

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra matematiky

Diplomová práce

Velkoměřítková prostorová databáze pro účely památkové péče

Plzeň, 2006

Stanislav Rauch

Poděkování

Především děkuji vedoucímu této diplomové práce Ing. Karlu Jedličkovi za jeho ochotu a cenné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Georeal za využití pozemního laserového skeneru na zámku Kozel a také Karlu Bobkovi za vstřícné jednání při pořizování dat.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a informačních zdrojů uvedených v seznamu, jenž je součástí této diplomové práce.

V Plzni 27. května 2006

Podpis:

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá uložením prostorových dat do geografické databáze. Jako vstupní prostorová data byla použita architektonická a geodetická data a data pořízená laserovým skenováním. V první části práce jsou popsány principy laserového skenování a konstrukce laserových skenerů. Pomocí laserového skeneru byla zaměřena kaple na zámku Kozel. Druhá část popisuje návrh geografické databáze a způsoby ukládání prostorových dat. Zde je popsáno vytváření struktury báze dat pro uložení nově naměřených dat laserovým skenerem a existujících architektonických a geodetických dat zámku Kozel. Tato data byla uložena do ESRI personální geodatabáze.

Klíčová slova: laserový skener, laserscanning, LIDAR, geodatabáze, ESRI personální geodatabáze, ArcGIS.

Abstract

Topic: Largescale Spatial Database for Purposes of Monumental Care.

This Thesis deals with the storage of spatial data in a geodatabase. The architectural, geodetic, and laser scanned data were used as input data. The First part describes principles laser scanning and construction of laser scanners. The chapel of the Kozel Castle was measured by laser scanner. The second part is focused on the geographical database concept and methods of the spatial data storage. Here is described data base structure design for measured, existing architectural, and geodetic data storage. These data were saved to the ESRI personal geodatabase.

Keywords: laser scanner, laserscanning, LIDAR, geodatabase, ESRI personal geodatabase, ArcGIS.

Obsah

1	Úvod.....	6
2	Laserové skenování.....	7
2.1	Co to je LIDAR nebo-li laserový skener	7
2.2	Princip LIDAR.....	9
2.3	Konstrukce laserových skenerů	13
2.4	Letecké laserové skenování	20
2.5	Pozemní laserové skenování	24
2.6	Chyby v měření.....	26
2.7	Použití	30
2.7.1	Letecké laserové skenování	30
2.7.2	Pozemní laserové skenování	31
3	Měření kaple na zámku Kozel	34
3.1	Geodetická příprava	34
3.2	Laserové skenování.....	35
3.3	Zpracování dat	36
4	Geografické datové báze.....	40
4.1	Způsoby ukládání prostorových dat.....	40
4.2	Návrh geografické databáze.....	42
4.3	ESRI geodatabáze	43
4.3.1	Typy geodatabáze	44
4.3.2	Personální geodatabáze.....	45
5	Data pro uložení do geodatabáze	48
5.1	Existující data.....	48
5.1.1	Geodetická data.....	48
5.1.2	Architektonická data	49
5.2	Naměřená data	49
6	Tvorba databáze	50
6.1	ArcGIS	50
6.2	Založení personální geodatabáze	50
6.3	Převod dat	50
6.4	Projekt v ArcMap.....	51
6.4.1	Návrh mapových vrstev	51
6.4.2	Vznik mapových vrstev	53
6.5	Ukázka vizualizace dat v ArcScene.....	57
6.6	Struktura báze dat	58
6.7	Již používané databáze na zámku Kozel.....	59
7	Závěr	60
	Přehled zkratk	61
	Literatura a jiné zdroje	61
	Příloha I: Ukázky z geodetické přípravy	63
	Příloha II: Ukázka projektu v ArcMap	66
	Příloha III: Analýza a vyčištění dat	67
	Příloha IV: Obsah přiloženého DVD.....	73
	Příloha V: Evidenční list	74

1 Úvod

V současné době sílí požadavky na zdokumentování památkově chráněných objektů. Podrobné zmapování slouží k archivaci stavu objektů, jako podklad pro případné úpravy a rekonstrukce a v neposlední řadě také k jejich vizualizaci. Přesná prostorová vizualizace může být využita i k propagaci.

Pro zdokonalení evidence nemovitého majetku zámku Kozel vznikl požadavek na podrobné zaměření budov. Klasicistní lovecký zámek Kozel nacházející se 15 km jihovýchodně od Plzně byl postaven na konci 18. století. Čtyřkřídlá přízemní budova kolem obdélníkového vnitřního nádvoří byla doplněna o dvě dvojice budov – kapli s jízdárnou a protější lokajnu s konírnou, čímž vznikl celistvý areál. Objekty zámku jsou zasazeny do rozsáhlého zámeckého parku.

V této diplomové práci se naskytla se příležitost využít moderní technologii laserového skenování pro sběr prostorových dat. Tato poměrně nová technologie se v České republice využívá teprve několik let. Laserovým skenerem byla zdokumentována kaple zámku Kozel. Pro naměřená data a již existující geodetická a architektonická data byla navržena geografická báze dat.

2 Laserové skenování

Tato kapitola se zabývá principy a použitím laserového skenování. Informace byly čerpány ze zdrojů [1], [2] a [9].

Laserové skenování se začalo vyvíjet přibližně před 15 lety, v současnosti se silně rozšiřuje. Umožňuje nám přesné snímání povrchů. Letecké laserové snímky umožňují modelování krajiny včetně detailů v podobě vegetace nebo střech, pozemní skenování je vhodné pro zdokumentování fasád domů, tunelů, lomů a také architektonických a uměleckých objektů.

Laserové skenování můžeme obecně charakterizovat těmito základními rysy:

- Vysoká hustota měřených bodů oproti běžným geodetickým metodám.
- Krátká doba potřebná pro pořízení velkého množství dat.
- Měření pomocí laserového paprsku.
- Pracuje se pouze s digitálními daty.
- Vysoká automatizace zpracování měřených dat.

Obecně je možné říci, že laserové skenování v mnoha oborech umožňuje pořízení velmi podrobných dat během krátké doby měření. Získaná data je možné použít pro vizualizaci nebo dokumentaci aktuálního stavu buď přímo ve formě tzv. 3D mračen bodů nebo po zpracování do vektorového modelu.

2.1 Co to je LIDAR nebo-li laserový skener

Zkratku LIDAR můžeme rozepsat několika způsoby, například Light Detection And Ranging, Laser Imaging Radar, Laser-Instrument Distance and Range, Laser-Radar, apod. LIDAR, kterému se věnuji v této diplomové práci, nejlépe odpovídá přepis Light Detection And Ranging. Ve volném překladu lze říci, že se jedná o přístroj, který detekuje objekty a měří jejich vzdálenost pomocí světelného paprsku. Jelikož se pro měření používá laserového paprsku, používá se také označení laserový skener nebo hovorově laser sken.

LIDAR – může být chápán rozdílně v různých oborech, ale vychází ze stejného principu (měření vzdálenosti laserovým paprskem). Využívá se k vytvoření digitálního tvaru jakéhokoli tělesa. Tím může být jak malý předmět, tak rozsáhlé území, jak už bylo řečeno výše. Dále se používá k měření oblačnosti, ozónové díry a dalších jevů v meteorologii. S technologií LIDAR se také můžeme setkat na silnicích při měření rychlosti automobilů.

Skenery můžeme rozdělit na tzv. 2D a 3D skenery podle zdroje [11].

2D skenery

Optická část 2D skenerů (Obrázek 2.1) vychyluje laserový paprsek pouze v jedné rovině. Proto se nejčastěji používají při leteckém skenování. Jsou nesený letadlem nebo vrtulníkem, čímž je zajištěn pohyb skeneru a je možné nasnímat plošný nebo prostorový objekt. Jejich skenovací frekvence je obecně vyšší, než je tomu u 3D skenerů.

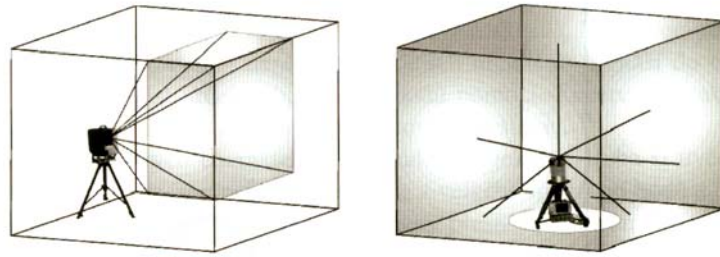
2D (letecké) skenery jsou využívány při získávání digitálního modelu reliéfu větších území, mapování břehů vodních toků, záplavových území a zejména při dokumentaci liniových staveb (například silnice, ropovody a elektrická vedení vysokého napětí).



Obrázek 2.1: ukázka 2D skenerů od firmy Riegler, zdroj [8].

3D skenery

Optický systém 3D skenerů (obrázek 2.3) vychyluje laserový paprsek do celého zorného pole skeneru a zůstává proto při skenování na jednom místě. Důležitou vlastností 3D laserových skenerů je tvar tohoto zorného pole. Udává se ve stupních v horizontálním a vertikálním směru. Podle zorného pole dělíme skenery na kamerový a panoramatický (viz zdroj [9]). U kamerových systémů je paprsek vychylován pomocí dvou zrcadel (více v podkapitole 2.3 Konstrukce laserových skenerů) a to do relativně malého zorného pole. U panoramatických skenerů se otáčí celá dálkoměrná součást a je tak možno skenovat téměř celé okolí (obrázek 2.2). 3D nebo také pozemní laserové skenery se používají především při pozemním skenování objektů menšího rozsahu. Zde je většinou požadována vyšší hustota a přesnost laserových bodů.



Obrázek 2.2: kamerový (vlevo) a panoramatický (vpravo) skener, zdroj [9].

Pozemní skenery jsou využívány v architektuře, urbanismu, archeologii, při dokumentaci složitých technologických a průmyslových provozů a při určování kubatur (například v povrchových dolech). Kamerový systém se uplatní při skenování objektů a panoramatický skener nalezne spíše uplatnění při skenování interiérů.



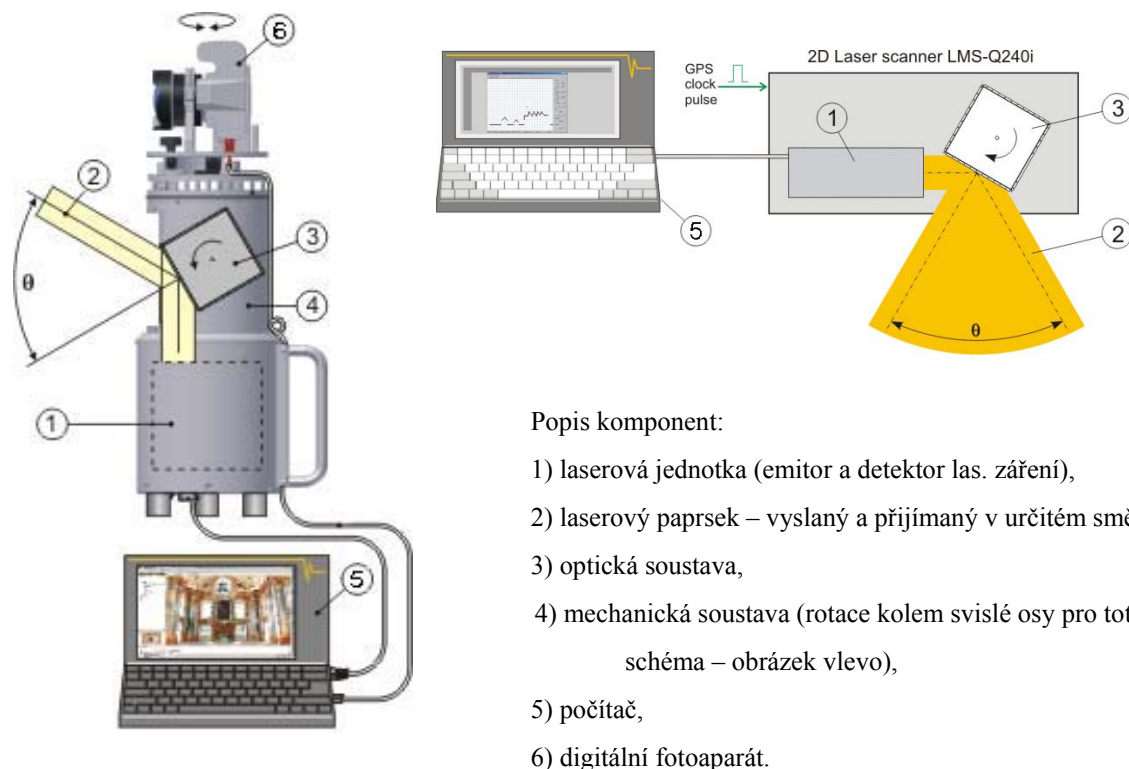
Obrázek 2.3: ukázka 3D skenerů od firmy Riegler (oba panoramatické), zdroje [6] a [7].

2.2 Princip LIDAR

Laserový skener patří mezi aktivní digitální senzory. Jako aktivní senzor vysílá energii a odražený signál opět přijímá, díky tomu není závislý na slunečním světle a dá se s ním měřit 24 hodin denně. Mezi digitální senzory patří proto, že přijímaný signál je ukládán v digitální formě a digitálně je také zpracováván.

Přístroj se skládá ze zdroje laserového záření (emitor), optické soustavy, mechanické soustavy (pomocí optické a mechanické soustavy je laserový paprsek vychylován tak, aby opisoval na terénu dráhu určitého tvaru), detektoru odraženého elektromagnetického záření, velmi přesných hodin a počítače, kterým je celá sestava řízena. Dále je, převážně při leteckém skenování, doplněn zařízením (GPS) pro určování přesné polohy nosiče

a jeho orientace v prostoru. Při pozemním skenování sada obsahuje ještě digitální fotoaparát. Vše je znázorněno na obrázku 2.4.



Popis komponent:

- 1) laserová jednotka (emitor a detektor las. záření),
- 2) laserový paprsek – vyslaný a přijímaný v určitém směru,
- 3) optická soustava,
- 4) mechanická soustava (rotace kolem svislé osy pro toto schéma – obrázek vlevo),
- 5) počítač,
- 6) digitální fotoaparát.

Obrázek 2.4: schéma LIDAR pro pozemní (vlevo) a letecké (vpravo) skenování, zdroje [6] a [8].

Zdroj laserového záření (emitor)

Jako zdroje laserového záření u výkonných LIDAR se používají pevnolátkové lasery rubínové, u méně výkonných lasery diodové. Typ daného skeneru se volí podle požadovaného výkonu a požadované vlnové délky záření. U některých přístrojů je možnost změny vlnové délky. Při změně vlnové délky emitoru se musí zároveň změnit vlnová délka detektoru.

Detektor

Jako detektory jsou používány světlocitlivé diody spektrálně synchronizované na stejnou vlnovou délku jako je vysílané laserové záření. Detektory elektromagnetického záření musí být velmi citlivé, protože odražený paprsek se může vracet s velmi malou energií (energie světla klesá s druhou mocninou vzdálenosti, uvažujeme-li difusní odraz). Lasery se používají v pulzním nebo kontinuálním režimu s fázovou modulací (více viz 2.3 Konstrukce laserových skenerů, popř. zdroj [1]).

Optická soustava

Optická soustava zajišťuje koncentraci záření do velmi úzkého paprsku a zároveň souosost emitoru a detektoru – zpravidla zajištěno polopropustným hranolem. Směrování paprsku v jednom směru se provádí pomocí zrcadla nebo hranolu umístěném na mechanickém prvku. Mechanická soustava pak směřuje paprsky také do druhého směru, lze tak snímat určitou rovinu nebo prostor ve 3D bez dalšího pohybu celého zařízení (3D skenery, obrázek 2.4 – vlevo).

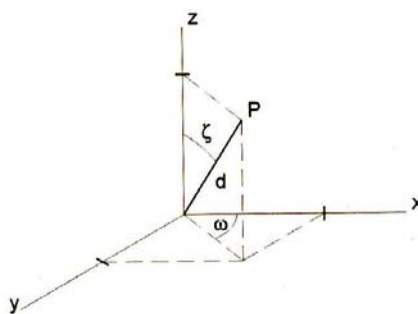
Hodiny

Další důležitou částí LIDAR jsou hodiny, které měří čas od vyslání laserového paprsku po jeho přijetí detektorem. Při znalosti rychlosti šíření světla můžeme určit vzdálenost objektu od přístroje, jelikož známe také směr vyslaného paprsku, je možno určit přesnou polohu objektu. U kontinuálního režimu laseru je navíc paprsek frekvenčně modulován a vzdálenost se určuje i za pomoci fázového posunu. Přesnost hodin se pohybuje mezi 0,05 ns a 0,2 ns, více v podkapitole 2.6 Chyby v měření.

Podrobnější popis komponent laserového skeneru najdete v podkapitole 2.3 Konstrukce laserových skenerů.

Základní princip laserového skenování

Princip měření laserového skeneru odpovídá prostorové polární metodě. K určení polohy bodu P je nutné znát vzdálenost (d) měřeného bodu, vodorovný (ω) a zenitový (ζ) úhel (obrázek 2.5). Vzdálenost měřeného bodu se získá pomocí laserové jednotky a úhly, pod kterými je paprsek vyslán, se odečítají z polohy zrcadel. (více v podkapitole 2.3 Konstrukce laserových skenerů). Výsledkem výpočtu jsou 3D souřadnice bodu v souřadnicovém systému skeneru, ty se pak buď pomocí vřícovacích bodů transformují do požadovaného souřadnicového systému u pozemního laserového skenování (více podkapitola 2.5 Pozemní laserové skenování) nebo je k transformaci nutné znát souřadnice laserového skeneru a jeho orientaci. Tyto údaje se získávají pro každý měřený bod při leteckém laserovém skenování pomocí navigační jednotky (ta se skládá z inerciální jednotky a GPS, více v podkapitole 2.3 Konstrukce laserových skenerů).



Obrázek 2.5: schéma znázornění prostorové polární metody [9].

