatňuje zejména v medicíně, kde se nejčastěji používají Nd:YAG a CO<sub>2</sub> lasery. U operace provedené laserem je řez hladký a tkáň je poškozena jen tepelnou nekrózou. Tento zákrok je bezpečný, neinvazní, efektivní z hlediska vynaložených nákladů, a nemá žádné vedlejší účinky.

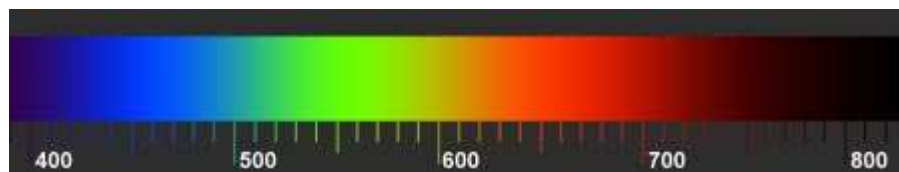
Další využití infračerveného laseru je např. v měřicích přístrojích, příkladem bych uvedl bezdotykový infračervený digitální teploměr. Tato bezkontaktní metoda



měření je vhodná pro měření teploty na obtížně přístupných místech (el. instalace, pohyblivé mechanismy, určení teploty požáru HZS apod.).

### 3.2.2 Lasery v oblasti viditelného světla

Lasery pracující ve viditelném světle (obr. č. 6), mají vlnovou délku od 380 nm do 630 nm. Podle vlnové délky mohou lasery zařazené do této skupiny vyzařovat světelný paprsek všech barev viditelného spektra (červený, zelený, modrý, fialový). V současnosti nejnižší vlnovou délku v oblasti viditelného spektra vyzařuje fialový laser (violet 395 nm - 410 nm) a modrý laser (blue 465 nm). Jedná se o laserovou diodu s minimální energetickou náročností (5 mW). Příkladem laseru vyzařujícího paprsek v oblasti viditelného světla, který všichni jistě dobře známe je např. obyčejné laserové ukazovátko.



Obr. č. 6 Elektromagnetické záření – viditelné světlo

### 3.2.3 Ultrafialové lasery

V UV oblasti pracují různé druhy laserů, které jsou využitelné v mnoha oborech. Patří sem např. *vodíkový laser* (100 nm – 165 nm) nebo *excimérový laser* (193 nm - 351 nm), popř. *dusíkový laser* (337 nm), jejich uplatnění nalezneme zejména v různých oblastech medicíny.

### 3.2.4 Rentgenové lasery

Vznik laserového záření o vysoké energii elektromagnetického záření, pohybující se v oblasti rentgenového záření nebo záření gama, je nákladnější a je nutné využít složitějšího technologického postupu. Tak jako u klasických laserů potřebujeme atom nebo jádro v excitovaném stavu. Tyto vybuzené částice jsou pak opět stimulovány

a vybíjeny, přitom vzniká laserové záření s energií odpovídající rozdílu energie v excitovaném stavu a stavu s nižší energií, do kterého soustava přechází. U rentgenových laserů jde tedy o svazek vysokoenergetického elektromagnetického záření (rentgenové záření), jež má koherentní charakter. Čím vyšší intenzita a frekvence laseru má vznikat, tím větší energetický zdroj musíme použít k vybuzení systému. Nejen proto se tyto lasery vyvíjí mnohem pomaleji než lasery ve viditelné oblasti. Dalším úskalím vývoje rentgenových laserů bylo ještě donedávna potřeba usměrnit paprsky laseru, aby probíhali souběžně a vytvářeli silný zdroj rentgenového záření. To vědci dnes již vyřešili použitím dalších laserů, jež usměrňují atomy plynu a tím i emisi rentgenových paprsků.

Využití rentgenových laserů má velkou budoucnost například v medicíně, díky nim by mohli lékaři pozorovat tkáně s mnohem větším rozlišením než doposud. Bylo by tedy možné zobrazovat i velice malé nádory, které na obyčejných rentgenových snímcích nejsou pozorovatelné. Další možnosti využití rentgenových laserů jsou např. ve výzkumu v biologii nebo nanotechnologii, další možnosti využití se nabízí také pro vojenské účely.

#### **3.2.4.1 Klasické rentgenové lasery**

Klasický rentgenový laser lze připravit na základě plazmy z vysoce ionizovanými ionty. Jde například o ionty titanu ( $Z=22$ ) nebo selenu ( $Z=34$ ), kterým zůstalo jen tolik elektronů, kolik má neutrální neon ( $Z=10$ ). Může jít i o velmi těžké ionty, například wolframu ( $Z=74$ ), kterému zůstalo jen tolik elektronů, jako má neutrální nikl ( $Z=28$ ). Vnější elektron v takovém iontu je třeba vybudit do definovaného vybuzeného stavu nebo vyrazit ven z iontu, ať už postupně světlem světelného laseru nebo i najednou srážkami elektronů nebo iontů s ionty. Během stimulované emise, která probíhá hned nebo po rekombinaci (zachycení vyraženého elektronu), se pak produkuje laserové rentgenové záření. [19]

Pro vytvoření intenzivního pulzu rentgenového laserového záření, je třeba využít velice intenzivní pulz klasického světelného laseru. Jedním z prvních rentgenových laserů bylo zařízení NOVA sestavené v Spojených Státech Amerických. Pomocí svazku záření dvou laserů emitujících záření ve viditelné oblasti spektra se ze dvou stran ozářila fólie. Velice malý prostor tak absorboval výkon řádu MW, odpařením fólie tak vzniká plazma s ionty, které ztratily velké množství svých elektronů. Vzniklé ionty

se následně excitují, při srážkách s elektrony extrémně ohřátého „elektronového plynu“. Problém nastává při nutnosti ochlazování vysoce ohřátého pracovního plynu. Protože je třeba ochlazovat pulzy, nemohou se tak často opakovat. Vlnová délka klasických rentgenových laserů je cca desítky až jednotky nanometrů.

#### **3.2.4.2 Rentgenové lasery založené na volných elektronech**

Koherentní svazek rentgenového záření můžeme vytvořit také za pomoci urychlovače elektronů na relativistické energii. Tento způsob získávání rentgenového laserového záření je dnes předmětem výzkumu mnoha vědců pracujících v tomto oboru, protože skýtá veliký potenciál v možnosti vytvoření koherentního svazku záření o velmi vysokých energiích. Protože výroba rentgenového laserového záření tímto způsobem je velice nákladná a prostorově náročná (urychlovač částic má i několika kilometrový průběh), je dnes na celém světě jen několik takto fungujících zařízení. Jsou to např. pracoviště SLAC (Stanford Linear Accelerator Center), nebo právě vznikající pracoviště XFEL které bude stát v blízkosti německého Hamburku. Takto fungující zařízení nazýváme lasery založené na volných elektronech. Tato zařízení jsou založena na principu urychlení elektronů na rychlost blízkící se rychlosti světla. Tyto urychlené elektrony jsou pak přiváděny do rezonátoru se sinusovým magnetickým polem, který je složen z řady magnetů. Magnety jsou uspořádány tak, aby se u nich pravidelně střídala polarita. To znamená, že pokud má magnet jižní pól na jedné straně ve směru kolmém na pohyb urychleného elektronu a severní pól tedy na straně protilehlé, tak uložení vedlejšího magnetu je přesně opačné. Vzdálenosti mezi magnety jsou cca několik centimetrů (2 cm – 5 cm). Tento systém soustavy magnetů se nazývá undulátor.

Magnetické pole působí na pohybující se elektrony tzv. Lorentzovou silou, která mění směr pohybu elektronu ve směru kolmém na směr pohybu elektronu a zároveň kolmém na směr intenzity magnetického pole. Velikost jejich rychlosti i hybnosti a tedy i kinetická energie se nemění. Při průletu řadou magnetů se střídající se orientací magnetického pole se elektron střídavě vychyluje nalevo a napravo od směru svého pohybu. Pole střídajících se magnetů tak způsobí, že elektron začne oscilovat ve směru kolmém ke svému pohybu a směru intenzity magnetického pole magnetů. Zrychlení, kterým působí na elektron síla magnetického pole, způsobuje, že vyzařuje elektromagnetické záření. Vznikající elektromagnetické záření interaguje

s pohybujícími se elektrony a podporuje další emisi fotonů. Navíc pravidelná struktura, rychlost elektronů, téměř rovna rychlosti světla, a interakce elektronů s elektromagnetickým zářením zajišťuje koherenci vyzařovaného rentgenového záření.[19]

### **3.3 DĚLENÍ DLE VYUŽITÍ LASERŮ**

Lasery se dnes staly již neodmyslitelnou součástí naší doby. Setkáváme se s nimi v mnoha oborech nejrůznějších směrů a zaměření. Některá laserová zařízení jsou dnes již velice běžnou záležitostí. Už děti na základních školách se můžou při výuce setkat např. s obyčejným laserovým ukazovátkem. Na pultech našich obchodů můžeme najít nepřeberné množství těchto a podobných výrobků, založených na principu jednoduché laserové technologie.

Většina z nás se však setká pouze s těmito jednoduchými výrobky. Rád bych tedy v této kapitole připomenul široké možnosti využití laserů. Pouze malé množství lidí si dokáže vybavit, při jak důležitých činnostech a v kolika zajímavých a netradičních oborech, lze této technologii využít. Např. v astronomii, geodézii, holografii a v neposlední řadě i ve výzkumu a medicíně.

#### **3.3.1 Využití laseru pro účely měření**

Přístroje, které využívají pro svoji činnost laserového paprsku, se v dnešní době setkal snad každý z nás. Asi nejčastěji se s touto technikou můžeme setkat na stavbách, kde je využívána pro měření rovin při prvotní přípravě území či následných betonážích, při měření sklonů kanalizací, při automatickém řízení stavebních strojů či při přesném měření jiných vzdáleností touto bezkontaktní metodou. Dále se můžeme s měřícími lasery setkat např. v laboratořích (měření teploty, vzdálenosti.), zde je kladen důraz zejména na rychlost a přesnost měření nebo dokonce v silničním provozu, kde je laser využíván dopravní policií při měření rychlosti.

Nespornou výhodou laserové techniky při její aplikaci je její rychlost, přesnost a jednoduchost obsluhy. Již není potřeba klást žádné zvláštní nároky na obsluhu, ve většině případů se přístroj spouští stiskem jediného tlačítka. V posledních letech také

klesla cenová hladina laserových přístrojů a dnes je již srovnatelná s tradičními přístroji. V následujících kapitolách uvádím několik příkladů využití laserové techniky v praxi.

### 3.3.1.1 Laser ve stavebnictví

#### Rotační lasery

Vysílají okem viditelný laserový paprsek, který je většinou dobře viditelný pouze v interiérech. V exteriérech je vhodné používat přijímač laserového paprsku. Možnosti využití rotačních laserů na stavbách jsou velmi rozmanité. Při zakládání stavby je možno využít schopnosti rotačního laseru realizovat vodorovnou (nebo skloněnou) rovinu při úvodní přípravě terénu a další uplatnění nachází i při samotné výstavbě vnitřních částí objektu. Příkladem uvádím přesné zaměrování při upevňování stropních podhledů nebo betonáži podlahových ploch (obr. č. 7).



Obr. č. 7 Rotační laser používaný při betonáži  
([http://www.geopen.cz/files/uziti\\_laseru.pdf](http://www.geopen.cz/files/uziti_laseru.pdf))

#### Potrubní lasery

Při pokládce potrubí, při osazování obrubníků a samozřejmě při mnoha dalších liniových pracích se ve stavebnictví s úspěchem využívají potrubní (kanalizační, vytyčovací) lasery (obr. č. 8). Viditelný paprsek, vysílaný laserem, realizuje laserovou vodící přímku daného směru a sklonu, která po zachycení na terč umožňuje rychlé

a přesné osazení dalšího prvku liniové stavby bez nutnosti měření od základního bodu a následného složitého vypočítávání aktuálního sklonu. [7]



Obr. č. 8 Potrubní laser

([http://www.geopen.cz/files/uziti\\_laseru.pdf](http://www.geopen.cz/files/uziti_laseru.pdf))

### 3.3.1.2 Laserové skenování (Laserscanning)

Metoda laserového skenování je poměrně mladá technologie, která umožňuje bezkontaktní pořizování digitálních prostorových dat. Touto metodou lze pořídit přesnou dokumentaci prostorově složitých objektů, jako jsou fasády historických budov, tunely, průmyslová zařízení, plynového potrubí, tak i nepřístupných území např. lomů. Patří k nejmodernějším metodám sběru geo-dat.

