

# **Modelování zabezpečovacího systému prostřednictvím 3D mračna**

Modeling of security system using quantum 3D mapping

Zdeněk Hamerník

---

Bakalářská práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zdeněk HAMERNÍK**  
Osobní číslo: **A09282**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Modelování zabezpečovacího systému  
prostřednictvím 3D mračna.**

Zásady pro vypracování:

1. **Prezentuje funkce a použití laserových měřících systémů.**
2. **Vysvětlíte na jakém principu pracuje laserový skener a jak fungují jeho jednotlivé prvky.**
3. **Popište použití laserových skenerů při ochraně objektu a perimetru.**
4. **Vysvětlíte zpracování výstupního signálu 3D laserového skeneru.**
5. **Prezentujte využití laserových měřících systémů při návrhu zabezpečení objektu.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. ŠTRONER, Martin a Jiří POSPÍŠIL. Terestrické skenovací systémy. První vydání. Praha: ČVUT Praha, 2008. ISBN 978-80-01-04141-3.
2. PAVELKA Karel a Jindřich HODAČ. Fotogrammetrie 3, Digitální metody a laserové skenování. První vydání. Praha: ČVUT Praha, 2008. ISBN 978-80-01-03978-6.
3. DOLANSKÝ Tomáš. Lidary a letecké laserové skenování. První vydání. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2004. ISBN 80-7044-575-0 [brož.].
4. AUTOMATIZACE, Odborný časopis pro automatizaci, měření a inženýrskou informatiku [on line], [cit. 2011-11-08]. Dostupné z <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1594>
5. TIPY SNÍMACÍCH SENZORŮ - CCD. [on line], [cit. 2011-11-05]. Dostupné z <http://www.neu-mann.cz/digitalni-fotografie/technologie/typy-snimacich-senzoru/>
6. HABEL Jiří. Osvětlování. Druhé vydání. Praha: ČVUT Praha, 1998. ISBN 80-01-01770-2 [brož.].
7. PAVELKA Karel. Laserové skenování, Nová technologie sběru prostorových dat, Praha: ČVUT Praha, 2006. ISBN 80-01-03501-8 [brož.].

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ján Ivanka

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012



L.S.

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
děkan

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
ředitel ústavu

## **ABSTRAKT**

Předložená bakalářská práce ve své literární rešerši prezentuje využití laserových měřicích systémů v průmyslu komerční bezpečnosti. Práce je zaměřena na využití laserových bezpečnostních systémů v oblasti fyzické bezpečnosti a jejich využitím při modelování prostorového modelu objektu zájmu s následným navržením vhodného zabezpečovacího systému. Teoretická část vysvětluje princip činnosti laserového skeneru a vlivu odrazivosti materiálů na jeho funkci. V praktické části je rozpracován postup samotného měření objektu zájmu, princip zpracování dat do podoby mračna bodů a metody jeho zpracování při tvorbě finálního modelu. V závěru bakalářská práce, je prezentováno využití 3D modelu v oblasti fyzické bezpečnosti. Využití 3D modelu při návrhu vhodného zabezpečovacího systému a využití laserových skenerů pro zabezpečení objektů a perimetrů.

Klíčová slova: fyzická bezpečnost, laserový měřicí systém, laserový skener, mračno bodů, CAD program, triangulace

## **ABSTRACT**

The submitted bachelor thesis in its literature research presents using of laser measurement systems in the security business. The thesis is focused on the laser security systems as a part of security infrastructure. Using of the laser system in modeling of 3D model of the object of interest, and the following proposal of the most suitable security system. In the theoretical part of the thesis, there is the explanation of the principle of the functionality of the laser scanner and the influence of the objects reflection to its ability working properly. At the practical part of the thesis there is description of the measurement procedures of the object of interest, data processing to the cloud of points and the process of the final model creating. At the final part, the thesis presents usage of the laser scanners in the area of physical security. Using 3D model when proposing the suitable security system and using this kind of technology to secure various sorts of installations and perimeters.

Keywords: physical security, laser measuring system, laser scanner, cloud of points, CAD program, triangulation

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Jánů Ivankovi za odborné vedení, rady a připomínky, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 LASEROVÉ SKENOVÁNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 PRINCIP ČINNOSTI LASEROVÉHO SKENERU .....	12
1.2 TERESTRICKÉ LASEROVÉ SKENERY .....	13
1.2.1 Pulzní metoda měření vzdálenosti .....	14
1.2.2 Fázová metoda měření vzdálenosti .....	15
1.3 TRIANGULAČNÍ LASEROVÉ SKENERY .....	16
<b>2 LASEROVÝ SKENER</b> .....	<b>18</b>
2.1 HLAVNÍ ČÁSTI LASEROVÉHO SKENERU .....	18
2.2 LASEROVÝ VYSÍLAČ .....	18
2.3 ROTAČNÍ ZRCADLO - OPTIKA SKENERU .....	20
2.3.1 Rozmítání pomocí rotačního zrcadla .....	20
2.3.2 Rozmítání optickým hranolem.....	21
2.3.3 Rozmítání optickými kabely .....	22
2.3.4 Otáčení předmětu, pohyb skeneru.....	23
2.4 LASEROVÝ PŘIJÍMAČ .....	24
2.5 KRYT SKENERU .....	25
2.6 ELEKTRONIKA LASEROVÉHO SKENERU .....	26
<b>3 ODRAZIVOST MATERIÁLŮ</b> .....	<b>27</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>29</b>
<b>4 VÝBĚR SKENERU</b> .....	<b>30</b>
4.1 POZEMNÍ MĚŘÍCÍ SYSTÉMY S VELKÝM DOSAHEM.....	30
4.2 POZEMNÍ MĚŘÍCÍ SYSTÉMY SE STŘEDNÍM DOSAHEM .....	30
4.3 POZEMNÍ MĚŘÍCÍ SYSTÉMY S KRÁTKÝM DOSAHEM .....	31
4.4 POZEMNÍ MĚŘÍCÍ SYSTÉMY S VELMI KRÁTKÝM DOSAHEM .....	32
4.5 KINEMATICKÉ SYSTÉMY UMÍSTĚNÉ NA VOZIDLE .....	32
4.6 KINEMATICKÉ SYSTÉMY UMÍSTĚNÉ NA LETADLE .....	34
4.6.1 Systém s rotačním zrcadlem .....	34
4.6.2 Systém s oscilujícím zrcadlem.....	35
4.6.3 Systém s optickými vlákny .....	36
4.6.4 Systém s eliptickým skenerem.....	36
<b>5 SKENOVÁNÍ OBJEKTU A VYTVÁŘENÍ 3D MODELU</b> .....	<b>38</b>
5.1 OVLÁDÁNÍ LASEROVÉHO SKENERU .....	38
5.2 SPOJOVÁNÍ MRAČEN BODŮ .....	40
5.2.1 Metoda vlíčovacích bodů .....	40
5.2.2 Metoda částečných překrytů .....	41
5.3 ÚPRAVY MRAČEN BODŮ A TVORBA 3D MODELU .....	41
5.3.1 Vstupní úpravy dat.....	41

5.3.2	Následná optimalizace dat .....	42
5.3.3	Drátový model .....	43
5.3.4	Trojúhelníkové sítě .....	43
5.3.5	Matematické primitivy .....	45
5.4	VIZUALIZACE .....	45
<b>6</b>	<b>NÁVRH ZABEZPEČENÍ OBJEKTU S VYUŽITÍM LASEROVÝCH MĚŘÍCÍCH SYSTÉMŮ .....</b>	<b>47</b>
6.1	NOVÉ TRENDY .....	47
6.2	VYUŽITÍ LASEROVÝCH MĚŘÍCÍCH SYSTÉMŮ PŘI NÁVRHU ZABEZPEČENÍ OBJEKTU .....	48
<b>7</b>	<b>POUŽITÍ LASEROVÝCH SKENERŮ PŘI STŘEŽENÍ OBJEKTU .....</b>	<b>50</b>
7.1	LASEROVÉ SKENERY S HORIZONTÁLNÍ OBLASTÍ STŘEŽENÍ .....	51
7.2	LASEROVÉ SKENERY S VERTIKÁLNÍ OBLASTÍ STŘEŽENÍ .....	53
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>55</b>
	<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>64</b>



## ÚVOD

V současné době se nároky na bezpečnostní technologie stále zvyšují. Tento trend se projevuje v oblasti střežení perimetrů firem, vnitřních prostor a v neposlední řadě rozsáhlých objektů státní důležitosti jako jsou například letiště nebo státní instituce. Hodnota know-how je v dnešní době mnohdy velmi vysoká a často znamená pro firmu základní jmění, kterým disponuje a udržuje si tak jedinečnou pozici na trhu. Z těchto důvodů dnes firmy investují nemalé peníze do zabezpečení svých objektů. Dalším z důvodů zabezpečení je samozřejmě ochrana majetku. Aby bylo možné plnit stále se zvyšující požadavky zákazníků, musí i bezpečnostní průmysl na tento trend reagovat. Dnes se již nikdo nespokojí s pouhými pasivním zabezpečením pracujícím na principu „klid“ nebo „poplach“ bez možnosti monitorování prostoru. Už se také nedá hovořit jen o zabezpečovacím zařízení, ale musíme hovořit o zabezpečovacím systému, kde jednotlivé prvky vzájemně spolupracují. Proto se stále vyvíjejí nové a nové druhy inteligentních zabezpečovacích systémů, mezi které řadíme mimo jiné i laserové měřicí systémy. Tyto systémy jsou schopny monitorovat nejen předměty v dané oblasti zájmu, jejich povrch ale také veškerý pohyb. Jsou schopny pracovat v různých režimech. Jiný režim bude použit v pracovní době, kdy se v prostoru zájmu pohybují lidé a jiný například v noci. Umožňují softwarově nastavit také okraj hranice hlídaného prostoru, citlivost a mnoho dalších parametrů. Hlavním prvkem laserového měřicího systému je laserový skener. Je to detektor, který pracuje na principu laserového dálkoměru. Tento potom zasílá přijatou informaci k dalšímu zpracování. Tyto detektory pracují na dvouprostorovém nebo tříprostorovém principu. Pokud velmi citlivý laserový systém zaznamená narušení sledovaného prostoru, lze na toto konkrétní místo následně zaměřit kamerový systém, který místo narušení může účinně sledovat a nahrávat. Obsluha takového zařízení může prostor nadále sledovat a přijmout adekvátní režimová opatření. „Do aplikačních oblastí, ve kterých se skenery laserových měřicích systémů a laserových dálkoměrů nejvíce využívají, patří zabezpečení perimetru velkých ploch v areálu strategicky významných budov nebo např. v poslední době vzrůstající zabezpečení perimetru ploch solárních panelů, dále pak zabezpečení plochy střech a fasád budov jako jsou věznice, ambasády, skladové haly či banky, zabezpečení přístupu k exponátům v muzeích nebo zabezpečení plochy armádních budov, letišť či hangárů“[1]. Laserové systémy ovšem nenacházejí své využití pouze v zabezpečovacích systémech. V moderní době stále častěji nacházejí uplatnění při samotném návrhu zabezpečovacího systému a to prostřednictvím 3D skenerů.

Existuje mnoho různých modifikací laserových skenerů, ale princip činnosti těchto zařízení je víceméně stejný. Laserové skenery se liší především typem použití. V současné době rozeznáváme terestrické skenery stacionární nebo mobilní. Stacionární skenery jsou obvykle instalované na stativu nebo na speciální podložce pro skenování předmětů. Mobilní skenery mohou být instalované na vozidle, letadle nebo helikoptěře. Letecké skenování terénu je určeno pro snímání rozlehlých perimetrů. Převážně využíváno ve vojenství. Koncem minulého století tato technologie byla představována pouze na veletrzích a patřila spíše do oblasti budoucnosti. S pokrokem a snižováním ceny technologií jsou ovšem tyto systémy stále častěji zaváděny do praxe. Současné systémy jsou schopny pomocí 3D skeneru nasnímat požadovaný objekt a pomocí programu vytvořit mračno bodů které odpovídá skenovanému objektu. Dnešní skenery mají zabudované velmi citlivé zrcadlové kamery, které snímají povrch skenovaného objektu a zajistí tak věrnost jeho textur. Na výstupu takového systému je téměř dokonalá prostorová kopie skenovaného objektu ve zmenšeném měřítku.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

## 1.1 Princip činnosti laserového skeneru

Základem laserových měřících systémů je laserový měřící skener. Laserový měřící skener je v podstatě bezkontaktní měřící zařízení. Je to laserový dálkoměr, který vyhodnocuje jednotlivé body v prostoru před ním tak že měří jejich vzdálenost a tím přesně určuje jejich polohu v prostoru.

Měření vzdálenosti se provádí pomocí:

- polární metody,
- pomocí metody ze známé základny.

Skenery, které využívají polární metodu výpočtu polohy bodu, pracují na principu elektronického způsobu měření vzdálenosti a nazývají se terestrické skenery. Skenery, které naopak používají metodu měření bodů ze známé základny, pracují na principu optického měření vzdálenosti a jsou nazývány triangulační skenery. Dále existují laserové skenery, které pracují na principu impulzním, fázovým nebo frekvenčním. Mohou se rozdělovat podle jejich umístění:

- statické laserové skenery,
- kinematické laserové skenery.

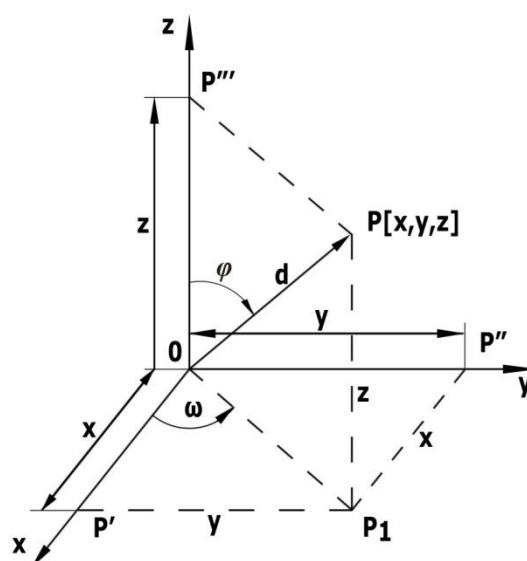
Statické skenery jsou umístěny pevně na zemi. Oproti tomu kinematické skenery mohou být umístěny na vozidlech, jak můžeme znát například od firmy Google která využívá tento způsob skenování pro své navigační programy jako mapové podklady, nebo na letadlech. Tento způsob umístění je v poslední době stále více využíván. Používá se pro skenování velmi rozsáhlých perimetrů. Laserové skenery lze dále dělit podle skenovaného úhlu, rychlosti skenování, zorného pole, principu činnosti, dosahu nebo úhlového rozlišení. Rozdělení je celá řada, ale základní princip činnosti skeneru je stejný.

Každý laserový skener obsahuje laserový vysílač, který emituje laserový paprsek. Ten se odráží od polopropustného hranolu, dále od rotačního zrcadla a potom skrz průzor skeneru ven do prostoru. V tomto prostoru vyslaný paprsek letí a odráží se od předmětů zpět do skeneru. Každý předmět odráží laserové paprsky jinak. Je to závislé na hustotě materiálu, ze kterého se skládá a také na jeho barvě. Z toho plyne, že odražený paprsek má jinou intenzitu než paprsek vyslaný. Paprsek proniká opět skrz průzor skeneru a znovu se odráží od otočného zrcadla. Tentokrát ale polopropustným hranolem proletí přímo do přijímače

laserového signálu. Přijímač přijatý paprsek zpracuje a přemění na elektrické impulzy. Elektrické impulzy jsou dále modulovány modulačním kmitočtem a odeslány přes konektory skeneru po kabelu do počítače. V počítači se již takto přijatý signál softwarově zpracuje podle způsobu použití laserového skeneru. Výsledkem tedy může být dvourozměrný nebo trojrozměrný obraz snímaného prostoru. Pokud je skener zapojený například jako prvek plášťové ochrany tak je schopen velmi přesně zaznamenat narušení tohoto prostoru. U trojrozměrných skenerů je pak výsledkem zpracování signálů tak zvané mračno bodů. Toto mračno bodů se pro lidské oko jeví jako změť teček o různé intenzitě a je velmi nepřehledné. Proto se tedy pokrývá texturami a takto je vytvářen zmenšený model skenovaného prostoru v tomto případě již dobře rozlišitelný pro lidské smysly. Zpracovaný model nebo obraz lze nadále využít jak pro střežení například perimetru nebo rozsáhlého objektu nebo a to především využije se pro navržení zabezpečovacího systému.

## 1.2 Terestrické laserové skenery

Terestrické laserové skenery pracují na principu elektronického způsobu měření vzdálenosti a k vyhodnocování měřených bodů v prostoru používají polární metodu (obr. 1). Aby bylo možné pomocí polární metody určit souřadnice bodu  $P$ , musíme znát délku průvodiče  $d$  a úhly  $\varphi$  a  $\omega$ , kde průvodič představuje vzdálenost měřeného bodu  $P$  a úhly  $\varphi$  a  $\omega$  představují odklon průvodiče od osy  $x$  a osy  $z$ .



Obr. 1 Polární metoda určování souřadnic  
prostorových bodů

Vzdálenost  $d$  získáme právě odečtením z laserového dálkoměru a požadované úhly určíme podle polohy zrcadel, které rozmítají laserový paprsek. Laserový skener tímto způsobem určuje souřadnice pro každý jednotlivý sejmutý bod. Výsledkem je již výše zmiňované mračno bodů kde každý bod má jedinečné a přesně dané prostorové souřadnice. Terestrický laserový skener je ve své postati dálkoměr, který pro určení vzdálenosti  $d$  používá elektronický způsob měření. Rozeznáváme dvě metody měření:

- metoda pulzní,
- metoda fázová.