LIDAR pracuje na téměř stejném principu jako radar, ale místo radiových vln využívá světelného záření. Díky výrazně kratší vlnové délce použitého záření dosahuje větší přesnosti polohy určovaných bodů.

Laserový skener je umístěn na pomalu letícím nosiči při leteckém skenování nebo při pozemním skenování na „libovolném“ bodě (tam, kde nám zorný úhel umožňuje změřit zvolený prostor). Laserový světelný paprsek je optickou a mechanickou soustavou vychylován tak, aby opisoval stopu po terénu nebo měřeném objektu. Konkrétní tvar stopy závisí na zvoleném typu vychylování paprsku (více v podkapitole 2.3 Konstrukce laserových skenerů).

Jeden cyklus měření laserem v pulzním režimu:

Laser vyšle světelný paprsek, počítač zaznamená čas vyslání světelného impulsu, polohu nosiče a jeho orientaci v prostoru (natočení, naklopení a naklonění) a dále úhel, pod kterým byl světelný paprsek vyslán. Paprsek se odráží od překážek na zemském povrchu (stromy, stavby, vedení vysokého napětí, reliéf terénu ...) a vrací se zpět.

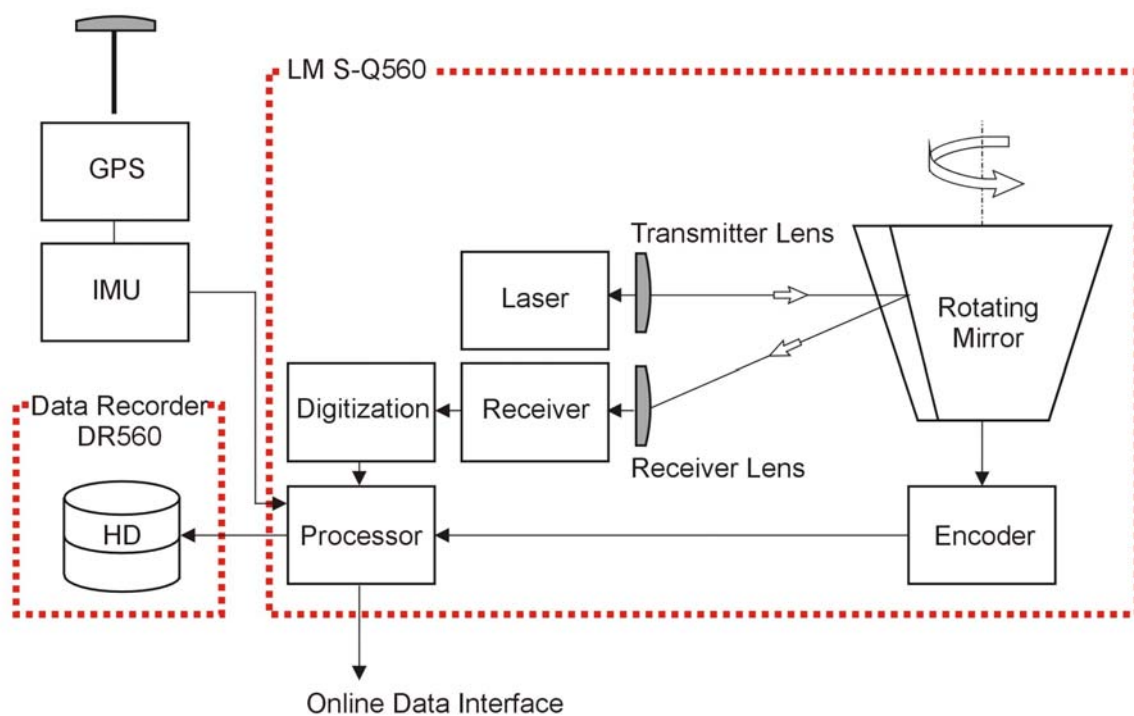
Detektor zaznamenává příchod záření, počítač zaznamenává čas příchodu odrazů a jejich intenzitu. Poloha bodu (od kterého se paprsek odrazil) se vypočte z časového rozdílu mezi vysláním a příjmem světelného impulsu, ze známé polohy nosiče a jeho orientace v prostoru a známého směru, kam byl paprsek vyslán.

Po získání souřadnic bodu, se mechanická soustava opět nastavuje pro vyslání nového impulsu a celý tento proces se opakuje. Těchto měření zařízení vykoná několik tisíc za sekundu. Díky tomu může LIDAR získávat velice hustou síť bodů, které vytvářejí tzv. mračno bodů.

Tento cyklus odpovídá leteckému skenování, při pozemním skenování měření probíhá podobně, není však nutné zaznamenávat orientaci skeneru v prostoru (natočení, naklopení a naklonění), měřicí soustava setrvává na jednom místě. Další podrobnosti jsou popsány v následujících podkapitolách.

2.3 Konstrukce laserových skenerů

Laserové skenery se skládají z laserové a skenovací jednotky, inerciálního navigačního systému, GPS a digitálního fotoaparátu. Na obrázku 2.6: schéma LIDAR pro letecké skenování, zdroj [8]. jsou zobrazeny jednotlivé součásti leteckého laserového skeneru. Informace čerpány ze zdrojů [1] a [9].



Obrázek 2.6: schéma LIDAR pro letecké skenování, zdroj [8].

Laserová jednotka

Laserová jednotka se skládá z laserového vysílače (emitoru) a přijímače (detektoru), oba tyto prvky mají stejnou optickou osu. Podrobněji jsou popsány v předešlé podkapitole 2.2 Princip LIDAR. Dále již budou brány jako jeden celek – laserová jednotka. Velikost stopy laserového paprsku závisí na vzdálenosti mezi skenerem a měřeným objektem, dále je také ovlivněna divergencí paprsku daného přístroje. Při měření ve výšce kolem 500 m nad terénem je stopa na zemi

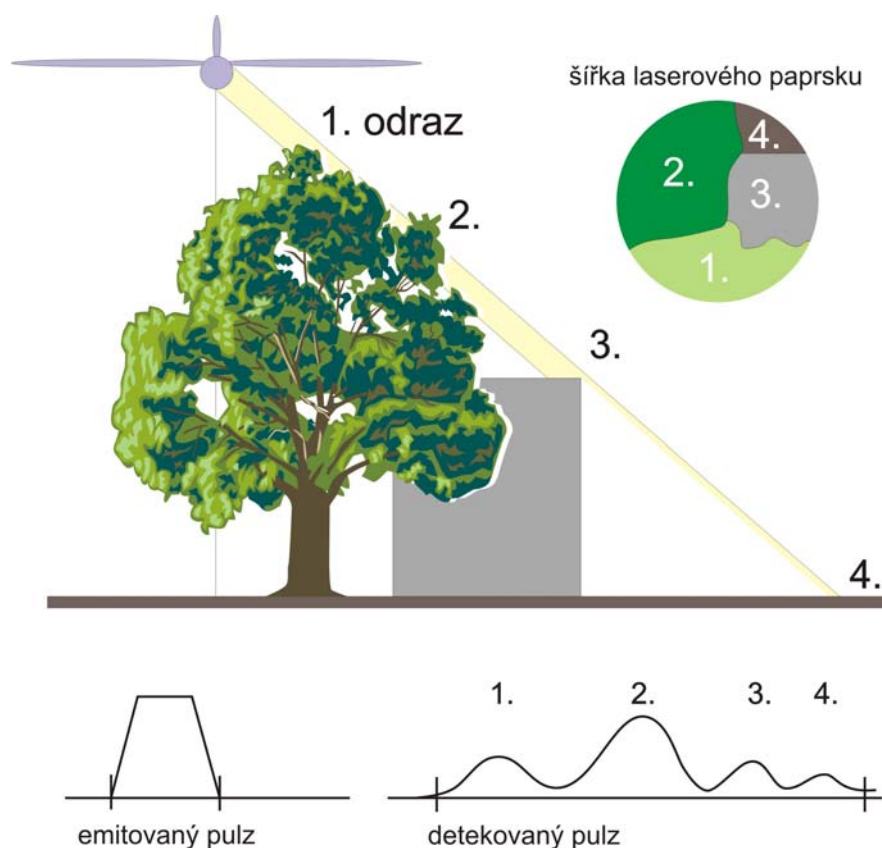
kolem 30 cm. Většina komerčních laserových jednotek používá vlnovou délku záření v rozsahu 1100-1200 nm (blízké infračervené záření). Intenzita odraženého světla závisí na vlastnosti povrchu, od kterého se odrazilo. Podle intenzity lze snadno určit objekty s vysokou a nízkou odrazivostí v daném pásmu záření. Například voda velkou část infračerveného záření pohltí, dá se měřit dno pouze v mělkých částech. Proto se při bathymetrii používá zelenomodré záření, je daleko vhodnější pro měření pod vodní hladinou. Avšak měření také závisí na rychlosti pohybu vody a množství zákalu, proto i tuto metodu lze použít přibližně do 50 m. Při měření vzdáleností se používá pulzní nebo sinusová „continuous wave“ modulace, zdroj [1].

Při pulzní modulaci zdroj vysílá krátké impulzy s pravoúhlým průběhem o délce 10-15 ns. Měřený čas mezi odesláním impulzu a přijetím odraženého paprsku odpovídá vzorci (2.1):

$$t = 2 \frac{D}{c} \quad (2.1)$$

kde t – měřený čas, D – vzdálenost senzoru od povrchu, c – rychlost šíření světla

Vyslaný pravoúhlý pulz se nevrací v původním tvaru. Je to způsobeno vlastnostmi atmosféry a povrchem objektu, od kterého se paprsek odrazil. Může jít také o několikanásobný odraz, když se paprsek odráží od jednotlivých vrstev objektů na zemském povrchu. Toho se využívá při mapování vegetace. První odraz dostáváme od korun stromů, pak dále od dalších vrstev vegetace a poslední od vlastního terénu (obrázek 2.7). Pro správné rozpoznání jednotlivých odrazů je potřeba dostatečně velký útlum signálu a mezi jednotlivými lokálními maximy dostatečný časový odstup. V dnešní době je možné registrovat až 5 odrazů (minimální vzdálenost mezi nimi je 2-3 m), v běžné praxi se používají maximálně 3 odrazy.



Obrázek 2.7: odeslaný a přijímaný pulz při několikanásobném odrazu, z části podle zdroje [1].

Při kontinuální modulaci se vysílá světelná vlna o dané frekvenci. Fázový posun světelné vlny je závislý na čase a velikosti periody :

$$t = \frac{\phi}{2\pi} T + nT \quad (2.2)$$

kde

t – uplynulý čas, ϕ – fázový posun detekované vlny, T – perioda modulované vlny, n – počet celých vlnových délek

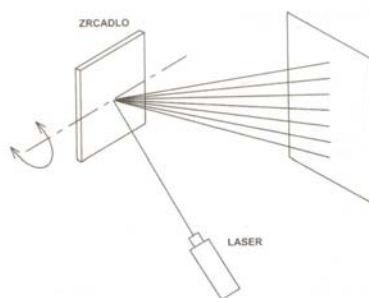
V praxi se převážně setkáme se systémy s pulzní modulací, jejich centimetrová přesnost je dostačující. Je-li potřeba měřit s větší přesností, využívají se systémy s kontinuální modulací, ty dosahují přesnosti měření větší než centimetr.

Skener

Skenery můžeme rozdělit podle vychylování paprsku. Existuje pět metod podle zdroje [9] a to: 1) pomocí rotujícího (kmitajícího) zrcadla, 2) pomocí rotujícího hranolu, 3) rotací zdroje záření, 4) pomocí zrcadla a svazku optických vláken, 5) pomocí statického optického elementu.

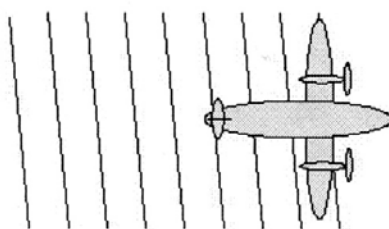
1) Rotující (kmitající) zrcadlo:

Rotující nebo kmitající zrcadlo vychyluje paprsek v jedné rovině (obrázek 2.8). Spojením dvou zrcadel lze paprsek vychýlit ve dvou směrech. U leteckého laserového skenování je zpravidla paprsek vychylován zrcadlem v příčném směru a posun v podélném směru je zajištěn vlastním pohybem letadla. U pozemního měření je paprsek do druhého směru vychylován pootočením mechanické soustavy (obrázek 2.4 – vlevo). Celkový úhel vychýlení paprsku zrcadlem určuje zorný úhel.



Obrázek 2.8: vychylování paprsku zrcadlem, zdroj [9].

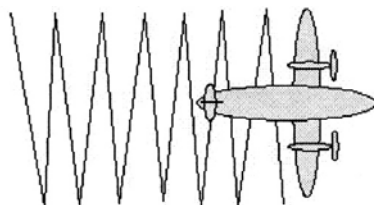
Skener s rotačním zrcadlem - základem tohoto typu skeneru je zrcadlo rotující konstantní rychlostí. Stopami na povrchu jsou paralelní řady bodů (obrázek 2.9). Zrcadlo se otáčí stále stejným směrem, poloha se určuje buď přímo z motoru (pohánějící zrcadlo) nebo z úhlového senzoru umístěného na zrcadle. Výhodou tohoto skeneru je velmi malá chyba určení polohy zrcadla. Nevýhodou je poměrně dlouhá pomlka mezi cykly, při které jde paprsek mimo zorný úhel.



Obrázek 2.9: stopa skeneru s rotujícím zrcadlem, zdroj [1].

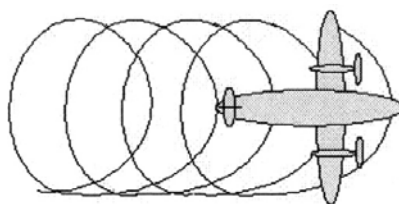
Skener s oscilujícím zrcadlem - u tohoto skeneru zrcadlo osciluje, stopou na povrchu je „pilovité“ uspořádání bodů (obrázek 2.10). Výhodou této konstrukce je nepřetržitě měření a možnost nastavení rychlosti skenování a zorný úhel. To nám může pomoci při nečekaném příčném náklonu letadla nastavit zorný úhel tak, aby skenovaný pruh území zůstal stejný. Nevýhodou je však nerovnoměrnost měřených bodů (na okraji měřeného území je větší hustota bodů než uprostřed)

a torze točné osy. Je to způsobeno změnou rychlosti a zrychlením pohybu zrcadla (více v podkapitole 2.6 Chyby v měření).



Obrázek 2.10: stopa skeneru s oscilujícím zrcadlem, zdroj [1].

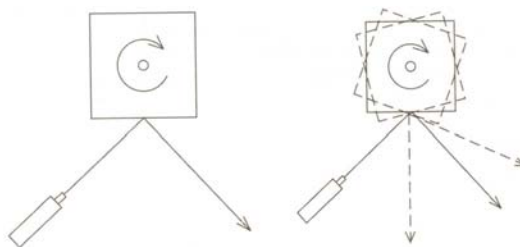
Eliptický skener - eliptický skener využívá k měření dvou zrcadel, stopou na povrchu je elipsa (obrázek 2.11). Povrch je měřen dvakrát (ze dvou různých míst), což je výhodné. Naopak nevýhodou je mechanická složitost systému, která vede k větší pravděpodobnosti chyb při synchronizaci pohybu zrcadel a k určení aktuálního směru paprsku.



Obrázek 2.11: stopa eliptického skeneru, zdroj [1].

2) Rotující hranol

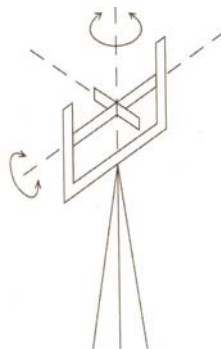
K vychylování paprsku se používá rotující optický hranol (obrázek 2.12). Obvykle se jedná o pravidelný n -úhelník. Princip měření je podobný jako u rotujícího zrcadla. Hranol vychyluje paprsek v jednom směru. Druhý směr je zajištěn pohybem soustavy. Výhodou oproti vychylování paprsku zrcadlem je kontinuální měření (paprsek nejde mimo zorný úhel), naopak nevýhodný je menší zorný úhel.



Obrázek 2.12: vychylování paprsku hranolem, zdroj [9].

3) Rotující zdroj záření

U tohoto typu rotuje celá dálkoměrná soustava ve dvou osách (obrázek 2.13), nepoužívá zrcadel. Ukázka tohoto typu laserového skeneru je na obrázku 2.3 – vpravo.

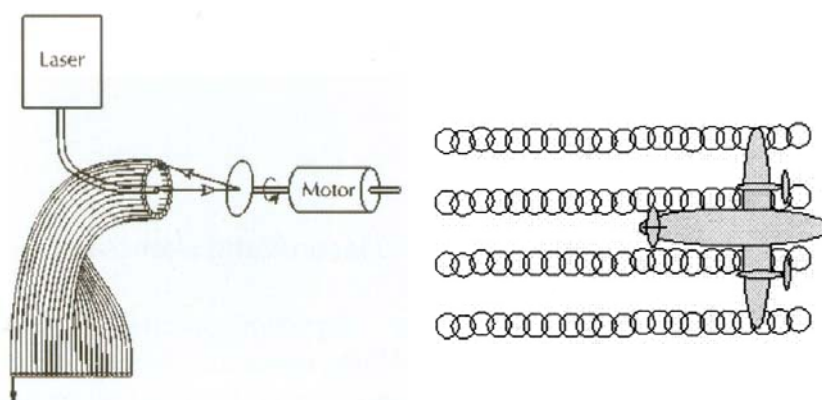


Obrázek 2.13: vychylování paprsku celou dálkoměrnou soustavou, zdroj [9].

4) Svazek optických vláken

Paprsky jsou směřovány malým zrcadlem do vstupů optických vláken uspořádaných do kružnice. Toto uspořádání je rozvinuto do roviny, v níž optická vlákna vytvářejí vějíř s požadovaným úhlem rozbíhavosti (obrázek 2.14 – vlevo).

