

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



František Frúhbauer

Rekonstrukce fotografického snímku

Katedra didaktiky matematiky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Petra Surynková

Studijní program: Matematika

Studijní obor: Matematika zaměřená na vzdělávání

Praha 2013

Děkuji přátelům, rodině, pedagogům z katedry didaktiky matematiky, zejména RNDr. Petře Surynkové, za podporu při vzniku této práce.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V dne

Podpis autora

Název práce: Rekonstrukce fotografického snímku

Autor: František Frúhbauer

Katedra: Katedra didaktiky matematiky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Petra Surynková, Katedra didaktiky matematiky

Abstrakt: Bakalářská práce Rekonstrukce fotografického snímku se zabývá konstruktivní fotogrammetrií, rekonstrukcí vodorovného snímku a 3D vizualizací rekonstruovaných objektů. Může být použita jako učební doplněk při studiu deskriptivní geometrie. Práce obsahuje část o lineární perspektivě, kde ukazuje několik používaných konstrukcí. Poté se věnuje fotogrammetrii. Stručně je popsána historie, rozdělení a využití fotogrammetrie. Následují podrobně popsané příklady na rekonstrukci vodorovného snímku a ukázky využití konstruktivní fotogrammetrie v praxi. Text je doplněn množstvím vlastních obrázků, které byly vytvořeny v modelovacím programu Rhinoceros. Součástí práce je CD s elektronickou verzí práce, obrázky a zdrojovými soubory většiny obrázků.

Klíčová slova: fotogrammetrie, konstruktivní fotogrammetrie, vodorovný snímek

Title: Reconstruction of photographs

Author: František Frúhbauer

Department: Department of Mathematics Education

Supervisor: RNDr. Petra Surynková, Department of Mathematics Education

Abstract: Bachelor thesis Reconstruction of Photographs is engaged in constructive photogrammetry, reconstruction of horizontal image and 3D visualization of reconstructed objects. It can be used as a teaching supplement in the studying descriptive geometry. The work contains a section about linear perspective, which shows several used constructions. Then it deals with photogrammetry. Shortly describes the history, classification and use of photogrammetry. It continues with detailed described examples about the reconstruction of the horizontal image and examples of using constructive photogrammetry in practice. The text is supplemented with number of own images, that were created in the modeling program Rhinoceros. The work contains a CD with an electronic version of the thesis, images and source files of most images.

Keywords: photogrammetry, constructive photogrammetry, horizontal image

Obsah

Seznam obrázků	2
Úvod	4
1 Lineární perspektiva	5
1.1 Definice a základní pojmy	5
1.2 Základní konstrukce	8
2 Fotogrammetrie	14
2.1 Definice a využití	14
2.2 Historie	15
2.3 Rozdělení	16
2.4 Prvky vnitřní a vnější orientace	18
2.4.1 Prvky vnitřní orientace	18
2.4.2 Prvky vnější orientace	19
3 Rekonstrukce vodorovného snímku	21
4 Rekonstruované snímky - ukázka využití	32
Závěr	50
Literatura	51
Příloha - zadání příkladů	53

Seznam obrázků

1.1	Umístění kartézské soustavy souřadnic	6
1.2	Lineární perspektiva – prostorová situace	6
1.3	Zorný kužel v lineární perspektivě	7
1.4	Prostorové znázornění zobrazení bodu v půdorysně	9
1.5	Zobrazení bodu ležícího v půdorysně	9
1.6	Využití levého distančníku pro konstrukci bodu v půdorysu	10
1.7	Využití levého distančníku pro konstrukci bodu v půdorysu	10
1.8	Využití redukce pro konstrukci bodu v půdorysu	11
1.9	Vynesení výšky	11
1.10	Krychle v průčelné poloze	12
1.11	Kvádr v nárožné poloze	13
2.1	Prvky vnitřní orientace	18
2.2	Snímek s rámovými značkami	19
2.3	Prvky vnější orientace	20
3.1	Vodorovný snímek čtverce v základní rovině	22
3.2	Sestrojení horizontu	22
3.3	Sklápění obzorové roviny - prostorová situace	23
3.4	Nalezení hlavního bodu	23
3.5	Sestrojení základnice	24
3.6	Stejnolehlé čtverce a příslušné základnice	24
3.7	Prostorová situace naznačující sklápění obzorové roviny	25
3.8	Vodorovný snímek kváдру stojícího na půdorysně	25
3.9	Průmět kváдру - určení prvků vnitřní orientace	26
3.10	Určení prvků vnitřní orientace - prostorová situace	27
3.11	Náčrt umístění dveří	28
3.12	Příklad 4 - řešení	29
3.13	Vodorovný snímek skály a kontejneru	30
3.14	Příklad 5 - řešení	31
4.1	Nápis na okně	32
4.2	Nápis na okně - prvky vnitřní orientace	33
4.3	Vyrýsování nápisu	34
4.4	Nápis na okně - výsledek	34
4.5	Domy na sobě	35
4.6	Půdorys domu	35
4.7	Nalezení prvků vnitřní orientace	36
4.8	Vymodelovaný dům z fotografie	37

4.9	Model domu se schody	37
4.10	Fotografie s vymodelovaným schodištěm	38
4.11	Ukázka rysu schodiště	38
4.12	Domek	39
4.13	Prvky vnitřní orientace a otočený půdorys domku	40
4.14	Prostorový vztah modelu a snímku	40
4.15	Vkreslení přístavby do snímku	41
4.16	Přístavba ve snímku	42
4.17	Snímek domu	43
4.18	Otočený půdorys, ukázka rysu	44
4.19	Původní snímek se zakreslenými střešními okny	45
4.20	Prostorový obraz vztahu fotografie a modelu domu	45
4.21	Historický snímek	46
4.22	Ukázka rysu	47
4.23	Výsledný nárys budovy	48
4.24	Prostorový model čelní stěny budovy	49

Úvod

Bakalářská práce Rekonstrukce fotografického snímku se zabývá konstruktivní fotogrammetrií a rekonstrukcí vodorovného snímku. Za cíl si klade seznámit čtenáře s fotogrammetrií a konstruktivní fotogrammetrií, jakožto významnou aplikací deskriptivní geometrie, která propojuje praxi a teorii. Toto výborné praktické využití fotogrammetrie společně se zájmem o vytváření prostorových vizualizací v moderním modelovacím programu bylo hlavní motivací pro psaní práce.

Práce je uspořádána jako učební text, takže může posloužit jako doplněk středoškolským a vysokoškolským studentům a učitelům deskriptivní geometrie či zájemcům o studium fotogrammetrie. Pro čtenáře je vhodné mít základní znalosti pojmů a konstrukcí ve středovém promítání.

Text je doplněn velkým množstvím vlastních obrázků. Byly vytvořeny v modelovacím programu Rhinoceros ¹. Probírané téma a řešené příklady jsou hojně ilustrovány 3D vizualizacemi, které čtenáři velmi usnadňují pochopení látky.

Struktura práce je následující.

První kapitola se zabývá lineární perspektivou. Je v ní uvedena definice, základní pojmy a vlastnosti a několik důležitých konstrukcí.

Druhá kapitola je věnována fotogrammetrii. Nejdříve se zabývá definicí a využitím fotogrammetrie. Poté popisuje důležité historické události týkající se fotogrammetrie. Věnuje se též rozčlenění fotogrammetrie z několika hledisek.

Ve třetí kapitole jsou rozebrány příklady řešící rekonstrukce vodorovných snímků.

Ve čtvrté kapitole je demonstrováno využití metod konstruktivní fotogrammetrie při rekonstrukcích několika konkrétních snímků.

Důležitou součástí práce jsou přílohy. Tištěnou přílohou jsou předtisky úloh ze třetí kapitoly. Další přílohou je CD, na kterém je elektronická verze práce, jednotlivé obrázky k příkladům a zdrojové soubory příkladů. CD poslouží k dalšímu studiu probraných příkladů a rekonstruovaných snímků.

¹Název Rhinoceros je registrovaná ochranná známka společnosti Robert McNeel. & Associates

Kapitola 1

Lineární perspektiva

V této kapitole si vysvětlíme, co je to lineární perspektiva, a uvedeme si několik používaných základních konstrukcí. Lineární perspektivou se zabývá například [1] od strany 9 nebo [5] od strany 304.

1.1 Definice a základní pojmy

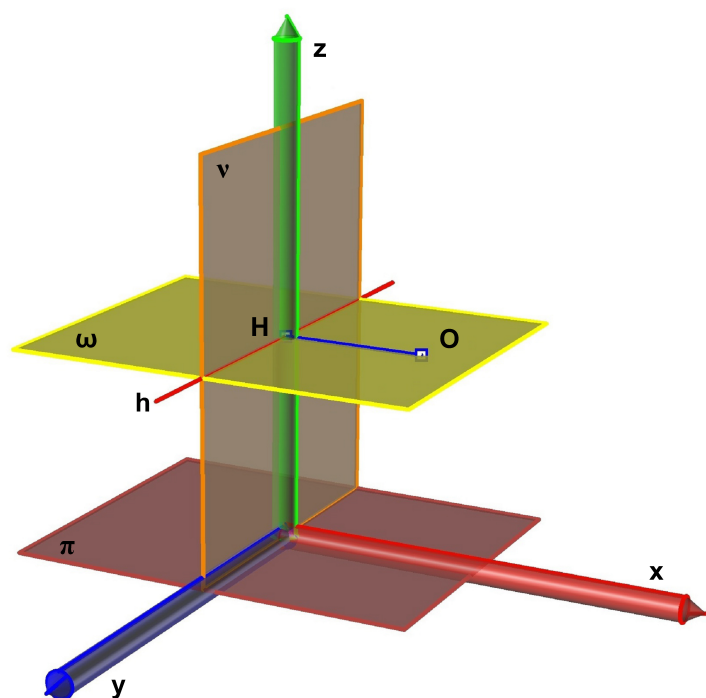
Nechť je v prostoru dána rovina ν a bod O , který v rovině ν neleží. *Promítáním* z bodu O do roviny ν rozumíme zobrazení, ve kterém bodu A v prostoru (vzor) odpovídá průsečík A_s přímky OA s rovinou ν (obraz). Rovinu ν nazýváme *průmětna*, bod O *střed promítání*, přímku AO *promítací přímka* a bod A_s *průmět* bodu A .

Středovým promítáním rozumíme promítání, ve kterém je střed promítání vlastní. *Středový průmět* je obraz v průmětně vzniklý středovým promítáním objektu v prostoru.

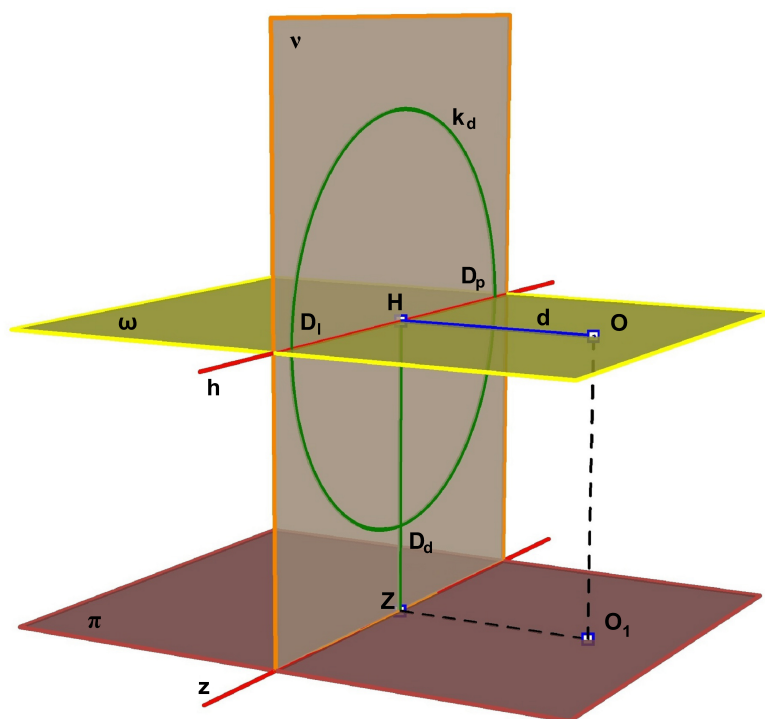
Lineární perspektiva je speciálním typem středového promítání, který má za cíl vystihnout lidské vidění.

Nechť je v prostoru dána kartézská soustava souřadnic (viz obrázek 1.1), lineární perspektiva pak splňuje následující požadavky.

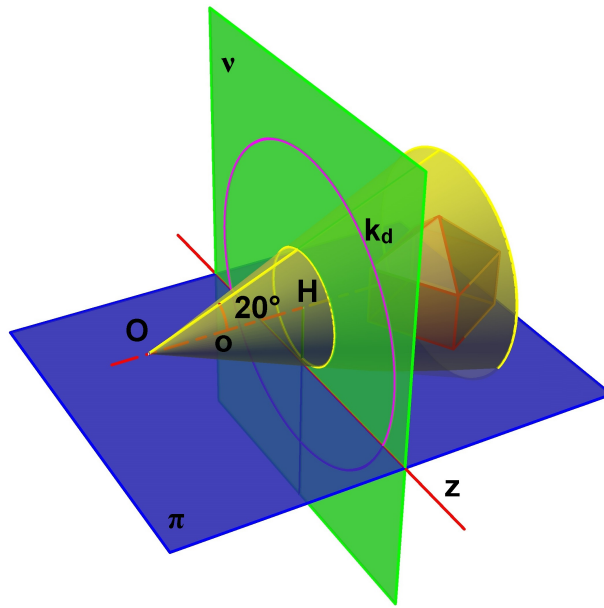
- *Střed promítání* O je vlastní a je umístěn do oka pozorovatele. Bývá tedy nad půdorysnou ve výšce jeden až dva metry. Půdorysna je rovina xy .
- *Průmětna* ν je svislá (kolmá na půdorysnu) a je umístěna mezi pozorovatelem a objektem.
- Pozorovaný objekt leží v *zorném kuželu*, což je rotační kužel s vrcholem v bodu O . Osa kužele je kolmá na průmětnu. Úhel mezi povrchovou přímkou kužele a osou je mezi 20° a 25° . Zorný kužel je znázorněn na obrázku 1.3.
- Zobrazovaný objekt stojí na půdorysně a vzdálenost od středu promítání je alespoň 20 cm, což je přibližně nejmenší vzdálenost, na kterou je oko člověka schopné zaostřit.



