

5. ZÁVĚR

V poslední kapitole jsou porovnány užívané skenery Cyrax 2500 a Callidus 1.1 a vyhodnocovací programy Cyclone a RealWorks. Dále jsou srovnány konkrétní výstupy (mračna bodů, příčné řezy, půdorysy a nárysy).

5.1. POROVNÁNÍ LASEROVÝCH SKENERŮ

Při porovnání parametrů LSS je na první pohled zřejmý rozdíl v zorném poli. Skener Callidus se svým zorným polem $360^\circ \times 180^\circ$ je schopen zaměřit sledovaný objekt či zájmovou oblast najednou. Pokud bychom chtěli naskenovat stejnou oblast přístrojem Cyrax 2500, jehož zorné pole je pouhých $40^\circ \times 40^\circ$, museli bychom v terénu vytvořit mnohem více skenů.

Toto však není jediné kritérium při výběru vhodného skeneru. Neméně důležitá může být přesnost zaměření. Z tohoto pohledu vychází lépe skenovací systém Cyrax 2500, který dosahuje prostorové přesnosti 6 mm pro diskrétní naskenovaný bod na vzdálenost 50 m. Milimetrovou přesnost zaměření objektu Callidem získáme při dosahu, který je cca o třetinu menší (tj. 32 m).

Další velkou nevýhodou skeneru Callidus je nevyváženost ve volbě minimální rozlišovací schopnosti. Zatímco v horizontálním směru můžeme při skenování nastavit nejmenší krok až $0,0625^\circ$, pohyb ve vertikálním směru je čtyřikrát hrubší – tj. $0,25^\circ$. Během vykonávání odborné praxe jsem se nesetkala s projektem, ve kterém by bylo potřeba nasnímat objekt pomocí rastru naskenovaných bodů v jednom směru hustěji.

Důležitým parametrem je i cenové srovnání. Laserový skener Cyrax 2500 spolu s ovládacím počítačem obsahujícím program Cyclone – Scan vychází přibližně na 2 mil Kč, LSS Callidus lze zakoupit cca o 0,5 mil Kč levněji.

Rozměry samotných skenerů se výrazně neliší, avšak transportní bedna skenovací hlavy Callidus je zhruba poloviční. LSS Callidus je navíc vodotěsný, má nižší hmotnost, lze jím skenovat bez použití stativu (umístěním skenovací hlavy na podložku pomocí stavěcích šroubů) a užívá laser patřící do vyšší bezpečnostní třídy.

Rozhodnutí, který z přístrojů je kvalitnější, je závislé na konkrétní aplikaci. Drobné výhody skeneru Callidus nemají rozhodující vliv. Srovnám-li poměr ceny, přesnosti, zorného pole a minimálního rozlišení, upřednostnila bych LSS Cyrax 2500.

5.2. POROVNÁNÍ SOFTWARE

Nejen vlastní skenovací systém, ale především kvalita softwaru má významný vliv na kvalitu výsledku. Jelikož jde o velké soubory dat, mračna obsahují několik miliónů bodů, jsou kladeny vysoké nároky na vybavení výpočetní techniky. Pro představu v tabulce uvádím výrobci doporučené parametry pro oba programy.

	Cyclone 5.2	RealWorks
operační systém	Windows NT 4.1/ 2000/ XP Professional	Windows NT 4.0 / Windows XP
procesor	2 GHz Pentium 4	1,4 GHz Pentium 3
RAM	1 GB	512 MB
síťová karta	Ethernet	Ethernet
grafická karta	SVGA či OpenGL	NVidia GeForce 2 MX400
hard disk	10 GB	-----

