

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta aplikovaných věd  
Katedra matematiky

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Prvky vnější orientace v letecké  
fotogrammetrii**

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a následné obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem pod vedením vedoucího bakalářské práce celou tuto práci včetně příloh vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Plzni 21.5.2007

.....  
Podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala především vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Šimovi, CSc., za pomoc a odborné vedení při zpracování této bakalářské práce, Ing. Radku Fialovi za pomoc s programem Matlab, a zeměměřičskému odboru Zeměměřičského úřadu v Pardubicích za poskytnutí dat.

Dále bych také chtěla velice poděkovat své rodině, především rodičům a sestře, za podporu, kterou mi po celá studia věnovali. Také nechci zapomenout na své přátele, kteří mi pomáhali.

## **Abstrakt**

Práce se zabývá teorií prvků vnější orientace v letecké fotogrammetrii a průzkumem přesnosti určení prvků vnější orientace během snímkového letu na příkladě 4 bloků periodického barevného leteckého snímkování území České republiky v měřítku 1:23 000. Teoretická část bakalářské práce obsahuje informace týkající se vlastností leteckých měřických snímků, souřadnicových soustav v letecké fotogrammetrii, vlivu prvků vnější orientace na snímkové souřadnice a způsobů určení prvků vnější orientace. Praktickou částí bakalářské byla analýza přesnosti prvků vnější orientace získaných během letu aparaturou GPS/IMU.

## **Klíčová slova**

Letecká fotogrammetrie, prvky vnější orientace, globální polohový systém, inerciální měřicí jednotka, přímé georeferencování.

## **Abstract**

The thesis deals with theory of exterior orientation in aerial photogrammetry as well as with accuracy investigations of exterior orientation elements measured during the survey flight. 4 blocks of periodical colour aerial photography of the Czech Republic have been used as samples. Theoretical part of the thesis contains information about parameters of aerial survey photographs, coordinate systems in aerial photogrammetry, and describes the influence of exterior orientation elements on image coordinates as well as methods of determining the orientation elements. Practical part of the thesis contains results of accuracy analysis of exterior orientation elements gained during the survey flight by GPS/IMU apparatus.

## **Key words**

Aerial photogrammetry, exterior orientation elements, global positioning system, inertial measuring unit, direct georeferencing.

# OBSAH

Seznam příloh.....	7
Seznam použitých zkratk.....	9
<b>Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>1 Vlastnosti leteckých měřických snímků. Prvky vnitřní a vnější orientace.....</b>	<b>11</b>
1.1 Prvky vnitřní orientace.....	11
1.2 Prvky vnější orientace.....	13
<b>2 Souřadnicové soustavy ve fotogrammetrii.....</b>	<b>15</b>
2.1 Volba souřadnicových systémů v letecké fotogrammetrii.....	15
2.2 Volba souřadnicových systémů v pozemní fotogrammetrii.....	15
2.3 Hlavní souřadnicové systémy.....	16
2.3.1 Soustava geodetická.....	16
2.3.2 Soustava modelových souřadnic.....	16
2.3.3 Soustava snímkových souřadnic.....	17
2.4 Pomocné souřadnicové systémy.....	17
2.4.1 Soustava fiktivního snímku.....	17
2.4.2 Soustava svislého snímku.....	17
2.5 Vztahy mezi souřadnicovými soustavami.....	17
2.5.1 Postupný převod.....	18
2.5.2 Přímý vztah mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi.....	19
<b>3 Vliv prvků vnější orientace na snímkové souřadnice.....</b>	<b>21</b>
3.1 Působení translačních prvků vnější orientace na snímkové souřadnice.....	21
3.1.1 Vliv změny souřadnice (x).....	21
3.1.2 Vliv změny souřadnice (y).....	21
3.1.3 Vliv změny souřadnice (z).....	21
3.2 Vliv rotací na snímkové souřadnice.....	21
3.2.1 Vliv příčného úhlu sklonu $\omega$ .....	21
3.2.2 Vliv podélného sklonu $\varphi$ .....	22
3.2.3 Vliv pootočení snímku ve vlastní rovině $\kappa$ .....	23
<b>4 Určení prvků vnější orientace pomocí vlíčovacích bodů.....</b>	<b>26</b>
4.1 Relativní a absolutní orientace stereoskopické dvojice leteckých snímků.....	27
4.1.1 Empirické řešení.....	27
4.1.2 Početní řešení.....	29
4.1.3 Analytické řešení.....	31
4.2 Určení prvků vnější orientace blokovou analytickou aerotriangulací.....	31
4.2.1 Blokované vyrovnání pro nezávislé modely – etapové řešení.....	31
4.2.2 Svazkové vyrovnání bloku – komplexní řešení.....	32
4.3 Aerotriangulace s podporou GPS.....	32
<b>5 Určení prvků vnější orientace během snímkového letu aparaturou GPS/IMU.....</b>	<b>34</b>
5.1 Princip fungování aparatury GPS/IMU.....	34
5.2 Ukázka postupu získání prvků vnější orientace aparaturou GPS/IMU.....	35

<b>6 Průzkum přesnosti určení prvků vnější orientace během snímkového letu na příkladě bloků periodického barevného leteckého snímkování území České republiky v měřítku 1:23 000.....</b>	<b>37</b>
6.1 Směrodatné odchylky a systematické chyby.....	37
6.2 Vliv směru letu.....	38
6.3 Příčné odchylky letové dráhy.....	39
6.4 Změny absolutní výšky letu podél letové dráhy.....	39
<b>7 Současné možnosti přímého georeferencování leteckých měřických snímků (využití přímo měřených prvků vnější orientace pro tvorbu ortofotomapy).....</b>	<b>40</b>
<b>Závěr.....</b>	<b>41</b>
Přehled použité literatury.....	42

## Seznam příloh

Příloha A	Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 504-jih/2005
Příloha B	Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 502/2005
Příloha C	Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 504-jih/2006
Příloha D	Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 502/2006
Příloha E	Vliv směru letu - rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 504-jih, liché řady/2005
Příloha F	Vliv směru letu - rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 504-jih, sudé řady/2005
Příloha G	Vliv směru letu - rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 502, liché řady/2005
Příloha H	Vliv směru letu - rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 502, sudé řady/2005
Příloha I	Vliv směru letu - rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 504-jih, liché řady/2006
Příloha J	Vliv směru letu - rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 504-jih, sudé řady/2006
Příloha K	Vliv směru letu - rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 502, liché řady/2006
Příloha L	Vliv směru letu - rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, Chyby prvků vnější orientace, blok 502, sudé řady/2006
Příloha M	Příčné odchytky letové dráhy, blok 504-jih/2005
Příloha N	Příčné odchytky letové dráhy, blok 502/2005
Příloha O	Příčné odchytky letové dráhy, blok 504-jih/2006
Příloha P	Příčné odchytky letové dráhy, blok 502/2006
Příloha Q	Změny absolutní výšky letu podél letové dráhy, blok 504-jih/2005
Příloha R	Změny absolutní výšky letu podél letové dráhy, blok 502/2005
Příloha S	Změny absolutní výšky letu podél letové dráhy, blok 504-jih/2006
Příloha T	Změny absolutní výšky letu podél letové dráhy, blok 502/2006

- Příloha U Posuny vyvolané chybami v určení prvků vnější orientace, blok 504-jih/2005
- Příloha V Posuny vyvolané chybami v určení prvků vnější orientace, blok 502/2005
- Příloha W Posuny vyvolané chybami v určení prvků vnější orientace, blok 504-jih/2006
- Příloha X Posuny vyvolané chybami v určení prvků vnější orientace, blok 502/2006
- Příloha Y Letecká technika společnosti Argus Geo Systém, s.r.o., Hradec Králové



## Seznam použitých zkratk

<b>AAT</b>	Analytická aerotriangulace
<b>D-GPS</b>	Diferenciální globalní polohový systém
<b>DMÚ 25</b>	Digitální model území 1:25 000
<b>DPZ</b>	Dálkový průzkum Země
<b>GPS</b>	Globalní polohový systém (Global positioning system)
<b>IIN</b>	Integrovaná inerciální navigace
<b>IMU</b>	Inertial measurement unit
<b>INS</b>	Inertial navigation system
<b>ISPRS</b>	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
<b>RMK TOP</b>	Typ letecké měřické kamery, výrobce firma Zeiss
<b>S – JTSK</b>	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
<b>UTM</b>	Universal Transverse Mercator
<b>WGS – 84</b>	World Geodetic System 1984
<b>ZABAGED</b>	Základní báze geografických dat

## ÚVOD

Fotogrammetrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření, map, digitálního modelu terénu a dalších produktů, které lze získat z obrazového, nejčastěji fotografického záznamu [9]. Její uplatnění je velmi široké. Bývá využívána nejen při mapování a v kartografii, ale také ve stavebnictví, lesnictví, vodním hospodářství, při těžbě surovin a v mnoha dalších odvětvích. Jako její produkty lze kromě map uvést také barevná ortofota, digitální model terénu a další. Jedním z důvodů, proč bývá upřednostňována před klasickými geodetickými metodami, je menší časová a menší finanční náročnost při mapování většího území. Mezi moderní postupy letecké fotogrammetrie patří měření prvků vnější orientace aparaturou GPS/IMU, které se začalo v České republice provádět po roce 2000. Nejnovější technologickou novinkou je použití digitální letecké měřické kamery, kterou jako první zakoupila firma Geodis Brno, s.r.o..

Cílem této bakalářské práce je stručné uvedení do teorie prvků vnější orientace a zejména průzkum přesnosti určení prvků vnější orientace měřených během snímkového letu, a to na příkladě 4 bloků opakovaného barevného leteckého snímkování území České republiky v měřítku 1: 23 000 z let 2005 a 2006.