Obrázek 1.1: Umístění kartézské soustavy souřadnic



Obrázek 1.2: Lineární perspektiva – prostorová situace



Obrázek 1.3: Zorný kužel v lineární perspektivě

Další vlastnosti a označení:

Hlavní bod H je kolmý průmět oka O do průmětny ν . *Distance* $d = |OH|$ je vzdálenost oka a hlavního bodu. Přímka HO se nazývá *hlavní promítací přímka*. Rovina rovnoběžná s půdorysnou a procházející okem O se nazývá *obzorová rovina* ω . Průnik obzorové roviny ω a průmětny ν je úběžnice půdorysny π nazývaná *horizont* h . Hlavní bod H leží na horizontu h . Průnik půdorysny π s průmětnou ν je stopa půdorysny π a nazýváme ji *základnice* z . *Výška horizontu* je vzdálenost $|hz| = |HZ| = |OO_1|$ a odpovídá výšce člověka. Pojmy ilustruje obrázek 1.2

Zorný kužel proniká průmětnu ν v kruhu zvaném *zorné pole*. Jeho poloměr je přibližně $d \cdot \tan(20^\circ) \doteq \frac{d}{3}$. Přímka HZ se nazývá *hlavní vertikála*. Kružnice v rovině průmětny ν se středem v hlavním bodě H a poloměrem distance d se nazývá *distanční kružnice* a značíme ji k_d . Její body jsou *distančníky*. Průnikem distanční kružnice s hlavní vertikálou a horizontem vznikají *distančníky horní, dolní, levý* a *pravý*, značíme D_l, D_p, D_h a D_d . Přímky rovnoběžné s hlavní promítací přímkou se označují jako *hloubkové*.

Výsledkem lineární perspektivy je rovinný obraz ležící v průmětně, se kterým se dále pracuje. Při této práci je lineární perspektiva v průmětně zadána horizontem, hlavním bodem, distancí a výškou horizontu. Příkladem perspektivního obrazu jsou fotografie.

1.2 Základní konstrukce

Existuje několik metod konstrukce lineární perspektivy.

- Vázané
Vázané metody (někdy označované jako *nepřímé*) se používají, máme-li k dispozici sdružené průměty zobrazovaného předmětu. Nejznámější je *průsečná metoda*, při níž se vychází z Mongeova promítání. Další metody jsou *stopníková metoda* nebo metoda zvaná *incidenční měřítko*.
- Přímé
Přímé metody vychází z konstrukcí ve středovém promítání. Nejdříve sestrojíme půdorys objektu (tzv. *perspektivní půdorys*) a poté vyneseme výšky.

Ukážeme si několik základních konstrukcí, pro další je čtenáři doporučena odborná literatura ze seznamu použité literatury. Budeme využívat metody přímé. Z důvodu lepší názornosti obrázků je možné, že budou porušeny některé zásady lineární perspektivy (výška horizontu, poloha objektu v zorném kuželu). K zobrazování v lineární perspektivě je možné využít a hojně se využívá modelovací 3D software.

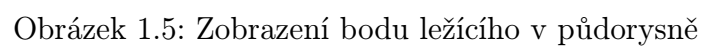
Nejdříve si ukážeme, jak zobrazit body ležící v půdorysně a později, jak vnést výšku nad tímto perspektivním půdorysem a sestrojit tak bod v prostoru.

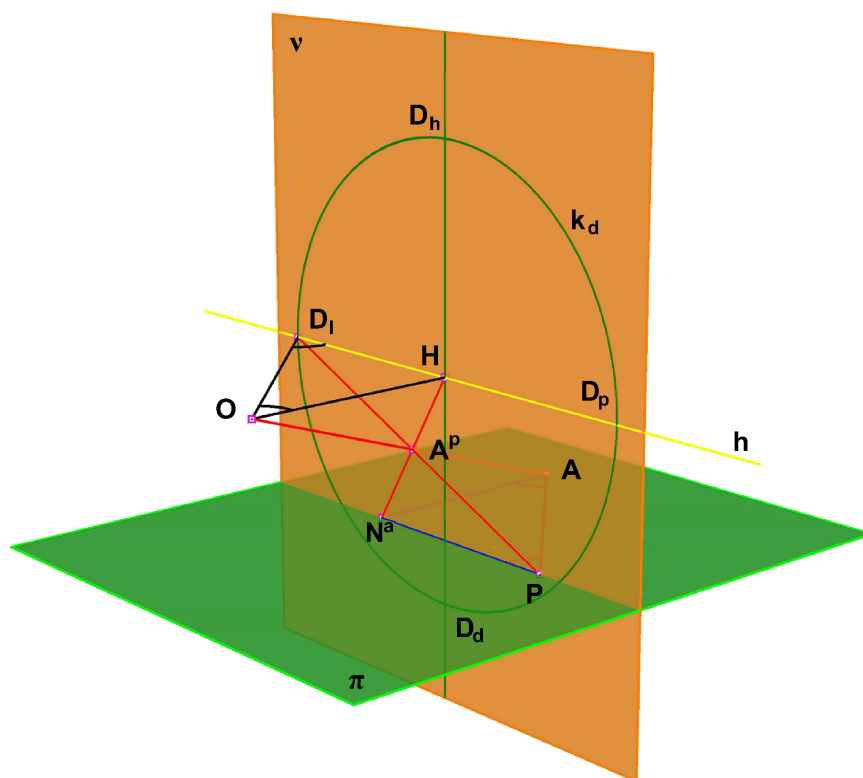
Příklad. *Zobrazení bodu v půdorysně.* Viz obr. 1.4 a obr. 1.5.

Nechť je dán bod A ležící v půdorysně. Hloubková přímka a procházející bodem A má stopník N^a na základnici a její perspektivní (středový) průmět je přímka a^p . Otočením půdorysny do průmětny kolem základnice získáme otočený bod A^o . Přímka procházející body A a A^o má perspektivní (středový) průmět přímku procházející body A^o (stopník) a D_d (úběžník). Úhly, které svírají přímky AA^o a OD_d s průmětnou ν , jsou 45° . Perspektivní průmět bodu A je tedy bod A^p , který je průnikem přímek a^p a A^oD_d .

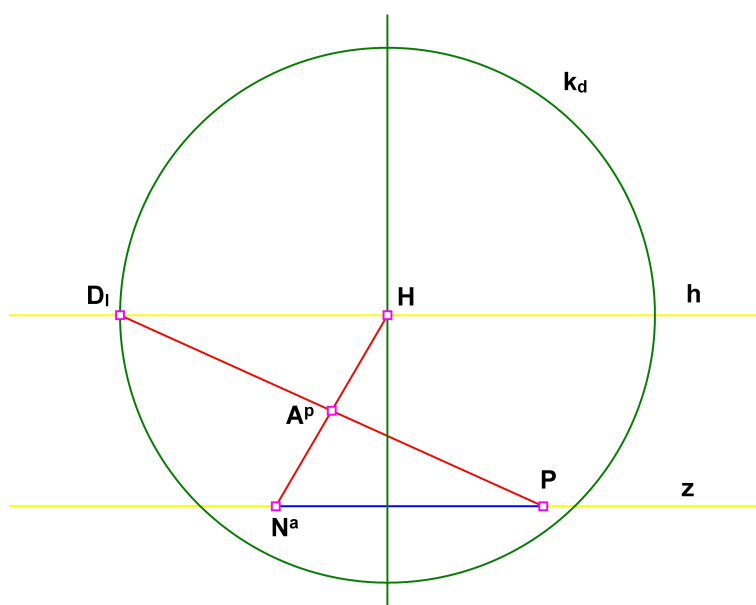
Příklad. *Využití dalších distančníků.* Viz obrázek 1.6 a obrázek 1.7.

Pro sestrojení bodu A v půdorysně můžeme využít i pravý, levý a horní distančník. Například pro využití levého nebo pravého distančníku stačí bodem A proložit přímku svírající s nárysnou 45° a ležící v půdorysně. Stejně jako v předchozím příkladě, průnik její perspektivy s perspektivou hloubkové přímky procházející bodem A nám dává perspektivní obraz bodu A .



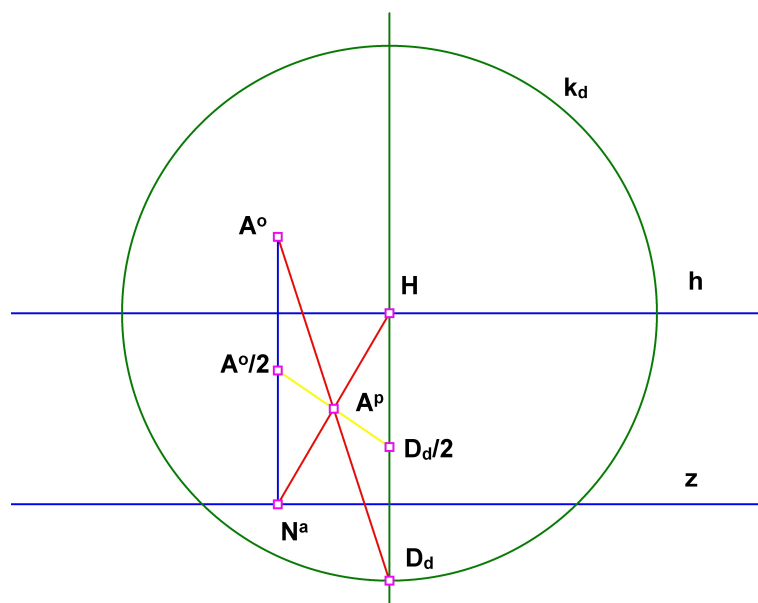


Obrázek 1.6: Využití levého distančníku pro konstrukci bodu v půdorysu



Obrázek 1.7: Využití levého distančníku pro konstrukci bodu v půdorysu

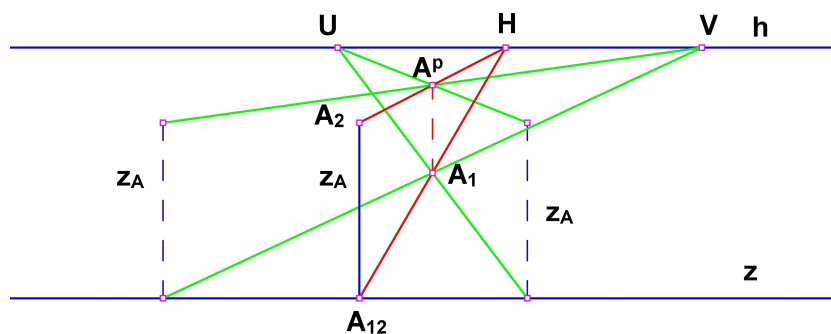
Příklad. *Redukce distance.* Viz obrázek 1.8.



Obrázek 1.8: Využití redukce pro konstrukci bodu v půdorysu

Distance někdy může být tak velká, že se nám její zobrazení nevejde na papír. V tomto případě lze využít *redukce*. Na obrázku 1.8 je vyobrazena konstrukce bodu A v půdorysu pomocí polovičního dolního distančníku $D_d/2$. Rovněž *hloubku* bodu A musíme zmenšit na poloviční hodnotu. Redukce je vlastně stejnolehlost v rovině průmětny se středem v hlavním bodě H a voleným koeficientem (v našem případě volíme $1/2$).

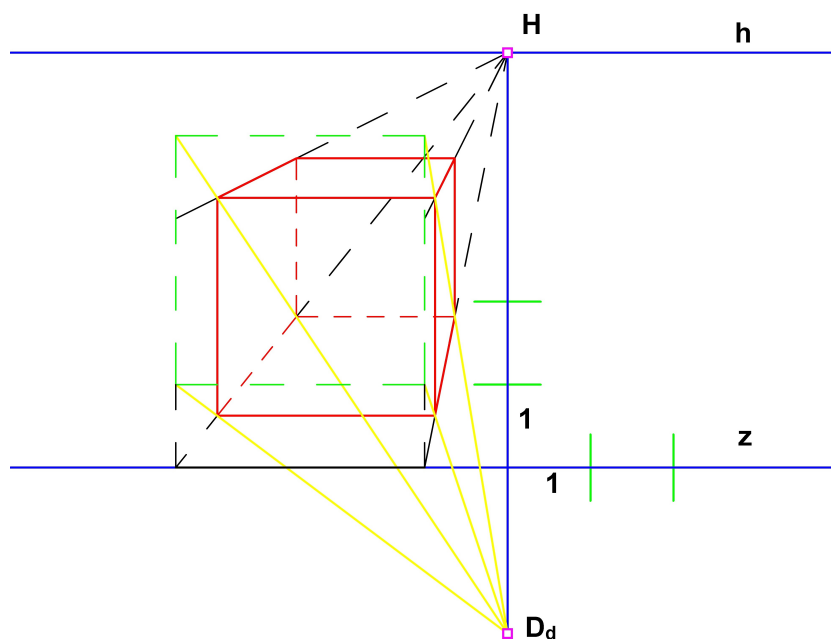
Příklad. *Vynesení výšky.* Viz obrázek 1.9.



Obrázek 1.9: Vynesení výšky

Po nalezení perspektivního půdorysu bodu A , který neleží v půdorysně, musíme ještě vynést výšku bodu nad půdorysnou, označme ji z_A . Využijeme libovolný úběžník na horizontu (horizont je úběžnice půdorysny). Například hlavní bod H . Perspektiva hloubkové přímky perspektivním půdorysem A_1 protíná základnici v bodě A_{12} . Nad ním ve výšce z_A leží bod A_2 ($A_{12}A_2 \perp z$, $|A_{12}A_2| = z_A$). Nyní můžeme sestavit perspektivu bodu A . Na obrázku je vyobrazena konstrukce i pro úběžník U a V .

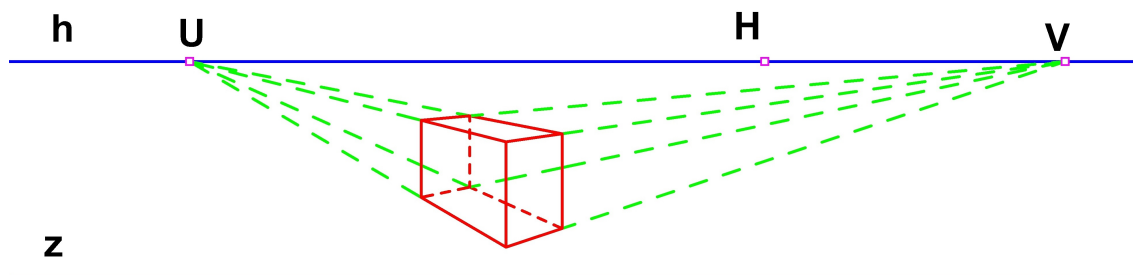
Příklad. *Krychle v průčelné poloze.* Viz obrázek 1.10.



Obrázek 1.10: Krychle v průčelné poloze

Těleso, jehož hrany leží ve třech navzájem kolmých směrech, z nichž dva jsou rovnoběžné s průmětnou, se zobrazí v *průčelné perspektivě*. Vzniká tzv. *jednouúběžníková perspektiva*. Konstrukci na obrázku 1.10 již nebudeme podrobně popisovat. Pouze si doplníme zadání: narýsujte perspektivu krychle v průčelné poloze, souřadnice (zadány podle soustavy souřadnic z obr. 1.2) bodů podstavy na diagonále jsou $[-1,1,0]$, $[-4,4,0]$, výška horizontu je 5, distance je 7. Na základnici z a hlavní vertikále je vyznačeno měřítko.