Princip metody laserscanningu je v zásadě jednoduchý. Ze stanoviska se vyšle laserový paprsek měřící vzdálenost, kterou urazí směrem k povrchu měřeného území nebo objektu. Ve stejný okamžik se zaznamenává směr paprsku pomocí diferenciálního GPS a inerciální navigace. Vyhodnocením všech parametrů se získá informace o jednom určitém bodu povrchu. Laserové zařízení může být umístěné staticky na zemi (pozemní laserscanning) nebo dynamicky v letadle, vrtulníku či na automobilu.[8]

Primárním výstupem laserového skenování je soubor 3D souřadnic odražených bodů – takzvané mračno bodů (obr. č. 9). Pomocí automatických, poloautomatických a manuálních postupů je v dalším zpracování prováděna klasifikace těchto bodů. V některých případech je možné využít také informaci o intenzitě odrazu, případně

o reálné barvě každého z odrazů (v případě současného pořízení digitálních snímků objektu je možné mračno bodů obarvit s využitím těchto fotografií). Konečným výstupem zpracování dat z laserového skenování může být například velmi detailní model terénu nebo povrchu ve formě trojúhelníkového modelu, případně generalizovaný 3D vektorový model.[8]



Obr. č. 9 Laserscanning (<http://alexander.com.au/images/ls3.jpg>)

### 3.3.2 Využití laserů v medicíně

V medicínské praxi se začaly lasery objevovat již v roce 1961, kdy byly prováděny první experimenty, nejprve v oftalmologii později i v dermatologii a jinde. Začátkem 70. let se pak začínají do praxe dostávat i nízkovýkonné lasery. Je zkoumáno především jejich působení na reparační procesy špatně se hojících ran.

Velké možnosti využití dnes skýtá např. laserová chirurgie. Velkým plusem tohoto oboru je bezpochyby přesný, ostře ohraničený řez a práce v suchém operačním poli. Při použití laserového skalpelu dochází totiž k mikrotrombotizačnímu efektu a redukuje se tedy i krevní ztráty. Laserové řezání má i další nesporné výhody. Bylo prokázáno, že při použití této technologie se zmenšují pooperační edémy i bolestivost.

Podle doby po kterou laser na tkáň působí a podle použité vlnové délky může ve tkáních docházet k urychlení fyziologických procesů, k oteplení, dehydrataci,

urychlení mitózy, sraštění tkáně, denaturaci nebo termolýze. Nízkoenergetické lasery pak mají vliv především na metabolické změny tkáně. Lasery tedy mohou i podporovat výstavbu tkáně, urychlit likvidaci katabolitů, nebo zvýšit spotřebu kyslíku a glukózy v buňkách.

### **3.3.2.1 Terapeutické lasery**

Terapeutické lasery se využívají v mnoha odvětvích medicíny. Laserová chirurgie je dnes již běžnou praxí. K jednoduchým chirurgickým výkonům je využíván především CO<sub>2</sub> laser ale i jiné. Od výkonu asi 30 W má tento laser perfektní řezné vlastnosti. Lasery jsou bezesporu velkým přínosem také v terapii krvácení do gastrointestinálního traktu. Možnost bezkontaktní chirurgie laserovým skalpelem je především ceněna v oblasti onkochirurgie. Díky této vlastnosti laserů se snižuje riziko rozsevu nádorových buněk. I v těchto případech je využíván především CO<sub>2</sub> laser nebo laser neodymový. Díky možnosti soustředit paprsek na velmi malou plochu, je laserová chirurgie velkým přínosem v oblasti neurochirurgie. Dnes je proto možné odstranění tumorů i z oblastí dříve neoperabilních. Laserové záření je jedno z metod volby i v mnoha dalších oborech medicíny.

### **3.3.2.2 Laseroterapie v gynekologii**

V gynekologii se uplatňují lasery pracující v červené a infračervené oblasti světelného spektra. V tomto oboru se laseroterapie využívá především k tlumení bolesti, zlepšení výživy tkání, ke zmenšení otoků a k léčbě zánětů. Škála využití je tedy široká, proto uvádím jen pár známějších indikací.

- alergická dermatitida,
- HPV (human papiloma virus),
- ošetření operačních ran,
- stres inkontinence,
- kožní strie,
- prasklinky prsních bradavek.



Všeobecně platí:

Hustota energie : malá do 1,5 J/cm<sup>2</sup> je vhodná pro akutní stavy,  
vyšší nad 1,5 J/cm<sup>2</sup> vhodná pro stavy chronické.

Frekvence: 2-5 Hz dráždí a stimuluje,  
5-10 Hz tlumí bolest a zmenšuje otoky,  
nad 10 Hz má baktericidní a viricidní účinek.

### 3.3.2.3 Využití laseru v ORL a stomatologii

V mnoha oborech medicíny má laser široké možnosti využití, ani v těchto oborech tomu není jinak.

#### ORL (otorinolaryngologie)

V tomto oboru se využívá laseru především k léčení zánětů (akutních i chronických), bolesti či nehojících se ran. Je využíván He-Ne laser o vlnové délce 632,8 nm, nebo diodový laser o vlnové délce 670 nebo 830 nm. Pro informaci uvádím jen pár základních indikací.

- tonsilitis (zánět mandlí),
- herpes labialis (opar),
- perforace bubínku (zánětlivá i traumatická),
- podpora hojení po operacích,
- sinusitid (zánět nosních dutin),
- tinitus (pískání v uších).

#### Stomatologie

Ve stomatologii je laseru využíváno taktéž k tlumení bolesti a léčbě zánětů. Hustota energie laserového záření se pohybuje podle indikace nejčastěji mezi 0,5 – 8 J/ cm<sup>2</sup>. Využívá se zejména k léčbě:

- recidivujících aftů,
- dekubitů, (proleženin)
- paradentózy,
- zubního kazu (snížení bolesti při ošetření),

- stavu po extrakci,
- v implantologii (zubní náhrady).

### 3.3.2.4 Využití v dermatologii

V dermatologii je používáno mnoho druhů laserů. Nejčastěji používané lasery se pohybují ve viditelné a infračervené oblasti spektra.

#### Argonový laser

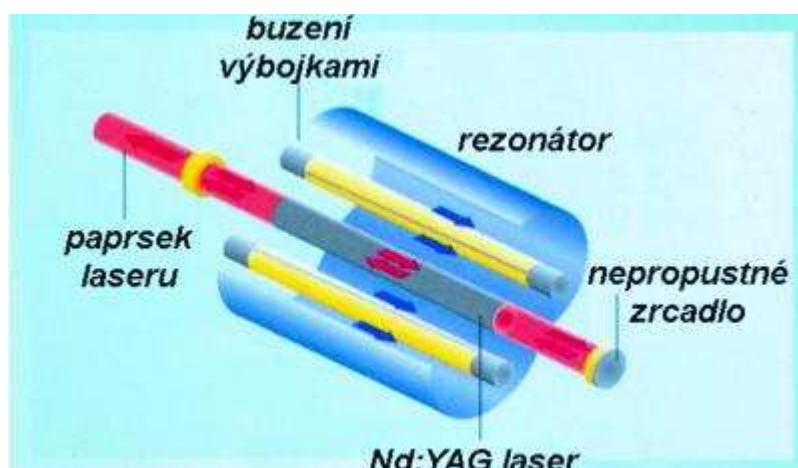
Jde o plynový laser, jehož aktivní prostředí tvoří ionty vzácných prvků. Používají se lasery o výkonu 1,5 W – 5 W ( $\lambda$  od 457,9 do 545,5 nm)

#### He – Ne laser

Jde o plynový atomární laser, pracující v kontinuálním režimu. Aktivní prostředí je tvořeno He a Ne. Výkon tohoto laseru se pohybuje mezi 5 W – 100 W, ( $\lambda$  632,8 nm). Aplikované jsou pak terapeutické dávky mezi 1-5 J/cm<sup>2</sup>

#### Nd : YAG laser

Jde o pevnolátkový laser, jehož aktivním prostředím je krystal ytrium aluminium granátu. V dermatologii jsou používány lasery o výkonu 5 W - 80 W, ( $\lambda$  1064 nm).



Obr. č. 10 Nd:YAG laser

(<http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem>)

### Excimérový laser

Jde o lasery fungující v ultrafialové oblasti spektra. Pracují s excitovanými diméry vzácných plynů a halogenidů. Jsou využívány lasery různých vlnových délek ( $\lambda$  157, 248, 351 nm). Jeho záření proniká do hloubky tkáně menší než 10  $\mu\text{m}$ . Umožňuje proto odstranění mikroskopických vrstev tkáně.

Indikace v dermatologii:

- pooperační jizvy,
- hypertrofické jizvy a keloidy,
- strie.

### **3.3.2.5 Využití laseru v oftalmologii**

Oftalmologie byla prvním medicínským oborem, ve kterém se terapie laser začala běžně využívat. Proto je i tomto oboru znát široké využití této technologie. Je přínosem v léčbě mnoha očních vad a onemocnění.

- léčba glaukomu (šedý zákal),
- diabetické retinopatie (poškození očních cév a sítnice),
- nitroočních nádorů,
- senilní degenerace sítnice a jiných.

Hítem dnešní doby se stala laserová operace (obr. č. 11) jež může odstranit brýle velkému množství lidí trpících nejen krátkozrakostí, ale i dalekozrakostí nebo astigmatismem. Tento typ operace se provádí metodou LASIK (Laser in Situ Keratomileusis). Jde o kombinaci operační techniky rohovkového laloku s modelováním tkáně excimer laserem. K modelování rohovky se excimer laser používá již od roku 1987. současným nejvyspělejším systémem pro laserové operace dioptrických vad je přístroj LADARVision® 4000. Jde o přístroj vybavený unikátním laserovým radarem, který 4000 krát za vteřinu vyhodnocuje polohu operovaného oka. Informace jsou pak předávány řídicí jednotce laseru, která takto může kontrolovat pohyb laserového paprsku, aby při pohybu oka dopadl vždy na správné místo.

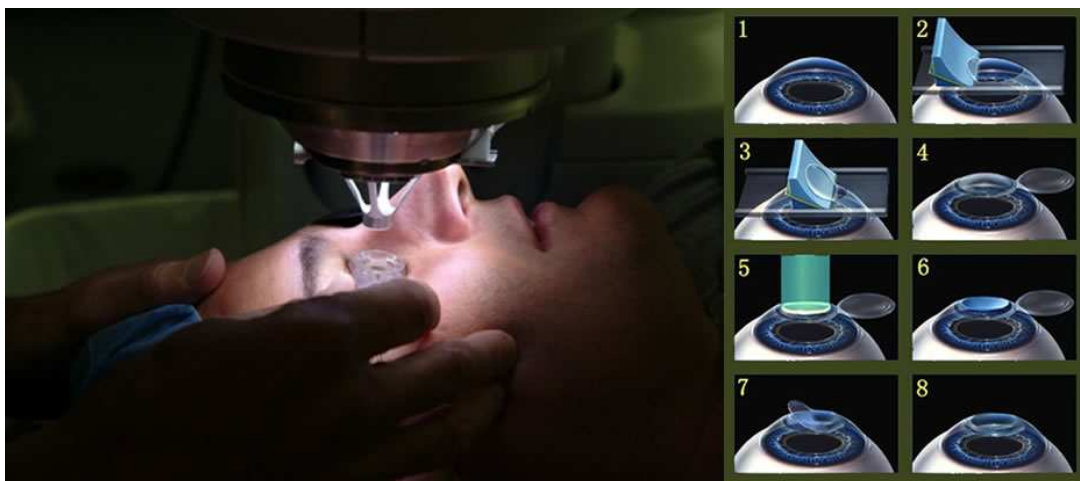
### ***Podstata laserové operace:***

Minimální průměr laserového paprsku (0,8 mm) a vhodná vlnová délka excimer laseru umožní odstranění mikrometrů tkáně po malých vrstvách. Výhodou je, že paprsek excimer laser neprochází rohovkou a neovlivňuje tedy ani tkáň uvnitř oka.

*Krátkozrakost:* při léčbě krátkozrakosti se odstraňuje laserem oblast středového stromatu a tím se zmenšuje zakřivení rohovky. To umožní paprskům světla dopadat zpět na sítnici.

*Dalekozrakost:* u této vady naopak zvětšujeme zakřivení rohovky tím, že odstraníme laserem vrstvičku stromatu na periferii rohovky. To opět umožní světelným paprskům dopadat na sítnici a ne mimo ni.