Tab. č. 5.1: Nároky na hardware

Program Cyclone je z hlediska množství funkcí daleko bohatší narozdíl od RealWorks. Obsahuje například funkce pro aproximaci částí mračen jednoduchými plochami. Tvorba rovin je při kresbě drátového modelu nepostradatelná, zejména při nadefinování referenční roviny kreslení, případně při nastavení roviny pohledu kolmo na osu objektu. Cyclone umožňuje kreslení linií nezávisle na bodech mračna. To bylo využito ve „slepých“ místech skenů, kde bylo ze snímků a průběhu mračna zřejmé, že linie pokračuje. Jako příklad bych uvedla oblouk mostu. Pokud je zřejmé ze snímků nebo z kontrolních měření diskrétních bodů (klasickými terestrickými metodami pomocí totální stanice), že oblouk je pravidelný, mohu linii ve „slepých“ místech dokreslit tak, aby byl poloměr oblouku přibližně zachován. V programu RealWorks se linie tvoří pouze pomocí snapu na body mračna, při čemž se okamžitě

vykreslí. V tomto případě by byl oblouk vykreslen jen tam, kde by to mračna bodů umožňovala. Vlivem tohoto vznikají nedotažené linie, což ve výsledku znamená daleko více práce při editaci modelu v programu MicroStation. Kreslit linii v závislosti na bodech mračna lze i v Cyclone, avšak zde musí být nejprve provedena selekce všech bodů, kterými má linie vést, a až poté ji lze vložit. Tento způsob kresby linie je nepraktický. Pro uživatele programu je okamžitá průběžná kontrola přehlednější, než vytvořit polylinii a pak dodatečně kontrolovat, zda kresba odpovídá mračnu bodů. Navíc při výběru bodů se nelze vrátit o krok zpět, tedy při nesprávně označeném bodě je nutné začít s výběrem od začátku.

V programu RealWorks je daleko lépe vyřešena segmentace. Vybrané body jsou postupně odebírané ze zaregistrovaného mračna, ukládají se do samostatných objektů, a tak lze již využitě body skrýt a se zbývajících pracovat.

Při porovnání použitých vyhodnocovacích programů preferuji na základě zkušeností s oběma SW produktů firmy Cyra Technologies Inc. - Cyclone. Mé hodnocení však není zcela objektivní, s tímto programem pracuji denně přes půl roku, tudíž jsem měla dostatek času zvyknout si na jeho filozofii, kdežto RealWorks jsem se průběžně seznamovala během zpracování dat.

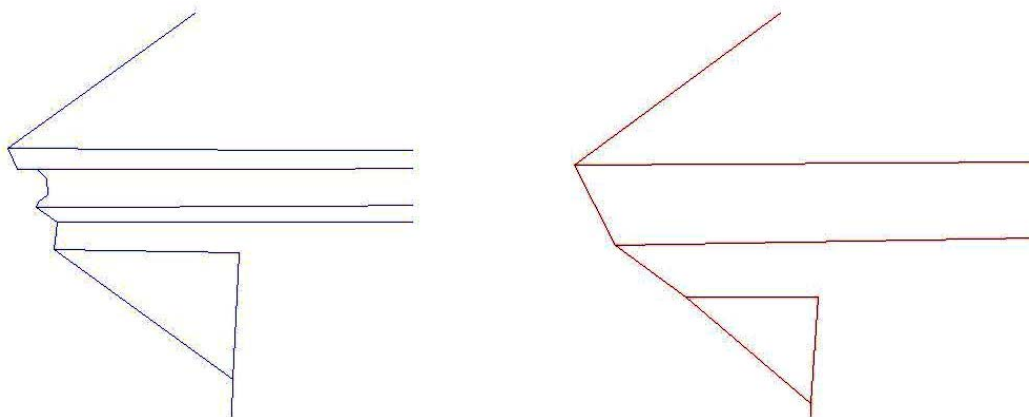
5.3. POROVNÁNÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Výsledkem obou použitých technologií jsou naskenovaná a spojená mračna bodů, vyhodnocené drátové modely a z nich vytvořené stavební výkresy. Lze tedy přistoupit k vzájemnému porovnání výsledků.

Karlův most byl LSS Callidus naskenován s rozlišením $0,25^\circ$ v obou směrech. Vezmeme-li objekt ve vzdálenosti 10 m od skeneru, dostaneme rastr bodů s rozstupem cca 4,5 cm ve vodorovném a svislém směru. Při užití skeneru Cyrax 2500 ze stejné vzdálenosti a při zvolené hustotě skenování 500 bodů v řádku i v sloupci (což při plném zorném poli odpovídá úhlovému rozlišení $0,08^\circ$) je rozstup bodů přibližně 1,5 cm. Tedy při zvolení poloviční hustoty skenování než Cyrax umožňuje, dostáváme třikrát hustší matici bodů než ze skeneru Callidus.