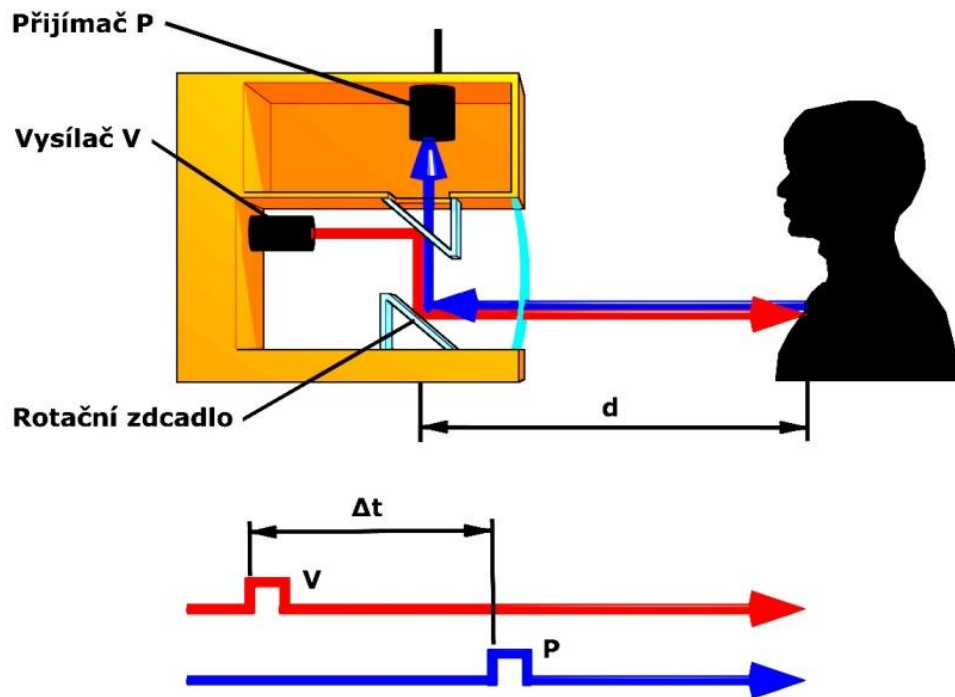
### 1.2.1 Pulzní metoda měření vzdálenosti

Můžeme konstatovat, že skener využívá u pulzní metody ke stanovení vzdálenosti měření tranzitního času. Tranzitní čas je doba, za kterou laserový paprsek urazí vzdálenost k měřenému bodu a zpět (obr. 2). V praxi to znamená, že laserový paprsek není z laserového zdroje vysílán kontinuálně ale v pulzech, protože jinak by nebylo možné měření provádět. Zdroj laserového signálu tedy vyšle signál a ve stejném okamžiku se spustí časový čítač. Paprsek letí přes optiku skeneru ven směrem k měřenému objektu. Tam se odrazí od určitého bodu na tomto objektu a vrací se zpět do skeneru, kde prochází opět optikou, ale tentokrát paprsek dopadá na přijímač dálkoměru. V tomto okamžiku se časový čítač zastaví a provede se odečtení času  $\Delta t$ . Jelikož laserový paprsek je vlastně koherentní světelný paprsek, šíří se tedy rychlostí světla, která je zaokrouhleně  $300\,000\,000\text{ ms}^{-1}$  ( $3 \cdot 10^8\text{ ms}^{-1}$ ). Pokud naměřená hodnota času letu paprsku k předmětu a zpět je například  $\Delta t = 0,1\mu\text{s}$ , z výše uvedeného tedy plyne, že paprsek urazil vzdálenost 30 metrů. Měřený bod se tedy nachází ve vzdálenosti 15 metrů, protože vzdálenost se rovná polovině vzdálenosti času letu paprsku. Vzdálenost jednotlivých bodů objektu je tedy přímo úměrná zpoždění impulzu  $\Delta t$ . Pro výše uvedené tedy platí následující vztah:

$$d = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot \Delta t}{2} \quad (1)$$

Z příkladu můžeme vidět, že tranzitní časy  $\Delta t$  jsou velmi malé. Z toho tedy plyne, že celý systém je velmi náročný na přesnost měření tranzitního času  $\Delta t$ . Protože právě generátor

času, který má za úkol v přesném časovém okamžiku vyslat laserový impulz, tento vyše se zpožděním nebo s předstihem bude pak vypočtená výsledná vzdálenost chybná. Proto tyto přístroje musí být velmi přesně kalibrovány.



Obr. 2 Princip činnosti pulzního dálkoměru

### 1.2.2 Fázová metoda měření vzdálenosti

U metody fázového měření se určuje posun fáze vyslaného signálu a přijatého signálu. To znamená, že vysílač skeneru vyše paprsek o určité modulaci  $\lambda$ . Ten se odrazí od měřeného předmětu (bodu) zpět do skeneru tentokrát do přijímače ale s určitým fázovým posunem  $\Delta\varphi$ . Pokud by paprsek urazil vzdálenost od vysílače k měřenému bodu a zpět do přijímače kratší než je amplituda modulovaného signálu tak by bylo možné z tohoto fázového posunu přímo určit vzdálenost měřeného bodu  $d$ . Takovéto skenery by pak bylo ovšem možné použít pouze na velmi malé vzdálenosti. Z toho důvodu se vysílají modulované paprsky dva až tři s různými modulacemi. Skener je potom schopen určit i počet celých vlnových délek. Potom platí, že počet celých vlnových délek  $n$  plus vypočtená délka fázového posunu  $d$  je rovna dvojnásobku celkové vzdálenosti  $s$  měřeného bodu, protože paprsek tuto vzdálenost urazí dvakrát. Výsledná vzdálenost je tedy polovina. Z toho tedy plyne následující vztah:

$$s = \frac{n \cdot \lambda + d}{2} \quad (2)$$

Skenery pracující na fázovém posunu pracují s nižší přesností, řádově v milimetrech. Používají se při měření na větší vzdálenosti, kde vykazují dobré vlastnosti a jsou vhodné zejména pro snímání povrchů, které pohlcují nebo rozptylují laserový paprsek a vykazují tak horší odrazivost. Jedná se o vzdálenost stovek metrů až kilometrů. Při této vzdálenosti je milimetrová přesnost zanedbatelná a dostačující. Samozřejmě že přesnost přímo úměrně klesá s rostoucí vzdáleností a na vzdálenost jeden kilometr se již přesnost pohybuje jen v desítkách milimetrů. Naleznou tedy široké uplatnění zejména pro snímání rozlehlých perimetrů, terénů nebo budov. Jsou také vhodné pro kinematické laserové měřicí systémy. Mohou být tedy umístěny na vozidlech, helikoptérách nebo letadlech pro snímání zemského povrchu. Vzorkovací kmitočet triangulačních skenerů se může pohybovat až do 120 kHz. Kmitočet 120 kHz představuje 120 000 měření za jednu sekundu. Systém pracující na principu fázové metody se vyznačuje nepřesností ve snímání hran. Hran snímaných předmětů jsou zobrazeny neostře a jsou zaoblené. Zaoblení hran lze odstranit vyšší citlivostí, ale za cenu snížení rychlosti. Proto se musí volit kompromisní řešení.

### 1.3 Triangulační laserové skenery

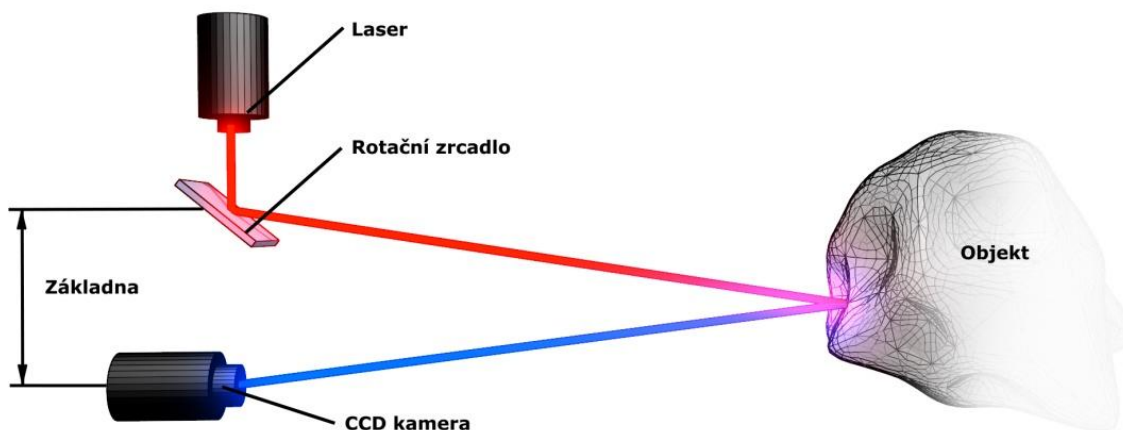
Triangulační laserový skener pracuje na optickém principu. Někdy je tento systém skenování nazýván měření ze známé základny. Jak již název sám napovídá, systém vyhodnocuje snímané body v prostoru zájmu na základě triangulační tedy trojúhelníkové metody (obr. 3). Vrcholy trojúhelníka jsou tvořeny laserovým vysílačem neboli středem otočného zrcadla, tečkou laseru, kterou je osvětlen měřený bod, a CCD<sup>1</sup> přijímačem laserového signálu. Jelikož vysílač a přijímač jsou umístěny na stejné základně tak vzdálenost mezi nimi je známá a tvoří tedy jednu ze stran trojúhelníka. Dále úhel, pod

---

<sup>1</sup> **CCD** je elektronická součástka používaná pro snímání obrazové informace. Uplatnění má například ve videokamérách, digitálních fotoaparátech, faxech, scannerech, čtečkách čárových kódů, ale i řadě vědeckých přístrojů, jakými jsou například astronomické dalekohledy (včetně například Hubbleova teleskopu). Zkratka CCD pochází z anglického Charge-Coupled Device, což v překladu znamená zařízení s vázanými náboji [4].



který je vyzařován paprsek z vysílače je také znám a úhel pod kterým kamera snímá laserovou tečku je také znám. Tyto tři údaje jsou dostačující pro přesné určení polohy měřeného bodu. Velmi často se místo tečky používá proužek. Použití laserového proužku umožňuje snadnější zaměření CCD kamery do požadovaného směru a tím i rychlejší snímání měřených bodů.



Obr. 3 Princip činnosti triangulačního skeneru

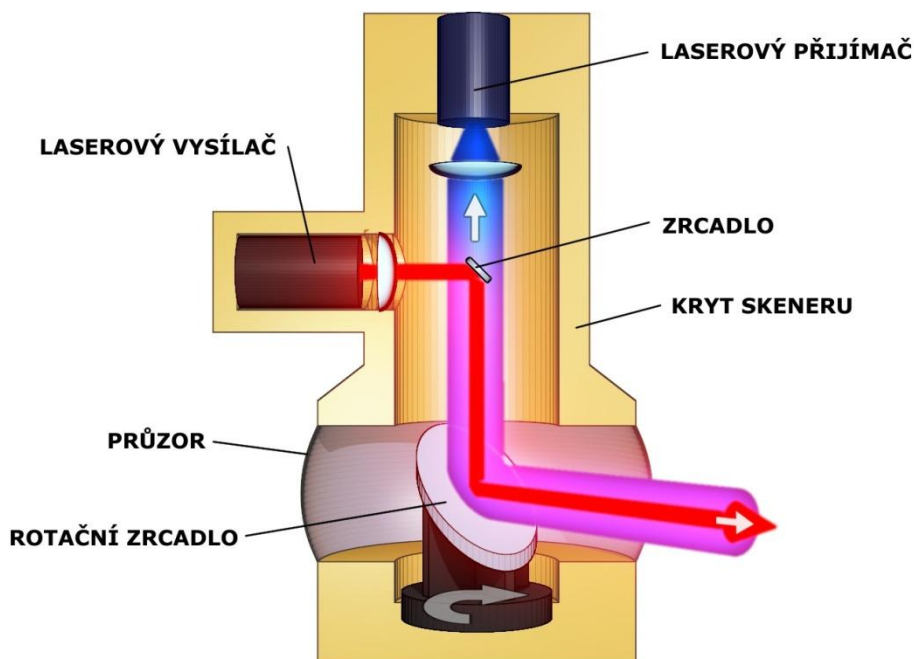
Na základě skutečností lze konstatovat, že triangulační skenery mají opačné vlastnosti jako skenery terestrické. Jsou tedy schopny snímat prostor jen do vzdálenosti několika metrů, ale na druhou stranu se vyznačují vysokou přesností. Tato se pohybuje v desítkách mikrometrů. Triangulační skenery využívají velmi vysokou vzorkovací frekvenci, což jim umožňuje snímat předměty s vysokou rychlostí a přesností. Vzorkovací frekvence se pohybuje u systémů s nižším rozlišením okolo 10 000 vzorků za sekundu. Systémy s vysokým rozlišením jsou naopak schopny provést až kolem 1 000 000 vzorků za sekundu. Triangulační skenery tak nacházejí uplatnění v interiérech, ve snímání blízkých objektů a především předmětů.

## 2 LASEROVÝ SKENER

### 2.1 Hlavní části laserového skeneru

Laserový skener je bezkontaktní měřicí zařízení. V současnosti rozeznáváme několik typů laserových skenerů. Nicméně každý laserový skener se skládá s následujícími základními částmi (obr. 4):

- laserový vysílač,
- rotační zrcadlo - optika skeneru,
- laserový přijímač,
- kryt skeneru,
- elektronika skeneru.



Obr. 4 Řez laserovým skenerem

### 2.2 Laserový vysílač

Jelikož klasické světlo obsahuje všechny vlnové délky světelného spektra a navíc se šíří všemi směry je pro použití v měřicích systémech nevhodné. Ideální pro tyto systémy je laserové světlo, které je monochromatické a vyzařuje jen jedním směrem, je tedy koherentní. Laser je kvantový zesilovač světla a jeho světlo je velmi intenzivní. Většina

laserů pracuje v bezpečnostní třídě 1, ale u skenerů s velkým dosahem se můžeme setkat i se zřízenými pracujícími v bezpečnostní třídě 2<sup>2</sup>. Proto se při práci s laserovými skenery musí vždy dodržovat bezpečnostní předpisy týkající se práce s laserovými zařízeními. Nejčastěji se u laserových měřících systémů používají polovodičové zdroje laseru, známé jako laserová dioda (obr. 5). Jako aktivní prostředí je použit přechod PN a přiložením elektrického pole k tomuto přechodu se tento vybudí. Velikou výhodou laserových diod je, že jsou schopny pracovat v širokém spektru a to od 532nm až do 780nm. Vyzářené světlo lze rozdělit do několika pásem:

- 532nm zelený laser (viditelná oblast spektra),
- 632 – 635nm červený laser (viditelná oblast spektra),
- 650nm červený laser (viditelná oblast spektra),
- 780 – 815nm blízko infračervené oblasti (neviditelná oblast spektra).

Změnou budícího proudu je možné měnit u laserové diody frekvenci vyzářeného paprsku. Další velmi významným faktorem u použití polovodičových laserů je jejich kompaktnost a především jejich vysoká účinnost a tedy jejich velmi malé spotřebě. Běžně uváděná účinnost až 50%. V současné době se už můžeme ale setkat už i s laserovými diodami, u kterých se uvádí účinnost vyšší jak 80%. Nezanedbatelnou výhodou je jejich robustnost na zacházení. Ovšem i laserové diody mají své nevýhody. Jednou z nich je citlivost na pracovní teplotu. Se snižující se teplotou se u polovodičových laserů rychle snižuje jejich účinnost. Toto se odstraňuje vyhříváním laserových přístrojů (toto bude blíže popsáno v odstavci kryt skeneru). Dále je to poměrně velká rozbíhavost laserového paprsku, která může dosahovat až 10° v podélném a 30° v příčném směru. Rozbíhavost se obvykle řeší vhodnou optickou soustavou, která zajistí úzkou směrovost paprsku. Použité čočky ovšem musí být cylindrické, protože vyzářený paprsek není ve svém řezu kruhového tvaru, ale je eliptický. Pokud vycházíme s principu činnosti laserových měřících systémů (dále jen LMS), tak zdroj laserového signálu pracuje v impulzním režimu. Tím zároveň dochází k prodloužení životnosti laserových diod.

---

<sup>2</sup> ČSN EN 60825-1-ed.2 (367750) Datum vydání: 1. 6. 2008. Bezpečnost laserových zařízení - Část 1: Klasifikace zařízení a požadavky.