Obsah práce je rozdělen do sedmi kapitol. První kapitola se věnuje vlastnostem leteckých měřických snímků, prvkům vnitřní a vnější orientace a na závěr je uvedeno několik informací o periodickém leteckém měřickém snímkování území České republiky.

Druhá kapitola se zabývá souřadnicovými soustavami v pozemní i letecké fotogrammetrii. Je zde popsáno, jaké souřadnicové systémy se používají, jak jsou definovány a jaké jsou vztahy mezi nimi.

Vliv prvků vnější orientace na snímkové souřadnice je popsán ve třetí kapitole. Je zde popsáno působení translačních prvků vnější orientace a vliv rotací na snímkové souřadnice. Na závěr této kapitoly jsou všechny vlivy shrnuty do tzv. fotogrammetrických řad.

Ve čtvrté kapitole je popsáno určení prvků vnější orientace pomocí vlíčovacích bodů, relativní a absolutní orientace stereoskopické dvojice leteckých snímků, bloková analytická aerotriangulace a analytická aerotriangulace s podporou GPS. Je zde vysvětleno, co jsou vlíčovací body, jakým způsobem jsou rozmisťovány a signalizovány.

Pátá kapitola se věnuje modernímu způsobu určení prvků vnější orientace pomocí aparatury GPS/IMU. Je zde popsán princip fungování této aparatury a ukázka postupu získání prvků vnější orientace touto aparaturou.

Šestá kapitola zahrnuje průzkum přesnosti určení prvků vnější orientace během snímkového letu na příkladě 4 bloků opakovaného barevného leteckého snímkování v měřítku 1:23 000 v letech 2005 a 2006. Jsou zde uvedeny informace o blocích, na kterých byl průzkum proveden, postup průzkumu a dílčí výsledky.

V sedmé kapitole jsou popsány současné možnosti přímého georeferencování leteckých měřických snímků (využití přímo měřených prvků vnější orientace pro tvorbu ortofotomapy), a to s ohledem na výsledky uvedené v šesté kapitole.

# 1 Vlastnosti leteckých měřických snímků. Prvky vnitřní a vnější orientace

Letecký měřický snímek je fotografický snímek o známých parametrech a vlastnostech, jehož stanovisko a potřebné příslušenství pro pořízení je umístěno v letadle. Na takovém snímku je možné zobrazit území o značné rozloze, což je bezesporu jeho velkou výhodou. Letadla pro potřeby fotogrammetrie se buď přímo konstruují, nebo se používají běžná dopravní letadla, která jsou pro pořizování leteckých měřických snímků speciálně upravena. Fotogrammetrická letadla bývají jednomotorová, dvoumotorová, zpravidla hornoplošníky. Pro snímkování malých lokalit v menších výškách je možné použít i vrtulník. Posádku letadla tvoří pilot, operátor a navigátor. Ten navádí pilota nad danou lokalitu. Proto je třeba, aby měl navigátor nerušený výhled na přelétávaný terén. Cestovní rychlost letadla by měla dosahovat až 300 km za hodinu. Pracovní rychlost při snímkování by se však měla pohybovat v rozmezí 90 až 140 km za hodinu. Jestliže se letadlo pohybuje ve výšce nad 4 000 m, kabina letadla musí být přetlaková. Dolet letadla by měl být alespoň 6 hodin. Ve spodní části trupu letadla se nacházejí kruhové otvory pro výhled kamery, regulátoru překrytu či navigačního teleskopu. Kamera musí být upevněna tak, aby se maximálně tlumily vibrace motorů, přenášené na závěs kamery [7], [9].

Letecké snímky lze podle sklonu osy záběru vzhledem ke svislici rozdělit na [7]:

- svislé – sklon osy záběru do  $3^\circ$
- strmé – se sklony od  $3^\circ$  do  $10^\circ$
- šikmé – od  $10^\circ$  do  $80^\circ$
- ploché – se sklony od  $80^\circ$  do  $90^\circ$
- horizontální – se sklony osy záběru  $90^\circ$ ,

příčemž nejpoužívanějšími snímky jsou snímky svislé.

Na kvalitu leteckého měřického snímku jsou kladeny vysoké nároky, zejména na jeho geometrickou věrnost a v neposlední řadě i na fotografickou kvalitu, a to z toho důvodu, že letecký snímek představuje významný zdroj informací, které se při jeho vyhodnocení interpretují. Podmínkou přesného fotogrammetrického vyhodnocení leteckých měřických snímků ve formě polohopisu nebo výškopisu topografické mapy, digitálního modelu georeliéfu nebo ortofotomapy je **znalost prvků vnitřní a vnější orientace** [1], [7].

Tyto prvky tedy představují nejdůležitější parametry leteckých snímků. Mezi povahou prvků vnitřní a vnější orientace je zásadní rozdíl. Prvky vnější orientace jsou v průběhu snímkového letu různé, avšak prvky vnitřní orientace jsou v rámci jednoho snímkového letu při použití téže letecké kamery stejné [1].

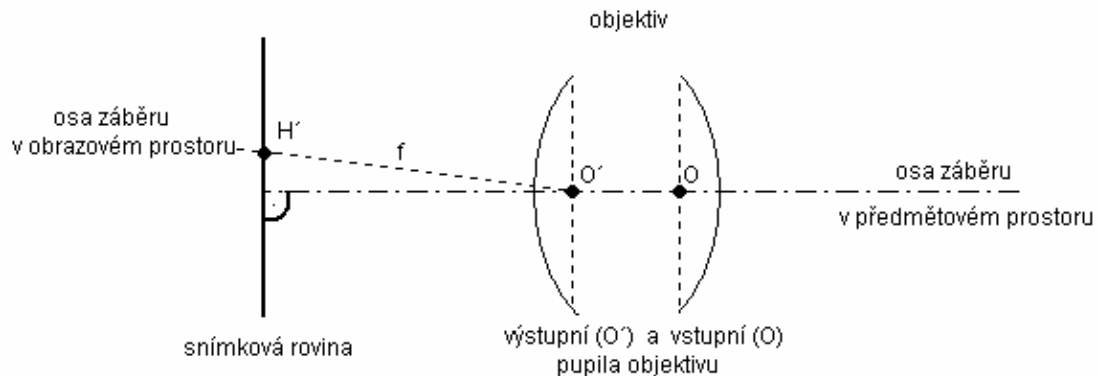
## 1.1 Prvky vnitřní orientace

Letecký snímek nazýváme měřickým v případě, že známe prvky vnitřní orientace měřické kamery, kterou byl pořízen [2]. Před vyjmenováním těchto prvků je třeba uvést několik definic, které pomohou tuto problematiku osvětlit.

Základní definice [9] (viz též obr. 1):

- Osa záběru je kolmice k obrazové (snímkové) rovině procházející vstupní pupilou objektivu.
- Střed snímku (středový bod snímku)  $M'$  je průsečíkem spojnic protilehlých rámových značek.

- Hlavní snímkový bod  $H'$  je průsečíkem paprsku (odpovídajícího v obrazovém prostoru ose záběru) se snímkovou rovinou, který vlivem nedokonalosti konstrukce objektivu nemusí být kolmý na snímkovou rovinu a jeho poloha se mírně liší od středu snímku.
- Konstanta kamery je vzdálenost hlavního snímkového bodu ke středu výstupní pupily. Přibližně odpovídá ohniskové vzdálenosti objektivu.
- Distorze, neboli zkreslení objektivu, je důsledkem nepřesností při výrobě a montáži čoček objektivu, která působí na geometrii fotografického obrazu (obr. 2).



Obr. 1 Schéma objektivu a osy záběru [2]

Mezi prvky vnitřní orientace se řadí podle [3]: konstanta kamery, snímkové souřadnice hlavního snímkového bodu a údaje o distorzi objektivu. Konstanta kamery bývá nejčastěji označována písmenem  $f$ . Lze se ovšem také setkat s označením písmenem  $c$ . Hodnota konstanty kamery se uvádí v milimetrech. Snímkové souřadnice hlavního snímkového bodu  $H'$  se označuje  $x'_h, y'_h$ . Ty definují polohu tohoto bodu vzhledem ke středu snímku  $M'$ . Je třeba, aby souřadnice hlavního snímkového bodu byly určeny velmi přesně. Pro daný typ objektivu jsou k dispozici obvykle údaje o jeho distorzi poskytnuté výrobcem [3].



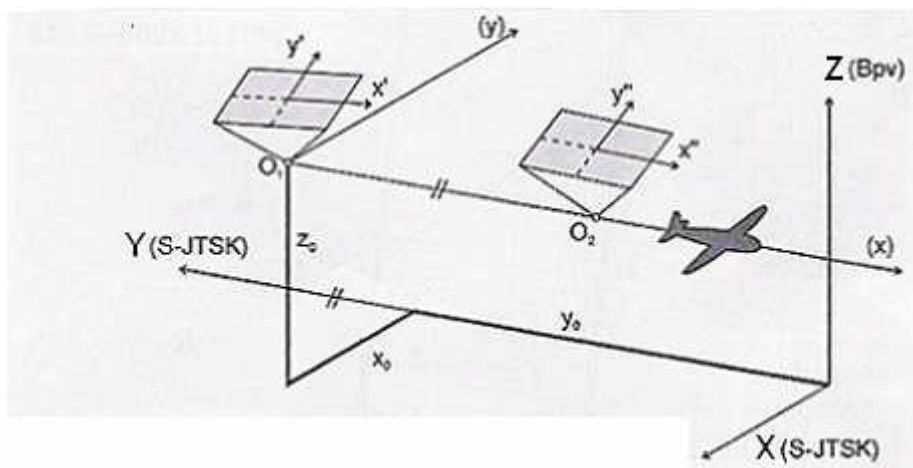
Obr. 2 Průběh radiální distorze objektivu vyjádřený pomocí izolinií [2]

Prvky vnitřní orientace v podstatě definují geometrii paprskového svazku uvnitř měřické kamery. Součástky těchto kamer jsou citlivá optická a mechanická zařízení a tudíž mohou být náchylná ke změně vzájemné polohy. Proto je třeba po určité době prvky vnitřní orientace překontrolovat a v případě nutnosti kameru u výrobce seřídít či

zavést opravy. Tento úkon je třeba provést například po nešetrném transportu kamery či po zakoupení již použité kamery [3].