Uvedené hodnoty jsou teoretické, platily by v případě skenování povrchu koule s poloměrem 10 m a středem ve stanovisku skenování (přesněji v počátku místního souřadného systému skenu). Toto však v praxi neplatí, protože vzdálenost není konstantní veličinou. Rozestup bodů mračna je přímo úměrný vzdálenosti povrchu objektu od stanoviska skenování (tj. i úhlu dopadu).

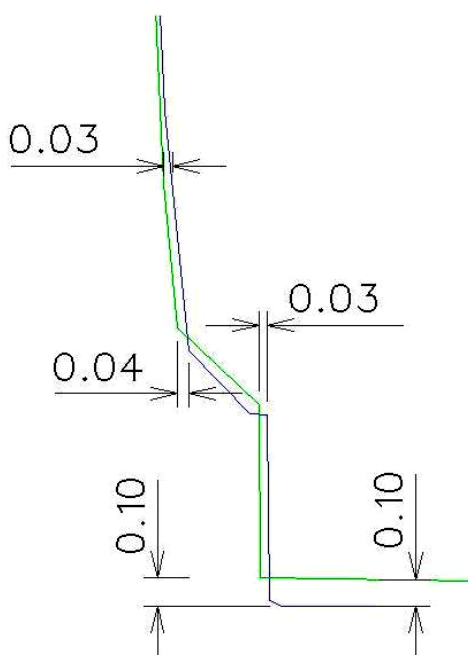
Čím hustěji je objekt naskenován, tím lépe je zachycena geometrie drobných prvků. Proto měla hustota skenování velký vliv na tvorbu drátového modelu. Mračno naskenované pomocí skeneru Cyrax 2500 má zřetelněji viditelné hrany oproti mračnu ze skeneru Callidus. Program Cyclone, který byl použit při vyhodnocení mračna ze skeneru Cyrax 2500, obsahuje funkce umožňující vytvoření hrany kreslením do nadefinované roviny či na základě průsečíku dvou rovin. Linie drátového modelu, který byl tvořen z mračna naskenovaného LSS Callidus (nižší hustota mračna bodů), byly vykresleny pomocí snapu na body mračna. Tyto naskenované body však málokdy přesně tvoří hranu mostu. Protože některé hrany nebyly v tomto mračnu viditelné a nebylo je možno vykreslit, je model vytvořený v RealWorks méně podrobný (viz. obr. č. 5.1). A tak model z programu Cyclone daleko lépe vystihuje realitu stavby.



Obr. č. 5.1: Srovnání podrobnosti vektorizace pilíře
(vlevo Cyrax 2500, vpravo Callidus)

Hustota mračna není jedinou veličinou ovlivňující kvalitu výsledku. Jelikož modely byly transformovány do geodetického systému, tak dalším důležitým parametrem je zaměření vlíčovacích bodů. Pro registraci mračna ze skeneru Callidus jsem měla k dispozici pouze nutný počet vlíčovacích bodů, tudíž provedená registrace necharakterizuje transformaci mračna do S-JTSK a Bpv. Pro zjištění přesnosti umístění modelu jsem vytvořila příčné řezy v rovinách středů pilířů a oblouku (viz. *příloha č. 4*).

Z těchto řezů je patrné (obr. č. 5.2), že při transformaci mračna do S-JTSK pomocí vlíčovacích bodů došlo k hrubé chybě, buď při zaměření vlíčovacích bodů totální stanicí, či při jejich naskenování. Protože bylo zaměření vlíčovacích bodů provedeno stejnou totální stanicí a měření bylo připojeno na shodnou síť bodů (jako při dokumentaci mostu LSS Cyrax 2500), vzniklá chyba byla pravděpodobně způsobena chybným naskenováním hranolů. Odrazný hranol byl při jemném doskenování zachycen jen pomocí cca deseti bodů (při doskenování terče Cyraxem 2500 je odrazný terč zaměřen pomocí dopadu 300 - 800 laserových stop).

