

1. PHOTOMODELER

PhotoModeler je fotogrammetrický systém určený k bezdotykovému 2D a 3D měření. Je založen na principech metody průsekové fotogrammetrie. Umožňuje získat mnoho údajů ze snímků daného objektu během krátké doby. Kombinuje snímky a umístění bodů ve třírozměrném prostoru. Výsledkem je 3D model, který může být exportován do jiných grafických programů.

PhotoModeler pracuje na dnes běžném počítači v prostředí Windows (95, 98, NT 4.0, 2000).

Pracovní prostředí PhotoModeleru (obr. 1)

Titulek (*Caption Area*) obsahuje jméno programu "PhotoModeler Pro" a jméno aktivního projektu, tlačítka pro maximalizaci, minimalizaci a uzavření projektu.

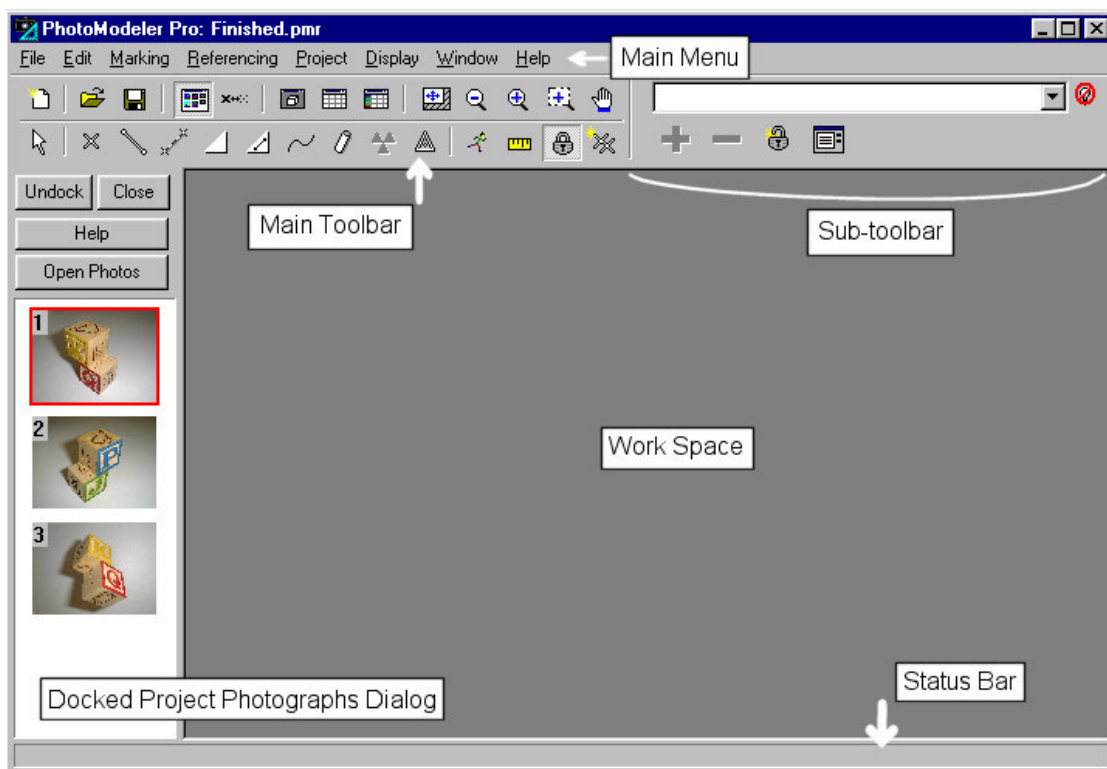
Hlavní nabídka (*Main Menu*) je umístěna v horním okraji aplikačního okna. Jednotlivé nabídky jsou uspořádány do řádku a umožňují přístup k funkcím a nástrojům programu.

Hlavní panel nástrojů (*Main Toolbar*) obsahuje dvě řady ikon pro ovládání PhotoModeleru. Program lze ovládat jak myší - výběrem z hlavní nabídky, panelu nástrojů, tak pomocí klávesnice.

Vedlejší panel nástrojů (*Sub Toolbar*) je za panelem nástrojů. Po aktivaci některé ikony z hlavního panelu nástrojů se zobrazí další nabídka pro daný příkaz.

Pracovní plocha (*Work Space*) je plocha, kde se zobrazují snímky, s nimiž právě pracují.

Dialog snímků (*Docked Project Photographs Dialog*) zobrazuje všechny snímky v projektu. Pro zvětšení pracovní plochy může být tento dialog uzavřen.

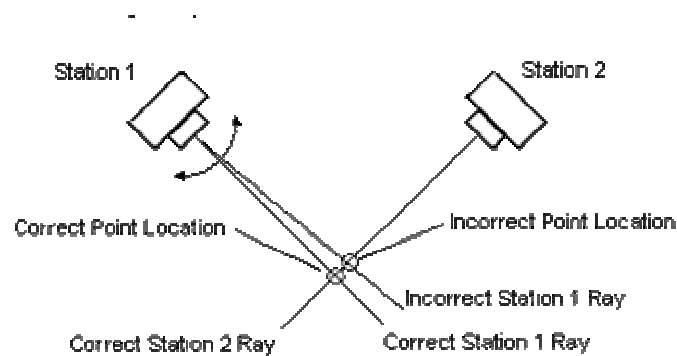


Obr. 1 : Pracovní prostředí PhotoModeleru

Pořízení snímků objektu

Kvalita snímků má vliv na přesnost výsledného prostorového modelu. S tím souvisí pozice stanoviště fotografování.

