

# Další metody v geodézii

- Globální navigační satelitní systémy (GNSS)
- 3D skenovací systémy
- Fotogrammetrie

# Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Globální navigační satelitní systémy byly vyvinuty za účelem navigace a určení polohy kdekoli na zemském povrchu.

V principu se jedná o družicové pasivní dálkoměrné systémy.

Družice vysílají speciální kódovaný signál obsahující informace o své poloze a čase vyslání zprávy.

Signály z družic přijímá uživatel pomocí speciálního přístroje, který informace zpracovává (počítá vzdálenosti mezi přijímačem a družicí) → odtud dálkoměrný. Přijímač žádný signál nevysílá → odtud pasivní.

Výpočet pozice vychází ze znalosti rychlosti šíření družicového signálu a rozdílu času mezi vysláním a příjmem signálu.

# GNSS

Pro určení prostorové polohy je potřeba přijímat signál alespoň ze 4 družic.

Signály ze 3 družic slouží pro určení prostorové polohy bodu a signál ze čtvrté družice slouží k určení opravy hodin přijímače, protože přijímač neobsahuje tak přesné hodiny, jak by bylo třeba.

Čím více signálů z družic je přijato, tím je výsledek přesnější a spolehlivější.

Další informace budou popisovat systém **Global Positioning System (GPS)**

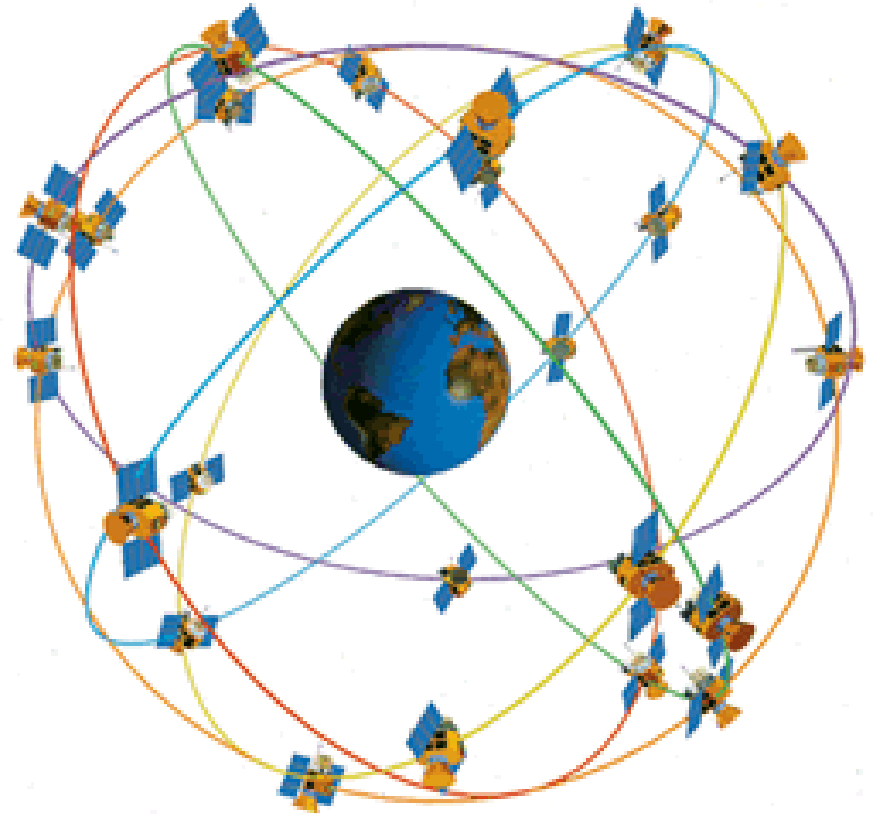
System GPS se skládá ze tří segmentů:

- Kosmický
- Řídící
- Uživatelský

# GPS

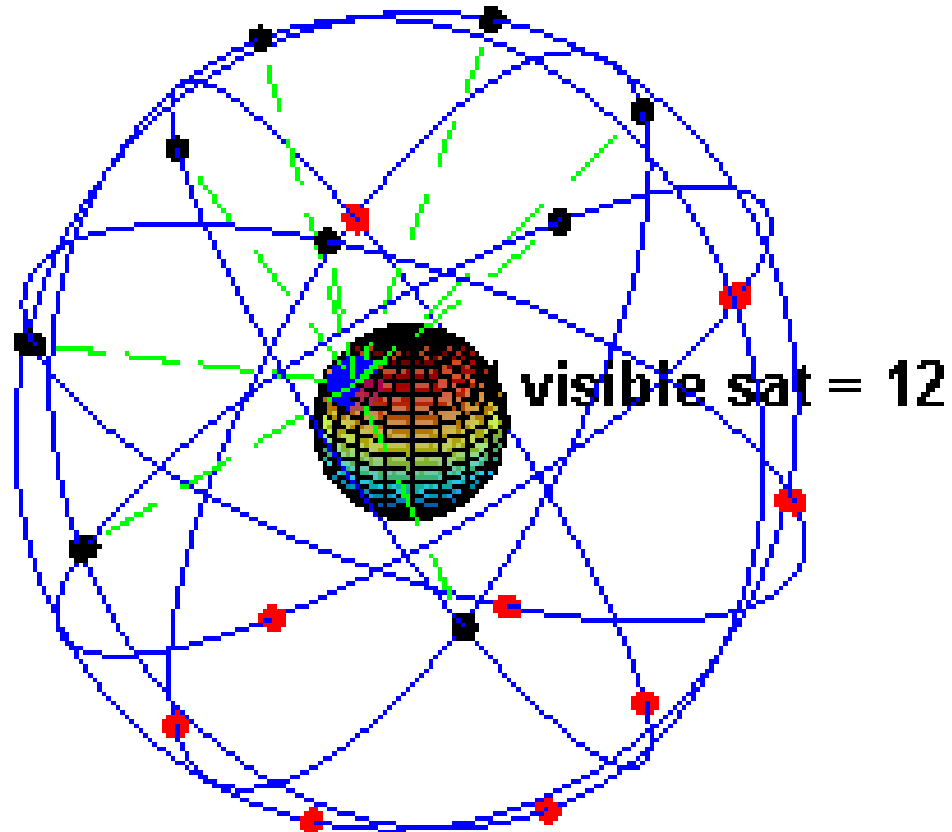
## Kosmický segment

Skládá se z družic (původně projektován na 24, nyní 31 aktivních) obíhajících ve výšce cca 20 350 km nad povrchem Země na šesti kruhových drahách. Rozmístění družic je navrženo tak, aby z každého místa na Zemi byl vidět jejich dostatečný počet pro určení polohy.



