

4 Užítý LSS a software

4.1 Laserový skenovací systém CALLIDUS 1.1

Laserový skenovací systém Callidus 1.1 je výrobkem středně velké německé firmy CALLIDUS precision systems GmbH (CPS), která má sídlo v Halle/Saale ve Spolkové republice Durýňsko. LMS Callidus 1.1 je součástí vybavení Laboratoře Fotogrammetrie ČVUT, a proto data byla pořízena tímto skenerem. Systém má své klady i zápory které budou shrnuty v závěru.

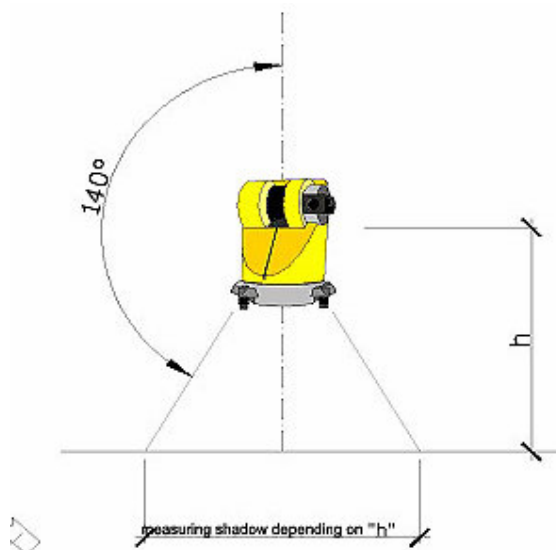
Nejdříve je potřeba vysvětlit rozdíl mezi označením Callidus CP 3200 a Callidus 1.1. Callidus CP 3200 je označení pouze samotného skeneru („měřící hlavy“), zatímco Callidus 1.1 je označení pro celý systém, tedy: laserový skener, řídící počítač s ovládacím programem LMS, stativ, elektrický zdroj a kabely (viz Obr. č. 4.1). Pro další popis budu používat termín Callidus, čímž bude míněn celý systém, tj. Callidus 1.1.



Obr. č. 4.1 – LMS Callidus 1.1

Callidus je panoramatický skener s praktickým dosahem měření 32 m. Měření je založeno na principu 3D polární metody (z dat z bezkontaktního dálkoměru, snímače úhlů a snímače sklonu jsou vypočteny 3D souřadnice), vzdálenost se určuje pomocí tranzitního času.

Zorné pole skeneru je $360^{\circ} \times 140^{\circ}$ (horizontální a vertikální směr) - viz Obr. č.4.2. Rozlišovací schopnost v horizontálním úhlu lze volit $0,0625^{\circ}$, $0,125^{\circ}$, $0,25^{\circ}$, $0,5^{\circ}$ a $1,0^{\circ}$. Rozlišovací schopnost ve vertikálním úhlu lze volit pouze ze tří možností, a to $0,25^{\circ}$, $0,5^{\circ}$ a $1,0^{\circ}$.



Obr.č. 4.2 – Zorné pole skeneru Callidus

Posun je zajištěn pomocí servomotorů, které otáčejí hlavou skeneru. S každým krokem laser snímá vertikální rovinu v rozsahu 140°, posun laserového paprsku ve vertikálním směru umožňuje rotující zrcátko. Skener využívá infračerveného laseru o vlnové délce 905 nm, a patří do 1. bezpečnostní třídy. Lze s ním měřit za jakýchkoliv světelných podmínek. V závislosti na vzdálenosti objektu od skeneru dosahuje Callidus řádově milimetrové přesnosti při dosahu do 8 a 32 m (přesnost vyplývá z povahy měření délek). Rychlost měření je 2750 bodů za sekundu. Skener lze upevnit na stativ nebo ho dokonce lze díky třem integrovaným nožkám postavit přímo na pevnou podložku. Čidlo náklonu (které je součástí skeneru) zajišťuje kontrolu náklonu a jeho případné opravy v případě, že dojde k náhodnému náklonu během měření.

V přístroji je zabudována digitální komora, která může vytvořit „panoramatický“ pohled (ve skutečnosti mozaika poskládaná z více snímků) na skenovanou oblast. Elektronický kompas, který udává orientaci skeneru (potažmo skenovaných bodů) k magnetickému severu, je též součástí systému. Skener má hmotnost 17.9 kg a je napájen z externí baterie.