Příklad. *Kvádř v nárožné poloze.* Viz obrázek 1.11.



Obrázek 1.11: Kvádř v nárožné poloze

Pokud je u kvádru stojícího na půdorysně s průmětnou rovnoběžný pouze jeden směr hran, pak se nám zobrazuje v *nárožné perspektivě* a dostáváme *dvou-úběžníkovou perspektivu*. Směry hran kvádru se sbíhají do dvou úběžníků na horizontu (na obr. 1.11 to jsou úběžníky U a V).

Kapitola 2

Fotogrammetrie

Nyní se budeme věnovat fotogrammetrii. Vyslovíme si její definici, prozkoumáme možnosti využití fotogrammetrie, nahlédneme do její historie a nakonec si uvedeme členění fotogrammetrie podle různých kritérií.

2.1 Definice a využití

Slovo *fotogrammetrie* vychází z řeckých slov $\varphi\omega\varsigma$ (phōs) - světlo, $\gamma\rho\acute{\alpha}\mu\mu\alpha$ (gramma) - záznam a $\mu\acute{\epsilon}\tau\rho\omicron\nu$ (metron) - měření.

Definice. *Fotogrammetrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření, map, modelů a dalších produktů, které lze získat z obrazového, nejčastěji fotografického záznamu.*

Definice je převzata z [3], str. 3.

Fotogrammetrie tedy stanovuje rozměry, polohy a tvary objektů v prostoru. Jako zdroj informací je ideální využít fotografické měřické snímky pořízené měřickou komorou. Měřická komora je vlastně speciální fotoaparát, který nám usnadní na snímku zjistit prvky vnitřní orientace. V pozemní fotogrammetrii se používá *phototeodolit*, což je měřická komora s optickým zařízením, pomáhající určení prvků vnější orientace. Avšak v současné době se k pořízení snímků objektů hojně využívají digitální fotoaparáty.

Měření na snímku objektu je významnou výhodou fotogrammetrie oproti jiným měřickým metodám. Vznik snímku je relativně časově nenáročný a jeho zpracování probíhá v klidu v laboratoři. Vyhodnocení snímku se může bez problému opakovat a zpřesňovat i po změnách na zkoumaných objektech. Měření na opakovaně pořízených snímcích nám umožňuje dokumentovat vývoj vlastností objektů.

Fotogrammetrie nachází mnohá uplatnění v praxi. Uvedeme si pouze jejich malý výčet. Jako součást kartografie je využívána k mapování zemského povrchu. Snímkování probíhá ze země, vzduchu i z vesmíru. V architektuře se fotogrammetrie používá ke vkreslování možných nových objektů do snímků krajiny nebo zástavby. Ve stavebnictví nám pomáhá sledovat vývoj nových i již postavených staveb nebo sestavovat dokumentace stavebních objektů. Další využití nalézáme například v zemědělství, archeologii, meteorologii, medicíně, vojenství. . .

2.2 Historie

Stručně si zde v několika bodech shrneme události ve vývoji fotogrammetrie. Informace jsou čerpány z [4] a [2] strany 8 a 9.

- Popsání principu *camery obscury* neboli *dírkové komory*. V 5. století př. n. l. čínský filozof *Mu Ti*, 350 př. n. l. *Aristoteles*, roku 1032 arabský učenec *Ibn Al Hasan Haitkam* (965 – 1039) nebo r. 1485 *Leonardo da Vinci* (1452 – 1519).
- V roce 1715 *Brook Taylor* (1685 - 1731) popsal, že za určitých podmínek můžeme z perspektivního obrazu objektu získat pravoúhlé průměty objektu.
- V roce 1759 *Johann Heinrich Lambert* (1728 - 1777) se zabývá z pohledu geometrie sestrojením půdorysu z nakreslených perspektiv krajiny, tedy mapováním krajiny.
- V roce 1807 *William Hyde Wollaston* (1766 - 1828) sestrojil přístroj *camera lucida*, pomocí něhož se perspektiva krajiny zakreslovala přesněji.
- Ve 30. letech 19. st. *Joseph Nicéphore Niépce* (1765 - 1833) a *Jacques Daguerre* (1787 - 1851) vynalezli fotografický proces.
- V 50. letech 19. st. *Aime Laussedat* (1819 - 1907) začal provádět měření ze snímků. Roku 1851 vydal dílo *Métrophotographie* a například v roce 1855 během obléhání Sevastopolu sestavil plán opevnění z pořízených snímků. V roce 1861 využil fotografie a průsekovou fotogrammetrii k vytváření map. Je považován za zakladatele fotogrammetrie.
- Roku 1859 sestrojil první *fototeodolit* mechanik *Brunner* podle plánů A. Laussedata.
- V Německu se měření staveb, zejména dokumentaci historických památek, z fotografií zabýval *Albrecht Meydenbauer* (1834 - 1921). Dosahoval dobrých výsledků. V roce 1867 poprvé použil výraz *fotogrammetrie* v článku v architektonickém časopise. Je také považován za zakladatele fotogrammetrie.
- Roku 1867 provedl první fotogrammetrické měření u nás *Karel Kořistka* (1825 - 1906). Ze stanovišť na Hradčanech a Petříně zhotovil fotografie a z nich pak průsekovou metodou určil polohy některých věží a významných míst v Praze.
- Zajímavostí může být, že v letech 1893 - 1897 byly průsekovou metodou zmapovány Vysoké Tatry.
- V roce 1901 byl podle návrhu *Carla Pulfricha* (1858 - 1927) sestrojen *stereokomparátor* firmou *Zeiss* a tím došlo k rozvoji měřické metody nazývané stereofotogrammetrie, která byla přesnější než grafická průseková metoda.
- V roce 1903 bratři *Wrightové* provedli úspěšný let. Do té doby se snímky z výšky pořizovaly z balónů, či draků.

- Též v roce 1903 sestrojil *Theodor Scheimpflug* (1865 - 1911) překreslovač, který vyhodnocoval letecké snímky rovinatého území.
- V roce 1908 *E. Orel* zmechanizoval zdoluhavé výpočty souřadnic jednotlivých bodů a vytvořil *autostereograf*. Tento přístroj byl nadále vyráběn ve firmě Zeiss pod názvem *stereoautograf*. Byl s výhodou používán pro pozemní fotogrammetrii na přehledných územích.
- Během první světové války se ve velkém využívala letecká fotogrammetrie a došlo k jejímu rozvoji.
- V roce 1921 se u nás uskutečnilo první letecké stereofotogrammetrické mapování. Bylo to v Trutnově. Do roku 1938 Vojenský zeměpisný ústav pomocí letecké fotogrammetrie u nás zmapoval přes 67 000 km².
- Během druhé světové války a období studené války došlo opět k velkému rozvoji, neboť byl vynalezen *spektrozonální film, radar a raketa*. Začal se rozvíjet dálkový průzkum Země a fotogrammetrie pro snímky pořízené z velké výšky.
- V roce 1957 si *Uki Helava* (1923 - 1994) nechal patentovat princip *analytického stroje*. Ten využíval přímý vztah mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi.
- Od roku 1980 s rozvojem výpočetní techniky dochází k rozvoji a využití těchto analytických strojů.
- Od poloviny 80. let 20. st. dochází k velkému rozvoji počítačových technologií a vzniká *digitální fotogrammetrie*.
- Dále dochází k velkému využití na poli dálkového průzkumu Země za použití snímků z radiometrů. V pozemní fotogrammetrii dochází k využívání snímků z laserových skenerů nebo naopak obyčejných digitálních fotoaparátů.

2.3 Rozdělení

Fotogrammetrie jako taková je široký pojem a dělíme ji podle několika kritérií. Jako zdroj informací mi v této části posloužil převážně [3] od strany 14.

1. Poloha stanoviška

(a) Pozemní

U pozemní fotogrammetrie je stanoviško pevně spojeno se zemí a nepohyblivé. Stanoviško je geodeticky zaměřeno a dá se lehce určit orientace snímku v prostoru. Snímky se pořizují do vzdálenosti 500 metrů. Mohou se používat dlouhé expoziční časy. Nevýhodou je možné zakrývání objektů jinými objekty. V některých odvětvích využití je považována za pouhou speciální část letecké fotogrammetrie. V anglické literatuře je označována jako *Close-range Photogrammetry*. Snímek ještě můžeme

rozdělit na *vodorovný*, kdy osa záběru je vodorovná (rovnoběžná s půdorysnou) a vzniká jedno- nebo dvouúběžníková perspektiva, a *šikmý*, kdy osa záběru není vodorovná a vzniká trojúběžníková perspektiva. Pokud osa záběru směřuje směrem šikmo dolů, vzniká perspektiva *ptačí*, pokud šikmo nahoru, vzniká perspektiva *žabí*.

(b) Letecká

U letecké fotogrammetrie je stanoviště pro pořízení snímku umístěno nejčastěji v pilotovaném (nebo nepilotovaném) letadle či helikoptéře. Určení prostorové polohy a orientace snímku je náročnější. Jeho zpracování je také složitější. Dají se takto pořídit snímky pokrývající větší území. Pořizování snímků je závislé na počasí.

(c) Družicová

Často se uvádí dělení pouze na fotogrammetrii pozemní a leteckou, avšak družicová fotogrammetrie vyžadovala vytvoření speciálních programových zařízení v oblasti digitální fotogrammetrie. Počátky datujeme do 60. let 20. st. a využití bylo zejména ve vojenství ke špionážím.

2. Počet vyhodnocovaných snímků

(a) Jednosnímková

Využíváme pouze jeden měřický snímek. Lze zjišťovat pouze rovinné souřadnice a používá se na téměř rovinné objekty. Pokud máme nějaké další informace, můžeme rekonstruovat i prostorové objekty.

(b) Vícesnímková

U vícesnímkové fotogrammetrie jsme schopni vyhodnotit prostorové souřadnice objektů, pokud se nachází na alespoň dvou snímcích. Jestliže se k vyhodnocení používá stereoskopického efektu, mluvíme o *stereofotogrammetrii*. Pro *průsekovou fotogrammetrii* by se osy záběru měly protínat pod úhlem nejlépe 90° , vyhodnocení probíhá bodově.

3. Způsob zpracování

(a) Analogový

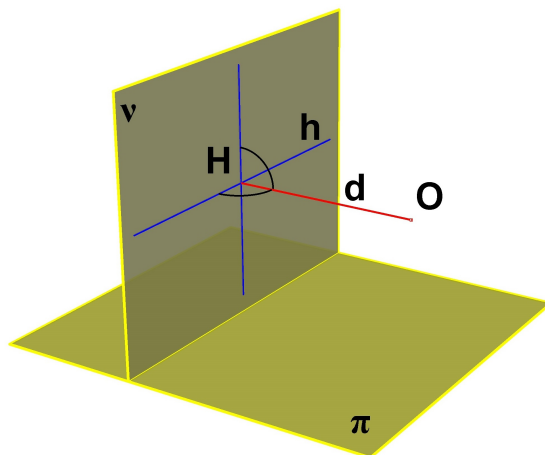
Ke zpracování snímku dochází mechanicky a opticky. Jsou využívány složité analogové vyhodnocovací stroje. Setkáme se s nimi jen zřídka. Firma Zeiss ukončila jejich výrobu v roce 1990.

(b) Analytický

Analytické vyhodnocení obsahu snímku využívá pro převod snímkových souřadnic do geodetického systému prostorovou transformaci. Snímkové souřadnice se měří na *komparátoru*, transformace se počítá na počítači. Analytické vyhodnocovací stroje využívají konstrukce stereokomparátoru ve spojení s počítačem.

(c) Digitální

Ke zpracování je využita digitální fotografie celé zpracování probíhá na počítači.



Obrázek 2.1: Prvky vnitřní orientace

4. Metody zpracování podle typu výstupu

(a) Grafické

Výstup je přímo fyzicky vykreslen. Vyhodnocení může být rychlé, ale těžko se pak výsledek dále zpracovává výpočetní technikou.

(b) Numerické

Vyhodnocená data se ukládají do paměti výpočetní techniky a mohou být dále zpracovávána, kopírována a reprodukována.

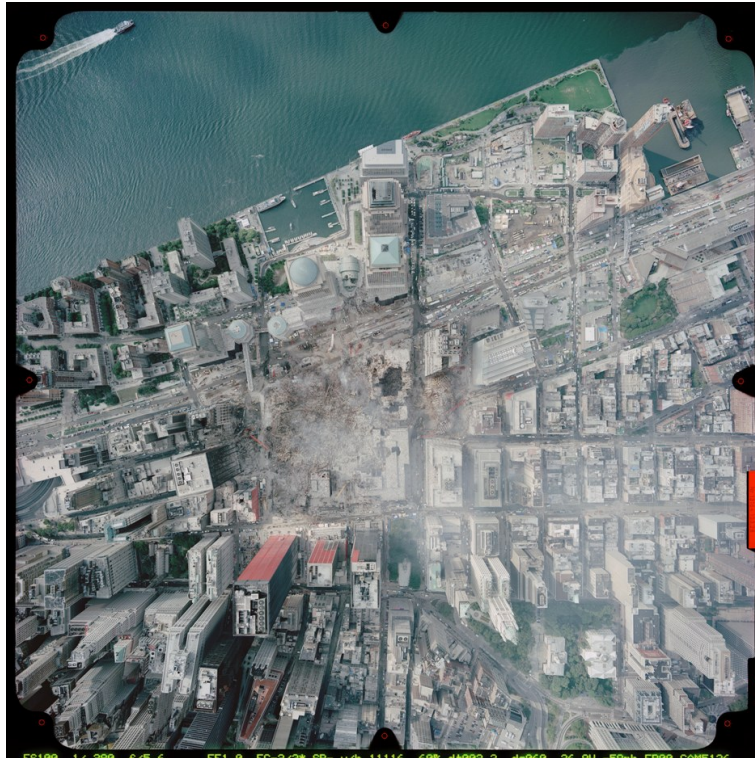
2.4 Prvky vnitřní a vnější orientace

2.4.1 Prvky vnitřní orientace

Mezi prvky vnitřní orientace snímku řadíme *hlavní bod* H , respektive jeho umístění na snímku, a *distanci* d (obrazovou vzdálenost). U vodorovných snímků se k nim někdy přidává také *horizont* h .

Vše je názorně nakresleno na obrázku 2.1. Distance odpovídá délce kolmice spuštěné ze středu objektivu O na průmětnu ν . Jinak řečeno, distance je ohnisková vzdálenost objektivu, jelikož fotogrammetrické komory jsou zaostřeny na nekonečno, poté je totiž obrazová vzdálenost rovna ohniskové. Ohnisková vzdálenost fotogrammetrických komor je určena laboratorně. Hlavní bod je průsečík kolmice na průmětnu vedené středem promítání O a průmětny. Je zároveň průsečíkem osy objektivu s rovinou filmu. Hlavní bod a horizont jsou z měřických komor určeny pomocí *rámových značek*, které jsou na snímku zobrazeny. Ukázka snímku s rámovými značkami je na obrázku 2.2. Nejedná se o vodorovný snímek.