- Třída I - možnost trvalého pohledu do laseru bez následků [6]
- Třída II - viditelné kontinuální záření, před poškozením oka chrání mrkací reflex [6]



*Obr. 5 Laserová dioda [19]*

### **2.3 Rotační zrcadlo - optika skeneru**

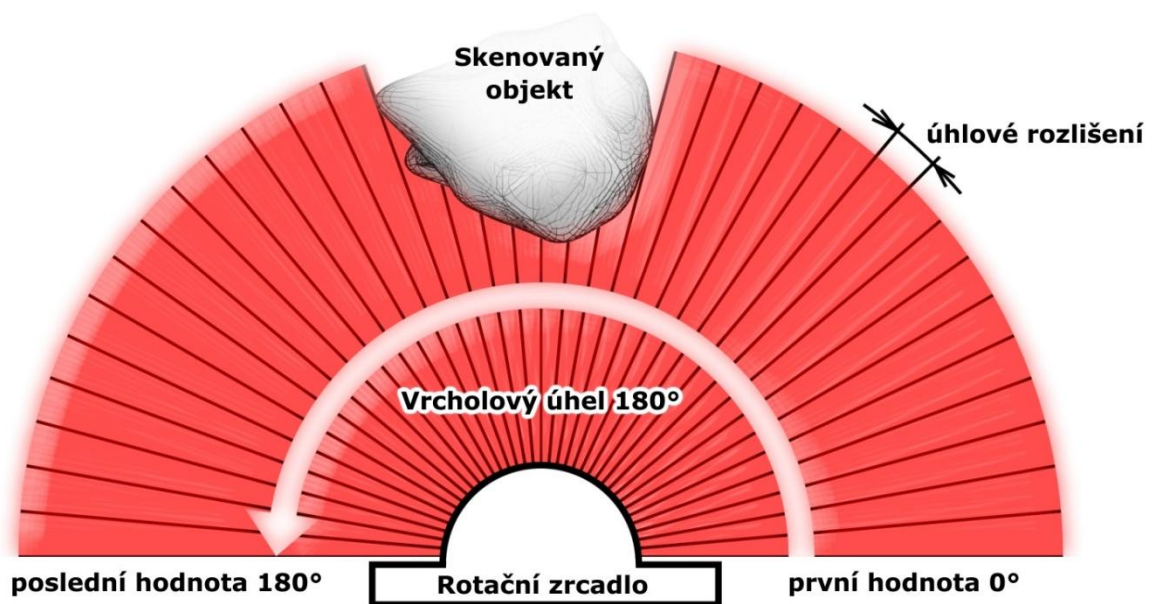
Rozmítání paprsku do stran je u laserových měřicích systémů dosahováno několika způsoby. Rozeznáváme následující základní způsoby rozmítání laserového paprsku:

- rozmítání otočným zrcadlem,
- rozmítání optickým hranolem,
- rozmítání optickými kabely,
- otáčením předmětu, pohybem skeneru.

#### **2.3.1 Rozmítání pomocí rotačního zrcadla**

Použití rotačního zrcadla je jedním ze základních způsobů rozmítání laserového paprsku u LMS. Zrcadlo se otáčí kolem své osy a vychyluje laserový paprsek, který na něj dopadá ze zdroje do prostoru. Otáčí se v cyklech tak, že se na konci cyklu (jedné otočky) se vrátí zpět do své výchozí pozice, nebo se otočí o 360° kolem své osy opět do své výchozí pozice. Jedno takové otočení se pak označuje jako jeden cyklus. Zrcadlo se otáčí obrovskou rychlostí, řádově v jednotkách milisekund. Jeden cyklus zrcadla ohraničuje pracovní rozsah laserového skeneru, který je ve tvaru kruhové výseče. Vrcholový úhel této výseče pak udává pracovní rozsah skeneru (obr. 6). Nejběžněji používaný rozsah laserových skenerů se pohybuje mezi 170° a 190°. Zrcadlo se neotáčí kontinuálně ale krokově. Velikostí kroku se nastavuje úhlové rozlišení laserového skeneru tj. citlivost skeneru. Je to vzdálenost, kterou urazí zrcadlo mezi jednotlivými laserovými impulzy. Úhlové rozlišení se zpravidla pohybuje v hodnotách od 0,125° až do 1°. Jestliže je úhlové rozlišení velké,

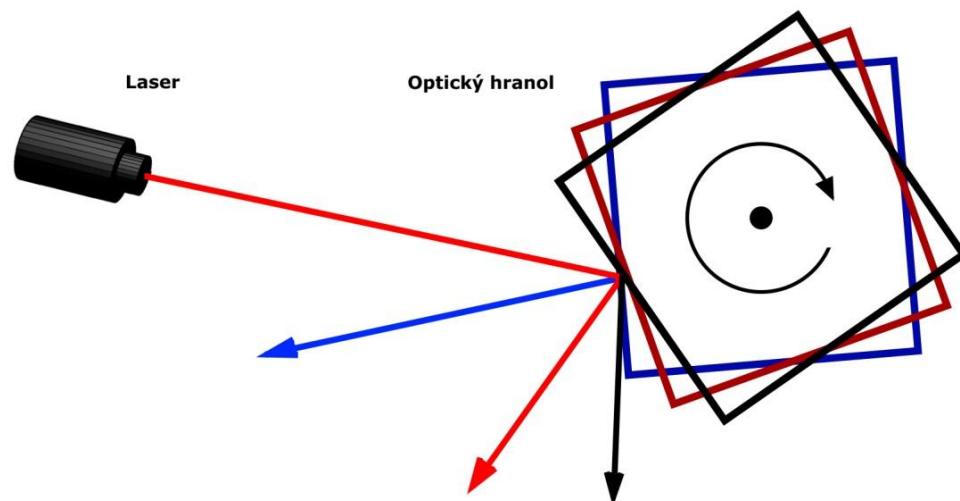
z toho plyne i vysoké rozlišení systému a naopak. S větším rozlišením se ale zároveň celý systém zpomaluje, protože je potřeba vyššího počtu kroků. V praxi se tedy musí volit kompromisní nastavení tak aby systém byl dostatečně rychlý ale kvalita výsledného zobrazení byla dostatečná. Pokud se provádí měření za účelem dalšího zpracování výstupu v CAD programech, projektování nebo vytvoření technické dokumentace nebo modelu objektu tak většinou nezáleží tolik na rychlosti LMS ale na maximálním rozlišení. Naopak při použití LMS jako prvku zabezpečovacího systému zdaleka tolik nezáleží na kvalitě výsledného obrazu ale na rychlosti LMS. Nicméně jestliže LMS jsou schopny provést nejméně 10 000 skenů za sekundu tak je kvalita obrazu na výstupu i tak velmi dobrá.



Obr. 6 Pracovní rozsah laserového skeneru

### 2.3.2 Rozmítání optickým hranolem

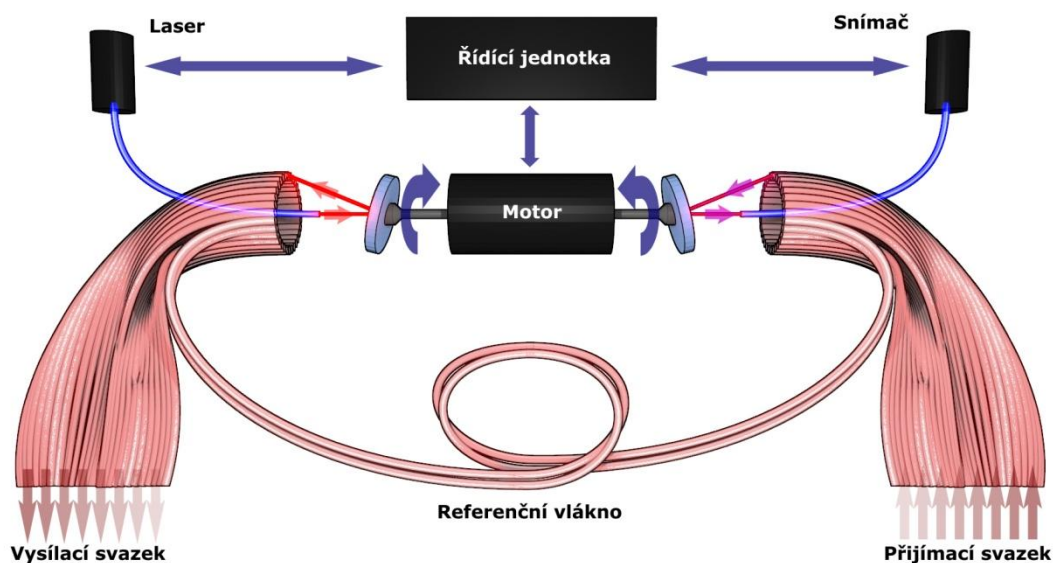
Použitím optických hranolů lze odstranit některé negativní vlastnosti otočných zrcadel. Každý optický hranol má určitý počet hran. Hranol se otáčí kolem své osy pořád dokola. To znamená, že zde nedochází k žádnému vracení se do výchozí pozice ale jen k přechodu přes hranu hranolu a zahájení dalšího cyklu skenování (obr. 7). Další negativní vlastností zrcadel je tzv. slepnutí, tj. zrcadlo v místě kde se odráží, laserový paprsek, začne ztrácet odrazivost a tím se snižuje účinnost laserového skeneru. Optické hranoly tímto neduhem netrpí a udržují si stejnou odrazivost po celou dobu své životnosti. Další princip činnosti při použití optického hranolu je stejný.



Obr. 7 Princip rozmítání laserového paprsku optickým hranolem

### 2.3.3 Rozmítání optickými kabely

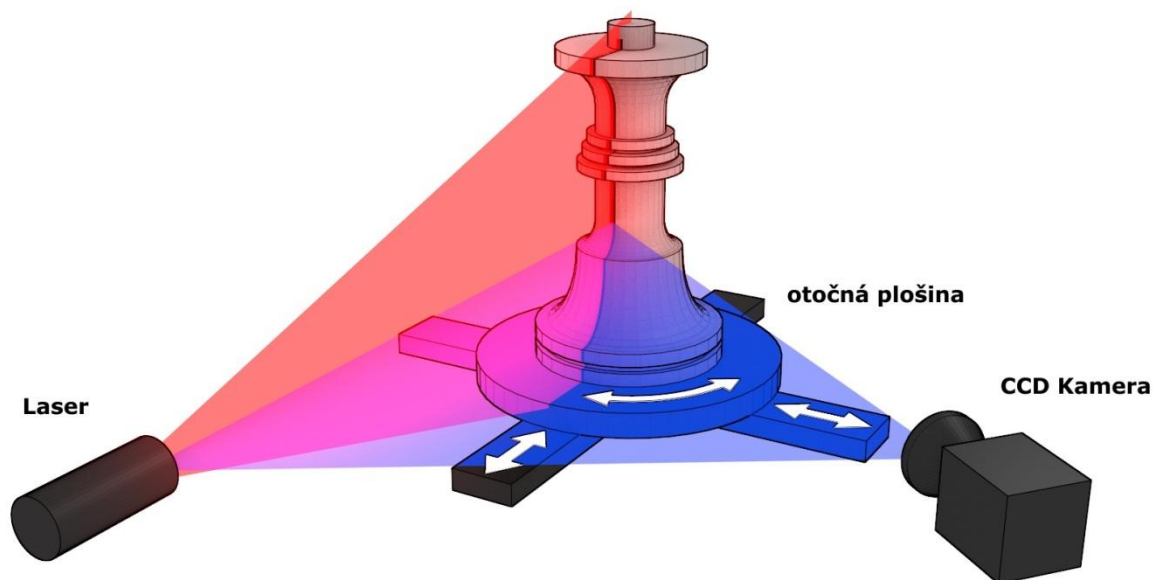
Metoda rozmítání optickými kabely již není tak častá jako předchozí dvě. Celý systém funguje tak že laserový paprsek je otočným zrcadlem rozmítán do jednotlivých optických vláken (obr. 8), která jsou umístěna v kruhu kolem něj. Optická vlákna jsou na druhém konci seřazena do jedné přímky a vzájemně od sebe odkloněna. Tento odklon udává úhlové rozlišení. Počet vláken pak udává rozlišení. Uvedený způsob nenachází časté použití.



Obr. 8 Princip rozmítání laserového paprsku optickými vlákny

### 2.3.4 Otáčení předmětu, pohyb skeneru

U skenování menších objektů lze použít způsobu skenování, při kterém se dosahuje 3D rozměru otáčením předmětu. Je založen na principu použití 2D skeneru a otočné plošiny která zabezpečuje třetí rozměr. Skenovaný předmět je pevně umístěn na otočné plošině a na této rotuje konstantní rychlostí kolem své osy. Tento způsob je typický pro použití triangulačních skenerů. Na otáčející předmět se rozmítá laserový paprsek, který vytváří laserový pruh a tento je po odrazu snímán kamerou skeneru (obr. 9). Na výstupu takového systému je po softwarovém zpracování mračno bodů, které se pokrývá texturami a lze vytvořit identický model předmětu. Používáné především u předmětové ochrany u velmi cenných předmětů.



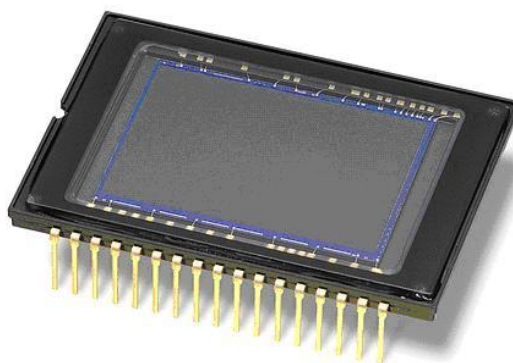
Obr. 9 Princip rozmítání laserového paprsku otočnou plošinou

Existuje další způsob skenování s použitím 2D skenerů, kde se tentokrát třetího rozměru dosahuje pohybem skeneru a podle toho se nazývají kinematické systémy. Dopředného pohybu se docílí upevněním laserových měřících systémů pomocí speciálních rámců, umožňující přesné nastavení skeneru na autě, vrtulníku nebo na letadle. Kinematické systémy nacházejí využití naopak pro skenování rozlehlých perimetrů nebo i celých území. Firma Google například používá speciální rámy, pomocí kterých jsou laserové 2D skenery upevněny na automobilech, které systematicky projíždí krajem a městy kde získávají data o profilu terénu. Získaná data slouží jako mapové podklady pro navigace. Navigace vybavené trojrozměrnými datovými informacemi jsou pak schopny zobrazovat terén

plasticky tedy ve 3D módu. Řidič vidí na obrazovce navigačního zařízení reálné budovy a jiné terénní objekty. Umístění skeneru na letadle se využívá k nasnímání rozlehlého terénu z nadhledu. Získaná data pak opět slouží k vytvoření mračna bodů a následně modelu terénu nebo objektu.

## 2.4 Laserový přijímač

Laserový paprsek, odražený od předmětu, se vrací zpět do přijímače skeneru. Laserový přijímač se skládá z optické čočky, která má za úkol soustředit rozptýlený laserový paprsek do úzkého svazku (bodu) a tento dopadá na fotoelektrický prvek který je velmi citlivý na světlo. Fotoelektrický prvek převádí přijímaný laserový paprsek na elektrický náboj. Základem fotoelektrického prvku je CCD<sup>3</sup> snímač (obr. 10). CCD snímače jsou základem dnešních digitálních fotoaparátů a kamer. Snímač musí mít dostatečně vysoké rozlišení. Podle počtu světlo citlivých buněk CCD snímače se určuje jeho rozlišení. Pro snímání barevného obrazu se před CCD snímač vkládají barevné filtry. Vzniklý analogový elektrický náboj se pomocí A/D převodníku převádí na signál digitální který je již vhodný pro další softwarové zpracování. Jelikož LMS jsou velmi náročné na přesnost zpracování, používají se šestnácti bitové A/D převodníky.



Obr. 10 CCD snímač [4]

---

<sup>3</sup> CCD (charge coupled device) je polovodičová součástka, která původně byla vyvíjena pro použití jako paměťový čip. Zatímco jako paměť se nikdy moc nevyužívala, její schopnost převádět dopadající světlo na velikost náboje umožnila vznik snímače obrazu[2].



## 2.5 Kryt skeneru

Jeden z hlavních úkolů krytu je chránit celý mechanismus skeneru před venkovními vlivy. Existují skenery, které jsou primárně určeny jen pro vnitřní nebo venkovní použití. Další skupinu tvoří skenery univerzální. Samozřejmě že venkovní skener lze použít i v interiéru ale opačně toto nelze. Skenery určené pro interiéry nemají většinou tak robustní konstrukci a jsou tedy lehce náchylné k poškození. Asi největším rozdílem je ale vytápění přístroje. Vytápění u venkovních skenerů musí být bezpodmínečně zajištěno, jinak není možné zajistit jejich bezchybnou funkci po celý rok. Jak již bylo zmíněno, ve většině skenerů se používá pro své vlastnosti polovodičový laser. Ten je však velice náchylný na teplotu. Se snižující se teplotou se snižuje výkon laserové diody. Pokud by výkon klesl pod určitou mez, byla by výrazně omezena funkce skeneru, případně by vyzářený paprsek byl už tak slabý, že by nefungoval vůbec. Vyhřívání bývá obvykle instalováno do zadní části skeneru tak že vyhřívá celý vnitřek zařízení a průzor skeneru. V případě že skener není v činnosti trvale, musí být vyhřívání uvedeno do provozu předem. Při teplotách pod  $-10^{\circ}\text{C}$  je tato doba přibližně 20 – 30 minut. Předehřívání skeneru je důležité ze dvou důvodů. Za prvé se laserová dioda musí dostat do své pracovní teploty a za druhé průzor skeneru musí být čistý. V případě minusových teplot se totiž může na průzoru vytvořit námraza a bezprostředně po jeho zahřátí se může zamlžit. To vše snižuje průchodnost paprsku. Čistota průzoru je tedy jedním ze zásadních požadavků na správnou činnost skeneru. Jakékoliv nečistoty, zamlžení, prach nebo námraza mohou způsobovat zkreslení a nesprávnou funkci LMS. Univerzální kryt je většinou konstruován pro vnější použití, s možností volby vytápění. Celý kryt je samozřejmě prachotěsný a vlhkotěsný.