Měření vzdálenosti	
Dosah	0,15 – 32 m
Maximální vzdálenost	40—80 m (v závislosti na povrchu)
Směrodatná odchylka měřené délky	$\sigma = 5$ mm
Typická rychlost měření	1750 bodů/sekundu
Přesnost měření délky	Definuje uživatel (mm,cm,dm)
Typická přesnost modelovaného povrchu ¹⁾	± 2.5 mm (závisí na průměrování)
Princip měření délky	Měření tranzitního času
Typ laseru (skener)	Infračervená laserová dioda
Bezpečnostní třída laseru	1 (bezpečné pro oko)

4 Užitý LSS a software

Vlnová délka laseru	905 nm
Frekvence	28 000 Hz
1) Vypočteno jako statistický průměr (při předchozím použití funkcí softwaru 3DExtractor, díky nimž se částečně eliminovaly chyby měření) při měřené vzdálenosti od 1 m do 30 m (odraznost povrchu >10 %, okolní světlo < 5 Lux a při vnitřní teplotě od 10° C do 50 ° C)	
Parametry Skeneru - vertikální	
Zorné pole	140 ° (0°; až 140°, vzhledem k vertikále)
Skenovací mechanismus	Rotující zrcátko
Skenovací rychlost	77 skenů/vteřina
Rozlišovací schopnost	0.25°, 0.5°, 1°
Vnitřní přesnost úhlu (měření)	$\sigma = 0.009^\circ$
Parametry Skeneru - horizontální	
Zorné pole	360°
Skenovací mechanismus	Hnaný servomotorem do pozice na kruhu
Rozlišovací schopnost	0.0625°, 0.125°, 0.25°, 0.5°, 1°
Vnitřní přesnost úhlu (měření)	$\sigma = 0.005^\circ$
Parametry digitální komory	
Ohnisková vzdálenost	4.1—73.8 mm (18x Zoom)
Minimální osvětlení předmětu	1 Lux (F1,4; 1/50 s) 0.07 Lux (F1,4; 1/3 s)
Operační teplota	0° C až +50° C
Skladovací teplota	-20° C až +60° C
Dvouosý kompenzátor	
Rozsah	$\pm 10^\circ$
Výstupní úhlová přesnost (úhel > 2°)	$\pm 0.025^\circ$
Výstupní úhlová přesnost (úhel < 2°)	$\pm 0.005^\circ$
Elektronický kompas	
Rozsah měřeného úhlu	0—360°
Výstupní hodnota	Vztažená k severu
Výstupní přesnost úhlu	$\pm 3^\circ$ (ne v blízkosti velkých železných předmětů nebo energetických polí)
Sklonový úhel	$\pm 10^\circ$
Rozměry systému	

Měřicí hlava (výška x poloměr)	460 mm x 300 mm
LMS počítač(šířka x výška x hloubka)	450 mm x 310 mm x 200 mm
Hmotnosti	
Měřicí hlava	17.9 kg
LMS počítač	14.8 kg
Stativ a jeho obal	10.0 kg a 4.0 kg

Tabulka 4.1 Callidus 1.1 – Technické údaje (vybrané)

	LMS počítač	Měřicí hlava
Jméno/Typ	Přenosný PC	Callidus 1.1
Operační teplota	0° C až 45° C	-10° C až 40° C
Skladovací teplota	-20° C až 70° C	-20° C až 70° C
Relativní vlhkost	20% až 85 % (nekondenzující)	20% až 85 % (nekondenzující)

Tabulka č. 4.2 Okolní podmínky (vybrané)

Samotný skener se ovládá pomocí programu Laser Measuring System (dále LMS), který je nainstalován v řídicím počítači a funguje pod OS Windows 9X nebo NT (v případě fakultního skeneru konkrétně Win 98 nebo 2000). V kapitole částečně čerpáno z [9] a [B].

4.2 Software Laser Measuring System

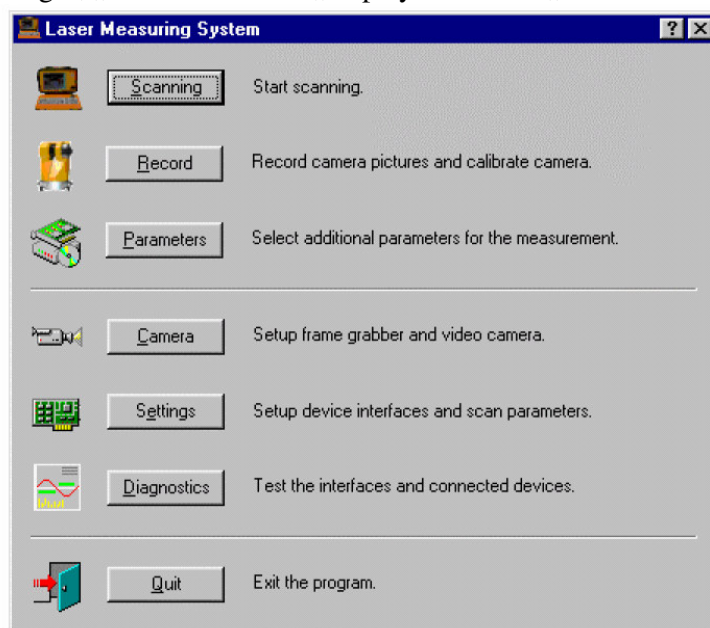
Přestože každý LSS je bez ovládacího měřicího software nefunkční a software je jeho nedílnou součástí, popíši LMS v samostatné kapitole, protože v literatuře se toto rozdělení dodržuje. V následujících odstavcích se nebudu detailně zabývat všemi funkcemi a možnostmi LMS software, pouze zmíním ty, které jsem musel použít a nastavovat.