U vodorovného snímku získáme spojením protilehlých značek horizont a hlavní vertikálu. Průnik horizontu a hlavní vertikály určuje hlavní bod. Snímek s prvky vnitřní orientace se nazývá *měřický*.

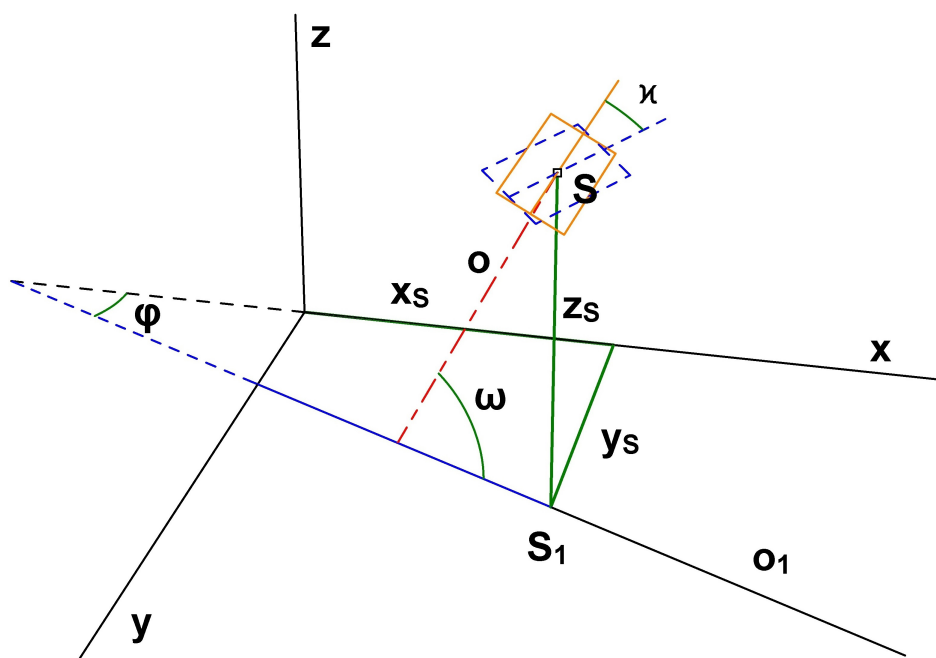


Obrázek 2.2: Snímek s rámovými značkami, zdroj snímku [7]

2.4.2 Prvky vnější orientace

Prvky vnější orientace rozumíme několik údajů. Jsou vyobrazeny na obrázku 2.3. Jednak to jsou *souřadnice středu promítání* x_S , y_S a z_S (poloha měřické komory, nejčastěji v pravoúhlém systému souřadnic), *směr osy záběru* určený dvěma úhly φ a ω a *úhel pootočení snímku* κ , což je úhel spojnice rámových značek s hlavní horizontální přímkou roviny snímku (horizontem roviny snímku), neboli úhel pootočení snímku ve vlastní rovině kolem osy záběru.

U pozemní fotogrammetrie je určení prvků vnější orientace jednoduché, avšak u letecké to může být problém, neboť stanoviště fotokomory je nejčastěji umístěno v pohybujícím se letadle a je vystaveno vnějším meteorologickým vlivům. K určení se využívají zařízení se systémy GPS (Global Positioning System) a INS (Inertial Navigation System).



Obrázek 2.3: Prvky vnější orientace. Snímek je částečně překreslen z [2], str. 48

Kapitola 3

Rekonstrukce vodorovného snímku

Dále se budeme věnovat části fotogrammetrie – konstruktivní fotogrammetrii a rekonstrukci vodorovného snímku. Nejdříve si vysvětlíme, co dané pojmy znamenají a poté si uvedeme několik příkladů na téma konstruktivní fotogrammetrie. V této části jsem čerpal informace převážně z [1] od str. 59 a [6] od str. 198.

Konstruktivní fotogrammetrie je část fotogrammetrie, která se zabývá geometrickým hledáním prvků vnitřní orientace. Využívá poznatků a metod deskriptivní geometrie v oblasti středového promítání, respektive lineární perspektivy. Je využívána ke zpracování fotografií pořízených amatérskými fotoaparáty, ne tedy měřickými komorami. Doplněním fotografie o prvky vnitřní orientace vznikne *měřický snímek*, který může být dále zpracován (rekonstruován).

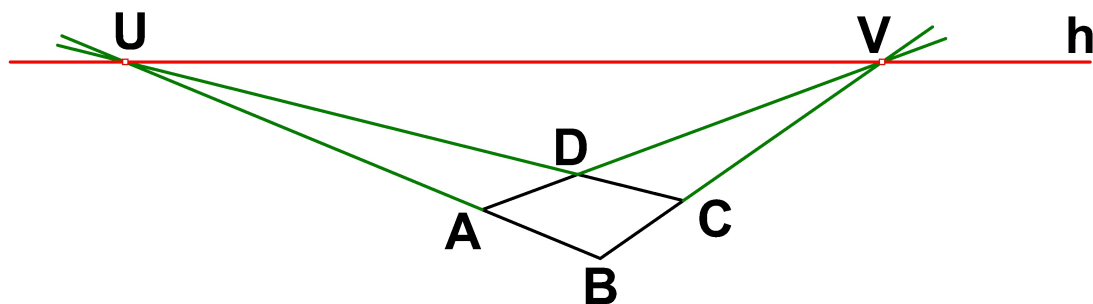
Rekonstrukcí snímku rozumíme zhotovení pravoúhlých průmětů na půdorysnu a nárysnu objektu zájmu na měřickém snímku, nebo naopak vkreslení objektu na měřický snímek, jestliže máme k dispozici jeho pravoúhlé průměty na nárysnu a půdorysnu. Nově vkreslené objekty by měly být v zorném poli, jinak by rekonstruovaný snímek neodpovídal možnostem lidského vidění. *Rekonstrukcí vodorovného snímku* pak rozumíme rekonstrukci snímku, který má vodorovnou osu záběru.

Vodorovný snímek lehce poznáme tak, že ve skutečnosti svislé hrany objektu se zobrazují jako svislé úsečky na fotografii, tedy jsou na ní rovnoběžné. U šikmého snímku se sbíhají do úběžníku. Pokud se nám nepodaří získat přesně vodorovný snímek, ale svislé úsečky se na něm jeví jako rovnoběžné, můžeme ho pro zjednodušení považovat za snímek vodorovný.

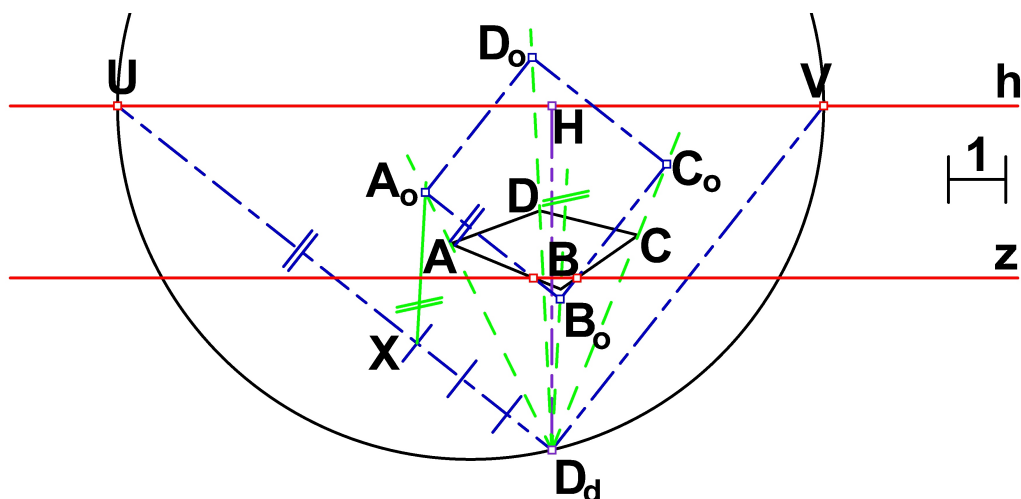
Geometrická rekonstrukce vodorovného snímku je méně přesná, než strojové zpracování snímku.

Nyní si ukážeme několik příkladů na nalezení prvků vnitřní orientace ve vodorovných snímcích. Pro zjednodušení si fotografie nahradíme náčrty obrysů.

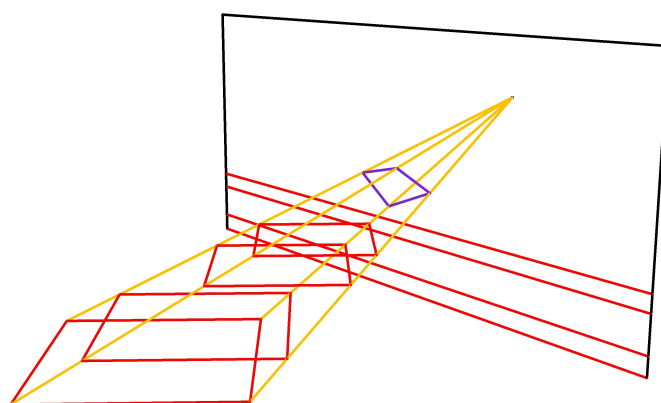
Průsečík kružnic k_1 a k_2 je sklopený střed promítání (O) a v našem případě i dolní distančník. Na horizontu na kolmici k horizontu vedené dolním distančníkem leží hlavní bod H . Distance d je vzdálenost hlavního bodu od dolního distančníku, tedy $d = |HD_d|$.



22



Obrázek 3.5: Sestrojení základnice



Obrázek 3.6: Stejnolehlé čtverce a příslušné základnice

Příklad 2. Na snímku z příkladu 1 doplňte základnici a sestrojte čtverec v otočení tak, aby strana čtverce měřila tři jednotky. Jednotka je vyznačena na obrázku 3.5 vpravo.

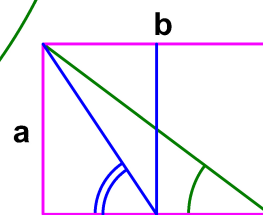
Pro stanovení polohy základnice potřebujeme navíc znát délku hrany, protože jinak je její umístění nejednoznačné, neboť existuje nekonečně mnoho stejnolehlých čtverců, které se v této lineární perspektivě zobrazují na čtverec $ABCD$, jak je vidět na obrázku 3.6. Můžeme ale i určit základnici a podle ní pak skutečnou velikost čtverce.

A nyní k řešení příkladu. Bod D_d je vlastně otočeným středem promítání do nákresny. Přímký procházející D_d a body A , B , C a D jsou otočené promítací paprsky v prostoru procházející vrcholy čtverce. Spojnice D_d s úběžníky U a V jsou směry stran čtverce v otočení. Naneseme na jeden z těchto směrů délku strany čtverce ($|D_d X|$). Úsečku $D_d X$ posuneme mezi paprsky procházející body A a B (nebo D a C) tak, aby konce úsečky ležely na paprscích a její směr byl rovnoběžný s úsečkou $D_d X$. Získáváme otočené body A_o a B_o . Zbylé body čtverce v otočení už lehce dorýsujeme. Základnice prochází průsečíky stran v otočení a příslušných průmětů stran. K představení si situace pomůže obr. 3.7.



A 3D diagram of a rectangular prism. The front horizontal edge is labeled **a**, the vertical edge is labeled **b**, and the receding horizontal edge is labeled **c**.

Kolmice k horizontu vztyčena z úběžníku U je úběžnice svislé roviny obsahu-

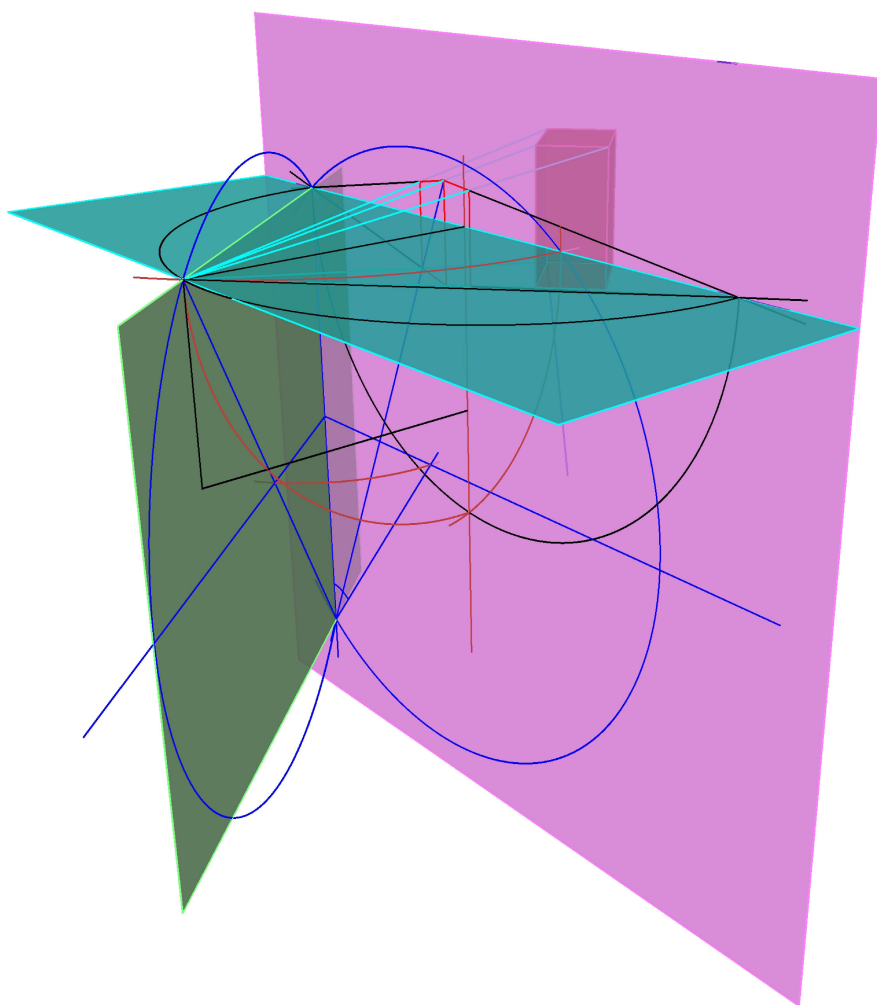


Obrázek 3.9: Průmět kváдру - určení prvků vnitřní orientace

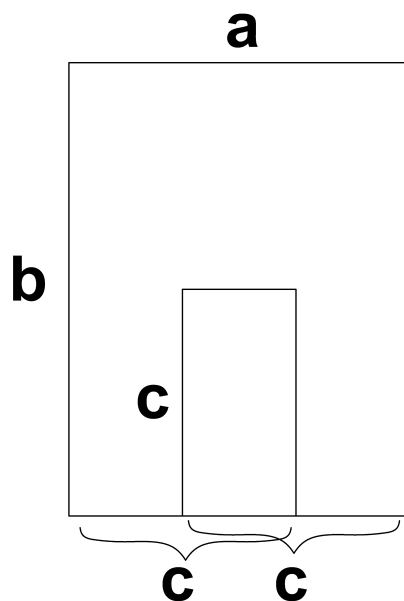
jící hrany a a b . Na ní leží úběžník W stěnové úhlopříčky kváдру. Střed promítání ve sklopení O_o je na kružnici (množina bodů, z níž je úsečka UW vidět pod úhlem, který svírají hrany a a b) se středem S a poloměrem délky $|SU| = |SW|$ a horizontu h (svislou rovinu sklápíme kolem úběžnice UW a úběžník U je pro tuto rovinu úběžníkem spádových přímek). Je též možné nalézt bod O_o přes jiný známý úhel, jak je znázorněno modrou konstrukcí na obrázku 3.9.