# GNSS

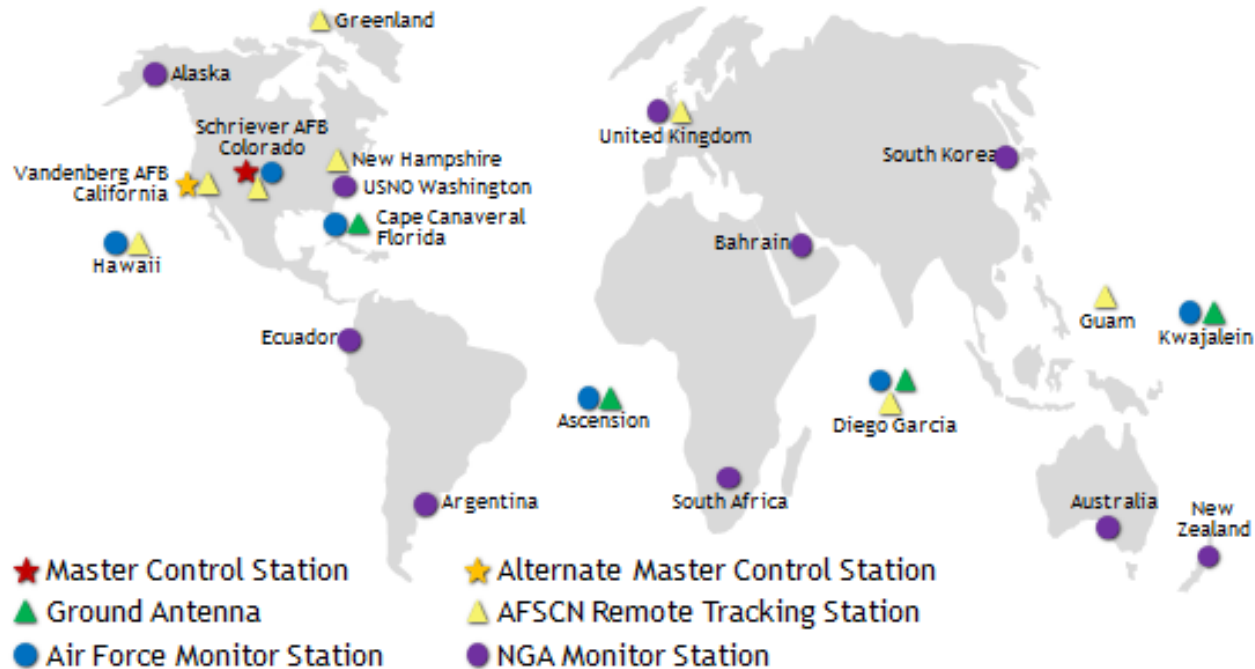
Znázornění změn poloh družic a jejich viditelnosti z konkrétního místa na Zemi (wikipedie)



# GPS

## Řídící segment

Je tvořen sítí pozemních řídicích center. Monitoruje kosmický segment, zasílá povely družicím, provádí jejich manévry a údržbu atomových hodin.



# GPS

## Uživatelský segment

Uživatelé pomocí GPS přijímače přijímají signály z jednotlivých družic, které jsou v danou chvíli nad obzorem. Na základě přijatých dat (časových značek z jednotlivých družic a znalosti jejich polohy) a předem definovaných parametrů přijímač vypočítá polohu a nadmořskou výšku antény, a zobrazí přesné datum a čas. Komunikace probíhá pouze od družic k uživateli, GPS přijímač je tedy pasivní.



# GNSS

Zpracování signálu:

**navigační** – kódové, nejjednodušší, přesnost cca 10 m. Pro menší území jsou chyby měření převážně systematického charakteru →

**diferenční GPS** – kódové, stejný algoritmus výpočtu. Je založeno na měření jednoho přijímače nacházejícího se na známém bodě, který stále měří a vysílá dalším přijímačům rozdíly mezi danými a měřenými souřadnicemi, které jsou použity těmito přijímači jako korekce polohy určovaných bodů. Přesnost kolem 1 m.

**geodetické** – fázové, nutné dva speciální přijímače, výpočet je velmi složitý, určuje se pouze rozdíl poloh (vektor). Přesnost v cm, při dlouhých observacích (12 hodin) až v mm. Více metod, v současnosti je nejčastěji používaná metoda RTK (Real Time Kinematic).



# GNSS

## Metoda RTK

Poskytuje výsledky v reálném čase. V základní konfiguraci se měřicí sestava skládá z přijímače po dobu měření umístěného na bodě o známých souřadnicích, tzv. „base“, a z přijímače, který se pohybuje po určovaných nebo vytyčovaných bodech, tzv. „rover“. Mezi base a rover musí být permanentní datové spojení realizované např. radiomodemy nebo trvalým připojením na internet prostřednictvím GSM.

Base může být nahrazen sítí virtuálních stanic, pak měření probíhá pouze s jedním přijímačem s trvalým připojením na internet k poskytovateli korekcí. V ČR jsou v provozu tři takové sítě a to CZEPOS (ČUZK), Trimble VRS NOW (Geotronics spol. s r.o.; Trimble) a TOPnet (Geodis Brno, Topcon), jejich využití je za úplatu. Výhodou je nutnost zakoupit pouze jeden geodetický přijímač.

Toto řešení je v současné době jednoznačně nejpoužívanější.

Přesnost metody je 25 mm – 50 mm.

# GNSS

Ve světě jsou tyto systémy GNSS:

americký GPS NAVSTAR (navržen na 24 satelitů, nyní 31 satelitů)

ruský GLONASS (28 satelitů)

evropský GALILEO (4 satelity – plánováno 30)

čínský BEIDOU (COMPASS) (14 satelitů)

Dále existují regionální navigační systémy, které doplňují již stávající GNSS:

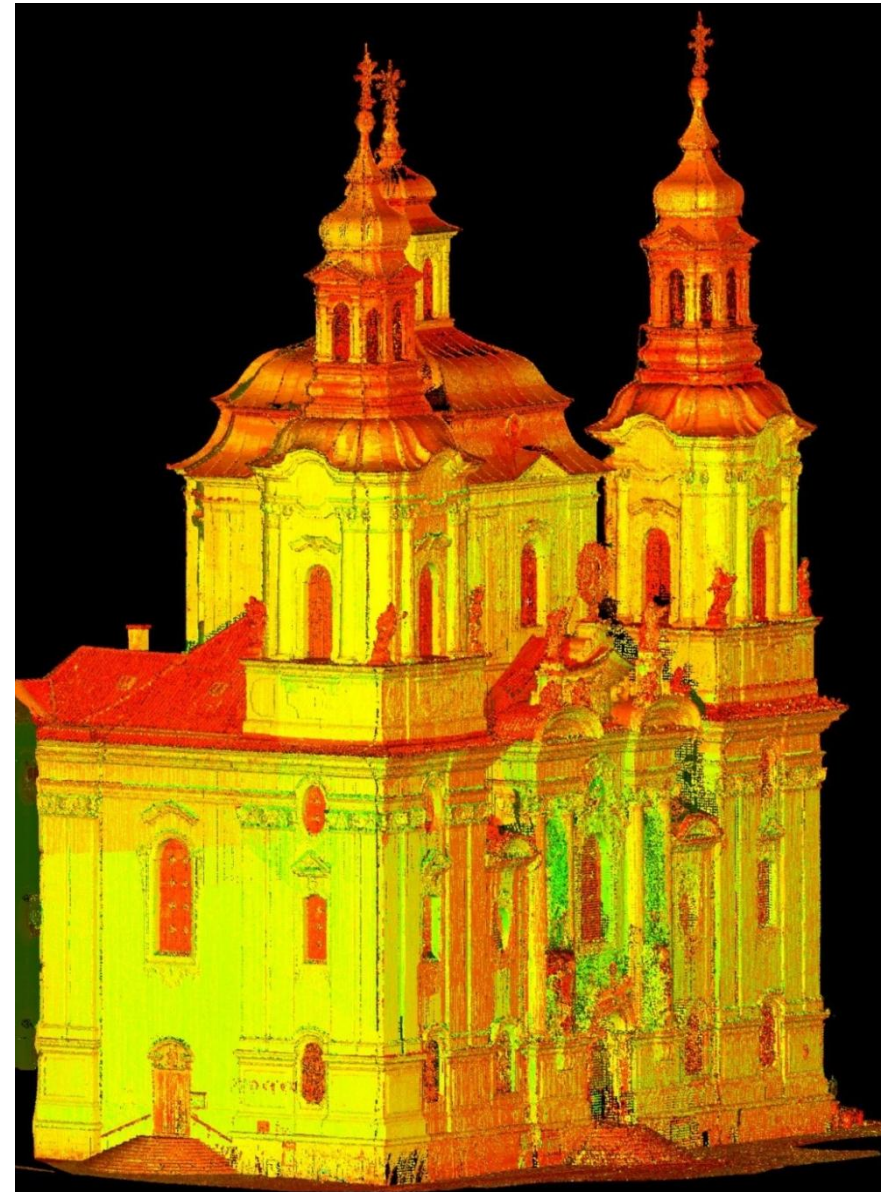
japonský QZSS (4 satelity) a indický IRNSS (7 satelitů)