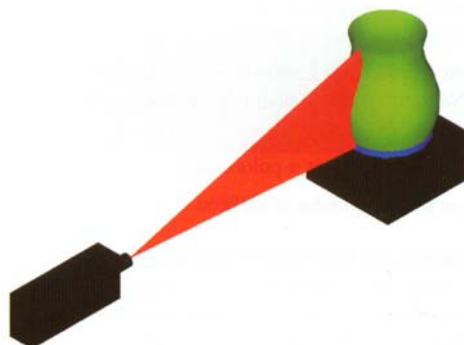
Skener se svazkem optických vláken – při leteckém skenování tento skener vysílá paprsky k povrchu stále pod stejným úhlem pomocí lineárního svazku optických vláken. Rychlost snímání je vyšší než u předchozích systémů. Tím získáme překryv bodů v podélné ose (obrázek 2.14 – vpravo), avšak můžeme měřit jen úzký úhel záběru (kolem 7°).



Obrázek 2.14: princip (vlevo) a stopa (vpravo) skeneru se svazkem optických vláken, zdroj [1]

5) *Statický optický element*

Cituji zdroj [9]: „Poslední možností rozmítnutí svazku je využití statického optického elementu, který vytváří v prostoru výseč světelné roviny.“ Princip využití znázorňuje obrázek 2.15.



Obrázek 2.15: vychylování paprsku pomocí statického optického elementu, zdroj [9].

Kontrolní jednotka

Kontrolní jednotka zajišťuje komunikaci mezi skenerem a laserovou jednotkou. Ke všem naměřeným úhlům a délkám je přiřazen čas z vnitřních hodin této jednotky. Tyto hodiny se synchronizují s hodinami GPS.

Inerciální jednotka (používá se při leteckém laserovém skenování)

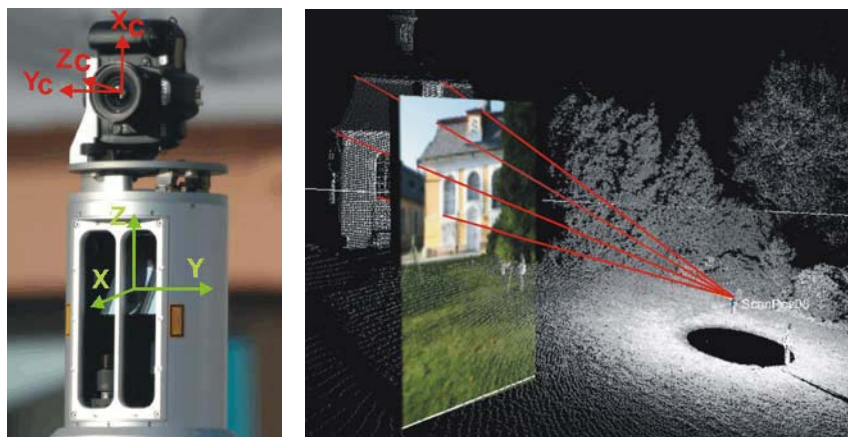
Inerciální jednotka (IMU – Inertial Measurement Unit) zaznamenává všechny náklony a vychýlení letadla vzhledem k tížnici a také změnu polohy. Náklony se měří pomocí gyroskopů a zrychlení pomocí akcelerometru. Polohu letu je možné určit porovnáním rozdílů zrychlení, ta se však vlivem systematických chyb liší od skutečné dráhy letu, proto je potřeba měření zpřesnit pomocí GPS.

GPS

GPS slouží k přesnému určování polohy letadla. Na palubě je zpravidla jeden GPS přijímač, pro zpřesnění se používají referenční stanice na zemi, kde známe přesné souřadnice. Další variantou mohou být tři GPS přijímače na palubě letadla, ty kromě určení polohy mohou měřit i náklony letadla. GPS nám také zajišťuje synchronizaci hodin podle GPS času.

Digitální fotoaparát (používá se při pozemním laserovém skenování)

Slouží k zaznamenání skutečných barev skenovaných objektů. Po naskenování vybrané oblasti fotoaparát tuto oblast nafotí. Fotoaparát je upevněn a orientován tak, aby odpovídal souřadnicovému systému skeneru (obrázek 2.16).



Obrázek 2.16: vlevo: ukázka upevnění digitálního fotoaparátu, zdroj [10],
vpravo : ukázka naměřených dat na Kozlu.

Na obrázku 2.16 – vpravo je vidět správně orientovaná fotka vůči měřeným bodům. Spojnice mezi skenerem a měřeným bodem protíná fotku v místě, kde je barevně zobrazen měřený bod.

Digitální videokamera (používá se při leteckém laserovém skenování)

Obrazový záznam slouží ke snazší orientaci v měřeném prostoru a identifikaci skenovaných objektů. Většinou se používají dvě kamery. Jedna snímá svislý obraz a druhá je natočena o 45° ve směru letu (snímá se tak dopředný obraz).

2.4 Letecké laserové skenování

Informace obsažené v této podkapitole pochází ze zdrojů [1] a [9].

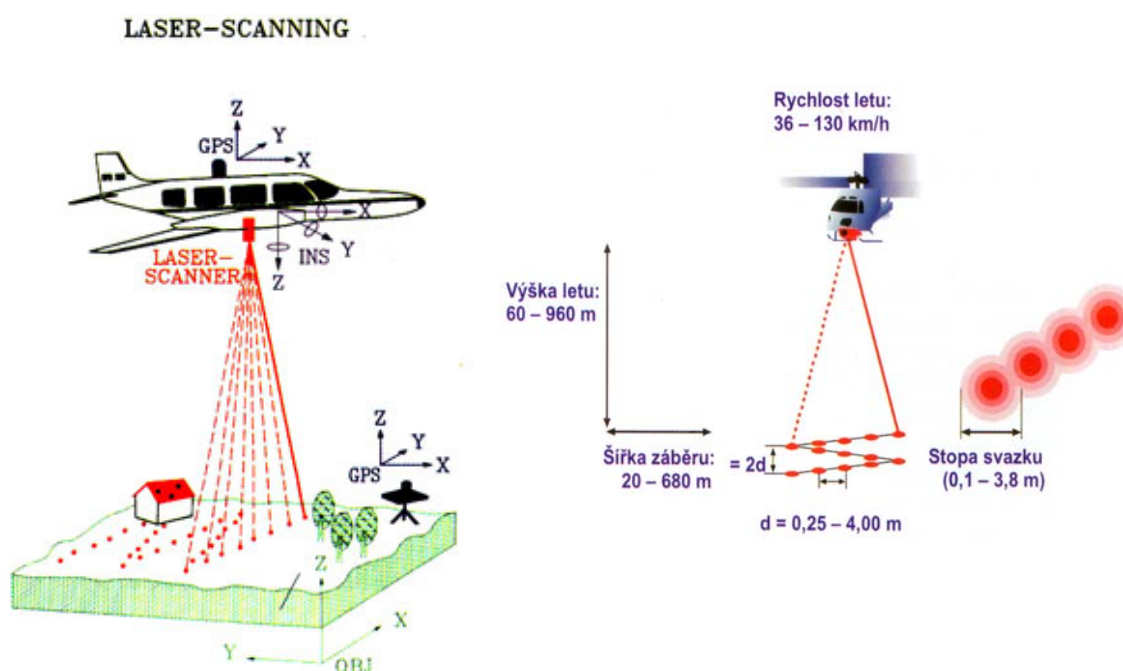
Letecké laserové skenování patří mezi velmi mladé technologie, původně vojenská technologie známá již dvě desetiletí byla uvolněna do civilní praxe koncem 80. let 20. století. Masově se rozšířila během posledních pěti let, v této době se také letecké laserové skenování dostalo do České republiky.

Tato metoda je vyvinuta pro mapování rozsáhlých území v poměrně krátkém mapovacím čase. Nahrazuje běžné metody jako jsou fotogrammetrie, tachymetrie, GPS. Praktické uplatnění v České republice můžeme najít při sběru bodů pro tvorbu digitálního modelu reliéfu a modelu povrchu (i v zalesněných oblastech viz obrázek 2.7), tvorbě 3D modelu města, lomů, analýze vegetačního pokryvu, sledování nadzemních vedení. Mapování

a pozdější zpracování je z velké části zautomatizováno. Od začátku se pracuje s digitálními daty.

Hlavními výhodami oproti fotogrametrii jsou primární poskytování 3D dat (určování Z souřadnice je výrazně lepší než u fotogrametrie) a možnost zaznamenat několikanásobný odraz viz obrázek 2.7. Dále je možné skenovat body s vysokou hustotou, díky tomu lze použít k určování polohy objektů relativně malých rozměrů například stožárů, vedení vysokého napětí apod. Naopak nevýhodou je snímání úzkých pruhů (vhodnější pro liniové stavby než plochy).

Aby bylo možné provádět měření, je potřeba znát přesnou polohu a náklon skenovací jednotky (obrázek 2.17 – vlevo). K tomu slouží soustava GPS přijímačů a inerciální jednotka (INS), podrobněji popsáno v podkapitole 2.3 Konstrukce laserových skenerů.



Obrázek 2.17: vlevo: schéma leteckého laserového skenování, zdroj [2],
 vpravo: přehled letových vlastností, zdroj [9].

Hustota naskenovaných bodů závisí na výšce a rychlosti letu. Paprsky mají tu vlastnost, že se rozbíhají. Při vyslání je paprsek velice úzký, ale při odrazu může mít daleko větší průměr. Části paprsku se dokonce mohou překrývat, závisí to na výšce letu (obrázek 2.17 – vpravo).

Laserový systém nemusí být nainstalován jen na palubě letadla, ale také na palubě vrtulníku. Letadlo se využívá při měření plošných území a vrtulník při měření objektu, kde je vyžadována větší hustota bodů. Letadlo létá ve výšce od 200 do 1600 m rychlostí kolem 200 km/h. Vrtulník může letět výrazně pomaleji a také ve velmi malé výšce (obrázek 2.17 – vpravo).

Naměřená data

- Souřadnice skeneru při měření pomocí GPS.
- Náklony nosiče skeneru.
- Souřadnice mračka bodů v souřadnicovém systému skeneru.
- Intenzita odrazu jednotlivých bodů.
- Videozáznam letu.

Zpracování dat

Prvním krokem je určení přesné polohy skeneru – nazývá se pre-processing. Souřadnice dráhy letu jsou vypočteny podle záznamu z GPS a jsou zpřesněny záznamy z inerciálního systému. Dále jsou spočteny vektory měřených bodů a z nich souřadnice jednotlivých bodů.

Matematický model pro výpočet souřadnic (převzato ze zdroje [1])

Při výpočtu prostorových souřadnic měřených bodů se používají všechna naměřená data z laser skeneru, z navigační jednotky a GPS:

$$r_i^m = r_{nav}^m(t) + R_b^m(t)[R_b^S \cdot r^S + a^b] \quad (2.3)$$

kde

r_i^m - souřadnice podrobného bodu (i) v rámci lokálního souřadnicového systému,

$r_{nav}^m(t)$ - souřadnice navigačního systému v rámci lokálního souřadnicového systému,

$R_b^m(t)$ - interpolovaná matice rotace pro náklon platformy v aktuálním čase (stav b),

R_b^S - rotační matice mezi inerciálním navigačním systémem a systémem laser skenu,

r^S - vektor laserového paprsku,

a^b - počáteční souřadnicový posun mezi stavy „b“ a „S“.

Dále probíhá post-processing – zpracování mračen bodů. Ten lze rozdělit na filtraci a klasifikaci. Při filtraci jsou vyhledávány body znázorňující jeden druh povrchu (nejčastěji terénu), ostatní body (například vzrostlá zeleň, budovy, dráty vysokého napětí) musí být při vytváření digitálního modelu reliéfu odstraněny. Při klasifikaci jsou body rozděleny do předdefinovaných tříd.

Filtrace:

Filtraci je možné provést několika metodami, mezi používané patří morfologické filtry, filtry založené na porovnání sklonu a filtry používající vyrovnání metodou nejmenších čtverců.

Mezi morfologické filtry patří dilatace, eroze, otevření a uzavření. Pro filtraci se definuje strukturální element (tvar buňky), se kterým se provádí analýza. Pomocí dilatace se doplňují body a vyhlazuje obrys objektu o velikosti strukturálního elementu. Eroze je duální filtr k dilataci. Obrysy objektů jsou erodovány, případně úzké objekty zcela vymazány. Záleží na tvaru a vlastnostech strukturálního elementu. Otevření je kombinací eroze a dilatace. Výsledkem je odstranění objektů menších než strukturální element a oddělení blízkých objektů. U uzavření se jedná o opačný postup oproti otevření. Zde jsou naopak všechny „skuliny“ vyplněny.

Filtry založené na porovnání sklonu testují body v nejbližším okolí, zda leží na terénu nebo ne. Porovnávají se všechny body a zjišťuje sklon jejich spojnice. Pokud sklon odpovídá předem daným mezím, zkoumaný bod je považován za bod na terénu.

Filtrování pomocí metody nejmenších čtverců patří mezi statické interpolační metody. Definují se vazby každého bodu s každým. Pro každý bod se vypočítávají odchylky od přibližného terénu, z těch se pak počítají váhy. Dále je znovu vypočten průběh terénu s novými váhami. Tento postup se opakuje tak dlouho, dokud všechny body nejsou klasifikovány (body na terénu nebo ostatní body).

Pokud jsou správně nastavené parametry filtrace, jsou výsledky ze všech popisovaných metod velmi blízké. To vyžaduje dostatečnou detailní znalost charakteru zpracovávaného území. Více o filtraci naleznete ve zdroji [1].

Klasifikace:

Během klasifikace se jednotlivé body roztřídí podle druhu objektu. Zpravidla se jedná o tři základní třídy: terén, budova, vegetace. Dalšími třídami jsou hrubé chyby, body pod terénem, nízká vegetace, vysoká vegetace, komunikace, výšková vedení a body terénní kostry.

Body lze klasifikovat podle výškových poměrů v okolí bodu nebo také podle odrazivosti. Klasifikace probíhá v několika cyklech. V každém cyklu se klasifikuje pouze jedna třída a klasifikace v dalším cyklu probíhá jen nad zatím

neroztříděnými daty. Klasifikace jednotlivých tříd probíhá v tomto pořadí: hrubé chyby, terén, nízká vegetace, vysoká vegetace, budovy, komunikace (jsou klasifikovány z třídy terén zpřísněním kritérií na výškové diference a liniový charakter) a výšková vedení.

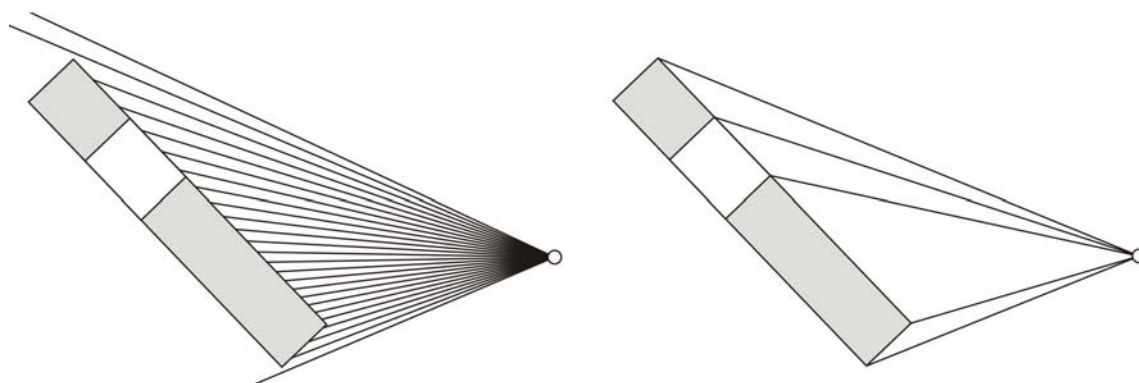
Výsledkem klasifikace mračka bodů z laserového skenování jsou vrstvy specifických vlastností. Pomocí dalších funkcí lze z těchto vrstev generovat další výstup laserového skenování (vrstevnicový plán, mapy porostů, 3D modely měst apod.) Více o klasifikaci naleznete ve zdroji [1].

2.5 Pozemní laserové skenování

Informace obsažené v této podkapitole pochází ze zdroje [9].

Pozemní laserové skenování slouží především pro zmapování složitých staveb a konstrukcí, interiérů, podzemních prostor a libovolných terénů apod.

Lze měřit s mimořádnou rychlostí, přesností a komplexností oproti běžným geodetickým metodám. Laserové skenování oproti geodetickým metodám je neselektivní metodou měření. Při geodetických metodách včetně fotogrammetrie se pro měření vybírají jen charakteristické body objektů (hrany, vrcholy, lomy apod.). Při laserovém skenování se měří body rozmístěné v celé měřené oblasti. Skener měří body v pravidelném úhlovém intervalu (obrázek 2.18). (Pozn.: Kdyby byl skener umístěn ve středu koule, vznikla by pravidelná mřížka). Před skenováním je nutné zvolit dostatečnou přesnost měření, abychom získali všechny potřebné charakteristické body.



Obrázek 2.18: rozdíl mezi laserovým skenováním (vlevo) a geodetickým měřením (vpravo), zdroj [9].

Naměřená data

- Souřadnice a orientace skeneru nebo souřadnice vřícovacích bodů.
- Souřadnice mračna bodů v souřadnicovém systému skeneru.
- Intenzita odrazu jednotlivých bodů.
- Fotky měřeného prostoru.

Postup zpracování měření

Laserovým skenováním získáme tzn. mračna bodů v souřadnicovém systému skeneru. Abychom získali souřadnice v požadovaném souřadnicovém systému, musíme provést transformaci. Používá se stejný princip jako u fotogrammetrie. Před skenováním jsou na měřený objekt rozmístěny vřícovací body se známými souřadnicemi v požadovaném souřadnicovém systému. Tyto souřadnice je třeba získat geodetickou nebo GPS metodou. Při znalosti souřadnic vřícovacích bodů v obou (skeneru a požadovaném) souřadnicových systémech lze provést transformaci. Rozsáhlejší objekty se měří z více stanovisek a tím vznikne několik skenů (mračen bodů). Jednotlivé skeny se opět spojí pomocí vřícovacích bodů (měly by být alespoň 4). Vřícovací body se označují kulovými, polokulovými či válcovými terči s vysokou odrazivostí. Tvar terčů umožňuje přesný výpočet středu při měření z různých stran. Díky vysoké odrazivosti jdou snadno identifikovat v mračnu bodů.