Dolní distančník je průnikem zobrazené části Thaletovy kružnice nad UV a zobrazené části kružnice se středem v U a poloměrem délky $|UO_o|$, protože sklápění středu promítání probíhá po kružnici se středem v bodě U a poloměrem délky $|OU| = |O_oU|$. Tato kružnice ale leží v obzorové rovině, kterou jsme též sklopili, takže ji vidíme v průmětně. Hlavní bod je pata kolmice v bodě D_d spuštěné na horizont.

Prostorovou situaci vidíme na obrázku 3.10. Obrázek je již bez popisků.



Obrázek 3.10: Určení prvků vnitřní orientace - prostorová situace

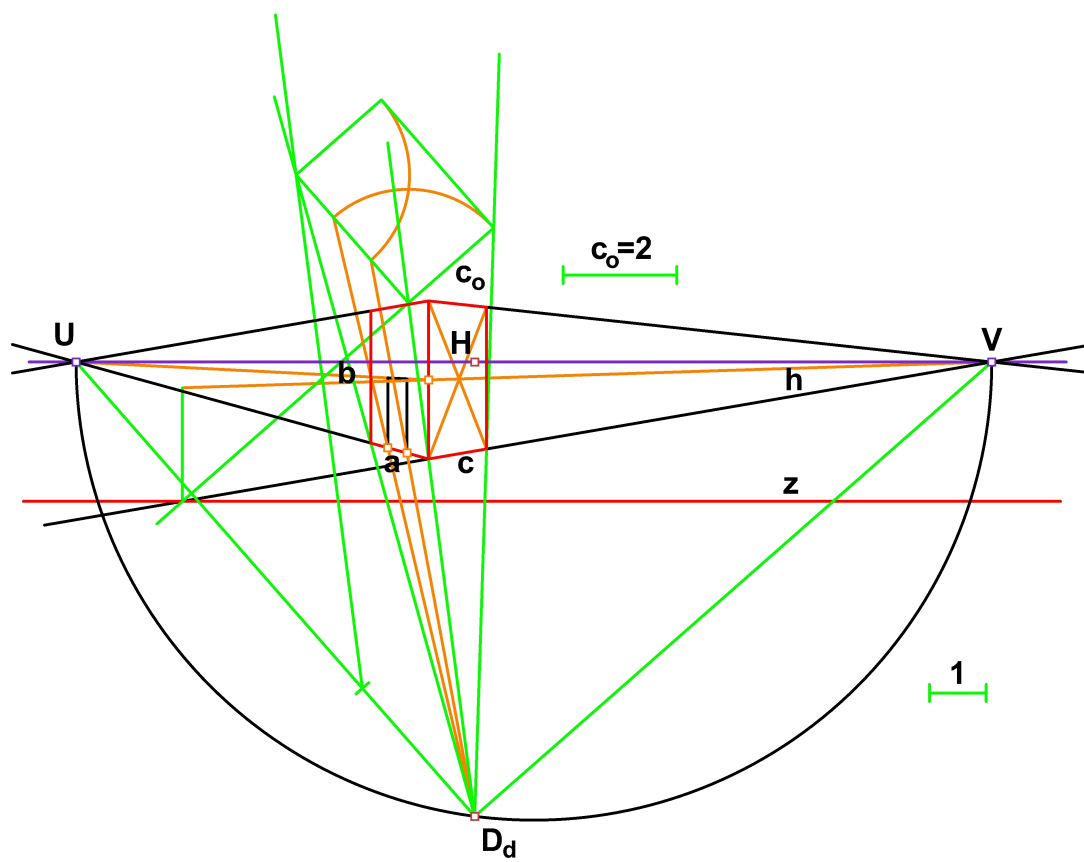


Obrázek 3.11: Příklad 4 - náčrt umístění dveří, čelní pohled na stěnu ab

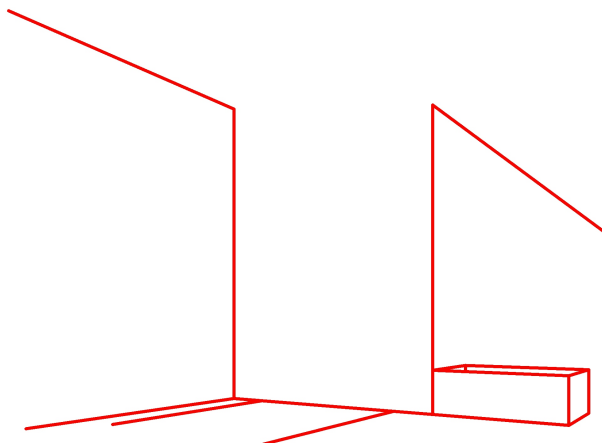
Příklad 4. Ze snímku z předchozího příkladu zjistíte poměr délky hrany c kvádru k délkám hran a a b . Dorýsujte otočený půdorys kvádru. Představte si, že kvádr na snímku je budova, dorýsujte jí dveře do svislé stěny určené hranami a a b podle náčrtu na obrázku 3.11.

Stanovíme si jednotku a sestrojíme otočený půdorys podstavy kvádru podobně jako v příkladu 2. Délku hrany a v otočení volíme tři jednotky. Po přeměření vidíme, že strana c v otočení měří dvě jednotky. Poměr délek hran kvádru je $a : b : c = 3 : 4 : 2$. Dourčíme ještě základnici z . Je rovnoběžná s horizontem a prochází průnikem přímky, kterou určuje hrana c , a přímky, kterou určuje její otočení c_o .

V otočení vyznačíme na půdorysu umístění dveří a pomocí dolního distančníku přeneseme na hranu a . Protože rekonstruujeme vodorovný snímek, budou svislé strany dveří svislé i ve snímku, jen nevíme, jak budou v průmětu vysoké. Na obrázku 3.12 jsou nakresleny dva způsoby určení výšky dveří. Jeden spočívá v promítnutí libovolné svislé hrany kvádru z libovolného úběžníku na horizontu do průmětny (tj. tak, aby se koncový bod hrany, který byl v základní rovině, promítl na základnici z). Útvary ležící v průmětně se zobrazují ve skutečné velikosti, můžeme tedy na promítnutou hranu vynést požadovanou výšku (délku hrany c) a tu pak stejným postupem vrátit zpět na původní hranu (na obrázku 3.12 je promítnuta hrana kvádru, která je v prostoru nejbližší středu promítání O). Ve druhém způsobu si uvědomíme, že $b : c = 4 : 2$, tedy že dveře sahají do poloviny výšky kvádru. Ve svislé stěně vyznačíme úhlopříčky. Jejich střed je v polovině výšky kvádru. Pomocí úběžníků omezíme výšku dveří.



Obrázek 3.12: Příklad 4 - řešení



Obrázek 3.13: Vodorovný snímek skály a kontejneru

Příklad 5. Je dán vodorovný snímek cesty a skály (obr. 3.13). Určete prvky vnitřní orientace a dorýsujte vstup do tunelu ve skále pokračujícího v cestě. Tunnel má svislé stěny o výšce poloviny šířky cesty a je zaklenut polovinou válcové plochy s průměrem šířky cesty. Na snímku je ještě k vidění kontejner o rozměrech $3 \times 2 \times 1$ metrů. Kontejner a cesta jsou na půdorysně a stěny kontejneru jsou rovnoběžné se stěnami skály.

Řešení je na obrázku 3.14. Označme vrcholy kontejneru v půdorysu písmeny A , B a C . Narýsujeme úběžník V a horizont h . V případě, že se nám úběžník hrany AB nevejde na papír, můžeme pro Thaletovu kružnici nad úběžníkem hrany AB a úběžníkem V nalézt střed tak, že středem úsečky BV vedeme rovnoběžku s hranou AB . Kde se protne s horizontem, tam je hledaný střed. (Sestrojíme střední příčku trojúhelníku UVB .) Dolní distančník a hlavní bod sestrojíme pomocí úběžníku úhlopříčky půdorysu kontejneru. Zvolíme jednotku (na obrázku 3.14 vpravo) a narýsujeme otočený půdorys kontejneru, otočený půdorys hrany skály, kde začíná tunel, a základnici. Z něho zjistíme potřebnou šířku cesty a můžeme pomocí základnice vynést hrany stěn na začátku tunelu.

Nad hranami vyznačujícími začátek stěn tunelu nyní sestrojíme klenutý strop. Půlkružnice se promítne do elipsy. Využijeme příčkovou konstrukci.



Kapitola 4

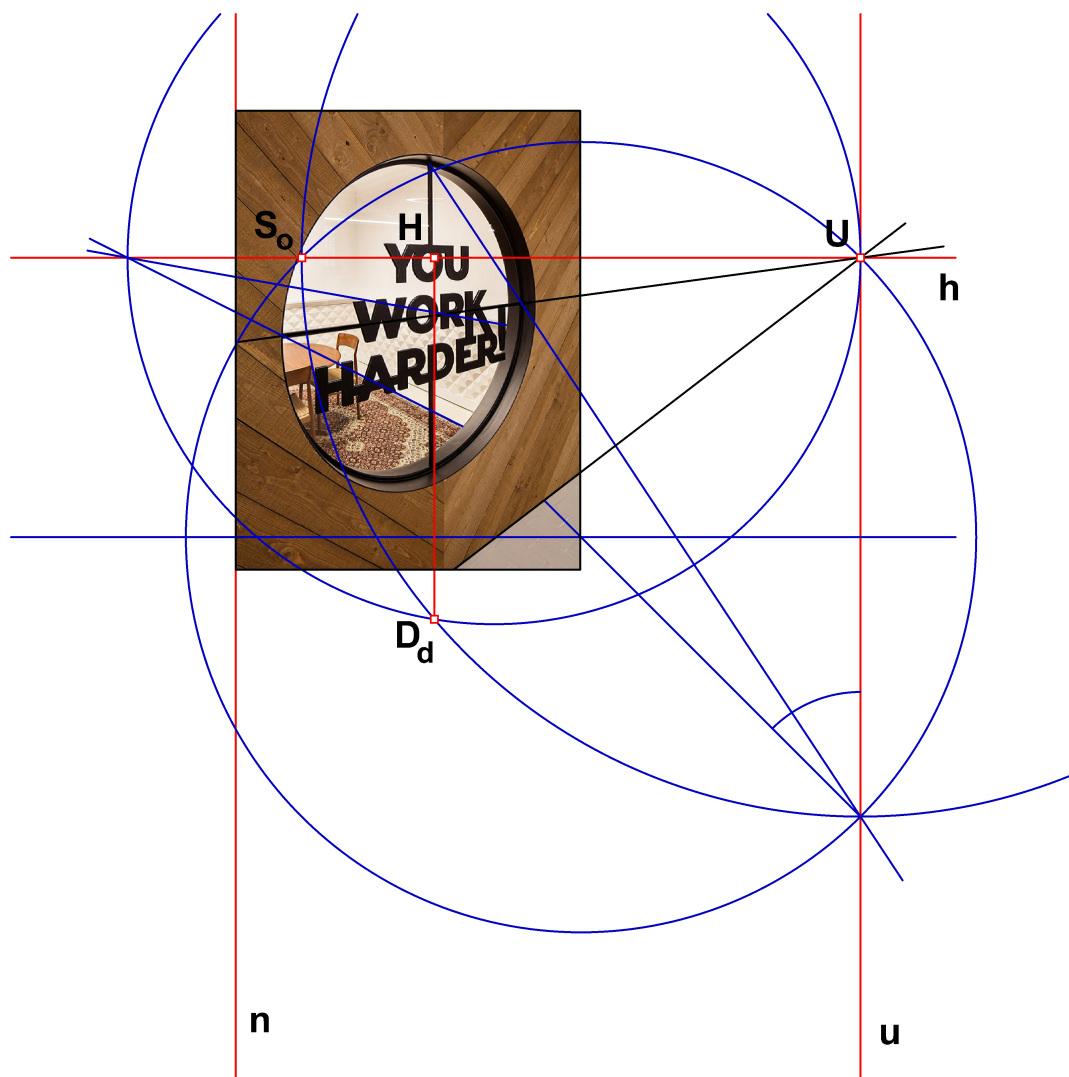
Rekonstruované snímky - ukázka využití

V této kapitole si ukážeme několik konkrétních rekonstrukcí fotografií. Některé rekonstrukce jsou doplněny prostorovou vizualizací. Pro podrobnější zkoumání jednotlivých příkladů je vhodné využít zdrojové soubory obrázků na přiloženém CD. Rekonstrukce snímků demonstrují možnosti využití fotogrammetrie.

Příklad 1. Máme k dispozici vodorovný snímek kruhového okna s nápisem ve svislé rovině (obrázek 4.1). Úkolem je provést rekonstrukci fotografie tak, aby byl nápis v okně dále využitelný (například pro tisk do dalšího okna).