Existence vícero GNSS má pro uživatele řadu výhod. Mezi největší lze řadit dostatečný počet viditelných satelitů v každém okamžiku.

# 3D skenovací systémy

## Skenování:

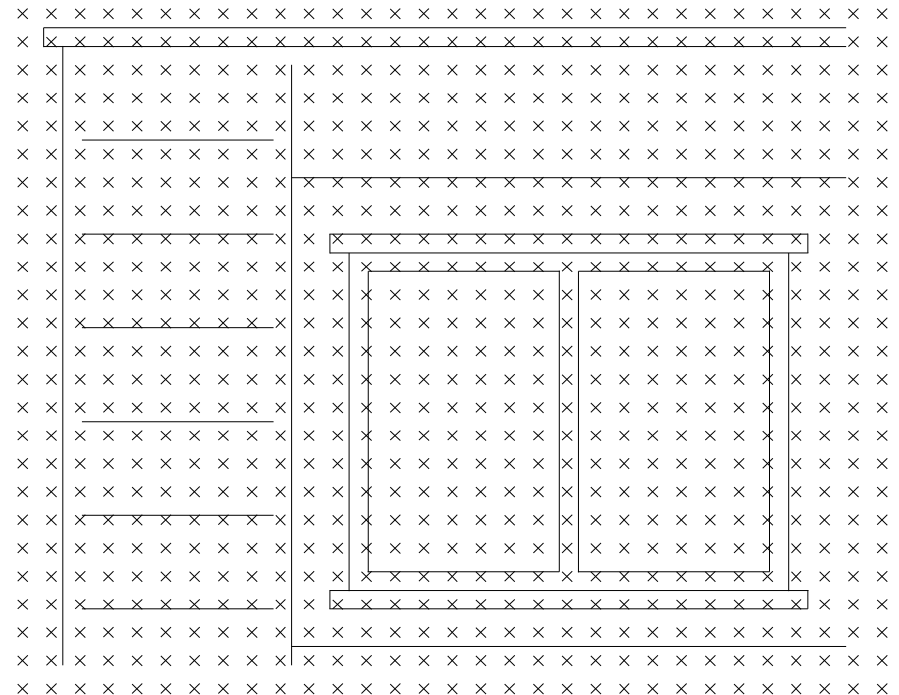
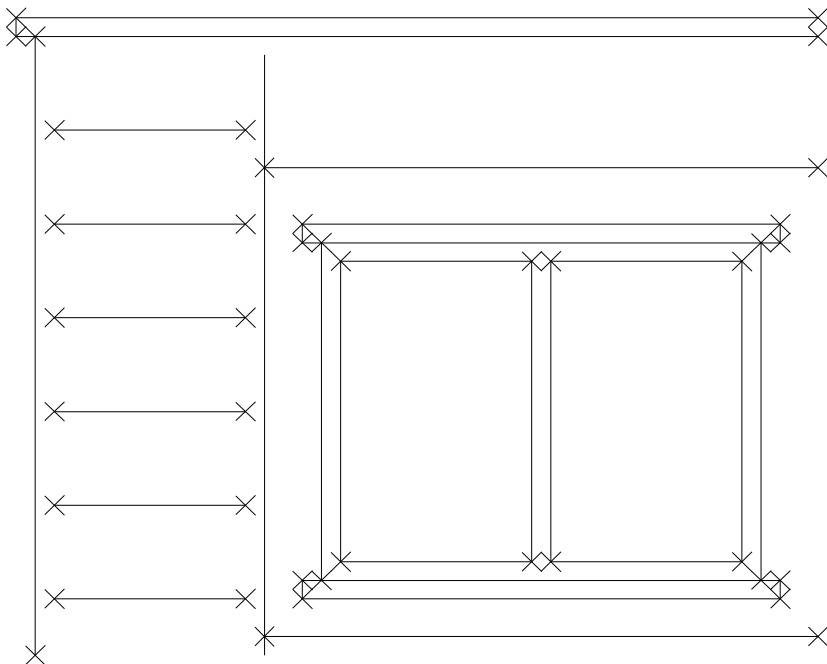
- Mladá technologie, jiný název „laserové skenování“.
- Neselektivní určování prostorových souřadnic objektu a jejich ukládání do paměti.
- Provádí se pomocí skeneru, automaticky podle nastavených parametrů.
- Je řízeno počítačem.
- Výsledkem je tzv. mračno bodů obsahující desítky, i stovky miliónů bodů.



# 3D skenovací systémy

Hlavní znaky měření:

- neselektivní určování 3D souřadnic,
- velké množství bodů (mračna), řádově miliony,
- velká rychlost měření, 10 000 bodů za sekundu a více (miliony),
- nutná nová forma zpracování.



# 3D skenovací systémy

Rozdělení skenování:

Podle situace na stanovisku:

Letecké x pozemní

Statické x kinematické

Přístroje používané ve stavebnictví a podobných oborech jsou především pozemní a statické.

Měření je založeno na principu prostorové polární metody.

Výhody: rychlý sběr dat

- 3D model

- kvalitní informace o nepravidelných plochách

- prostorová analýza objektu, výpočty ploch, objemů, ...

- velký objem dat – detailní informace o objektu

Nevýhody: odrazivost povrchu

- velký objem dat – náročné na hardware a software

# Pozemní 3D skenovací systémy - přístroje

Založeny na prostorové polární metodě, dva typy dálkoměrů:

fázový – velmi vysoká rychlost měření (až milion b/s), krátký dosah

impulzní – nižší rychlost (stovky tisíc b/s), dlouhý dosah



# Pozemní 3D skenovací systémy

Délkový rozsah měření 3D skenovacích systémů ve stavebnictví je prakticky od 1 m až do 200 m.

Úhlový rozsah je horizontálně 360° a vertikálně 90° až 145°.

Přesnost se pohybuje od cca 1 mm do 20 mm (záleží na typu skeneru a vzdálenosti).

Využití – dokumentace skutečného stavu objektu, zaměření povrchu objektu, řezy, určení plochy, objemu, 3D modely,...

# 3D skenovací systémy – zpracování a výstupy

Naměřená mračna bodů jsou většinou zpracována časově, hardwarově a softwarově náročnými postupy.