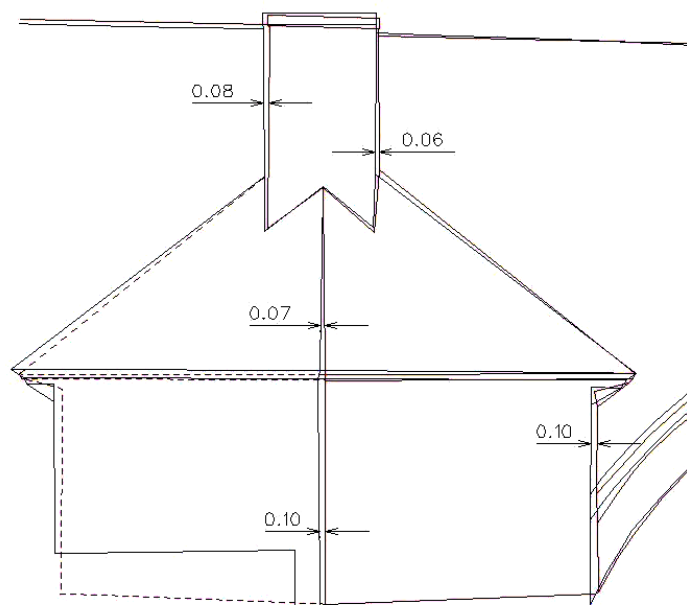


Obr. č. 5.2: Porovnání řezů
(Cyrax 2500 - černě, Callidus - zeleně)

Karlův most byl skenován skenerem Cyrax 2500 ve více dnech. Každý den byly zaměřeny příslušné vřícovací body a při spojení částí do jednoho celku si umístěním odpovídají, lze tento model považovat za kvalitně umístěný do S-JTSK. Z tohoto důvodu jsem se pokusila natransformovat mračno zaměřené skenerem Callidus na mračno bodů ze skeneru Cyrax 2500. Identickými body byly zvoleny zřetelné rohy konstrukce mostu. Transformaci jsem chtěla provést v programu Cyclone, jelikož program obsahuje funkci vytvářející průsečík tří rovin. Tato funkce by zajistila přesnější určení polohy vřícovacích bodů než při jejich manuální selekci. Avšak toto řešení bylo nerealizovatelné. Podařilo se mi do programu naimportovat mračno bodů ze skeneru Callidus, ale při registraci do S-JTSK program natransformoval pouze identické body, nikoliv mračna bodů. Proto byl k transformaci užit software RealWorks. Nezkreslené souřadnice identických bodů jsem odečetla z existujícího drátového modelu (výstup ze Cyclone). Vzhledem k tomu, že při registraci v RealWorks se identické body musí ručně vyznačit, rohy mostu (identické body) jsem pouze odhadovala, tudíž ani při této registraci nebylo mračno správně natransformováno.

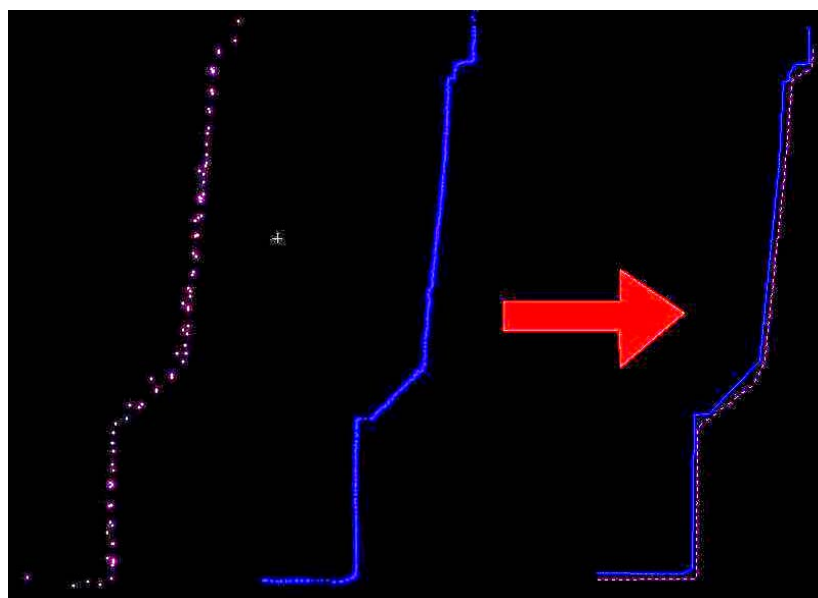
Vzhledem k omezeným časovým možnostem bylo toto mračno použito pro tvorbu výstupů – tj. při vektorizaci rastru bodů za účelem získání drátového 3D modelu a z něj získaných 2D výkresů (půdorysu a nárýsu). Porovnáním těchto výkresů s výstupy ze skeneru Cyrax 2500 je zřejmé, že model ze skeneru Callidus je celý systematicky posunut jedním směrem. Posun je způsoben chybnou registrací mračna naskenovaného skenerem Callidus. Hodnoty posunů se pohybují v rozmezí 5 – 10 cm. Rozmezí posunu modelů je způsobeno nižší hustotou mračna bodů ze skeneru Callidus a omezenými možnostmi při tvorbě linií v programu RealWorks (snap na body).