Kryt obsahuje montážní prvky, pomocí kterých se skener připevňuje a umožňuje základní nasměrování do prostoru zájmu. Jsou na něm rovněž umístěny konektory, které propojují samotný skener se zbytkem laserového měřicího systému. Jedná se především o datové propojení, ovládání a napájení skeneru. V současné době datová komunikace probíhá buď přes sériové rozhraní, nebo prostřednictvím ethernetové sítě. Konektorová část skeneru musí podle typu skeneru splňovat požadavky na vodotěsnost tak aby se vlhkost nedostala jak do samotného skeneru, tak do připojených kabelů.

## 2.6 Elektronika laserového skeneru

Důležitou součástí laserového skeneru je integrovaná mikroelektronika s výkonným procesorem, zajišťující všechny řídicí a vyhodnocovací funkce i případnou komunikaci s připojeným počítačem. Dále je to programové vybavení laserového skeneru. Všechny tyto složky tvoří mozek laserového skeneru a určují režim, v jakém skener pracuje. Každý laserový skener je standardně vybaven počítačovým programem, který uživateli umožňuje nastavení režimu a všech nezbytných parametrů laserového skeneru pro jeho optimální funkci a jeho přizpůsobení ke konkrétní počítačové aplikaci. Umožňuje nastavit jednotlivá snímaná pásma zájmu. Skenery jsou podle typu schopny skenovat oblast až do vzdálenosti přes 1km. Jednotlivé oblasti zájmu lze podle druhu skeneru nastavit jen jako pouhé obdélníky nebo u pokročilejších systémů jako libovolně volitelné mnohoúhelníky. Tvar těchto mnohoúhelníků se získá na základě počítačové simulace oblasti před skenerem. Takto získané údaje o tvaru snímané oblasti jsou pak uloženy do paměti systému a je možné je zobrazit přímo na obrazovce připojeného počítače. Je možné přepínání režimu hlídání oblastí zájmu přímo za provozu systému. Pomocí elektroniky lze nastavit úhlové rozlišení skeneru a tím tedy rychlost a citlivost systému. Řídicí systém dále provádí vyhodnocení všech dat získaných ze skeneru pomocí vhodně zvolené počítačové aplikace. Aplikace vyhodnocuje, zda se „narušitel“ nachází vně nebo uvnitř hlídaného prostoru. Musí být schopen rozpoznat, o jakého narušitele se jedná. Zda je to například jen kočka nebo pes anebo neoprávněná osoba. V případě že program vyhodnotí narušení oblasti zájmu je schopen s vysokou přesností na toto místo zaměřit kamerový systém (pokud je tímto vybaven) a spustit zaznamenávání události, nebo umožňuje uživateli pozorování místa narušení přímo na monitoru počítače. Při použití LMS pro naskenování určitého prostoru za účelem získání dat zabezpečuje elektronika skeneru přenos získaných dat do počítače pro další zpracování. Opět umožňuje nastavení citlivosti, úhlového rozlišení a nastavení požadovaných sektorů, které je potřeba naskenovat.

### 3 ODRAZIVOST MATERIÁLŮ

Funkce laserového měřicího skeneru je přímo závislá na odrazivosti jednotlivých objektů. Každý objekt odráží paprsky jiným způsobem. Pokud by předměty, které se nacházejí před laserovým skenerem, neodrážely laserové paprsky, ale naopak by je pohlcovaly, tak by přijímač laserového signálu nepřijímal žádné laserové paprsky a tím by se stal nefunkčním. Laserový paprsek se chová stejně jako paprsek světelný. Na základě všeobecných znalostí lomu a odrazu světelného paprsku při přechodu světla mezi materiály o různé látkové hustotě lze odvodit vlastnosti laserového paprsku. Aby tedy laserový měřicí skener fungoval, musí předměty nacházející se v prostoru před skenerem laserové paprsky odrážet. Každý materiál má samozřejmě odrazivost laserového paprsku jinou. Ta je závislá především na materiálu, ze kterého se skládá povrch snímaných předmětů. Všeobecně platí, že čím je povrch hladší a tvrdší tím je odrazivost lepší a naopak, čím je povrch materiálu pórovitější a měkčí tím je odrazivost horší. A to z toho důvodu že u pórovitého a měkkého povrchu jsou laserové paprsky pohlcovány. Další důležitý faktor, na kterém závisí odrazivost materiálu, je jeho barva. Světlejší barvy odrážejí laserové paprsky lépe než odstíny tmavé. Opět zde platí, že tmavé barevné odstíny laserové paprsky pohlcují a naopak světlé barevné odstíny paprsky odrážejí velmi dobře. Existuje zde přímá úměrnost, e čím je barevný odstín světlejší, tím je jeho odrazivost lepší. Nejlepší odrazivosti se potom dosahuje u zrcadlových ploch a leštěných bílých kovů (tab. 1). Dosah laserového skeneru je tedy závislý na odrazivosti materiálu snímaných předmětů a udává se pro minimální potřebnou odrazivost 10%. Odrazivost nejběžněji používaných materiálů je uvedena v tabulce (tab. 1). Čím je vzdálenost větší, tím větší odrazivost je požadována. Čistota průzoru, jak již bylo zmíněno, kterým prochází laserový paprsek, hraje důležitou roli na síle a kvalitě laserového paprsku.

Materiál, povrch		Činitel odrazu	
		$\rho$ [%]	
hliník plátovaný		75 – 90	
hliník leštěný		60 – 72	
matný hliníkový povrch		55 – 60	
stříbro leštěné		85 – 94	
platina leštěná		62	
zlato leštěné		70	
nikl leštěný		53 – 63	
chrom leštěný		60 – 70	
leštěný povrch nerez oceli		55 – 60	
bílý smalt		85 – 90	
žula		asi 44	
cihly žluté		asi 35	
cihly červené		asi 25	
sádra		asi 80	
malta velmi jasná		asi 50	
omítky ušlechtilé jasné		asi 40	
malta tmavá		asi 25	
dřevo javorové, surové, přírodně voskované		40 – 50	
dřevo dubové, surové, přírodně voskované		30 – 49	
dřevo ořechové		10 – 20	
dřevo mahagonové		15 – 20	
dřevo mořené tmavé		10 – 30	
malba (zeď)	bílá	76 – 88	
	žlutá	světlá	66 – 88
		tmavá	47 – 67
	hnědá	světlá	30 – 48
		tmavá	14 – 31
	červená	světlá	69 – 65
		tmavá	17 – 39
	zelená	světlá	36 – 69
		tmavá	11 – 35
	modrá	světlá	24 – 56
		tmavá	5 – 25
	růžová	35 – 61	
	šedá	světlá	35 – 67
		tmavá	15 – 35
černá	2 - 4		

Tab. 1 Odrazivost materiálů

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 VÝBĚR SKENERU

Při skenování prostoru zájmu se musí postupovat v souladu s použitým druhem laserového skenovacího systému. Laserové měřicí systémy se s tohoto hlediska rozdělují:

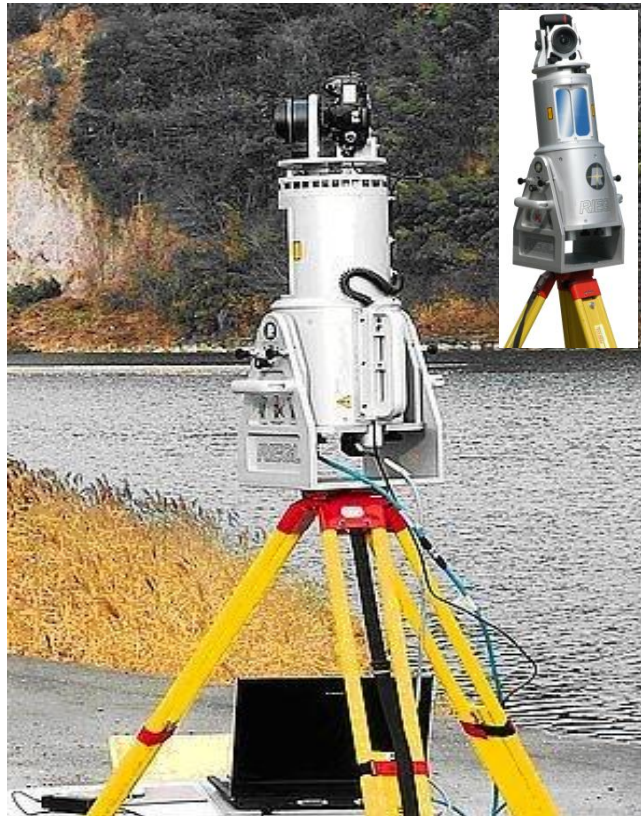
- pozemní měřicí systémy s velkým dosahem,
- pozemní měřicí systémy se středním dosahem,
- pozemní měřicí systémy s krátkým dosahem,
- pozemní měřicí systémy s velmi krátkým dosahem,
- kinematické systémy umístěné na vozidle,
- kinematické systémy umístěné na letadle.

### 4.1 Pozemní měřicí systémy s velkým dosahem

U pozemních laserových měřicích systémů se středním dosahem hovoříme o měření na vzdálenost na více než stovky metrů. Terestrické laserové skenery (obr. 11) s velkou základnou, pracující na principu polární metody pracují s přesností řádově v milimetrech a z tohoto důvodu jsou pro měření na velké vzdálenosti nejvhodnější. S rostoucí vzdáleností přesnost měření klesá a na vzdálenosti jeden kilometr může být odchylka až desítky milimetrů. Milimetrová přesnost je na vzdálenosti řádově stovek metrů až kilometr považována dostačující a tedy za velmi přesnou. Měřicí systémy s velkým dosahem se používají pro měření volného terénu, přírody, parků, zahrad, vzdálených nebo rozsáhlých budov. Jelikož při měření na velkou vzdálenost je třeba zpracovat velké množství dat, je přesnost vyšší než milimetr považována za zbytečnou a takovou, která by velmi zaměstnávala a zpomalovala systém a tedy i měření. V krajním případě by mohlo dojít k zamrznutí systému.

### 4.2 Pozemní měřicí systémy se středním dosahem

U pozemních měřicích systémů se středním dosahem hovoříme o měření na vzdálenost desítek až stovek metrů. Pro měření středních vzdáleností jsou nejvhodnější terestrické laserové skenery (obr. 11) s velkou základnou, pracující polární metodou, které u těchto vzdáleností pracují s přesností 2 až 6 milimetrů.



*Obr. 11 Terestrický laserový skener  
RIEGL ZMS-420i [11]*

### **4.3 Pozemní měřicí systémy s krátkým dosahem**

U pozemních měřicích systémů s krátkým dosahem hovoříme o měření na vzdálenost jednotek až desítek metrů. Při měření na krátké vzdálenosti mají terestrické skenery s velkou základnou stále své zastoupení a jsou schopny dosahovat přesnosti 0,5 až 2 milimetry. U těchto vzdáleností už nalézají své uplatnění také triangulační skenery, především pro svou větší rychlost a větší přesnost měření. Jsou ovšem vhodnější na vzdálenosti v jednotkách metrů, tam kde je požadována větší přesnost měření. Součástí každého triangulačního skeneru je vestavěná digitální kamera, která je schopna průběžně zaznamenávat snímky skenovaných objektů. Snímky jsou při dalším zpracování použity při tvorbě velmi věrných textur, které jsou aplikovány na výsledný model měřeného objektu.

#### 4.4 Pozemní měřicí systémy s velmi krátkým dosahem

U pozemních měřicích systémů s velmi krátkým dosahem hovoříme o měření na vzdálenost přibližně do jednoho až dvou metrů. Při těchto vzdálenostech lze použít terestrické skenery s malou základnou, které vykazují přesnost měření 0,01 až 1 milimetr. V této oblasti jsou ovšem skenery pracující na principu triangulační metody mnohem výhodnější. Triangulační laserové (obr. 12) skenery se vyznačují mnohem vyšší rychlostí, až 1 000 000 skenů za minutu a velmi vysokou přesností měření, zlomky milimetrů. Použití triangulačních skenerů je velmi rozšířené při použití v interiérech a zejména při skenování předmětů.



Obr. 12 Triangulační laserový skener [11]

#### 4.5 Kinematické systémy umístěné na vozidle

Pro kinematické laserové systémy se používají terestrické skenery pracující na principu polární metody. V této oblasti nacházejí své uplatnění především skenery pracující s krátkým až středním dosahem, tedy s dosahem řádově v desítkách až stovkách metrů. Přesnost, kterou tyto skenery dosahují (0,5 až 6 milimetrů) je pro tento účel skenování plně dostačující. Na střeše vozidla je pomocí speciálního rámu (obr. 13) umístěn pár 2D laserových skenerů. Jeden skener směřuje na levou a druhý na pravou stranu vozidla. Existují také systémy, které využívají pouze jednoho skeneru. Jeho aktivní část se otáčí ve vertikální rovině a snímá prostor mezi levou a pravou mezní polohou. Skener je takto schopen zabírat až 270° úhel. Automobil, který se pohybuje konstantní rychlostí terénem



nebo městem, je tedy schopen snímat prostor kolem sebe po obou stranách vozidla (obr. 13). Celý systém je navíc synchronizován s GPS<sup>4</sup> modulem, který po celou dobu skenování zaznamenává přesnou polohu vozidla. Takto získaná data se ukládají a slouží pro další zpracování. Výhodou tohoto systému je mnohonásobné urychlení sběru dat. Data jsou mnohem přesnější než data získávána ručním způsobem měření a navíc veškeré další zpracování dat probíhá již v komfortu kanceláře bez nutnosti provádění dalších měření v terénu. Kinematické systémy umístěné na vozidle nacházejí nejčastější použití při skenování měst a krajiny podél komunikací. Získaná data jsou hojně používána jako mapové podklady pro GPS navigační systémy. Řidič takto získává, na obrazovce navigačního systému, věrný obraz krajiny, především města, kterým zrovna pojíždí ve 3D formátu.



*Obr. 13 Kinematický laserový měřicí systém umístěný na vozidle [12]*

---

<sup>4</sup> GPS je zkratka z anglického Global Positioning System. GPS je systém, který byl vyvinut pro americké ministerstvo obrany a používán americkou armádou. Pomocí tohoto systému lze lehce stanovit polohu a čas kdekoli na zemské kouli s přesností až na centimetry. Pro civilní sektor je tento systém uvolněn pouze omezeně. Z důvodu tohoto omezení lze stanovit polohu s přesností pouze do deseti metrů.

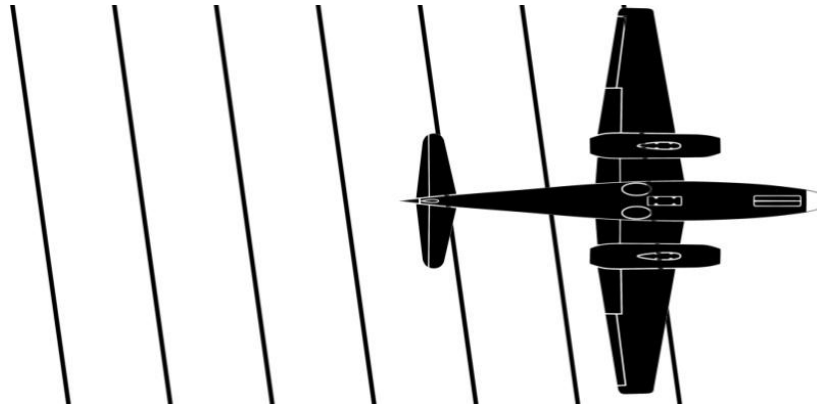
## 4.6 Kinematické systémy umístěné na letadle

Pro kinematické laserové systémy se používají stejně jako u vozidlových systémů terestrické pulzní skenery pracující na principu polární metody. Třetího dopředného pohybu je dosahováno pohybem letadla. Letadlo se pohybuje nejčastěji ve výšce 200 až 1600 m nad povrchem země rychlostí přibližně 200 km/h. U leteckého skenování se přesnost pohybuje mezi 10 až 30 centimetry, což je pro běžné využití plně dostačující. Pokud je potřeba dosáhnout větší přesnosti, umísťuje se laserový skener na vrtulník. Laserový skener je pomocí speciálního držáku umístěn na dolní straně letounu. Pro letecké skenování terénu se využívají různé systémy. Podle použitého systému je na letadle použit jeden nebo více skenerů. Rozeznáváme čtyři základní druhy laserových systémů:

- systém s rotačním zrcadlem,
- systém s oscilujícím zrcadlem,
- systém s optickými vlákny,
- systém s eliptickým skenerem.

### 4.6.1 Systém s rotačním zrcadlem

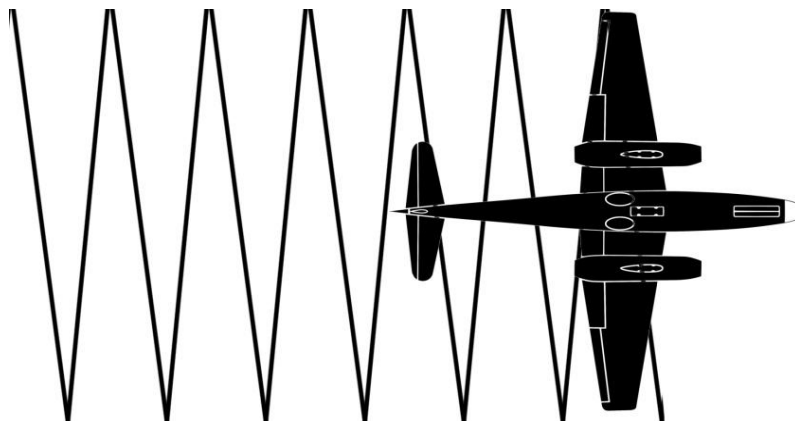
Laserový systém s rotačním zrcadlem používá k rozmítání laserového paprsku rotační zrcadlo nebo rotační hranol. Zrcadlo rotuje konstantní rychlostí pouze jedním směrem. Výsledná charakteristika skenů systémem s rotačním zrcadlem je tvořena paralelními čarami (obr. 14). Během jednoho měřicího cyklu skener začíná snímat povrch v počátečním mezním bodě až do koncového mezního bodu. Zrcadlo dále pokračuje ve své rotaci stále stejným směrem, ale v tomto okamžiku skener nesnímá žádný prostor, jelikož paprsek není směřován k zemi. Než se zrcadlo dostane opět do počátečního mezního bodu, vzniká prodleva. Poměrně velká prodleva mezi jednotlivými cykly je hlavní nevýhodou tohoto typu systému. Pokud je použito místo rotačního zrcadla rotačního hranolu, je možné tuto nevýhodu částečně eliminovat. Stále zde ale zůstává určitá prodleva a skenování tak není kontinuální. Výhodou pak zůstává poměrně jednoduchá konstrukce skeneru a konstantní rychlost zrcadla. Konstantní rychlost rotace zrcadla zaručuje homogenní rozložení snímaných bodů.