Výstupem ze zpracování může být:

- Spojené a upravené mračno bodů.
- 3D model, kde mračno bodů je nahrazeno geometrickými primitivami (CAD model).
- 3D model, kde mračno bodů je nahrazeno trojúhelníkovými sítěmi (TIN, Triangular Irregular Network).
- 3D model, kde mračno bodů je nahrazeno plochami s proměnlivou křivosí (např. B-spline).

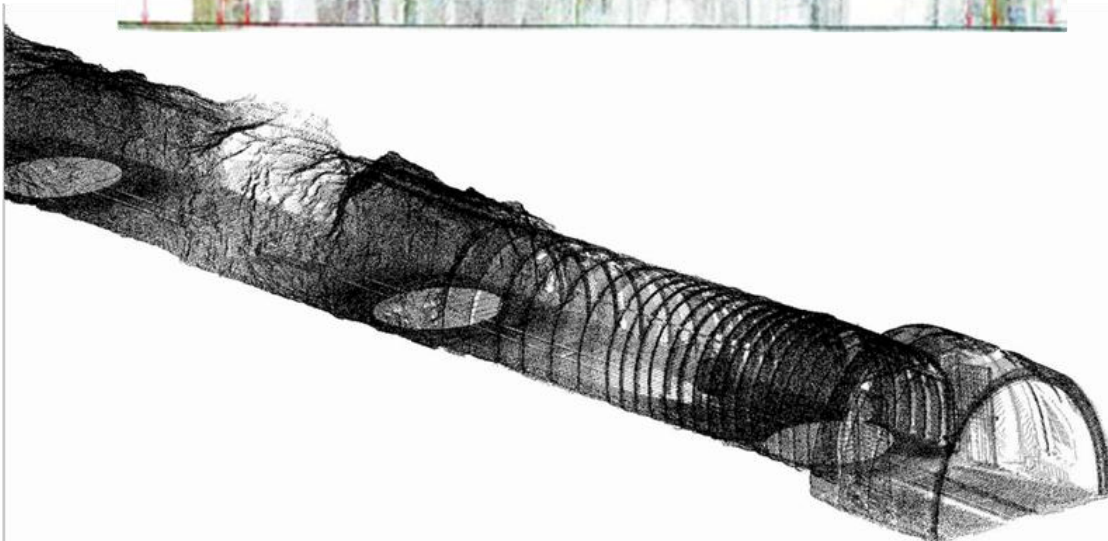
Vizualizace:

- přiřazení barev, textur, skutečných barev,
- vytváření prezentací, animací, průletů a pod.



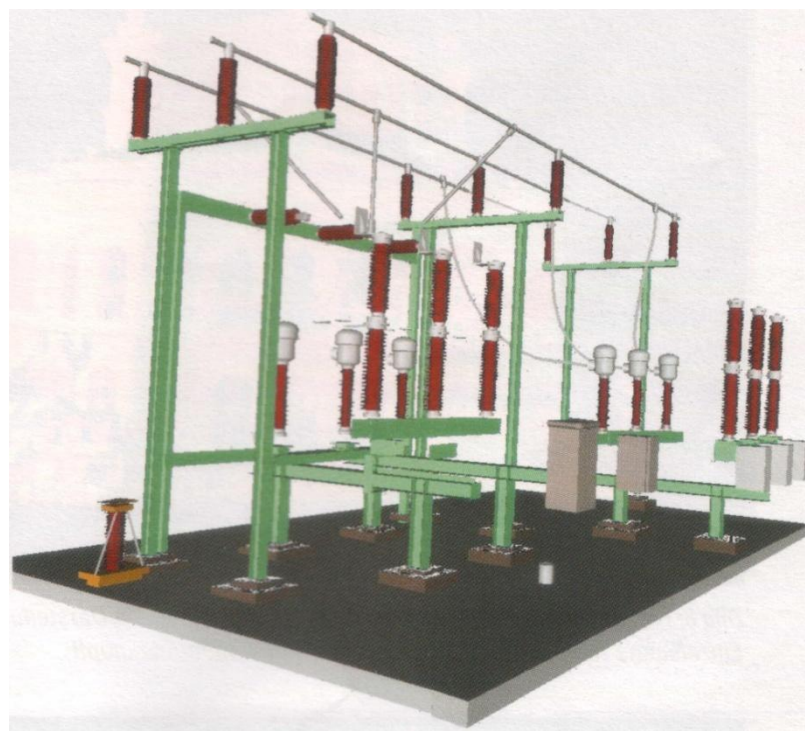
# 3D skenovací systémy - výstupy

mračno bodů, na kterém se může přímo měřit



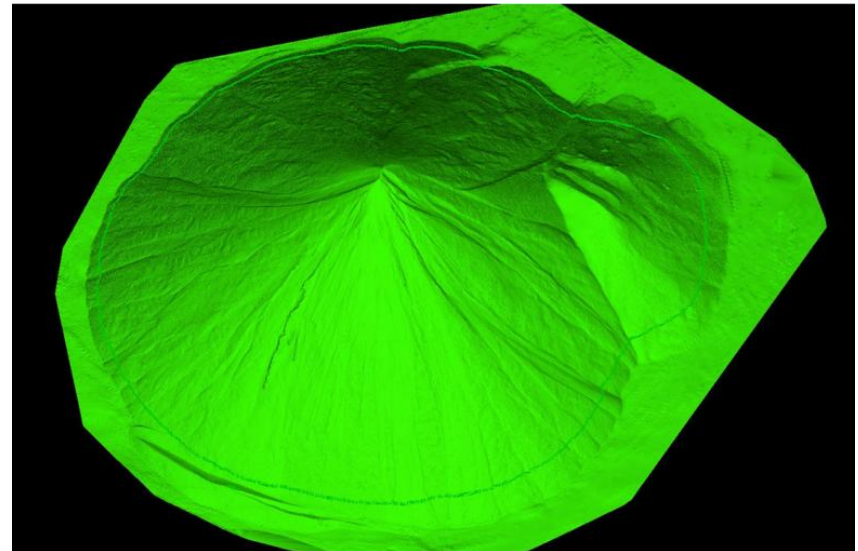
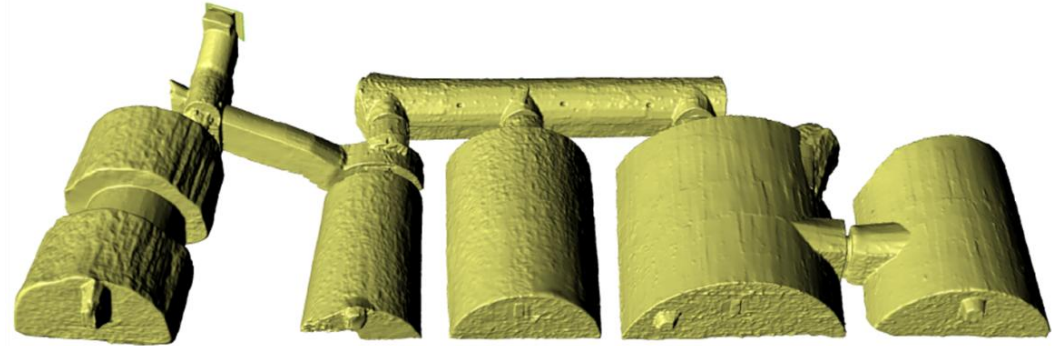
# 3D skenovací systémy - výstupy