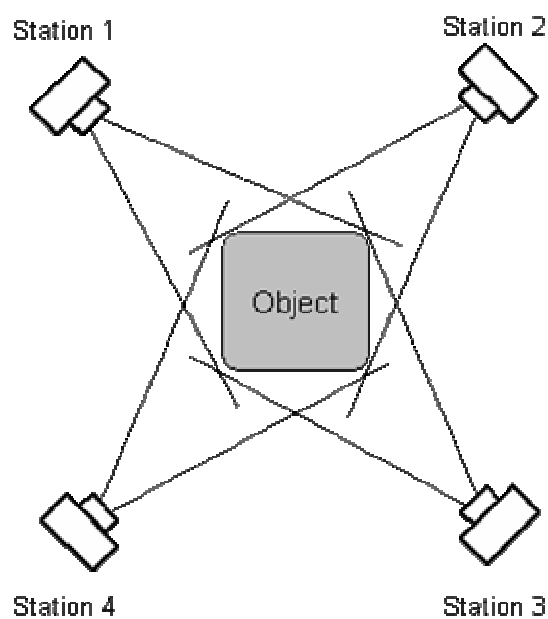
1. Osy záběru by měly svírat pravý úhel (obr. 2)



Obr. 2 Pozice kamer při snímání

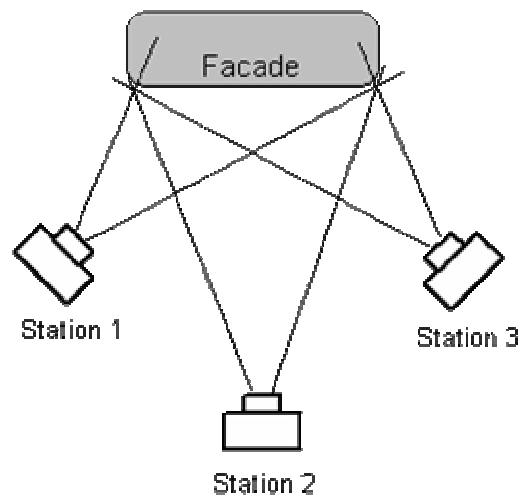
2. Všechny důležité body by měly být zobrazeny nejméně na třech snímcích. Pro lepší kvalitu výsledného modelu by body objektu měly být zobrazeny na více snímcích.

Pro snímání objektu byly zvoleny 4 stanoviště fotografování (obr.3). Každý bod bude zobrazen na dvou snímcích, tj. nejmenší možný počet snímků.



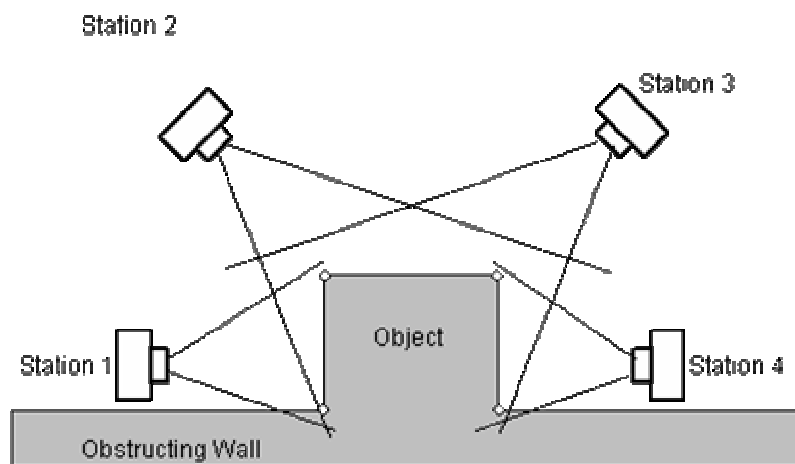
Obr. 3 : Pozice kamer při snímání reálného objektu

Pro zaměření fasád se používají nejméně tři stanoviště fotografování (obr.4).



Obr.4 : Pozice kamer při zaměření fasády

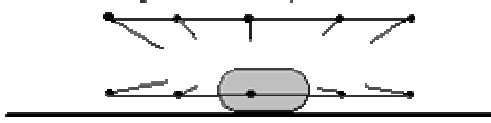
3. Snímky by měly být pořízeny s maximálním překrytem. Tím bude zajištěna viditelnost stejných bodů na větším počtu snímků (obr.5).



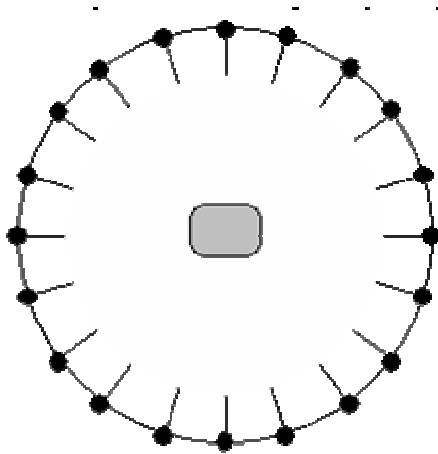
Obr.5: Překryt snímků

4. Je dobré pořídít maximální počet snímků objektu. Pro vytvoření 3D modelu můžeme využít jen ty, které budou vhodné. Během zpracovávání je možné snímky libovolně do projektu přidávat.