Po spuštění LMS se objeví hlavní dialog (viz Obr. č. 4.3), přes který se uživatel dostane ke všem nastavením parametrů skenování anebo také rovnou k samotnému skenování. Pro běžného uživatele jsou nejdůležitější a nejvíce používané první tři tlačítka a poslední tlačítko - konec programu.

„Scanning“ je tlačítko, po jehož zvolení naběhne „Scanning“ dialog, a skener po kliknutí na tlačítko „Start“ začne skenovat. Vidíme zde parametry skenování, tj: vertikální a horizontální (skenovací) rozlišení, nastavení přesnosti (přibližně), maximální skenovací vzdálenost, počet měření, ze kterých se vypočte jeden bod, nastavení horizontální oblasti skenování a nastavení digitání kamery.

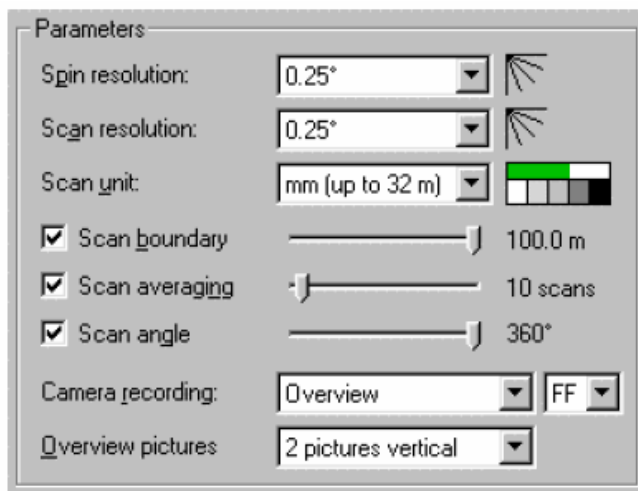
V okně máme dále přehled o okamžité délce a pokroku skenování a stejně tak nám, mimo jiné, program říká, co právě dělá (tento dialog společně s časy se ukládá a je součástí výsledného .lms souboru). Zajímavé jsou tři možnosti zobrazení skenovaného prostoru –

„camera recordings“, „area violation“ a „display distance“. „Camera recordings“ zobrazí



Obr. č. 4.3 – Hlavní dialog LMS

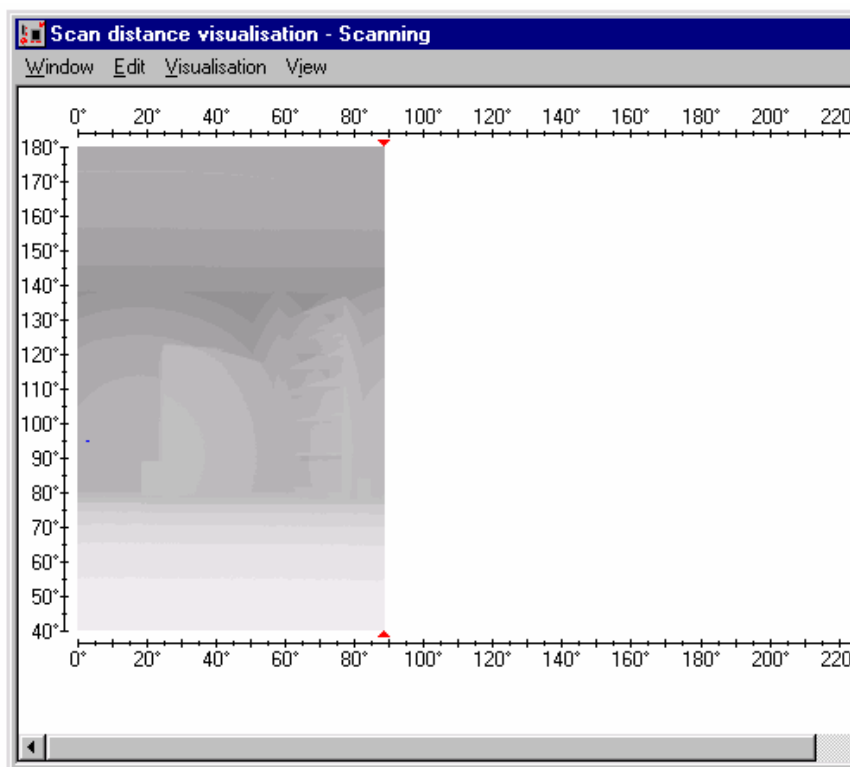
aktuální mozaiku již pořízených snímků. Po zvolení tlačítka „area violation“ se otevře okno „Scan area overflows“, ve kterém graficky uvidíme kolik procent (pro jednotlivý



Obr. č. 4.4 – část dialogu „Scanning“

horizontální sken) měřených délek je mimo dosah skeneru. Tlačítko „display distance“ otevře okno „Scan distance visualization“, ve kterém jsou graficky zobrazeny změřené vzdálenosti (převedeny podle velikosti na stupně šedi do rastru). V okně se také barevně zobrazují místa, kde nebyl žádný odraz zaznamenán, anebo naopak byl velmi silný (velmi

odrazivé povrchy, např. hranoly anebo sklo kolmo na směr hranolu). Díky tomuto grafickému zobrazení měření se může jednoduše a rychle zhodnotit kvalita měření.