*Astigmatismus:* u astigmatismu je pak možné laserem vyrovnat nepravidelný povrch rohovky.



Obr. č. 11 Laserová operace očí metodou LASIK

### **3.3.3 Využití laserů ve výpočetní technice**

V oboru výpočetní technika se laser dostal do podvědomí lidí zejména v posledních dvou dekadách, kdy došlo k masivnímu rozvoji výpočetní techniky do domácností a počítač se dnes všeobecně považuje za běžnou věc. Ve výpočetní technice se laserová technologie nejčastěji využívá k archivaci, výměně (optická mechanika) nebo tisku (laserová tiskárna) počítačových dat. Příkladem uvádím principy

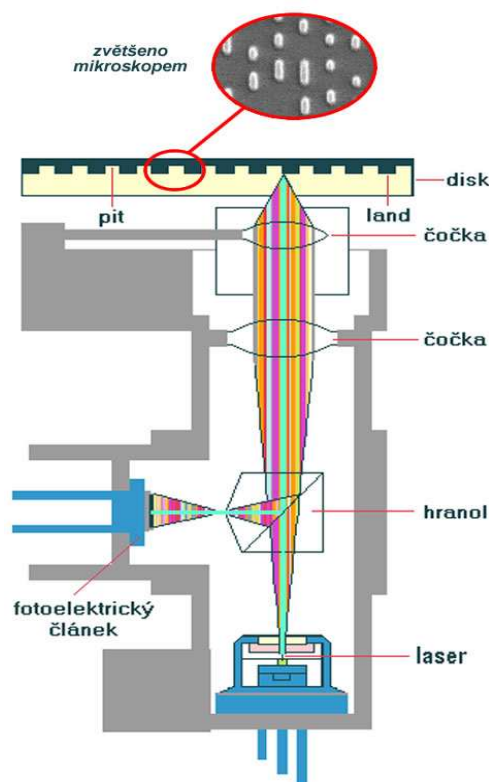
dvou nejpoužívanějších zařízení ve výpočetní technice, které využívají laser pro svoji činnost.

### 3.3.3.1 Optická mechanika (CD-ROM, DVD-ROM, BLU-RAY)

Jedná se o periferní zařízení pro ukládání dat na optické disky, které pracuje na principu laserového světla. Princip optické mechaniky je znázorněn na obr. č. 12. Nejdůležitější část optické mechaniky je optická hlava, kterou tvoří polovodičový laser, čočky pro usměrnění laserového paprsku a fotodioda, která přijímá odražené světlo z povrchu disku.

Podstata vypalování je u všech optických mechanik obdobná. Na nosič, na který je možno zapsat pouze jednou (CD-R, DVD-R), je nanášena organická vrstva, krytá polykarbonátovým základem a pod touto vrstvou se nachází reflexní kovová folie, vyrobená nejčastěji ze stříbra popř. zlata. Při zápisu na optický disk propálí paprsek laseru polykarbonát až k reflexní kovové vrstvě a tím vzniká *pit* - česky dolík, který mění odrazivost laserového paprsku. Místo, u kterého laserový paprsek nezměnil fyzické vlastnosti vrstvy se nazývá *land*. Data jsou uložena v jedné dlouhé spirále, začínající od středu a rozvíjí se až k okraji nosiče. Délka této spirály je zhruba 5 Km.

Laser pro práci s CD má vlnovou délku 785 nm, DVD 650 nm a Blu-ray 405 nm. Výkon laseru potřebný pro čtení stopy je 5mW (CD-R), pro zápis je potřeba laser s výkonem vyšším (8mW).



Obr. č. 12 Princip optické mechaniky

### 3.3.3.2 Laserová tiskárna

Základní součástí laserové tiskárny je kovový válec pokrytý vrstvou polovodiče (např. selenem). Polovodič má tu vlastnost, že mění odpor v závislosti na osvětlení. V neosvětleném stavu je odpor polovodiče  $3\text{ M}\Omega - 5\text{ M}\Omega$ , ale při osvětlení se jeho odpor výrazně zmenší, přibližně na  $300\ \Omega$ , a tohoto jevu právě využívá laserová tiskárna.

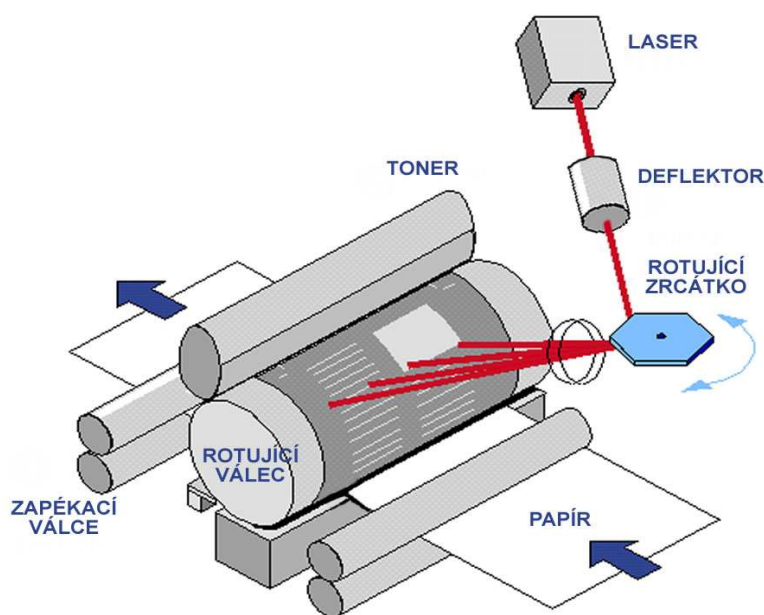
#### Princip laserové tiskárny (obr. č. 13)

Laserový paprsek prochází deflektorem, což je součástka, která v závislosti na přivedeném napětí propouští nebo nepropouští světlo (laserový paprsek). Napětí přivedené do deflektoru je obrazem bitmapy tištěné stránky. Rotující zrcátko (hranol) rozprostírá paprsek po celé šířce válce. Laserový paprsek zde tedy slouží k přesnému vykreslení obrázku na světlocitlivý válec, který byl před tiskem nabit koronou.

Body, které mají být vytištěny se osvítil laserem, tím se sníží odpor polovodiče a náboj z povrchu válce se vybije do středu válce. Vlivem otáčení válce se toner (suchý jemný prášek) nabije na stejnou polaritu jako povrch válce. Přilnutí toneru na povrchu

válce nastává jen v místě, kde byl náboj odstraněn osvitem laseru, v ostatních místech je toner od válce odpuzován, protože má stejnou polaritu.

Dalším krokem je přenesení toneru z válce na papír, který je nabit opačným nábojem než povrch válce. Posledním krokem je zapečení toneru do papíru při vysoké teplotě (180°C) v zapékacích válcích.



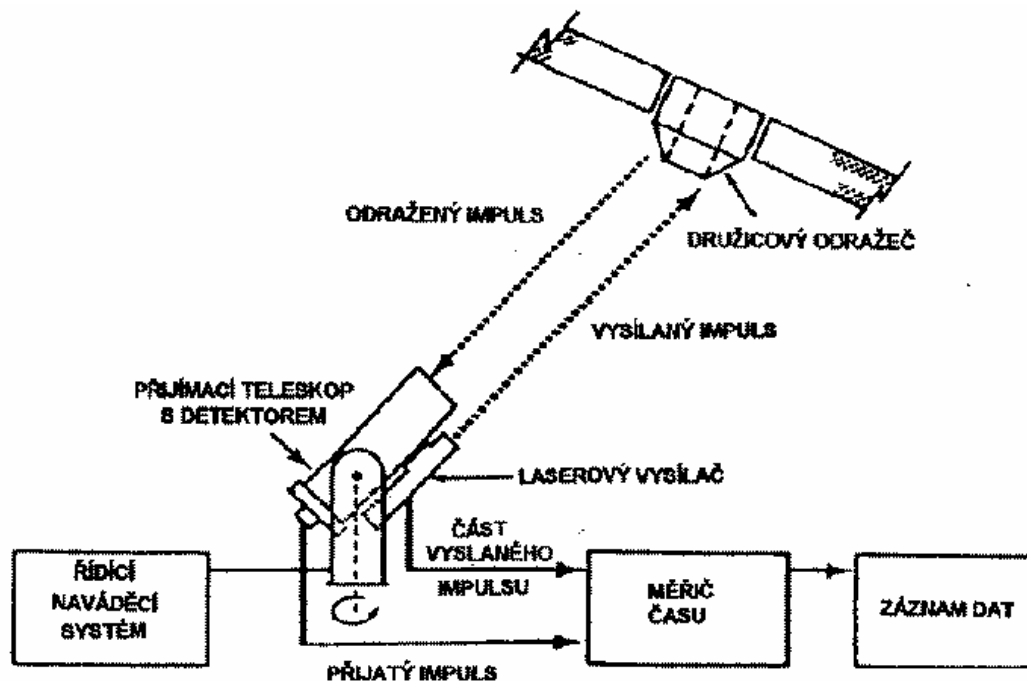
Obr. č. 13 Princip laserové tiskárny

### 3.3.4 Využití laserů v astronomii a geodézii a ekologii

V těchto oborech se používá pulsních laserů (délka impulsu až  $10^{-15}$  s) především k měření různých vzdáleností. Podstatou měření je odraz emitovaného paprsku zpět do směru přicházejícího svazku. K měření jsou využívány tzv. laserové radary. Pro zvětšení intenzity paprsku, vracejícího se zpět do radaru, jsou užívány laserové družicové odražeče. Podle toho, k měření jaké vzdálenosti se radar používá, se tyto odražeče umísťují na pozemní cíle, družice nebo na povrch měsíce. Dosah radarů se uvádí při měření pozemních vzdáleností (letadla, lodě, oblačnost), většinou bez laserového odražeče, okolo 20km. Při měření umělých družic (obr. č. 14) 10000km a nejvzdálenějším měřeným cílem jsou pak odražeče na povrchu Měsíce cca 380000 km. Vzdálenost dosahu radaru můžeme pak vypočítat tzv. radarovou rovnicí. Z této rovnice vyplývá, že velikost signálu se úměrně zmenšuje se čtvrtou mocninou vzdálenosti. Princip určení vzdálenosti je pak založen na určení časového

intervalu mezi vysláním a návratem laserového signálu zpět do radarového zařízení, kde je vyhodnocen. Měření objektů bez družicového odražeče je méně přesné než měření vzdálenosti za jeho pomoci. Přesnost je pak dána délkou vysílaného impulsu, dosažitelnosti přesnosti měření času, geometrií měřeného objektu, konstrukcí a umístěním odražečů, přesností matematického modelu a šířením záření atmosférou. Pohybuje se od několika decimetrů až po několik milimetrů.

Jako laserové vysílače se v radarech používají impulsní pevnolátkové lasery. Dříve byl ve velké míře používán rubínový laser, dnes ho již nahradili jiné lasery např. Nd:YAG laser a nejnovější metodou jsou pak lasery titan safírové. V geodézii se pak uplatňují i lasery He-Ne.

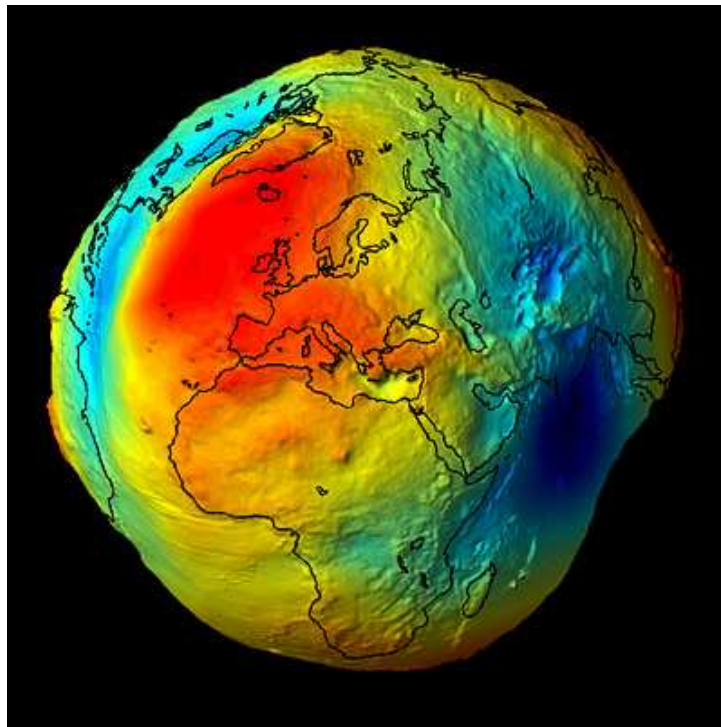


Obr. č. 14 Schématické znázornění měření vzdáleností umělých družic Země

V geodézii byl díky laserovým radarům a družicovým odražečům určen tvar zemského geoidu s přesností na 10 cm (obr. č. 15). V říjnu 2008 vystartovala nová družice Evropské kosmické agentury s názvem GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer). Tato družice by měla přeměřit tvar zemského geoidu s přesností na 2 cm. V geofyzice pak umožňuje tato technologie měření vzdáleností určit vzájemný pohyb kontinentů, jež dosahuje rychlosti 4-5 cm za rok. Laserové metody snímání pomocí LIDARU (Light Detection And Ranging) jsou schopné



vytvářet modely terénu i povrchu (modely povrchu i se zástavbou a porostem). Tyto modely byly vyvinuty v polovině 90. let. Díky krátkým vlnovým délkám se paprsek odráží nejen od povrchu porostu, ale proniká i jeho vrstvou a odráží se i od zemského povrchu. Proto lze složitým postprocesingem vypočítat i např. výšky porostů. Metody jsou aplikovány při tvorbě digitálních modelů terénu, při monitorování pobřežních zón nebo při 3D vizualizaci.