Při dalším kroku zpracování mračna bodů (vyhodnocení) se body aproximují geometrickými křivkami, plochami nebo tělesy. Body jsou spojovány přímkovými segmenty nebo kruhovými oblouky a tím vzniká drátěný model prostorového objektu. Objekt lze také modelovat přímo z jednoduchých předdefinovaných objektů jako jsou koule, válec, kvádr, kužel apod.

Dalším krokem je vizualizace. Drátěný model složitějšího objektu nemusí být přehledný, proto se zavádějí další údaje jako materiál, textury popřípadě osvětlení.

2.6 Chyby v měření

Výsledná přesnost měření je ovlivněna chybami jednotlivých jednotek měřící aparatury. V této podkapitole jsou také popsány další vlivy na měření - vliv geometrie skenovaných objektů a vliv povrchu skenovaných objektů. Informace pochází ze zdrojů [1] a [9].

Chyba laseru

Vzdálenost snímací jednotky od měřeného objektu je počítána z času, za který paprsek doletí k měřenému bodu a zpět. Tento čas měří vnitřní hodiny. Chyby způsobené měřením času mají vliv na měřenou vzdálenost. Další chyby mohou být způsobeny špatnou modulací signálu. U pulzní metody každý opožděně vyslaný signál způsobuje chybu v čase potřebném pro let paprsku k měřenému bodu a zpět, tudíž i vzdálenost je chybně změřena. Také při změně frekvence odesílané vlny dostáváme chybnou vzdálenost měřeného bodu.

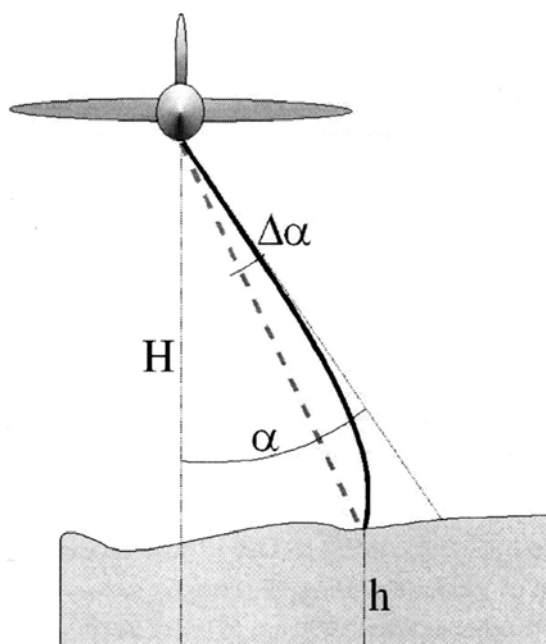
Chyba vlivem atmosférické refrakce (hlavně letecké laserové skenování)

Když laserový paprsek prochází atmosférou, je tímto prostředím ovlivněn. Atmosférická refrakce způsobuje zakřivení tohoto paprsku (obrázek 2.19). Velikost chyby z refrakce závisí na vlnové délce záření, poloze v prostoru, úhlu paprsku a atmosférických vlastnostech. Existují různé refrakční modely, například standardní atmosférický model používaný ve fotogrammetrii (převzato ze zdroje [1]):

$$\Delta\alpha = K \cdot \tan(\alpha) \quad (2.4)$$

$$K = \left(\frac{2410H}{H^2 - 6H + 250} - \frac{2410H}{h^2 - 6h + 250} \left(\frac{h}{H} \right) \right) \times 10^{-6} \quad (2.5)$$

kde K – korekce,
 h – výška terénu nad referenční rovinou,
 H – výška skeneru nad referenční rovinou.



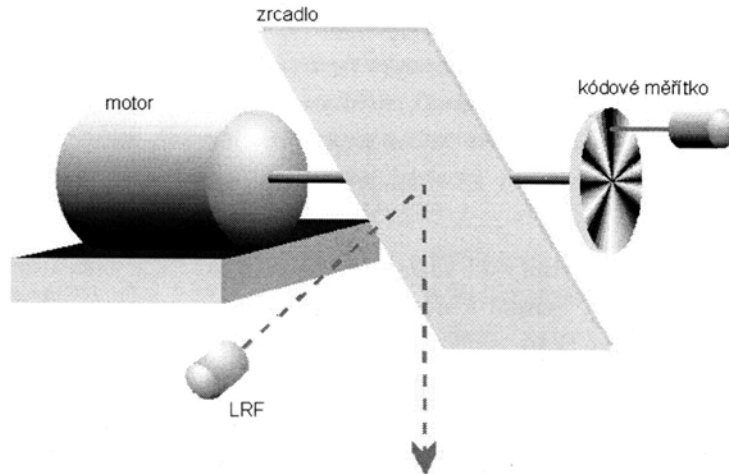
Obrázek 2.19: vliv atmosférické refrakce, zdroj [1].

Chyba hodin

Doba letu měřicího paprsku je velice krátká (kolem 0,000005 s při výšce letu 750 m) a proto i malá chyba v tomto čase se objeví v určované vzdálenosti. V dnešní době se přesnost hodin pohybuje mezi 0,05 ns a 0,2 ns (lze tedy délku měřit s přesností 15 mm – 60mm).

Chyba skeneru

Chyba při skenování může vzniknout při špatném určení úhlu zrcadla. Úhel natočení zrcadla se určuje pomocí galvanometru, zde se přesnost pohybuje kolem 0,02°. Jelikož tato přesnost není příliš vysoká, připevňuje se k zrcadlu kódové měřítko (obrázek 2.20), ze kterého se náklon zrcadla odečítá s přesností 0,001°. Používání kódového měřítka je sice přesnější, ale zase je tu možnost vzniku dalších chyb. Například nepravidelný rozestup mřížky nebo když není měřítko upevněno kolmo k ose rotace zrcadla.



Obrázek 2.20: schéma skeneru, zdroj [1].

Další chyba může vzniknout při oscilaci zrcadla, jedná se o torzi. Je způsobena změnou rychlosti a zrychlením pohybu zrcadla. Jsou-li motor, zrcadlo a kódový kruh spojeny pouze v ose (obrázek 2.20), dochází vlivem jejich vlastních hybností ke zpoždění kódového kruhu oproti zrcadlu, tím je odečtený úhel jiný, než pod kterým je měřicí paprsek vyslán, a dostáváme chybnou polohu měřeného bodu.

Chyba řídicí jednotky

Může dojít k časovému zpoždění v řídicí jednotce. Jedná se o rozdíl v čase zapisování naměřené délky a odečteného úhlu. Zpoždění se nejméně projevuje na krajích zorného pole. Naopak nejvíce ve středu, kde má zrcadlo největší rychlost, ale zde je opět rozdíl výšky nejmenší. Výsledný průběh chyby má v profilu tvar podobný osmičce. Velikost hodnoty zpoždění lze určit pouze odhadem z vneseného profilu měřených dat, opraví se její hodnota a výpočet se opakuje. Po úplné eliminaci osmičkovitého tvaru profilu je zpoždění určeno. Hodnota zpoždění je stejná v průběhu celého měření, protože jde o vlastnost řídicí jednotky.

Chyby GPS (hlavně letecké laserové skenování)

Chyby GPS závisí na referenčních stanicích, počtu viditelných družic, zajištění plynulosti měření a na vlastnostech atmosféry.

Chyby systému určení polohy a náklonu (letecké laserové skenování)

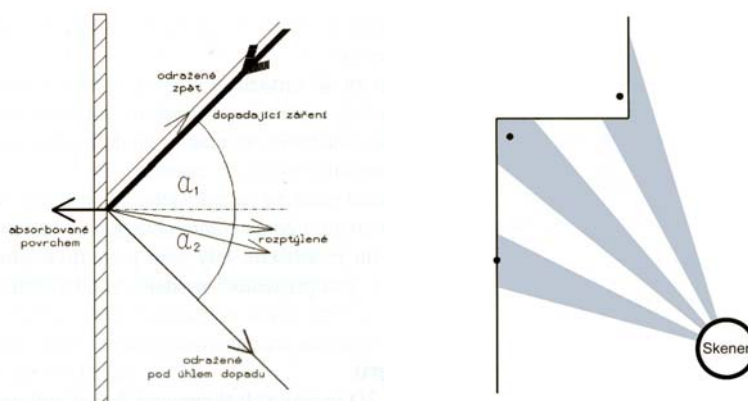
Gyroskopické měření je zatíženo chybami jako jsou odklon, snos a šum. Chyby odklonu a snosu lze eliminovat na základě předcházející kalibraci. Jednou z chyb, která má největší vliv na správnost měření, je nesprávné určení vztahů mezi skenerem a navigační jednotkou během rektifikace. Velikost chyby závisí na výšce

letu, skenovacím úhlu a směru letu. Chyba rektifikace má vliv na každý naměřený bod (každý bod je snímán zvlášť) a nelze jednotnou transformací opravit celé území jako například snímek ve fotogrammetrii.

Vliv geometrie skenovaných objektů

Při měření laserovým skenerem může dojít ke stejnému efektu jako při použití totální stanice s pasivním odrazem (je cíleno rovnou na objekt, nepoužívá se zrcadlo). Při cílení na rovinný objekt pod úhlem výrazně se lišícím od normály nedojde k odrazu zpět směrem na skener nebo k němu dojde po vícenásobném odrazu. Situace při dopadu je znázorněna na obrázku 2.21 – vlevo. Pro měření vzdálenosti je důležitá složka záření „odražená zpět“. Pokud intenzita této složky není dostatečně velká, vzdálenost nemusí být změřena. Také může dojít k chybnému změření délky po vícenásobném odrazu.

Další nepřesná vzdálenost může vzniknout, když paprsek dopadne na lomenou plochu. Tato naměřená délka je průměrnou vzdáleností oblasti dopadu (viz obrázek 2.21 – vpravo, tečka představuje výsledné umístění měřeného bodu).



Obrázek 2.21: dopad světelného záření na obecný povrch (vlevo), zkruslená vzdálenost měřením na rozhraní ploch (vpravo), zdroj [9].

Vliv povrchu skenovaných objektů

Při měření závisí na schopnosti povrchu odrážet optické záření. To je způsobeno vlastnostmi dopadajícího záření (vlnová délka, polarizace), materiálovými vlastnostmi (barva, odrazivost) a geometrickými vlastnostmi povrchu (drsnost). Přehled odrazivosti vybraných materiálů pro vlnovou délku 900 nm je v následující tabulce.

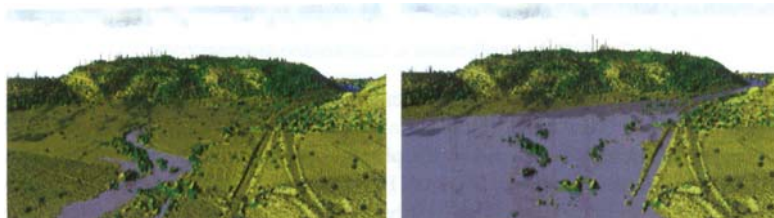
MATERIÁL	REFLEKTIVITA / %
Bílý papír	do 100%
Stavební dřevo (borovice, čistá, suchá)	94%
Sníh	80-90%
Bílé zdivo	85%
Jíl, vápenec	do 75%
Potíštěný novinový papír	69%
Listnaté stromy	typ. 60%
Jehličnaté stromy	typ. 30%
Plážový, pouštní písek	typ. 50%
Hladký beton	24%
Asfalt s oblázky	17%
Láva	8%
Černý neoprén	5%

Tabulka 2.1: Odrazivost jednotlivých materiálů, zdroj [9].

2.7 Použití

2.7.1 Letecké laserové skenování

Letecké laserové skenování se uplatňuje všude tam, kde je požadováno rychlé dodání přesného 3D modelu rozsáhlého území a také tam, kde je geodetické měření nebezpečné nebo nemožné. Následuje několik ukázek aplikací leteckého laserového skenování.



Obrázek 2.22: Mapování řek a modelování záplavových území - vlevo je zobrazeno koryto řeky za normálního stavu a vpravo stav při stoleté vodě. Hranice zaplavené byla získána jako průnik modelu terénu s plochou vodní hladiny, zdroj [9].



Obrázek 2.23: Modely měst - model části města Mannheim, zdroj [9].



Obrázek 2.24: Elektrické vedení – oklasifikované body, zdroj [9].

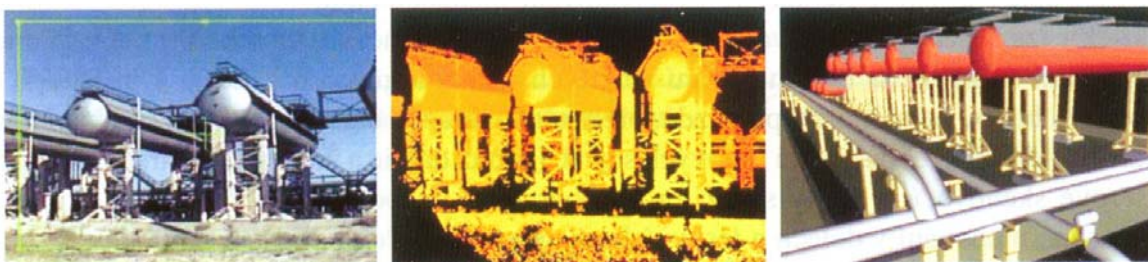
2.7.2 Pozemní laserové skenování

Pozemní laserové skenování umožňuje rychlé získání 3D informace tvarově velmi složitých objektů, které by bylo velice obtížné nebo dokonce nemožné zmapovat klasickými metodami jako je polární metoda, protínání, fotogrammetrie. Získání dostatečného množství dat u těchto složitých objektů klasickými metodami vyžaduje velký objem časově náročných prací s nasazením většího počtu pracovníků v rizikovém prostředí a značně dlouhou dobu odstávky provozu. Proto jsou laserové skenovací systémy vyvíjeny tak, aby práce v terénu byla jednoduchá, rychlá, neomezovala provoz zařízení a zachytila i obtížně přístupné části.

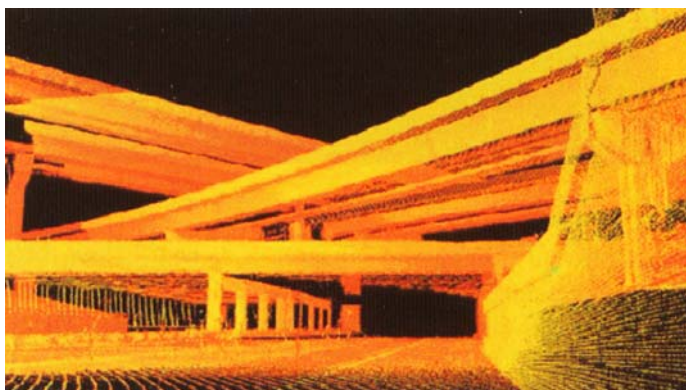
Oproti klasickým metodám se velká část prací přesouvá z terénu do kanceláří. Naměřená data se nemusí použít hned všechna. Lze zpracovat jen tu část, která je požadována. Zbytek naměřených dat se uchovává a případné rozšíření zakázky lze vyhodnotit bez opakovaného měření v terénu.

Data se zpracovávají většinou pomocí softwaru poskytnutým přímo s laser skenerem. V první části se data připraví pro vlastní zpracování. Pospojují se jednotlivé skeny (mračna bodů) do lokálního souřadnicového systému, smažou se nadbytečné body a upraví se hustota bodů. Ve druhé části se pak vytváří model měřeného objektu. Výsledky toho to zpracování je možné přenést do dalších programů (například CAD systémy) a dále s nimi pracovat. Při převodu do dalších programů jsou data transformována do požadovaného souřadnicového systému.

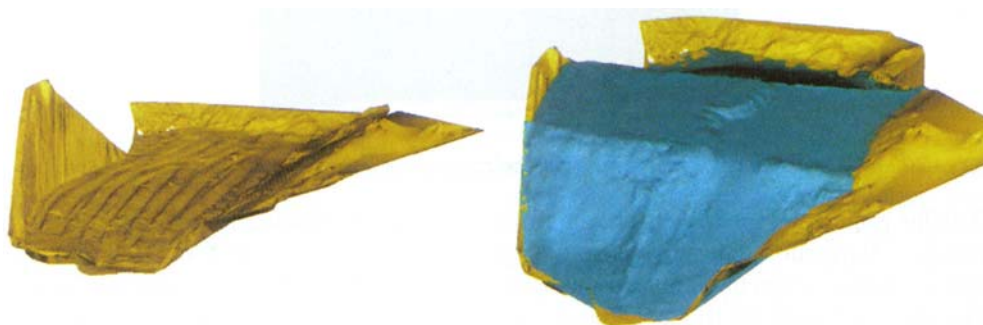
Laserové skenovací systémy se využívají především ve stavebnictví, ale také v dalších odvětvích viz následující ukázky.



*Obrázek 2.25: Zaměřování složitých technologických celků a konstrukcí
– zaměření rafinérie, zdroj [9].*



*Obrázek 2.26: Zaměřování reálného stavu stavebních konstrukcí
– zaměření dálničních nadjezdů, zdroj [9].*



*Obrázek 2.27: Topografické mapování terénních útvarů
– ukázka průběžného stavu výstavby náspu, zdroj [9].*



*Obrázek 2.28: Využití v podzemních prostorech (tunely, jeskyně)
– ukázka digitálního modelu průzkumné štoly, zdroj [9].*

Dále lze využít v dokumentaci památek v oblasti architektury (podrobněji popsáno v kapitole 3 Měření kaple na zámku Kozel).

3 Měření kaple na zámku Kozel

Tato kapitola se věnuje sběru dat na zámku Kozel.