## 1.2 Prvky vnější orientace

Prvky vnější orientace definují polohu snímku a jeho orientaci v prostoru vzhledem k danému (zpravidla geodetickému) souřadnicovému referenčnímu systému [6]. Rozlišujeme 6 prvků vnější orientace. Jsou to souřadnice středu vstupní pupily objektivu a úhly rotace. Střed vstupní pupily je dán v prostoru třemi souřadnicemi, které označujeme  $x_0$ ,  $y_0$ , a  $z_0$  [9].

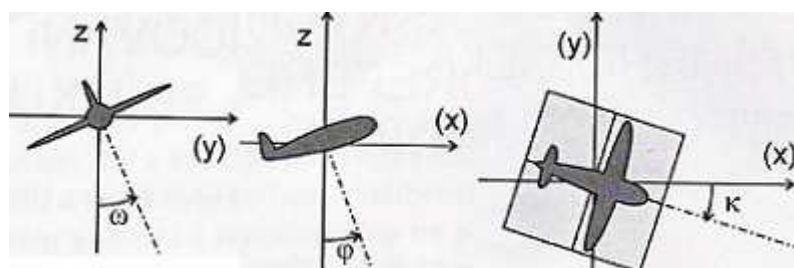


Obr. 3 Prvky  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  vnější orientace leteckého snímku [1]

Jak lze usuzovat z obrázku 3, prvky vnější orientace jsou závislé na poloze vstupní pupily objektivu kamery v okamžiku expozice snímku. Na obrázku je uveden případ barevného leteckého měřického snímkování území České republiky v měřítku 1 : 23 000 [1].

Zbývající tři prvky vnější orientace leteckých měřických snímků, tedy úhly rotace (viz obr. 4), se označují řeckými písmeny  $\omega$ ,  $\varphi$  a  $\kappa$ . Tyto úhly určují polohu osy záběru v předmětovém prostoru a pootočení systému snímkových souřadnic ( $x'$ ,  $y'$ ) vůči systému modelových souřadnic ( $x$ ), ( $y$ ), ( $z$ ) [1]. Jednotlivým souřadnicovým soustavám bude věnována samostatná kapitola.

Písmenem  $\kappa$  označujeme úhel, který svírá spojnice rámových značek s vertikální rovinou, proloženou osou záběru. Jedná se o pootočení snímku ve vlastní rovině. Písmeny  $\omega$  a  $\varphi$  označujeme úhly, které svírá osa záběru se svislicí proloženou středem vstupní pupily. Pokud se jedná o sklon osy záběru od svislice ve směru letu, hovoříme o tzv. podélném sklonu ( $\varphi$ ). Druhou možností je sklon osy záběru od svislice napříč ke směru letu. V tomto případě hovoříme o tzv. příčném sklonu ( $\omega$ ) [7].



Obr. 4 Úhlové prvky vnější orientace leteckého snímku [1]

Objektiv se vstupní pupilou (jakožto součást letecké měřické kamery) se v době pořizování leteckých měřických snímků nachází na palubě letadlového nosiče. Tento nosič se pohybuje, a působí tedy na něj vnější vlivy. Tyto vlivy se shrnují obecně do dvou skupin a označují jako fyzikální a meteorologické. Jako příklad meteorologických vlivů lze uvést silný (zejména boční) vítr, jehož vliv ve výšce, kde se nachází letadlo při pořizování snímků, je dosti značný. Prvky vnější orientace se považují až na případy použití speciálních zařízení (GPS a IMU) umístěných na palubě letadla, za neznámé [2]. V následujících odstavcích budou proto stručně zmíněny způsoby určení neznámých prvků vnější orientace. Podrobněji pak budou tyto metody popsány v dalších samostatných kapitolách.

Klasickým způsobem určení neznámých prvků vnější orientace je jejich odvození z vlíčovacích bodů v rámci tzv. relativní a absolutní orientace stereodvojic, přičemž souřadnice vlíčovacích bodů (x, y, z) se zhruba až do 50. let 20. století určovaly výhradně geodetickým měřením v terénu.

Tuto metodu vystřídala počátkem 60. let tzv. aerotriangulace. Zpočátku se jednalo o aerotriangulaci řadovou. Vyhodnocovací stroje byly analogové – autografy. Technologie se ovšem vyvíjela dál, a tak již v 70. letech nahradila analogovou metodu metoda analytická. Byla to bloková aerotriangulace a k měření snímkových souřadnic se používaly stereokomparátory. Jejich účelem bylo odvodit z menšího počtu výhodně zvolených a geodeticky určených výchozích vlíčovacích bodů ostatní potřebné body pro vlíčování stereodvojic na základě měření jejich snímkových souřadnic a výpočtů na sálových počítačích [1], [2].

Na počátku 90. let minulého století k nám začala pronikat technologie GPS, která byla využita kromě jiného i ve fotogrametrii. Aparatura GPS, umístěná na palubě letadla, umožňuje s vyhovující přesností určit souřadnice vstupní pupily objektivu kamery v okamžiku pořízení snímku, tedy v době expozice. Kolem roku 2000 se v České republice objevila další novinka – tzv. inerciální měřící jednotka (IMU). Toto zařízení je připojeno k letecké kameře a umožňuje určit za letu zbylé 3 úhlové prvky vnější orientace leteckých měřických snímků [1], [9].

Na závěr této kapitoly je vhodné uvést několik parametrů týkajících se leteckého měřického snímkování celého území České republiky. Periodické snímkování České republiky v tříletém intervalu je určeno především pro tvorbu barevných digitálních ortofotomap v kladu listů Státní mapy 1 : 5000, které se pak využívají v resortu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního k aktualizaci Základní báze geografických dat (ZABAGED), v resortu Ministerstva obrany pro aktualizaci Digitálního modelu území (DMÚ 25) a v resortu Ministerstva zemědělství ke stanovení výměr půdních bloků zemědělci skutečně obdělávané půdy pro získání dotací z fondů Evropské unie [1].

Základními parametry zmíněného snímkování jsou [9]:

- od roku 2003 barevné letecké měřické snímky v měřítku 1 : 23 000
- dráhy letu rovnoběžné s osou Y souřadnicového systému JTSK
- příčný překryt snímků mezi sousedními řadami  $q = 24,6 \%$
- podélný překryt mezi sousedními snímky v řadě  $p = 60 \%$
- vzdálenost sousedních řad  $a = 4\,000 \text{ m}$
- vzdálenost středů sousedních snímků v řadě (vzdušná základna)  $b = 2116 \text{ m}$
- relativní výška letu při použití širokoúhlé kamery  $h = 3\,500 \text{ m}$
- rozměr pixelu na skenovaném snímku  $0,021 \text{ mm}$ , tj.  $0,483 \text{ m}$  v území (od roku 2006  $0,020 \text{ mm}$ , tj.  $0,46 \text{ m}$  v území).

## 2 Souřadnicové soustavy ve fotogrammetrii

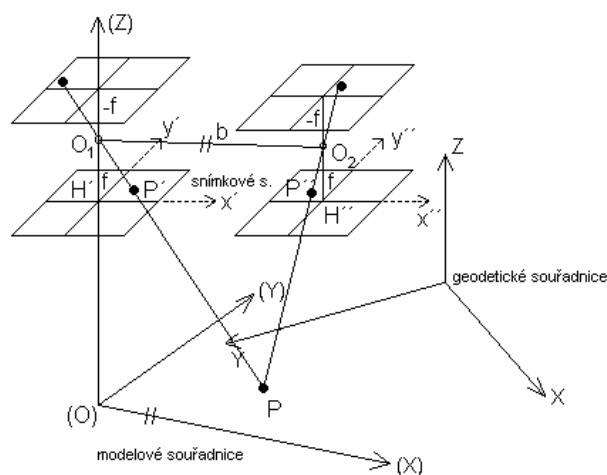
Tato kapitola bude věnována souřadnicovým soustavám, které se užívají ve fotogrammetrii letecké, i pozemní a také zde budou uvedeny transformační postupy mezi jednotlivými soustavami. Symbolika soustav souřadnic pro leteckou a pozemní fotogrammetrii se z historických důvodů nepatrně liší, ačkoliv z matematického hlediska se jedná o stále tutéž soustavu. Proto některá zahraniční odborná literatura nerozlišuje souřadnicové soustavy v letecké a pozemní fotogrammetrii a používá stejnou symboliku [2].

Obecně se užívají ve fotogrammetrii dva typy souřadnicových systémů: hlavní souřadnicové systémy a vedlejší souřadnicové systémy. Do první skupiny patří systém snímkových souřadnic, systém modelových souřadnic a systém geodetických souřadnic. Mezi pomocné systémy patří systém fiktivních snímkových souřadnic a systém snímkových souřadnic přesně svislého snímku [2].