Obrázek 4.1: Nápis na okně, zdroj [8]

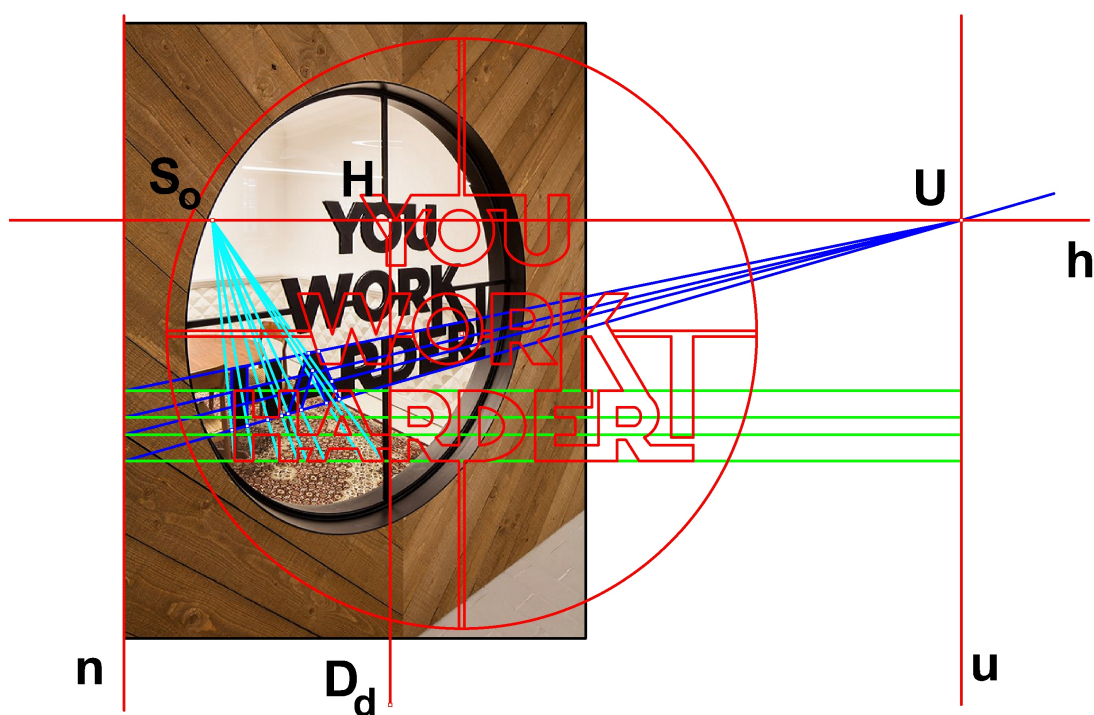


Obrázek 4.2: Nápis na okně - prvky vnitřní orientace

Sestrojíme prvky vnitřní orientace (viz obrázek 4.2) pomocí objektů na obrázku (hrany stěn a koberce, přímka procházející konci kolmých průměrů okna). Dále nápis otočíme do průmětny. Svislá přímka u procházející úběžníkem U je úběžnice roviny okna. Stopu n volíme například hranou obrázku a sklopíme rovinu okna a nápisu do průmětny. Bodově pak dorýsujeme jednotlivá písmena.

Na obrázku 4.3 je vidět konstrukce písmen H a A ve třetím řádku nápisu.

Bodové vyrýsování písma je dost pracné a zdlouhavé. Výsledek můžeme vidět na obrázku 4.4.



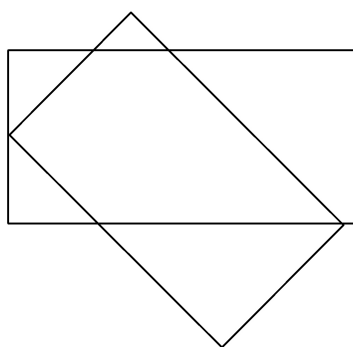
Obrázek 4.3: Vyrýsování nápisu



Obrázek 4.4: Nápis na okně - výsledek



Obrázek 4.5: Domy na sobě, zdroj [9]



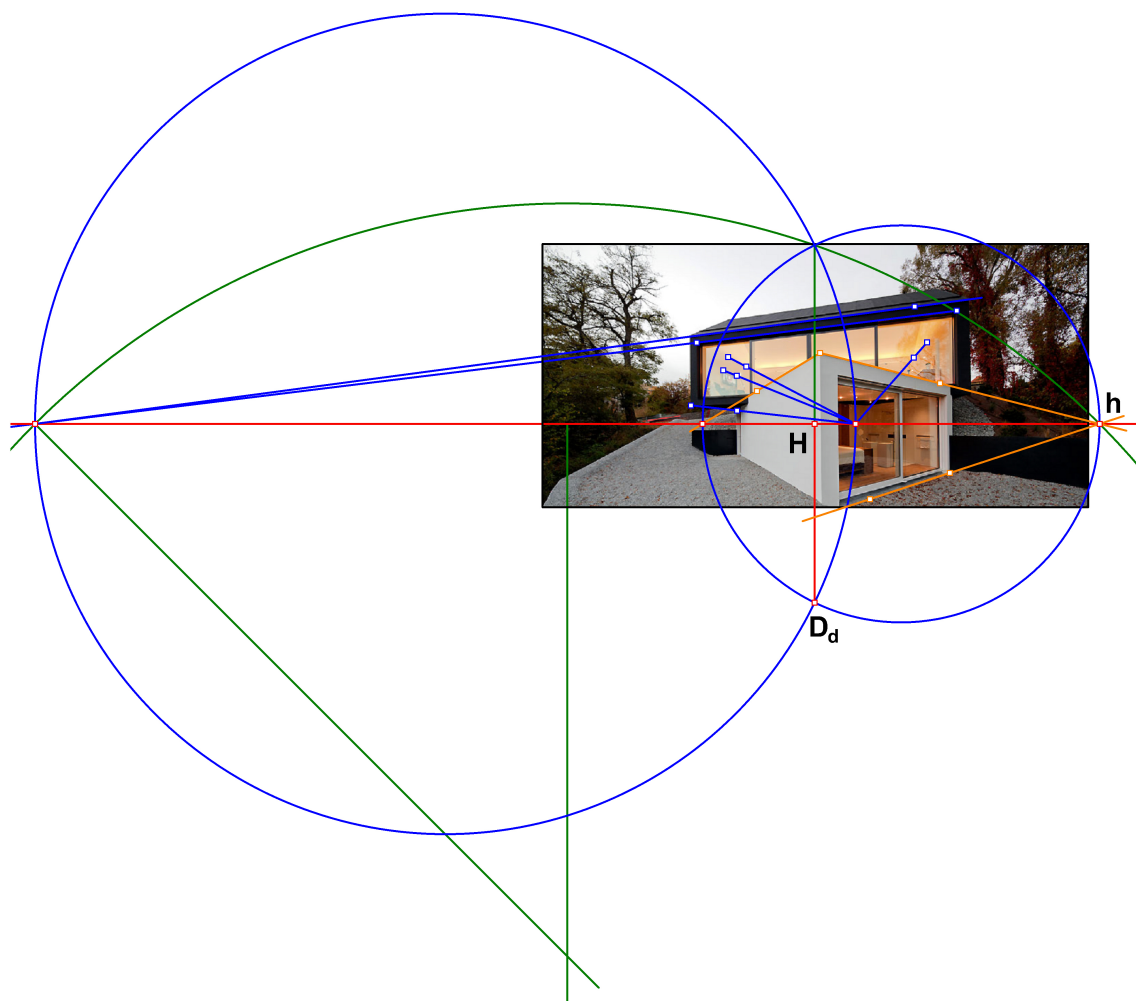
Obrázek 4.6: Půdorys domu

Příklad 2. Je dán vodorovný snímek domu (obrázek 4.5). Je potřeba navrhnout a vymodelovat schody na střechu bílé části. Víme, že části domu (černá a bílá) jsou kvádry, černá má navíc šikmou střechu, a jsou navzájem pootočený kolem svislé osy o 45° . K přesnějšímu sestrojení modelu domu je vhodné znát půdorys domu (obrázek 4.6).

Prvky vnitřní orientace lehce nalezneme pomocí kvádrů na obrázku. Vypomůžeme si hranami v interiéru (podsvícení stropu), případně natočením kvádrů vůči sobě. Není dobré využívat levou dolní hranu bílé části domu, protože je na ní navalelo kamení. Vše je vidět na obrázku 4.7. Sestrojíme otočené půdorysy a zjistíme výšky. Pokud bychom nechtěli modelovat prostorovou situaci, tak by sestrojení otočeného půdorysu a zjištění výšky u černé části budovy nebylo potřeba.

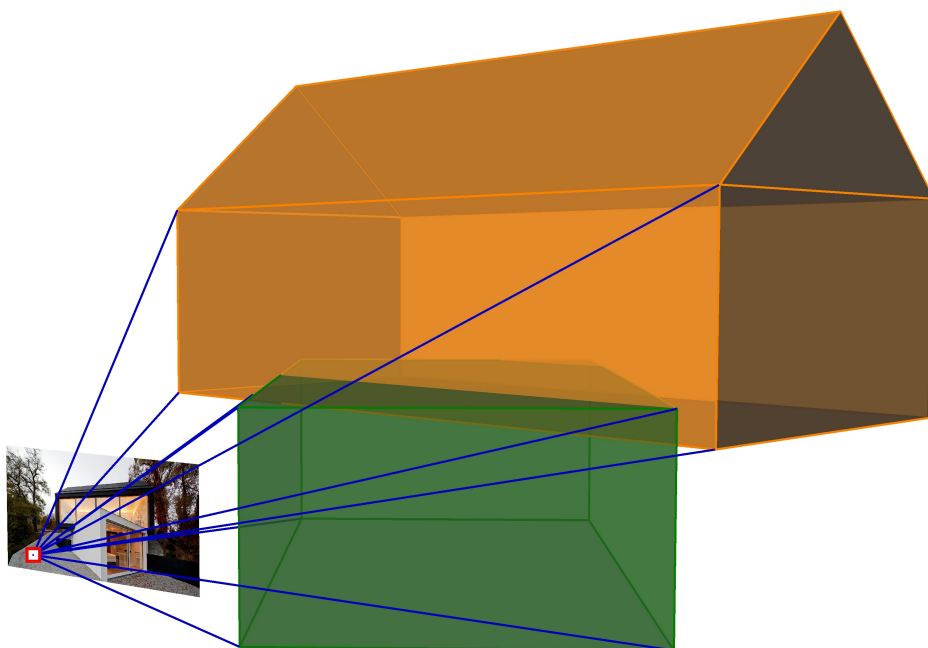
Na obrázku 4.8 je budova vymodelována. Pro lepší viditelnost je v jiných barvách než původní.

Vymodelujeme schodiště v prostoru (obr. 4.9) a vsadíme do fotografie (obr. 4.10). Na obrázku 4.11 je část rysu, ve kterém probíhalo sestrojování schodiště do fotografie. Čtvrtkružnice se promítly do elips a byly sestrojeny příčkovou konstrukcí.

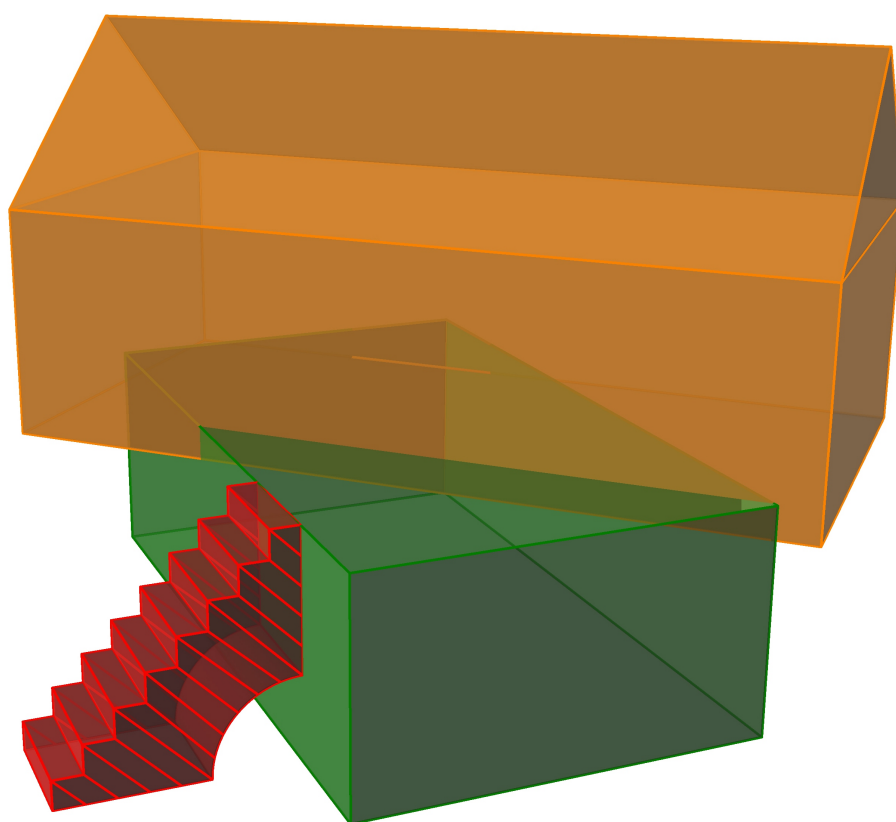


Obrázek 4.7: Nalezení prvků vnitřní orientace

Ve skutečnosti je půdorys tohoto domu jiný (bílá část domu není kvádr, má půdorys šipky), ale to pro námi provedenou rekonstrukci nevádí. Navíc to není na fotografii vidět.