Před měřením laser skenerem bylo nejprve nutné projít a prozkoumat měřený objekt a určit stanoviska skeneru tak, aby byl obsáhnut celý objekt. Firma Georeal používá pozemní laser skener LMS-Z420i od firmy Riedl. Jedná se panoramatický skener, tudíž zorné pole je relativně velké viz parametry skeneru:

vzdálenost pro cílení	2–1000 m,
zorné pole ve vertikální směru	0°–80°,
zorné pole v horizontálním směru	0°–360°,
přesnost	10 mm na 50 m,
měřicí rychlost	12000 bodů za sekundu (oscilování zrcadlo), 8000 bodů za sekundu (rotující zrcadlo),
vlnová délka	blízké infračervené záření,
divergence paprsku	0.25 mrad,
další parametry viz zdroj [6].	

Před vlastním skenováním bylo ještě nutné rozvrhnout, označit a geodeticky zaměřit vlíčovací body (Příloha I: obrázek PI.2), aby bylo možné měřené body transformovat do požadovaného souřadnicového systému (S - JTSK) a také spojit jednotlivé skeny měřené z různých míst. K tomu jsme použili válečky a štítky z reflexního materiálu. Body jsme se snažili umístit rovnoměrně v měřeném prostoru a zároveň tak, aby bylo vidět co nejvíce vlíčovacích bodů z více stanovisek. Jsou potřeba alespoň čtyři vlíčovací body pro svázání jednotlivých skenů.

Obsluhu laserového skeneru zabezpečovala společnost Georeal. Výběr objektu, přípravu měření, geodetické měření a následné zpracování dat a uložení do databáze bylo provedeno v rámci diplomové práce.

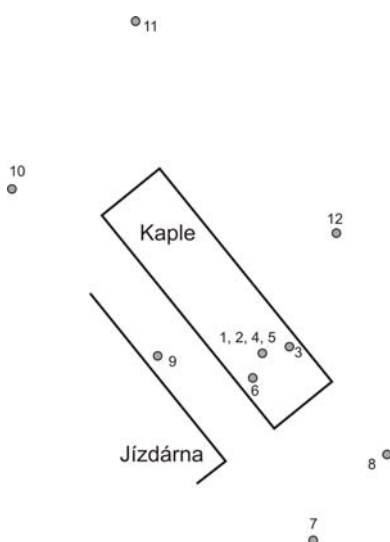
3.1 Geodetická příprava

Nejdříve byla vytvořena pomocná geodetická síť skládající se z pěti stanovisek (0920082680, 1000004001, 1000004002, 1000004003, 1000004004), viz Příloha I:

obrázek PI.1. Souřadnice stanovišek 0920082680, 1000004001, 1000004002, 1000004003 byly získány pomocí GPS – RTK metodou, pro porovnání byly body změřeny také statickou metodou. Bod 0920082680 je zhušťovací bod. Dále byl přes body veden polygonový pořad pro porovnání souřadnic. Porovnání naměřených souřadnic statickou (STA), RTK metodou, geodetických údajů (0920082680) a vypočtených souřadnic v polygonovém pořadu najdete v tabulkách v Příloze I. Pro další výpočty byly použity souřadnice získané RTK metodou. Pátý bod (1000004004), který byl umístěn v kapli, byl dopočten jako rajon. Samotné vlíčovací body jsem spočetl jako podrobné body.

3.2 Laserové skenování

Nejdříve byl skenován interiér kaple a následně exteriér (venkovní část) kaple. Interiér byl skenován ze tří stanovišek, skener byl v šesti pozicích. Exteriér byl změřen ze šesti stanovišek viz obrázek 3.1.



Obrázek 3.1: schéma rozmístění skeneru, čísla určují číslo stanoviška.

Průběh měření na jednom stanovišku:

Nejprve byla umístěna skenovací souprava (obrázek 3.2) na dané stanoviško do takové polohy, aby zorné pole obsáhlo měřenou část objektu. Bylo provedeno skenování v celém zorném poli s malou hustotou bodů (náhled), aby měření trvalo co nejkratší dobu. Pokud se požadovaná část objektu nevešla do zorného pole, poloha skeneru byla upravena a znovu byl proveden náhled. Dále byly identifikovány vlíčovací body. Pokud nebyly nalezeny všechny, bylo potřeba buď nějaký bod přidat nebo zatím nepoužívaný bod přesunout na viditelné místo.

Po dorozmístění těchto bodů byl opět proveden náhled. V náhledu byla vybrána požadovaná část objektu, byla zadána hustota měřených bodů a spustilo se skenování v plném rozlišení. Po naskenování dané části, se tato oblast nafotila digitálním fotoaparátem. Veškeré ovládání skenování soupravy bylo prováděno pomocí počítače.

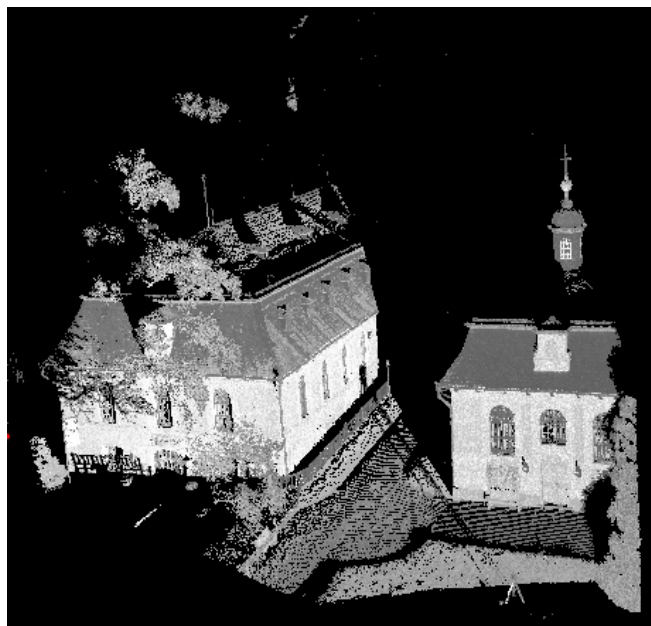


Obrázek 3.2: skenovací souprava, zdroj [15].

3.3 Zpracování dat

K měření a zpracování byl použit program RiSCAN PRO. Projekt se zakládá již před měřením a laserový skener je tímto programem ovládán (hledají se vlíčovací body, určuje se oblast měření apod.).

Výsledkem skenování jsou mračna bodů z jednotlivých stanovisek. Na obrázku 3.3 je jeden takový sken zobrazen. U každého skenu jsou evidovány vlíčovací body, intenzita odrazu a také digitální fotografie. Vše je možné si zobrazit a prohlédnout ve 3D.



Obrázek 3.3: naměřené data z jednoho stanoviska..

Nejprve je třeba data vyčistit, může se zde nacházet mnoho odlehlých bodů, způsobené například „nečistým“ vzduchem (mlha, hmyz apod.). Toto lze provést funkcí *remove isolated points*, kde se zadává minimální počet platných sousedících bodů a maximální vzdálenost k sousednímu bodu. Dále je možné data obarvit pomocí zvolených fotografií (obrázek 3.4).



Obrázek 3.4: ukázka obarvených skenů.

Jednotlivé skeny mohou být spojeny (obrázek 3.5), to zajišťují vřícovací body. Po obarvení a zobrazení všech skenů je možné celou scénou procházet. Jedná se o první možnost vizualizace. Takto vytvořenou scénu lze zaznamenat průletem a uložit jako video. Ukázka této vizualizace je na příloženém DVD (3Dprulet.avi).



Obrázek 3.5: ukázka spojených skenů (interiéru a exteriéru).

Po spojení více skenů lze vytvořit polydata (pozn. datová struktura využívaná programem RiSCAN PRO). Při tomto spojení se pracuje s velkým množstvím bodů, ty jdou zredukovat funkcí *clean data*. Zadává se zde tolerance a duplicitní body se spojí.

Dále je také možné z mračka bodů vytvořit trojúhelníkový model (obrázek 3.6).



Obrázek 3.6: ukázka trojúhelníkového modelu (vizualizace v ArcScene viz 6.4.3 Ukázka vizualizace dat v ArcScene)

Program také umožňuje vytvoření ortofota určité oblasti. Je nutné vytvořit omezenou (oblast vytvoření ortofota) rovinu a v této rovině vytvořit ortofoto

pomocí mračna bodů a fotografie. Také je možné vytvořit panoramatický pohled z měřených stanovisek.

Trojúhelníkový model lze texturovat funkcí *texture* a vyhlazovat funkcí *smooth and decimate*.

Spojené, zředěné body a trojúhelníkovou síť bylo potřeba převést do navrhované báze dat. Proto byla data exportována do souboru *.dxf (drawing exchange format) a pak dále převedena do geodatabáze (viz 6.3 Převod dat). Po zadání souřadnic vřícovacích bodů v požadovaném souřadnicovém systému S-JTSK, bylo možné při exportování dat zvolit tento souřadnicový systém a data byla automaticky transformována.

4 Geografické datové báze

Kapitola se zabývá geografickou bází dat, informace byly čerpány ze zdrojů [3], [4] a [5].

Geografická databáze, geodatabáze nebo také prostorová databáze se liší od databáze pro informační systémy (IS) tím, že se v ní ukládají geografická data (geodata) obsahující prostorové i atributové informace.

Geografická báze dat je základním modelem pro reprezentaci objektů reálného světa v geografických informačních systémech (GIS) a pro organizování prostorových dat do tématických vrstev.

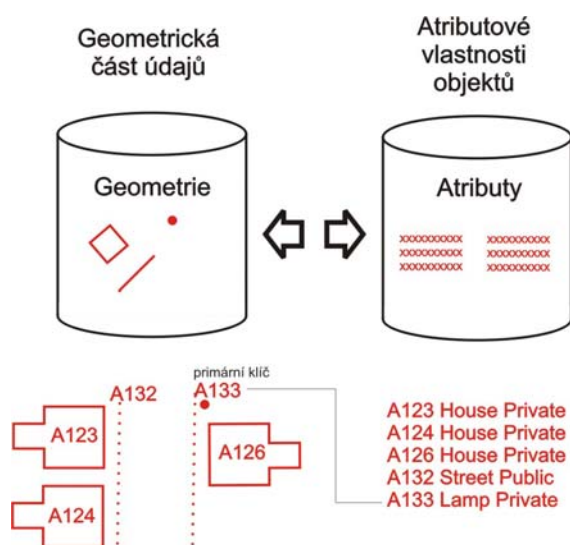
4.1 Způsoby ukládání prostorových dat

Informace k této podkapitole byly čerpány ze zdrojů [4], [12].

U komerčních GIS se řeší uložení prostorových dat nejčastěji těmito způsoby: Atributová a prostorová data v oddělených databázích, atributová a prostorová data v jedné databázi nebo objektově orientované databáze.

Atributová a prostorová data v oddělených databázích

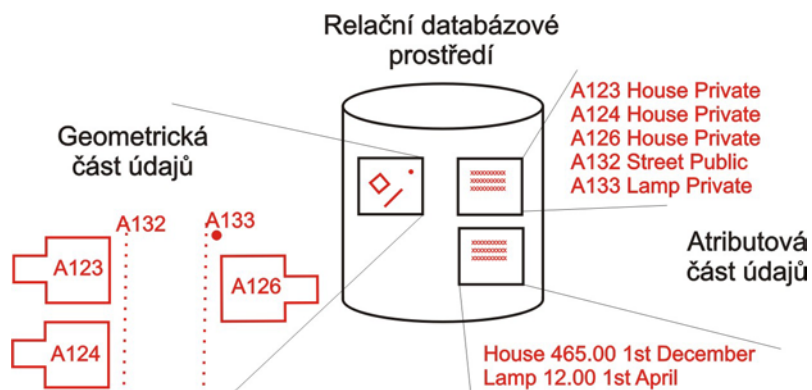
Pro uložení atributů se používá obvykle relační systém a s geometrickou částí údajů jsou svázány pomocí klíčů (obrázek 4.1).



Obrázek 4.1: ukázka uložení atributových a prostorových dat v oddělených databázích, zdroje [4].

Atributová a prostorová data v jedné databázi

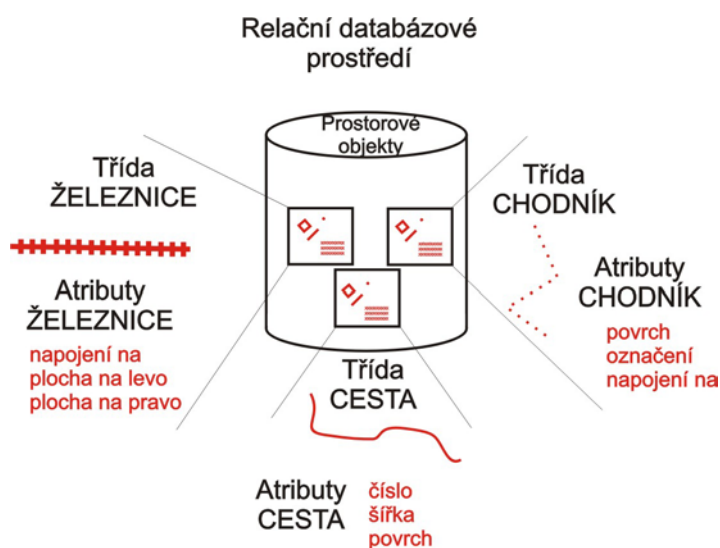
Prostorové objekty a jejich atributy jsou uloženy jako oddělené soubory stejné relační databáze, která dokáže spravovat prostorová i neprostorová data integrálním způsobem. Toto uložení usnadňuje údržbu databáze, protože se při ní pracuje nástroji stejného prostředí (obrázek 4.2).



Obrázek 4.2: ukázka uložení atributových a prostorových dat v jedné databázi, zdroje [4].

Objektově relační databáze

Prostorové objekty definované v databázi v sobě obsahují geometrii objektů i atributový popis (obrázek 4.3). Objektově relační databáze umí zacházet s objekty. Vlastnosti objektu (např. barva, velikost, atd.) a zároveň jeho chování (např. různé funkce a metody prováděné nad tímto objektem) jsou uloženy společně.



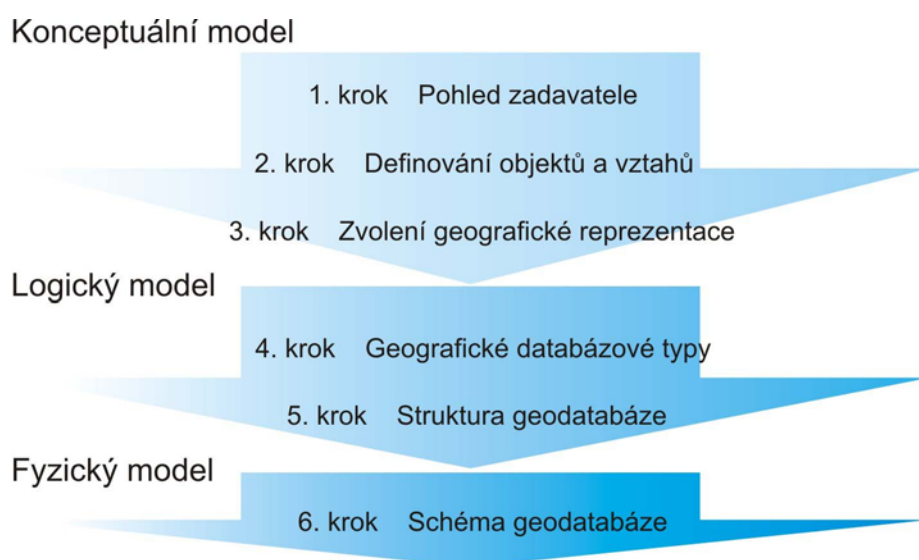
Obrázek 4.3: ukázka objektově relační databáze, zdroje [4].

4.2 Návrh geografické databáze

Tato podkapitola informace byly čerpány ze zdrojů [3], [4], [5], [12], [13].

Při návrhu geografické databáze se postupně vytvářejí tři modely. Celý proces navrhování lze rozdělit do 6 kroků podle zdroje [12] (obrázek 4.4).

Nejprve se vytvoří konceptuální datový model, definuje požadavky zadavatele. Měl by v jednom schématu co nejpřehledněji zachytit vazby a informace o všech datech. Představuje formální popis modelované reality. Logický datový model vychází z konceptuálního datového modelu. A posledním modelem je fyzický datový model (konečná struktura databáze).



Obrázek 4.4: postup navrhování geodatabáze, struktura převzata ze zdroje [12].

Konceptuální datový model

Pohled zadavatele

V této části se navrhují hlavní rysy databáze, co vše má databáze zabezpečit tak, aby výsledek odpovídal požadavkům zadavatele. Zvolí se data (prvky), jakými se bude databáze plnit. Tyto prvky se třídí do logických skupin (skupiny objektů).

Definování objektů a vztahů

V druhém kroku se identifikují a popisují objekty. Dále se upřesní vztahy mezi nimi. Tím vznikne objektový model neboli diagram.

Zvolení geografické reprezentace

V tomto kroku se určují geografické reprezentace jednotlivých prvků. Ty jsou seskupovány do tříd prvků, přičemž každá třída představuje kolekci prvků stejného typu. Například: sady vektorových prvků, rastrové datové sady, geometrické sítě, modely terénů, datové sady geodetických měření apod.

Logický model

Geografické databázové typy

Ve čtvrtém kroku jsou třídy prvků a vztahy mezi nimi rozhodnuté. Je potřeba určit geometrické typy prvků (body, linie nebo polygony), vztahy mezi nimi a doplnit atributové typy objektů. Struktura databázových prvků je podmíněna použitým systémem řízení báze dat, který daný software používá.

Struktura geodatabáze

V pátém kroku se provede organizace tříd prvků a tabulek. Související třídy prvků a tabulek jsou spojovány do datových sad prvků (Feature datasets), definují se topologické vztahy mezi nimi a přiřazuje prostorový referenční systém.

Fyzický model

Schéma geodatabáze

Při posledním kroku se vytvoří konečné schéma geografické databáze. Vychází se z logického modelu. Struktura databáze odpovídá tomu, jak jsou data uložena přímo v databázi.