### 2.1 Volba souřadnicových systémů v letecké fotogrammetrii

Při definování modelových systémů a odvozování dalších vztahů je vhodné držet se doporučení *Mezinárodní společnosti pro fotogrammetrii a DPZ (ISPRS – International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)*, které je založeno na principech letecké fotogrammetrie [4].

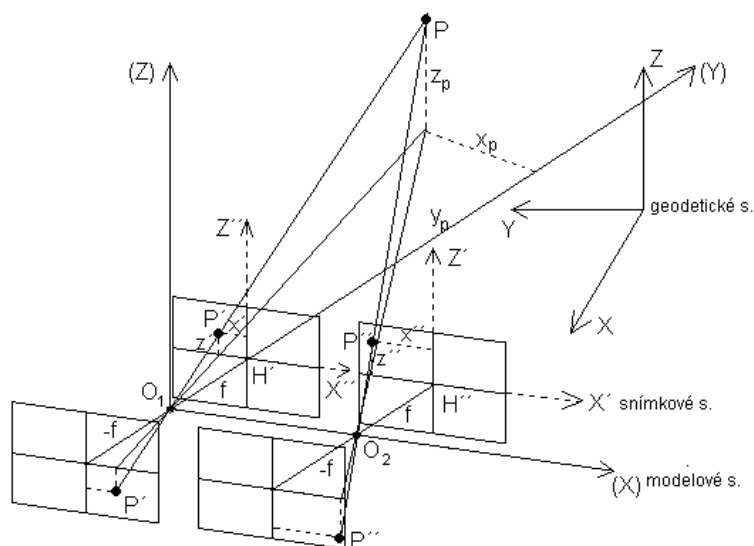
- osa (X) je položena přibližně do směru letu, kladná osa (Z) směřuje k zenitu
- kladný směr rotací je volen ve směru chodu hodinových ručiček
- primární je osa (X), sekundární (Y) a terciální (Z)
- počátek souřadnicové soustavy je umístěn v průmětu levého stanoviska stereodvojice



Obr. 5 Souřadnicové soustavy v letecké fotogrammetrii [9]

### 2.2 Volba souřadnicových systémů v pozemní fotogrammetrii

Pro prostorové vyhodnocení se v pozemní fotogrammetrii používá stejný systém jako v letecké fotogrammetrii, osy (X), (Y) jsou polohopisné a osa (Z) je vertikální. Je zde však rozdíl v prostorové složce. V letecké fotogrammetrii se totiž jako prostorová složka používá osa (Z). V pozemní fotogrammetrii se však jako prostorová složka používá osa (Y) [3].



Obr. 6 Souřadnicové soustavy v pozemní fotogrametrii [9]

Obecně lze říci, že co se týče pojmenování jednotlivých souřadnic, záleží pouze na dohodě. Jak bylo již zmíněno, ve světové literatuře se rozdíly v symbolice pro pozemní či leteckou fotogrametrii nedělají. Hlavním důvodem jsou pro obě metody stejné způsoby vyhodnocení snímků na moderních přístrojích. Prostorová souřadnice ( $z$ ) se vždy volí ve směru fotografování, a proto je u pozemní fotogrametrie potřeba provést ve výsledcích transformaci ( $y \leftrightarrow z$ ). Dalším důvodem je používání réseau komor, kterými se pořizují snímky pozemní i letecké a dále zavedení analytických metod, kdy lze vyhodnotit také snímky šikmé z letadla, vrtulníku, plošiny nebo třeba z vysoké budovy (v tom případě se nejedná o snímky svislé ani ne o snímky „klasicky“ pozemní) [3].

Srovnání pojmenování os souřadnicových systémů je zřejmé z tabulky 1.

Tabulka 1

	Tradiční pojmenování souřadnicových os		Obecné pojmenování souřadnicových os	
	Letecká fotogrammetrie	Pozemní fotogrammetrie	Letecká fotogrammetrie	Pozemní fotogrammetrie
Rovinné snímkové souř.	$x', y'$	$x', z'$	$x', y'$	$x', y'$
Prostorová složka	$(z)$	$(y)$	$(z)$	$(z)$

## 2.3 Hlavní souřadnicové systémy

### 2.3.1 Soustava geodetická

Souřadnice se označují  $x$ ,  $y$  a  $z$ . Je to výsledná souřadnicová soustava objektu, geodetický (referenční) systém. Souřadnice  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  jsou souřadnice středu promítání levého snímku (vstupní pupily) [4].

### 2.3.2 Soustava modelových souřadnic

Souřadnice se označují  $(x)$ ,  $(y)$  a  $(z)$ . Jedná se o soustavu popisující model. Osy a jejich směr i orientace se volí dle doporučení ISPRS nebo přibližně shodně s výsledným



geodetickým souřadným systémem. Souřadnice  $(x_0), (y_0), (z_0)$  jsou modelové souřadnice středu promítání levého snímku (vstupní pupily) [4].

### 2.3.3 Soustava snímkových souřadnic

Souřadnice se označují  $x', y', (z' = -f)$  pro levý snímek a  $x'', y'', (z'' = -f)$  pro pravý snímek, popřípadě tradiční pojmenování  $x', z', (y' = -f)$  pro levý snímek a  $x'', z'', (y'' = -f)$  pro pravý snímek. Snímkové souřadnice jsou definovány takto [3]: počátek souřadnicové soustavy (tj. odkud se na snímku měří) je umístěn z hlediska měření do středu snímku  $M'$ , který je dán spojnicí rámových značek zobrazených na snímku (proto se hovoří o snímkových souřadnicích). Přitom je však třeba měřit snímkové souřadnice od hlavního bodu  $H'$ . Pokud tedy není  $H' = M'$ , je nutno zavádět opravy o posun počátku souřadnicové soustavy ( $H'$  má souřadnice  $x'_0, y'_0$  nebo  $dx', dy'$ , případně  $x'_0, z'_0$  nebo  $dx', dz'$ ). Osa  $x'$  je položena mezi rámové značky ve směru ke středům sousedních snímků, osa  $y'$  (případně  $z'$ ) leží kolmo na osu  $x'$  v rovině snímku v matematickém smyslu; systém bývá z matematických důvodů doplněn o osu  $z'$  (případně  $y'$ ) s kladnou orientací vpřed do předmětového prostoru (platí:  $z' = -f$ , případně  $y' = -f$ ) [4].

Výsledný tvar snímkových souřadnic pro obecný bod pak bude:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ -f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_p' - x_0' + \Delta x' \\ y_p' - y_0' + \Delta y' \\ -f \end{bmatrix}, \quad (1)$$

kde  $x_0', y_0'$  jsou souřadnice hlavního snímkového bodu a  $\Delta x', \Delta y'$  jsou opravy o distorzi objektivu [4].

## 2.4 Pomocné souřadnicové systémy

### 2.4.1 Soustava fiktivního snímku

Souřadnice se označují  $x'_f, y'_f$  a  $z'_f$  pro levý snímek, nebo  $x''_f, y''_f$  a  $z''_f$  pro pravý snímek. Je to soustava fiktivního svislého snímku, kde každému bodu odpovídá i jiná obrazová vzdálenost  $z'_f$  vzniklá z obecného snímku. Slouží jako pomocná soustava při převodu ze soustavy snímkových souřadnic do soustavy modelových souřadnic [3].

### 2.4.2 Soustava svislého snímku

Souřadnice se označují  $x'_s, y'_s$  a  $z'_s$  pro levý snímek, nebo  $x''_s, y''_s$  a  $z''_s$  pro pravý snímek. Je to soustava přesně svislého snímku, kde mají všechny body stejnou obrazovou vzdálenost rovnající se konstantě komory  $f$  (platí  $z'_s = -f$ ). Tato soustava se užívá při starším postupu převodu systémů souřadnic v letecké fotogrammetrii [3].

## 2.5 Vztahy mezi souřadnicovými soustavami

Metodu převodu snímkových souřadnic na geodetické souřadnice lze zapsat např. následujícím symbolickým zápisem:  $x', y', z' \rightarrow x'_f, y'_f, z'_f \rightarrow (x), (y), (z) \rightarrow x, y, z$ . Jedná se o postupný převod ze snímkových souřadnic, přes souřadnice fiktivního snímku a modelové souřadnice na souřadnice geodetické. Druhou možností je převést snímkové souřadnice na geodetické přímo. Symbolickým zápisem by se tento převod vyjádřil takto:  $x', y', z' \rightarrow x, y, z$  [3], [4].