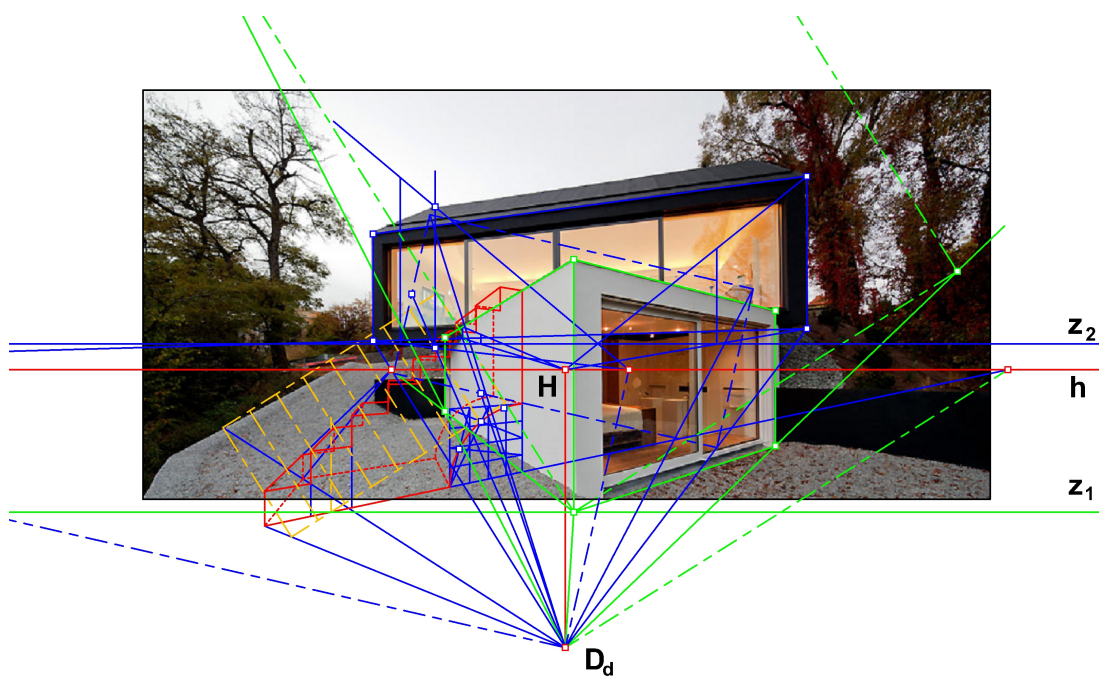
Obrázek 4.8: Vymodelovaný dům z fotografie



Obrázek 4.9: Model domu se schody



Obrázek 4.10: Fotografie s vymodelovaným schodištěm



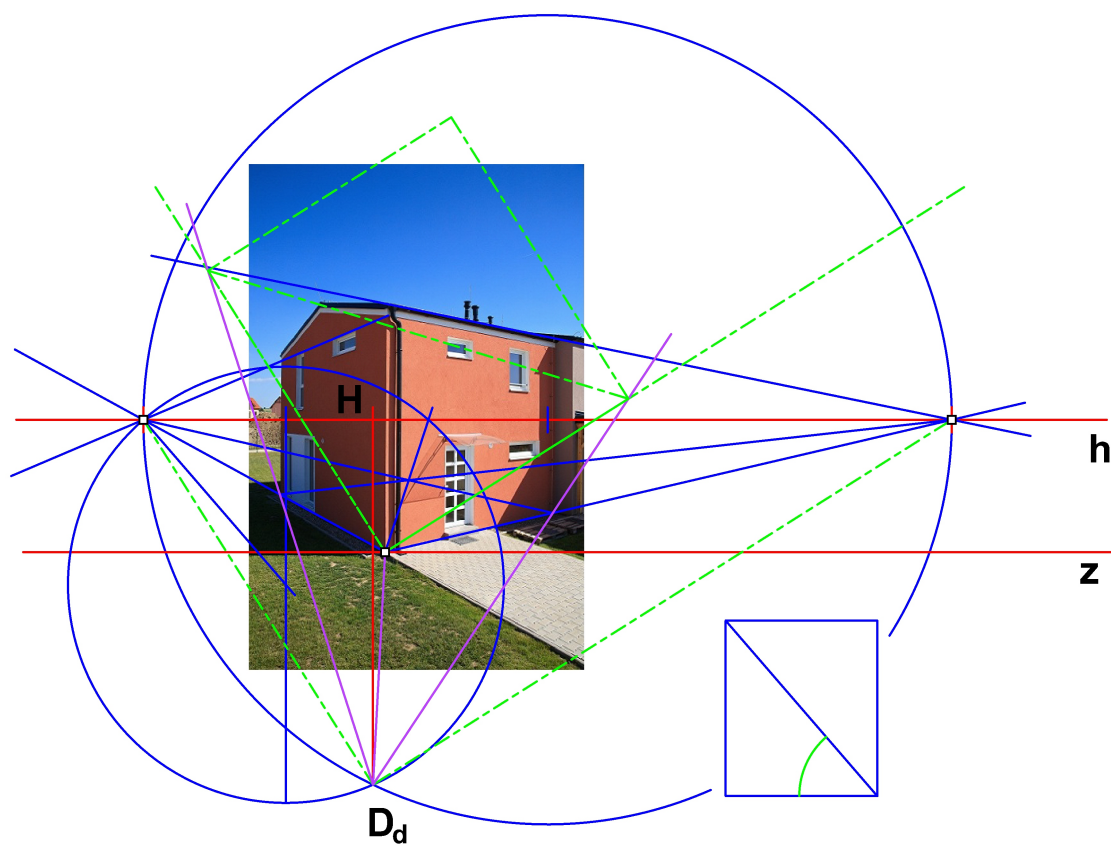
Obrázek 4.11: Ukázka rysu schodiště

Příklad 3. Máme vodorovný snímek domku (obrázek 4.12). Úkolem je dokreslit do snímku a vymodelovat přístřešek přiléhající k domu. Známe půdorys objektu.

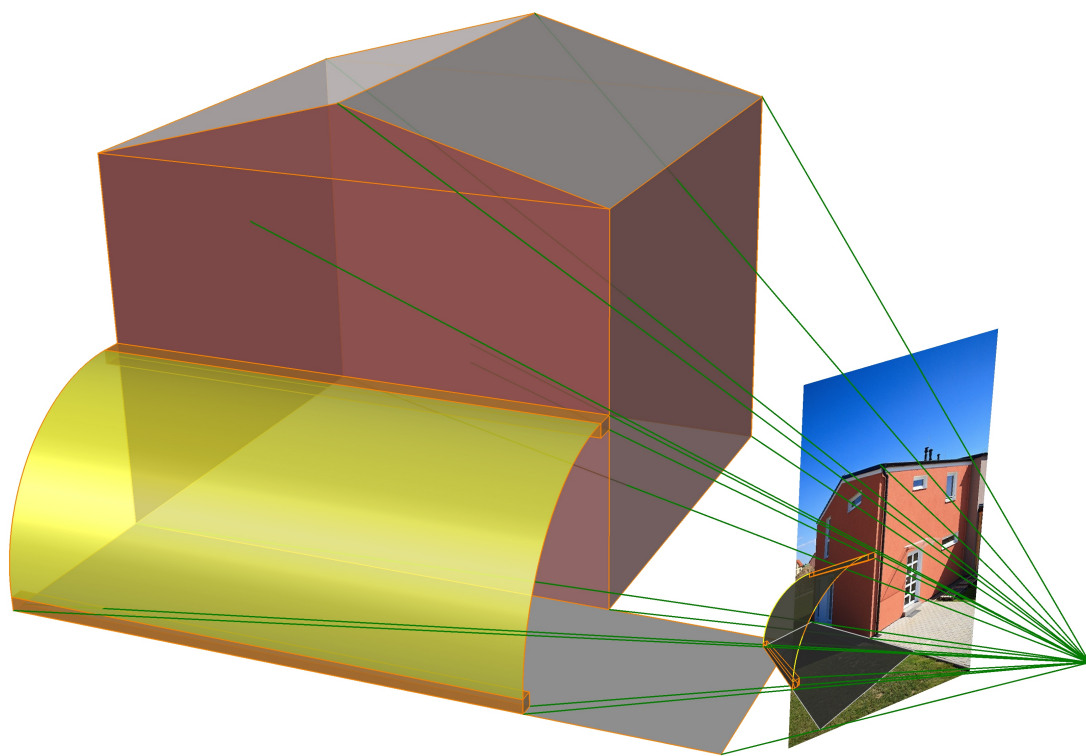


Obrázek 4.12: Domek, zdroj [10]

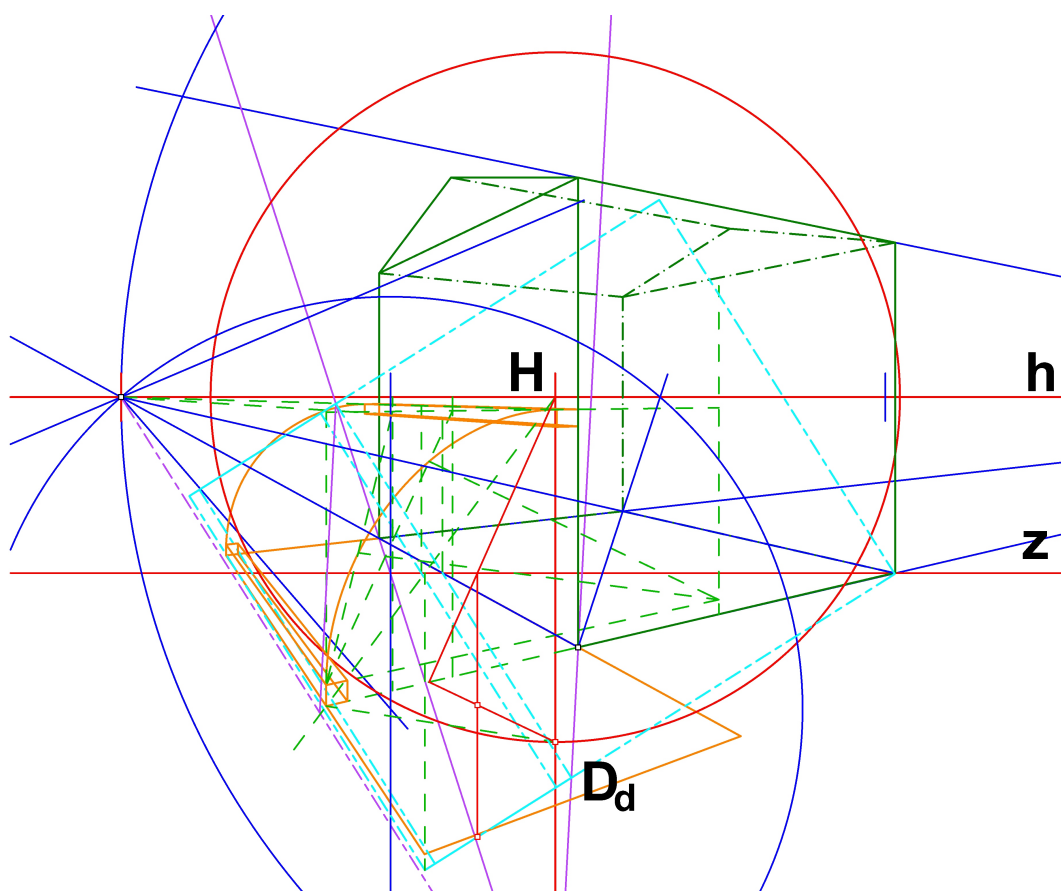
Sestrojíme prvky vnitřní orientace a otočený půdorys domku (obrázek 4.13). Dále vymyslíme, vkreslíme a vymodelujeme přístavbu (obrázky 4.14, 4.15 a 4.16). Vkreslená přístavba má na fotografii (obrázek 4.16) nepřirozený tvar. Je to dáno tím, že je přístavba částečně mimo zorné pole.



Obrázek 4.13: Prvky vnitřní orientace a otočený půdorys domku



Obrázek 4.14: Prostorový vztah modelu a snímku



Obrázek 4.15: Vykreslení přístavby do snímku



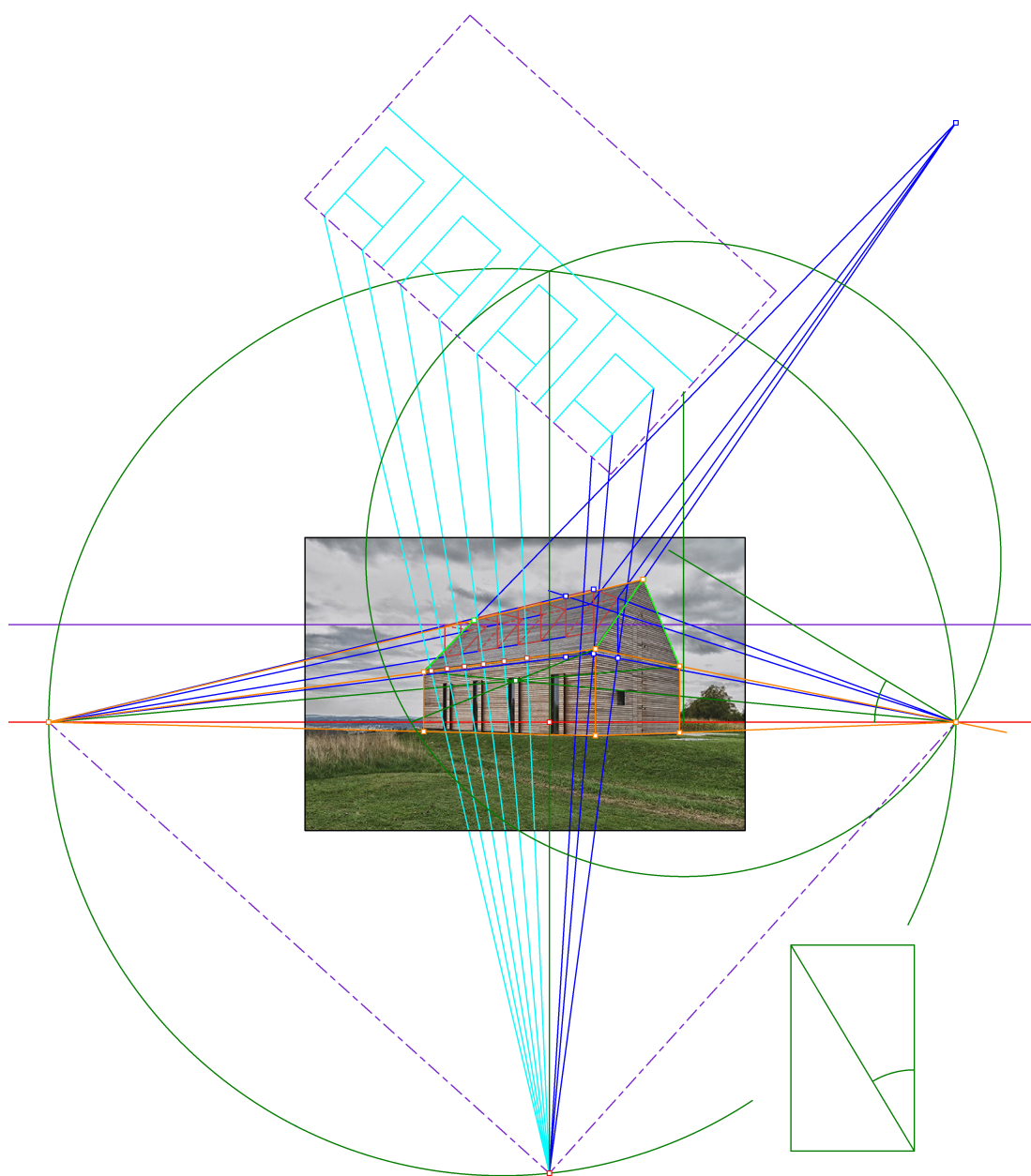
Obrázek 4.16: Přístavba ve snímku



Obrázek 4.17: Snímek domu, zdroj [11]

Příklad 4. Do fotografie domu (obr. 4.17) je třeba dokreslit střešní okna. Jedná se o vodorovný snímek, je znám poměr šířky a délky stran půdorysu domu.