*Obr. 14 Stopa u systému s rotačním zrcadlem*

#### 4.6.2 Systém s oscilujícím zrcadlem

Laserový systém s oscilujícím zrcadlem používá k rozmítání laserového paprsku zrcadlo, které se pohybuje (osciluje) z počátečního mezního bodu do koncového mezního bodu a zpět. Výsledná charakteristika skenů tohoto systému má pilovitý charakter (obr. 15). Z charakteristiky je vidět že zde nejsou zde žádné prodlevy mezi jednotlivými cykly. Měření je tedy kontinuální, což je výhodou tohoto systému. Konstrukční řešení laserového

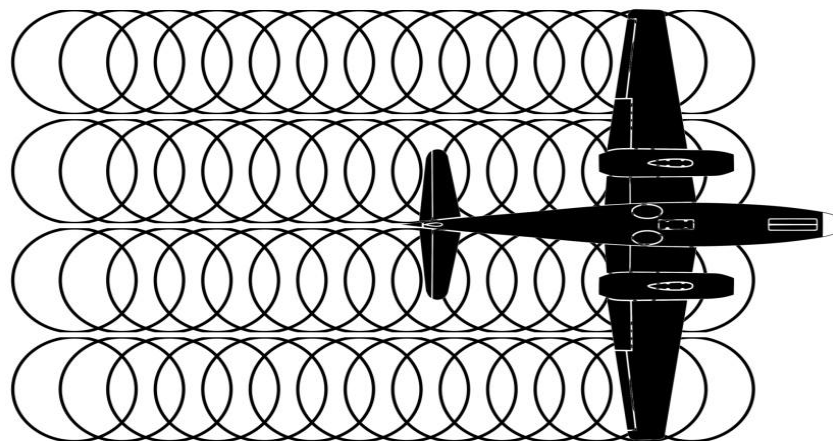


*Obr. 15 Stopa u systému s oscilujícím zrcadlem*

skeneru s touto technologií je poměrně složitější než u skeneru s rotačním zrcadlem. Zrcadlo musí před dosažením krajní polohy zpomalit (brzdit) a po změně směru zase zrychlit na požadovanou rychlost. Brzdění a zrychlování zrcadla způsobuje nehomogenní hustotu skenovaných bodů. Hustota bodů je v důsledku toho v blízkosti mezních bodů řidší.

#### 4.6.3 Systém s optickými vlákny

Laserový systém s optickými vlákny nepoužívá k rozmítání laserového paprsku zrcadlo ani rotační hranol, ale svazek optických vláken, jejichž konce jsou nasměrovány směrem k povrchu země (obr. 8). Laserový paprsek je směřován malým rotačním zrcátkem do optických vláken, které jsou rozmístěny v kruhu. Druhý konec je nasměrován k zemi. Jednotlivé vlákna jsou od sebe vzájemně odchýleny o určitý úhel, který udává úhlové rozlišení skeneru. Svazky musí vždy být dva, jeden vysílací a druhý přijímací. Přijímací svazek vláken je identický se svazkem vysílacím, pouze s tím rozdílem že funguje obráceně. Konstrukce tohoto systému vyžaduje přesné nastavení rozmítacího zrcátka. Nevýhodou systému s optickými vlákny je zde pevně dané úhlové rozlišení a nelze je tedy měnit pro potřeby měření. Další nevýhodou je poměrně malý celkový úhel záběru (přibližně  $\pm 7^\circ$ ). Toto se dá eliminovat umístěním většího počtu skenerů na letadlo (obr. 16). Měření touto technologií je kontinuální a hustota měřených bodů je homogenní.

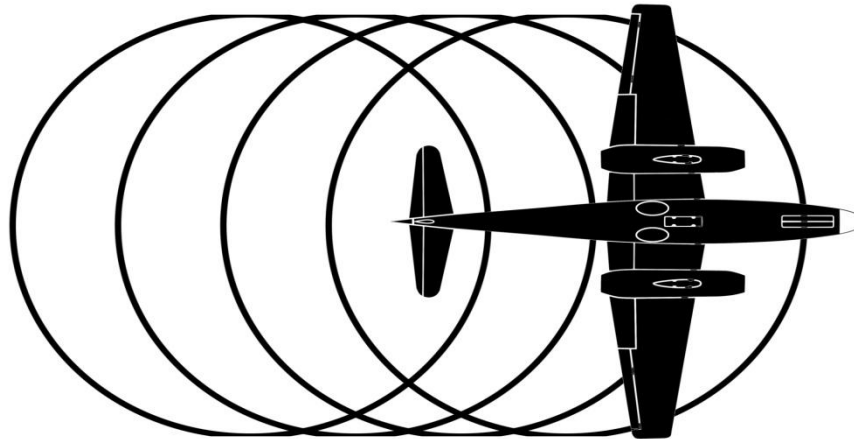


Obr. 16 Stopa u systému s optickými vlákny

#### 4.6.4 Systém s eliptickým skenerem

Systém využívající eliptický skener, pracující na principu dvou zrcadel, která rozmítají laserový paprsek směrem k zemi jehož charakteristika je ve tvaru elipsy (obr. 17). Velikou výhodou eliptické charakteristiky způsobu snímání je dvojnásobné skenování povrchu. První sken je proveden v přední části elipsy a druhý v zadní části elipsy. Jestliže při prvním skenu v první části eliptické charakteristiky nastane nějaká chyba a měření neproběhne nebo je chybné, je měření provedeno při druhém skenu v druhé části eliptické

charakteristiky a eliminuje se tak chybovost měření na minimum. Další výhodou je kontinuálnost měření a homogenní hustota měřených bodů. Nevýhodou tohoto systému oproti předchozím technologiím je konstrukční náročnost. Systém dvou zrcadel je náročný na synchronizaci. Zrcadla se musí otáčet v přesném úhlu a čase tak, aby bylo dosaženo eliptické charakteristiky.



*Obr. 17 Stopa u systému s eliptickým skenerem*

## 5 SKENOVÁNÍ OBJEKTU A VYTVÁŘENÍ 3D MODELU

Na začátku měření vždy záleží na typu objektu a tvaru, který je potřeba naskenovat a na požadavcích na přesnost. Podle toho se zvolí typ skeneru. Pokud se jedná například o budovu, nebo rozsáhlejší komplex použije se terestrický skener pracující na principu polární metody. Jak již bylo zmíněno, jsou tyto skenery pro tento typ objektů nejvhodnější a také nejčastěji používané. Vyhovují z hlediska rychlosti skenování i z hlediska přesnosti měření. Pokud se jedná o menší místnost, lze již použít triangulační skener a v případě skenování předmětů se použije výhradně triangulační skener s otočnou základnou.

V dalším kroku se musí stanovit vhodná stanoviště pro laserový skener. Počet stanovišť je závislý na rozloze měřeného objektu. Tato část měření je velmi důležitá protože skener je schopný snímat pouze ty části objektu, které jsou ze zvoleného stanoviště v zorném úhlu skeneru. Pokud by některá část objektu nebyla nasnímána, nebylo by dále možné zpracovat úplný model objektu. Úhly pohledu ze sousedících stanovišť se proto musí částečně překrývat, aby bylo možné jednotlivé skeny později spojit v jeden celek. Výsledkem každého měření je sken, který se odborně nazývá mračno bodů. V dalším kroku se provede nastavení laserového skeneru a samotné měření objektu, postupně z jednotlivých stanovišť. Naměřená data jsou uložena a práce v terénu tímto končí. Další zpracování dat již probíhá v počítači.

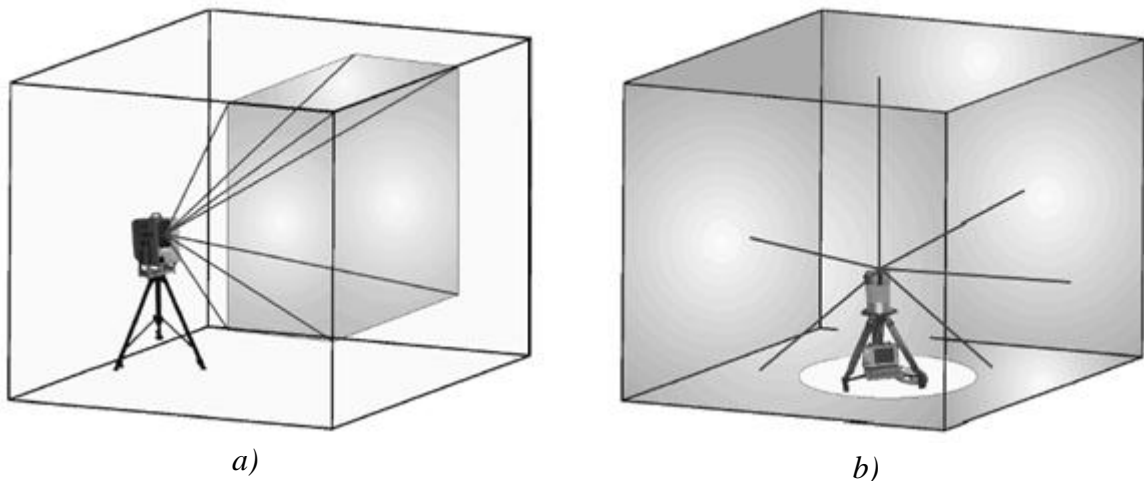
Pro správnou funkci skeneru a práci s daty musí být skenovací systém vybaven potřebným programovým vybavením sloužící k následujícím operacím:

- ovládání laserového skeneru,
- spojování mračen bodů,
- úpravy mračen bodů a tvorba 3D modelu,
- vizualizaci.

### 5.1 Ovládání laserového skeneru

Každý proces skenování vyžaduje nastavení specifických parametrů měření pro dané zadání. Po nadefinování potřebných parametrů již skener pracuje plně automaticky, až do dokončení procesu měření dílčí části objektu (v případě rozlehlého objektu). Nadefinované hodnoty mohou být stejné pro celý projekt a všechny skeny budou provedeny se stejným nastavením nebo mohou být jednotlivé pro jednotlivé dílčí skeny

jiné. Jedním z parametrů, které se na skeneru musí nadefinovat je úhel záběru, neboli musí se nastavit počáteční a koncové mezní body skeneru, a to jak v horizontálním tak i ve vertikálním směru (obr. 18a) v případě kamerového skeneru. Pokud se jedná o 3D skener který pracuje jako panoramatický a snímá tedy v horizontální rovině oblast 360° kolem sebe, se stanovují krajní mezní body pouze pro rovinu vertikální, která může být až 270°. Panoramatický 3D skener pokud je nastaven na svůj maximální úhel záběru, je schopen ve své podstatě snímat skoro celý prostor kolem sebe i nad sebou, vyjma základny na které je umístěn (obr. 18b). Naopak v případě 2D skeneru se definují krajní mezní body jen v horizontální nebo vertikální rovině. Vše závisí na orientaci 2D skeneru a druhu jeho použití.



Obr. 18 Úhel záběru kamerového a panoramatického skeneru [29]

Další velmi důležitý parametr který je třeba nastavit je hustota bodů pro jednotlivá měření. Jedná se o vzdálenost, kterou budou mít jednotlivé body, které se odrážejí od povrchu měřeného objektu, vzájemně mezi sebou. Vzdálenost jednotlivých bodů určuje přesnost, s jakou bude objekt zaznamenán. Existuje zde přímá úměrnost. Čím bude hustota bodů větší, tím i přesnost záznamu bude detailnější. Se vzrůstající hustotou bodů se ovšem výrazně zvyšuje množství naměřených dat, což při dalším zpracování velmi zpomaluje systém. Se vzrůstající hustotou bodů se také prodlužuje doba samotného měření. Přesnost měření se tedy nastavuje podle požadavku na přesnost záznamu. Hustota bodů s jakou bude skener provádět měření, se nastavuje úhlovým rozlišením. V praxi to znamená, že se nastavuje úhel mezi jednotlivými odskoky, s jakými se bude otáčet rotační zrcadlo a odrážet paprsek do měřeného prostoru (obr. 7).

## 5.2 Spojování mračen bodů

Výsledkem skenování rozsáhlých objektů z několika stanovišť jsou mračna bodů jednotlivých částí měřeného objektu. Tyto mračna se po provedení vstupních úprav spojují v jeden celek. Existují dvě základní metody spojování:

- metoda vlíčovacích bodů,
- metoda částečných překrytů.

### 5.2.1 Metoda vlíčovacích bodů

Metoda použití vlíčovacích bodů spočívá v použití markantů na skenovaném objektu, které slouží jako pevné identifikační značky. Těmto značkám se říká vlíčovací nebo také identické body. Jako identické body mohou být použity přirozené body na objektu, které jsou jednoznačně identifikovatelné. Jako například ostré rohy nebo středy kulovitých tvarů. Většinou se ale používají umělé identické body, které jsou tvořeny plochými destičkami s vysokou odrazivostí (obr 19). Vysoká odrazivost je nutná z důvodu jednoznačné odlišitelnosti od okolí. U každého identického bodu se běžnou geodetickou metodou určí jeho přesná poloha ve společném souřadnicovém systému. Určení polohy se provádí nejčastěji s pomocí totální stanice. Lze k tomu použít i samotného skeneru, zaměření ovšem není přesné. Přesná poloha identických (vlíčovacích) bodů je nutná proto, aby bylo možné provést transformaci jednotlivých mračen bodů do souřadnicového systému a následně i výsledného mračna bodů celého objektu a tím i jeho umístění v terénu.



*Obr. 19 Vlícovací body*



Vlícovací body se umísťují na objekt v místech překrytů jednotlivých skenů a slouží pro spojování dílčích mračen bodů do jednoho celku. Je tedy nutné, aby v každém místě překrytu, byly alespoň dva vlícovací body. Pokud je během skenování použito pro jednotlivá měření různé hustoty mračen bodů je použití vlícovacích bodů velmi výhodné, protože umožní snadnější propojení těchto mračen.

### **5.2.2 Metoda částečných překrytů**

Pro spojování mračen bodů z jednotlivých měření lze použít také metody částečných překrytů. U této metody se pro transformaci používá minimální vzdálenosti v překryvových oblastech mezi navazujícími mračenými body. Sousedící mračená bodů se vždy musí částečně překrývat. Tento přeryt musí být však dostatečný, aby bylo možné jednotlivé dílčí mračená bodů měřeného objektu spojit v jeden celek. Jednotlivá mračená bodů se mohou spojovat ručně, vyhledáním společných markantů v oblastech překrytu, nebo automaticky pomocí speciálního algoritmu. Jedná se o algoritmus, který obsahuje většina profesionálních programů pro práci s mračenými body. Podobného algoritmu se využívá například při vytváření panoramatických snímků u digitálních fotografií.

Metoda částečných překrytů však vykazuje nižší přesnost při spojování dílčích mračen bodů než metoda vlícovacích bodů. V některých případech je tato metoda tak nepřesná že je nutné provést opakované měření, nebo ji nelze použít vůbec. Tato situace většinou nastává, pokud jsou sousedící mračená bodů naskenována s různou hustotou bodů. Je tedy výhodnější se této metodě vyhýbat, a pokud je to možné využívat přesnější metodu vlícovacích bodů.

## **5.3 Úpravy mračen bodů a tvorba 3D modelu**

### **5.3.1 Vstupní úpravy dat**

Po provedeném skenování a přenesení dat do počítače je nutné, před jakýmkoliv dalším zpracováním, nejdříve provést vstupní úpravy mračen bodů. Úpravy se provádějí proto, aby se zbytečně nezpracovávaly nadbytečné nebo chybné body. Vlivy počasí, příliš lesklé plochy nebo pohyb osob v měřeném prostoru, mohou způsobovat vícenásobné odrazy, chybné odrazy nebo šumy. Tyto chyby měření by mohly způsobovat problémy při následném spojování dílčích mračen bodů, proto je nutné provést korekce ještě před tímto

krokem. Po provedení vstupních korekcí dat již je možné dílčí mračna bodů propojovat mezi sebou. Vstupní úpravy dat se dělí do tří skupin:

- odstranění nadbytečných a chybných bodů – v této fázi se odstraňují body vzniklé na základě odrazů od prachových částic, dešťových kapek, pohybujících se lidí nebo aut v prostoru měření. Odstraňují se nadbytečné body vzniklé vícenásobnými odrazy nebo body které pro daný projekt nejsou potřebné (zbytečně velká hustota bodů),
- provedení filtrace mračen bodů – utlumuje se šum vzniklý odrazy od příliš hladkých povrchů,
- provedení redukce mračen bodů – odfiltrují se odlehlé body (vzdálené objekty, domy, les, stromy, objekty mimo prostor zájmu).