Obr. č. 4.5 – část dialogu „Scan distance visualisation“

V okně můžeme přepnout grafické zobrazení vzdálenosti na zobrazení intenzity odražené energie. Také si můžeme nechat zobrazit polohy vyhledaných hranolů, ale jen v případě, že jsme chtěli intenzitu zaznamenat, potažmo hranoly hledat (obojí se dá nastavit v menu „parameters“).

Tlačítko „Record“ v hlavním dialogu vede ke kalibraci digitální kamery a k nastavení pořizování snímků.

V podmenu „Parameters“ se dají měnit různé parametry skenování. Protože jsem chtěl mračna následně spojit (tzv. registrovat) pomocí známých bodů – hranolů, zajímalo mě nastavení jejich vyhledání. Například se dá měnit rozlišení, s jakým se má skenovat blízké okolí hranolu, což vede k zvětšování přesnosti jeho určení. Údaje o hranolech se po měření a výpočtu přesné polohy uloží do souboru formátu .prp, ve kterém jsou o každém hranolu tyto údaje: číslo hranolu, horizontální úhel, vertikální úhel (oba ve stupních), číslo které udává, z kolika měření je střed hranolu vypočítán, a nakonec šikmá vzdálenost v mm.

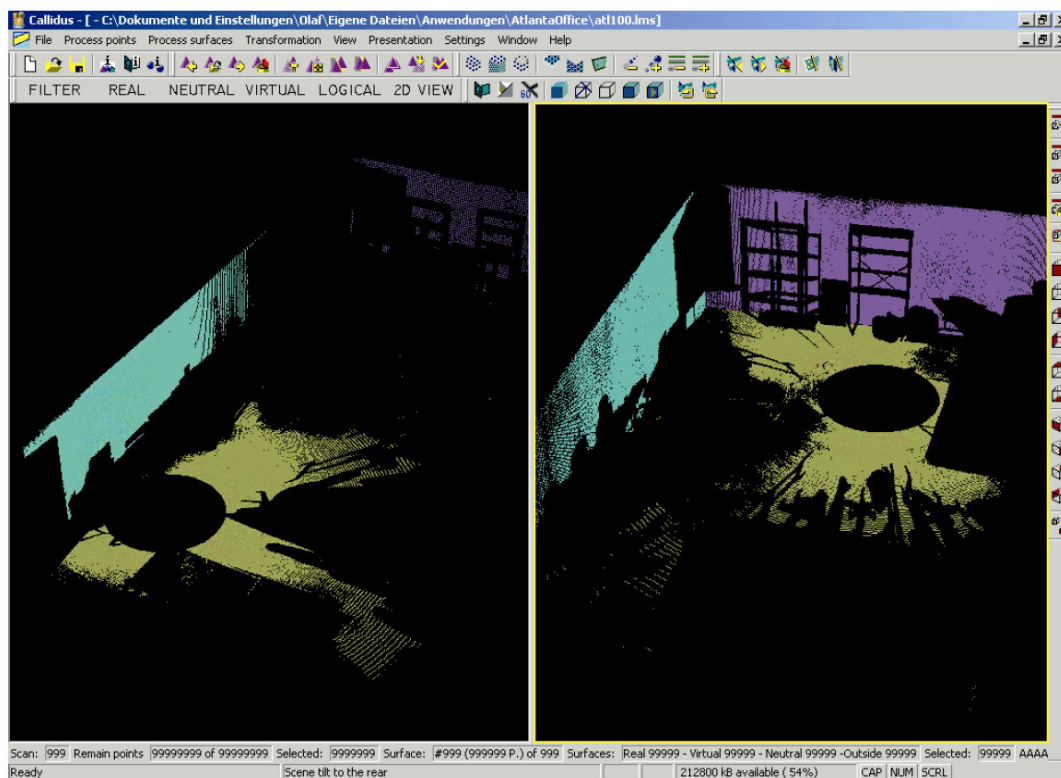
LSS Callidus 1.1 je poměrně dobrý a „uživatelsky přátelský“ systém. K jeho kladům patří srozumitelné ovládání a zajímavé přídatné funkce, například grafické zobrazení měřené vzdálenosti (viz výše). Nicméně nešťastná je nízká vertikální rozlišovací schopnost, která vede k tomu, že systém je při dodržení určité hustoty skenu použitelný pro určité aplikace pouze přibližně do vzdálenosti 10 m. Pro další zpracování je důležité zmínit, že údaje o poloze se ukládají v matematickém systému pravotočivém a nikoli v levotočivém, jak jsme zvyklí z S-JTSK (geodetickém). A další slabinou je poměrně „user-unfriendly“

modelovací software 3D-Extractor, ale o tom až v další kapitole. V kapitole částečně čerpáno z [9] a [B].