Obr. č. 15 Geoid

V ekologii se používají lasery především k monitoringu znečištění ovzduší. Opět zde má využití technologie LIDAR, tedy přístroje k detekci a určování vzdáleností laserem. Tato technologie je součástí některých družic obíhajících na oběžné dráze Země. Nejznámější je soustava družic na polární dráze s názvem Vláček (A-Train). Tyto družice komplexně sledují atmosféru a posuzují dynamiku dějů v atmosféře i za pomoci LIDARů (družice Calipso).

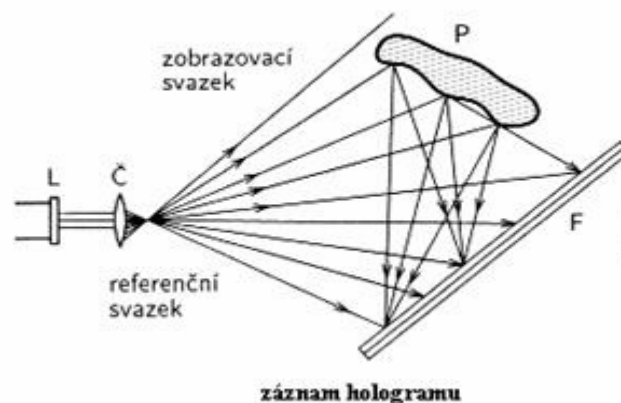
### 3.3.5 Využití laserů v holografii

**Holografie** - je metoda záznamu a trojrozměrného vybavování obrazu, založená na interferenci vysoce koherentního světla laserů. Umožňuje tak získávat trojrozměrné obrazy.

Princip holografie je znám již od roku 1947, kdy jej objevil britský fyzik maďarského původu Dennis Gabor (1900-1979) při práci na zlepšení rozlišovací schopnosti elektronového mikroskopu. Za tento objev byl v roce 1971 oceněn Nobelovou cenou za fyziku. Termín holografie vznikl složením z řeckých slov 'holos'=celý, úplný a 'grafein'=psát, úplný záznam. Informace o každém detailu zobrazeného objektu je totiž, na rozdíl od konvenčních metod záznamu obrazu, zapsána v celém objemu hologramu a ne jen v jeho lokalizované části.

#### 3.3.5.1 Holografické ukládání dat

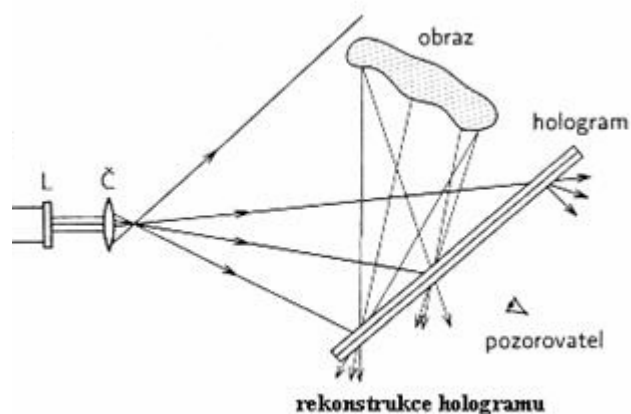
Pomocí holografického záznamu můžeme zachytit způsob, jakým se rozptyluje světlo na povrchu zobrazovaného objektu. Při holografickém záznamu (obr. č. 16) dat se světelné vlny vyzařované laserem rozdělují na dva světelné svazky. Jeden ze svazků dopadá přímo na cílový objekt, který chceme zobrazit. Směr svazku musí být situován tak, aby odražené vlny dopadaly na fotocitlivé médium. Tento první svazek je pak modulován vlastnostmi zobrazovaného objektu a nese informace oněm ve své amplitudě a fázi. Přímo na fotografickou desku dopadá současně také druhý svazek (referenční, pomocný svazek). Pokud je třeba můžeme pro přesměrování chodu světelných vln referenčního paprsku použít i zrcadlo, ale není to bezpodmínečně nutné. Po dopadu na fotocitlivé médium nejsou vlny obou svazků již ve fázi, jelikož jeden ze svazků dopadá přímo a druhý byl již rozptýlen na povrchu zobrazovaného objektu. Rozdílná fáze vytváří interferenční pole světlých a tmavých bodů. Fotocitlivé médium zaznamená interferenční pole. Obraz uvnitř média = hologram.



Obr. č. 16 Holografické ukládání dat

### Čtení dat z média

Osvětlením média jedním paprskem, který probíhá pod stejným úhlem, pod kterým dopadal referenční paprsek při vytváření hologramu se data obnoví. Takto vzniká světelné pole, jež pozorovatel vnímá jako prostorový obraz zobrazovaného objektu. Pomocí změny poměru vlnových délek svazku, jimiž jsme hologram vytvářeli a vlnové délky světla, jímž obraz rekonstruujeme, můžeme docílit změny původní velikosti zobrazovaného objektu. Další možností jak docílit zmenšení či zvětšení zobrazovaného objektu je použití čoček. Pořídíme-li hologram za pomoci spojky nebo rozptylky, získá výsledný obraz její vlastnosti.



Obr. č. 17 Holografické čtení dat

Na materiál na který jsou zaznamenávány holografické obrazy jsou kladeny velice vysoké nároky. Pro dobrý záznam je třeba dostatečné optické propustnosti, citlivosti, homogenity, dále je zapotřebí dostatečné rozměrové a teplotní stability. Důležité je také nedestruktivní čtení a minimální tloušťka.

Holografii se postupně daří zejména v oblasti datového záznamu, i přes její velkou finanční náročnost při jejím vývoji „aplikovat“ z laboratoří do praxe. Zjednodušené verze hologramu, které trojrozměrný obraz vyvolávají spíše iluzí se postupně začíná využívat i v běžném životě (např. holografická reklama).

### 3.3.6 Využití laseru v technologii

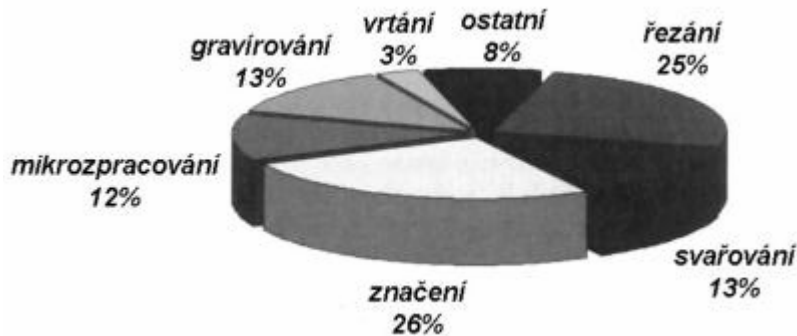
Technologické výrobě se použití laseru začíná objevovat již v druhé polovině 60. let. Dnes je laser neocenitelným pomocníkem při opracování obtížně obrobitelných materiálů či těžko přístupných částí výrobků. Velkou předností této technologie je možnost bezkontaktního, jemného a precizního opracování materiálů. Odpadá tedy použití nástrojů v klasickém slova smyslu, tedy i jejich údržba. Velikým přínosem je možnost automatizace a robotizace výrobního procesu. Nevýhodou je pak velká pořizovací cena a přísná bezpečnostní opatření a nákladná údržba. V technologii je laser užíván k mnoha činnostem a v mnoha technologických oborech. Z největší části, cca z 50 %, je využíván ke značení a řezání kovů a jiných materiálů. Dále se můžeme s laserovou technologií setkat při vrtání, gravitování, svařování, při kalibraci strojů či povrchových úpravách různých materiálů a jinde.

Zpracování materiálů laserem je dáno především těmito vlastnostmi:

- schopností materiálů pohlcovat světelnou energii a přeměnit ji na kinetickou energii neuspořádaného pohybu atomů a molekul, tedy na teplo,
- tepelnou vodivostí látky,
- odrazivostí (poměr množství odražené energie k dopadající),
- hustotou materiálu.

Obrobitelnost materiálů je tedy založena na interakci optického záření s hmotou a na schopnosti laseru koncentrovat svou energii čase a prostoru. Obrobitelnost materiálu se pak zlepšuje se zvyšující se pohltivostí hmoty a se zmenšující se tepelnou

vodivostí a odrazivostí materiálů. Pro přehled uvádím procentuální rozvržení využití laseru v technologii (obr. č. 18).



Obr. č. 18 Nekonvenční metody obrábění

(<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil>)

### 3.3.6.1 Řezání

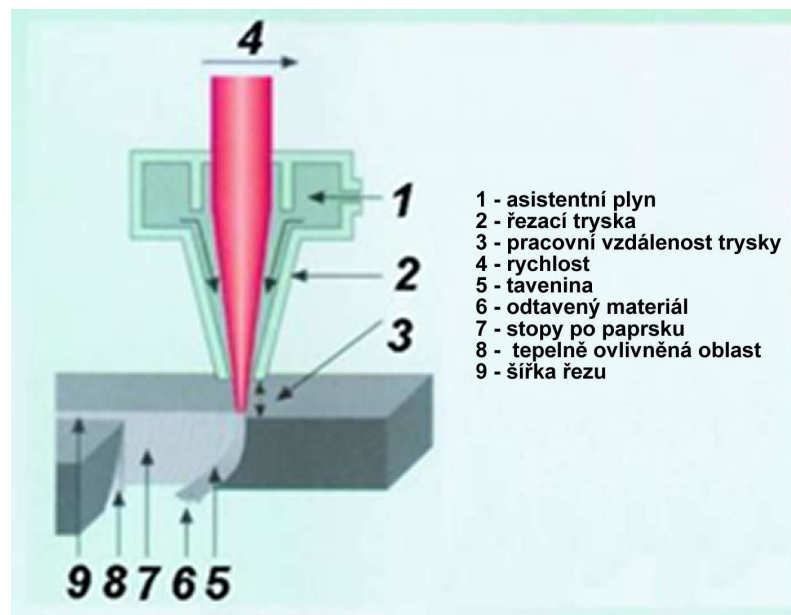
Princip metody řezání laserem je znázorněn na obrázku č. 19. K řezání laserem jsou používány především CO<sub>2</sub> lasery pracující v kontinuálním i pulsním režimu o výkonu do 15 kW. Pulsním provozem je možné dosáhnout velké hustoty energie pro zvýšení absorpce záření u materiálů s vysokou odrazivostí. CO<sub>2</sub> lasery jsou vhodné k řezání konstrukční oceli do tloušťky 2 cm, korozivzdorné oceli do tloušťky 1 cm a slitiny hliníku do tloušťky 5 mm. Pro jemnější a přesnější řezy se nejvíce používají Nd:YAG lasery o výkonu 100- 1000 W, a to opět jak v kontinuálním tak v pulsním režimu. Tento typ laseru se hodí pro řezání konstrukční oceli do tloušťky 6 cm, korozivzdorné oceli do tloušťky 3 cm a slitiny hliníku do tloušťky 2 cm.

V současné době se uplatňují 3 metody řezání.

1. *Laserové protavování* - při této metodě dochází k ohřevu materiálu nad teplotu tavení. Roztavený materiál je pak odstraněn proudem inertního plynu. Tento postup je velice účinnou a rychlou metodou, při nízké spotřebě energie. Na řezu jsou však patrné stopy po odstraňování materiálu.
2. *Laserové sublimační řezání* - při této metodě ohřívá paprsek laseru hmotu na teplotu odpařování. Vznikající páry jsou opět z řezu odstraňovány proudem inertního plynu.