### 5.3.2 Následná optimalizace dat

Jakmile jsou všechna mračna bodů transformována do jednoho celku v souřadnicovém systému, dochází k dalším úpravám tohoto mračna. Při každém skenu jsou zaznamenány miliony i více bodů. Velké množství těchto bodů je nadbytečné pro potřeby zpracování projektu. Závisí to vždy na zadání projektu, jak detailně má být zpracován. Velké množství nadbytečných bodů výrazně zatěžuje a zbytečně zpomaluje práci počítače a snižuje přehlednost. Největší koncentrace nadbytečných bodů je obvykle v místech překrytů mezi jednotlivými mračny bodů. Jelikož každý sken sousedících mračen byl proveden z jiného stanoviska a z různé vzdálenosti je třeba vyhodnotit, která konfigurace byla pro dané měření výhodnější. Tyto body se pak ponechají a zbylé se odstraní. V místech kde se na objektu vyskytují oblasti s minimálním zakřivením, například velké rovné plochy, se rovněž provádí snížení hustoty bodů například při následné aplikaci trojúhelníkových sítí. Naopak v oblastech kde se nachází mnoho zakřivení, je nutné, aby hustota bodů byla větší. Pro urychlení úprav se někdy celkové mračno rozdělí do několika logických celků, které nijak nesouvisí s původními dílčími mračny bodů.

### 5.3.3 Drátový model

Drátový model nebo také liniová metoda je nejjednodušší metoda vyhodnocení mračna bodů. Jedná se o metodu, kde se vyjadřují pouze hrany dvou sousedících matematických tvarů. Jedná se zejména o úsečky nebo jednodušší křivky jako je kružnice nebo její části. Pro tyto tvary se musí stanovit jejich počátek a konec. To může být problematické, protože skener snímá prostor v pravidelných intervalech a nezaměřuje se na hrany měřeného objektu. Počátek úsečky se potom musí stanovit k nejbližšímu naměřenému bodu. Tím vznikají chyby, které lze redukovat vhodně zvolenou hustotou mračna bodů. S drátovým modelem lze dále pracovat v CAD<sup>5</sup> programech. Drátový model bývá velmi často nepřehledný. Pro zpřehlednění se některé části modelu, pokrývají barvami (obr. 20).



*Obr. 20 Drátový model pokrytý barvami [13]*

### 5.3.4 Trojúhelníkové sítě

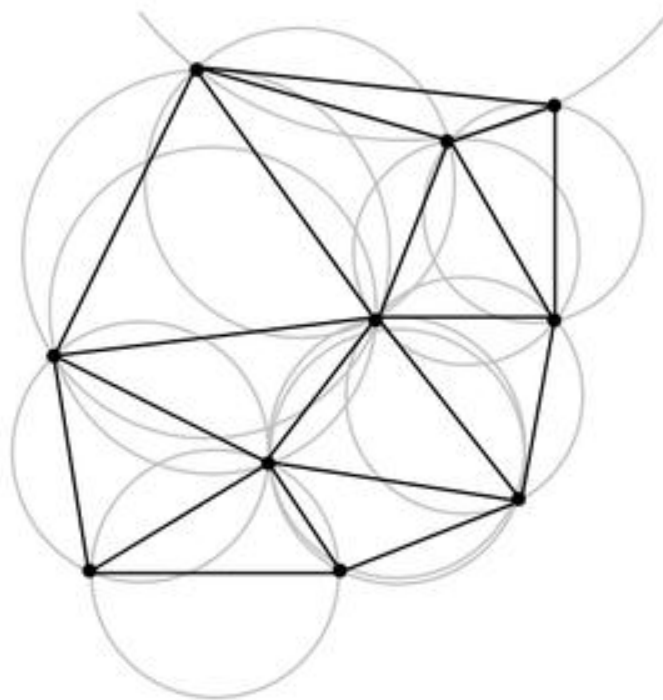
Metoda trojúhelníkových sítí je pokročilejší metoda úpravy mračna bodů. Spočívá v nahrazení povrchu objektu množinou trojúhelníků, které musí splňovat podmínku založenou na Delaunayově triangulaci<sup>6</sup>. Delaunayova triangulace se snaží o to, aby se

---

<sup>5</sup> CAD zkratka z anglického Computer Aided Design. Jsou to programy pro počítačové projektování. Jde o používání pokročilých grafických programů, které zahrnují matematické, geometrické a grafické nástroje pro tvorbu výkresů nebo 3D objektů. Pokročilejší programy obsahují nástroje pro tvorbu analýz a složité výpočty.

<sup>6</sup> Boris Nikolaevich Delaunay (Delone), žil v letech 1890 – 1980 byl ruský horolezec a matematik který vynalezl a publikoval metodu triangulace již v roce 1934.

vytvořené trojúhelníky co nejvíce blížily trojúhelníkům rovnostranným. Princip tvorby trojúhelníků spočívá v tom, že pokud kolem jakéhokoliv trojúhelníka v soustavě opišeme kružnici, tak se uvnitř kružnice nesmí nacházet žádný další bod. Tato podmínka však platí pouze v rovině a pro potřeby 3D skenování se musí transformovat do třírozměrného prostoru. Potom tedy platí, že pokud opišeme kolem jakéhokoliv trojúhelníka v soustavě (mračně bodů) kouli, nesmí se uvnitř této nacházet žádný další bod (obr. 21). Tímto krokem se mračno bodů zredukuje pouze na vrcholy trojúhelníků. V mnoha případech ovšem stále zůstane rozsáhlá trojúhelníková síť, jejíž zpracování by příliš zatěžovalo a zpomalovalo systém. Z tohoto důvodu se přistupuje ke zjednodušení trojúhelníkové sítě, tak zvané redukci, někdy se také používají výrazy decimace nebo simplifikace. Redukce trojúhelníků se dosahuje tak, že se zmenší počet trojúhelníků v síti vytvořením trojúhelníků větších, které však stále musí splňovat podmínku Delaunayovy triangulace. Redukce trojúhelníků se ovšem musí provádět tak aby výsledný model objektu byl co nejvěrnější předloze, aby tedy neztratil na přesnosti. Redukce trojúhelníků je tedy vhodná především v oblastech ploch, kde nedojde prakticky k žádné deformaci objektu. Naopak v oblastech kde je povrch objektu členitý, bude hustota trojúhelníkové sítě větší. Po provedení redukci zůstane mračno bodů, které je již vhodné pro další zpracování, jako je přiřazení textur a provedení vizualizace objektu.



Obr. 21 Delaunayova triangulace [27]

### 5.3.5 Matematické primitivy

V případě že se jedná o skenování objektu, který je blízký nějakému matematickému nebo předem definovanému útvaru, potom lze aplikovat metodu aproximace objektů matematickými primitivy. Skenovaný objekt může být například válcovitého tvaru nebo tvořit část válce, může to být rovina představující stěnu nebo konstrukce ve tvaru oblouku. Je také možné si předem nadefinovat různé součásti nebo tělesa, jako jsou ventily, trubky, kolena a různé profily. Předem nadefinované objekty se uloží do knihoven programu a při zpracování mračna bodů jsou použity pro aproximaci. Takto metoda je vhodná především pro skenování konstrukcí, například mostů nebo budov, kde se geometrické tvary nacházejí, a lze tedy aproximaci matematickými primitivy aplikovat. U složitých útvarů jako jsou historické budovy, zámky, hrady, jeskyně nebo u skenování přírodních útvarů a terénu, všude tam kde se nacházejí nahodilé tvary je tato metoda nepoužitelná. V těchto případech se využívá metoda trojúhelníkových sítí.

## 5.4 Vizualizace

Za pomoci předchozích metod je postupně vytvořen model naskenovaného objektu. Jelikož je model vytvořen pouze v černobílém provedení je nepřehledný. Členité objekty jsou pak pro lidské oko velmi špatně rozeznatelné. Přichází tedy na řadu závěrečná fáze zpracování modelu a tou je vizualizace. Cílem vizualizace je přiřazení materiálů, barev nebo textur jednotlivým částem modelu na základě digitálních fotografií naskenovaného objektu. Většina moderních laserových skenerů má zabudovaný digitální fotoaparát nebo jím může být podle potřeby projetu dovybavena. Digitální fotoaparát má za úkol během skenování pořizovat fotografie skenovaného objektu. Jak a kdy bude fotoaparát fotit je věc nastavení ovládacího programu laserového skeneru. Fotky, které jsou během skenování pořízeny, jsou pak ve fázi vizualizace použity jako podklad pro pokrytí modelu přesnými texturami. Pomocí vizualizace se snažíme o to, aby se výsledný model co nejvěrněji podobal naskenovanému objektu. Aby to byla věrná zmenšenina reálného objektu (obr. 22). Vizualizace představuje tu část laserového skenování, s jejímiž výsledky se již setkává samotný zákazník a prezentuje tak celý projekt. V případě, že se jedná o projekt týkající se například budovy a v rámci projektu se skenují i vnitřní prostory, vznikne ve výsledku model, který kompletně zahrnuje celou stavbu jak z vnějšku, tak i v interiéru. Takovýmto modelem je potom možné virtuálně procházet a prohlížet si jej. Model se dá natáčet podle

potřeby a je možné s ním vytvářet virtuální animace. Je možné provádět řezy objektu. V případě skenování předmětu, například sošky, vzniká model, který je přesnou kopií originálu. V případě potřeby lze takovýto model vyrobit fyzicky. Těto metody se často využívá u velmi cenných děl, kdy se vyrobí přesná kopie díla, která se vystavuje, přičemž originál je bezpečně uložen v trezoru. Vizualizací práce související se skenováním objektu až po tvorbu samotného modelu končí. Vytvořený model lze použít pro další aplikace. Využití nachází například v oblasti stavebního inženýrství, architektury, projektování, v navigačních technologiích ale i v průmyslu komerční bezpečnosti.

Oblast vizualizace je již spíše z oblasti počítačové grafiky a používají se zde profesionální grafické programy. Mezi které se řadí například programy Artlantis 3 od firmy Artlantis, ProgeCAD od firmy SoliCAD, Autodesk 3ds Max od firmy Autodesk nebo Blender od firmy Blender3D a spoustu dalších. Samotní výrobci laserových skenerů dodávají své profesionální programy pro práci s mračny bodů. Například výrobce laserových skenerů Leica dodává progra Leica Cyclone. Jiní výrobci laserových skenerů jako například firma Riegl nebo Faro dodávají pouze programy, prostřednictvím kterých se data transformují tak aby se s nimi mohlo pracovat s programy třetích stran. Nejčastěji používané jsou v této oblasti CAD programy od firmy Autodesk. Programy třetích stran bývají zpravidla levnější než profesionální programy od výrobců skenerů.



*Obr. 22 Model města vytvořený v CAD programu - Autodesk 3ds Max [14]*

## 6 NÁVRH ZABEZPEČENÍ OBJEKTU S VYUŽITÍM LASEROVÝCH MĚŘÍCÍCH SYSTÉMŮ

### 6.1 Nové trendy

V současné době mnoho firem využívá laserové měřicí systémy za účelem přesné dokumentace objektů. Technologie 3D laserového skenování je stále více aplikována především pro svou rychlost a přesnost. Nabízí velkou produktivitu práce, kdy je možné získat obrovské množství přesných dat a zkrátit práci v terénu na minimum. Navíc lze provádět měření i v nepřístupném terénu nebo prostorách. Mnohdy je použití jiných tradičních postupů technicky tak náročné, že se technologie 3D skenování stává prakticky jedinou, kterou je možné bez větších problémů provést měření. Získaná data lze následně zpracovávat v komfortu kanceláře bez nutnosti provádění dodatečných měření v terénu. Laserové skenování nachází největší uplatnění ve stavebnictví. Nachází zde využití pro zjišťování skutečného stavu budov, k zaměřování složitých konstrukcí (obr. 23), potrubních systémů, ke zjišťování přesných profilů mostů nebo tunelů. Ke zjišťování tras inženýrských sítí a potrubních systémů. Ve vodohospodářství, ke zjišťování stavu přehradních nádrží. K dokumentování lomů nebo jeskyní. K dokumentování staveb, kulturních památek, soch nebo uměleckých předmětů pro účely rekonstrukce nebo restaurování, popřípadě k vytvoření kopií děl. K zaměřování komunikací nebo skalních masívů. V oblasti stavebnictví existují také odvětví, která sice nevyužívají laserového skenování, ale využívají 3D prostorových modelů ve své činnosti. Nabízí například projekty domů, vytvořené jako 3D model, kterými zákazník může virtuálně procházet a nechat si provést určité úpravy ještě před zahájením samotné stavby.



Obr. 23 3D model složitého objektu [17]

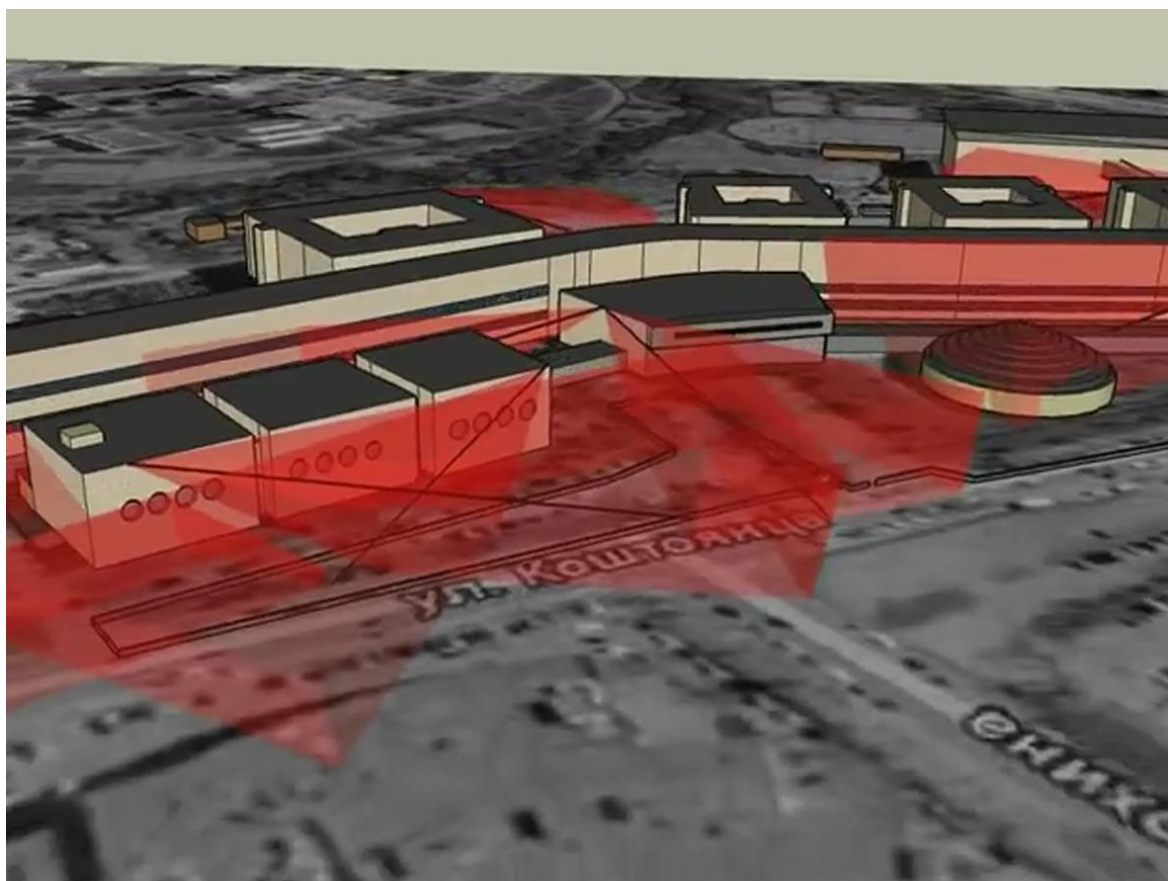
## 6.2 Využití laserových měřících systémů při návrhu zabezpečení objektu

Využití technologie 3D laserového skenování a s tím související využití 3D modelu naskenovaného objektu v oblasti bezpečnostního průmyslu je v české republice bohužel prakticky nulové. V bakalářské práci se proto zabývám možností využití této technologie právě v oblasti bezpečnostního průmyslu a konkrétně v oblasti využití vytvořeného 3D modelu pro návrh zabezpečení objektu. V současnosti je jedním s faktorů při návrhu zabezpečení objektů cena. V případech, kdy se jedná o návrh jednoduchého zabezpečení, například rodinného domu, kde zákazník požaduje pouze elementární zabezpečení, bude použití laserového měřícího systému s ohledem na současné ceny nerentabilní a zbytečné. Jinak tomu ovšem bude při zabezpečení strategicky důležitých objektů, nebo u objektů kde je všeobecně vyžadováno komplexní zabezpečení na vysoké úrovni. U objektů s těmito požadavky je také vysoká pravděpodobnost, že laserové systémy již byly použity primárně pro potřebu dokumentace objektu nebo stavby. Není tedy třeba provádět samostatné měření a lze využít již naměřená data a vytvořený 3D model. Podle požadavků zákazníka se navrhne samotné zabezpečení a zabezpečovací prvky. Návrh probíhá na základě klasických metod a zkušeností, které se využívají při běžném návrhu zabezpečení. Bezpečnostní prvky se pomocí grafického programu aplikují na 3D model. Výsledkem je 3D model již s navrženým zabezpečovacím systémem. Opět s využitím grafického programu pro práci s 3D modelem je možné vizuálně demonstrovat a následně nastavit detekční oblasti jednotlivých zabezpečovacích prvků (detektorů) tak, aby vyhovovaly požadavkům (obr. 24). Vizualizace detekčních oblastí jednotlivých detektorů umožňuje nejen jejich nastavení správnými směry, ale zároveň ukazuje, zdali je pokryta celá zabezpečovaná oblast. Správné nastavení detekčních oblastí detektorů je velmi důležité, protože navrhujeme zabezpečení reálného objektu, u kterého je nacházejí terénní nerovnosti, keře, stromy a jiné předměty které způsobují mrtvé zóny. Jelikož digitální 3D model věrně kopíruje skutečnost, jsou na něm všechny tyto prvky zobrazeny. Systém tedy okamžitě zobrazuje dostatečnost nebo naopak redundanci zabezpečovacích prvků. Jakmile je základní návrh a nastavení prvků hotov je možné spustit testovací program, který je navržené zabezpečení podrobí různým simulacím a vyhodnotí slabé stránky navrženého zabezpečení. Podle výsledků testu se pokračuje v úpravách návrhu zabezpečení, až po konečné podoby. Jak již bylo v bakalářské práci zmíněno, 3D modelem lze virtuálně



procházet a prohlížet si jej. Je také možné při kliknutí na jednotlivé detektory zobrazit jejich typ a parametry.