4.3 Software 3D-Extractor

3D-Extractor je software dodávaný k systému Callidus 1.1, který slouží k následnému zpracování, modelování a vyhodnocení naskenovaných mračen bodů. Mým původním záměrem bylo provést vyhodnocení v tomto software, který je však v mnoha ohledech „nepřátelský“, a proto jsem data zpracovával v jiných software.

Protože jsem chtěl spojit jednotlivé skeny pomocí transformace přes vlíčovací body (hranoly), 3D-Extractor se coby produkt výrobce Callidus 1.1 jevil jako nejvhodnější program. Při „registraci“ však v jednom okamžiku manuál tvrdil něco, co ve skutečnosti nešlo provést, a celá procedura spojování skenů zůstala na mrtvém bodě. Přestože se přesnost transformace (shodnostní 3D) přes 4 body (hranoly) sice ukázala jako nedostačující a 3D-Extractor umožňuje spojení jednotlivých skenů pomocí speciální funkce „fuzzy join“ (využívající speciální algoritmus, který na sebe natransformuje dvě mračna, pokud mají alespoň 20% překrytové oblasti), ostatní nedostatky programu převážily a byl jsem nucen si vybrat jiný software.



Obr. č. 4.6 Ukázka prostředí software 3D-Extractor

Také pouhé ovládání 3D pohledu na data je velmi nepohodlné. K jednotlivým ovládacím prvkům nestačí ovládání myši spolu se stiskem některých kláves (jak je tomu u většiny ostatních podobných software), ale musí se myš najet do určité oblasti okna, kde se posléze „vysvítí“ daná funkce.

Třetím velkým nedostatkem tohoto software je nemožnost tvorby například vrstevnic, řezů a nepřítomnost dalších užitečných funkcí, které jiné jemu podobné programy mají.

Je nutno říci, že 3D-Extractor má i zajímavé a ojedinělé prvky. K nim patří například zajímavé vizualizace při importu dat při pouhém náhledu na sken, barevné rozlišení bodů podle vzdálenosti od skeneru nebo podle toho k jaké světové straně je, např. rovina, orientována, anebo v jaké se nachází výšce (toto zobrazení je nastaveno jako defaultní).

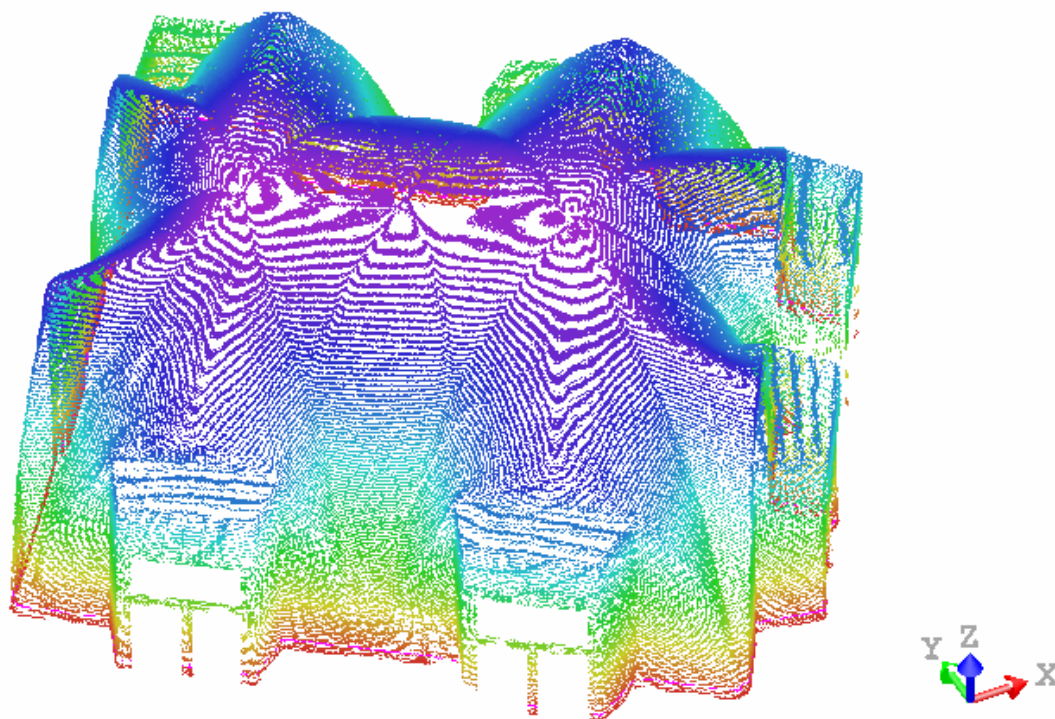
Tento program jsem nakonec použil jen pouze pro export bodů do .txt souboru ve formátu X Y Z. Postup je jednoduchý, označí se mračno bodů, nastaví se formát výstupu v menu „File, export measured points – point export settings“ (v menu „Settings“ je nastavení programu a v následném submenu „Options“ lze např. měnit přesnost vystupujících souřadnic) a mračno je exportováno do zvoleného formátu (např. ASCII nebo .txt formát), který, s velkou pravděpodobností, dokáže otevřít jakýkoli software pro zpracování. Bohužel tímto exportem se ztrácí informace o velikosti intenzity odražené od jednotlivých bodů nebo poloha vyhledaných hranolů. V kapitole částečně čerpáno z [9] a [B].