Řez je při této metodě velice kvalitní a úzký. Je však potřeba větší množství energie na jednotku plochy.

3. *Laserové pálení* - v tomto případě je materiál v místě dopadu paprsku ohřát na teplotu zápalnou a poté spálen v proudu aktivního plynu ( $O_2$ ). Výhoda této metody spočívá především v rychlosti řezání.



Obr. č. 19. Princip metody řezání laserem.

([http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/45/4589\\_big.jpg](http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/45/4589_big.jpg))

Souhrnem uvádím hlavní přínosy laserového řezání:

- není třeba rýsovat řezný plán (průběh laserového řezání je možné předem naprogramovat),
- je možné dosáhnout velké rychlosti řezání.(v příloze pak pro zajímavost uvádím rychlosti řezání  $CO_2$  laserem o výkonu 2 kW pro některé druhy materiálů. (str. 61. nekonvenční metody obrábění),
- povrch řezu je velice kvalitní a většinou nevyžaduje další úpravy,
- lze provádět jemně tvarované řezy.

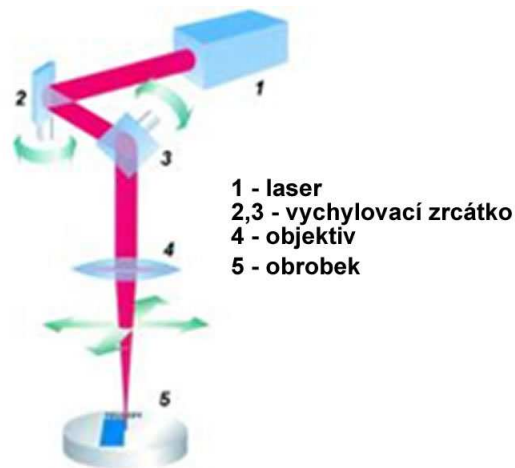
### 3.3.6.2 Laserové značení

Pro značení a popisování jsou používány CO<sub>2</sub> lasery. Pro použití tohoto typu laserů jsou vhodné především organické materiály (dřevo papír, kůže, ale i sklo nebo plasty). Nd:YAG lasery, vhodné materiály pro tento typ laseru jsou anorganické materiály, především kovy a pasty. Dále pak excimérové lasery schopné odstraňovat velice malé vrstvy materiálů. Nejnověji se používají i lasery vláknové. Vláknové lasery se vyznačují vysokou kvalitou svazku, který je možný soustředit do velmi malého průměru. Jsou vhodné k popisování a značení především anorganických materiálů.

Všechny typy laserů jsou vyráběny v různých variantách výkonů, od několika Wattů až po několik desítek Wattů. Podstatou laserového značení a popisování je krátkodobé intenzivní zahřátí povrchu materiálů, které způsobí jeho strukturální změny. Může docházet ke změně barvy, lokálnímu tavení, odpaření materiálů. Laserem je možné docílit velmi kvalitního a trvalého popisu.

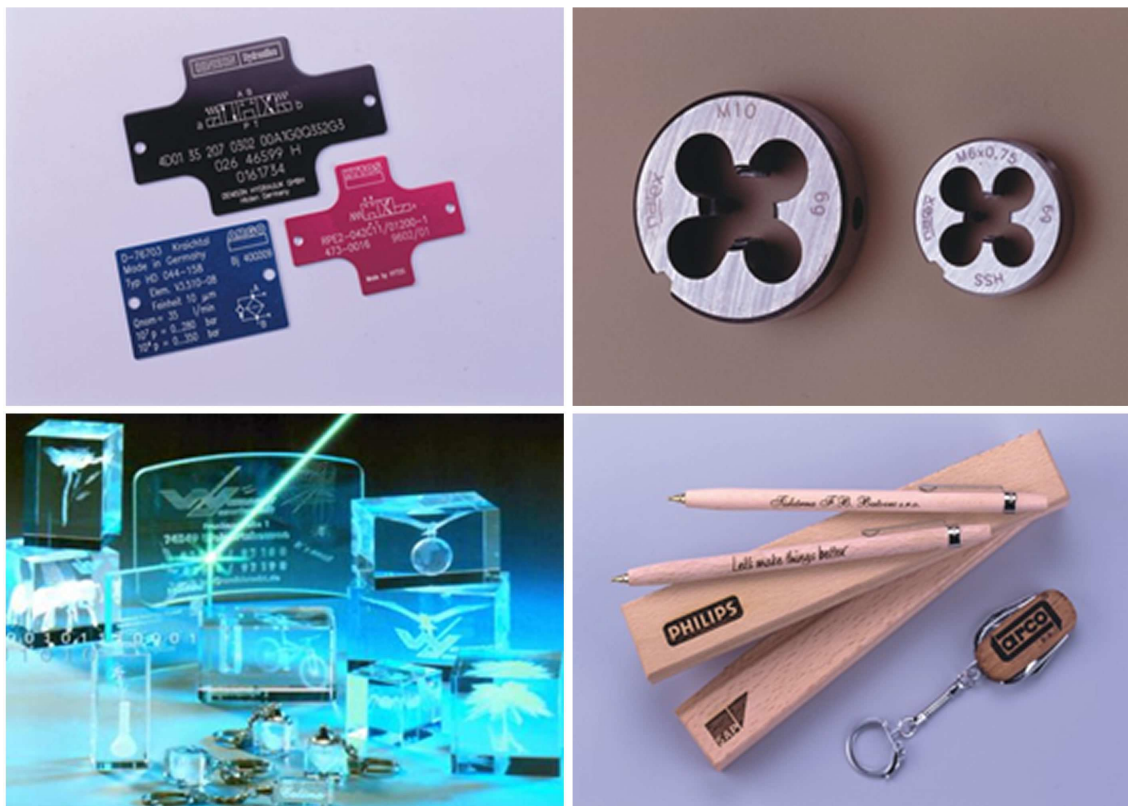
Hlavními přednostmi laserového popisování a značení jsou:

- vysoká rychlost, přesnost a tedy i kvalita značení,
- možnost bezkontaktního průběhu značení,
- značení má velkou životnost a mechanickou odolnost,
- značený materiál není vystaven většímu tepelnému, mechanickému ani chemickému procesu,
- při procesu nevznikají žádné nebezpečné látky,
- celý proces je možné naprogramovat.



Obr. č. 20 Princip značení těžko přístupných míst laserem  
([http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/45/4589\\_big.jpg](http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/45/4589_big.jpg))

Jak je vidět na obrázku č. 21, je možné laserem popisovat a značit široké spektrum materiálů (ocel, hliník, dřevo, keramiku, sklo, plasty a jiné..)



Obr. č. 21 Využití značení laserem v praxi  
([http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/45/4589\\_big.jpg](http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/45/4589_big.jpg))



### 3.3.6.3 Laserové svařování

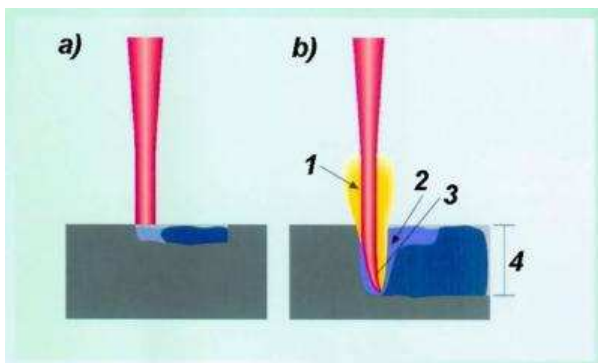
Ke svařování se používají opět lasery Nd:YAG nebo lasery CO<sub>2</sub>. Jeho nespornou výhodou je, že je možné svařovat i jinými metodami těžko přístupná místa. K laserovému svařování je potřeba menší intenzity záření a větší délky laserového pulsu.

Tato technologie je oproti jiným metodám jedinečná a má mnoho předností:

- laserové svařování se vyznačuje vysokou rychlostí, při malém tepelném ovlivnění sváru,
- je možné svařovat povrchy pouze z jedné strany,
- sváry provedené laserem jsou velice kvalitní a mají vysokou pevnost,
- je možné svařovat i těžko svařitelné materiály (titan, hliník, zlato),
- sváry jsou bezporézní a neobsahují jiné příměsi,
- je možné svařovat i jinými metodami nepřístupná místa a vytvářet mikrosváry.

Laserové svařování vyobrazené na obrázku č. 22, je nepostradatelnou technologií v mnoha odvětvích, dokonce i v letectví nebo v kosmonautice. Využívány jsou dvě metody svařování.

1. Svařování hloubkové – úzké a hluboké sváry
2. Vedením tepla – sváry ploché a široké



Obr. č. 22 Metody svařování laserem

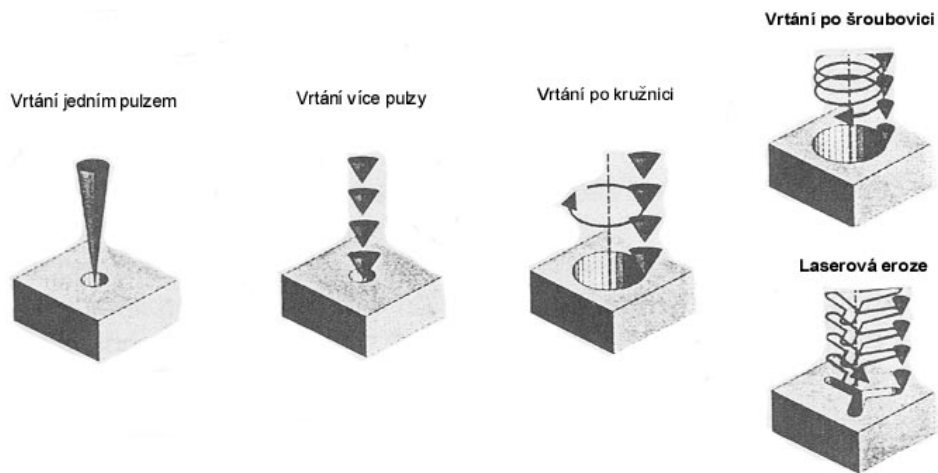
- a) metoda vedení tepla
- b) hloubková metoda

### 3.3.6.4 Laserové vrtání

Principem laserového vrtání je odpařování materiálu, který přijde do kontaktu s laserovým paprskem. Intenzita svazku musí být vyšší než u svařování. Jsou používány opět CO<sub>2</sub> lasery nebo lasery Nd:YAG. Výkon svazku se pohybuje od 100 W do 500 W.

laserem vrtané díry mohou být kruhové, ale i jiných tvarů. Při vrtání vždy platí, že čím je díra delší, tím větší je odchylka tvaru díry od geometrie, příčinou je rozdělení energie svazku. Hlavní výhodou vrtání laserem je možnost vrtání velmi malých děr i u těžko zpracovatelných materiálů. Dále vrtání v místech těžko přístupných, díky možnosti bezkontaktního postupu. Je možné vrtat díry dlouhé až 5 cm. Můžeme vrtat velké množství materiálů (kov, plast, dřevo, sklo, textilie, papír a jiné..). Při vrtání je používáno různých postupů, jak je vidět na obrázku č. 23. [12]

- vrtání jedním pulsem,
- vrtání opakovanými pulsy,
- vrtání po kružnici, jde vlastně o vyřezávání díry, kdy se paprsek laseru pohybuje po kružnici,
- vrtání po šroubovici, u této metody jde taktéž o vyřezávání, kdy se ale paprsek laseru pohybuje šroubovitě,
- laserová eroze.



Obr. č. 23 Metody vrtání laserem

## **4 BEZPEČNOST PRÁCE S LASERY**

Každý kdo používá laserové zařízení je podle zákona povinen dodržovat bezpečnostní předpisy a potřebná opatření k ochraně zdraví. Bezpečnostní opatření se liší s ohledem na výkon a vlnovou délku laserů, právě proto se v následující kapitole budu nejprve zabývat biologickými účinky laserů, které jsou závislé na těchto vlastnostech. Bezpečnostní předpisy a hygienické zásady mají zajistit ochranu zdraví zaměstnanců pracujících s laserovým zařízením a v medicínské praxi i pacientů.