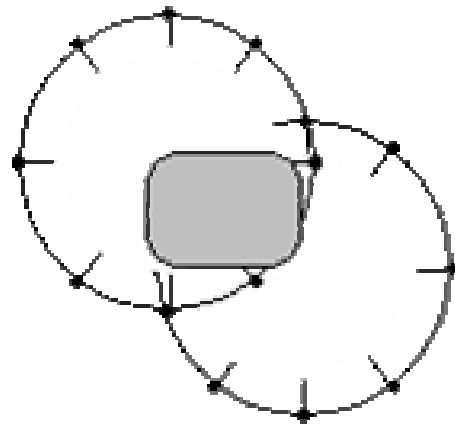
5. Pokud je to možné, pořídíme také snímky nad, pod a kolem objektu (obr.6).



a) Pozice kamer nad objektem



b) Pozice kamer kolem objektu



c) Pozice kamer kolem objektu

Obr.6 : Pozice kamer při snímkování

6. Během snímkování je třeba změřit vzdálenost mezi dvěma body na objektu. Nejprve je vytvořen prostorový model v obecné poloze (viz dále). Změřenou vzdálenost mezi dvěma body využijeme pro určení měřítka výsledného 3D modelu. Měřené body musí být dobře viditelné a identifikovatelné na snímcích.

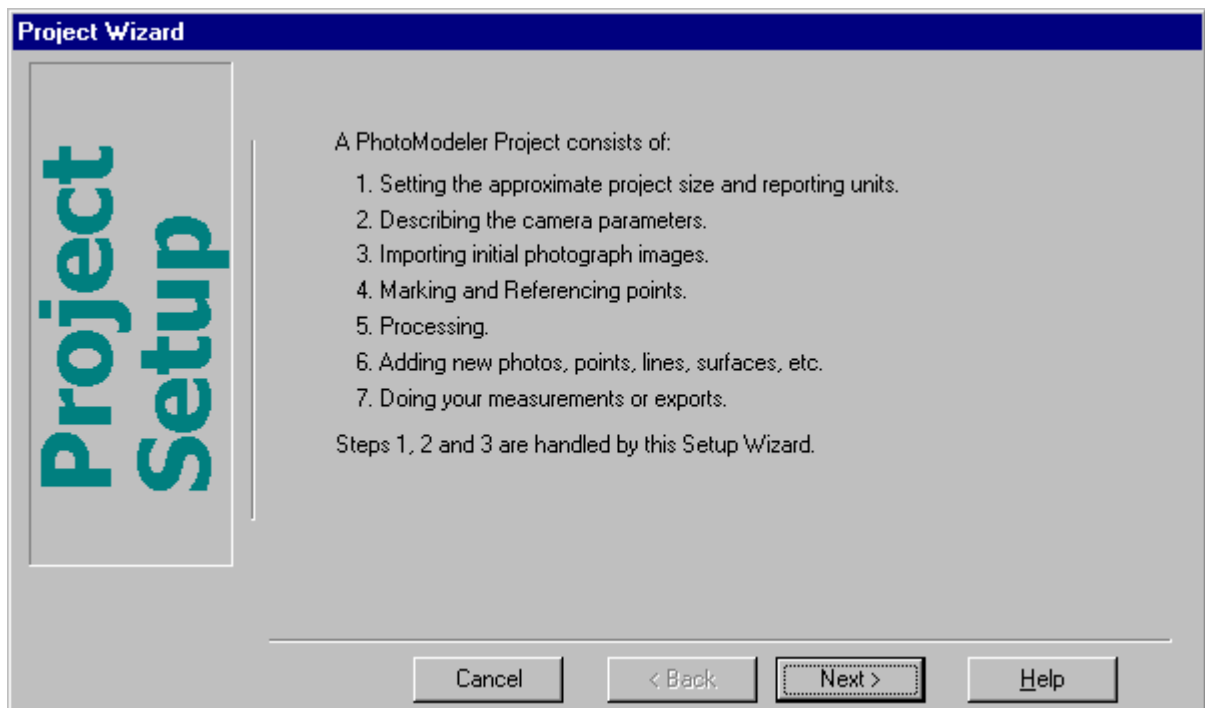
Tvorba 3D modelu

Tvorba prostorového modelu se skládá z několika kroků (obr.7).

1. Kalibrace komory použité ke snímkování*
2. Založení projektu
3. Nadefinování parametrů kamery
4. Import snímků
5. Měření a referencování bodů
6. Výpočet
7. Přidání snímků do projektu, další měření, kontrola
8. Vyhodnocení prvků objektu**
9. Export výsledného modelu

* není uvedeno v tomto návodu, více viz návod kalibrace

** není podrobně uvedeno v tomto návodu, částečně viz krok 5



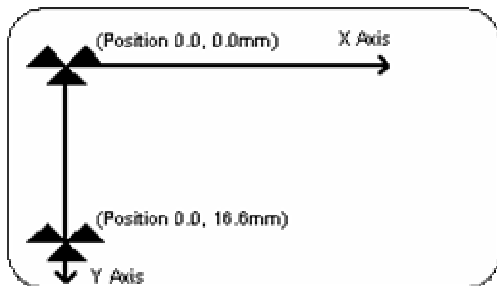
Obr.7 : Tvorba prostorového modelu

2. Založení projektu

Pro zadávání dat do projektu je možné se nechat vést průvodci (*Projekt Wizard*). Nejdříve se definuje projekt *File / New Project*. Zde se zadává přibližná velikost objektu a jednotky. Název a umístění projektu se zadávají až při prvním uložení projektu. Při každém dalším ukládání se vytváří samostatný soubor (jméno_ver1.pmr). Kopie (_ver) jsou číslovány od 1.V adresáři může být maximalně 5 kopií.

3. Nadefinování parametrů kamery

Definice použité kamery se provede pomocí průvodce *Camera Wizard*. V několika krocích se postupně zadává jméno, zda jde o kameru novou nebo již použitou ve Photomodeleru, typ kamery, rozměr snímku v pixelech. Všechny snímky musí mít stejný rozměr. Parametry komory je nutné zadávat přesně podle kalibračního protokolu. Pro snímkové souřadnice je použit souřadnicový systém, kde osa +X jde zleva doprava a osa +Y jde shora dolů (obr.8).

