

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební

Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering

Dr.Ing.Karel Pavelka

Laserové skenování – nová technologie sběru prostorových dat

Laser Scanning – a New Technology for Spatial Data Collecting

Summary

The spatial object point co-ordinates and lines were processed by traditional photogrammetry technology till mid 90ies. During the 90ties new methods of direct 3D measurements of the 3D point coordinates on a reflecting surface based on different technical solutions have appeared and since that time they have been in continuous development. These methods are known as a 3D scanning.

There are two fundamental principles: laser scanners and triangulation scanners. Laser scanning (ranging) scanners measure horizontal and vertical angles and compute the distance either by the time-of-flight method or by comparing the phases of the transmitted and received wave form of a modulated signal. More frequent is using of the time-of-flight method. By this method a laser pulse is sent to the measured object and the distance between transmitter and reflecting surface is computed from the travel time between signal transmission and reception. Laser scanners use small rotating devices for the angular deflection of the laser beam. It is possible to measure whole space around the scanner. The range and accuracy of the scanner is given by the quality of laser device

Triangulation scanners are constructed with a known base. A laser marker on one side and single digital camera on the other side are used for analyzing the location of a projected laser spot or two cameras and structured light projector can be combined. In the first case the 3D position of the point on reflecting surface can be derived from the resulting triangle. In the second case, the image correlation is used. Not all devices using two cameras offer high point rates and often the 3D coordinates are not produced in real time. The triangulation scanners for short distances and small objects are much more accurate than ranging scanners, but the range of these devices does not exceed 25m.

Generally, in the case of 3D scanners, a large number of 3D coordinates on an object's surface is measured in a very short time. Relevant object features, such as corner points or edges, are not directly recorded; they have to be modelled from the point clouds in a separate process. Software processing of point clouds is not sufficient at present. The automatic localization of cylinders, spheres, cubes and parallelepiped is possible, but the determining of general surfaces with all the details is not simple. Therefore the special software systems are still under intensive development.

Souhrn

Souřadnice prostorových bodů a prostorové linie byly tradičně získávány téměř výhradně pomocí fotogrammetrie až do devadesátých let minulého století. V devadesátých letech minulého století bylo započato s vývojem zařízení pro přímé měření 3D souřadnic podrobných bodů na různém technické základě. Všechny tyto metody jsou dnes nazývány 3D skenováním.

Tyto technologie jsou od devadesátých let minulého století neustále ve vývoji. Je možno definovat dva základní principy funkce: laserové skenery a triangulační skenery. Laserové skenery měří horizontální a vertikální úhel a počítají prostorovou vzdálenost buď na základě známé doby letu paprsku laseru nebo porovnáním fáze vyslaného a přijatého paprsku; častější je využití technologie doby letu paprsku. Při této metodě je laserový puls vyslán na měřený objekt a vzdálenost je následně počítána z doby mezi vysláním a příjmem odraženého signálu. Laserové skenery využívají malý rotační skenující segment, který postupně odchyluje vysílaný paprsek. Díky tomu je možno měřit změřit prakticky celé okolí skeneru; dosah a přesnost měření jsou dány kvalitou použitého laseru.

Triangulační skenery jsou konstruovány na základě známé základny uvnitř přístroje. Využívá se laserové ukazovátko na jedné straně a digitální kamera pro záznam stopy laseru na druhé straně základny nebo lze využít dvou kamer a projektoru strukturovaného světla na objekt. V prvním případě se prostorové souřadnice bodů na odrážejícím povrchu počítají z trojúhelníku, v druhém případě se využívá obrazové korelace. Ne všechna takováto zařízení ale umožňují měřit prostorové body s vysokou hustotou a vypočítat je v reálném čase. Triangulační skenery jsou ale na krátké vzdálenosti a pro menší objekty přesnější než laserové skenery, jejich dosah ale nepřekračuje 25m.

V případě 3D skenerů je měřeno velké množství 3D souřadnic podrobných bodů ve velmi krátkém čase. Důležité části objektu jako rohy a formové linie ale nejsou přímo měřeny – je třeba je vytvořit modelováním z mračna bodů. Právě zpracování mračna bodů není v současné době dostatečné. Automatická lokalizace válcových ploch, koulí, krychlí a hranolů je možná, ale zpracování obecné plochy s detaily není jednoduché a běžné. Z tohoto důvodu jsou speciální software neustále ve vývoji.

klíčová slova: laserové skenování, sběr prostorových dat, 3D skenery

key words: laser scanning, spatial data collecting, 3D scanners

České vysoké učení technické v Praze

Název: Laserové skenování – nová technologie sběru prostorových dat

Autor: Dr.Ing.Karel Pavelka

Počet stran: 32

Náklad: 150 výtisků

© Karel Pavelka

ISBN

Obsah

Summary	2
Souhrn	3
1. Úvod - možnosti určování 3D souřadnic objektů	6
2. 3D skenery	6
3. Triangulační 3D skenery	8
4. Laserové skenery	12
5. Letecké laserové skenery	15
6. Zpracování dat z laserového skeneru	17
7. Příklad zaměření objektu	18
8. Porovnání technologie 3D skenování	24
9. Použitá literatura	30
10. Životopis	31

1. Úvod - možnosti určování 3D souřadnic objektů

V technické praxi je častým požadavkem zjištění třírozměrných souřadnic podrobných bodů objektů. Obecně není možné ve většině případů přímo kontaktně měřit prostorové souřadnice objektů; většinou to není technicky možné nebo tak nelze postupovat z ekonomických a časových důvodů. Existuje několik technologických možností, jak lze bezkontaktně hromadně prostorové souřadnice bodů na objektu měření určit. Obecně se jedná o následující technologie:

- Digitální fotogrammetrie (letecká, pozemní, družicová)
- 3D skenování (letecké, pozemní)
- Radarová interferometrie (letecká, družicová)
- Geodetické metody (pozemní měření)
- GPS

Tento text se zabývá blíže technologií 3D skenování, speciálně pak laserovým skenováním. Obecně nazýváme 3D skenováním bezkontaktní hromadné přímé určování prostorových bodů na objektu. Děje se tak na základě fyzikálního měření a řešení matematických vztahů.

2. 3D skenery

Vývoj 3D skenerů započal v devadesátých letech minulého století a 3D skenery se dostaly do popředí zájmu odborné veřejnosti kolem roku 2000. Nová technologie přímého určování 3D souřadnic upoutala pozornost zejména pro svou rychlost snímání a ohromné množství přímo měřených prostorových bodů. Zprvu byla tato technologie směřována ve své letecké aplikaci na tvorbu digitálního modelu terénu a ve své pozemní aplikaci na zjišťování prostorových tvarů složitých technologických zařízení, jako např. potrubních systémů v rafinériích apod. Velmi rychle se ale začalo používat 3D skenerů v řadě různých aplikací. 3D skenery jsou často spojovány s laserovým skenováním, které ale tvoří jen určitou podmnožinu těchto zařízení. Prakticky okamžitě se 3D skenery začaly rozdělovat podle technologického principu a dále dle dosahu. Nejjednodušší současné dělení je podle dosahu:

- letecké systémy (stovky m až km)
- pozemní systémy se středním dosahem (10 m až stovky m)
- pozemní systémy s krátkým dosahem (1-10m)
- pozemní systémy s velmi krátkým dosahem (do 1m)

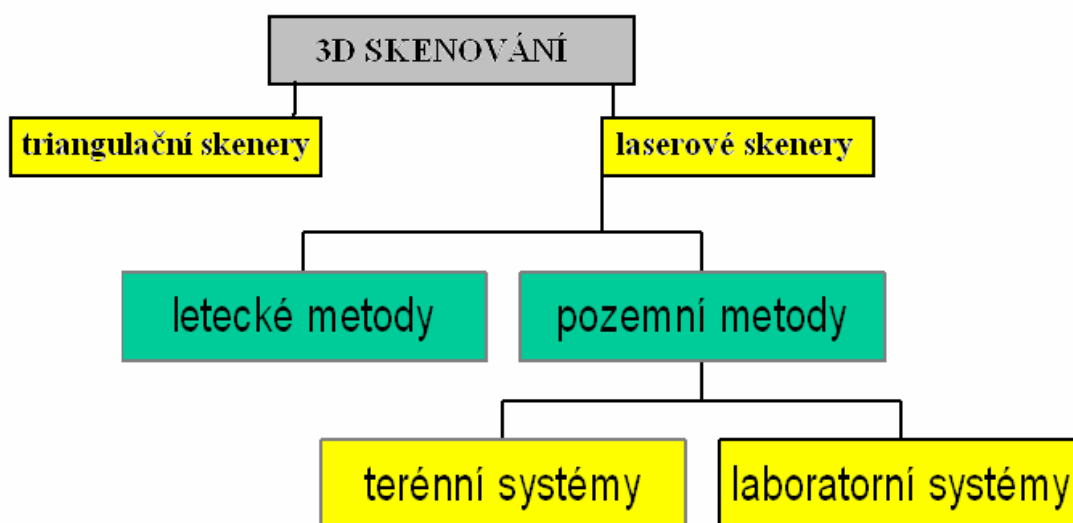
S dosahem je spjato i další dělení podle technologického principu:

- laserové skenery pracující na základě přímého měření prostorové vzdálenosti mezi měřícím zařízením a měřeným bodem (dosah stovky m)
- triangulační 3D skenery pracující na základě měření ze známé základny (dosah do 25m)

Zejména u triangulačních systémů existuje řada konstrukčních možností. Využívá se obvykle jedné nebo dvou digitálních kamer a laseru, jehož stopa na objektu je kamerami zaznamenávána a vyhodnocována do podoby 3D souřadnic. Laboratorní systémy, určené pro menší předměty, využívají pomalu rotující točny, na kterou se předmět umístí. Jiné systémy využívají zobrazení strukturovaného světla na předmětu a jeho snímání dvěma kamerami; v tomto případě se využívá obdobně jako v digitální fotogrammetrii obrazové korelace. Zde se dostáváme k počátku 3D skenerů a k důvodu, proč se tato zařízení vůbec řadí k fotogrammetrii a DPZ. V DPZ jsou využívány radarové zobrazující systémy přibližně od počátku osmdesátých let minulého století v leteckých i družicových aplikacích. Následně byly konstruovány lidary, které se ale obvykle používaly pro diskrétní měření (měření vzdálenosti nebo určování složek atmosféry).

Radarová interferometrie se stala koncem minulého století technologickou špičkou při určování tvaru zemského povrchu. Také fotogrammetrie se snažila ve své digitální podobě o pokud možno automatické získávání 3D souřadnic objektů i zemského povrchu. Na rozdíl od DPZ ale nepoužívala aktivní zařízení jako radary nebo lidary, ale pasivní zařízení pro měření odraženého světla do podoby obrazu. Ze sdružené dvojice obrazů lze vypočítat 3D souřadnice podrobných bodů. Pro automatické nalezení obrazu téhož bodu na jednom i druhém snímku, pořízených z určité základny, se využívá princip obrazové korelace; takto se běžně tvoří digitální ortofoto. Zcela automatická tvorba digitálního ortofota v běžném terénu má ale řadu úskalí. Homogenní plochy nelze takto vyhodnocovat z důvodu vzájemné podobnosti jednotlivých bodů, která znemožňuje využití metody obrazové korelace, založené na unikátnosti okolí jednotlivých vyhodnocovaných bodů. U blízkých objektů si ale můžeme pomoci tak, že objekt nasvítíme určitým nepravidelným rastrem (strukturovaným světlem) a automatická obrazová korelace je možná. Tyto systémy se využívaly již koncem osmdesátých let např. pro strojírenská přesná měření, pro určování deformací nebo pro zjišťování či kontrolu tvarů speciálních objektů (např. karosérie automobilů apod.). Základem byl vývoj CCD senzorů s dostatečným rozlišením, které se osazovaly do fotografických komor.