Veškerá grafická porovnání 2D výstupů jsou uvedena v *příloze č. 4*.



Obr. č. 5.2: Srovnání nárysů (Callidus – červeně, Cyrax – modře)

Rozdíl v hustotě skenů se projevil i v porovnání příčných řezů. Na následujícím obrázku je názorné, že při vyříznutí identického pruhu mračna, je daleko lépe zachycena geometrie řezu ze skeneru Cyrax 2500 (zobrazen modře). Při vektorizaci mračna bodů ze skeneru Callidus (na obrázku růžově) byly některé hrany špatně identifikovatelné a v důsledku toho je výsledný řez značně generalizován (obr. 5.3 vpravo).



Obr. č. 5.3: Vliv hustoty bodů při vektorizaci
(Callidus – růžově, Cyrax – modře)

5.4. VYUŽITÍ LSS PŘI DOKUMENTACI PAMÁTEK

Jak již bylo zmíněno, využití laserového skenování je široké. Nalézá uplatnění nejen ve stavebnictví a příbuzných oborech, ale i v archeologii a filmovém průmyslu. Na základě osobních zkušeností s technologií je zřejmé, že je metoda převážně využívána při řešení otázek z oblasti inženýrské geodézie, hlavně pro dokumentaci potrubních technologií. Většina zpracovatelských softwarů obsahuje plno automatických funkcí pro modelaci pravidelných tvarů, které lze matematicky jednoduše vyjádřit. Stačí jen označit příslušnou část mračna a program provede aproximaci vybraným typem plochy – např. válcem, sférou či rovinnou plochou.

K vytvoření dokumentace památkových stavebních objektů máme k dispozici řadu ověřených geodetických metod, které určují pouze vybrané diskrétní body objektu. Dále máme metody fotogrammetrické, které poskytují na měřickém snímku obrovské množství kdykoli vyhodnotitelných informací. Avšak ne vždy je použití těchto metod efektivní. Například při dokumentaci větších, výrazně třírozměrných objektů, jako jsou chrámy, sály, jeskynní systémy a klenební části objektů, je laserové skenování nezastupitelné.

Pořízení výchozích dat je poměrně časově nenáročné (ve srovnání s klasickými geodetickými metodami). Celý Karlův most byl naskenován cca za 40 hodin, přičemž v důsledku vysoké hustoty bodů byly zaznamenány i drobné výstupky (např. napojení zábradlí na podstavce soch). Klasické geodetické metody neumožňují ve velkém rozsahu postihnout geometrii mostu do nejmenších detailů.

Získat z naskenovaných mračen bodů věrný a přesný 3D model objektu je časově náročné. U památkových objektů zpravidla nelze využít modelování na základě aproximace geometrickými tvary. V minulosti nebyly stavební technologie, které by na 100% zaručovaly dodržení dnešních stavebních norem. Ne všechny zdi jsou rovinné a svislé, rohy pravoúhlé, navíc se na většině památek podepsal zub času, což způsobuje komplikace při vyhodnocení. Čím složitější je objekt, který chceme dokumentovat, tím více času potřebujeme při zpracování. S rostoucím časem rostou i finanční náklady. Dokud nebudou mít památkáři dostatek financí, nebude se laserové skenování při dokumentaci památek využívat.

Vývoj v této technologii jde rychle kupředu. Firmy vyrábějící LSS neustále zdokonalují a rozšiřují nabídky produktů. Je jen otázkou času, kdy programátoři navrhnou vhodné algoritmy, které budou řešit modelování složitých ploch. Geodetům zjednoduší práci a zkrátí čas, který zakázce věnují a zákazníkům ušetří finanční náklady.