### 2.5.1 Postupný převod

Jak je z výše uvedeného symbolického zápisu patrné, jedná se o zobrazení jednoho systému do druhého. Proto je nutné definovat matici zobrazení, kterou je matice rotace. Nejprve se převedou snímkové souřadnice do souřadnic fiktivních [3]:

$$\begin{pmatrix} x'_f \\ y'_f \\ z'_f \end{pmatrix} = R * \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' = -f \end{pmatrix}, \quad \text{kde} \quad R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' = -f \end{pmatrix} = R^T * \begin{pmatrix} x'_f \\ y'_f \\ z'_f \end{pmatrix}, \quad \text{matice } R \text{ je ortogonální, a proto platí } R^{-1} = R^T \text{ [3].} \quad (3)$$

Platí podobnost [3]:

$$\frac{x'_f}{z'_f} = \frac{x'_s}{z'_s} = \frac{x'_s}{-f} = \frac{x - x_0}{z - z_0}, \quad \frac{y'_f}{z'_f} = \frac{y'_s}{z'_s} = \frac{y'_s}{-f} = \frac{y - y_0}{z - z_0} \quad (4)$$

Dosazením z (1) do (2) se získá tzv. kolineární vztah [3]:

$$x'_s = -f \frac{r_{11}x' + r_{12}y' - r_{13}f}{r_{31}x' + r_{32}y' - r_{33}f}, \quad y'_s = -f \frac{r_{21}x' + r_{22}y' - r_{23}f}{r_{31}x' + r_{32}y' - r_{33}f} \quad (5)$$

Dále lze pomocí vztahů (4) vyjádřit modelové souřadnice [3]:

$$\begin{aligned} (x) &= (x_0) + [(z) - (z_0)] \frac{r_{11}(x' - x'_0) + r_{12}(y' - y'_0) - r_{13}f}{r_{31}(x' - x'_0) + r_{32}(y' - y'_0) - r_{33}f} \\ (y) &= (y_0) + [(z) - (z_0)] \frac{r_{21}(x' - x'_0) + r_{22}(y' - y'_0) - r_{23}f}{r_{31}(x' - x'_0) + r_{32}(y' - y'_0) - r_{33}f} \end{aligned} \quad (6)$$

Modelové souřadnice  $(x)$ ,  $(y)$ ,  $(z)$  se převedou do zadaného geodetického souřadnicového systému  $x$ ,  $y$ ,  $z$  opět pravouhloú prostorovou podobnostní transformací závislou na matici prostorové rotace  $R_1$ , která má obdobný tvar jako matice  $R$  ze vzorce č. (2) [7]:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = k * R_1 \begin{pmatrix} (x) \\ (y) \\ (z) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}, \quad (7)$$

kde  $k$  je měřítkový součinitel, skalár vyjadřující změnu měřítka modelu a  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  je posun modelu do geodetických souřadnic [7].

Obdobným způsobem jako modelové souřadnice se dají inverzně vyjádřit snímkové souřadnice. Toto vyjádření je výhodnější, protože lze dle potřeby přiřadit opravy snímkovým souřadnicím a vztah linearizovat [3]:

$$\begin{aligned}
x' &= x'_0 - f \frac{r_{11}[(x) - (x_0)] + r_{21}[(y) - (y_0)] + r_{31}[(z) - (z_0)]}{r_{13}[(x) - (x_0)] + r_{23}[(y) - (y_0)] + r_{33}[(z) - (z_0)]} \\
y' &= y'_0 - f \frac{r_{12}[(x) - (x_0)] + r_{22}[(y) - (y_0)] + r_{32}[(z) - (z_0)]}{r_{13}[(x) - (x_0)] + r_{23}[(y) - (y_0)] + r_{33}[(z) - (z_0)]}
\end{aligned} \tag{8}$$

### 2.5.2 Přímý vztah mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi

Tohoto vztahu se užívá v moderní fotogrammetrii. Systém modelových souřadnic je v kolineárním vztahu se systémem snímkových souřadnic. Kolineární vztah je definován takto [4]:

$$\frac{x' - x'_0}{-f} = \frac{(x) - (x_0)}{(z) - (z_0)}, \quad \frac{y' - y'_0}{-f} = \frac{(y) - (y_0)}{(z) - (z_0)} \tag{9}$$

Systém modelových souřadnic je pak možno převést rotacemi kolem tří os na systém geodetický [4]:

$$\begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{pmatrix} = R * \begin{pmatrix} (x) - (x_0) \\ (y) - (y_0) \\ (z) - (z_0) \end{pmatrix}, \quad \text{kde} \quad R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \tag{10}$$

$$\begin{pmatrix} (x) - (x_0) \\ (y) - (y_0) \\ (z) - (z_0) \end{pmatrix} = R^T * \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{pmatrix} \tag{11}$$

Dosazením (10) do (9) lze tedy získat přímý vztah mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi [4]:

$$\begin{aligned}
x' &= x'_0 - f \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{21}(y - y_0) + r_{31}(z - z_0)}{r_{13}(x - x_0) + r_{23}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)} \\
y' &= y'_0 - f \frac{r_{12}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{32}(z - z_0)}{r_{13}(x - x_0) + r_{23}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)}
\end{aligned} \tag{12}$$

K uvedeným vztahům lze dojít i jinou úvahou: snímkové souřadnice se pootočí, měřítkově upraví a posunou (rotace, úprava měřítka, translace). Tím se získají požadované geodetické souřadnice [4]:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + m * R * \begin{bmatrix} x' - x'_0 \\ y' - y'_0 \\ -f \end{bmatrix}, \tag{13}$$

kde  $R$  je matice rotace,  $m$  je měřítkové číslo a  $\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$  představuje posun od počátku geodetické soustavy do polohy vstupní pupily [4].

Dále pak [4]:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + m * (r_{11} * (x' - x'_0) + r_{12} * (y' - y'_0) - r_{13} * f) \\ y &= y_0 + m * (r_{21} * (x' - x'_0) + r_{22} * (y' - y'_0) - r_{23} * f) \\ z &= z_0 + m * (r_{31} * (x' - x'_0) + r_{32} * (y' - y'_0) - r_{33} * f) \end{aligned} \quad (14)$$

Nyní se z třetí rovnice v (14) vyjádří měřítko  $m$  a dosadí se do rovnice první a druhé [4]:

$$m = \frac{z - z_0}{r_{31} * (x' - x'_0) + r_{32} * (y' - y'_0) - r_{33} * f} \quad (15)$$

Po dosazení je pak dle [4]:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + (z - z_0) * \frac{r_{11} * (x' - x'_0) + r_{12} * (y' - y'_0) - r_{13} * f}{r_{31} * (x' - x'_0) + r_{32} * (y' - y'_0) - r_{33} * f} \\ y &= y_0 + (z - z_0) * \frac{r_{21} * (x' - x'_0) + r_{22} * (y' - y'_0) - r_{23} * f}{r_{31} * (x' - x'_0) + r_{32} * (y' - y'_0) - r_{33} * f} \end{aligned} \quad (16)$$

Po inverzi vztahu (16) se získá rovnice (12), kterou lze využít při odvození dalších vztahů [4].

### 3 Vliv prvků vnější orientace na snímkové souřadnice

Rozbor vlivu prvků vnější orientace na snímkové souřadnice bude rozdělen do 2 kroků, a to z důvodu lepšího porozumění této problematice. Nejprve bude popsáno působení translačních prvků vnější orientace, poté bude popsán vliv úhlových prvků vnější orientace, tedy vliv rotací, na snímkové souřadnice. Odvození bude provedeno pro případ leteckého snímku a použitou souřadnicovou soustavou bude modelový souřadnicový systém [7].

#### 3.1 Působení translačních prvků vnější orientace na snímkové souřadnice

Je třeba brát v úvahu vliv změny souřadnice ( $x$ ), ( $y$ ) i ( $z$ ). V tomto případě jde o snadno odvoditelné lineární změny, jelikož systém referenční (fiktivní, modelový nebo geodetický) i systém snímkových souřadnic budou svislé a souhlasně orientované. I zde budou vlivy jednotlivých souřadnic popsány pro větší názornost postupně [3], [7].

##### 3.1.1 Vliv změny souřadnice ( $x$ )

Je třeba předpokládat snímek svislý, který je pořízen z výšky letu odpovídající souřadnici ( $z$ ). Poté mezi snímkem a rovinným modelem platí podobnost [7]:

$$(x) = x' * \frac{h}{f}, \text{ po diferencování tedy } \Delta x' = \frac{f}{h} * (\Delta x), \text{ přičemž } \Delta y' = \theta, \quad (17)$$

kde  $h$  je relativní výška letu a poměr  $f/h$  vyjadřuje měřítko snímku. Po zavedení změn souřadnic  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  v měřítku snímku a jejich označení jako změny složky stereofotogrammetrické základny  $dbx'$ ,  $dbx'$ ,  $dbz'$ , vyjádřených v měřítku snímku, bude platit [7]:

$$\Delta x' = dbx' \text{ a } \Delta y' = \theta \quad (18)$$

##### 3.1.2 Vliv změny souřadnice ( $y$ )

Vliv změny souřadnice ( $y$ ) je podobný vlivu změny souřadnice ( $x$ ), tudíž platí [7]:

$$\Delta x' = \theta \text{ a } \Delta y' = \frac{f}{h} * \Delta y = dby' \quad (19)$$

##### 3.1.3 Vliv změny souřadnice ( $z$ )

Vliv změny souřadnice ( $z$ ) se projeví v obou souřadnicích ( $x$ ) a ( $y$ ) a po diferencování základní rovnice (17) podle ( $z$ ) bude [7]:

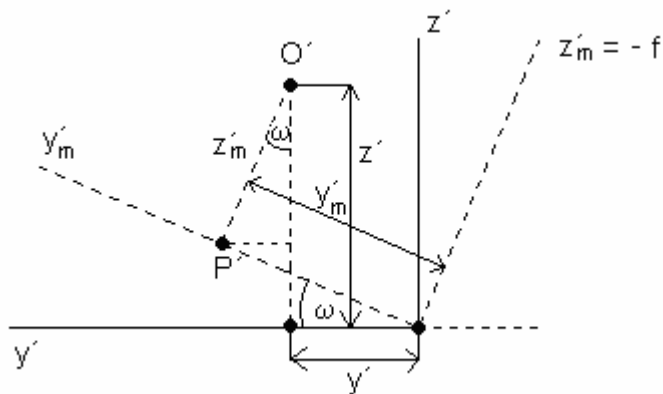
$$\Delta x' = \frac{x'}{z} * (\Delta z) = \frac{x'}{f} * dbz' \quad \text{a} \quad \Delta y' = \frac{y'}{z} * (\Delta z) = \frac{y'}{f} * dbz' \quad (20)$$

#### 3.2 Vliv rotací na snímkové souřadnice

V tomto případě je třeba brát v potaz vliv příčného úhlu sklonu  $\omega$ , vliv podélného sklonu  $\varphi$  a vliv pootočení snímku ve vlastní rovině  $\kappa$  [7].