3D model, nahrazení mračna bodů prokládáním geometrickými primitivy



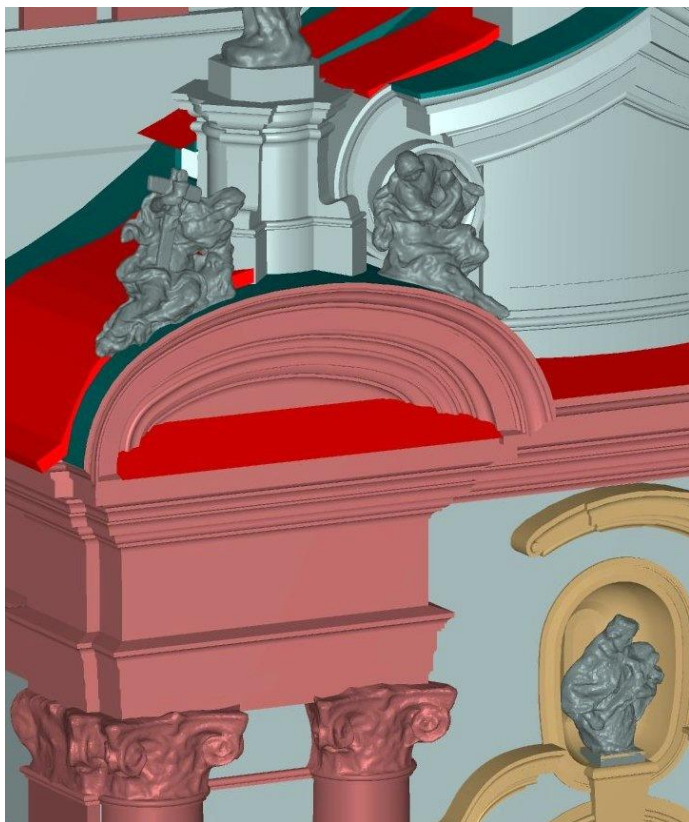
# 3D skenovací systémy - výstupy

3D model, nahrazení mračna bodů trojúhelníkovými sítěmi



# 3D skenovací systémy - výstupy

Kombinace výše uvedeného:



# 3D skenovací systémy – kinematické

U terestrického skenování je stanoviště a orientace stabilní, u kinematického se měří za pohybu s proměnlivým natočením, tj. každý bod má odlišné stanoviště a orientaci.

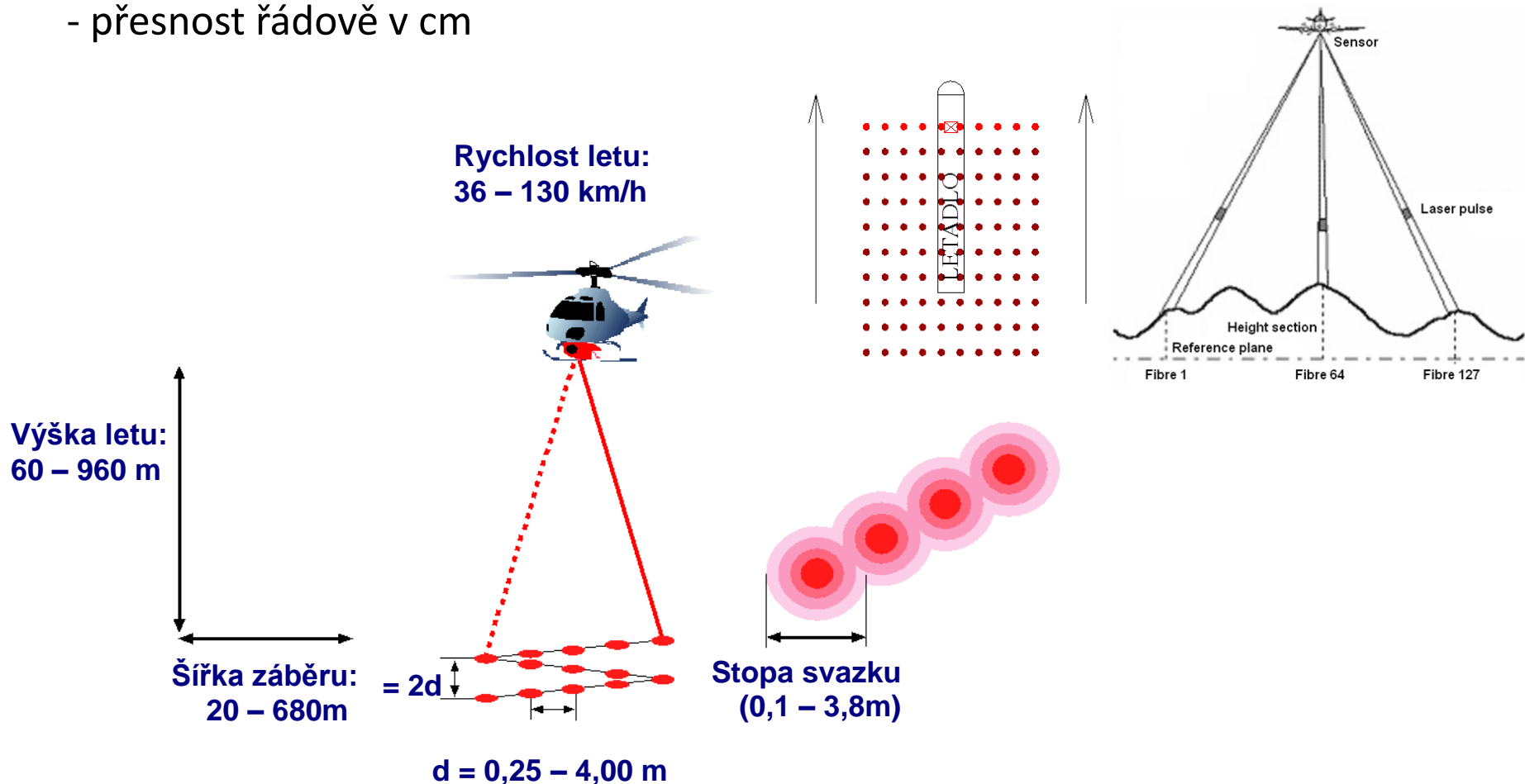
- Skener je doplněn dalšími senzory (podobně jako u letecké fotogrammetrie), obvykle:
  - GNSS přijímače,
  - inerciální navigační systém,
  - časová synchronizace jednotlivých údajů,
  - (odometr, kamery).

# Kinematické 3D skenovací systémy – pozemní



# Kinematické 3D skenovací systémy – letecké

- používají se konstrukčně robustnější a výkonnější skenery s delším dosahem (letadlo se během skenování pohybuje)
- obvykle je skener pouze řádkový a třetí rozměr doplňuje pohyb letadla
- přesnost řádově v cm



# 3D model části města z leteckého skenování





# Fotogrammetrie

Vědní disciplína zabývající se získáváním dále využitelných měření a dalších produktů z fotografického záznamu.