Tato technologie je prakticky základ dnešních 3D skenerů, pracujících na triangulačním principu. Vzhledem k malé základně nemají tato zařízení příliš velký dosah. Hledala se proto technologie, která by umožnila výrazně zvýšit dosah přímého určování 3D souřadnic. To se podařilo u laserových skenerů. Bylo ale nutno počkat na konstrukční prvky, které velmi rychle a přitom dostatečně přesně měřily dobu letu laserového paprsku. Běžné laserové dálkoměry, nasazené v praxi již před řadou let, měří vzdálenost po několika vteřinách a jejich využití ve skenující jednotce není možné.



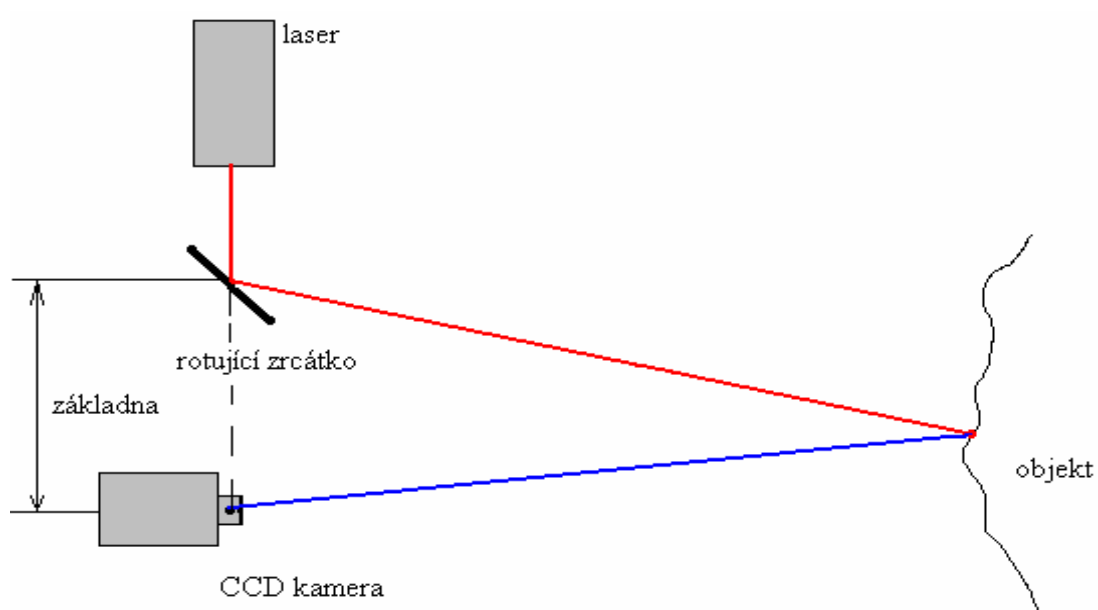
Obr.1: Technologie přímého určování 3D souřadnic

Výše uvedený text se pokouší vysvětlit často diskutovanou otázku, proč se k fotogrammetrii a DPZ 3D skenery přiřazují technologicky. Z hlediska výstupů je spojitost evidentní. Výstupy z letecké aplikace laserového skenování jsou spolu s fotogrammetrickými výstupy využívány pro mapování i tvorbu tématických vrstev do GIS, pozemní aplikace jsou různorodé. V poslední době je mimo původní aplikace - dokumentace technologických zařízení - využití laserových pozemních skenerů spjato s dokumentací památkových objektů. Na tomto základě vznikla i samostatná odborná skupina CIPA a pořádají se již několik let speciální akce zaměřené na zejména laserové skenování. Prozatím – i přes počáteční optimismus – lze konstatovat, že 3D skenery v oblasti dokumentace památkových objektů vhodně doplňují fotogrammetrii a v blízké budoucnosti se počítá s jejich koexistencí.

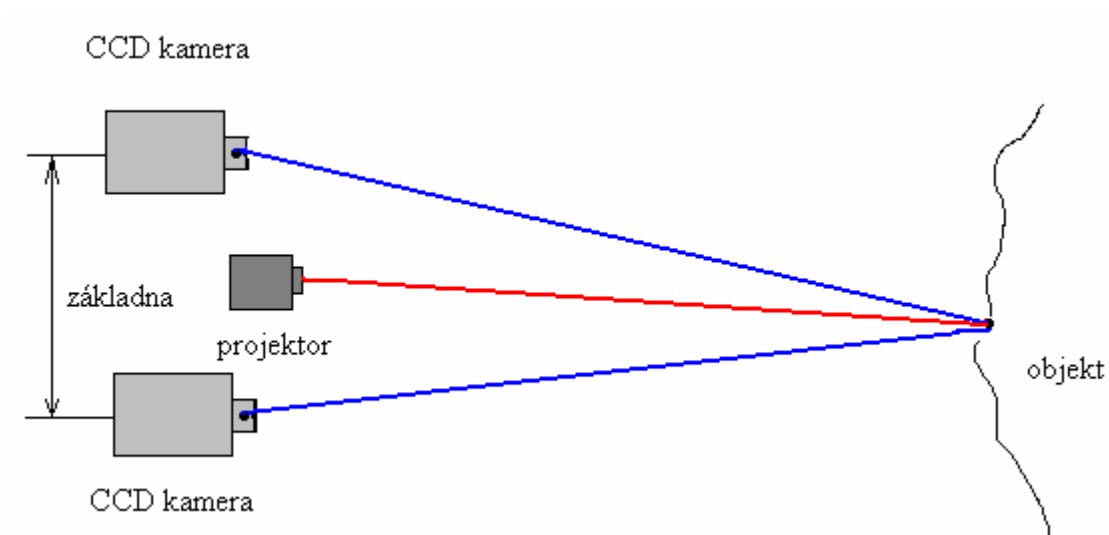
3. Triangulační 3D skenery

3D skenery, konstruované na základě triangulačním, využívají měření z konců známé základny. Využívá se řada kombinací a technických řešení. Základní jsou následující řešení:

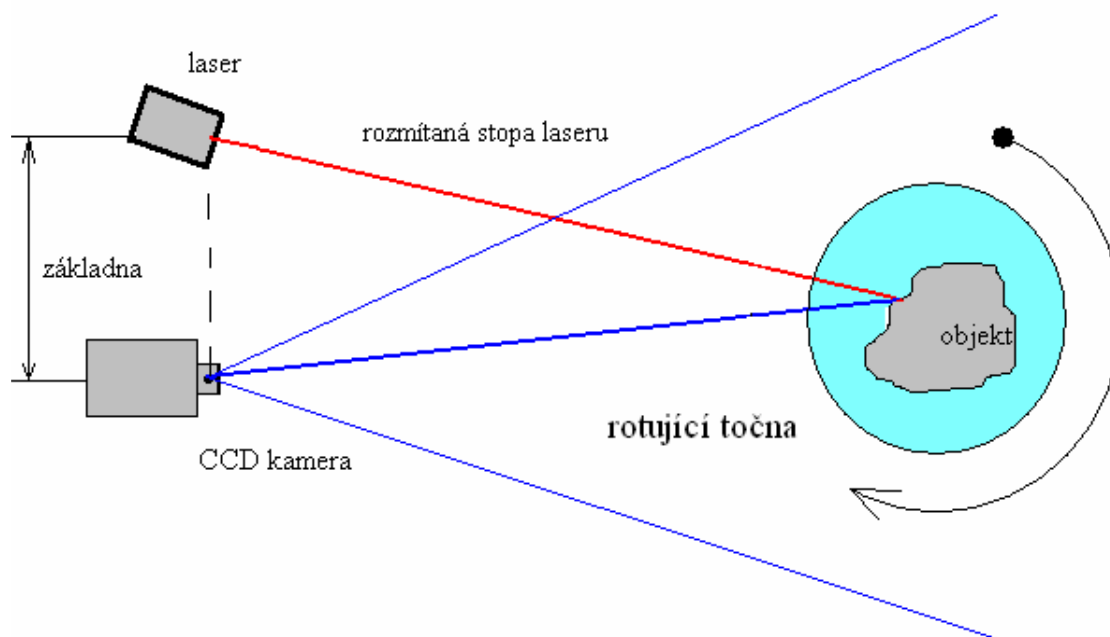
- a) Jedna kamera a laser (laser a kamera jsou umístěny na základně, snímá se stopa laseru na objektu; buď se otáčí objekt nebo se vychyluje zrcátkem laserový paprsek)
- b) Dvě kamery a laser nebo projektor (kamery jsou konvergentně zaměřeny na objekt ze známé základny; projektořem se nasvětluje strukturovaným světlem objekt nebo se pro definování podrobných bodů použije stopa laseru)



Obr.2: Princip tringulačních skenerů – jedna kamera a laser

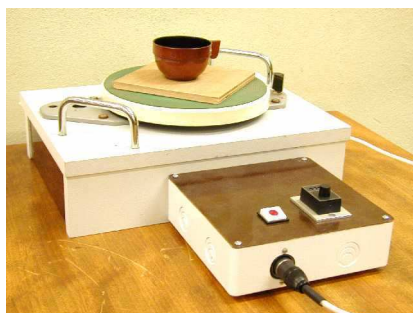


Obr.3: Princip tringulačních skenerů – dvě kamery a projektor nebo laserové ukazovátko

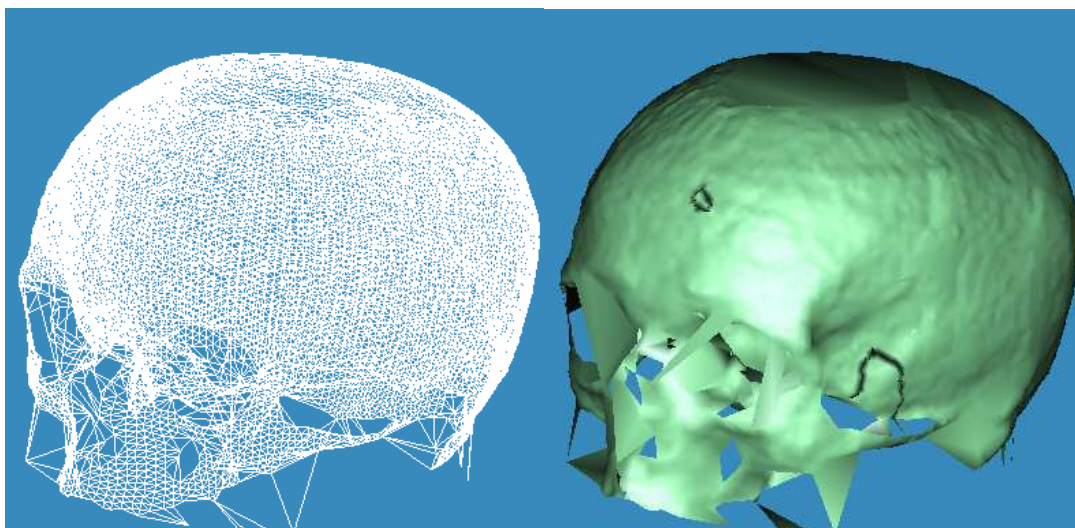


Obr.4: Princip triangulačních skenerů – kamera a laser, jehož rozmítaná stopa se zobrazuje na pomalu rotující měřený předmět

Na obr.4 je znázorněn princip 3D skeneru, pracujícího s rotující točnou, na které je umístěn předmět. Tento typ byl vyvíjen na ČVUT (katedra speciální geodézie ve spolupráci s laboratoří fotogrammetrie katedry mapování a kartografie) až k funkčnímu prototypu pod názvem LORS (Koska,2004). Tento systém není běžně mobilní, slouží pro prostorovou dokumentaci menších předmětů; v koncových bodech vytyčené základny je na jedné straně teodolit s digitální kamerou (lze měřit úhel osy záběru vzhledem k základně), na druhé je laser, jehož paprsek je rozmítán skleněnou tyčinkou do svislé roviny ve směru předmětu. Stopa paprsku na předmětu vyznačuje prakticky jeho prostorový řez. Pomalým otáčením předmětu a snímáním takto vzniklých řezů umožňuje vypočítat prostorovou polohu jednotlivých bodů řezu z přímo měřených veličin a snímkových souřadnic bodů, automaticky vyhodnocených z jednotlivých digitálních snímků.