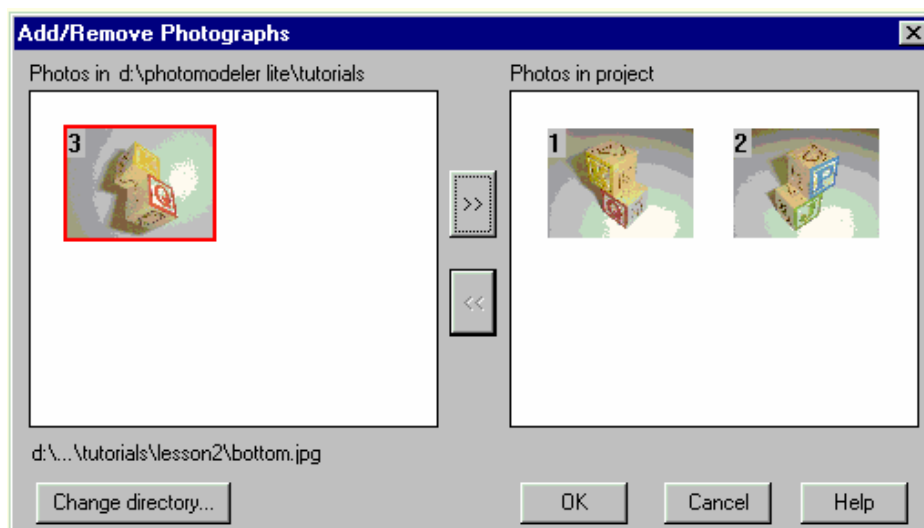


Obr.8 : Souřadnicový systém snímkových souřadnic

4. Import snímků a práce s nimi

Snímky musí být v digitální podobě a musí být uloženy na disku počítače. Přípustné jsou formáty : tif, bmp, pcx, tga, jpg, png, pct, psd, ppm, mac, cal, pcd.

Import snímků do projektu se provede pomocí *Photo Import Wizard*. Snímky pořízené stejnou kamerou musí být importovány se stejnou rotací. Standardně se používají snímky orientované na šířku. Pro správu všech snímků v projektu slouží *Project Photographs Dialog*, který je zobrazen v levé části aplikačního okna.



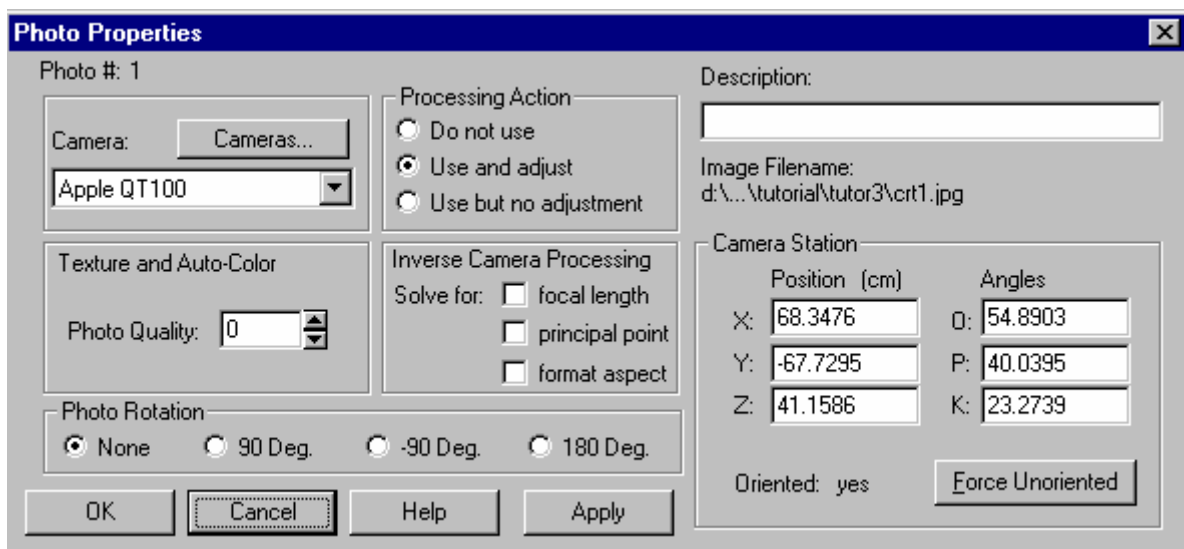
Obr.9 : Vložení / vypuštění snímků

Pokud projekt obsahuje větší počet snímků, je vhodné začít pracovat jen s několika snímky a postupně vkládat další. Vložení/vypuštění snímků do/z projektu se provede pomocí dialogu

Add/Remove Photographs (obr.9). Zde se zadá cesta ke snímkům (Change directory) a vyberou se snímky, které mají být vloženy / vyloučeny do / z projektu.

Jednotlivé snímky se zobrazují v oknech (*Photograph Window*). Zde dochází k měření a referencování bodů. Okna mohou být kdykoliv zavřena a znovu otevřena. Aktivují se po dvojitým kliknutí na snímek nebo se snímek jedním kliknutím myši označí a otevře se pomocí ikony *Open Photos*. Snímky je možné libovolně zvětšovat, zmenšovat, posouvat a pod.