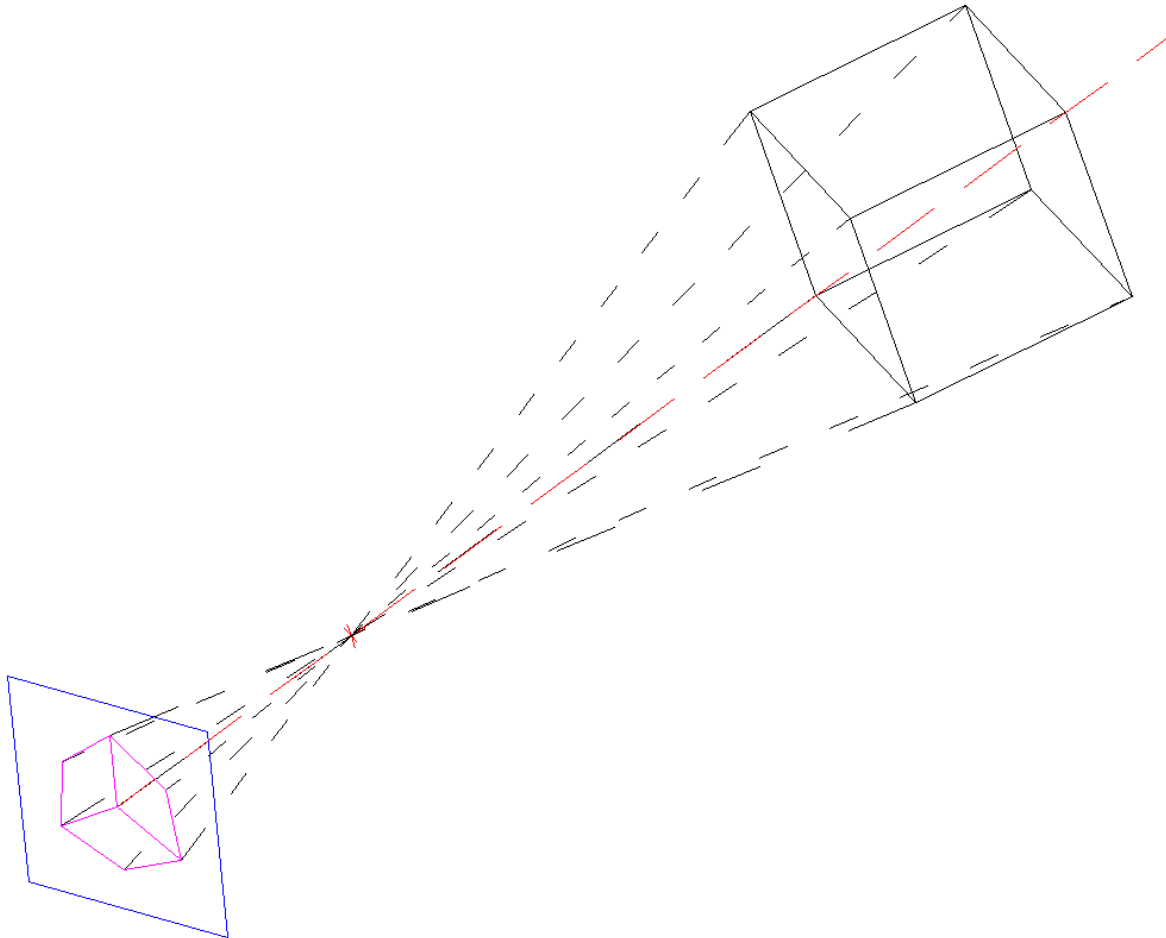
Fotografický snímek lze pořídit analogový (na světlocitlivé vrstvy) nebo digitální.

Používají se zařízení od amatérských fotoaparátů až po specializované měřické fotogrammetrické komory.

Z měřických snímků lze dovodit tvar, velikost a umístění v prostoru nebo určit vzájemnou polohu bodů.

# Fotogrammetrie

Fotografický snímek je ve své podstatě středovým průmětem skutečnosti (zobrazovaných předmětů) do roviny snímku.



# Fotogrammetrie

Pro stanovení tvaru, velikosti a prostorové polohy objektu je nutno znát tzv. prvky vnitřní a vnější orientace.

Prvky vnitřní orientace – definují vnitřní vztahy v komoře

- konstanta komory (ohnisková vzdálenost,  $f$ )
- poloha hlavního snímkového bodu – průsečík osy záběru s rovinou snímku ( $x_0, y_0$ )
- vyjádření distorze objektivu – vada zobrazení způsobená objektivem

Prvky vnější orientace – udávají vztah mezi komorou a objektem

- poloha středu promítání (vstupní pupila,  $X_0, Y_0, Z_0$ )
- vyjádření natočení snímku pomocí rotací v jednotlivých osách  $\omega, \varphi, \kappa$  v pořadí os  $x, y, z$

# Fotogrammetrie

Pokud jsou známy tyto prvky, lze vyjádřit prostorovou přímkou, na které měřený/určovaný bod leží.

Z uvedeného je zřejmé, že k úplnému popisu polohy bodů jsou třeba alespoň dva snímky daného objektu z různých stanovisek.

Pokud nejsou prvky orientace známy, je možno je (velmi komplikovaně) vypočítat s využitím tzv. vlíčovacích bodů, tzn. bodů, u nichž známe geodetické souřadnice.

# Dělení fotogrametrie, metody

Podle počtu snímků:

- Jednosnímková,
- Vícesnímková,

Podle polohy stanoviška

- Pozemní
- Letecká

Metody:

- Jednosnímková
- Stereofotogrammetrie
- Průseková

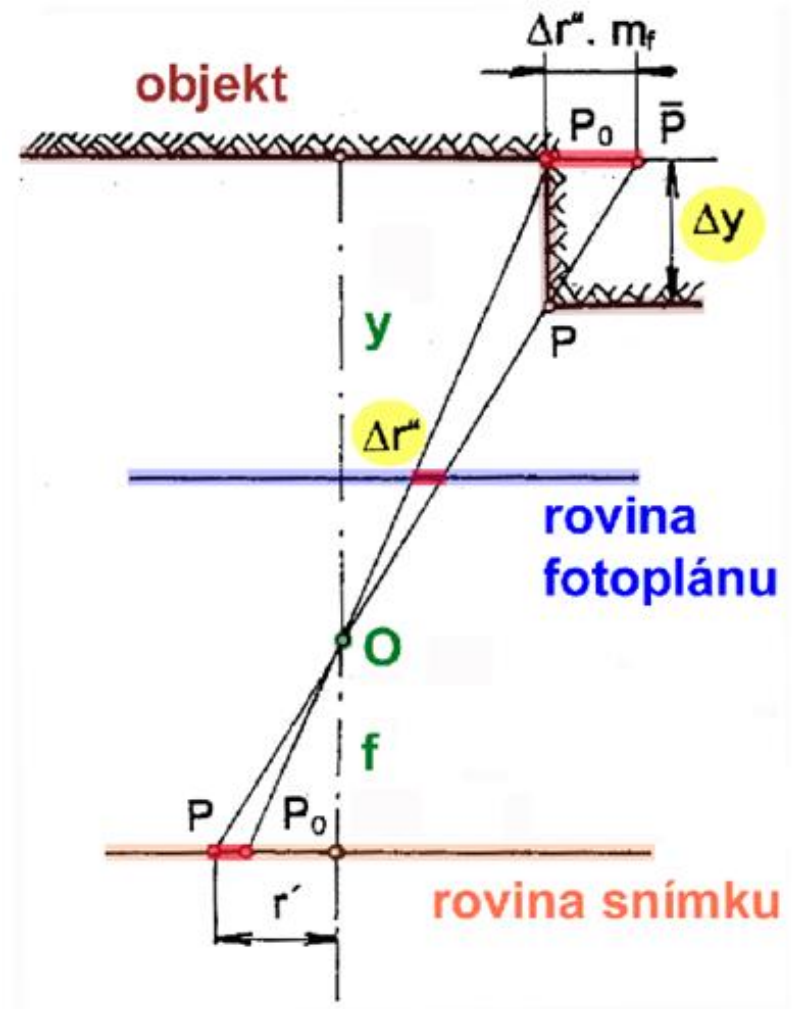
# Fotogrammetrie jednosnímková

Poskytuje pouze rovinné souřadnice (Y, X). Uplatňuje se při tvorbě fotoplánů.