4.3 ESRI geodatabáze

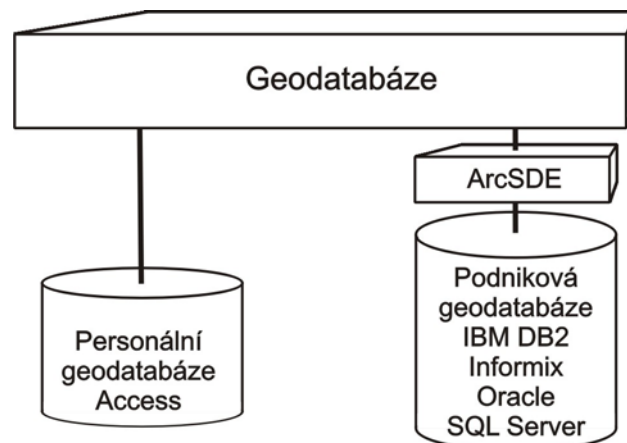
Tato podkapitola přibližuje technologii od firmy ESRI. Ústav pro památkovou péči „přechází“ na tuto technologii a v budoucnu ji chce využívat. Proto byla technologie od firmy ESRI použita při ukládání dat pro zámek Kozel, aby zde byla kompatibilita pro budoucí využití.

ESRI Geodatabáze (dále jen geodatabáze) je datový model pro reprezentaci geografických prvků v prostředí standardních relačních databázových systémů. Geodatabáze ukládá a spravuje prostorová data ve standardních databázových tabulkách. Prostorové datové typy do nich ukládá pomocí middleware.

Geodatabáze byla navržena jako otevřený a jednoduchý model pro ukládání prostorových dat. Je otevřená mnoha existujícím mechanismům ukládání dat a není svázána s jedním výrobcem databázového systému, lze využívat na různých databázových systémech, mohou mít různou velikost a různý počet uživatelů. Existují geodatabáze jednouživatelské, založené na databázi Microsoft Jet Engine (MS Access), ale existují také rozsáhlé, víceživatelské, sloužící velké pracovní skupině nebo celé organizaci, zdroj [5] (více o porovnání jednouživatelské a víceživatelské databázi v následující podkapitole).

4.3.1 Typy geodatabáze

Jsou k dispozici dva druhy architektury geodatabáze: personální geodatabáze a víceživatelská geodatabáze (obrázek 4.5), zdroj [5].



Obrázek 4.5: náčrt architektury geodatabáze, zdroj [5].

Personální geodatabáze (Personal geodatabase)

Personální geodatabáze se podobá souborovému pracovnímu prostoru a pojme maximálně 2 GB dat. Personální geodatabáze je ideálním formátem pro práci s menšími datovými sadami v rámci jednotlivých projektů GIS. Uživatelé často vytvářejí a používají více personálních databází současně. Personální geodatabázi může editovat vždy pouze jeden uživatel. Nelze využívat verzování (udržování více stavů geodatabáze a zároveň zajištění její integrity, verzování zaznamenává stavy jednotlivých prvků a objektů při přidávání, odstraňování nebo modifikaci).

Víceživatelské geodatabáze (multiuser geodatabase)

Víceživatelské geodatabáze vyžadují ArcSDE a dokáží pracovat s různými modely ukládání dat: IBM DB2, Informix, Oracle (s Oracle Spatial i bez něj)

a SQL Server. Víceuživatelské geodatabáze se používají jako centrální databáze pro pracovní skupiny, oddělení nebo celý podnik. Plně využívají výhod, které poskytují RDBMS, takže umožňují:

- realizovat extrémně rozsáhlé kontinuální databáze GIS,
- současnou práci mnoha uživatelů,
- provádět dlouhé transakce a verzování databáze.

Víceuživatelské geodatabáze lze snadno rozšířit až do extrémně velkého objemu dat i počtu uživatelů. Navíc objem dat a počet uživatelů může být v případě geodatabáze podstatně větší než při souborovém uložení dat.

4.3.2 Personální geodatabáze

Informace v této podkapitole jsou ze zdroje [14].

Personální geodatabáze je relační databáze, která ukládá geografická data. Slouží pro společné ukládání prostorových a atributových dat a vazeb, které mezi těmito daty existují. Jsou vytvářeny, editovány a spravovány použitím standardních menu a nástrojů prostředí ArcCatalog a ArcMap. Umožňuje klasifikovat prvky uvnitř jedné prvkové třídy použitím subtypů (subtypes), dále umožňuje definovat prostorové vztahy mezi daty použitím topologických pravidel (topology rules). Pravidla se mohou později přidávat i odebírat. Personální geodatabáze lze převést do víceuživatelské geodatabáze (z hlediska uživatele stejná struktura)

Základní struktura (personální) geodatabáze

Personal geodatabase – personální geodatabáze

Je tvořena *feature classes*, *feature datasets* a *nonspatial features*. Všechny tři komponenty jsou vytvořeny a spravovány v ArcCatalogu.

Feature Dataset – prvková datová množina

Feature Dataset obsahuje kolekci *FeatureClasses*. Třídy této množiny mají stejné prostorové určení. *Feature dataset* primárně slouží k uložení prvkových tříd, které mezi sebou mají topologické vztahy. Pro možnost definovat použití topologického pravidla mezi prvkovými třídami, musí být tyto třídy součástí jednoho *feature dataset*.

Feature Class – prvková třída

Feature Class je množina *Features*, které jsou stejného geometrického typu (bod, linie nebo polygon), se stejnou strukturou atributů a ve stejném souřadnicovém systému. V databázi je *Feature Class* zastoupena tabulkou. Prvkové třídy mohou v geodatabázi existovat jako samostatně stojící prvkové třídy, nebo mohou být součástí nějakého *feature dataset*.

Nonspatial features – „neprostorové“ tabulky

obsahují atributová data, která mohou být asociována s prvkovými třídami. Tyto tabulky obsahují pouze atributová data, neobsahují geometrické popisy prvků – což je odlišuje od tzv. *feature class tables*, které obsahují alespoň jeden sloupec s geometrickým popisem prvků.

Feature – prvek

Feature představuje objekt z reálného světa. V databázi odpovídá řádku v tabulce.

Další prvky personální geodatabáze

Domains – domény

Pomocí domén lze zabránit chybám při vstupu dat do geodatabáze. Také slouží ke kontrole hodnot atributů v existujících datech. Domény definují množinu přípustných hodnot, které lze do atributu vložit, buď výčtem hodnot (*coded value domain*) nebo rozsahem (*range domain*).

Topology – topologie

Topologie definuje prostorové vztahy mezi prvky. V geodatabázi jsou tři typy topologií – *geodatabase topology*, *map topology* a topologie vytvořená pro geometrickou síť (*geometry network topology*).

Relationship classes – vztahy mezi objekty reálného světa

Pomocí *relationship classes* lze definovat vzájemné vztahy *feature classes*. Například při odstranění jedné z nich dojde i k automatickému odstranění té druhé

Raster data – rastrová data

V geodatabázi lze také pracovat s rastrovými daty. Existují dva typy rastrových objektů – *raster dataset* a *raster catalog*.

Raster Dataset

Raster dataset je vytvořen z jednoho či více samostatných rastrů. V případě, že vytváříme raster dataset z násobného rastru, jsou tato data sloučena do jednoho datasetu. Vstupní rastry v takovém případě musí mít shodný souřadnicový systém, jednotnou velikost buňky a datový formát. Pro každý raster dataset je vytvořen soubor s příponou .img (ERDAS IMAGINE file).

Raster Catalog

Raster catalog obsahuje kolekci rastrů, které na sebe nemusí navazovat, mohou být uloženy v odlišných formátech a mít jiné vzájemné diference. Raster catalog je definován v geodatabázi jako tabulka, kterou si můžeme v ArcCatalogu prohlédnout jako jakoukoli jinou tabulku. Každému rastru (v rámci katalogu) odpovídá jedna řádka v tabulce raster catalogu.

5 Data pro uložení do geodatabáze

Data pro plnění databáze mohou rozdělit na již existující a poskytnuté správcem Kozlu panem Bobkem a nově pořízené laserovým skenováním společností Georeal.

5.1 Existující data

Tato data dále mohou dělit na podle druhu dat. Převážně se jednalo o geodetická data, naměřená Geodetickou kanceláří Česka. Dále byla k dispozici architektonická data od arch. Martiny Kučerové.

5.1.1 Geodetická data

Jednalo se o soubory formátu *.dwg používané v AutoCAD. Celkem se jednalo asi o 45 dokumentů. Nejprve bylo potřeba projít všechny soubory a postupně vyřazovat duplicitní nebo s porovnáním s ostatními neúplné (rozpracované) dokumenty. Po hrubém rozřazení následovalo vybírání dat, která se týkala areálu Kozel (zaměřování budov, stromů apod.). Po této selekci zůstaly následující soubory:

kozel.dwg

polohopisný a výškopisný plán areálu zámek Kozel – III. Etapa,
v souřadnicích S-JTSK,
ve výřezu bylo částečně i okolí areálu,

kozel176_02_prac.dwg

polohopisný a výškopisný plán areálu zámek Kozel,
v souřadnicích S-JTSK,
stav k 27. 11. 2002,
data pouze v okolí hlavních budov (Zámek, Jízdárna , Kaple, Lokajna, Konírna)

kozel_celk_sit.dwg

polohopisný a výškopisný plán areálu zámek Kozel – III. Etapa,
v souřadnicích S-JTSK,
v této verzi byla pouze data týkající se areálu,

kozel_prac.dwg

polohopisný a výškopisný plán areálu zámek Kozel,
v souřadnicích S-JTSK,

stav k 2. 5. 2002,
data pouze v okolí hlavních budov (zámek, jízdárna , kaple, lokajna, konírna)

stahlavy.dwg

vektorová data,
podklad – katastrální mapa,
v souřadnicích S-JTSK,
do výřezu zasahuje velká část Št'áhlav a Št'ahlavic,

kozel_kaple.dwg

podrobné zaměření kaple,
v souřadnicích S-JTSK,

jizdarna.dwg

podrobné zaměření jízdárny,
v souřadnicích S-JTSK,

5.1.2 Architektonická data

1.np.dwg

podrobné zaměření prvního patra kaple,
v místním souřadnicovém systému,

2.np.dwg

podrobné zaměření druhého patra kaple,
v místním souřadnicovém systému.

Tato data bylo nutné nejdříve transformovat do požadovaného souřadnicového systému S-JTSK. Tato transformace proběhla v AutoCAD.

5.2 Naměřená data

Data interiéru a exteriéru kaple pořízená laserovým skenerem. Měření zabezpečovala firma Georeal. Skenování proběhlo v listopadu 2005. Kompletní naměřená data budou přiložena na mediu. Do navrhované databáze vstupovala tato data jako zředené 3D body. Podrobněji popsáno v podkapitole 2.7.3 Měření na zámku Kozel.

6 Tvorba databáze

Po zvolení technologie ESRI, bylo potřeba vytvořit projekt v ArcGIS (viz 6.1 ArcGIS) a data uložit do personální geodatabáze (4.3.1 Typy geodatabáze).

6.1 ArcGIS

Systém ArcGIS je schopný přistupovat k datům v mnoha formátech a využívat současně data uložená v různých relačních databázových systémech a souborových formátech.

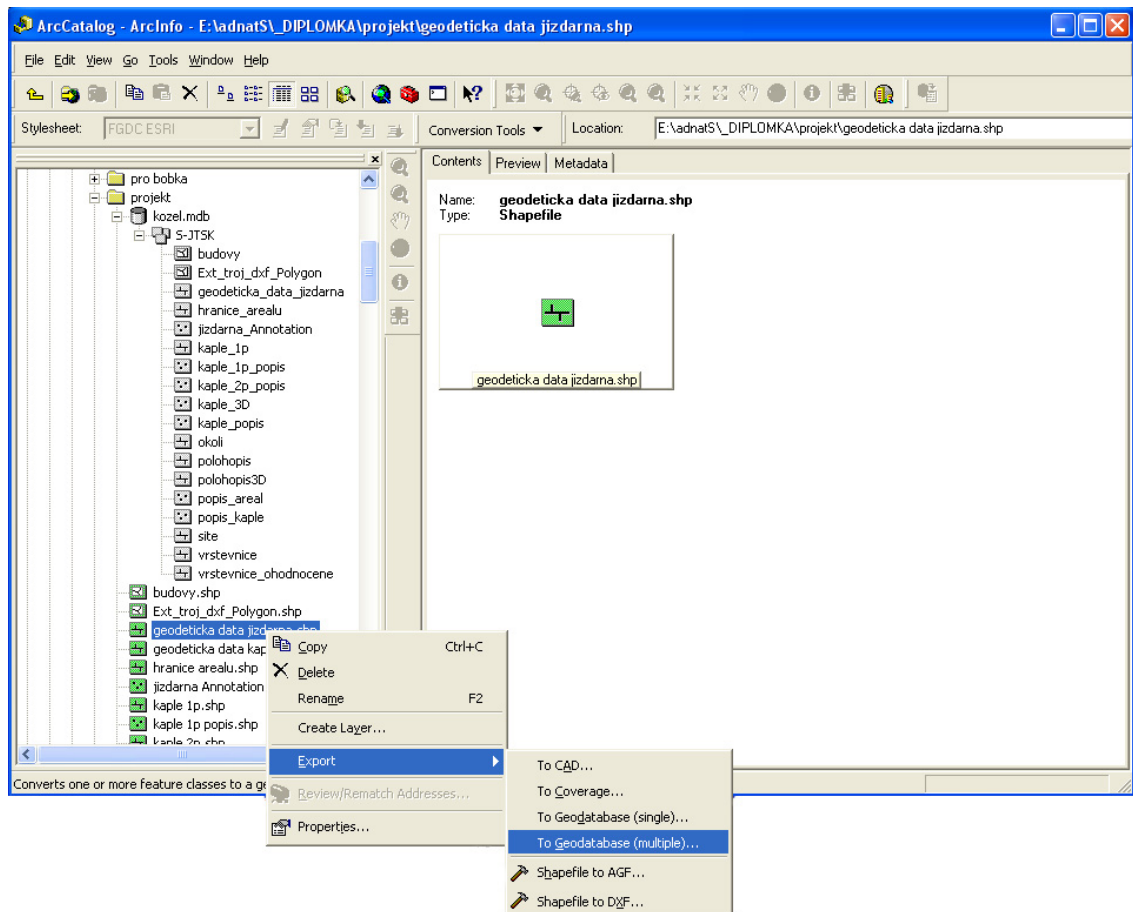
ArcGIS má obecný datový model pro reprezentaci objektů reálného světa formou prvků, rastrů a dalších typů prostorových dat. ArcGIS podporuje implementaci datového modelu jak pro souborové uložení, tak pro uložení dat v relačních databázových systémech. Podpora souborového způsobu uložení dat zahrnuje možnost přístupu k mnoha datovým formátům, jako jsou coverage, shapefile, gridy, snímky a nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN). Datový model geodatabáze spravuje tytéž typy dat, ale v relačním databázovém systému, zdroj [5].

6.2 Založení personální geodatabáze

Pro zjednodušení správného nastavení souřadnicového systému pro data pokrývající Českou republiku, byla stažena předpřipravená verze geodatabáze z internetových stránek firmy Arcdata Praha (<http://www.arcdata.cz/support/download#data>). Ta již obsahovala domény a přednastavený souřadnicový systém S-JTSK. Původní název *domeny.mdb* byl přejmenován na *kozol.mdb* a databáze byla připravena pro vstup dat.

6.3 Převod dat

V tomto kroku byla všechna data převedena z formátu *.dwg (popřípadě *.dxf – data získaná laserovým skenováním) do formátu shapefile nebo rovnou do personální geodatabáze. Tyto převody je možno provádět pomocí ArcCatalog. Na obrázku 6.1 jsou znázorněny oba typy uložení a způsob, jakým byla data z shapefile převedena do databáze (Převod souborů dwg a dxf do shapefile nebo do databáze je obdobný). Uložení v souboru shapefile a uložení v personální databázi je mezi sebou obousměrně převoditelné.



Obrázek 6.1: ukázka převodu souboru do personální databáze.

Po převedení dat bylo potřeba založit nový projekt v prostředí ArcMap. V tomto programu lze spravovat jak souborová data tak data uložená v personální geodatabázi (viz 6.1 ArcGIS).

6.4 Projekt v ArcMap

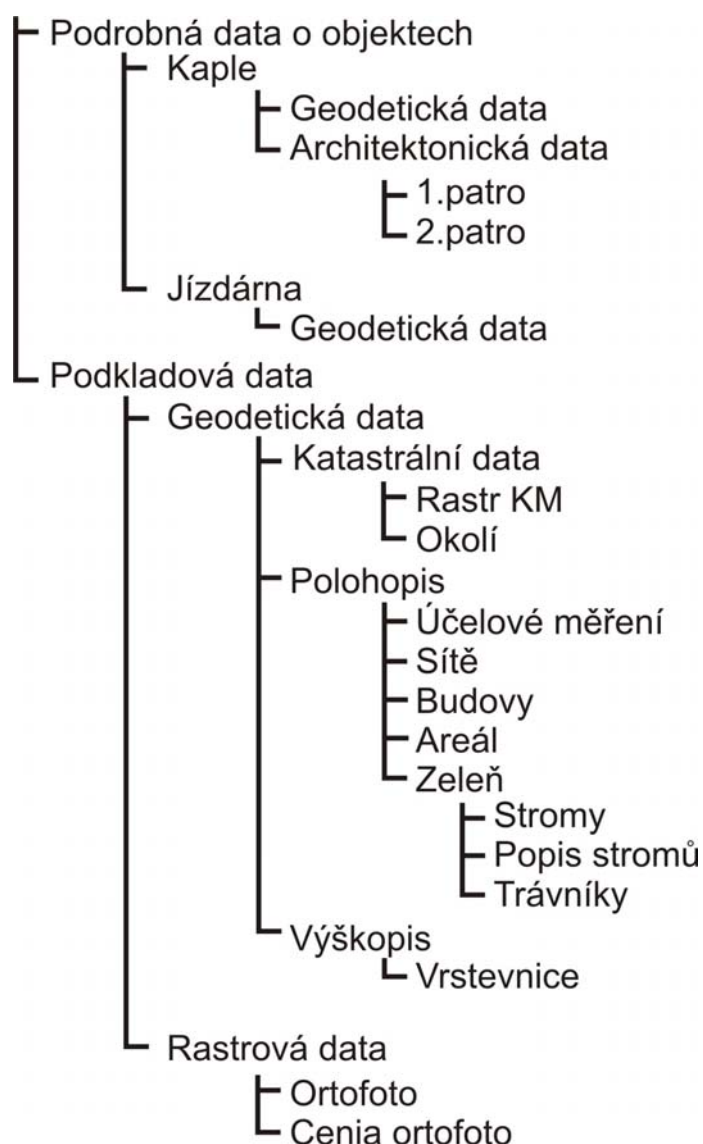
Byl vytvořen projekt *kozol.mxd*. V této chvíli bylo možné do projektu přidávat (otevírat) převedené soubory. ArcMap umožňuje práci s vrstvami (jednotlivé shapefile). Aby uživatel mohl využít této funkce, bylo potřeba navrhnout logické rozřídění dat, popsané v následující podkapitole. Konečný projekt *kozol.mxd* byl také uložen jako *kozol.mxt*. Formát *.mxt zachovává uloženou strukturu vrstev. Dále byl vytvořen soubor *kozolGPS.mxd* a projektu byl přiřazen souřadnicový systém WGS 84 UTM Zone 33N. V projektu *kozolGPS.mxd* lze rovnou odečítat GPS souřadnice.