Photograph Properties dialog zobrazuje vlastnosti a nastavení jednoho a více snímků (obr.10). Označí se snímek a po kliknutí pravým tlačítkem se otevře roleta, ve které se vybere tento dialog. Jednotlivé údaje (kamera, rotace,...) je možné měnit. Snímky je možné z výpočtu vyločit pomocí *Processing Action*. Jednou z možností je *Do not use*, snímky ještě nebyly orientovány. Snímky, které jsou prvně importovány do projektu, jsou sem automaticky zařazeny. Jakmile se změří rámové značky, body aj, snímky jsou opět automaticky zařazeny do *Use and adjust*. Snímky a na nich změřené prvky budou orientovány a vypočteny. Třetí možností je „Use but no adjust“. Snímky spolu s měřenými prvky vstupují do výpočtu a podílí se na tvorbě 3D modelu, ale během výpočtu nebudou změněny.



Obr.10 : Vlastnosti snímků

Během práce je možné měnit jas a kontrast snímků pomocí *Marking / Image Enhance*. Změna nastavení se uloží pouze v projektu (*.pmr). Snímky, které jsou uloženy na disku počítače, nejsou změněny. Návrat k původním hodnotám je možný pomocí tlačítka *Reset*. *Photos Missing Dialog* se objeví tehdy, pokud snímky byly přesunuty do jiného adresáře, přejmenovány nebo smazány (obr.11).



Obr.11 : Chybějící snímky

5. Měření a referencování

Měření

Pro tvorbu 3D modelu je možné využít :

- body (*Object Points*), které jsou nejdůležitějším prvkem.

Photomodeler rozlišuje tři druhy bodů :

1. body vytvořené během měření - *Object Points*
2. body v ploše - *Surface Draw Points*
3. vřícovací body - *Control Points*

- hrany (*Edges*), to jsou linie mezi dvěma 3D body. Referencují se koncové body i spojnice.

- křivky (*Curves*)

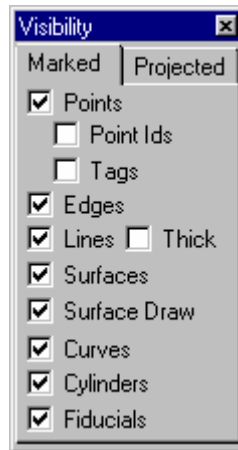
- válec (*Cylinders*), každý válec má stejný poloměr po celé délce.

- linie (*Lines*) je spojnice mezi dvěma body. Vytváří se automaticky, nereferencuje se.

- plochy (*Surfaces*), pro vytvoření plochy musí být nejméně 3 body (body, koncové body hran) nebo křivky. Plochy je možné využít pro lepší plasticitu objektu. Lze jim libovolně přiřadit materiály nebo využít snímky jako tapety.

Nejprve se otevře snímek. Vybere se nástroj pro měření prvků – linií, hran a další. Poloha na snímku se určí jedním kliknutím levého tlačítka myši. Body jsou číslovány od jedné. Pokud je některý bod smazán, jeho číslo se v projektu již neobjeví.

Po změření většího počtu prvků se projekt stává nepřehledným. Pomočí dialogu *Visibility* (obr12). je možné jednotlivé prvky vypínat a zapínat. Obsahuje dvě záložky. První (*Marked*) pomáhá s viditelností prvků a druhá (*Projected*) je vhodná pro kontrolu a hledání chyb v modelu. Pokud se v této záložce zatrhnou jednotlivé možnosti, program na aktivní snímek umístí vypočtenou polohu těchto prvků.

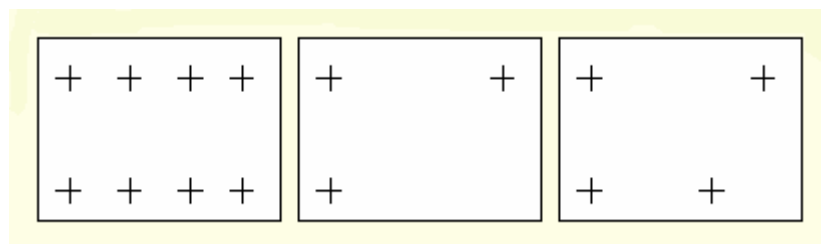


Obr.12 : Viditelnost prvků

Každý z těchto objektů má své vlastnosti, které lze měnit. Po vybrání prvku (obaru se červeně) se klikne pravým tlačítkem myši a vybere se dialog vlastností (*Properties of selected...*). Zde lze mimo jiné definovat vrstvu, do které se daný prvek bude ukladat a barvu. To má velký význam pro export modelu.

Měření rámových značek

Rámové značky je nutné změřit na všech snímcích (*Marking / Mark Fiducials*). Důležité je rozmístění rámových značek. Minimální počet je 3 a musí pokrývat více jak 1/3 snímku (obr13).



Obr.13 : Rozmístění rámových značek

Referencování

Stejné body na různých snímcích mají různá čísla. Referencování je process, při kterém se určí, které body si vzájemně odpovídají. Všechny změřené prvky musí být referencovány nejméně na dvou snímcích. Pro větší kvalitu projektu je lepší všechny prvky referencovat na všech snímcích v projektu.

Referencování se provede pomocí *Referencing / Reference Mode*. Vylistují se snímky, které budou referencovány. Lze referencovat vždy dva snímky. Na levém snímku se vybere prvek a určí se jeho poloha na pravém snímku. Pokud se referencují již zorientované snímky, pak prvek bude ležet na druhém snímku na epipolární linii. Je-li referencován na třetím snímku, pak kurzor nabízí předběžnou polohu prvku.