Možno použít pokud měřený objekt je rovinný nebo alespoň přibližně rovinný (plochá fasáda budovy, plochý terén).

Nerovinnost objektu způsobuje radiální posuny podrobných bodů v závislosti na jejich prostorovém umístění.

Vztah mezi geodetickými (skutečnými) souřadnicemi a snímkovými souřadnicemi je dán kolineární (projektivní) transformací.



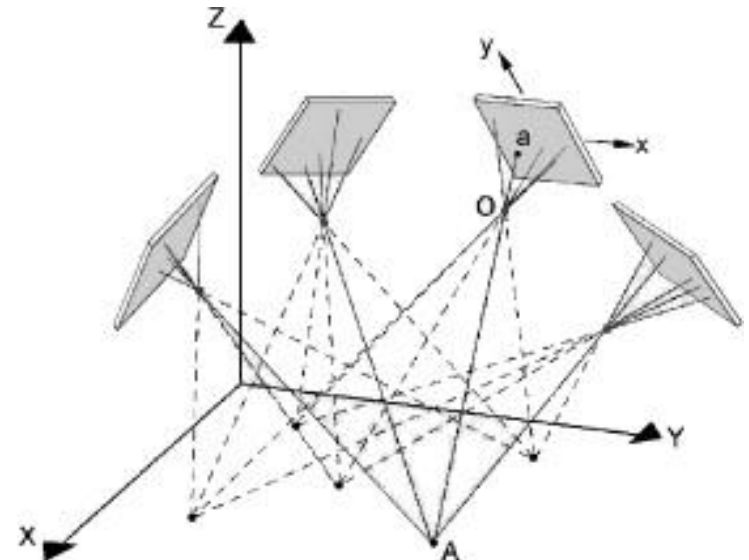
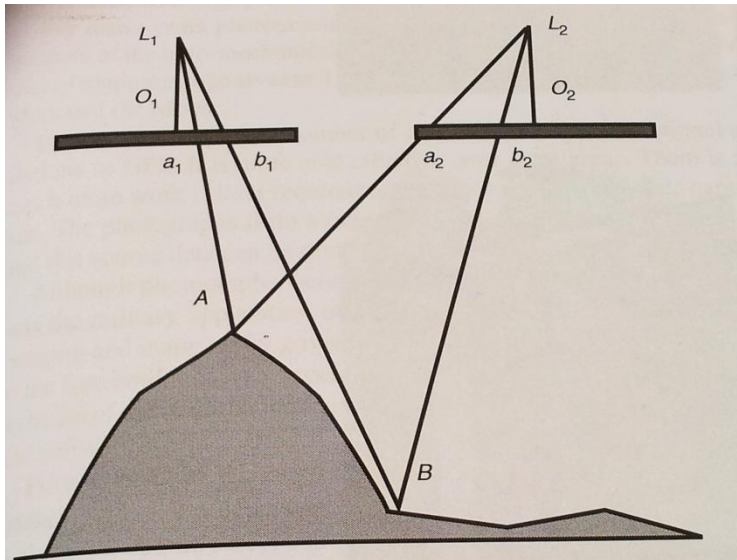
Vliv hloubkové členitosti objektu

# Fotogrammetrie vícesnímková

Metody, které mají za cíl určit 3D vyjádření měřeného objektu, musí využít dva nebo více snímků.

Nejvíce se pro vyhodnocení využívá **stereofotogrammetrie**, kdy se pořídí dva snímky s rovnoběžnou osou záběru a vyhodnocuje se pomocí umělého stereovjemu.

Současně s rozšířením počítačů prožila svoji renesanci metoda **průsekové fotogrammetrie**, která je obdobou protínání vpřed a byla první fotogrammetrickou metodou. Výpočetní zpracování umožňuje aplikaci vyrovnání z více snímků a tím zpřesňování výsledků.



# Fotoplán

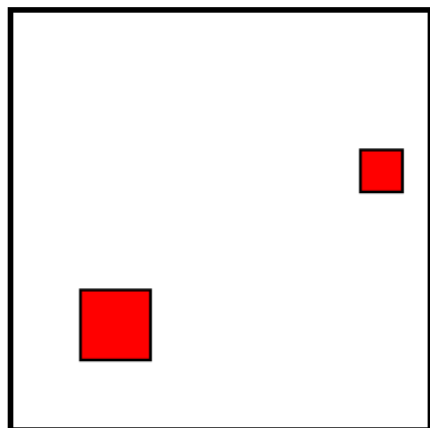




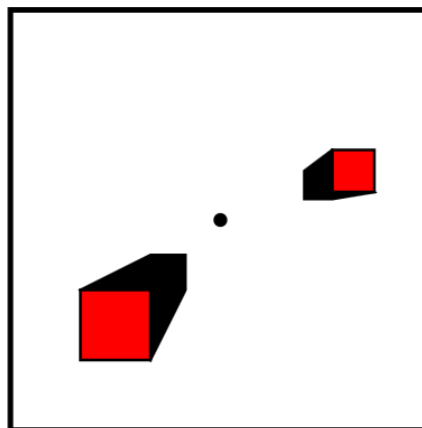
# Ortofoto

Princip ortofota spočívá v odstranění radiálních posunů jednotlivých snímkových bodů, které jsou způsobeny proměnlivými výškovými poměry v terénu nebo hloubkovými poměry na objektu. Pro jeho tvorbu je nutné znát digitální model terénu.

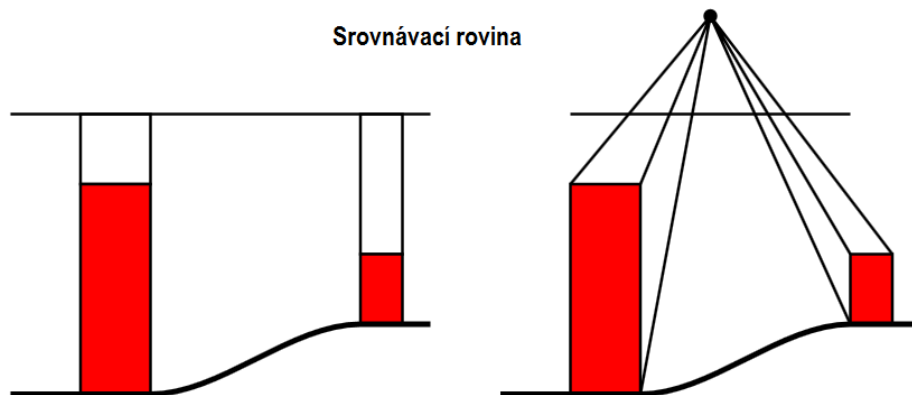
Ortogonalní pohled



Perspektivní pohled



Srovnávací rovina



# Fotogrammetrické pracoviště



# Fotogrammetrie pozemní a letecká

## **Pozemní**

Stanovisko je nehybné → lze určit prvky vnější orientace.