6.4.1 Návrh mapových vrstev

Nejprve byla data rozdělena na podrobná data o objektech a podkladová data. Tyto skupiny se dále dělí. Podrobná data jsou vždy vztažena k určitému objektu (budově), další

dělení je podle typu dat (geodetická, architektonická data). Podkladová data jsou rozdělena na geodetická a rastrová data. Geodetická se dále dělí na katastrální data (data spojená s katastrální mapou (KM)), polohopis a výškopis. V polohopisu byla ještě vytvořena sekce zeleň.

Takto byla určena základní struktura vrstev a bylo potřeba získat odpovídající data ze souborů převedených z AutoCAD. Konečná struktura těchto vrstev vznikla až po podrobném prozkoumání jednotlivých souborů. Vypadá následovně:



Obrázek 6.2: struktura mapových vrstev.

Mapové vrstvy byly vytvořeny selekcí dat z převedených dwg souborů. Vznik konkrétních mapových vrstev popisuje následující podkapitola.

6.4.2 Vznik mapových vrstev

V této podkapitole jsou jednotlivě popsány mapové vrstvy, jak byly vytvořeny. Jednotlivé vrstvy byly do databáze uloženy jako *feature classes*.

V poskytnutých datech existují podrobná data pouze kaple a jízdarňy. Bylo získáno geodetické zaměření jízdarňy a u kaple navíc architektonická data prvního a druhého patra a také jednoduchý popis kaple.

PODROBNÁ DATA O OBJEKTECH

KAPLE

geodeticka_data_kaple

Tato vrstva vznikla ze souboru *kozel_kaple.dwg* a to dat typu polyline. Byl jí přiřazen souřadnicový systém S-JTSK.

1_patro

Tato vrstva vznikla převedením ze souboru *1.np.dwg* to dat typu polyline. Ještě před převodem bylo potřeba výkres v AutoCAD transformovat do souřadnicového systému S-JTSK. Do tohoto souboru bylo nakopírováno geodetické zaměření Kaple v souřadnicích S-JTSK a podle těchto dat byla transformována architektonická data. Byl jí přiřazen souřadnicový systém S-JTSK. Po otevření této vrstvy v ArcMap bylo barevné zobrazení přizpůsobeno výkresu v AutoCAD.

2_patro

Zde byly provedeny stejné kroky jako u vrstvy *1_patro*.

JÍZDÁRNA

geodeticka_data_jizdarna

Tato vrstva vznikla ze souboru *jizdarna.dwg* a to dat typu polyline. Byl jí přiřazen souřadnicový systém S-JTSK.

PODKLADOVÁ DATA

GEODETICKÁ DATA

KATASTRÁLNÍ DATA

Rastr_KM

Jedná se o rastr katastrální mapy. Není uložen v databázi. Byl pouze přejmenován z *kozel_ku.tif* na *rastr_KM.tif*.

okolí

Tato vrstva byla převedena ze souboru *stahlavy.dwg*, opět data typu polyline. Byla zařazena do skupiny katastrálních dat na základě toho, že její grafika odpovídá katastrální mapě. Dále ji byl přiřazen souřadnicový systém S-JTSK.

POLOHOPIS

areal

Tato vrstva byla získána ze souboru *kozel_celk_sit.dwg*, opět data typu polyline. Po načtení převedeného souboru byla pomocí atributového dotazu vybrána vrstva (Layer) *UCEL_MER* a ostatní vrstvy smazány. Z vrstvy *UCEL_MER* byla vytvořena hranice areálu. Datový typ polyline byl převeden na polygon, je možno ho lépe využívat (například pro výpočet výměry.) Dále byl vrstvě přiřazen souřadnicový systém S-JTSK.

ucelove_mereni

Vrstva *ucelove_mereni* byla získána ze souboru *kozel_celk_sit.dwg*, data typu polyline. Po načtení převedeného souboru byly pomocí atributového dotazu vybrány tyto vrstvy: *KULTURY*, *KULTURY_UCEL_MER* a *UCEL_MER*. Ostatní vrstvy byly smazány. Dále byl této vrstvě přiřazen souřadnicový systém S-JTSK.

site

Tato vrstva byla získána ze souboru *kozel_celk_sit.dwg*, data typu polyline. Po načtení převedeného souboru byly pomocí atributového dotazu vybrány tyto vrstvy: *EL*, *EL_VEL_OSV*, *MONYTORY*, *POC_SIT*, *SLB* a *VOD*. Ostatní vrstvy byly smazány. Dále byly jednotlivé druhy sítí barevně rozlišeny a této vrstvě byl přiřazen souřadnicový systém S-JTSK.

budovy

Vrstva budovy byla vytvořena podle polohopisu. Jedná se o polygonová data.

ZELEŇ

popis_arealu (pouze pracovní vrstva)

Tato vrstva vznikla převedením ze souboru *kozel_celk_sit.dwg* a to dat typu annotation.

stromy

Vrstva stromy byla získána ze souboru *kozel_celk_sit.dwg*, data typu polyline. Po načtení převedeného souboru byly pomocí atributového dotazu vybrány tyto vrstvy: *STROMY*. Ostatní vrstvy byly smazány. Dále byla tato vrstva převedena na bodovou vrstvu a byl této vrstvě přiřazen souřadnicový systém S-JTSK. Aby bylo možné vytvořit anotaci k této vrstvě, byla sloučena (pomocí join) s vrstvou *popis_arealu* (jednalo se pouze o data s popisem stromů). Ze spojené vrstvy byla vytvořena annotation (anotace) *stromy_cisla* pomocí „convert to Annotation“. V databázi mezi těmito vrstvami vznikl vzájemný vztah (relationship class).

V této sekci zeleň byla také v databázi založena vrstva *travniky*, ale nebyla zatím naplněna daty.

VÝŠKOPIS

vrstevnice

Tato vrstva byla získána ze souboru *kozel_celk_sit.dwg*, opět data typu polyline. Po načtení převedeného souboru byla pomocí atributového dotazu vybrána vrstva vrstevnic a ostatní vrstvy smazány. Po prozkoumání bylo zjištěno, že některým vrstevnicím chybí výškové ohodnocení. Těmto vrstevnicím byla tato hodnota přidána do atributu *Elevation*. Dále byl vrstvě přiřazen souřadnicový systém S-JTSK. Ze této vrstvy byla vytvořena annotation (anotace) *vrstevnice_vysky* pomocí „convert to Annotation“. V databázi mezi těmito vrstvami vznikl vzájemný vztah (relationship class).

RASTROVÁ DATA

ortofoto

Tento ortofoto snímek zobrazuje areál zámku. 1 pixel ortofota odpovídá 10 cm ve skutečnosti. Není uložen v databázi. Byl přejmenován z *kozelort.tif* na *ortofoto.tif*. Dále byl dotransformován podle vrstvy polohopis, která byla získána geodetickým měřením. Dále byl polohopis porovnáván s ortofotem z portálu geoportal.cenia.cz (viz vrstva *cenia_ortofoto*) a tyto vrstvy na sobě „seděly“.

Cenia_ortofoto

Tato vrstva, konkrétně ortofotomapa, je načtena z internetu z mapového serveru. V tomto případě 1 pixel ortofota odpovídá 1 m ve skutečnosti. Pokrývá celé území České republiky a je v souřadnicovém systému S-JTSK.

S touto vrstvou je možné pracovat, ale fyzicky je uložena na serveru poskytovatele (<http://geoportal.cenia.cz>). Lze ji načíst podobně jako ostatní shapefile nebo prvky personální geodatabáze. Pro načtení se zvolí *add dat*, vybere se *GIS Server* a *Add ArcIMS Server*, jako URL se vyplní <http://geoportal.cenia.cz> potvrdí se OK. Tím se v seznamu dostupných serverů objeví nabídka na IMS službu geoportal.cenia.cz. Po vybrání lze využít nabídku všech vrstev, které jsou na serveru <http://geoportal.cenia.cz> k dispozici. Pro tento projekt byla na ukázkou zvolena barevná ortofotomapa.

Další vrstvy, které jsou uloženy v databázi, ale nejsou zobrazeny v projektu v ArcMap.

budovy3D

Vrstva *budovy3D* vznikla konvertováním vrstvy *budovy* pomocí TIN do 3D. Tato vrstva je použita pro vizualizaci v ArcScene.

ucelove_mereni3D

Vrstva *ucelove_mereni3D* vznikla konvertováním vrstvy *ucelove_mereni* pomocí TIN do 3D. Tato vrstva je použita pro vizualizaci v ArcScene.

Stromy3D

Vrstva vznikla obdobně jako *ucelove_mereni3D*. Tato vrstva je také použita pro vizualizaci v ArcScene.

kaple_3D

Jedná se o data exteriéru kaple na zámku Kozel získaná pomocí laserového skeneru. Byla naměřena v listopadu 2005. Jsou to data typu point. Tato vrstva vznikla převodem souboru *.dxf. Ke každému bodu byla přiřazena intenzita, s jakou se od něj odrazil paprsek laserového skeneru. Tyto intenzity musely být uloženy v ASCII souboru vyexportovaným z programu RiSCAN PRO, protože soubory *.dxf je neobsahovaly. Tato vrstva je použita pro vizualizaci v ArcScene.

kaple_3D_trojuhel

Jedná se také o vizualizaci kaple na zámku Kozel. Vrstva vznikla převodem souboru *.dxf, kde byl uložen trojúhelníkový model kaple. V databázi je uložena pomocí polygonů.

6.5 Ukázka vizualizace dat v ArcScene

ArcScene patří do skupiny programů ArcGIS. Pracuje se stejnými daty a je určen především pro vizualizaci (obrázek 6.3). Projekt s názvem kozel3D.sxd používá následující vrstvy: TIN (digitální model terénu vygenerovaný z vrstevnic), kozel3D (body ohodnocené intenzitou), kozel3D_trojuhel (trojúhelníkový model), ucelove_mereni a stromy3D.

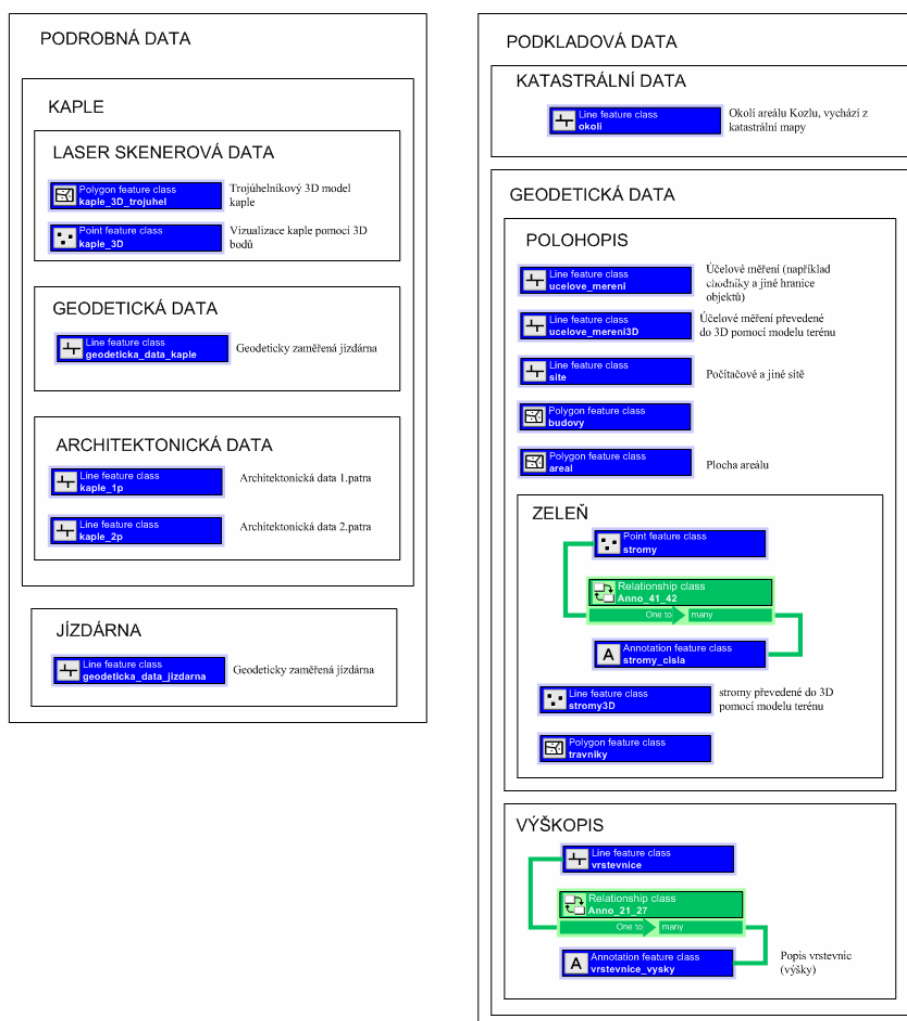


Obrázek 6.3: vizualizace dat v ArcScene.

6.6 Struktura báze dat

Vektorová data jsou uložena v ESRI personální geodatabázi, TIN a rastrová data jsou uložena mimo databázi z důvod větší stability. Jedná se v podstatě o samostatné tabulky s výjimkou anotací, ty jsou provázány s danou tabulkou pomocí relationship class. Ostatní struktura vrstev je tvořena v ArcMap. Ukázku logického modelu vytvořené personální geodatabáze najdete na obrázku 6.4. Tabulky s jednotlivými atributy jsou zobrazeny v příloze II. Je zde provedena analýza atributů, červeným písmem jsou zvýrazněny navržené atributy ke zrušení. Vpravo je popsán důvod zrušení. Ve většině případů se jedná o nevyplněné nepoužívané atributy, které vznikly převodem ze systému CAD (*.dwg) do GIS. Logický model s vyčištěnými atributy „ve formě posteru“ je přiložen pouze v digitální podobě na DVD.

Logický model



Obrázek 6.4: Logický model personální geodatabáze.

6.7 Již používané databáze na zámku Kozel

Jedná se o aplikace CASTIS a DOMINET.

CASTIS

V této databázi se dělí na dvě části. V jedné jsou uloženy informace o mobiliáři (obrazy, vázy apod.). Druhá část obsahuje informace o knihovém fondu. Popisné informace jsou doplněny fotografiemi předmětů. Také zde existuje propojení s dalšími databázemi využívanými Ústavem památkové péče.

DOMINET

Jedná se o systém, který ukládá informace o klimatických podmínkách v jednotlivých místnostech, jsou zde evidovány docházky zaměstnanců, telefonní hovory, odběry energií apod. Dále je systém propojen s kamerovým a požárním systémem.

7 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout prostorovou databázi, aby do ní bylo možné uložit geodetická a architektonická data a data pořízená laserovým skenováním.

První část práce je zaměřena na laserové skenování. V druhé kapitole je vysvětleno, co to je laserové skenování. Je zde popsán princip laserového skenování a také z čeho se laserový skener skládá. Porovnává letecké a pozemní skenování. Také je zde nastíněno, jaké chyby mohou ovlivnit měření. V třetí kapitole je zaznamenána praktická část laserových skenerů. Přibližuje laserové skenování kaple na zámku Kozel, co bylo nutné předem změřit geodeticky a jakým způsobem byla naměřená data zpracována.

Zbylá část práce byla věnována způsobu uložení dat. Čtvrtá kapitola popisuje, jak je možné data uložit do databáze, jakým způsobem se geografická databáze navrhuje. Dále je zde přiblížena technologie ESRI, která byla využita k uložení dat. V páté kapitole je přehled poskytnutých a naměřených dat a je zde popsáno, jak bylo nutné data roztrždit. Šestá kapitola se zabývá vytvářením geografické báze dat. Je zde zaznamenáno, jak byla data převedena do personální geodatabáze, jak byla data upravena a rozčleněna do jednotlivých vrstev v ArcMap. Výsledkem této práce je logický model uložení dat a projekty v AcrMap a ArcScene, které je možné v tomto okamžiku využívat. Jedná se zatím prvotní projekt, který lze v budoucnosti kdykoliv doplnit a rozšířit.

Přehled zkratk

GIS – Geografické informační systémy

GPS – Global positioning systém

IS – Informační systémy

KM – Katastrální mapa

S-JTSK – Systém jednotné triangulační sítě katastrální

TIN - Triangulated irregular network

Literatura a jiné zdroje

[1] Dolanský Tomáš: Lidary a letecké laserové skenování, Ústí nad Labem : Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2004, ISBN: 80-7044-575-0.

[2] Rapant Petr: Geoinformační technologie, Ostrava 2005.