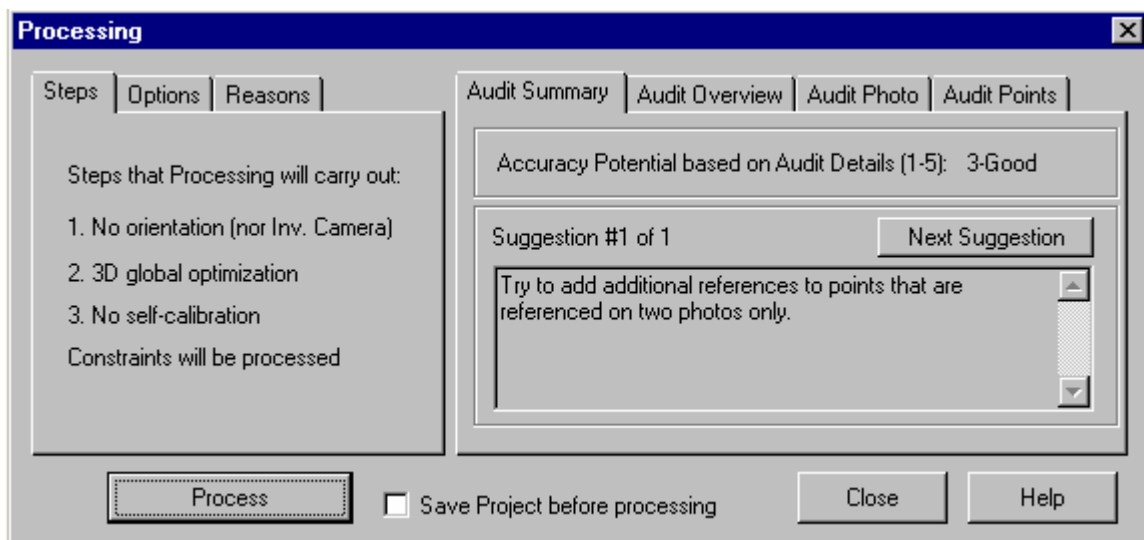
Způsoby referencování

1. Postupným výběrem jednotlivých změřených prvků, tj. jeden prvek se označí a referencuje.
2. Výběrem libovolného počtu změřených prvků. Postupně se referencují všechny vybrané prvky.
3. Body je možné referencovat již během měření. Bod se změří na levém snímku a hned se referencuje na snímku pravém.

6. Výpočet

Program pro tvorbu 3D modelu z proměřených snímků a parametrů kamery využívá speciální numerický algoritmus. Vytváří 3D body a minimalizuje chyby. Výpočet je iterativní proces, který probíhá tak dlouho, až se vypočte prostorová poloha bodů, hran a minimalizují se chyby. Výpočet se spustí pomocí *Project / Process...* (obr.14) a probíhá ve dvou etapách. První je kontrola všech dat (*Audit*), a ve druhé etapě (*Adjustment*) se vytváří prostorový model objektu.

Nejprve se kontrolují všechna data, která se budou podílet na tvorbě 3D modelu. Výsledky (*Audit Dialog*) předpovídají úspěšnost výpočtu, kvalitu výsledného modelu a lze je použít pro hledání chyb. *Audit Dialog* obsahuje čtyři záložky.



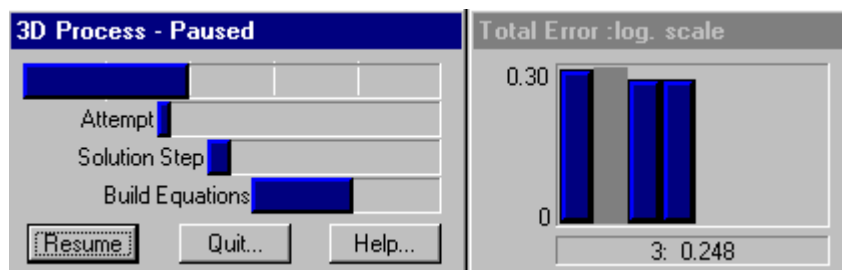
Obr.14 : Processing dialog

První je *Audit Summary* (pravá část) a ukazuje, jak přesně bude model vypočten. To je vyjádřeno čísly 1 - 5, kde číslo 5 je nejvyšším možným vyjádřením pro přesnost. Dále zde mohou být návrhy (*Suggestion*). Velký počet návrhů ukazuje na hrubé chyby v projektu (špatně definovaná kamera, velké chyby v referencování atd.). Druhá záložka *Audit Overview* je rozdělena na dvě části. V horní části je celkový počet snímků a počet bodů v projektu a jejich kvalita (*Acceptable?*). Pokud je kvalita *Yes*, výpočet by měl proběhnout bez problémů. Je-li *Maybe*, pak výpočet může, ale také nemusí, proběhnout správně. A *No* ukazuje na hrubé chyby. Ve spodní části je podrobněji popsána kvalita bodů a snímků. Zde je ještě další dělení (*Good*-dobré, *Weak*-slabé, *Unused*-nepoužitelné). Záložka *Audit Photo* ukazuje informace o snímcích v projektu. Je zde minimální, maximální a celkový počet změřených bodů, oblast pokrytá změřenými body v procentech a počet rámových značek v procentech a ještě celkové hodnocení kvality snímků. Na každém snímku musí být změřeno nejméně šest bodů nebo tři body vlícovací. Poslední záložka *Audit Points* zobrazuje podrobné údaje o změřených bodech a také je zde celkové hodnocení kvality bodů. Změřené body se nepodílí na tvorbě 3D modelu, jsou-li na snímku s označením *Unused*.

Ve druhé etapě výpočtu (*Adjustment*) se vytvoří prostorový model objektu (obr.14). Zajímá se o měřené body, hrany a o kameru. Prvky jako linie, plochy, válce, body v ploše a křivky nemají žádný vliv na výpočetní proces. Ten je rozdělen na tři části. První je *Orientation*, zde se vypočte relativní poloha bodů v prostoru a relativní poloha kamery. Druhá část je *Global Optimization*, zde se optimalizují a minimalizují chyby na bodech, v pozici a v úhlech kamery. Třetí část je *Self-Calibration* provádí další optimalizaci a vyrovnání parametrů kamery pro každý snímek.