4.4 Software Realworks Survey

Software Realworks Survey (RS) je produktem francouzské firmy MENSI, která byla ale v roce 2003 zakoupena společností Trimble a v současné době je tedy její součástí. Firma MENSI měla, a nyní tedy má i Trimble, dva software na zpracování dat laserového skenování – Realworks Survey a 3Dipsos. Dlouho mi nebylo jasné, proč jedna firma souběžně vyvíjí dva podobné programy. Po jejich používání jsem si na věc udělal vlastní názor. Každý software má své specifické funkce, který ten druhý nemá. RS je program spíše pro editaci získaných dat, zjišťování vlastností naskenovaného mračna (potažmo objektu). Při zpracovávání dat oběma programy je logicky požíván jako první. Zatímco 3Dipsos je určen pro vlastní modelování, a to aproximací neskenovaných bodů tělesy (geometrickými primitivy) nebo trojúhelníkovou sítí (známou také jako mesh). Osobně si ale myslím, že dělení na dva programy není nutné a že by bylo možné všechny funkce z obou programů integrovat do jediného software. Komunikace mezi programy není na dobré úrovni (např. nelze exportovat objekty vytvořené v RS do 3Dipsos, exportovat lze pouze mračno bodů nebo jeho části).

Oba programy (jako ostatní programy) používají dělení projektu pomocí stromové struktury - analogie adresářové struktury. Objekty (míním tím mračna bodů nebo jiné typy objektů - křivky, plochy, tělesa, tedy obecně geometrické entity) jsou takto přehledně uspořádány.

Součástí RS jsou mimo jiné dále popsané užitečné funkce. Mezi základní patří měřicí nástroj, kterým měříme vzdálenosti, úhly atd.; segmentační nástroj, který umožňuje rozdělovat mračna bodů na menší části; a nakonec „sampling (tool)“ - nástroj, který snižuje počet bodů pomocí různých filtrů. Nástroj, který jsem nejvíce využíval, se nazývá „cutting plane (tool)“. Pomocí něho se dají tvořit i vícenásobné libovolné řezy (jimiž se dají prokládat polylines), které se ukládají jako volitelně tenká samostatná mračna bodů. Tento nástroj se mi jevil lepší než speciální nástroje pro tvorbu vrstevnic nebo profilů, a to pro svoji univerzálnost a přesnějšími a editovatelnými výstupy. Neskenované body se dají (a to jen a pouze neskenované body, bohužel nelze zvolit bod kdekoli v prostoru) prokládat spojenými přímkami (polylines), nicméně křivky v tomto programu prokládat nelze. Součástí RS je rovněž nástroj sloužící k „registraci“, neboli transformování více skenů do jednoho. Za zmínku stojí i nástroj „mesh creation (tool)“, pomocí kterého se dá vytvořit mesh (lépe editovat a tvořit se ovšem dá v programu 3Dipsos). V kapitole částečně čerpáno z [10].



Obr. č. 4.7 - Nástroj „cutting plane tool“ v programu Realworks Survey

4.5 Software 3Dipsos

Jak je již napsáno v předchozí kapitole, 3Dipsos je produktem firmy Trimble a je určen hlavně k modelování aproximací neskenovaných bodů geometrickými entitami nebo trojúhelníkovou sítí. Jeho prostředí je podobné prostředí RS (např. podobná adresářová struktura objektů), bohužel velmi nešťastné je rozdílné ovládání modelového prostoru (zvláště při přepínání mezi oběma programy).

Tento program, stejně jako RS, umožňuje registraci více mračen bodů do jednoho. Může to být provedeno přes vlíčovací body (rozeznané skenerem) anebo přes společné (překrytové) části mračna. Stejně také umožňuje měření délek, segmentování a filtrování dat, můžeme si ovšem vybrat z více možností. Lze taktéž vytvářet mesh, nicméně i tento nástroj je v tomto programu dokonalejší, hlavně co se týká editace.