Po účasti na Konferenci SHP (Stavebně - historického průzkumu) jsem pochopila, že jen finanční stránka není důvodem malého využití laserového skenování při dokumentaci historických památek. Daleko větší problém je komunikační bariéra mezi geodety a památkáři. Technický způsob řešení, jenž památkářům nabízíme, se v mnoha směrech liší od jejich pohledu na historické objekty.

Většina památkářů nepracuje s CAD systémy, pro svou práci to nepotřebují, tudíž geodetické výsledky pro ně mají malou vypovídací hodnotu. Možná památkáři právem o tuto dokumentaci památek neprojevují zájem, třeba je pro ně opravdu špatně využitelná. Ale to nezjistíme, dokud společně neprodiskutujeme naše technické dovednosti a jejich potřeby. Toto je obecně problém nejen využití laserového skenování, ale i geodézie a fotogrammetrie.

5.5. CELKOVÝ ZÁVĚR - SHRNUÍ

Cíle stanovené na začátku diplomové práce byly splněny. Během prací v terénu jsem si vyzkoušela ovládání obou skenerů Cyrax 2500 a Callidus 1.1 a při zpracování mračen bodů jsem se seznámila s vyhodnocovacími programy Cyclone a RealWorks. Z mračna naskenovaného přístrojem Callidus byl vytvořen drátový 3D model, ze kterého vznikly 2D výkresy, které byly použity pro srovnání s výstupy ze skeneru Cyrax 2500.

Na základě porovnání skenerů a vyhodnocovacích programů bych dala přednost výrobkům firmy Cyra Technologies Inc. (skener Cyrax 2500, program Cyclone). Konkrétní důvody mého rozhodnutí jsem napsala v kapitolách 5.1 a 5.2, zde uvádím jen stručnou tabulku největších kladů a záporů jednotlivých LSS.

vybavení	výhody	nevýhody
Cyrax 2500, Cyclone	vysoká přesnost skeneru kreslení linií do zvolené roviny	malé zorné pole skeneru (40° x 40°)
Callidus, RealWorks	velké skenovací pole skeneru skrytí využití části mračna	hrubý pohyb skeneru ve vertikálním směru (0,25°)

Tab. č. 5.2: Srovnání LSS

Srovnání získaných výstupů je složité. Víím, že porovnávat měření, která byla získána za odlišných podmínek, není adekvátní. Mohu jen usuzovat, zda odchylky ve výsledcích jsou způsobeny nesprávným zaměřením vlícovacích bodů, jinou volbou stanovisek skenování nebo různými možnostmi přístrojů apod. Daleko přesvědčivější výsledky bych získala, kdyby byla obě skenování provedena ve stejný den za stejných podmínek. Avšak toto nebylo reálné. V době skenování Karlova mostu firmou Gefos a. s. jsem ještě neměla ujasněn konkrétní cíl diplomové práce. Proto bylo skenování mostu pomocí systému Callidus 1.1 provedeno až dodatečně. Při zjištění odchylek mezi vytvořenými modely nezbyl čas pro celé přeměření. Jelikož se oba dva skenery nyní hojně využívají, je organizačně náročné si je propůjčit ve stejnou dobu. Předtím by bylo potřeba vyřešit signalizaci vlícovacích bodů, jelikož skener Cyrax využívá speciální terče a systém Callidus odrazné hranoly. Abych

mohla použít pro transformaci mračen do geodetického systému shodné vlíčovací body, musela bych při výměně terčů za odrazné hranoly zajistit totožné středy.

Kdybych mohla začít s diplomovou prací od začátku se zkušenostmi, které mám nyní, dala bych si především pozor na:

1. naskenování objektu oběma přístroji ve stejný den ze stejných stanovisek
2. užití stejných vlíčovacích bodů
3. větší pozornost při kontrole naskenování vlíčovacích bodů LSS Callidus přímo v terénu

Výsledky této práce byly prezentovány 1. června 2005 na 4. specializované konferenci stavebně-historického průzkumu "Poznávání a dokumentace historických staveb" v Poděbradech.