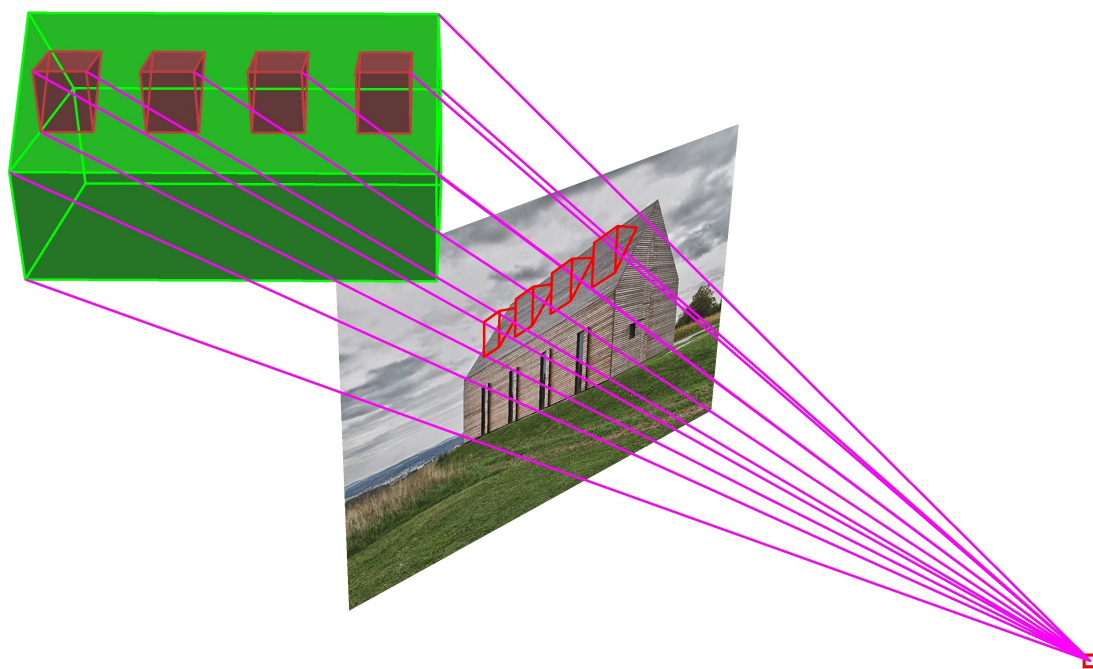
Rekonstrukce snímku proběhla obvyklým způsobem. Využili jsme i úběžník hran střechy. Konstrukce ilustruje obrázek 4.18. Na obrázku 4.19 a 4.20 je fotografie se zakreslenými okny a prostorová situace znázorňující vztah modelu a fotografie.



Obrázek 4.18: Otočený půdorys, ukázka rysu



Obrázek 4.19: Původní snímek se zakreslenými střešními okny



Obrázek 4.20: Prostorový obraz vztahu fotografie a modelu domu

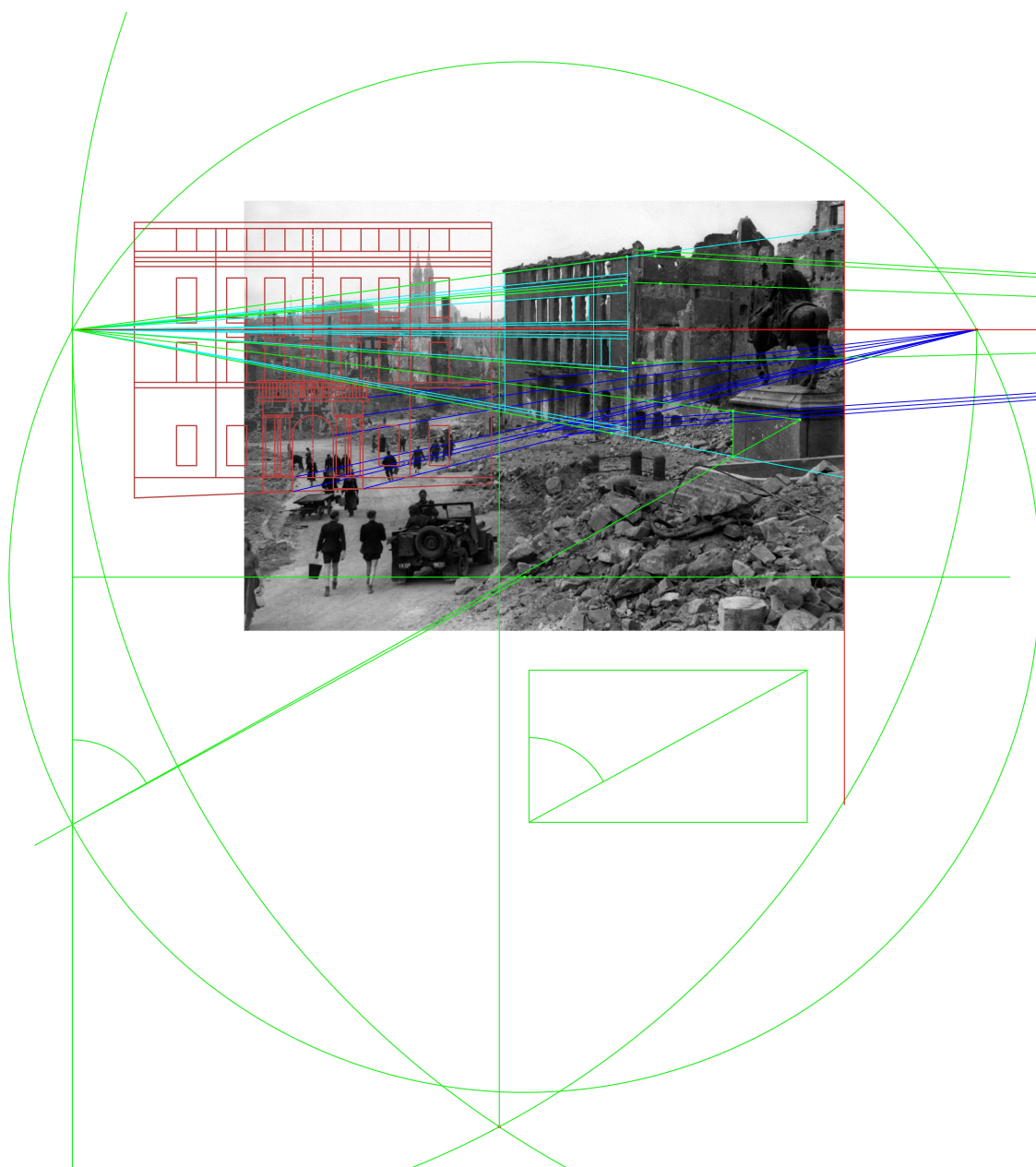


Obrázek 4.21: Historický snímek, zdroj [12]

Příklad 5. Z historické fotografie sestavíme nárys budovy, která je téměř zbořená. Jedná se o snímek z Norimberku z roku 1945 (obrázek 4.21).

Pro získání prvků vnitřní orientace si vypomůžeme podstavcem sochy v pravé části obrázku. Je to socha císaře Viléma I. a v současné době ještě stojí. Přes otočený střed sestavíme svislou stěnu poničeného domu. Pokud chceme dělat prostorový model, zjistíme ještě přes dolní distančník rozměry balkónu a podstavců pod sloupy vedle vstupu do budovy.

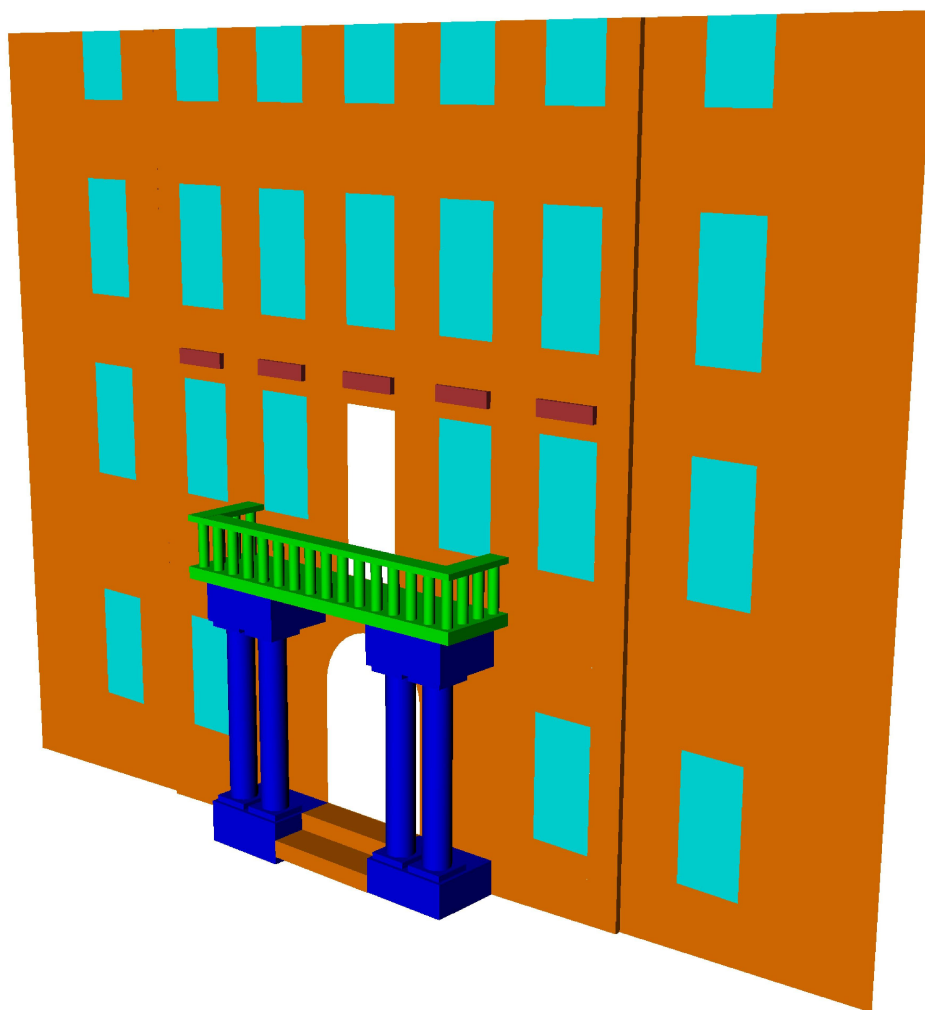
Na obrázku 4.22 vidíme ukázkou části rysu, na obrázku 4.23 výsledný nárys budovy a na obrázku 4.24 je zobrazen prostorový model. Rekonstrukce není přesná, neboť některé tvary a rozměry již nejsou z fotografie rozpoznatelné (například sloupky na balkóně).



Obrázek 4.22: Ukázka rysu



Obrázek 4.23: Výsledný nárys budovy



Obrázek 4.24: Prostorový model čelní stěny budovy

Závěr

V bakalářské práci Rekonstrukce fotografického snímku se čtenář seznámil s fotogrammetrií obecně a získal komplexní přehled o jejím vývoji, rozdělení a uplatnění. Dále se naučil využívat metody konstruktivní fotogrammetrie na rekonstrukcích vodorovných snímků a seznámil se s konkrétními příklady rekonstrukcí, které dokazují její využitelnost v praxi.

Pro lepší názornost bylo využito množství obrázků, ilustrací a 3D vizualizací. Všechny jsou k dispozici k dalšímu studiu nebo jinému využití na přiloženém CD.

Bakalářská práce by měla být přínosem pro vyučující a studenty deskriptivní geometrie a zájemce o fotogrammetrii. Dále by měla ukazovat využití teorie deskriptivní geometrie v praxi.

Z fotogrammetrie jsme stačili obsáhnout pouze její malou část. Pro další rozšíření práce se ve fotogrammetrii nabízí množství možností (vícesnímkové metody, digitální metody zpracování).

Literatura

Tištěné zdroje

- [1] Drábek Karel, Harant František, Setzer Ota: *Deskriptivní geometrie II*. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Vydavatelství technické a ekonomické literatury, Praha, Bratislava, 1979.
- [2] Menšík Miroslav: *Geometrické základy fotogrammetrie*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1966.
- [3] Pavelka Karel: *Fotogrammetrie 10*. České vysoké učení technické v Praze, Praha 2002.
- [4] Pavelka Karel: 150 let fotogrammetrie (1. část), *Zeměměřič*, ročník 7, číslo 3. Klaudian Praha, Praha, 2000.
- [5] Piska Rudolf, Medek Václav: *Deskriptivní geometrie I*. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Nakladatelství ALFA, Praha, Bratislava, 1972.
- [6] Setzer Ota: *Deskriptivní geometrie II.díl*. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1962.

Internetové zdroje

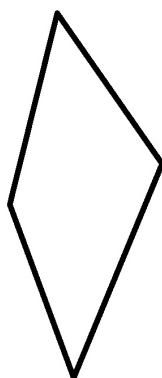
- [7] <http://www.noaa.gov/wtc/images/wtc-photo.jpg>, datum přístupu: 5. července 2013.
- [8] <http://knstrct.com/wp-content/uploads/2013/01/Office-Pinkeye-Crossover-Design-Studio-6.jpg>, autor: Frederik Vercruysse, datum přístupu: 10. července 2013.
- [9] <http://www.adgnews.com/fotos/1404/original/01.jpg>, foto: Fabiarchitekten, datum přístupu: 10. července 2013.
- [10] <http://www.dumzamega.cz/cs/dispozice/varianta-31/Contents.2/0/19EE7627D9BBC99A065E0C4C4270C378//original.jpg?width=6>, datum přístupu: 10. července 2013.
- [11] <http://www.adgnews.com/fotos/1008/jpg/3.jpg>, autor: Martin Weiß, datum přístupu: 10. července 2013.

- [12] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nuremberg_in_ruins_1945_HD-SN-99-02987.JPG, datum přístupu: 20. července 2013.

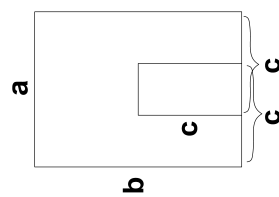
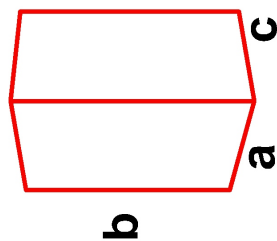
Příloha - zadání příkladů

Na dalších stranách jsou k nalezení předtisky příkladů z kapitoly 3.

Příklad. Najděte prvky vnitřní orientace na snímku čtverce ležícího v půdorysu. Snímek je vodorovný. Doplňte základnici a sestrojte čtverec v otočení tak, aby strana čtverce měřila tři jednotky. Jednotku si zvolte.



Příklad. Na vodorovném snímku naleznete prvky vnitřní orientace, jestliže víte, že se jedná o kvádr a poměr délek hran ve svislé rovině a a b je $3 : 4$. Zjistěte poměr délky hrany c kvádru k délkám hran a a b . Dorysujte otočený půdorys kvádru. Představte si, že kvádr na snímku je budova, dorysujte jí dveře do svislé stěny určené hranou a a b podle náčrtu



Příklad. Je dán vodorovný snímek cesty a skály. Určete prvky vnitřní orientace a dorýsujte vstup do tunelu ve skále pokračujícího v cestě. Tunnel má svislé stěny o výšce poloviny šířky cesty a je zaklenut polovinou válcové plochy o průměru šířky cesty. Na snímku je ještě k vidění kontejner o rozměrech $3 \times 2 \times 1$ metrů. Kontejner a cesta jsou na půdorysně a stěny kontejneru jsou rovnoběžné se stěnami skály.