Obr.5: Hlavní součásti systému ČVUT



Obr.6: Dokumentace objektu na systému LORS – antropologická aplikace (Pazdera,2005), zobrazeno v programu *Surface reconstructor*



Obr.7 : Část dokumentace mausolea Maximiliana I., Cenotaph - Innsbruck Hofkirche, triangulační skener Atos II, Mensi S25; doba snímání 4dny, 50GB dat (i3mainz, Böhler, <http://www.i3mainz.fh-mainz.de/Article240.html>)

4. Laserové skenery

V posledních několika letech došlo k výraznému rozšíření pozemních laserových skenerů ve světě, ale i nás. V současné době je v ČR již 8 takovýchto přístrojů; přitom jejich cena je několik milionů Kč. Zastoupeny jsou tyto firmy: Callidus, Leica-Cyra (3x), Trimble-Mensi (2x), Optech a Riegl. Doposud není v ČR prozatím žádný letecký laserový skener, projekty na toto téma byly prováděny ale na našem území v součinnosti s německými firmami (Geodis2004-5, Georeal2005)

Laserové skenery využívají pro určení prostorové polohy bodu obecnou prostorovou polární metodu. Na stanovisku, kde je umístěn laserový skener, jsou pro každý měřený bod zaznamenávány automaticky horizontální úhel, vertikální úhel a šikmá vzdálenost od stanoviska k měřenému bodu. Vzdálenost se měří na základě vyslaného a předmětem odraženého paprsku laseru, měření se opakuje s vysokou frekvencí, umožněnou rychlostí světla. Klasický laserový skener využívá pro pohyb laserové hlavy v horizontální rovině v jemném kroku zlomků stupně přesný krokový motor, ve vertikální rovině je paprsek laseru vychylován rotujícím zrcátkem nebo hranolem. Existují prakticky dvě základní technické modifikace měření prostorové vzdálenosti:

1) Přímé měření vzdálenosti (“*ranging scanner*”)

Čas letu laserového pulzu (je vyslán laserový puls a měří se čas mezi vysláním pulzu a přijmutím odrazu, „*time of flight*“)

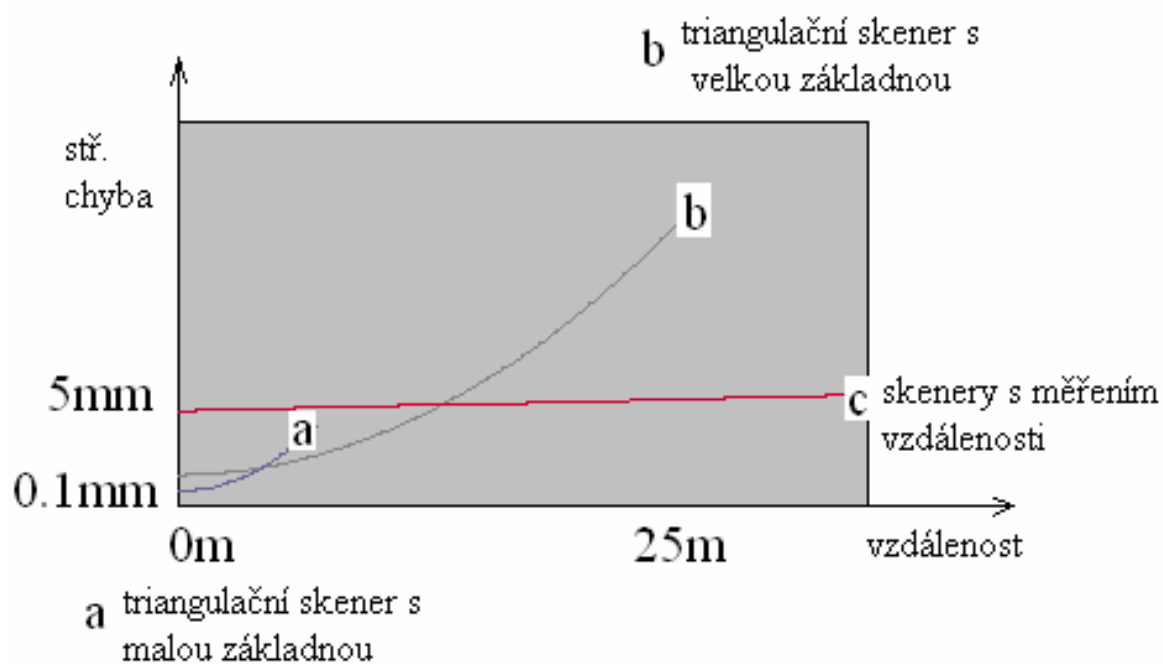
2) Porovnání fáze (je vyslán paprsek, který je modulován harmonickou vlnou a vzdálenost k předmětu se vypočte jako fázový rozdíl mezi vyslanou a přijatou vlnou)

Laserové skenery se dělí podle konstrukce na systémy:

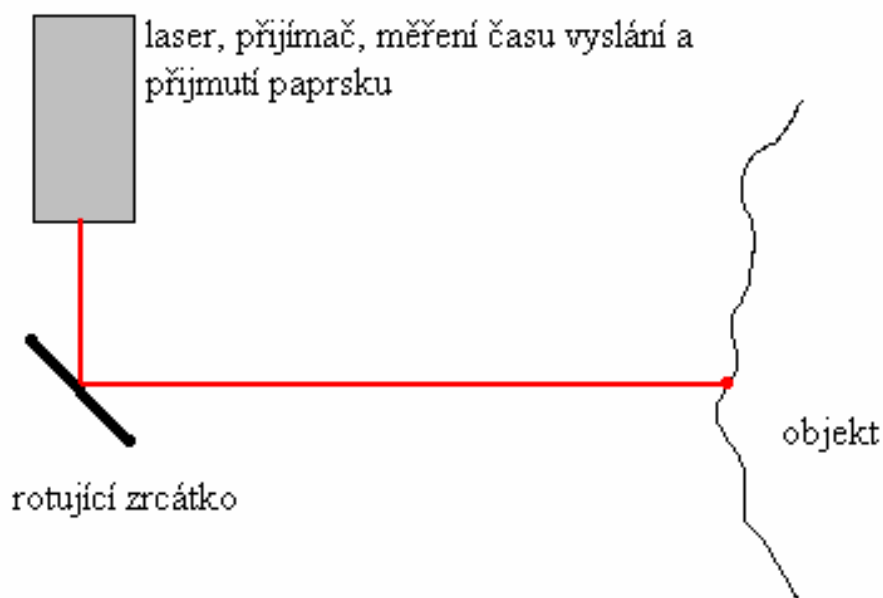
- stacionární
- mobilní
- letecké

Podle dosahu se dělí na tři základní třídy:

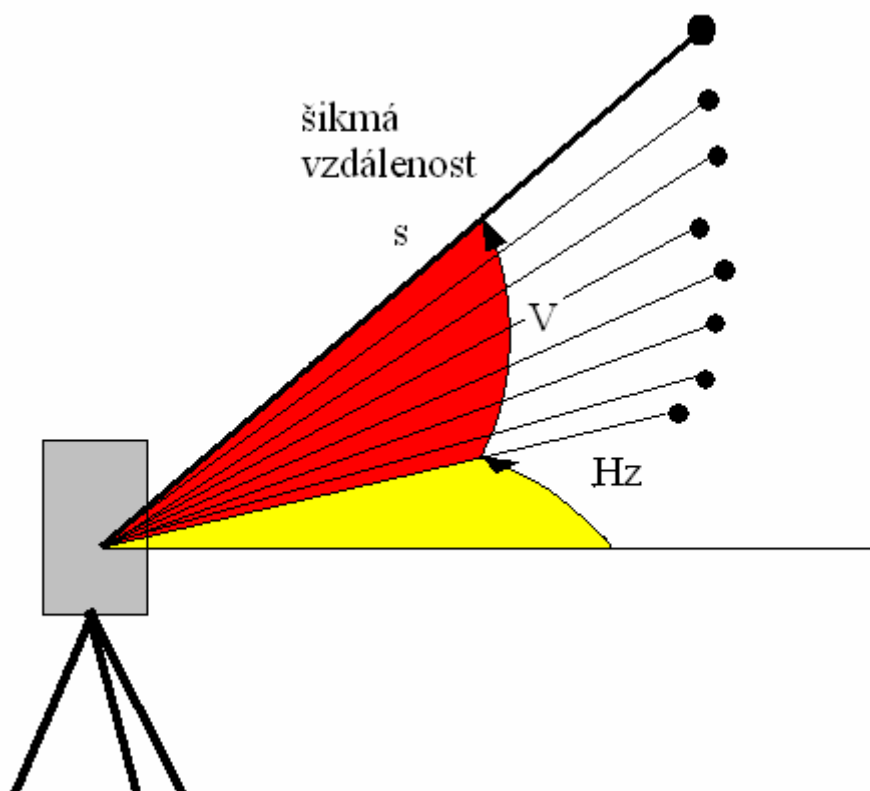
- 0.1 - 1m
- 1m - 10m
- ~10m - ~100m



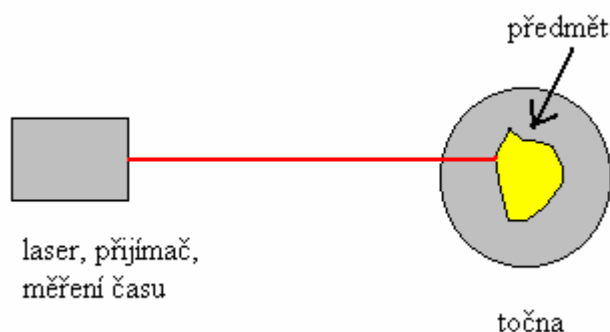
Obr.8: Přesnost různých typů 3D skenerů



Obr.9: Princip práce laserového skeneru („time of flight“)

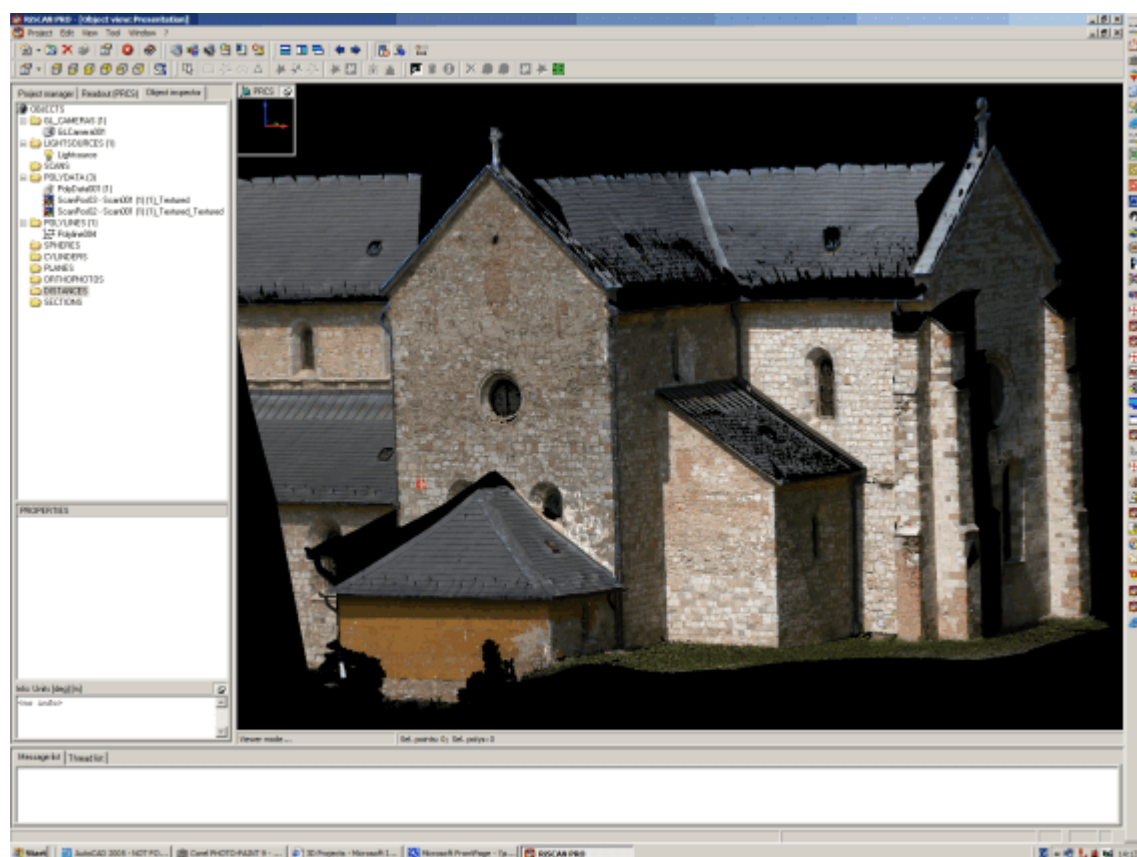


Obr.10: Pozemní laserový skener - princip („time of flight“)