[3] Arctur D., Zeiler M., Designing Geodatabases - Case studies in GIS Data Modeling, Redlands, California, ESRI Press, 2004, ISBN: 158948021X.

[4] Židek Vladimír: přednáškové materiály, [online], 18. 11. 2002, cit. 28. 3. 2006, <<http://www.ldf.mendelu.cz/ldf/fortech/skripta/GIS5ProstDB.pdf>>

[5] ESRI: Co je ArcGIS, [online], 2004, cit. 28. 3. 2006, <<http://www.arcdata.cz/download/doc/2005/Co-je-ArcGIS-90.pdf>>.

[6] Riegl: Terrestrial Scanner Overview, [online], 28. 4. 2006, cit 20. 5. 2006, <http://www.riegl.com/terrestrial_scanners/terrestrial_scanner_overview_/terr_scanner_menu_all.htm>.

[7] Kašpar Milan, Křemen Tomáš: 3D laserové skenovací systémy, [online], 21. 9. 2004, cit. 20. 4. 2006, < <http://si.vega.cz/clanky/laserove-pristroje-stavebnictvi/d-laserove-skenovaci-systemy/pdf/650.pdf> >.

[8] Riegl: Airborne Scanner Overview, [online], 11. 5. 2006, cit 12. 5. 2006, <http://www.riegl.com/airborne_scanners/airborne_scanners_overview_/airborne_scanner_menu_all.htm>.

[9] Kašpar Milan, Pospíšil Jiří, Štroner Martin, Křemen Tomáš, Tejkal Miloš: Laserové skenování systémy ve stavebnictví, Hradec Králové : Vega, 2003, ISBN: 80-900860-3-9.

[10] Riedl: *RIEGL Software Packages*, [online], 29. 9. 2005, cit 12. 5. 2006, <http://www.riegl.com/terrestrial_scanners/3d_software_selection_guide_/software_package_/riegl_software_index.htm>.

[11] Sirotko J.: Laserscanning - rychlý zdroj přesných 3D dat, [online], cit 20. 4. 2006, <http://gis.vsb.cz/gisengl/Conferences/GIS_Ova/GIS_Ova_2004/Abstracts/sirotek.htm>.

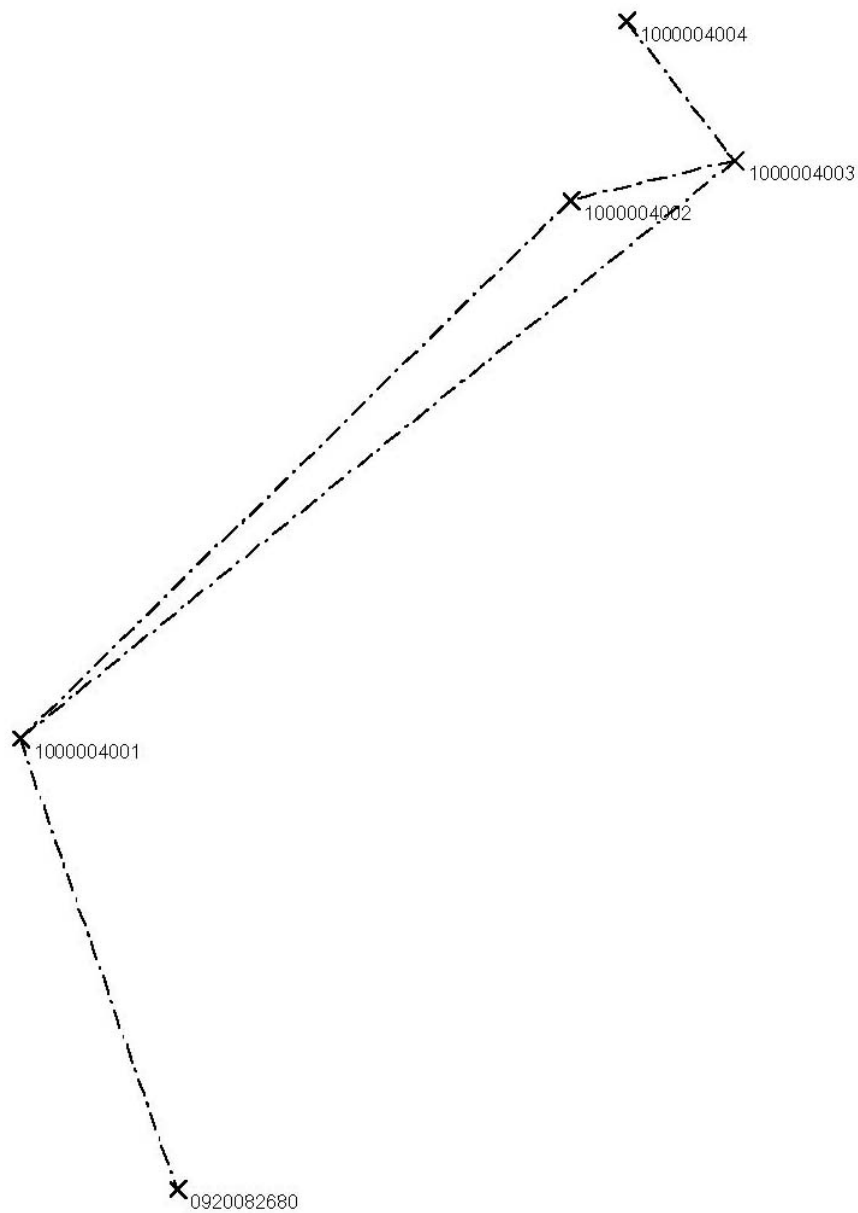
[12] Vokounová Lucie: Návrh struktury datového modelu pro správu elektrických distribučních sítí ZČE v GIS analýzou mezinárodního datového modelu ArcFM, Plzeň, 2003, Diplomová práce na FAV ZČU na katedře matematiky.

[13] Vondráček Karel: GIS řešení povrchového dolu, Plzeň, 2004, Diplomová práce na FAV ZČU na katedře matematiky.

[14] Pacina Jan, Janečka Karel: Výukové materiály k předmětu KMA/UGI na FAV ZČU na katedře matematiky, [online], cit 17. 5. 2006, <<http://gis.zcu.cz/studium/ugi/>>.

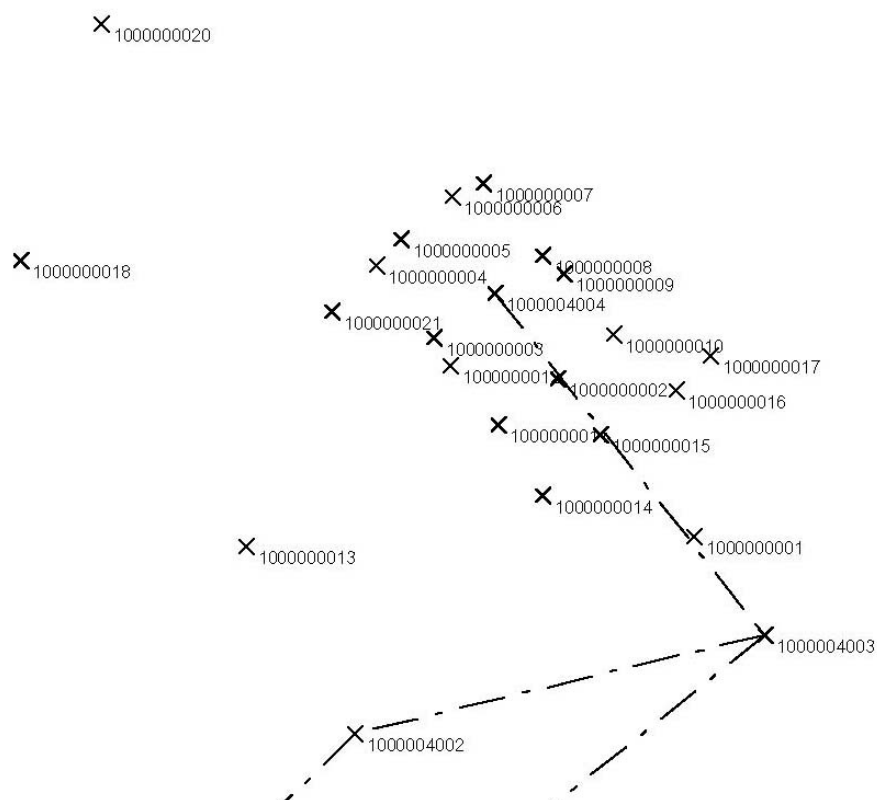
[15] Janečka Karel: fotografie z měření na zámku Kozel.

Příloha I: Ukázky z geodetické přípravy



Obrázek PI.1: přehled stanovisek.

X₁₀₀₀₀₀₀₀₁₉



V následujících tabulkách jsou vždy porovnávány souřadnice jednoho stanoviště získané z polygonového pořadu (S.B.), pomocí GPS RTK a statickou (STA) metodou.

č. b. 0920082680	Y [m]	X [m]	Z [m]	polohová odchylka [m]
S.B.	812831,910	1079827,850	384,730	
RTK	812831,915	1079827,837	384,679	
STA	812831,911	1079827,834	384,901	
S.B.-RTK	-0,005	0,013	0,051	0,014
S.B.-STA	-0,001	0,016	-0,171	0,016

Tabulka PI.1: porovnání bodu č. 0920082680.

č. b. 100004001	Y [m]	X [m]	Z [m]	polohová odchylka [m]
S.B.	812849,000	1079779,180	385,470	
RTK	812848,999	1079779,180	385,454	
STA	812848,997	1079779,163	385,671	
S.B.-RTK	0,001	0,000	0,016	0,001
S.B.-STA	0,003	0,017	-0,201	0,017

Tabulka PI.2: porovnání bodu č. 100004001.

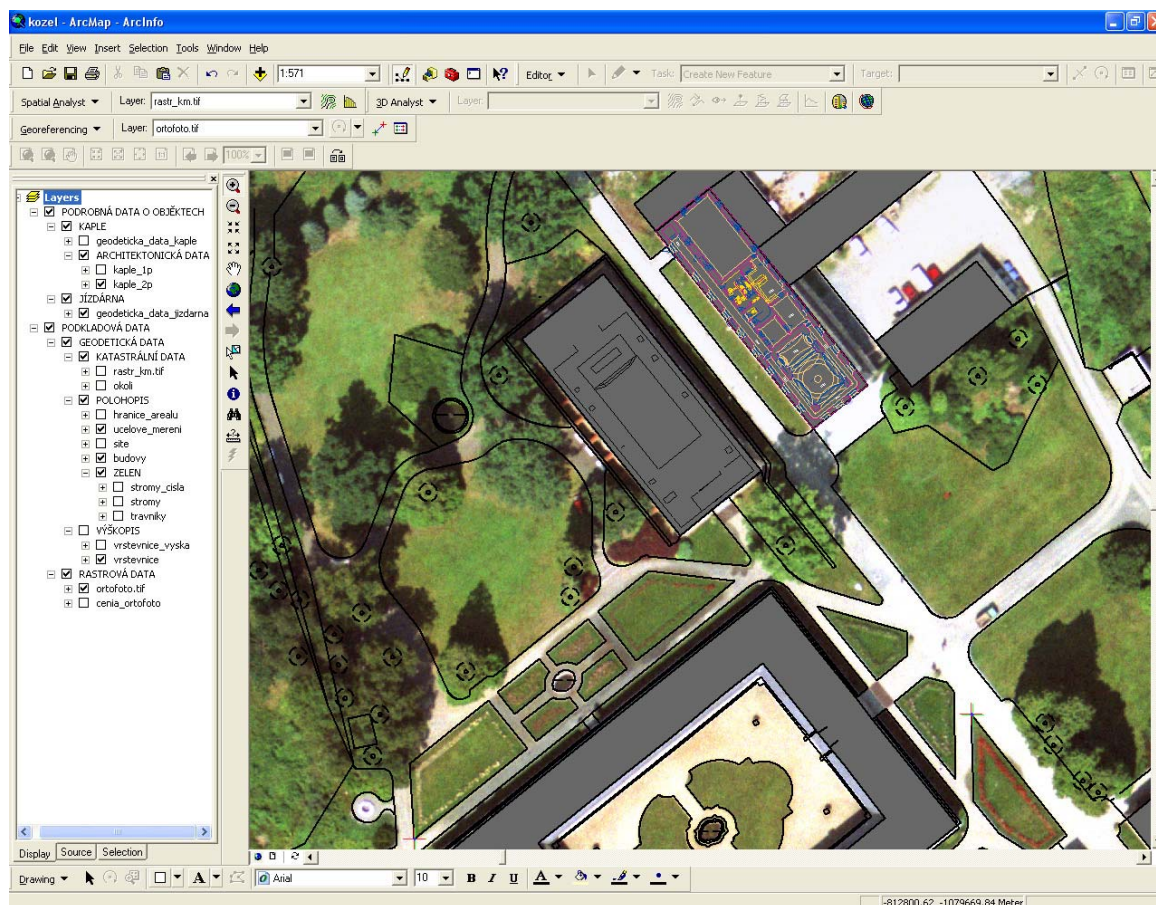
č. b. 100004002	Y [m]	X [m]	Z [m]	polohová odchylka [m]
S.B.	812789,430	1079721,060	388,070	
RTK	812789,409	1079721,050	388,035	
STA	812789,415	1079721,025	388,307	
S.B.-RTK	0,021	0,010	0,035	0,023
S.B.-STA	0,015	0,035	-0,237	0,038

Tabulka PI.3: porovnání bodu č. 100004002.

č. b. 100004003	Y [m]	X [m]	Z [m]	polohová odchylka [m]
S.B.	812771,600	1079716,740	387,510	
RTK	812771,605	1079716,744	387,509	
STA	812771,595	1079716,722	387,766	
S.B.-RTK	-0,005	-0,004	0,001	0,006
S.B.-STA	0,005	0,018	-0,256	0,019

Tabulka PI.4: porovnání bodu č. 100004003.

Příloha II: Ukázka projektu v ArcMap



Obrázek PII.1: ukázka projektu v ArcMap..

Příloha III: Analýza a vyčištění dat

Legenda

Červeně označené atributy jsou navrženy na smazání. Důvod je uveden vpravo vedle tabulky.

Simple feature class kaple3D_trojuhel						Geometry Polygon	Polygon
						Contains M values Yes	Yes
						Contains Z values Yes	Yes
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
Shape	Geometry	Yes					
Elevation	Double	Yes			0	0	
Shape_Length	Double	Yes			0	0	
Shape_Area	Double	Yes			0	0	

Trojúhelníkový 3D model kaple

Výška trojúhelníků

Simple feature class kaple_3D						Geometry Point	Point
						Contains M values Yes	Yes
						Contains Z values Yes	Yes
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
Shape	Geometry	Yes					
Intensity (Handle)	String	Yes					16
Elevation	Double	Yes			0	0	

Vizualizace kaple pomocí 3D bodů

Intenzita odraženého laserové paprsku
Výška bodů

Simple feature class geodeticka_data_kaple						Geometry Polyline	Polyline
						Contains M values No	No
						Contains Z values No	No
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
Shape	Geometry	Yes					
Entity	String	Yes					16
Handle	String	Yes					16
Layer	String	Yes					254
Color	Long Integer	Yes			0		
Linetype	String	Yes					254
Elevation	Double	Yes			0	0	
Thickness	Double	Yes			0	0	
Text_L	String	Yes					254
Shape_Length	Double	Yes			0	0	

Geodeticky zaměřená kaple

Typ objektu (ARC, LINE, POLYLINE)
???
Vrstva v původním dwg
Vše jen jedna hodnota (30)
Vše jen jedna hodnota (CONTINUOUS)
Bez hodnot
Bez hodnot
Bez hodnot

Vyčištěná tabulka

Simple feature class geodeticka_data_kaple						Geometry Polyline	Polyline
						Contains M values No	No
						Contains Z values No	No
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
Shape	Geometry	Yes					
Entity	String	Yes					16
Layer	String	Yes					254
Shape_Length	Double	Yes			0	0	

Geodeticky zaměřená kaple

Typ objektu (ARC, LINE, POLYLINE)
Vrstva v původním dwg

Simple feature class kaple_1p						Geometry Polyline	Polyline
						Contains M values No	No
						Contains Z values No	No
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
Shape	Geometry	Yes					
Entity	String	Yes					16
Handle	String	Yes					16
Layer	String	Yes					254
Color	Long Integer	Yes			0		
Linetype	String	Yes					254
Elevation	Double	Yes			0	0	
Thickness	Double	Yes			0	0	
Text_L	String	Yes					254
Shape_Length	Double	Yes			0	0	

Architektonická data 1.patra kaple

Typ objektu (ARC, CIRCLE, ELLIPSE LINE)
???
Vše jen jedna hodnota (STANDARD)
Barva v původním dwg
Typ linie (GETRENNT)
Bez hodnot
Bez hodnot
Place a succinct description of the field in this text

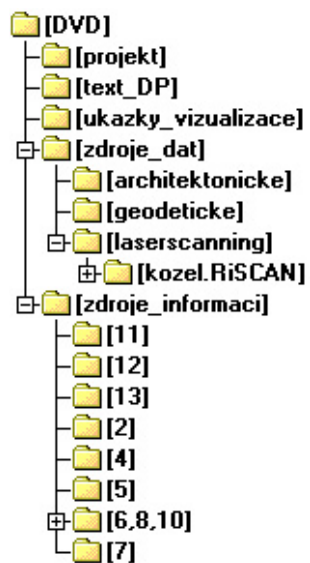
Vyčištěná tabulka

Simple feature class kaple_1p						Geometry Polyline	Polyline
						Contains M values No	No
						Contains Z values No	No
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
Shape	Geometry	Yes					
Entity	String	Yes					16
Linetype	String	Yes					254
Shape_Length	Double	Yes			0	0	

Architektonická data 1.patra kaple

Typ objektu (ARC, CIRCLE, ELLIPSE LINE)
Typ linie (GETRENNT)

Příloha IV: Obsah přiloženého DVD



Obsah jednotlivých adresářů je popsán v souboru *obsahDVD.txt* na tomto DVD.