### **4.1 Biologické účinky laserů**

Při kontaktu laserového záření s hmotou dochází ve tkáni k jeho částečné absorpci a rozptylu. Poměr absorpce a rozptylu kolísá s jeho vlnovou délkou, intenzitou záření a typem tkáně. Absorbovaná energie se uplatňuje v biologických pochodech a je důsledkem fyto biologické odpovědi organismu. Na základě aplikované hustoty energie a doby působení můžeme rozlišit tři různé druhy účinků.

1. fotochemické účinky
2. termické účinky
3. netermické účinky (fotoablace)

Celkové biologické účinky na organismus pak jsou:

- efekt analgetický,
- efekt myorelaxační,
- efekt protizánětlivý,
- efekt antiedematosní,
- efekt baktericidní a viricidní.

#### **4.1.1 Fotochemické účinky**

Fotochemické účinky jsou založeny na principu absorpce laserového záření s hmotou. Absorpce jednotlivých fotonů vyvolává biochemické pochody v organismu, ovlivňuje tedy i buněčný metabolismus. Při ozařování světlem ve viditelné oblasti spektra vlnovými délkami v oblasti IR, dochází např.:

- ke zvýšení syntézy ATP (adenozintrifosfát),

- zvýšení parciálního tlaku kyslíku,
- urychlení mikrocirkulace,
- aktivaci fagocytózy,
- aktivaci Na/K pumpy na buněčné membráně,
- ke změnám hladin důležitých mediátorů.

Tyto a jiné biochemické pochody narušují také buněčnou radiosenzitivitu (tedy citlivost buněk k ozáření). V medicíně je využíváno fotochemických reakcí především v oblasti biostimulace a fotodynamické terapie. Fotodynamická terapie je jednou z možností léčby nádorů. Aplikují se při ní fotosenzibilní látky, které se vychytávají v místě tumorů. Laserové ozáření pak způsobí fotochemické reakce, při nichž vznikají toxické radikály, které pak ničí tumorózní tkáň.

#### **4.1.2 Termické účinky**

Při použití vysokovýkonostních laserů s různou dobou účinku, lze pak dosáhnout i efektů termických. U těchto efektů je energie laserového záření absorbována chromofory ve tkáni, přičemž dochází ke vzniku tepla. Dochází tedy ke koagulaci (rozpadu bílkovin) nebo k odpaření (vaporizaci). Termické účinky jsou závislé na hloubce průniku záření, na teplotní kapacitě laseru, na době působení a na schopnosti tkáně vést teplo. Termických účinků laseru je pak využíváno v medicíně, a to především v chirurgii (při řezání, snášení tkáně či při koagulaci), ale i v jiných technických oborech.

#### **4.1.3 Netermické účinky**

Při použití krátkého pulsu o vysoké intenzitě záření dochází k účinkům netermickým. Vzniká narušení buněčné struktury (fotoablace). Termické škody v okolí působení laserového paprsku bývají jen nepatrné. Při velké intenzitě laserového paprsku ( $10^{11}$  W/cm<sup>2</sup>) dochází k velké polarizaci atomů a molekul. To vede ke vzniku obrovského počtu volných elektronů a vzniku plazmatu. Po vzniku plazmatu dochází k sekundárním procesům, jejichž následkem je mechanicky devastující účinek na tkáň. Tento způsob účinku pak nazýváme fotodisrupcí.

## 4.2 Ochranná opatření

Při používání laserových zařízení je třeba dodržovat některé bezpečnostní postupy. Na laserech opatřených krytem, je třeba vyznačit zákaz snímání krytu. Lasery zařazené do třídy IV se umísťují do prostorů zabezpečených tak, aby byl zamezen vstup nepovolaným osobám při chodu laseru. Dráha paprsku se musí upravit tak, aby nedošlo k náhodnému zásahu očí nebo kůže, je tedy zakrytována a ukončena absorpčním terčem. Není-li možné zásah vyloučit, musí být použity příslušné ochranné pomůcky. Prostory používané pro provozování laserů III a IV třídy se označí výstrahou a zákazem vstupu nepovolaným osobám. Pokud je to možné odstraní se z dráhy paprsku veškeré předměty, na nichž by mohlo dojít k nekontrolovatelným odrazům paprsku. Lasery zařazené do třídy III b a IV se musí vybavit světelnou nebo akustickou signalizací chodu. Barva světelné signalizace musí být vybrána tak, aby byla vidět i přes ochranné brýle.

## 4.3 Provozní řád a legislativa

Požadavky k zajištění bezpečnosti při práci s laserem stanoví Sbírka zákonů č.1/2008 Nařízení vlády ze dne 12. prosince 2007 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Nařízením jsou upravovány povinnosti konstruktérů, výrobců a provozovatelů laserů. Zařazení laserů do tříd a nároky na bezpečnost při jejich užívání.

*Rozdělení laserů do tříd:*

- 1) **I. Třída** – do této skupiny patří lasery nepřekračující limity uvedené v příloze č. 3 nařízení vlády v tabulce č.8 a lasery zakrytované tak, že se jejich záření nedostane ven a nebo je záření zeslabeno tak, že odpovídá limitům. Kryt zařízení není možné sejmout bez použití nástrojů nebo je při snímání krytů záření včas zastaveno.
- 2) **II. Třída** – do této třídy se zařazují lasery překračující limity uvedené v příloze č.3. nařízení vlády v tabulce č.8, ale nepřekračující limity v tabulce č.9.
- 3) **IIIa Třída** – do této skupiny patří lasery překračující limity pro zařazení do třídy II ale nepřekračují limity uvedené v příloze č.3. nařízení vlády v tabulce č.10.
- 4) **IIIb Třída** – do této skupiny patří lasery nepřekračující limity uvedené v příloze č.3. nařízení vlády v tabulce č.11 a nelze je zařadit do nižší třídy.

5) **IV. Třída** – do této třídy zařazujeme lasery překračující přípustné limity pro třídu III b.

Příslušné hodnoty limitů uvádím v příloze č.1.

Ke každému laseru musí být dodána technická dokumentace obsahující tyto údaje:

- vlnová délka, emituje-li více vlnových délek, musí být uvedeny všechny vlnové délky,
- druh aktivního prostředí,
- režim v jakém je paprsek generován,
- průměr paprsku a jeho rozbíhavost. U sbíhavého paprsku jeho nejmenší průměr,
- u laserů emitujících záření ve spojitém spektru jejich největší zářivý tok,
- impulsních laserů jejich energie v jednom impulsu, doba trvání a frekvence pulsů,
- zařazení laserů do třídy
- návod ke správné instalaci a montáži včetně požadavků na prostory,
- návod k obsluze za běžných i mimořádných podmínek, návod k údržbě,
- údaje o jiných faktorech vznikajících při chodu laseru, které by mohly ovlivnit pracovní prostředí,
- výrobní číslo, rok výroby, obchodní firmu nebo název a sídlo výrobce právnické či fyzické osoby.

### ***Provozní řád***

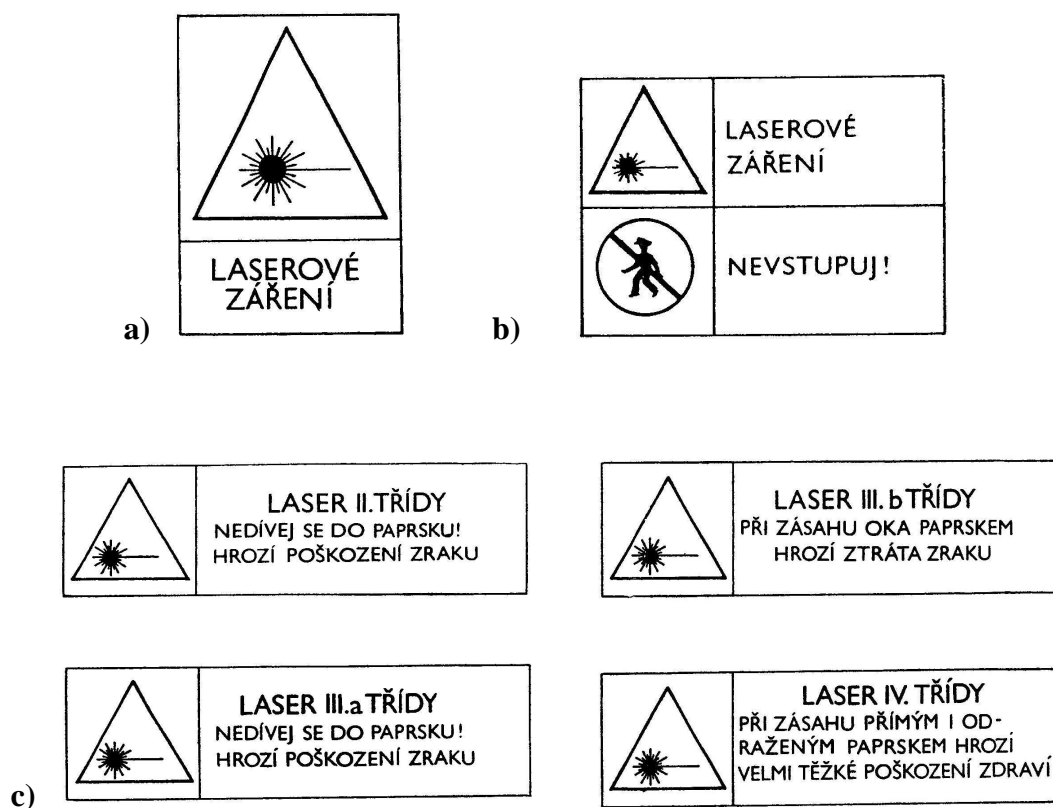
Každý provozovatel laseru musí vypracovat provozní řád a konzultovat ho s příslušným hygienickým orgánem.

Tento musí obsahovat:

- podrobný návod k obsluze,
- zakázané manipulace,
- druh a způsob používání ochranných pomůcek,
- poučení o povaze nebezpečí ze záření a o dalších nebezpečích, které mohou nastat při jeho provozu,

- opatření, které je nutno provést při mimořádných situacích,
- seznam oprávněných pracovníků pro práci s laserem.

Dále musí provozovatel viditelně označit prostory a zařízení, ve kterých se lasery používají. Na obrázku č. 24 jsou zobrazeny výstražné tabulky a štítky pro označení prostorů zařízení, ve kterých se používají lasery II. až IV. třídy.



Obr.č. 24

- a) Výstražná tabulka pro označení prostorů, ve kterých se používají lasery II. a IIIa. třídy
- b) Výstražná tabulka pro prostory, ve kterých se používají lasery III.b a IV. třídy
- c) Příklady štítků pro lasery II. až IV. třídy

## 5 MĚŘENÍ RYCHLOSTI SYSTÉMEM MICRO DIGICAM

Nejčastěji se setkáváme s měřením rychlosti pomocí laseru u Služby dopravní policie PČR případně městské (obecní) policie, která využívá laserových měřičů rychlosti při měření rychlostních limitů na pozemních komunikacích.

Pro potřeby měření rychlosti PČR je využíván přístroj s označením Micro DigiCam, se kterým jsem se v praxi setkal, a absolvoval několik praktických měření. Pro snadnější pochopení principu laserového měření rychlosti osvětlím pomocí tohoto přístroje podstatu měření a výhody oproti stávajícím měřicím přístrojům.

### 5.1 Měřicí systém Micro DigiCam

Systém Micro DigiCam (obr. č. 25) od firmy Laser Technology. Inc. se skládá z laseru pro měření rychlosti (UltraLyte 100 nebo UltraLyte Compact), Pocket PC (iPAQ hx4700 od firmy HP) a digitální kamery. Toto řešení umožňuje změřit vozidlo a zaznamenat snímek i změřenou rychlost pro prokazování přestupku.



Obr.č. 25 Systém Micro DigiCam



Laserový měřič rychlosti využívá k měření laserového paprsku v neviditelném (infračerveném) spektru o vlnové délce 904 nm. Jedná se laser třídy 1, který splňuje požadavky bezpečnosti FDA a je zařazen podle limitů jako „Bezpečné pro oči“.

Znamená to, že za normálních podmínek přímý pohled do výstupu laseru prakticky neznamena žádná nebezpečí pro oči. [12]

Vzdálenost při měření rychlosti se pohybuje mezi 25 m – 400 m (optimálně 50 m – 140 m). Rozsah měřené rychlosti  $\pm 320$  km/h. Přesnost měření  $\pm 3$  km/h pro rychlost do 100 km/h,  $\pm 3\%$  z naměřené hodnoty při rychlostech nad 100 km/h.

### **Komponenty systému**

*Laser pro měření rychlosti* – laser měří rychlost vozidla a jeho vzdálenost, následně tyto data přenáší do Pocket PC.