Obr.11: Laserový skener pracující na krátké vzdálenosti s objektem na rotující točně

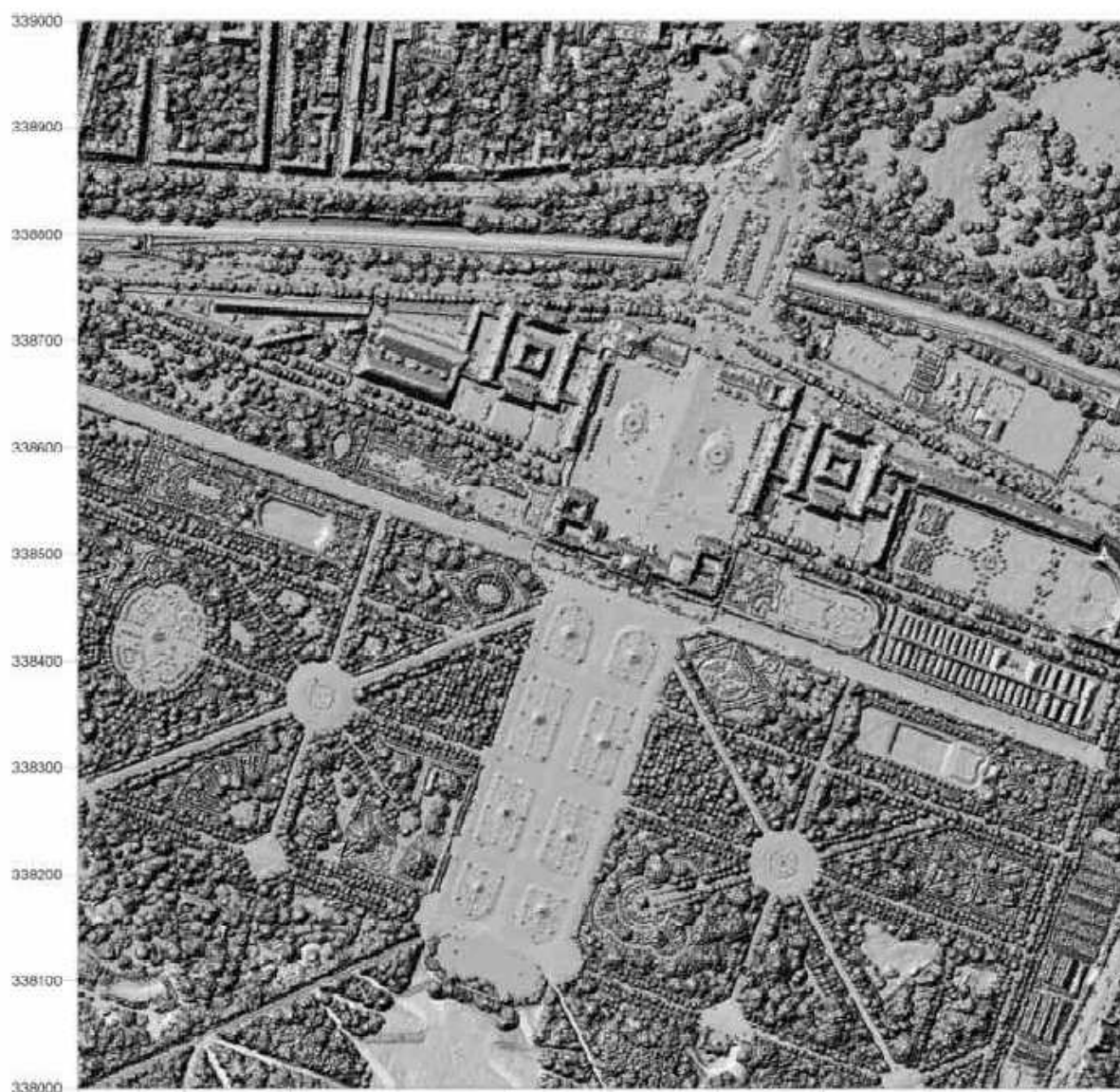
V současné době jsou prakticky všechny laserové skenery vybaveny digitální kalibrovanou kamerou nebo přídavným digitálním fotoaparátem s vysokým rozlišením, případně dále s GPS pro přesné určení polohy skeneru. Většina laserových skenerů také při měření zaznamenává originální hodnoty odrazivosti od jednotlivých podrobných bodů – toho se dá využít pro tvorbu věrného 3D modelu; lepší výsledky ale vykazuje využití digitální fotografie. Po vytvoření zaplochovaného 3D modelu je možno vypočítat pro jednotlivé prostorové podrobné body jejich polohu v digitálním snímku a hodnotu patřičného pixelu přenést do třírozměrného modelu. Takto je možno vytvořit fotorealistické 3D modely skenovaných objektů.



Obr.12: Belapatfalva, Maďarsko, dokumentace kostela
(http://www.riegl.com/terrestrial_scanners/3d_projects/_3d_projects_all.htm)

5. Letecké laserové skenery

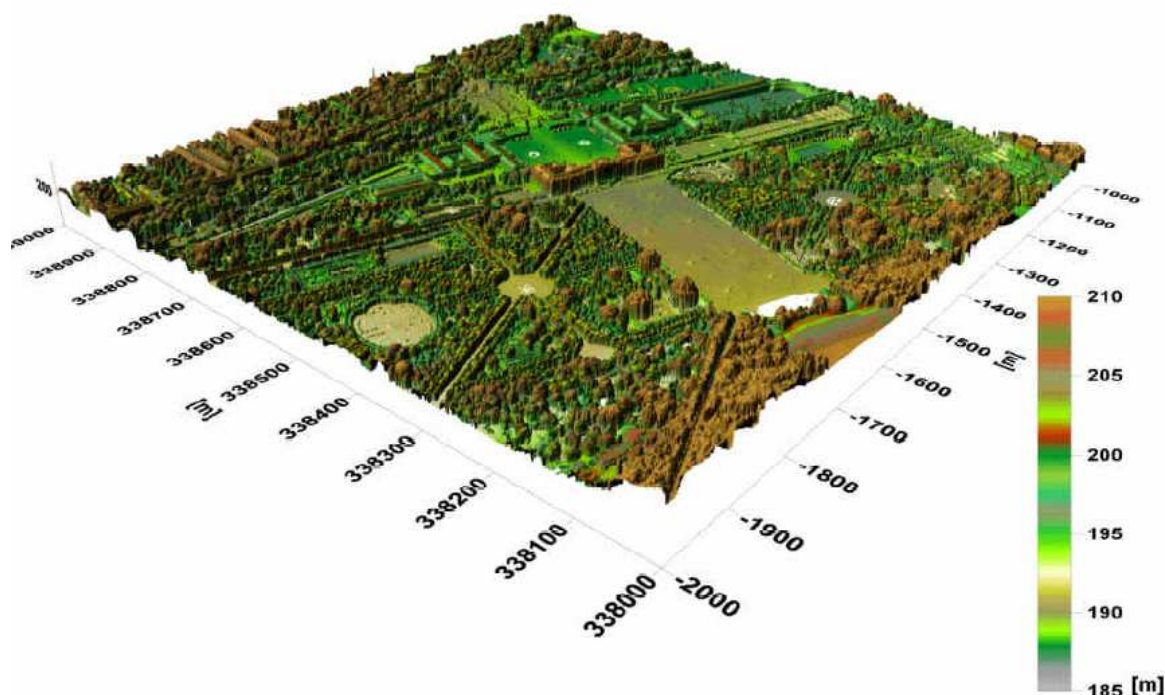
Letecká zařízení mají s pozemními laserovými skenery obdobnou konstrukci, jedná se o skener se skenujícím hranolem nebo zrcátkem. Zásadní rozdíl nastává ale v tom, že laserový skener se při letecké aplikaci pohybuje. Vzhledem k tomu, že nosič stejně jako při fotogrametrii nebo leteckém DPZ podléhá nepravidelnostem v letu, je třeba přiřadit do sestavy ještě GPS a IMU (*inertial measurement unit*) pro zajištění přesné polohy nosiče za letu. Údaje z GPS/IMU jsou přihrávány k datům z laserového skeneru. Letecké aplikace laserového skenování se používají zejména pro tvorbu DMT (digitální model terénu) a dále pro tvorbu 3D modelů měst. Hustota bodů i přesnost generovaného modelu závisí na výšce letu a zařízení, rozteč podrobných bodů se pohybuje běžně okolo 20cm, přesnost v cm až dm. Podrobněji informace lze najít např. v [10].



Obr.13: Letecké laserové skenování – Vídeň
(http://www.riegl.com/airborne_scanners/airborne_scanners_literature/airborne_literature_all.htm)



Obr.14 : Letecký laserový skener Riegl LMS Q560



Obr.15: 3D model – zámek Schönbrunn, Vídeň,
http://www.riegl.com/airborne_scanners/airborne_scanners_literature/airborne_literature_all.htm)

6. Zpracování dat z laserového skeneru

Výsledkem měření laserového skeneru je tzv. **mračno bodů**, tj. nezpracovaná množina podrobných bodů objektu včetně chyb, které jsou dané špatnými nebo mnohočetnými nebo žádnými odrazy od předmětu. Odrazivost různých typů skenerů od různých druhů materiálů v závislosti na úhlu dopadu byla již předmětem výzkumu (Boehler,2003, Křemen,2005).

Velkou nevýhodou laserových skenerů je velké množství podrobných bodů, které se běžnými grafickými prostředky prakticky nedají zobrazit a zpracovat. Několik záběrů – tzv.**skenu** laserového skeneru vytvoří miliony prostorových bodů – jejich ruční zpracování např. v programu AUTOCAD není možné a již jen jejich zobrazení způsobuje extrémní zpomalení funkcí nebo nečekané ukončení programu. Pro zpracování měřených dat existují speciální programy buď přímo vytvářené pro určitý laserový skener nebo univerzálnější. Jejich cena je ovšem velmi vysoká a dosahuje stovek tisíců Kč.