Podle mého průzkumu trhu v České republice neexistuje firma, která by nabízela takovéto služby. Pro názornost tedy uvádím software americké společnosti ARES Corporation, která pravděpodobně jako jediná na světě má patentovaný software AVERT který je umí optimalizovat a simulovat zabezpečovací systém objektu. K tomuto využívá digitální 3D model objektu. Software umí provádět simulace zabezpečovacího systému s ohledem na denní dobu, na počasí a na směr větru. Simuluje předpokládané chování jednoho i několika narušitelů. Vše závisí na typu a hodnotě chráněného objektu zájmu. Dokáže dokonce optimalizovat obchůzky strážní služby v objektu. Vyhodnocuje slabá místa systému a navrhuje řešení. Například vhodné umístění a typ detektoru nebo kamery. Software také umí minimalizovat náklady na zabezpečovací systém objektu.



*Obr. 24 Vizualizace detekčních oblastí detektorů [18]*

## 7 POUŽITÍ LASEROVÝCH SKENERŮ PŘI STŘEŽENÍ OBJEKTU

V současné době laserové měřicí systémy zastávají v bezpečnostním průmyslu stále důležitější úlohu. Zejména v oblasti fyzické bezpečnosti nacházejí široké uplatnění terestrické 2D laserové skenery. Laserový měřicí systém je schopen skenovat oblast zájmu s přesností na milimetry i větší. Přesnost je závislá na použitém skeneru a na požadavcích zadání. Pro potřeby střežení perimetru je ovšem milimetrová přesnost více než dostačující. Parametry laserových skenerů jsou konstantní v čase. Vykazují odolnost vůči přírodním vlivům. Je velmi nesnadné je oklamat. Pracují s obrovskou rychlostí a to až 120 000 skenů za minutu. Další nesmírnou výhodou je velmi variabilní nastavení režimu práce, v jakém je potřeba, aby skener pracoval. Velmi snadno lze režimy měnit nebo upravovat přímo za běhu systému. Vše je řízeno z pultu poplachového přijímacího centra (dále jen PPC). Změna režimu v případě laserového skeneru neznamena pouze vypnutí – zapnutí, ale je možné nastavovat velikost a tvar hlídané zóny během dne podle požadavků zákazníka (obr. 26). Tvar zóny se ovládá manuálně nebo automaticky. V automatickém režimu skeneru může mít hlídaná zóna i složitější tvar, což výrazně eliminuje nutnost použití dalších detektorů. Zóny mohou být dvojího druhu:

- zóna střežení - při jejím narušení je vyhlášen poplach,
- zóna výstražná - při zaznamenání pohybu pouze upozorní na možné narušení objektu a uvede systém do stavu pohotovosti. Použití tohoto nastavení se ovšem musí zvážit podle charakteru okolí střeženého objektu. V případě frekventovaného místa by mohlo docházet ke zbytečně velkému počtu upozornění.

V poslední době je velmi oblíbené propojení laserového skeneru s PTZ kamerou<sup>7</sup>. Pomocí spolupráce laserového skeneru s kamerovým systémem lze velmi efektivně pořizovat videozáznamy jakéhokoliv narušení prostoru nebo umožnit snímání pohybu a identifikaci osob ve střeženém prostoru. Výhodou je, že kamerový systém nemusí snímat prostor

---

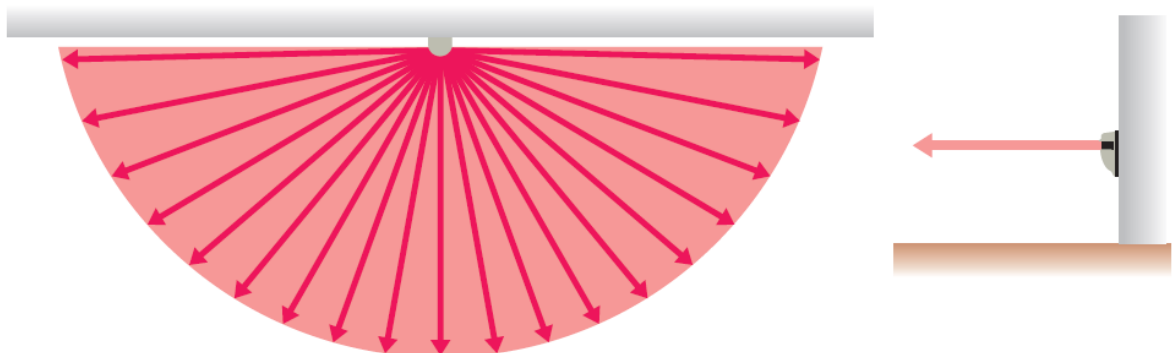
<sup>7</sup> PTZ kamery patří mezi nejuniverzálnější kamery na trhu. Zkratka PTZ je odvozena z anglických slov Pan, Tilt a Zoom. Pan znamená pohyb doleva a doprava, tilt je pohyb nahoru a dolů a zoom umožňuje přiblížení a oddálení sledovaného objektu. Jedná se tedy o kamery s ovládáním natočení, náklonu a zoomu. Navíc tyto kamery umožňují rotaci 360 stupňů a pohled přímo pod sebe. Tyto vlastnosti umožňují uživateli přesné zaměření a sledování důležitých míst a to velice jednoduše. Pohyb kamery je ovládán na dálku ze speciálního ovládacího pultu (klávesnice). Tento systém také umožňuje ukládat do paměti zvolené pozice. Na tyto pozice pak může být kamera rychle směřována a to nejen uživatelem, ale také například sepnutím nějakého zařízení jako magnetický dveřní kontakt nebo pohybový detektor [15].

nepřetržitě, ale jen po dobu narušení prostoru, které detekuje právě laserový skener. Laserový skener umí rozeznat velikost objektu jeho polohu, rychlost a směr pohybu. Tím se prakticky eliminuje riziko falešných poplachů na minimum. Nezanedbatelnou výhodou laserových měřících systémů je jejich kompaktnost a snadná montáž. Skenery jsou obvykle velmi malé a jejich montáž nevyžaduje žádné další stavební úpravy, což může být v mnohých případech rozhodující faktor pro jejich použití zejména v prostorách, kde to není možné. Pro svou jednoduchou montáž a především nastavení lze tyto systémy použít i pro zabezpečení venkovních perimetrů. V oblastech kde jejich využití největší, patří zabezpečení velkých prostranství jako například letištních ploch a hangárů nebo perimetrů strategicky významných objektů a budov jako jsou například ministerstva, armádní objekty, elektrárny, ambasády, věznice a v neposlední řadě pro zabezpečení historicky významných objektů jako jsou například hrady, zámky nebo muzea. Laserové skenery lze použít pro ochranu perimetru nebo jako plášťovou ochranu. Vše závisí na jejich umístění. Existují dva základní způsoby použití laserových skenerů:

- laserové skenery s horizontální oblastí střežení,
- laserové skenery s vertikální oblastí střežení.

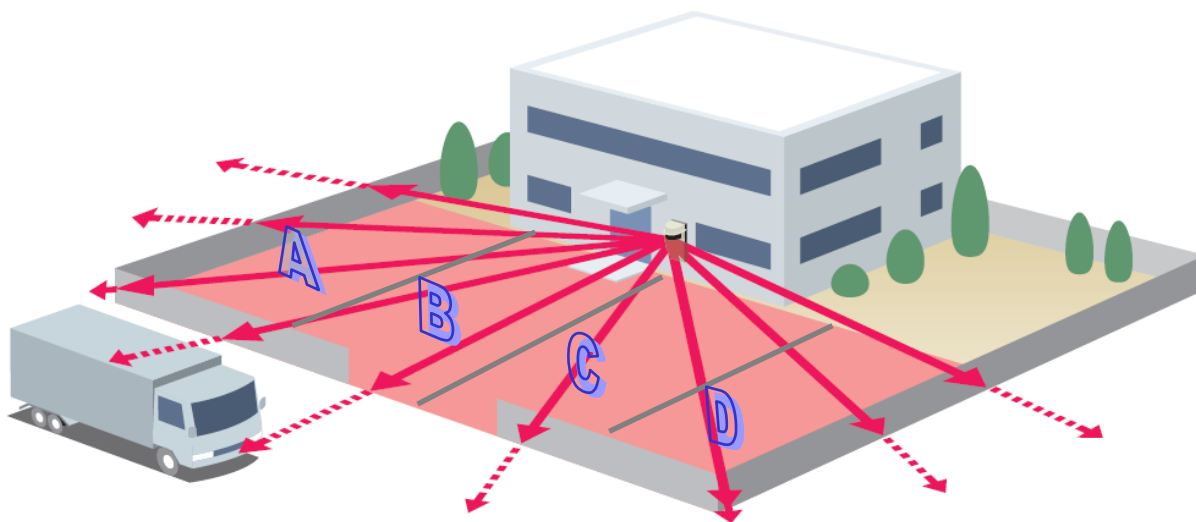
### 7.1 Laserové skenery s horizontální oblastí střežení

Horizontálním polohováním laserového skeneru je myšlena taková montáž, při které laserový skener vytváří v horizontální rovině před sebou detekční oblast o určitém poloměru (akčním rádiusu) a maximálním úhlu záběru (obr. 25). Tyto hodnoty závisí na použitém zařízení.



Obr. 25 Laserový skener s horizontální oblastí střežení [16]

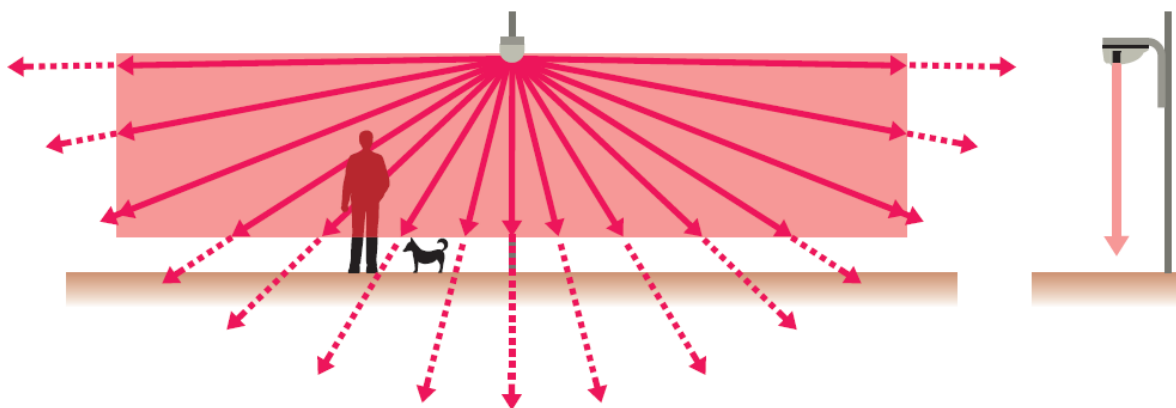
Pro názornost uvádím laserový skener REDSCAN RLS-3060 od společnosti OPTEX (obr. 28). Je to venkovní skener nové generace, který je chopen detekovat oblast s rádiusem až 30 metrů a úhlem záběru až 190°. Vytváří tedy před sebou detekční oblast ve tvaru vějíře, v rámci kterého je možné definovat tvar střežené oblasti (obr. 26). Detekční oblast je rozdělena do čtyř nezávislých detekčních oblastí. Pro každou oblast skener disponuje samostatným výstupem, pro automatické ovládání PTZ kamery. V případě narušení prostoru více osobami, přičemž každá z nich se nachází v jiné samostatné oblasti, skener přepíná výstupy pro PTZ kameru podle vnitřního algoritmu. Kamera je tedy schopná snímat vždy pouze jednu samostatnou oblast, nicméně na výstupní obrazovce skeneru jsou viditelní všichni narušitelé v reálném čase. Skener má další funkce jako je anti-masking, anti-rotating a patentovaný algoritmus pro potlačení vlivu mlhy. Laserová jednotka pracuje v bezpečnostní třídě 1, s vlnovou délkou 905 nanometrů. Úhlové rozlišení výrobce udává 0.25°. Umožňuje manuální i automatický režim. Skener se nejčastěji umísťuje do výšky maximálně 30 centimetrů nad střežený povrch z důvodu ochrany proti podlezení. Tento systém je vhodný především ke střežení otevřených ploch, rozsáhlých perimetrů nebo k zabezpečení plochých střech.



Obr. 26 Vymezení horizontálně střežené oblasti [16]

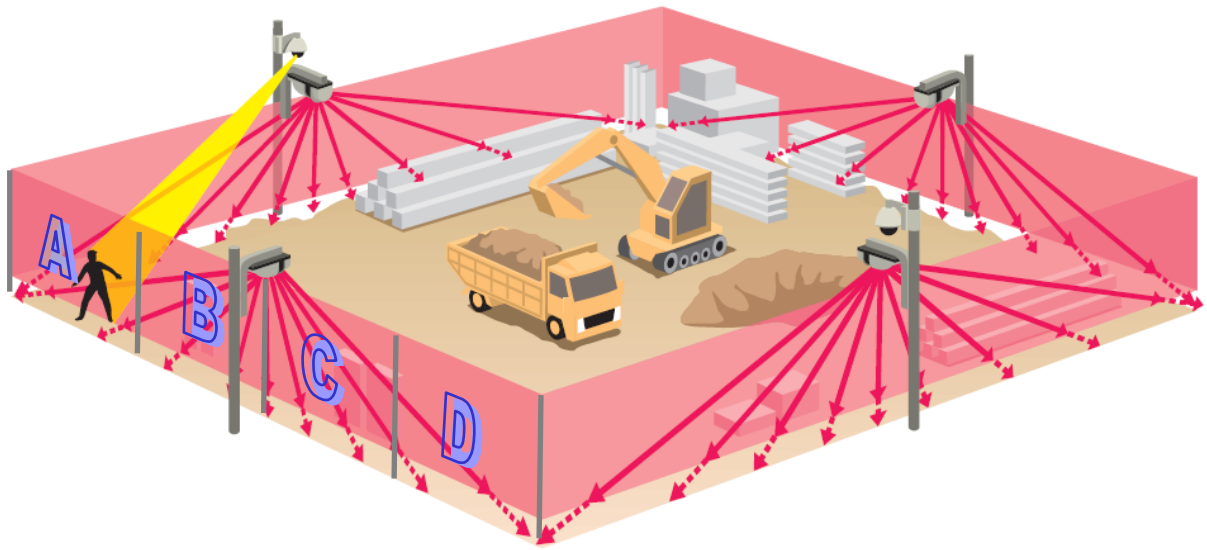
## 7.2 Laserové skenery s vertikální oblastí střežení

Vertikálním polohováním laserového skeneru je myšlena taková montáž, při které laserový skener vytváří v prostoru pod sebou neviditelnou detekční zeď (obr. 27). Maximální výška a délka detekční zdi je daná akčním rádiusem skeneru.



Obr. 27 Laserový skener s vertikální oblastí střežení [16]

Pro názornost opět uvádím laserový skener REDSCAN RLS-3060 od společnosti OPTEX (obr. 29). Při jeho vertikální orientaci je skener schopen vytvořit až 60 metrovou detekční neviditelnou zeď. Skener se montuje přímo na zeď objektu nebo na sloupy (obr. 28). Pomocí softwaru je opět možné nastavení požadované detekční oblasti tak, aby se eliminovaly falešné popluchy. Je výhodné nastavit střeženou oblast v určité výšce nad terénem (maximálně 30 centimetrů), tak aby systém neznamenal pohyb malým živočichům jako například myším, kočkám a krtekům. Detekční oblast je opět rozdělena do čtyř nezávislých detekčních oblastí se samostatným výstupem, pro automatické ovládání PTZ kamery. Při protnutí detekční zdi v kterékoliv ze čtyř oblastí, je kamera nasměrována tímto směrem (obr. 28). Na obrazovce skeneru je narušitel vidět pouze v okamžiku protnutí detekční zdi a uvnitř střeženého prostoru jej snímá jen kamera. Při sledování pohybu více narušitelů uvnitř střežené oblasti, se tento způsob zabezpečení musí spolehnout pouze na kamerový systém. Použití skeneru s vertikální oblastí střežení je vhodné pro plášťovou ochranu při zabezpečení zdí budov nebo k vytvoření detekční zdi kolem určitého perimetru, například k zabezpečení staveniště (obr. 28). Systém je vhodný také pro zabezpečení průlezných otvorů.