##### 3.2.1 Vliv příčného úhlu sklonu $\omega$

Předpokladem je rotace snímkových souřadnic  $x'_m$ ,  $y'_m$  a  $-f=z'_m$  do ideálního snímku  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ , jehož osa  $z'$  je přesně svislá. Dle obrázku 7 lze psát [7]:



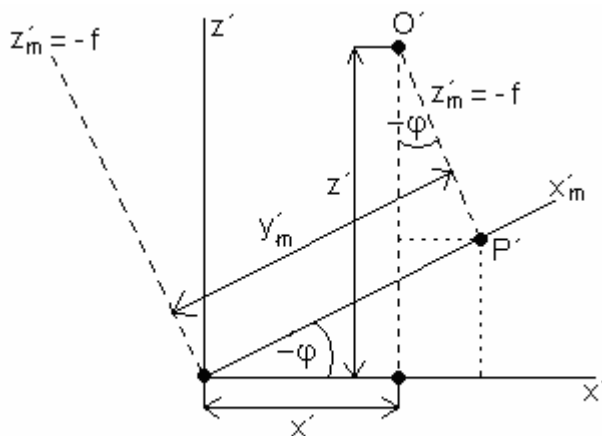
Obr. 7 Vliv příčného sklonu  $\omega$  [7]

$$\begin{aligned}
 x' &= x'_m \\
 y' &= y'_m \cos \omega - z'_m \sin \omega \\
 z' &= z'_m \cos \omega + y'_m \sin \omega
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

Matice rotace vypadá takto [7]:  $T_\omega = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix}$  (22)

### 3.2.2 Vliv podélného sklonu $\varphi$

Vztahy pro vliv podélného sklonu  $\varphi$  budou odvozeny z obrázku 8 [7]:



Obr. 8 Vliv podélného sklonu  $\varphi$  [7]

$$\begin{aligned}
 x' &= x'_m \cos \varphi + z'_m \sin \varphi \\
 y' &= y'_m \\
 z' &= z'_m \cos \varphi - x'_m \sin \varphi
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

$$\text{Matice rotace vypadá takto [7]: } T_{\varphi} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (24)$$

### 3.2.3 Vliv pootočení snímku ve vlastní rovině $\kappa$

Z grafického zobrazení podobného výše uvedenému obr. 8 lze odvodit [7]:

$$\begin{aligned} x' &= x'_m \cos \kappa - y'_m \sin \kappa \\ y' &= x'_m \sin \kappa + y'_m \cos \kappa \\ z' &= z'_m \end{aligned} \quad (25)$$

$$\text{Matice rotace vypadá v tomto případě takto [7]: } T_{\kappa} = \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (26)$$

Pro získání souhrnného vlivu všech tří rotací je třeba matice  $T_{\omega}$ ,  $T_{\varphi}$  a  $T_{\kappa}$  vynásobit [7]:

$$T = T_{\omega} * T_{\varphi} * T_{\kappa} \quad (27)$$

Celková matice  $T$  tedy po dosazení a vynásobení bude vypadat takto [7]:

$$T = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & -\cos \varphi \sin \kappa & \sin \varphi \\ \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa & -\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa & -\sin \omega \cos \varphi \\ -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa & \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa & \cos \omega \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (28)$$

Matice  $T$  je ortogonální a ortonormální. Jednotlivé členy matice  $T$  lze pro zjednodušení zapsat takto [7]:

$$T = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \quad (29)$$

Ze vztahu (28) lze řešit [7]:

$$\begin{aligned} x' &= x'_m * a_1 + y'_m * a_2 + z'_m * a_3 \\ y' &= x'_m * b_1 + y'_m * b_2 + z'_m * b_3 \\ z' &= x'_m * c_1 + y'_m * c_2 + z'_m * c_3 \end{aligned} \quad (30)$$

Nebo také [7]:

$$\begin{aligned} x'_m &= x' * a_1 + y' * b_1 + z' * c_1 \\ y'_m &= x' * a_2 + y' * b_2 + z' * c_2 \\ z'_m &= x' * a_3 + y' * b_3 + z' * c_3 \end{aligned} \quad (31)$$

Koeficienty uvedené v rovnicích (30) a (31) vyplývají z následující tabulky 2 . V ní jsou také uvedeny členy vzniklé rozvojem funkcí (první a druhý řád) [7]:

Tabulka 2

Prvek		1. řád	2. řád
a1	$\cos\varphi \cos\kappa$	1	$1 - d\varphi^2/2 - d(\kappa^2)/2$
a2	$-\cos\varphi \sin\kappa$	$-d\kappa$	$-d\kappa$
a3	$\sin\varphi$	$d\varphi$	$d\varphi$
b1	$\sin\omega \sin\varphi \cos\kappa + \cos\omega \sin\kappa$	$d\kappa$	$d\varphi d\omega + d\kappa$
b2	$-\sin\omega \sin\varphi \sin\kappa + \cos\omega \cos\kappa$	1	$1 - d\omega^2/2 - d\kappa^2/2$
b3	$-\sin\omega \cos\varphi$	$-d\omega$	$-d\omega$
c1	$-\cos\omega \sin\varphi \cos\kappa + \sin\omega \sin\kappa$	$-d\varphi$	$-d\varphi + d\omega d\kappa$
c2	$\cos\omega \sin\varphi \sin\kappa + \sin\omega \cos\kappa$	$d\omega$	$d\varphi d\kappa + d\omega$
c3	$\cos\omega \cos\varphi$	1	$1 - d\omega^2/2 - d\varphi^2/2$
$\text{tg}\omega = b_3/c_3$ , $\text{tg}\kappa = -a_2/a_1$ , $\sin\varphi = a_3$			$T = \begin{pmatrix} 1 & -d\kappa & d\varphi \\ d\kappa & 1 & -d\omega \\ -d\varphi & d\omega & 1 \end{pmatrix}$

Pro určení souhrnného vlivu všech prvků vnější orientace na snímkové souřadnice je nutné nejprve si vyjádřit vztahy mezi svislým snímkem ( $x'_s, y'_s$ , každému bodu na snímku odpovídá stejná obrazová vzdálenost  $z'_s = -f$ ) a měřenými hodnotami, a také mezi svislým snímkem a modelovými souřadnicemi ( $x, y, z$ ) [7].

Vztahy mezi svislým snímkem a měřenými hodnotami [7]:

$$x'_s = -f * \frac{x'}{z'} \quad \text{a} \quad y'_s = -f * \frac{y'}{z'} \quad , \quad (32)$$

kde  $x'$  a  $y'$  jsou souřadnice fiktivního svislého snímku a  $z'$  je obrazová vzdálenost ve snímku, která se u jednotlivých bodů liší. Po dosazení za  $x', y', z'$  ze vztahu (30) tedy vyplývá [7]:

$$x'_s = -f * \frac{a_1 * x'_m + a_2 * y'_m - a_3 * f}{c_1 * x'_m + c_2 * y'_m - c_3 * f} \quad \text{a} \quad y'_s = -f * \frac{b_1 * x'_m + b_2 * y'_m - b_3 * f}{c_1 * x'_m + c_2 * y'_m - c_3 * f} \quad (33)$$

Mezi modelovými souřadnicemi platí [7]:

$$(x) = (z) * \frac{x'}{z'} = (z) * \frac{x'_s}{z'_s = -f} \quad \text{a} \quad (y) = (z) * \frac{y'}{z'} = (z) * \frac{y'_s}{z'_s = -f} \quad (34)$$

Pro určení změn snímkových souřadnic při převodu snímku do přesně svislé polohy v soustavě  $x'_s, y'_s, -f$  se vychází z rovnic [7]:

$$x'_s = -f * \frac{x'_m - y'_m * d\kappa - f * d\varphi}{-x'_m * d\varphi + y'_m * d\omega - f} \quad \text{a} \quad y'_s = -f * \frac{x'_m * d\kappa + y'_m * f * d\omega}{-x'_m * d\varphi + y'_m * d\omega - f} \quad , \quad (35)$$



kde jsou dosazeny členy z matice  $T$  (uvedené v tabulce 2), po rozvoji s uvážením členů velikosti prvního řádu.