Obecně se tyto programy dělí na:

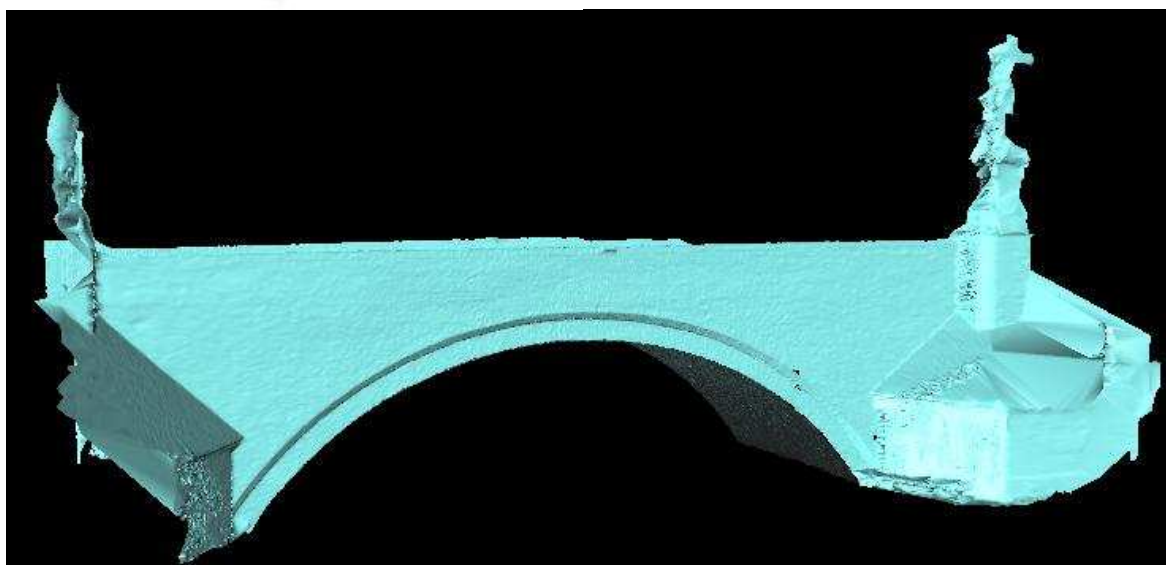
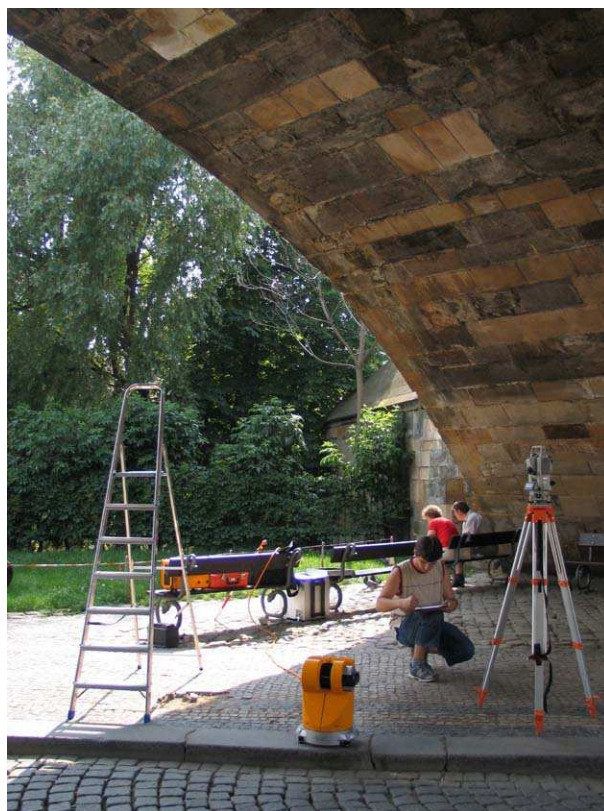
- programy pro ovládání laserového skeneru a základní manipulaci s naměřenými daty (prostá vizualizace, export)
- programy pro spojování jednotlivých skenů (lze užít ruční spojení skenů, spojení pomocí korelace části mračen nebo pomocí definovaných vlíčovacích bodů – užívají se obvykle speciální polokulovité signály)
- programy pro zpracování mračna bodů (manipulace s daty – filtrace, zředění mračna bodů, vytvoření trojúhelníkové sítě na základě měřených a filtrovaných podrobných bodů, zapločování sítě – „*mash*“)
- programy pro extrakci dílčích primitiv z mračna bodů a pro další vyhodnocení, tvorba hran objektů, potažení modelu skutečnou texturou z digitálních fotografií, tvorba fotorealistických 3D modelů, export vyhodnocené informace do výměnných grafických formátů (dxf) nebo vrml.

V případě laboratoře fotogrammetrie katedry mapování a kartografie FSv ČVUT v Praze se používá následující postup:

- *3D Extractor* - převod souřadnic
- *RealWorkSurvey*
 - ◆ Spojení skenů
- *3Dipsos*
 - ◆ Zředění mračna bodů
 - ◆ Tvorba „mesh“
 - ◆ Případné vyhodnocení hran

7. Příklad zaměření objektu

Pro představu o pracovním postupu a výsledcích slouží následující příklady. ČVUT FSv (katedra mapování a kartografie) vlastní panoramatický interiérový laserový skener Callidus 1.1 s originálním software a dále programové vybavením od firmy Trimble (Mensi: RealWorks a 3Dipsos) pro laserové skenery.

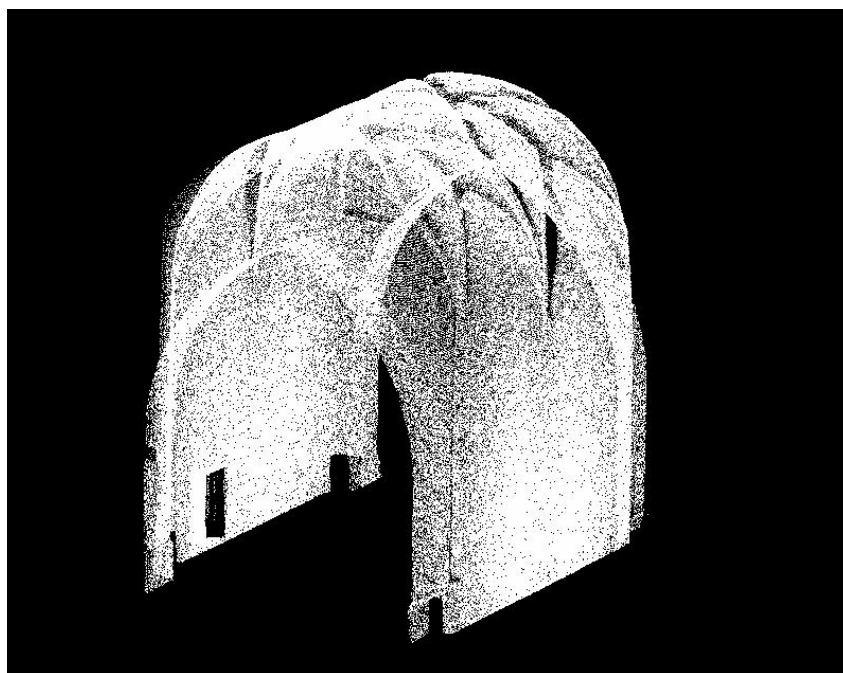
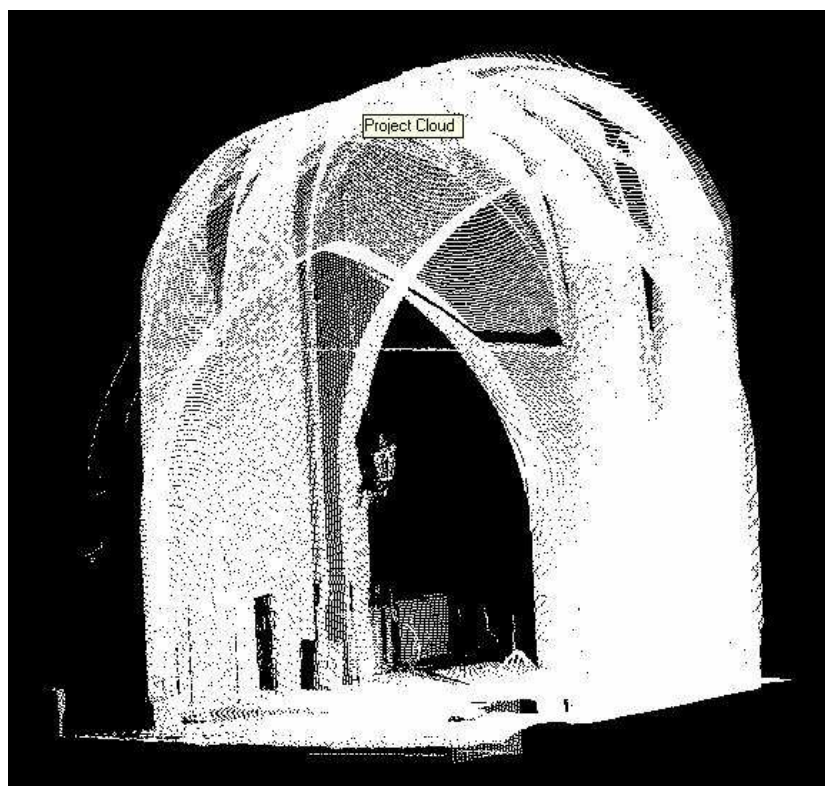


Obr.16 : Laserový skener Callidus a měření Karlova mostu v Praze

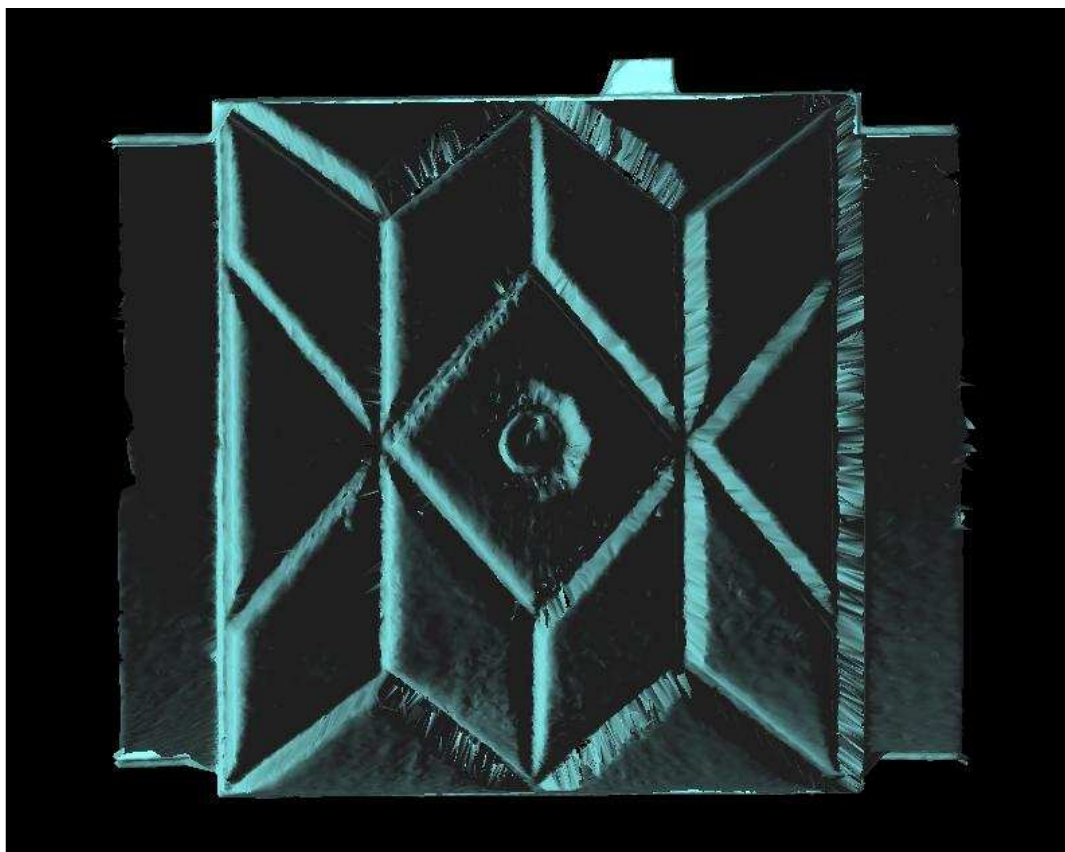
Jako jednoduchý příklad postupu slouží skenování klenby Staroměstské mostecké věže Karlova mostu v Praze. Základní údaje z měření:

- Laserový skener Callidus 1.1
- dvě stanoviska
- bez vlíčovacích bodů

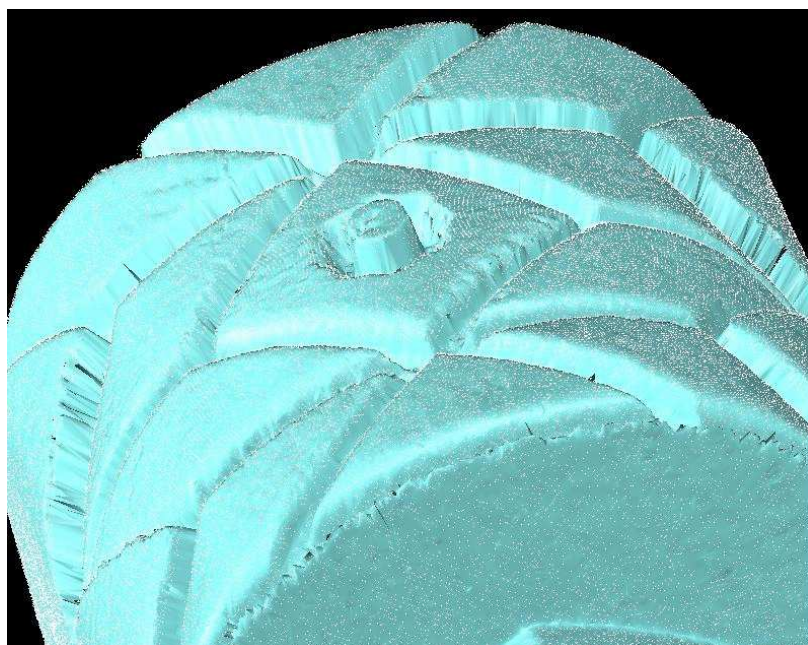
- celkem cca 1 miliónu bodů
- půl hodiny sběru dat
- půl dne základní zpracování (spojení skenů, filtrace, tvorba „mesh“)



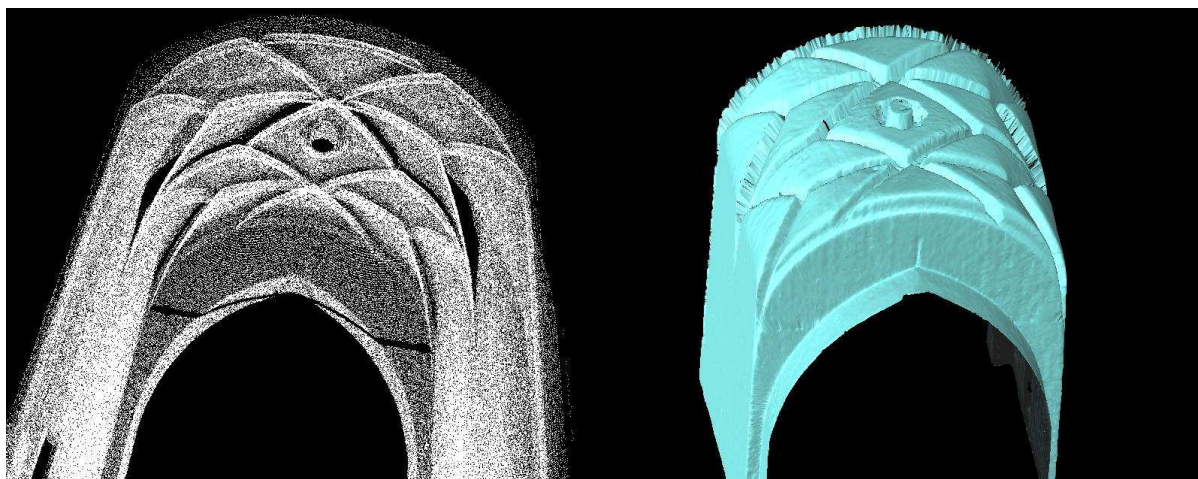
Obr.17: Nahoře originální mračno bodů, dole spojené skeny po filtraci



Obr.18: Zaplochovaná trojúhelníková síť – „*mesh*“



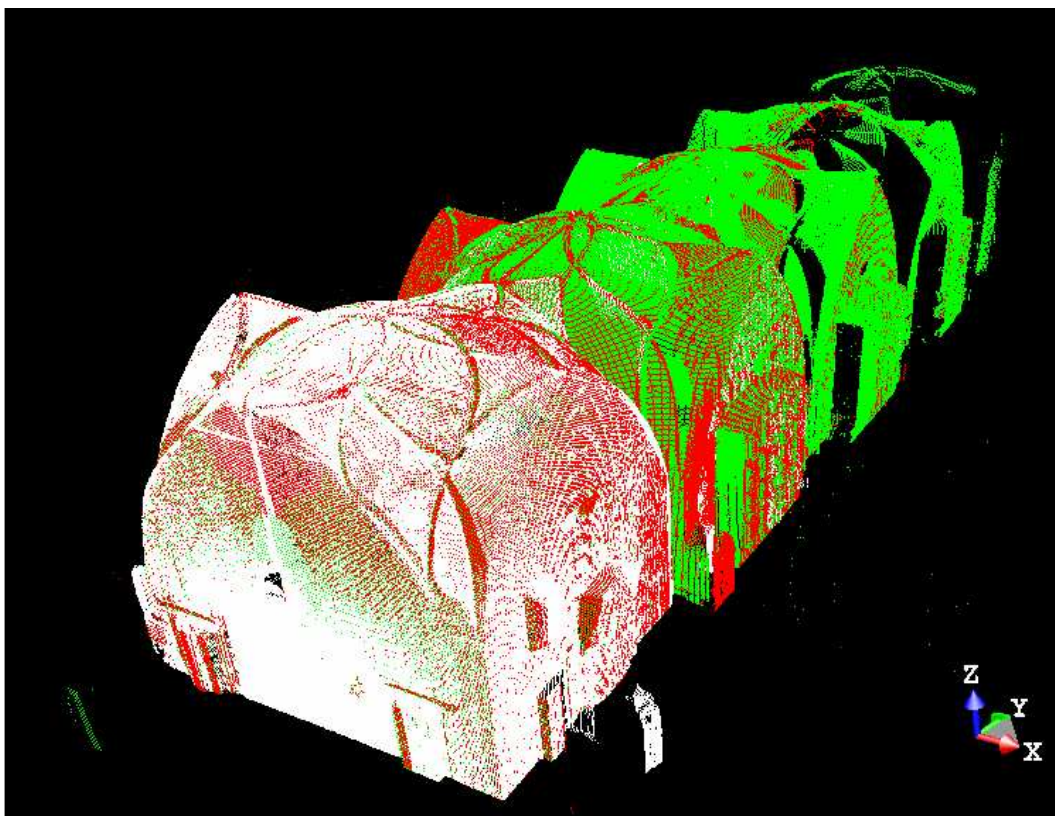
Obr.19: „*Mesh*“ s podrobnými body



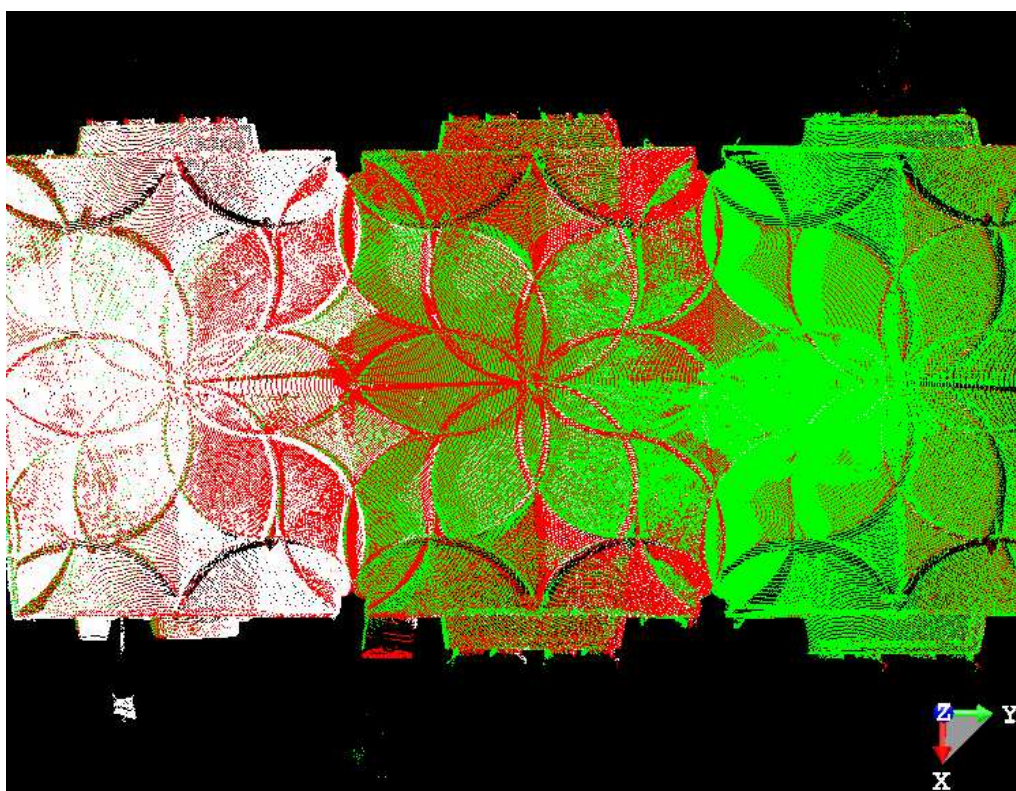
Obr.20: Klenba Staroměstské mostecké věže Karlova mostu v Praze, laserový skener Callidus, vpravo zpracování do podoby ploch („mesh“), vlevo originální mračno bodů,(Pavelka, Pazdera, Nečasník,2005)



Obr.21: Vladislavský sál, laserový skener Callidus (ČVUT FSv,2005)



Obr.22: Vladislavský sál, laserový skener Callidus (ČVUT FSv,2005)



Obr. 23: Vladislavský sál - půdorysné zobrazení mračen bodů,
(ČVUT FSv,2005)

3D skenery s CCD kamerou měřící na základě triangulačním

Producer	Scanner	Range (m)	Software	Link to Producer
Mensi (meanwhile Trimble)	S10, S25	10, 25	3Dipsos, RealWorks	www.trimble.com

Laserové skenery (*Ranging Scanners*), měří vzdálenost na základě měření času letu paprsku nebo fázové difference)

Producer	Scanner	Range (m)	Software	Link to Producer
3rdTech	DeltaSphere	12	SceneVision-3D	www.3rdtech.com
CALLIDUS precision Systems	CP 3200	80	3D-Extractor	www.callidus.de
Leica Geosystems	HDS 4500 HDS 3000 HDS 2500 (former Cyrax 2500)	50, 100, 50	Cyclone, CloudWorx	www.leica-geosystems.com
FARO	LS 880	80	FARO Scene	www.faro.com
I-SiTE Pty Ltd	I-SiTE 4400	400	I-SiTE Studio	www.isite3d.com
Mensi (meanwhile Trimble)	GS 100, GS 200	100, 200	3Dipsos, RealWorks	www.trimble.com
MetricVision	MV224 / MV260	24, 60		www.metris.com
Optech	ILRIS-3D	800	PolyWorks	www.optech.on.ca
Riegl Laser Measurement Systems	LMS-Zxxx series	1000	RiSCAN PRO	www.riegl.com
Trimble	GX-3DScanner	200	3Dipsos, RealWorks	www.trimble.com
Zoller+Froehlich GmbH	IMAGER 5003	55	Light Form Modeller	www.zofre.de

Tab.1: Přehled 3D skenerů a software
(podle <http://www.scanning.fh-mainz.de/scanninglist.php>)

8. Porovnání technologie 3D skenování

Laserové skenování - výhody

- Velké množství měření za krátkou dobu
- Velká podrobnost
- Možnost spojení s obrazovými daty
- Okamžité výsledky

Laserové skenované - nevýhody

- Diskrétní body
- Častá ztráta drobných detailů
- Velké množství dat
- Vysoká cena => nedostupnost běžným uživatelům
- Nedokonalé možnosti zpracování
- Rychlý vývoj (stále ve vývoji software i hardware)

Triangulační skenery – výhody

- Dokonalé zobrazení detailů

Triangulační skenery – nevýhody

- Oproti laserovým skenerům pomalé
- Krátký dosah

Výhody a nevýhody aneb fotogrammetrie versus 3D skenery

Obecně je nutno při definování výhod a nevýhod mít vždy na paměti, pro jaký typ projektu kterou technologii použijeme. Existují srovnávací měření (Boehler, 2004), která pomáhají při rozhodování. Volba technologie dokumentace se řídí podle typu objektu (terén, skály, svahy, lomy, fasády, zříceniny, sklepy, klenby, objekty aj.)