Obr. 28 Vymezení vertikálně střežené oblasti [16]



Obr. 29 REDSCAN RLS-3060 [16]

## ZÁVĚR

Se zvyšujícím se pokrokem, souvisí neustále rostoucí hodnota majetku a informací, které je třeba zabezpečit. Trestná činnost jde ruku v ruce s rozvojem nových technologií, které jsou se snižující se cenou dostupnější. Útoky kriminálních živlů se tak stávají stále rafinovanější. Česká republika má mnoho zahraničních aktivit, a to i vojenských, a z toho důvodu musíme vzít do úvahy také problematiku mezinárodního terorismu. Klasické mechanické zábranné systémy, nebo jednoduché elektronické zabezpečovací systémy, v dnešní době nemohou pokrýt rostoucí požadavky na zabezpečení. Dnes se používají systémy, které v sobě kombinují mechanické zábranné prostředky a sofistikované elektronické zabezpečovací prostředky. Moderní zabezpečovací systém se tak již neobejde jen s jedním druhem zajištění, ale skládá se z mnoha prvků, které vzájemně spolupracují a jsou vzájemně integrovány do ucelených domén. Laserové měřicí systémy jsou jedním s těchto prvků. Ke konci dvacátého století patřily laserové systémy do oblasti budoucnosti a hovořilo se o nich jako o technologii dalšího století. Rozvoj počítačové techniky i ostatních technologií způsobil, že cena laserových přístrojů je stále dostupnější. Současné softwarové vybavení počítačů je dnes na takové úrovni, že je schopné bez problémů zpracovat výstupy z laserových skenerů. Laserové systémy je možné použít jak při ochraně perimetru tak i při samotném návrhu zabezpečovacího systému. Mají velmi široký akční rádius a při ochraně perimetru tak mohou nahradit mnoho dalších detektorů a kamer, které by jinak musely být nasazeny. Ve spojení s kamerovým systémem maximalizují jeho využití a tím částečně eliminují selhání lidského faktoru při střežení objektu. Laserové systémy jsou velmi robustní vůči klimatickým vlivům a to je činí vhodnými pro využití v průmyslu komerční bezpečnosti.

Laserové systémy budou v budoucnu hrát významnou úlohu již při samotném návrhu zabezpečovacího systému. Podle požadavků umožňují naskenování objektu a následně s využitím softwaru vytvořit virtuální model. Vytvořený 3D model je pak možné použít pro návrh zabezpečovacího systému přesně podle finančních možností a požadavků zákazníka. Pomocí testovacího programu lze navržené zabezpečení podrobit různým simulacím a optimalizovat výsledný zabezpečovací systém. Zákazník potom může virtuálně procházet objektem a posuzovat, jak je objekt zabezpečen. Výhodou laserových systémů je jejich rychlost a přesnost s jakou pracují. Dále je to možnost snímání i nepřístupných prostor nebo snímání prostor za provozu. Jejich záporem bohužel i v dnešní době zůstává stále jejich cena. Rozvoj v oblasti elektroniky jde ovšem velmi rychle

dopředu a ten cenu laserových systémů tlačí dolů. Laserové systémy tak v blízké budoucnosti již nebudou doménou jen bohatých firem nebo státních institucí. Budou stále častěji využívány v běžných zabezpečovacích systémech. Již dnes jsou laserové systémy běžně využívány ve stavebnictví pro zaměřování složitých a nepřístupných staveb, inženýrských sítí nebo mostů pro účely dokumentace a rekonstrukce.

V bakalářské práci je popsán princip činnosti laserových měřicích systémů a jejich možné využití v průmyslu komerční bezpečnosti. V teoretické části bakalářské práce je podrobně popsán princip laserového skenování a popis jednotlivých metod. Je vysvětlen princip činnosti laserového skeneru a jeho hlavních částí. Jsou zde vysvětleny souvislosti týkající se vlivu odrazivosti materiálů na správnou funkci laserového skeneru a potažmo celého systému. V praktické části bakalářské práce jsem uvedl způsob provedení samotného měření objektu zájmu, jako i možnosti filtrace a čištění získaných mračen bodů, jejich spojování a vytvoření 3D modelu. Obsahem závěru práce je provedení vizualizace objektu, tak aby byl model přehledný a příjemný pro sledování prostým okem. Dále se bakalářská práce zabývá možným využitím virtuálního 3D modelu pro návrh zabezpečovacího systému. V závěrečné části je popsáno využití laserových skenerů při ochraně budov a perimetru. U laserových systémů lze operativně měnit režim ostrahy objektu a tak ho snadno přizpůsobovat daným okolnostem a požadavkům.

Bakalářská práce nastiňuje nové možnosti v oblasti ochrany majetku a zajištění fyzické bezpečnosti a zároveň poukazuje na nedostatečnost využití uvedených technologií v praxi, zejména pak v oblasti použití 3D skenerů a jejich využití při projektování nových zabezpečovacích systémů a možné optimalizace stávajících. Můžeme konstatovat, že využití laserových systémů bude primární budoucností v průmyslu komerční bezpečnosti.



## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

With the increasing development, the value of the property and information rises as well. These matters are needed to be protected. The criminality develops together with new technologies. Those technologies are more and more affordable with dropping price, by the time. Due to of that fact, the attacks of the criminals becomes always more sophisticated. The Czech Republic is involved in many foreign activities. The military interests included. Because of that, there is necessity to consider international terrorism. Nowadays, ordinary mechanical barriers or simple electrical alarm systems are insufficient and cannot provide rising security demands. Modern security system combines both, the mechanical barriers as well as sophisticated electronic systems. The alarm system could not be completed sufficiently with one sort of security components. The modern system consists of security components, mutually cooperated together in large coherent domains. The laser systems are one of these components. At the end of the twentieth century the laser systems belonged to the sphere of far future and it had been said as a technology of the next century. But the development of computer engineering as well as other technologies causes the lowering of the prices and the laser system are more and more affordable. Current computer software is on the level, that the computers are capable to execute laser scanner data without any difficulties. The laser systems offer the possibility to be implemented as part of physical security and it could be used for projecting of the security system itself. A laser scanner has a large scanning range and in cooperation with the camera it is able to substitute number of ordinary traditional detectors. Cooperation of laser scanners and cameras makes the security system more effective overall and the system is partially able to eliminate human failure in duty. Laser systems are very durable and robust against the weather conditions. Due to of these facts they are very difficult to surpass. This makes them very suitable for the security business. In the future laser systems will play a significant role in the projecting of the security system itself. According to requirements, laser system performs scanning of the object and then via special software creating a 3D model of scanned object. This 3D model is possible to use for projecting of the security system directly, according to the customer financial situation and his requirements. There is also possibility to test and optimize the proposed solution by the simulation program. Customer can virtually walk through the object and assess the level of security. Big advantage of laser systems is their high speed and accuracy. Furthermore, there is possibility of scanning inaccessible areas or scanning of the room under operations.

Unfortunately, the high price keeps them down, now. Of course, computer development runs very fast and the price is pushed down very quickly. Because of these facts, in a close future, the laser systems will not be affordable only for large companies, or state institutions. They will be more and more common as a part of ordinary security systems. Presently these systems are already regularly used in construction industry to localize complicated or inaccessible structures, installations or bridges for the purpose of documentation and reconstruction.

In the bachelor thesis, there is described a principle of functionality of laser measurement systems and their possible using in the security business. In the theoretical part, thesis describes a principle of laser scanning and individual methods. There is the explanation of functionality of a laser scanner overall as well as his main parts. It explains influence of material reflectivity to the proper function of laser scanner, so the whole system. In the practical part of the thesis, I presented a real performance of the measurement of the object of interest as well as possibility of filtration, cleaning of the gained clouds of points, their connecting together and rendering of the 3D model. At the end of the process, thesis presences visualization of the object, so the model is well arranged and convenient for watching by a naked eye. The bachelor thesis also concerns possible using of the 3D model for implementation of the security system. At the end of the thesis, there is description of the laser systems as a part of physical security. Laser system allows a user to set up operatively a security mode, to be easily adjustable to the real situation and requirements.

The bachelor thesis presents new possibilities in the branch of property protection and physical security. It is also focused on the lack of using above mentioned technologies in practice live, mainly in the area of 3D scanners and its using for projecting of new security systems and possible optimization the existing ones. When I studied the issue of laser scanning closely, I had learned, the usage of the laser system optimizes and also simplifies a whole security system. In spite of all those facts I can declare, the laser security systems are primer future of the security business.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] AMBO SDRUŽENÍ. *Ochrana osob, majetku a informací* [online]. PERUS, © 2005-11 [cit. 2010-10-09]. Dostupné z: [http://www.ambo.cz/index.php?cat2\\_open=1&lang=cz&sec=atal\\_detail&oldsec=catal\\_list\\_page&id\\_catal=600&title\\_string=Laserov%C3%BD%20m%C4%9B%C5%99%C3%ADc%C3%AD%20syst%C3%A9m%20LMS](http://www.ambo.cz/index.php?cat2_open=1&lang=cz&sec=atal_detail&oldsec=catal_list_page&id_catal=600&title_string=Laserov%C3%BD%20m%C4%9B%C5%99%C3%ADc%C3%AD%20syst%C3%A9m%20LMS)
- [2] ŠTRONER, Martin a Jirří POSPÍŠIL. *Terestrické skenovací systémy: Nové technologie*. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-04141-3.
- [3] SICK. *Použití laserového bezpečnostního skeneru pro ochranu nebezpečného prostoru* [online]. Praha: Svět svárů, 29.12.2010 [cit. 2011-10-29]. Dostupné z: [http://www.hadyna.cz/svetsvaru/safety/2008-2\\_Skener-SICK.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/safety/2008-2_Skener-SICK.pdf)
- [4] NEU-MANN. *Typy snímacích senzorů* [online]. © 2008-2009 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://www.neu-mann.cz/digitalni-fotografie/technologie/typy-snimacich-senzoru/>
- [5] PAVELKA, Karel a Jindřich HODAČ. *Fotogrammetrie 3: Digitální metody a laserové skenování*. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03978-6.
- [6] KACHTÍK, Lukáš. *Bezpečnostní rizika laserů* [online]. Kachtík, 25.4.2010 [cit. 2011-11-03]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/bezpecnost.html>
- [7] SICK PDF Document Services. [on line], [cit. 2011-11-03]. Dostupné z URL: <https://mysick.com/saqqara/pdf.aspx?id=im0012759>
- [8] DOLANSKÝ, Tomáš. *Lidary a letecké laserové skenování*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2004. ISBN 80-7044-575-0 (brož).
- [9] AUTOMATIZACE. *Bezpečnostní světelné a laserové ochrany: Odborný časopis pro automatizaci, měření a inženýrskou informatiku* [online]. © 2004, 1.1.2007 [cit. 2011-11-08]. Dostupné z: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1594>
- [10] HABEL, Jiří. *Osvětlování*. Druhé vydání. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 80-01-01770-2 (brož).
- [11] METAL-ENGRAVINGS. *Práce s produkty laserového skenování - mračny bodů v prostředí Autodesku, 1.část* [online]. 8.2.2012 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z: <http://metal-engravings.com/metal-engraving/laser-scanner-2.html/attachment/leica-geosystems>

- [12] HAFNET. *Topcon IP-S2 Mobile Mapping System* [online]. 8.2.2012 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z: <http://www.hafnet.cz/topcon-ip-s2-mobile-mapping-system>
- [13] ATELIERU5. *Drátový Model* [online]. 21.2.2011 [cit. 2012-02-21]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/user/ATELIERU5/feed>
- [14] 3D CAD BROWSER. *New York City, Manhattan (USA) [V2]* [online]. © 2001-2012 [cit. 2012-02-21]. Dostupné z: <http://www.3dcadbrowser.com/preview.aspx?modelcode=15146>
- [15] KAMEROVÉ SYSTÉMY. *PTZ kamery* [online]. 25.2.2012 [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <http://www.kamerovesystemy.org/ptz-kamery/>
- [16] OPTEX INC. *RLS-3060 REDSCAN* [online]. © 2007 [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <http://www.optexamerica.com/productpage.aspx?id=62>
- [17] STAVEBNICTVI3000. *Technologie 3-D skenování* [online]. Vega s.r.o., © 2001–2012 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/technologie-3d-skenovani/>
- [18] ARES CORPORATION. *AVERT Features* [online]. ARES Corporation, © 2011 [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <http://www.arescorporation.com/security/products/avert/avert-features/>
- [19] DIGI-KEY CORPORATION. *LASER DIODE 808NM 5MW-D8085I-Optoelectronics Optoelectronics* [online]. Digi-Key Corporation, © 1995-2012 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <http://parts.digikey.ie/1/1/76804-laser-diode-808nm-5mw-d8085i.html>
- [20] PAVELKA, Karel. *Laserové skenování – nová technologie sběru prostorových dat*. Praha: ČVUT, 2006. ISBN ISBN 80-01-03501-8 (brož).
- [21] BW PRECISION SYSTEMS S.R.O. *3D laserové skenování* [online]. 6.12.2011 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://www.bwps.eu/category/bwps/3d-laserove-skenovani>
- [22] EUROALARM. *Inteligentní laserový detektor – REDSCAN RLS-3060* [online]. Praha: EUROALARM, © 2007 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://www.euroalarm.cz/zabezpecovaci-technika/perimetr/venkovni-detektory/redscan-rls-3060>

- [23] PANASONIC ELECTRIC WORKS EUROPE AG. *Bezpečnostní laserový skener SD3-A1* [online]. Panasonic Electric Works Europe AG, © 2005-2012 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://www.panasonic-electric-works.cz/pewcz/en/html/26444.php>
- [24] GEODIS. *IP-S2 COMPACT* [online]. © 2009 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z: <http://obchod.geodis.cz/geo/ip-s2-mobilni-mapovani-mobil-mapping-topcon-geodis>
- [25] SLIDESHARE INC. *Build Your Own 3D Scanner* [online]. SlideShare Inc., 19.8.2009 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/dlanman/build-your-own-3d-scanner-introduction>
- [26] GEODETICCA. *Laser Scanning* [online]. Šomšák, 2003 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://www.geodeticca.sk/en/about-us/history/>
- [27] GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND COMPUTER CARTOGRAPHY. *Delaunayho triangulace* [online]. Plzeň, 12.3.2012 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/ugi/cviceni/ch08s01.html>
- [28] SICK. *Detection and Protection: Laser solutions for access control and building protection* [online]. Waldkirch · Germany: Sick AG, 12.3.2012 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://www.sick-automation.ru/images/File/pdf/LD%20PDS.pdf>
- [29] JIŘÍ POSPÍŠIL. *Současné trendy skenování ve stavebnictví a v příbuzných oborech*. Praha: ČVUT Praha, 2007. ISBN 978-80-01-03755-3 (brož.).

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- LMS Laserový měřicí systém.
- 2D Dvourozměrný (skener).
- 3D Trojrozměrný (skener).
- PPC Poplachové přijímací centrum.
- PTZ Pan, Tilt, Zoom (doleva - doprava, nahoru - dolů, přiblížení - oddálení)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Polární metoda určování souřadnic prostorových bodů</i> .....	13
<i>Obr. 2 Princip činnosti pulzního dálkoměru</i> .....	15
<i>Obr. 3 Princip činnosti triangulačního skeneru</i> .....	17
<i>Obr. 4 Řez laserovým skenerem</i> .....	18
<i>Obr. 5 Laserová dioda [19]</i> .....	20
<i>Obr. 6 Pracovní rozsah laserového skeneru</i> .....	21
<i>Obr. 7 Princip rozmítání laserového paprsku optickým hranolem</i> .....	22
<i>Obr. 8 Princip rozmítání laserového paprsku optickými vlákny</i> .....	22
<i>Obr. 9 Princip rozmítání laserového paprsku otočnou plošinou</i> .....	23
<i>Obr. 10 CCD snímač [4]</i> .....	24
<i>Obr. 11 Terestrický laserový skener RIEGL ZMS-420i [11]</i> .....	31
<i>Obr. 12 Triangulační laserový skener [11]</i> .....	32
<i>Obr. 13 Kinematický laserový měřicí systém umístěný na vozidle [12]</i> .....	33
<i>Obr. 14 Stopa u systému s rotačním zrcadlem</i> .....	35
<i>Obr. 15 Stopa u systému s oscilujícím zrcadlem</i> .....	35
<i>Obr. 16 Stopa u systému s optickými vlákny</i> .....	36
<i>Obr. 17 Stopa u systému s eliptickým skenerem</i> .....	37
<i>Obr. 18 Úhel záběru kamerového a panoramatického skeneru [29]</i> .....	39
<i>Obr. 19 Vřícovací body</i> .....	40
<i>Obr. 20 Drátový model pokrytý barvami [13]</i> .....	43
<i>Obr. 21 Delaunayova triangulace [27]</i> .....	44
<i>Obr. 22 Model města vytvořený v CAD programu - Autodesk 3ds Max [14]</i> .....	46
<i>Obr. 23 3D model složitěho objektu [17]</i> .....	47
<i>Obr. 24 Vizualizace detekčních oblastí detektorů [18]</i> .....	49
<i>Obr. 25 Laserový skener s horizontální oblastí střežení [16]</i> .....	51
<i>Obr. 26 Vymezení horizontálně střežené oblasti [16]</i> .....	52
<i>Obr. 27 Laserový skener s vertikální oblastí střežení [16]</i> .....	53
<i>Obr. 28 Vymezení vertikálně střežené oblasti [16]</i> .....	54
<i>Obr. 29 REDSCAN RLS-3060 [16]</i> .....	54

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Odrazivost materiálů</i> .....	28
--	----