Postupně lze získat [7]:

$$\begin{aligned}
 x'_s &= (x'_m - y'_m * d\kappa - f * d\varphi) * \left[ 1 - \left( \frac{y'_m}{f} * d\omega - \frac{x'_m}{f} * d\varphi \right) \right]^{-1} = \\
 &= x'_m - y'_m * d\kappa - f * d\varphi + \frac{x'_m * y'_m}{f} * d\omega - \frac{x'^2_m}{f} * d\varphi - \frac{y'^2_m}{f} * d\kappa * d\omega + \\
 &+ \frac{x'_m * y'_m}{f} * d\kappa * d\varphi - y'_m * d\omega * d\varphi + x'_m * d\varphi^2 \dots \text{členy 2.řádu}
 \end{aligned} \tag{36}$$

$$\begin{aligned}
 y'_s &= (x'_m * d\kappa + y'_m + f * d\omega) * \left[ 1 - \left( \frac{y'_m}{f} * d\omega - \frac{x'_m}{f} * d\varphi \right) \right]^{-1} = \\
 &x'_m * d\kappa + y'_m + f * d\omega + \frac{y'^2_m}{f} * d\omega - \frac{x'_m * y'_m}{f} * d\varphi + \frac{x'_m * y'_m}{f} * d\kappa * d\omega - \\
 &- \frac{x'^2_m}{f} * d\kappa * d\varphi + y'_m * d\omega^2 - x'_m * d\omega * d\varphi \dots \text{členy 2.řádu}
 \end{aligned} \tag{37}$$

Po uvážení členů pouze prvního řádu lze vytvořit [7]:

$$\Delta x' = x'_s - x'_m = -y'_m * d\kappa + \frac{x'_m * y'_m}{f} * d\omega - \left( f + \frac{x'^2_m}{f} \right) * d\varphi \tag{38}$$

$$\Delta y' = y'_s - y'_m = x'_m * d\kappa + \left( f + \frac{y'^2_m}{f} \right) * d\omega - \frac{x'_m * y'_m}{f} * d\varphi \tag{39}$$

Doplněním vlivu translačních změn, uvedených výše, do rovnic (38) a (39) vzniknou tzv. fotogrammetrické řady [7]:

$$\Delta x' = x'_s - x'_m = db_x + \frac{x'_m}{f} * db_z - y'_m * d\kappa + \frac{x'_m * y'_m}{f} * d\omega - \left( f + \frac{x'^2_m}{f} \right) * d\varphi \tag{40}$$

$$\Delta y' = y'_s - y'_m = db_y + \frac{y'_m}{f} * db_z + x'_m * d\kappa + \left( f + \frac{y'^2_m}{f} \right) * d\omega - \frac{x'_m * y'_m}{f} * d\varphi \tag{41}$$

Vztahy (40) a (41) lze použít při úhlech sklonů do  $2^\circ$  až  $3^\circ$ , tzn. pro rozbor přesnosti u svislých leteckých snímků. Fotogrammetrické řady patří k teoretickým základům fotogrammetrie. Přesná definice zní takto: Fotogrammetrické řady jsou výrazy, které s jistým stupněm přesnosti, který dává linearizace úplného vztahu, vyjadřují vliv prvků vnější orientace na snímkové souřadnice [3], [7].

Fotogrammetrické řady vyjadřují změny měřených snímkových souřadnic  $x'_m$  a  $y'_m$  při jejich otočení do přesně svislé polohy  $x'_s$  a  $y'_s$ . Podle těchto řad lze opravovat měřené snímkové souřadnice o vliv diferenciálně malých změn prvků vnější orientace při přesném měření na snímcích [6].

## 4 Určení prvků vnější orientace pomocí vlíčovacích bodů

Vlíčovací body jsou v terénu a na měřických snímcích jednoznačně identifikovatelné body, které jsou dosud ve fotogrametrii nezbytné pro určení prvků vnější orientace. Jsou tedy nutnou součástí měřického projektu v letecké i pozemní fotogrametrii. Používají se nejen pro určení prvků vnější orientace, ale i pro transformaci do geodetického systému nebo pro určení měřítka. Také je lze využít jako kontrolní body pro prověření správnosti provedení fotografických a měřických prací v území, pro správnost vyhodnocení měřických snímků v laboratoři a správný justážní stav použitých přístrojů. Vlícovací body musí mít známé geodetické souřadnice. Ty se zpravidla určují geodetickým měřením, ale je možné určit je také pomocí aerotriangulace. Výšky se určují trigonometricky nebo nivelací [2], [3], [6].

Je žádoucí, aby vlícovací body byly zřetelně identifikovatelné na měřických snímcích. Z tohoto důvodu je často nutné provést signalizaci těchto bodů v terénu. Vlícovací body v terénu mohou být i přirozeně signalizované (například rohy domů, trojmezí, vidlice cest, osamělý keřík). Nevýrazné body se musí signalizovat uměle. Tato signalizace se provádí na dočasně stabilizovaných bodech, nebo se využívají trvale stabilizované body trigonometrické a zhušťovací v případě, že se v daném území vyskytují. K signalizaci se používají čtvercové terče zvýrazněné 2 – 4 rameny ve tvaru kříže nebo obdobné nátěry na komunikacích. Barva signálů musí být dostatečně kontrastní vzhledem k okolí. Signály se vyrábějí z různých materiálů, například z pěnového polystyrenu nebo z lepenky či plechu. Důležité je, aby byl daný signál odolný vůči špatnému počasí a aby jej nezastínila rostoucí vegetace. Velikost signálu se určuje v závislosti na měřítkovém čísle snímku  $m=h/f$  a na průměru měřické značky  $d$  vyhodnocovacího přístroje. Obraz signálu na snímku by měl být nepatrně větší než průměr měřické značky. U vyhodnocovacích strojů jsou často používány kruhové měřické značky o průměru 0,04 mm až 0,06 mm. Pak by velikost signálu v terénu měla být rovna nejméně hodnotě:  $s=d*h/f$  [2], [3], [6].

Při rozmisťování vlíčovacích bodů je třeba uvážit, pro jakou metodu a s jakým požadavkem na přesnost se počítá. Vždy se zaměřuje nadbytečný počet vlíčovacích bodů. Je to z důvodu kontroly a vyrovnání. Je totiž možné, že některé vlícovací body budou vykazovat větší odchylky nebo nebudou vhodné, i přes snahu jejich nejlepšího umístění. Při dostatečném počtu dalších kvalitních vlíčovacích bodů lze pak tyto nevhodné body vypustit. Při mapování v členitém území je vhodné rozmisťovat vlícovací body tak, aby ohraničily zájmový prostor stereofotogrammetrické dvojice snímků, a to v rovině vertikální i horizontální. Také je vhodné je umístit do překrytových částí se sousedními snímky. Tím se zmenší celkový počet potřebných vlíčovacích bodů, i počet potřebných geodetických zaměření těchto bodů, i když v dnešní době elektronických totálních stanic a aparatur GPS není zaměření většího počtu vlíčovacích bodů nijak obtížné a pracné [3].

Pro stereofotogrammetrické zpracování leteckých snímků se využívají zpravidla 4 vlícovací body. Ty jsou umístěny v rozích modelu. Často se určuje ještě další bod přibližně uprostřed fotogrammetrické základny. Z důvodu kontroly vyhodnocovacích prací se požaduje, aby tyto body byly určeny až dvakrát přesněji (tj. o 1 třídu přesnosti vyšší) než je požadavek na přesnost pořizované mapy [6], [7].

V současné době se všechny vlícovací body určují geodetickým měřením pouze v lokalitách, které jsou pokryty jednou řadou leteckých snímků (např. pás podél projektované či hotové dálnice, rekonstruované železniční trati nebo podél vodního toku). V ostatních případech, kdy mapované území blok (více řad) leteckých snímků se zpravidla využije analytická aerotriangulace (viz 4.2).

V letecké fotogrametrii je pro vyhodnocení stereodvojice třeba v ideálním případě, kdy prvky vnitřní orientace jsou konstantní, 12 neznámých prvků vnější orientace (6 pro každý snímek). V analogové fotogrametrii se 5 neznámých prvků vnější orientace určuje tzv. relativní orientací, kde ještě není potřeba vlíčovacích bodů. V tomto případě postačí tzv. orientační dobře identifikovatelné body. Dalších 7 prvků vnější orientace se určí při tzv. absolutní orientaci, která se již opírá o vlíčovací body. Teoreticky postačí na 7 neznámých 2,5 vlíčovacího bodu, avšak v praxi se běžně užívá 4 nebo 5 bodů. V analytické a digitální fotogrametrii se běžně užívá vlíčovacích bodů více, které se vesměs určují pomocí analytické aerotriangulace. Vzhledem k použité počítačové technologii zde totiž nejsou žádné výpočetní problémy [4].

Tzv. stereodvojice je dvojice měřických snímků specifických vlastností. V případě, že je na každém jednotlivém měřickém snímku této dvojice zobrazen identický bod, v prostoru podélného překrytu těchto snímků, který je alespoň 60%procentní, vyvolá binokulární pozorování této dvojice snímků tzv. stereoskopický vjem. Ten umožňuje člověku vnímat a určovat relativní vzdálenost předmětů. Základem stereoskopického vjemu je správná a současná akomodace a konvergence očí. Zdravý člověk je obdařen přirozeným stereoskopickým viděním, které je založeno na současném pozorování předmětu oběma očima, přičemž mezi nimi je jistá horizontální vzdálenost (tzv. oční základna). Ve fotogrametrii se však užívá stereoskopického vjemu umělého. K tomu jsou zapotřebí speciální pomůcky, jako například stereoskop, anaglyfické brýle, polarizační brýle nebo brýle s tekutými krystaly. Přirozené stereoskopické pozorování okolní reality očima se tak nahradí pozorováním speciálně provedených fotografických snímků stejného objektu. Tím se získá stejný stereoskopický vjem jako při pozorování skutečného objektu s plasticitou tolikrát větší, kolikrát delší je skutečná základna fotografování vzhledem k oční základně [2].

#### **4.1 Relativní a absolutní orientace stereoskopické dvojice leteckých snímků**

Pro stereofotogrammetrické vyhodnocení měřických snímků je nutno znát prvky jejich vnitřní i vnější orientace, přičemž vnější orientace se provádí buď přímou lineární transformací na základě komplexního vyrovnání paprskových svazků, nebo postupem po krocích. Tyto kroky jsou označovány jako relativní orientace a absolutní orientace. Relativní orientace představuje vzájemnou prostorovou orientaci obou snímků stereodvojice, jakou měly v okamžiku fotografování, a utvoření v přibližném měřítku libovolně prostorově orientovaného virtuálního stereomodelu. Absolutní orientace pak představuje zpřesnění měřítka modelu, jeho pootočení a posun do souřadnicového referenčního systému [4]. Orientaci snímků lze podle [2] provádět následujícími způsoby: empiricky (analogově), početně a analyticky.