Fotogrammetrie: nižší cena, vyšší přesnost, více využitelných informací, tradiční, vyzkoušená metoda, očekávané výsledky, u prostorově velmi členitých tvarů vysoká pracnost, některé projekty jsou jen těžko řešitelné (jeskyně, ruiny aj.)

3D skenování: nedefinované linie, menší přesnost zejména v detailech, nedefinovatelné souvislosti některých prvků na objektu, rychlá deformační analýza (například barevným kódováním), velmi podrobná dokumentace nepravidelných útvarů, automatické vyhodnocení pravidelných útvarů (hranoly, trubky aj.)

Projekt zaměření běžné fasády

Na FH Mainz byla pokusně zaměřena běžná fasáda pomocí fotogrammetrie (RolleiMetric 6008) a laserového skeneru Cyrax. Pro tento účel vyšly obě technologie (nikoliv ale cenově) přibližně stejně časově:

Pořízení dat: 2 hodiny (3 skeny, grid 15mm, 2700000 bodů versus 3 stereo-modely RolleiMetric včetně vlíčovacích bodů, měř.snímků 1:350)

Vyhodnocení: vektorový plán v CAD: cca 4 dny obě technologie

Na ČVUT v Praze, Stavební fakultě, máme možnost pracovat s laserovým skenerem Callidus a dále s prototypem laserového skeneru ČVUT/SICK. Pro

srovnávací projekt jsme použili příklad zaměření složitého krovu, který jsme zaměřovali:

- Fotogrammetricky
- Laserovým skenerem
- Geodeticky

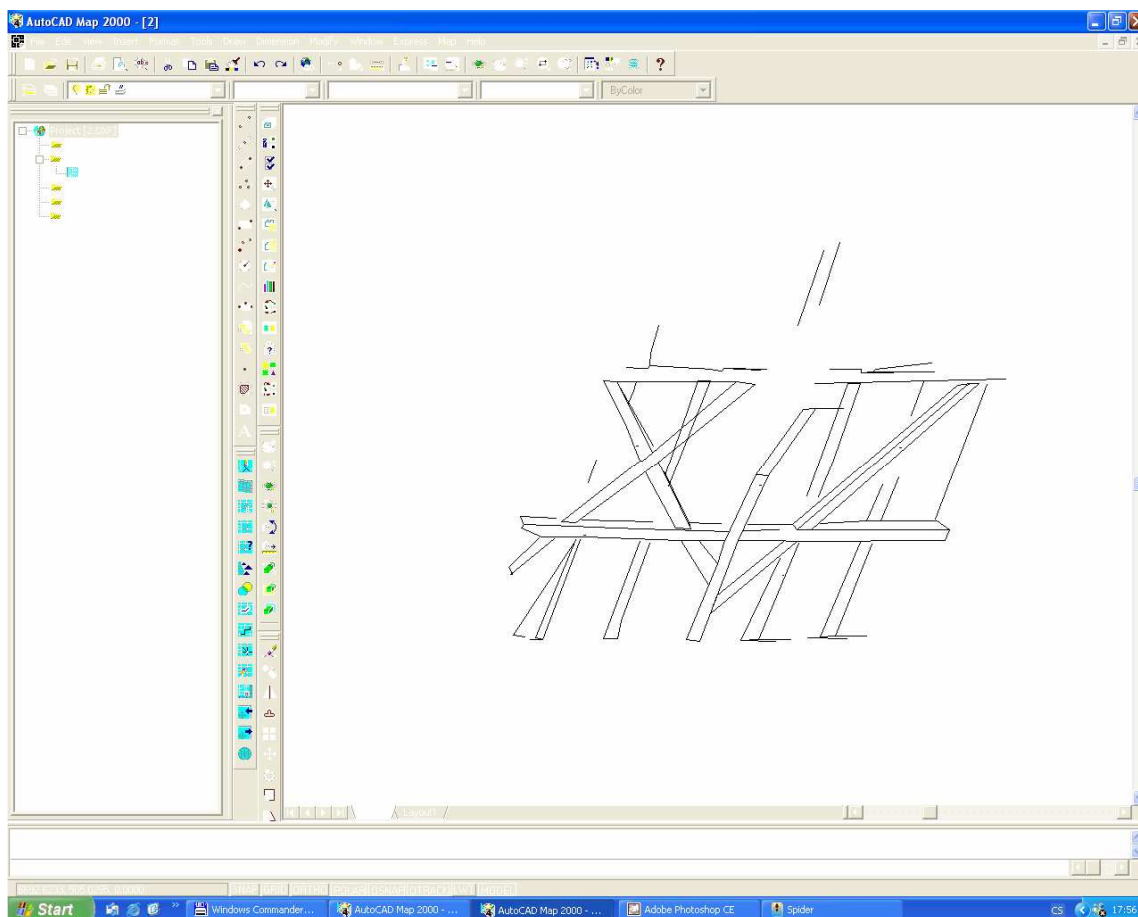
Digitální fotogrammetrie

- Dokumentace renesančního krovu

Bylo pořízeno 30 snímků komorou RolleiMetric 6006 a dále digitální kalibrovanou komorou Nikon D100. Fotogrammetrická dokumentace a prostorové vyhodnocení bylo provedeno jen pokusně stereoskopickou metodou na malé fotogrammetrické digitální stanici VSD (Krakow). Celkem bylo pořízeno cca 20 stereomodelů. I když orientace jednoho modelu trvala jen asi 30minut, vektorové vyhodnocení bylo velmi obtížné, nepřesné (zkroucení linií trámů) a výsledky byly neúplné (mnoho zakrytých prostor, přesnost absolutní orientace 1-2cm, podrobné body ale 2-5cm v poloze). Obdobně dopadla i průřeková fotogrammetrie (software Photomodeller); tyto metody lze sice pro tento typ objektů užít, výsledky jsou ale velmi špatné a editace ve 3D nesmírně namáhavá. Lze konstatovat, že v těchto případech není fotogrammetrie vhodná.