Samotný výpočet se spustí tlačítkem *Process*. Dialog nabízí možnost uložení projektu těsně před výpočtem. Následuje výpočet - dialog *3D Process*. Po výpočtu první iterace se vedle objeví chybový dialog *Total Error* (obr.15). Chybový dialog zobrazuje soubor vertikálních sloupců. Každý sloupec ukazuje hromadění chyb ve 3D modelu během jedné iterace. Obvykle jsou zde soubory, které jsou oddělené šedým sloupcem. První soubor odpovídá fázi *Optimization* a druhý fázi druhé optimalizace a *Self-Calibration*.

Cílem výpočtu je zmenšit chyby, a tak jednotlivé sloupce se musí zmenšovat. Často je první sloupec ve druhém souboru větší než poslední v prvním (před šedým sloupcem). Po skončení výpočtu se zobrazí dialog, který ukazuje, zda byl/nebyl model úspěšně vypočten.



Obr.15 : Výpočet modelu

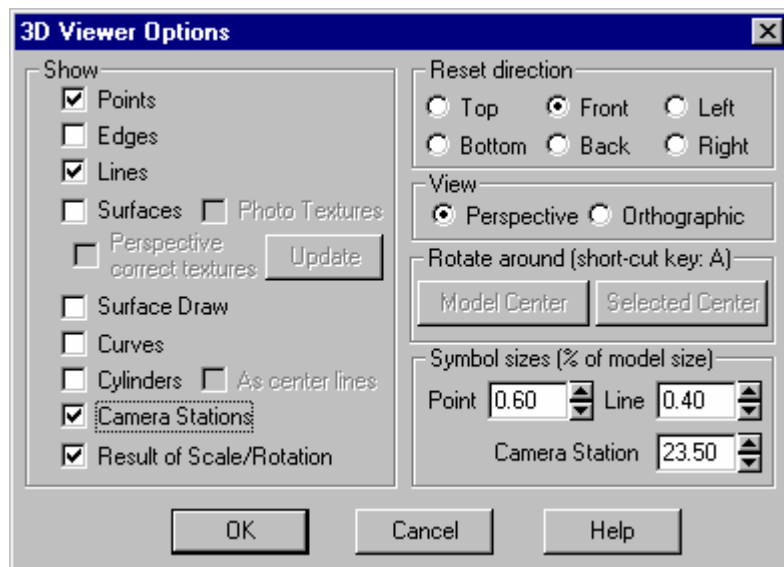
7. Kontrola modelu

Pokud model nebyl vypočten, kde hledat chyby :

- špatně změřené body, hrany
- špatně referencované body, hrany
- špatné číslo nebo poloha vlíčovacího bodu
- špatné parametry komory
- malý počet změřených bodů, rámových značek
- špatné rozmístění bodů aj.

Ve PhotoModeleru je mnoho nástrojů pro hledání chyb a kontrolu modelu :

- dialog výsledků kontroly dat (*Audit Dialog*) viz výpočet
- dialog viditelnosti prvků (*Visibility*) viz měření
- dialog zbytkových chyb (*Marking/Marking Residual Display*). Na snímku zobrazí chybovou úsečku mezi bodem měřeným a vypočteným. Pro dobrou viditelnost je vhodné zadat větší hodnotu (přednastavena je 1) , která určuje zvětšení mezi jedním chybovým pixelem a jeho zobrazením na aktivním snímku.
- 3D prohlížeč (*3D viewer*) zobrazuje prostorový model, pozice kamer při snímkování (obr.16). Lze ho natáčet, měnit měřítko a posouvat. Je vhodný pro hledání hrubých chyb.

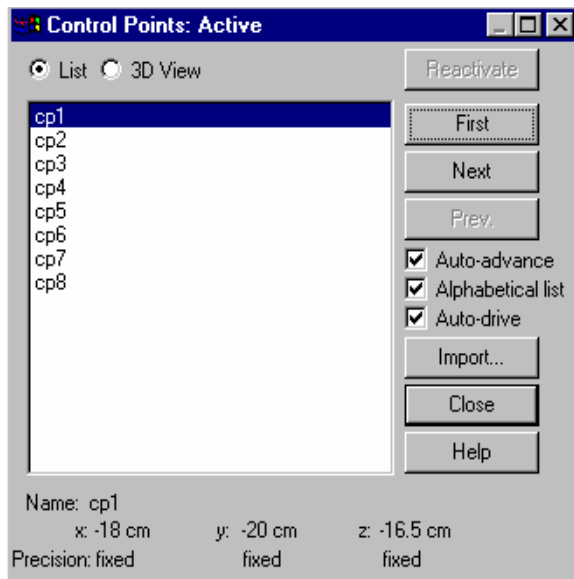


Obr.16 : 3D Prohlížeč - nastavení

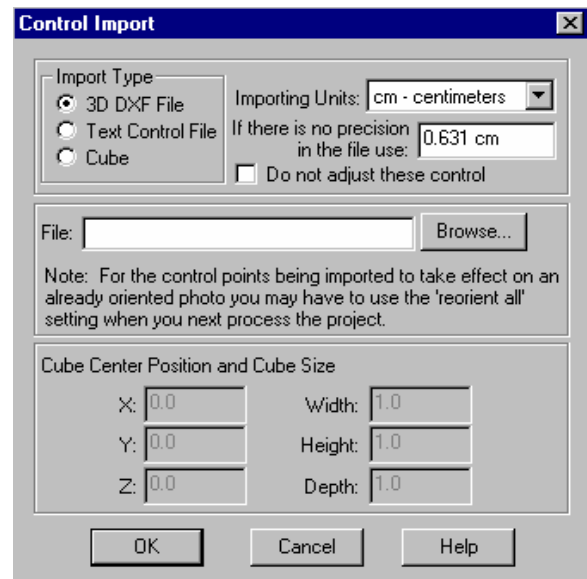
Změna měřítka a rotace

Po výpočtu je vytvořen prostorový model v obecné poloze. Jeho orientace je možná dvojím způsobem - pomocí vlíčovacích bodů nebo definováním zvětšení a rotace.