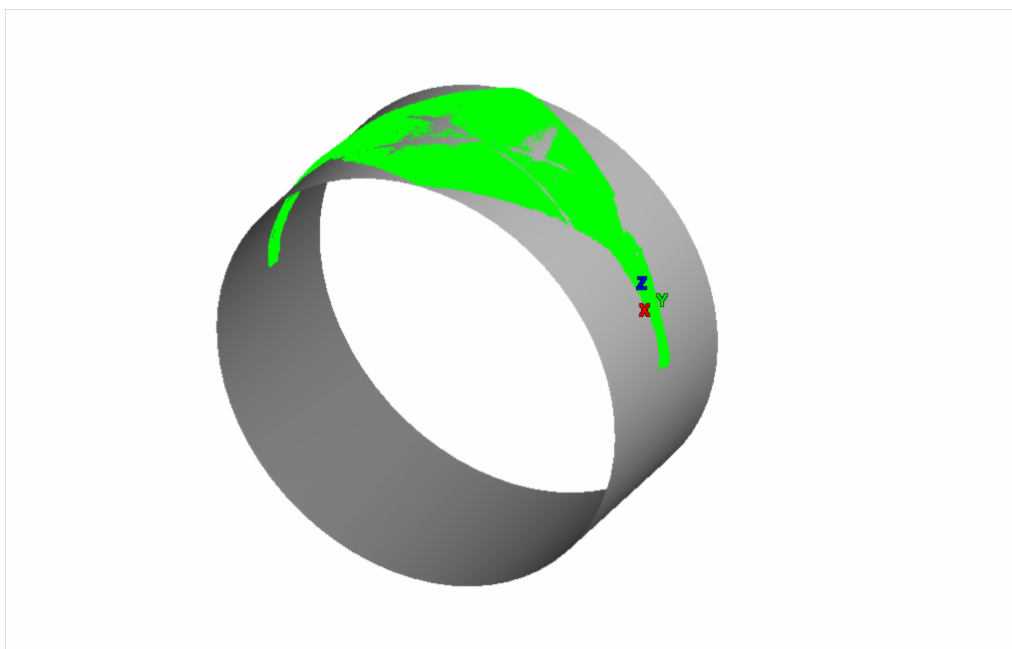
RS však postrádá vkládání různých entit, konkrétně geometrická primitiva jako např. válec, kužel (3D), rovina, kružnice a elipsa (2D). Tuto funkci jsem používal nejčastěji. Ve vlastnostech vložených primitiv je mimo jiné i přesnost - směrodatná odchylka jednotková (SOJ), která říká, že přibližně 60% bodů leží od proložené entity do vzdálenosti dané její hodnotou. Nicméně v tomto programu je hodnota SOJ počítána jiným způsobem (mně i manuálu 3Dipsos neznámým). Hodnoty SOJ jsou rozdílné od jiných programů, takže jsem tyto přesnosti nemohl brát za korektní. Stejně tak například při prokládání válcem výpočet často neiteruje a proložené těleso je v nesmyslné poloze. Další nevýhodou tohoto programu je, že v něm stejně jako v RS, není možné prokládat křivku body. Na rozdíl od RS lze v 3Dipsosu kamkoli do prostoru vložit primitiva (nejsou tedy vázány na body mračna). Stejně jako z RS lze i z tohoto programu importovat výsledný model do formátu

.dxf (AutoCAD) a .dgn (Microstation). V kapitole částečně čerpáno z [11].

4.6 Software Cyclone

Program Cyclone je produktem firmy Leica Geosystems HDS, Inc. z USA. Tento program jsem používal poměrně málo, takže jsem neměl tu možnost se seznámit s většinou jeho funkcí a možnostmi. Cyclone jsem využil k prokládání těles částmi mračna.

Cyclone má poněkud méně srozumitelnou strukturu celého projektu než ostatní software pro zpracování, nicméně po chvíli se člověk zorientuje. Program má vlastního „průzkumníka“, který se jmenuje Navigační okno (The window Navigator). V něm je potřeba založit server, poté databázi, pak modelspace, kde se až poté dá mračno prohlížet v oknu modelspace view (proto ta zmínka o nesrozumitelnosti). V okně modelspace view jsem tedy používal jen vkládání primitiv: válec, kužel, koule, a to proto, aby se ověřily výsledky z knihovny SPATFIG a aby výsledky proložení mohly být vizuálně zkontrolovány a předvedeny. Details o vloženém tělese jsou uspořádány velmi přehledně a na rozdíl od programu 3Dipsos Cyclone ukazuje věrohodné směrodatné jednotkové odchylky.