Obr.24 : Digitální snímek krovu a fotogrammetrické vyhodnocení

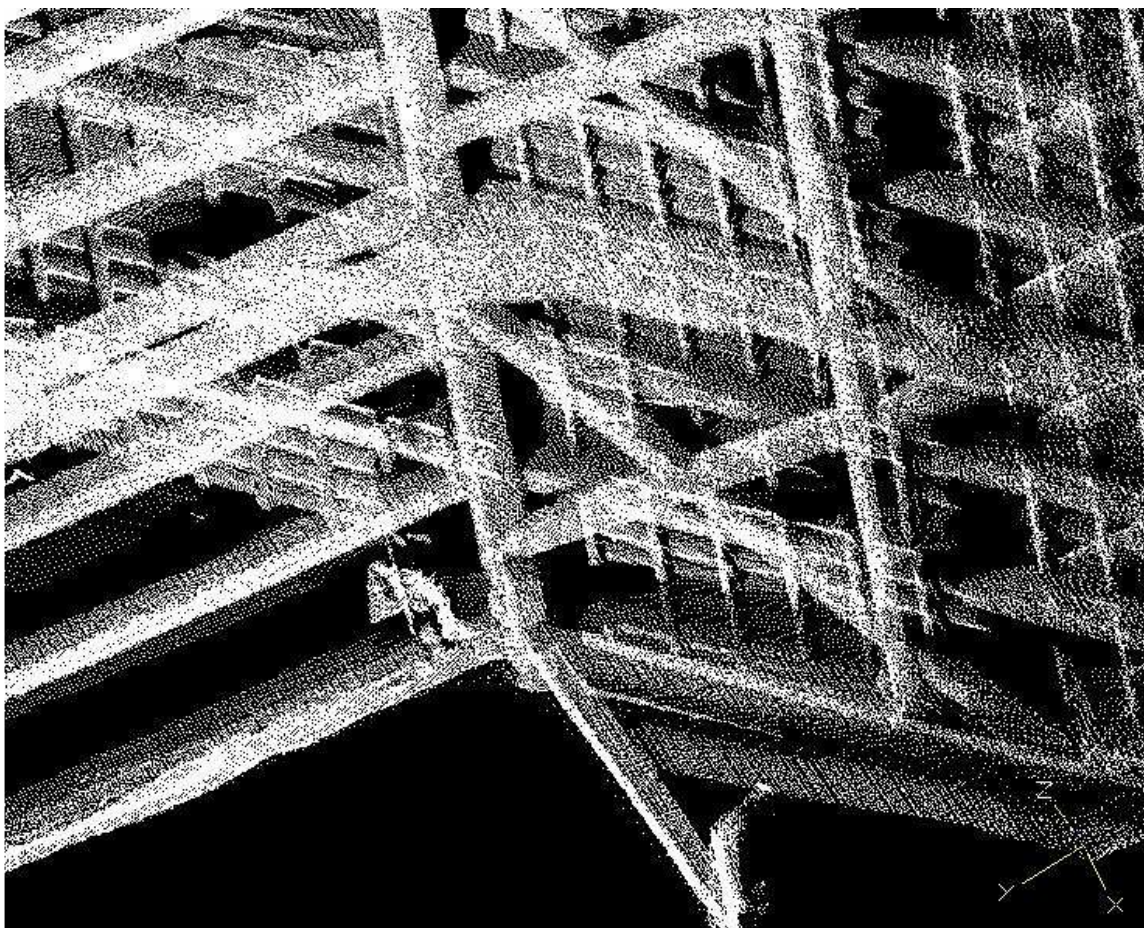


Obr.25 : Fotogrammetrické vyhodnocení krovu

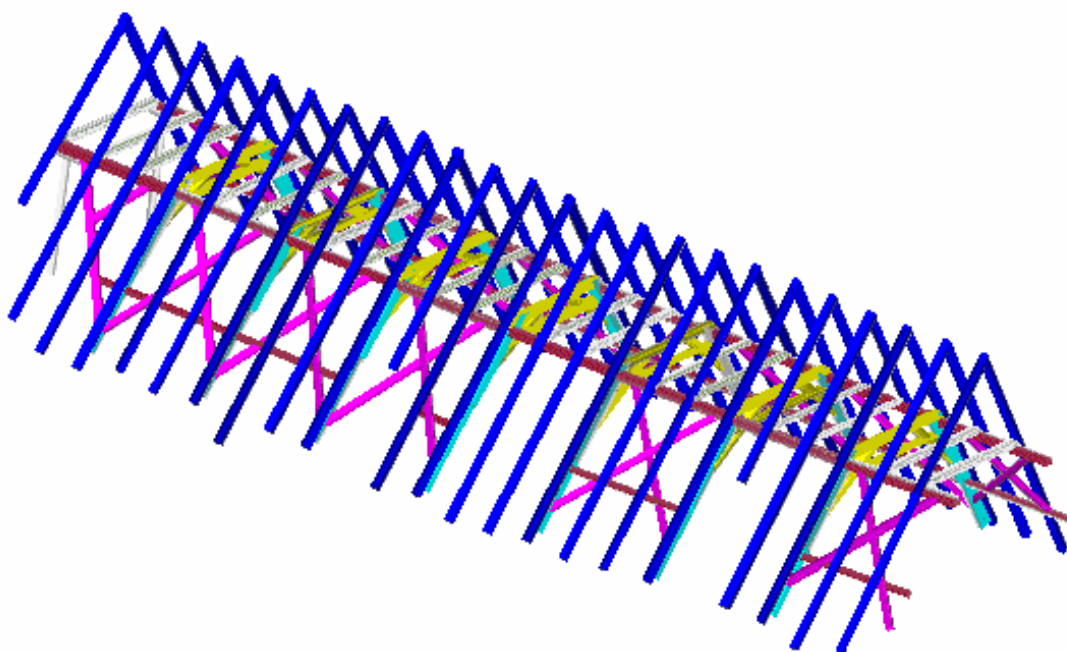
Laserové skenování

- Dokumentace renesančního krovu

Stejný krov byl zaměřen laserovým skenerem Callidus. Celkem bylo získáno 5 skenů (1 sken, 360°, cca 15minut). Při spojení pěti měření ale software v některých místech vymodeloval evidentně špatně trámy (jako jakési tenké desky); bylo nutno zahustit počet skenů. Nakonec bylo použito 8 skenů, cca 6000000 bodů (!). Trámy lze poměrně dobře nahradit hranoly, proto bylo možno použít poloautomatické vyhodnocení konstrukce (3D Dipsos, cca 3dny, přesnost 2-3cm v poloze) a dále tyto struktury exportovat do prostředí CAD, kde proběhla editace a konečné zpracování (AutoCAD, cca 4 dny). V tomto případě se laserové skenování plně osvědčilo a výsledky jsou dobré.



Obr.26 : Laserový skener Callidus, mračno bodů – zaměření krovu

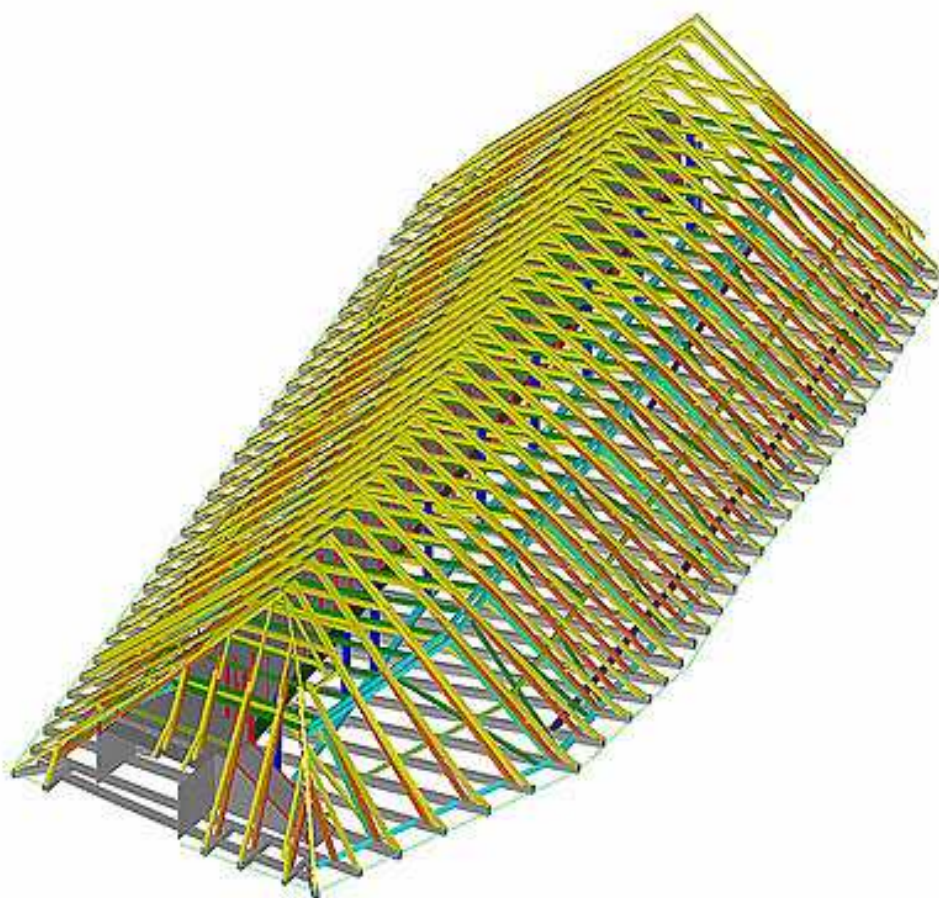


Obr.27 : Laserový skener Callidus,
historický krov – výsledný model, AUTOCAD

Geodetické měření

- dokumentace krovu barokního divadla zámku v Českém Krumlově

Pro představu je zde představena klasická geodetická dokumentace krovu pomocí totální stanice s laserovým ukazovátkem (jinak nelze). Práce byla koncipována jako diplomová (vedoucí-Ing.J.Hodač,PhD., diplomantka – A.Keilová). Zaměřeno bylo cca konstrukčních 1800 bodů, vyhodnocení a tvorba modelu bylo provedeno v software MicroStation (doba: několik měsíců, přesnost 2-4cm v poloze).



Obr.28 : Geodetické zaměření krovu, výsledný model

9. Použitá literatura

- [1] Webové stránky : <http://www.scanning.fh-mainz.de>
- [2] Hodač,J.,Keilová,A.: Měřická dokumentace krovu barokního divadla zámku v Českém Krumlově, diplomová práce, 2004, ČVUT v Praze, FSv
- [3] Pavelka,K.: Problematika konstrukce 3D skenerů, Seminář „Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ“, FSv ČVUT Praha, sborník CD, 8.12.2004, ISBN 80-01-03171-3
- [4] Pavelka,K.: Konstrukce školních 3D skenerů, Seminář „Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ“, FSv ČVUT Praha, sborník CD, 17.-18.9.2003, ISBN 80-01-02832-1
- [5] Pazdera,J.: Použití školního 3D triangulačního skeneru LORS při skenování drobných předmětů, Seminář „Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ“, FSv ČVUT Praha, sborník CD, 8.12.2004, ISBN 80-01-03171-3
- [6] Koska,B.: The Result Presentation of the Development of Laser and Optic Rotating Scanner LORS and Introduction of Public Library of Classes and Functions SPATFIG, Optical 3-D Measurement Techniques VII, Volume I. Vienna: TU Vienna, 2005, vol. 1, s. 63-73. ISBN 3-9501492-2-8.
- [7] Pospíšil, J. - Štroner, M. - Koska, B. - Křemen, T. - Kašpar, M. Development of the Laserscanner, Testing of the Influence of the Materials and the Configuration, Proceedings of Workshop 2005 [CD-ROM]. Prague: CTU, 2005, s. 988-989. ISBN 80-01-03201-9.
- [8] Pavelka, K. - Pazdera, J. - Němcová, V. - Svatušková, J. Using laser scanner in documentation of historical roof, Optical 3-D Measurement Techniques VII, Volume I. Vienna: TU Vienna, 2005, vol.1, s. 45-50. ISBN 3-9501492-2-8.
- [9] Pazdera,J.: Laserové skenování mosteckých věží, Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ 2005. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra mapování a kartografie, 2005, s. 37-40. ISBN 80-01-03417-8.
- [10] Dolanský,T.: Lidary a letecké laserové skenování, Acta Universitas Purkiniae, Studia Geoinformatica, UJEP Ústí n/L, 2004, 84 stran

10. Životopis

Dr.Ing.Karel Pavelka

Karel Pavelka se narodil v roce 1962 v Ústí nad Labem. Na Fakultě stavební vystudoval obor Geodézie a kartografie se zaměřením na fotogrammetrii a dálkový průzkum Země. Na ČVUT působí od roku 1989 jako odborný asistent na katedře mapování a kartografie. V roce 1997 obhájil doktorskou disertaci a byl mu udělen titul Dr. Od roku 1996 je Dr. Pavelka vedoucím laboratoře fotogrammetrie, kde má zásadní podíl na jejím přístrojovém a počítačovém vybavení. Tato laboratoř je v ČR respektována jako nejlépe vybavené vysokoškolské pracoviště zaměřené na fotogrammetrii. Od roku 2000 působí Dr. Pavelka ve funkci zástupce vedoucího katedry. Od roku 1997 přednáší fotogrammetrii v základních kurzech na ČVUT FSv a působí jako externista na dalších vysokých školách (ZČU, ČZU).

Dr.Ing.Pavelka je spoluautorem skript „Dálkový průzkum Země“ (1996, 2004) a „Digitální fotogrammetrie 30 (2001), Fotogrammetrie 10,20 – cvičení (2002), autorem skript „Fotogrammetrie 10“ (1998, 2002), „Fotogrammetrie 20“ (1997,2003)“, Fotogrammetrie (ZČU Plzeň, 2003), „Operační systémy DPZ“ (1998, 2004) „Zpracování obrazových informací v DPZ“ (1999). Dále je autorem téměř sta publikovaných článků, z toho 25 publikováno v zahraničí.

Již od svého nástupu na katedru bylo pro Dr. Pavelku typické jeho zaujetí pro mezinárodní projekty. Jmenujme pouze nejvýznamnější.

V letech 1993-98 prováděl mezinárodní projekt "Global Student Village" pro vytvoření sítě sledovacích družicových stanic, (ERIM, USA, středisko pro popularizaci DPZ družicové technologie), dále spolupracoval v projektu PECO (monitorování vegetace družicovými systémy). Od roku 1998 se zabývá převážně fotogrammetrií pro dokumentaci historických objektů, zúčastnil se společného mezinárodního projektu při fotogrammetrické dokumentaci Velké Omayyadské mešity v Sýrii (památky UNESCO, 1999-200) jako specialista na fotogrammetrii, byl členem mezinárodní expedice Nazca/Perú 2004 jako specialista na fotogrammetrii a DPZ, v roce 2004-2005 vedl tým mladých odborníků v projektu fotogrammetrické dokumentace Karlova mostu v Praze, která bude využita pro rekonstrukci této unikátní stavební památky.

Dr. Pavelka se dále zúčastnil se řady velkých světových kongresů v oblasti fotogrammetrie a DPZ, Washington (Land Satellite Information in the Next Decade,USA,1995), 18.kongresu ISPRS (Rakousko,1996), 19.kongresu ISPRS v Amsterdamu, dále se od r.1998 aktivně účastní významných fotogrammetrických akcí, zaměřených na dokumentaci památek a jejich

presentaci v Chorvatsku (Zagreb,1998), Itálii (Řím,1999), Japonsku (Tokio,1999), Turecku (Istanbul,2000), Thajsku (Ayutthaya,2001), Německu (Potsdam,2001), Číně (Kunming,2002), Řecku (Korfu,2003), Turecku (Antalya,2003), Thajsku (Chiang-Mai, 25.světový kongres ASPRS, 2004), Německu (Berlin, 2005) a Bruneji (Bandar Seri Begawan,2005).

Od r.1998 je členem Národního komitétu pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země, od r.2003 národní zástupce CIPA, člen Terminologické komise ČÚZK.

V letech 1994-2003 byl řešitelem celkem deseti grantů MŠMT, GAČR, ČVUT a FS ČVUT z oboru fotogrammetrie a DPZ, z nichž nejvýznamnější byl grant MŠMT na zřízení laboratoře digitální fotogrammetrie(1998), grant GAČR z oblasti dokumentace památkových objektů (Nové technologické postupy pro dokumentaci, průzkum a prezentaci historických památek užitím digitální fotogrammetrie, fyzikálních metod a technologie GIS 1999-2002) a grant MŽP z oblasti dálkového průzkumu Země a laserového skenování (2003-2006) a dále spoluřešitel dalších grantových úkolů a výzkumných záměrů.