Dosah je přibližně 500 m.

Přesnost dle charakteru úlohy v řádu cm a ž dm.

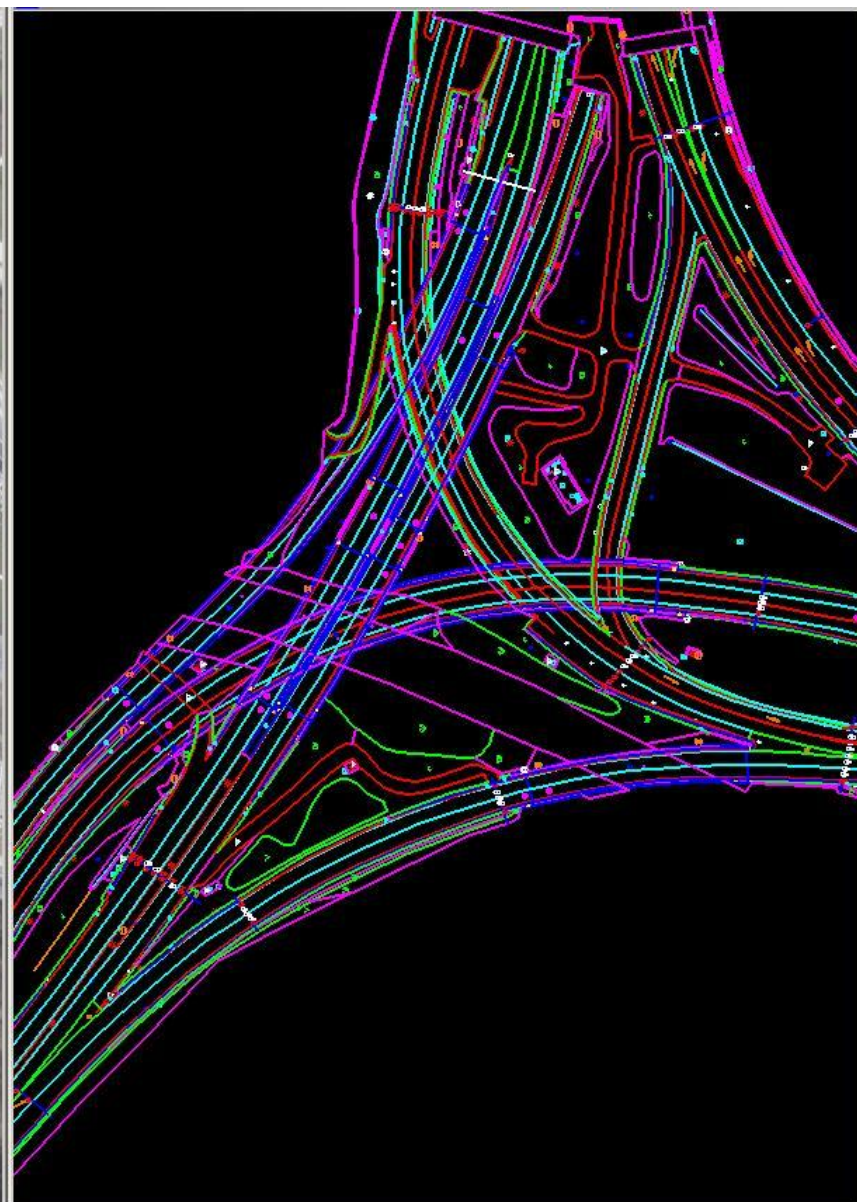
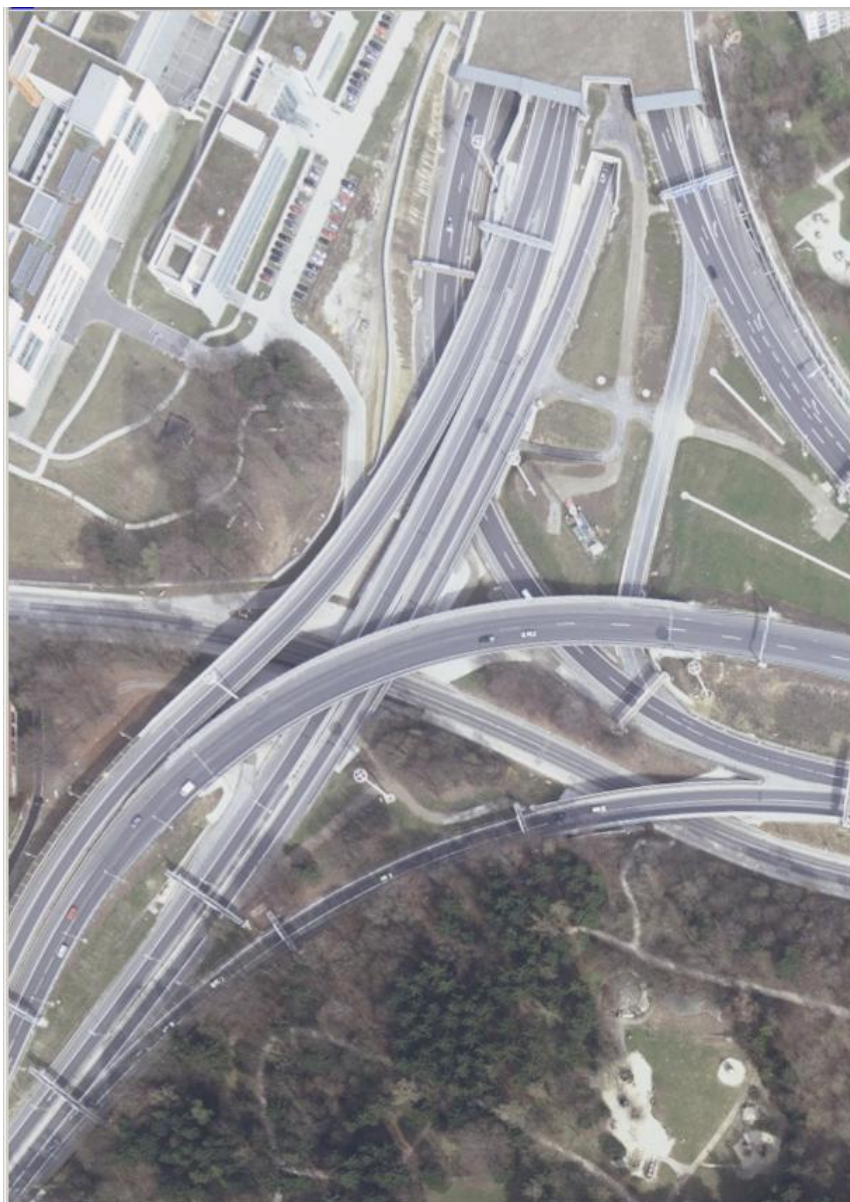
## **Letecká**

Komora v letadle → nutno použít pozemních vlíčovacích bodů.

Přesnost je v řádu dm až m.

Česká republika byla mapována z převážné části s využitím letecké fotogrammetrie a geodetickým doměřováním zakrytých oblastí.

# Letecký snímek a výstup z jeho zpracování



Konec