Obr. č. 4.8 - Program Cyclone - proložení valené klenby válcem

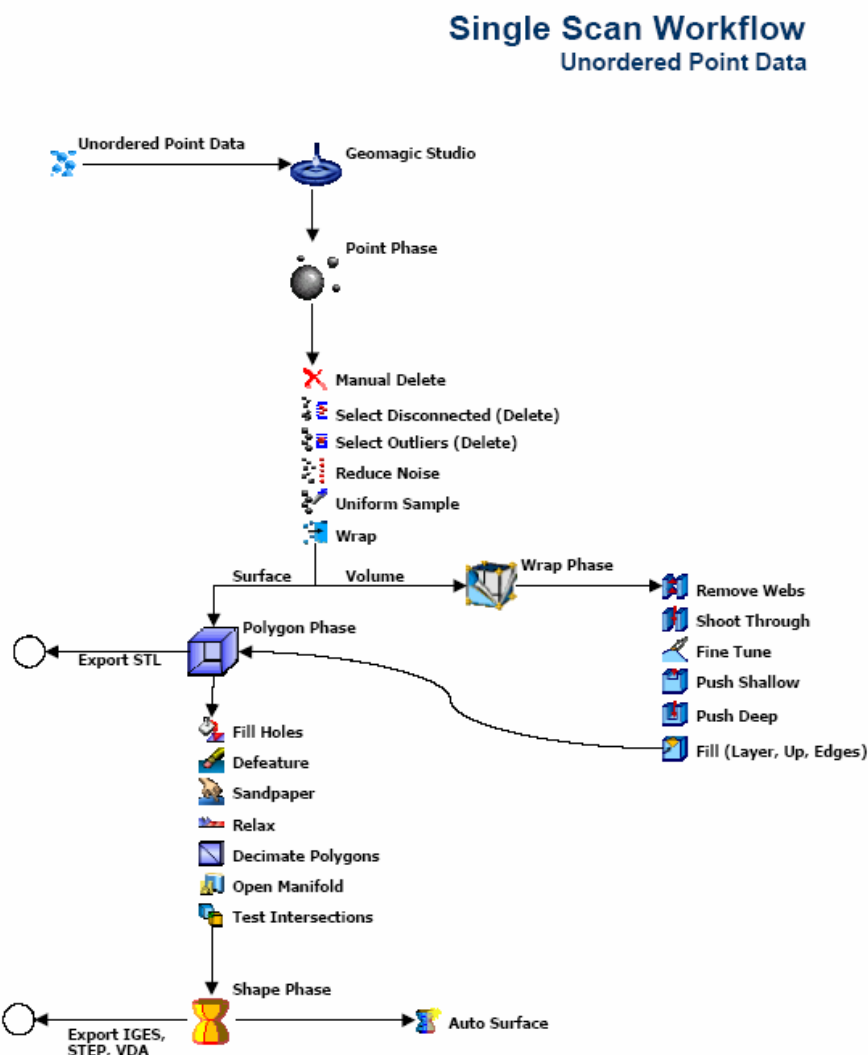
4.7 SPATFIG

SPATFIG (zkratka od Spatial Figure) je veřejná (GNU GPL) knihovna tříd a funkcí, která umožňuje prokládání geometrických primitiv do části mračen bodů. Knihovna je součástí disertační práce ing. Bronislava Kosky z katedry Speciální geodézie, fakulta stavební, ČVUT. Hlavním účelem SPATFIGu je proložení základních těles v 3D prostoru (2D primitiva: úsečka, rovina, kruh; 3D primitiva: koule, kužel a válec) za použití metody nejmenších čtverců. Při výpočtu jsou řešeny odhady středních chyb vyrovnávaných proměnných a jejich kovarianční matice a také se do výpočtu zahrnuje kovarianční matice měření (tedy souřadnic bodů). Iterační výpočet je ukončen při dosažení maximálních

povolených změn hledaných parametrů a zastavení poklesu velikosti směrodatné odchylky jednotkové, neboli když jsou opravy (vzdáleností bodů od vloženého tělesa) co nejmenší. SPATFIG má shodné (liší se až v řádu desetin milimetrů) výsledky hodnot poloměrů těles a středních chyb s programem Cyclone, proto je použito pro grafické znázornění výsledků proložení výstupy z programu Cyclone.

4.8 Software Geomagic Studio

Geomagic Studio je produktem firmy Geomagic, Inc. ze Severní Karolíny, USA (více o firmě a jejích produktech viz. [A]). Je to software určený spíše pro různá průmyslová odvětví, tedy pro modelování různých výrobků a jejich součástí (např. kontrola kvality). Nicméně model v něm vytvořený byl velkým přínosem pro naši dokumentaci díky jeho možnostem vizualizace, zvláště pak možnost měnit směr a intenzitu nasvícení modelu. V programu se model netvoří pomocí primitiv, výsledkem je trojúheln. síť mesh, nebo také tělesa NURBS. Pracovní postup pro vytvoření modelu je patrný z následujícího schématu (originální pracovní schéma od firmy raindrop geomagic pro jeden sken) na obr. č. 4.9.



obr. č. 4.9 – Schéma pracovního postupu v SW Geomagic Studio pro jeden sken

Vysvětlivky k důležitým krokům

Point phase – fáze bodů, neboli operace s mračnem

Manual delete – ruční vymazání nežádoucích bodů

Select disconnected – automatické (pomocí filtrů) nalezení skupin nežádoucích bodů (ve větší vzdálenosti od zbytku bodů)

Select Outliers - automatické nalezení nežádoucích jednotlivých bodů (ve větší vzdálenosti od zbytku bodů)

Reduce Noise – Snížení „šumu“, neboli bodů, které leží relativně blízko ostatních

Uniform Sample – filtrace založená na minimální povolené vzdálenosti sousedních bodů

Wrap – výpočet trojúhelníků mesh („zabalení“)

Polygon phase – fáze trojúhelníků (doslova mnohoúhelníků, ale jsou to opravdu trojúhelníky), neboli operace s mesh

Zbývající nástroje doladují vytvořený mesh (zaplnění děr, zmenšení počtu trojúhelníků, zdrsnění mesh atd.).