*Pocket PC (kapesní počítač)* – vyhodnocuje data naměřená laserem a pokud je naměřená rychlost vyšší než uživatelem definovaná hranice rychlosti pro záznam, okamžitě požaduje snímek právě uložený ve vyrovnávací paměti kamery. Snímek je pak spolu s naměřenými daty uložen v Pocket PC.

*Kamera* – plně programovatelná vysokorychlostní kamera, která je propojená s Pocket PC. Podle požadavku kamera posílá snímek uložený ve vyrovnávací paměti do Pocket PC.

*Kancelářské PC* – propojuje se s Pocket PC pomocí USB kabelu. Řízení přenosu dat provádí program Microsoft ActiveSync, který je standardní součástí vybavení Pocket PC.

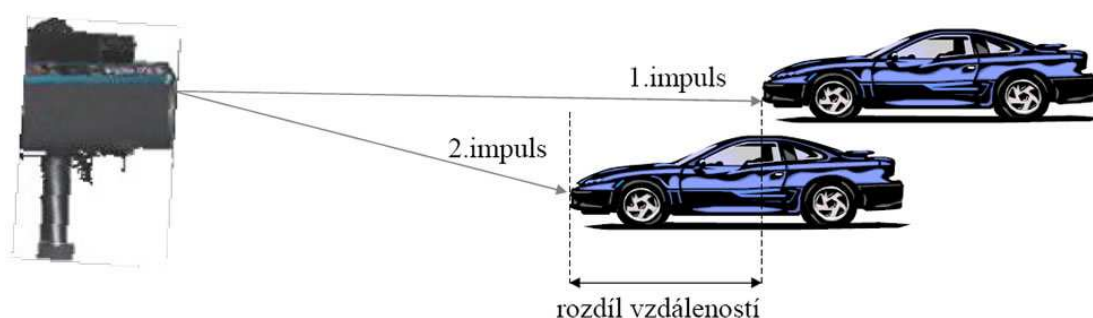
## **5.2 Princip měření**

Princip měření je znázorněn na obrázku č. 26. Po zaměření laseru na požadovaný cíl (vozidlo) pomocí záměrného červeného bodu v hledáčku je vyslán laserový paprsek (1. impuls). Paprsek dopadá na cíl, odráží se od něj a je zachycen optikou přístroje. Následně je vyslán impuls č. 2, který je rovněž zachycen optikou přístroje. Jak je zobrazeno na obrázku č. 11, ze zpoždění paprsku (rozdílu vzdáleností)

je přístrojem vypočtena okamžitá rychlost vozidla a jeho vzdálenost. Rychlost měření je přibližně 0,4 s.

Divergence laserového paprsku je nominálně 3 miliradiány tzn. stopa, kterou na cíli laser vytváří, je velmi úzká (při 100 metrové vzdálenosti má paprsek průměr menší než 0,3 m).

**Rychlost = rozdíl vzdáleností / interval mezi impulsy**



Obr.č. 26 Princip měření rychlosti laserem

### 5.3 Příprava měření systémem Micro DigiCam

1. Volba stanoviště
2. Sestavení systému Micro DigiCam a zaostření kamery na měřený úsek

Ideální je umístit systém se sluncem v zádech, to zajistí, že snímané poznávací značky jsou co nejvíce osvětleny. Optimální vzdálenost měření je 80 - 140 metrů, avšak dobré osvětlení a zaostření umožňuje vzdálenost prodloužit.

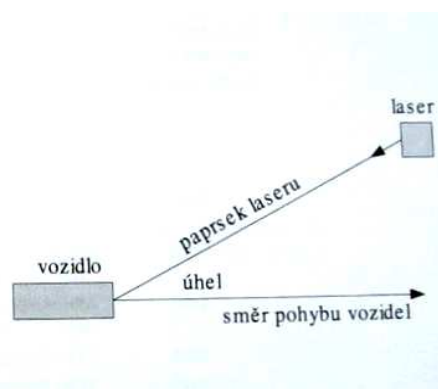
Při nepříznivém počasí (zataženo) se musí naopak vzdálenost zmenšit z důvodu nedostatku přirozeného světla. Při měření je potřeba nastavit kameru tak, aby vozidlo na snímku bylo celé a přitom se na snímcích neobjevovali zbytečné podrobnosti z okolí a co nejméně okolních vozidel.

Další z podmínek pro určení stanoviště je, aby úhel mezi měřícím paprskem laseru a směrem pohybu vozidla byl co nejmenší z důvodu tzv. *cosinus efektu*.

Cosinus efekt se projevuje pokud měřící přístroj je dále od proudu měřených vozidel. Zmenšení rychlosti naměřené je úměrné cosinu úhlu mezi proudem vozidel a osou měření. Podle norem měřidlo nesmí korigovat údaj podle úhlu, proto naměřená hodnota je vždy menší než hodnota skutečná měřená přímo ve směru pohybu vozidla. Úhel je závislý na vzdálenosti laseru od silnice, ale také na vzdálenosti měřeného vozidla. [13]

Obrázek č. 27 je zobrazuje závislost měřené rychlosti na úhlu měření.

	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h
úhel	Naměřená rychlost (km/h)				
0	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00
1	29.99	39.99	49.99	59.99	69.99
3	29.96	39.94	49.93	59.92	69.90
5	29.89	39.85	49.81	59.77	69.73
10	29.54	39.39	49.24	59.09	68.94
15	28.98	38.64	48.30	57.94	67.61
20	28.19	37.59	46.99	56.38	<b>65.78</b>
45	21.21	28.28	35.36	42.43	49.50
90	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00



Obr. č. 27 Cosinus efekt – závislost měřené rychlosti na úhlu měření

Po sestavení měřícího systému na stanovišti dle manuálu, je potřeba systém umístit na stativ a ustavit jej do roviny. Dále propojíme kameru s Pocket PC příslušným kabelem. Pro zajištění co nejlepší kvality snímku na daném stanovišti musíme zaostřit objektiv kamery. To provedeme tak, že stiskneme spoušť laseru a nasměrujeme červený bod v hledáčku na pevný bod u komunikace (dopravní značka, strom) a změříme vzdálenost (rychlost musí být nulová). Nyní je přístroj připraven k vlastnímu měření.

#### 5.4 Měření systémem Micro DigiCam

Vlastní měření může probíhat v několika módech (manuální mód, mód brána, mód automatického měření).

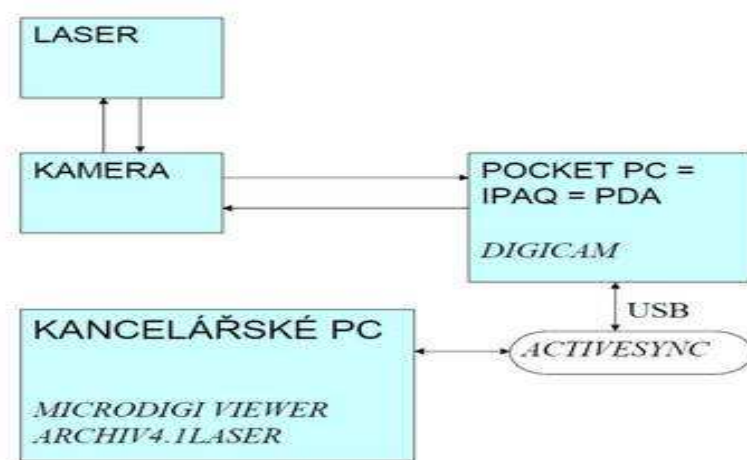
V případě našeho měření jsme využívali mód automatického měření. Principem automatického módu je, že se zaměří laser tak, aby byla červená zaměřovací značka

umístěna na požadovaný dopravní pruh uvnitř mezi vzdálenostmi zadanými v obrazovce (nastavení brány). Jakmile měřicí systém zjistí, že vozidlo je uvnitř brány, laser pro měření rychlosti pošle změřenou rychlost a vzdálenost do Pocket PC. Pocket PC porovná naměřenou rychlost s limitem pro uložení snímku, a pokud je rychlost vyšší nebo rovna definovanému limitu Pocket PC spustí kameru, aby sejmula obraz. Kamera tento snímek uloží ve formátu JPEG do paměti Pocket PC. Hlavička sejmutého snímku pak obsahuje operátorská data jako:

- naměřenou rychlost,
- vzdálenost měření,
- datum a čas měření,
- místo měření.

Po ukončení měření je potřeba přenést pořízené snímky z Pocket PC do kancelářského PC pomocí programu Microsoft ActiveSync a programu MicroDigiViewer, které je nutno na PC nainstalovat.

Schéma měření systému Micro DigiCam je znázorněno na obrázku č. 28.



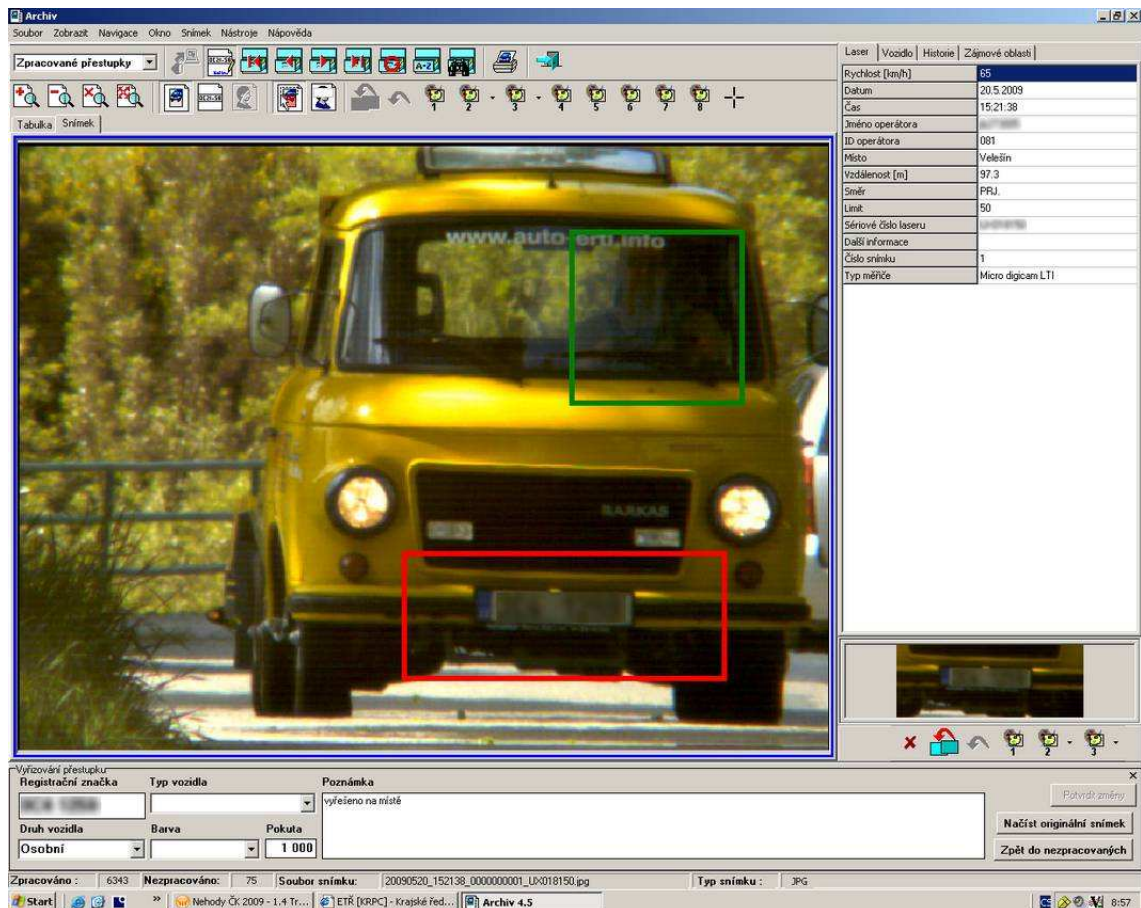
Obr. č. 28 Schéma měření systému Micro DigiCam

Jeden z mnoha pořízených snímků z našeho měření pomocí systému Micro DigiCam je vidět na obrázku č. 29. V tomto případě je již obrázek přenesen do archivního programu ARCHIV4.1 LASER, kterým si můžeme kdykoliv zobrazit jednotlivá měření.

V pravé části obrazovky jsou vidět operátorská data respektive naměřené údaje a údaje o místě měření. V dolní části obrazovky jsou pak údaje vozidlu. (SPZ, druh

vozdila.). Zelený a červený rámeček pak slouží k detailnímu zvětšení požadované oblasti.