Vlíčovací body je nutné do programu importovat, změřit (přes dialog *Control Points*) a referencovat (obr.17). Import se také provede přes dialog *Control Points / Import*. Zde se zadají jednotky vlíčovacích bodů, typ importovaného souboru (txt, dxf) a soubor se vylistuje v adresáři.



Obr.17: a) Dialog vlíčovacích bodů

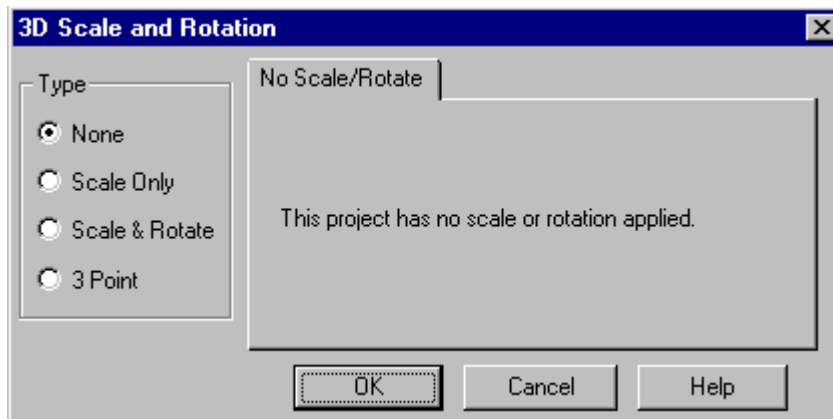


Obr.17: b) Import vlíčovacích bodů

Pro definování měřítka s rotace slouží dialog *3D Scale and Rotation (Project/3D Scale and Rotation...)*. Zde je opět několik možností pro zadávání (obr.18):

- *None* - prostorový model se nemění, žádné zvětšení ani rotace
- *Scale Only* - definuje pouze zvětšení podle jedné délky, zadá se vzdálenost a definují se body, mezi kterými byly měřena (viz. pořizování snímků)
- *Scale \$ Rotate* - postupně se definuje zvětšení (pomocí měřené vzdálenosti) a rotace. Rotace se definuje třemi body a je možná v kombinaci XY, YZ, XZ.
- *3Point* – rotace se definuje třemi body

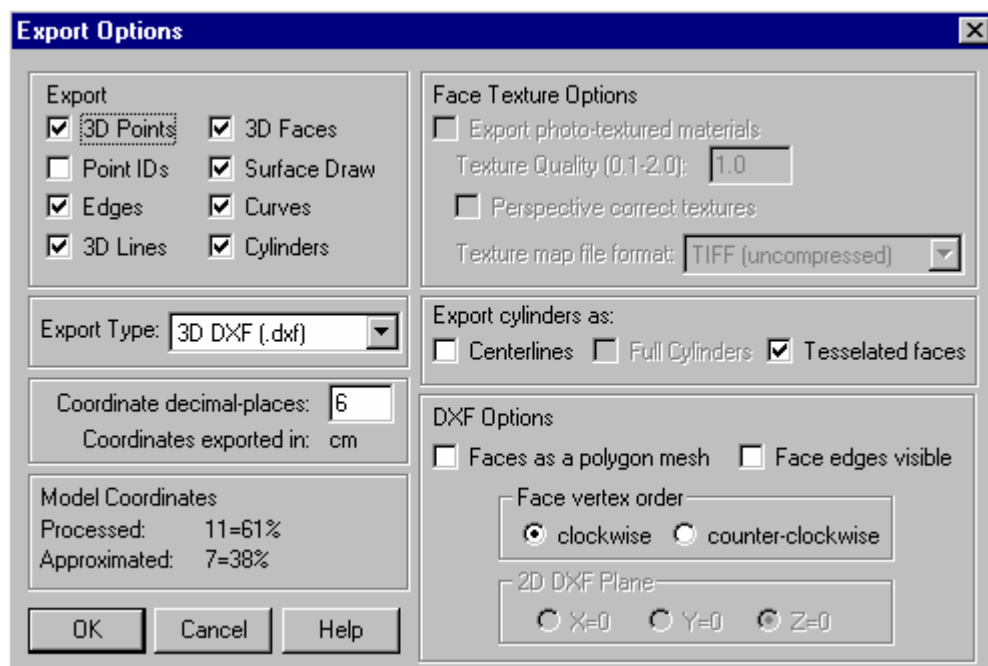
Po zadání zvětšení a měřítka (pomocí vlčovacíh bodů, dialogu *3D Scale and Rotation*) je nutné opět provést výpočet.



Obr.18 : Scale and Rotation dialog

9. Export výsledného modelu

Výsledný prostorový model může být exportován do jiných formátů: dxf, 3D Studio, obj, vrml. 2D „model“ lze také exportovat, ale jen do formátu dxf. V dialogu Export Models (File / Export Models) se zvolí formát, dále se vybere, co má být exportováno (3D body, čísla bodů, hrany, linie, plochy ...). Všechny typy prvků nelze převést do všech formátů, např. 3D studio si neporadí s body, liniemi a křivkami. Různé části modelu mohou být exportovány v jiných formátech (obr19).



Obr.19 : Export 3D modelu