Z důvodu ochrany osobních údajů jsem musel některá data ze zachycených snímků odstranit.



Obr. č. 29 Prostředí programu ARCHIV 4.1 LASER

### Výhody laserového měřiče rychlosti

- jednoduchá obsluha
- nižší pořizovací cena a vyšší dosah než klasické radary
- vynikající mobilita, okamžitá připravenost k práci
- malá divergence paprsku (možnost měřit odděleně vozidla jedoucí souběžně)
- řidič nemá možnost včas odhalit měřící stanoviště (antiradary)

## ZÁVĚR

Každý z nás se zcela jistě během dne setkává s nejrůznějšími podobami využití laserové technologie. Ať už jde o obyčejné laserové ukazovátko, nebo výrobek zpracovaný složitým technologickým postupem za pomoci laserového paprsku. Již málokdo si však uvědomí možnosti širokého využití, důležitost a význam tohoto objevu 20. století. Vždyť tato technologie denně ulehčuje práci v mnoha odvětvích a díky aplikaci do medicínských oborů i zachraňuje a zlepšuje kvalitu života mnoha z nás.

Právě proto je předkládaná bakalářská práce koncipována tak, aby zájemcům o danou problematiku přiblížila nejenom fyzikální podstatu laseru, ale zároveň odhalila široké možnosti využití laserové technologie. Její čtenář by si měl vytvořit představu o důležitosti objevu této technologie, se kterou se setkává v každodenním životě. Dále by si měl uvědomit že při nesprávném používání jakéhokoliv laserového zařízení může dojít k poškození zdraví a proto je třeba dodržovat bezpečnostní předpisy.

## Použitá literatura

- [1] KOLÁŘOVÁ, H., DITRICHOVÁ, D. Laserové záření v medicíně 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství University Palackého, 1996. 37 s. ISBN : 80-7067-608-6
- [2] JAVŮREK, J. Fototerapie biolaserem – léčebná metoda budoucnosti 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1995. 208 s. ISBN : 80-7169-046-5
- [3] *Lasery* [online]. 2.11.2002 [cit. 2009-09-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.ctenarskydenik.cz/referaty/referat.asp?id=3060&pageTitle=Lasery>>.
- [4] VŠETIČKA, Martin, REICHL, Jaroslav. Encyklopedie fyziky [online]. c2006 [cit. 2009-08-10]. Dostupný z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=786>>.
- [5] VŠETIČKA, Martin, REICHL, Jaroslav. Encyklopedie fyziky [online]. c2006 [cit. 2009-08-10]. Dostupný z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=788>>.
- [6] ING. ŘASA, CSC., Jaroslav , ING. KEREČANINOVÁ, PH.D., Zuzana . Nekonvenční metody obrábění – 4. díl. MM Průmyslové spektrum [online]. 2008 [cit. 2009-09-11].
- [7] *GEOPEN SYSTEMS* [online]. c2008-2009 [cit. 2009-06-10]. Dostupný z WWW: <[http://www.geopen.cz/files/uziti\\_laseru.pdf](http://www.geopen.cz/files/uziti_laseru.pdf)>.
- [8] DORŇÁK, Adam. *CAD.cz* [online]. c2009 [cit. 2009-09-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.cad.cz/gis/80-gis/1518-laserove-skenovani-neboli-laserscanning.html>>.
- [9] VOJTA, Filip. *Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Pedagogická fakulta* [online]. [2009] [cit. 2009-10-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Svadlenkova/Princip%20laseru.pdf>>.
- [10] VRBOVÁ M. a kol.: *Lasery a moderní optika – Oborová encyklopedie*, Prometheus, Praha, 1994
- [11] *Maturita.CZ* [online]. 16.5.2001 [cit. 2009-10-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.maturita.cz/referaty/referat.asp?id=1358>>.
- [12] MORÁVEK, R. *Nekonvenční metody obrábění 2. vyd.* Plzeň: Západočeská universita, 1999. 102 s. ISBN : 80- 7082-518-9
- [13] Laser Technology, Inc.. *Systém Micro DigiCam : Manuál uživatele*. Mezihorák 2004. [s.l.] : [s.n.], 2007. 101 s.
- [14] *PLS Laser Systems spol. s r.o.* [online]. c2005 [cit. 2009-08-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.plslaser.cz/pdf/lasery.pdf>>.
- [14] NAVRÁTIL, L. et al. *Moderní fototerapie a laseroterapie 1. vyd.* Praha: Vydavatelství Manus, 2000. 224 s. ISBN : 80- 902318-3-7

[15] ŘASA, J., JINDROVÁ, R. Lasery, laserové technologie a stroje s laserem. MM Průmyslové spektrum 2006/7

[16] ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z. Nekonvenční metody obrábění – 4. díl. MM Průmyslové spektrum 2008/3

[17] ENGST, Pavel, HORÁK, Milan. *Aplikace Laserů : Populární přednášky o fyzice.* Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. 204 s.

[18] Webové stránky firmy Medicom a.s. <http://medicomcz.noveranet.cz/>

[19] VLADIMÍR, Wagner. Pro někoho jen rentgenový laser, pro jiného gama laser. *OSEL (Objective Source E- Learning)* [online]. 2008 [cit. 2009-09-26].



# Přílohy

## Příloha č. 1.

### Tabulka č. 1 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy I

Délka vyzáření $t$ [s] Vlnová délka $\lambda$ [nm]	$< 10^{-9}$	$10^{-9}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	10	$10^3$	$10^4$	
		až $10^{-7}$	až $10^{-6}$	až $1,8 \cdot 10^{-5}$	až $5 \cdot 10^{-5}$	až 10	až $10^3$	až $10^4$	až $10^4$	
180 až 302,5	$2,4 \cdot 10^{-5} \text{ J}$									
302,5 až 315	$2,4 \cdot 10^4 \text{ W}$	$7,9 \cdot 10^7 \text{ C}_3 \text{ J}$							$7,9 \cdot 10^7 \text{ C}_3 \text{ J}$	
315 až 400		$7,9 \cdot 10^7 \text{ C}_1 \text{ J}$							$7,9 \cdot 10^6 \text{ W}$	
400	200 W	$2 \cdot 10^7 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^7 \text{ C}_1 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^3 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J}$	$3,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$3,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$3,9 \cdot 10^7 \text{ W}$	
až 550	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^5 t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^3 t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J} (t < T_1)$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J} (t < T_2)$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J} (t < T_2)$	$2,1 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2,1 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$21 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	
550 až 700	200 W	$2 \cdot 10^7 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^7 \text{ C}_3 \text{ J} (t > T_2)$	$7,9 \cdot 10^3 \text{ J} (t > T_2)$	$7,9 \cdot 10^3 \text{ C}_3 \text{ J} (t > T_2)$	$7,9 \cdot 10^3 \text{ C}_3 \text{ J} (t > T_2)$	$3,9 \cdot 10^3 \text{ C}_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} (t > T_2)$	$3,9 \cdot 10^3 \text{ C}_3 \text{ J} (t > T_2)$	$3,9 \cdot 10^7 \text{ C}_3 \text{ W}$	
700 až 1050	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^5 t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^5 t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J} (t < T_1)$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J} (t < T_2)$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ J} (t < T_2)$	$3,9 \cdot 10^4 t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} (t < T_1)$	$3,9 \cdot 10^4 t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} (t < T_2)$	$21 \text{ C}_3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	
700	200 $\text{C}_3 \text{ W}$	$2 \cdot 10^7 \text{ C}_4 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^7 t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J}$	$3,9 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J}$	$3,9 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J}$	$1,2 \cdot 10^4 \text{ C}_4 \text{ W}$	
až 1050	$10^{11} \text{ C}_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^5 t^{0,33} \text{ C}_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10^5 t^{0,33} \text{ C}_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J}$	$3,9 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$3,9 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ C}_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$6,4 \cdot 10^3 \text{ C}_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	
1050 až 1400	$2 \cdot 10^3 \text{ W}$ $5 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2 \cdot 10^6 \text{ J}$	$5 \cdot 10^5 t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$3,5 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ J}$	$3,5 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ J}$	$3,5 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ J}$	$1,9 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$1,9 \cdot 10^3 t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$6 \cdot 10^4 \text{ W}$ $3,2 \cdot 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	
1400 až 1530		$8 \cdot 10^5 \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$			$8 \cdot 10^4 \text{ W}$	
1530 až 1550	$8 \cdot 10^4 \text{ W}$	$8 \cdot 10^5 \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$				
1550 až $10^5$		$8 \cdot 10^5 \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J}$				
$10^5$ až $10^6$	$10^7 \text{ W}$	$10^2 \text{ J}$	$0,56 t^{0,25} \text{ J}$	$0,56 t^{0,25} \text{ J}$	$0,56 t^{0,25} \text{ J}$	$0,56 t^{0,25} \text{ J}$			$0,1 \text{ W}$	

**Tabulka č. 2 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy II**

<b>Vlnová délka <math>\lambda</math> [nm]</b>	<b>Délka vyzařování <math>t</math> [s]</b>	<b>Limit přístupné emise</b>
400 až 700	$t < 0,25$	stejně jako pro třídu I
	$t \geq 0,25$	$10^{-3}$ W

Tabulka č. 3 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy IIIa

Délka vyzářování t [s]	Vlnová délka $\lambda$ [nm]	$< 10^{-9}$	$10^{-9}$ až $10^{-7}$	$10^{-7}$ až $10^{-6}$	$10^{-6}$ až $1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ až $5,10^{-5}$	$5,10^{-5}$ až $0,25$	$0,25$ až $10$	$10$ až $10^4$	$10^4$ až $3,10^4$	
180 až 302,5		$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$								
302,5 až 315		$1,2 \cdot 10^5 \text{ W}$ a $3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$(t > T_1) \quad 4 \cdot 10^6 C_2 \text{ J}$ $(t < T_1) \quad C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$								
315 až 400			$4 \cdot 10^{-6} C_1 \text{ J}$ a $C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$								
400 až 700		$1000 \text{ W}$ a $5 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^6 \text{ J}$ $5 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$3,5 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$ $18 C_4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$4 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ a $10^1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
700 až 1050		$1000 C_4 \text{ W}$ a $5 \cdot 10^6 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^6 C_4 \text{ J}$ a $5 \cdot 10^{-3} C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$3,5 \cdot 10^{-3} C_4 t^{0,25} \text{ J}$ a $18 C_4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5 \cdot 10^3 \text{ W}$ a $25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  ( pro délku záření větší než 0,25 s je zrak chráněn působením mrkacího reflexu )				
1050 až 1400		$10^3 \text{ W}$ a $5 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^5 \text{ J}$ a $5 \cdot 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$1,8 \cdot 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$ a $90 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$						
1400 až 1530			$4 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ a $100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2,2 \cdot 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$						
1530 až 1550		$4 \cdot 10^5 \text{ W}$ a $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,0 \cdot 10^1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2,2 \cdot 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$						
1550 až 4000			$4 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ a $100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2,2 \cdot 10^{-2} t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$						
4000 až $10^6$		$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$						
			$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$								

**Tabulka č. 4 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy IIIb**

Délka vyzařování $t$ [s] Vlnová délka [nm]	$< 10^{-9}$	$10^{-9}$ až 0,25	0,25 až $3 \cdot 10^4$
180 až 302,5	$3,8 \cdot 10^5$ W	$3,8 \cdot 10^{-4}$ J	$1,5 \cdot 10^{-3}$ W
302,5 až 315	$1,25 \cdot 10^4 C_2$ W	$1,25 \cdot 10^{-5} C_2$ J	$5 \cdot 10^{-5} C_2$ W
315 až 400	$1,25 \cdot 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
400 až 700	$3,14 \cdot 10^{11}$ W.m <sup>-2</sup>	$3,14 \cdot 10^5 t^{0,33}$ J.m <sup>-2</sup> a $< 10^3$ J.m <sup>-2</sup>	0,5 W
700 až 1050	$3,14 \cdot 10^{11} C_4$ W.m <sup>-2</sup>	$3,14 \cdot 10^5 C_4 t^{0,33}$ J.m <sup>-2</sup> a $< 10^5$ J.m <sup>-2</sup>	0,5 W
1050 až 1400	$1,57 \cdot 10^{12}$ W.m <sup>-2</sup>	$1,57 \cdot 10^6 t^{0,33}$ J.m <sup>-2</sup> a $< 10^5$ J.m <sup>-2</sup>	0,5 W
1400 až $10^6$	$10^{14}$ W.m <sup>-2</sup>	$10^5$ J.m <sup>-2</sup>	0,5 W