##### **4.1.1 Empirické řešení**

Analogové řešení je nejstarší způsob realizace relativní a absolutní orientace stereodvojice na analogových přístrojích. Je dnes sice již zastaralé, přesto však názorné. Pro provedení není třeba výpočetní techniky. Pokud je ještě toto řešení využíváno v dnešní době, bývá výpočetní technikou podporováno. Při aplikaci empirického řešení se relativní orientace provádí postupným ručním odstraňováním vertikálních paralax na orientačních bodech a přímým zaváděním empirických oprav pomocí ovládacích koleček na analogových přístrojích. Absolutní orientace se provádí na připojeném (spřaženém) kreslicím stole pootočením grafického vlíčovacího podkladu s vlíčovacími body a upřesněním měřítka. Při analogovém vyhodnocování je třeba postupovat podle [4] v následujících krocích:

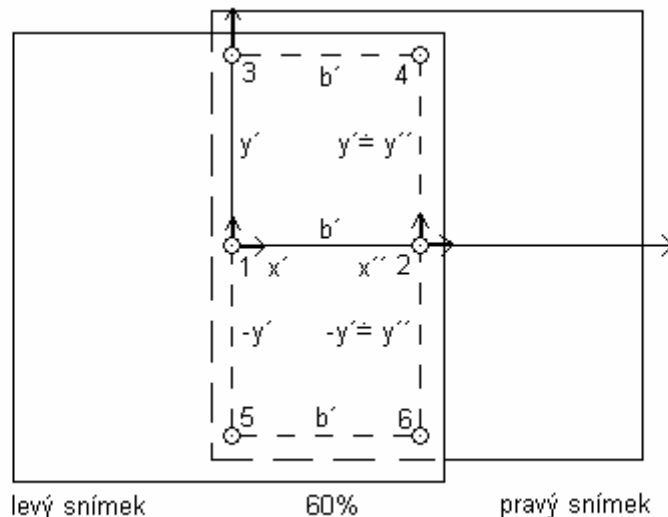
- vložení snímkové stereodvojice do snímkových nosičů vyhodnocovacího přístroje a obnovení prvků vnitřní orientace (nastavením konstanty komory a dostředěním rámových značek na rysky podložního skla),
- snímky zatím zaujímají obecnou prostorovou polohu a identický bod na levém a pravém snímku vykazuje při současném stereoskopickém pozorování horizontální i vertikální paralaxu,
- provedení relativní orientace, vedoucí k vytvoření stereoskopického modelu bez vertikálních paralax,
- provedení absolutní orientace modelu pomocí vlícovacích bodů a grafického podkladu na kreslicím stole,
- vlastní vyhodnocení polohopisu (bodově nebo čárově) a výškopisu (kótami nebo přímou kresbou vrstevnic).

Relativní orientaci lze řešit pomocí tzv. Gruberova postupu. Autor popsal postup podle obr. 9 v následujících krocích [2] :

- 1) na bodě č. 2 v blízkosti hlavního bodu pravého snímku odstranit vertikální paralaxu přibližně pootočením levého snímku o  $dk'$ ,
- 2) na bodě č. 1 v blízkosti hlavního bodu levého snímku odstranit vertikální paralaxu pootočením pravého snímku o  $dk''$ ,
- 3) na bodě č. 4 odstranit vertikální paralaxu změnou podélného sklonu levého snímku o  $d\varphi'$ . Současně korigovat změnu promítací vzdálenosti pomocí složky základny  $b_x'$ ,
- 4) na bodě č. 3 odstranit vertikální paralaxu změnou podélného sklonu pravého snímku o  $d\varphi''$ . Současně korigovat změnu promítací vzdálenosti pomocí složky základny  $b_x''$ ,
- 5) na bodě č. 5 nebo 6 odstranit vertikální paralaxu příčného sklonu pravého snímku o  $d\omega''$  nebo změnou příčného sklonu levého snímku o  $d\omega'$ . Změna příčného sklonu však způsobí změnu vertikálních paralax na všech předcházejících bodech. Proces relativní empirické orientace probíhá iterativně, a proto je třeba provést při odstraňování vertikální paralaxy na bodě 5 nebo 6 změnou příčného sklonu a překorekcí, tzn. odstranit vertikální paralaxu a zavést novou vertikální paralaxu, která bude  $k$  – krát větší a v obráceném smyslu, než původní. Bezprostředně po jejím vytvoření je třeba ji eliminovat změnou  $dk'$  nebo  $db_y'$ .

$$k = 0.5 * \left( 1 + \frac{f^2}{y^2} \right) \dots \text{koeficient překorekce podle [2],} \quad (42)$$

který je možno odvodit či určit pokusně. Tento empirický postup je třeba iterativně několikrát opakovat, než se vertikální paralaxa zcela odstraní v celém rozsahu modelu. Body 1 až 6 se nazývají body orientační. Jsou dobře identifikovatelné na obou snímcích a nemusí mít známé geodetické souřadnice [2].



Obr. 9 Gruberovo schéma orientačních bodů [2]

Teprve vyřešením absolutní orientace lze získat absolutní hodnoty rotací a prostorové složky stereoskopické základny. Nejprve se zhotoví vlíčovací podklad a zobrazí se na něj všechny vlíčovací body v měřítku pořizované mapy. Dále se postupuje v následujících krocích [2], [4]:

- 1) Vlíčovací podklad se vloží na kreslicí stůl, do tuhovníku se vloží nastavovací mikroskop se zaměřovacím mezikružím a pod něj se nastaví levý horní vlíčovací bod. Tím byla analogově provedena translace  $(x_0, y_0)$ .
- 2) Poté se v pozorovaném modelu a tedy i spřaženým mikroskopem přejede na pravý dolní vlíčovací bod a pootočí grafický podklad okolo obrazu levého horního vlíčovacího bodu. Tím se zjistí pootočení  $K$ . Měřítka modelu se opraví pomocí opravy  $db_x$ .
- 3) Posun ve směru osy  $Z_0$  se provede ztotožněním měřické značky s levým horním vlíčovacím bodem. Poté je třeba nastavit na počítadle výšku jeho správnou geodetickou výšku. Tím se získá translace  $Z_0$ .
- 4) Horizontace modelu se provede na základě rozdílů mezi geodetickými výškami a výškami měřenými v modelu na ostatních vlíčovacích bodech, které jsou ve stereodvojici k dispozici. Z nich se vypočtou opravy složek základny  $b$  a potřebné náklony modelu  $\varphi$  a  $\omega$ .

#### 4.1.2 Početní řešení

Početní určení relativní i absolutní orientace využívá výpočetní techniku. Při relativní orientaci se vždy vychází z matematické podmínky, kterou je podmínka komplanarity, kdy odpovídající si homologické paprsky ve stereoskopické dvojici musí ležet v jedné rovině s fotogrammetrickou základnou. Další podmínkou je dosažení nulových vertikálních paralax. Občas po orientaci zůstávají na jednotlivých bodech malé zbytkové vertikální paralaxy. Ty jsou přípustné pouze v případě, že nejsou větší než měřická značka [2], [4].

Při odvození podmínky nulových vertikálních paralax se vychází z transformačního vztahu obecně skloněného snímku na svislý snímek [4]:

$$x'_s = -f * \frac{r_{11} * x' + r_{12} * y' - r_{13} * f}{r_{31} * x' + r_{32} * y' - r_{33} * f}, \quad y'_s = -f * \frac{r_{21} * x' + r_{22} * y' - r_{23} * f}{r_{31} * x' + r_{32} * y' - r_{33} * f} \quad (43)$$

Pro malé úhly a po zavedení diferenciálně malých oprav složek základny lze tyto dvě rovnice zapsat pomocí fotogrammetrických řad do tvaru [4]:

$$\begin{aligned}\Delta x' &= x'_s - x' = -y' * d\kappa' - \left( f + \frac{x'^2}{f} \right) * d\varphi' + \frac{x' * y'}{f} * d\omega' + db'_x + \frac{x'}{f} * db'_z \\ \Delta y' &= y'_s - y' = x' * d\kappa' - \frac{x' * y'}{f} * d\varphi' + \left( f + \frac{y'^2}{f} \right) * d\omega' + db'_y + \frac{y'}{f} * db'_z\end{aligned}\quad (44)$$

Dále lze vzhledem k podmínce nulových vertikálních paralax sestavit rovnici, která platí pro diferenciálně malé hodnoty prvků vnější orientace [4]:

$$\begin{aligned}y'_s - y''_s &= y' + \Delta y' - y'' - \Delta y'' \\ 0 &= q + \Delta y' - \Delta y''\end{aligned}\quad (45)$$

Dosazením do (44) lze získat podmínkovou rovnici [4]:

$$\begin{aligned}0 &= q + x' * d\kappa' - \frac{x' * y'}{f} * d\varphi' + \left( f + \frac{y'^2}{f} \right) * d\omega' + db'_y + \frac{y'}{f} * db'_z - x'' * d\kappa'' + \frac{x'' * y''}{f} * d\varphi'' - \\ &- \left( f + \frac{y''^2}{f} \right) * d\omega'' - db''_y - \frac{y''}{f} * db''_z\end{aligned}\quad (46)$$

V rovnici (46) lze libovolně volit pro relativní orientaci 5 neznámých. Podle toho, které neznámé budou určovány, lze rozlišit dva případy. Prvním z nich je relativní orientace nezávislé dvojice, kdy lze měnit vzájemnou orientaci obou snímků. Toho se využívá při vyhodnocování první stereodvojice v celé řadě. Určované neznámé jsou zde  $d\kappa'$ ,  $d\varphi'$ ,  $d\kappa''$ ,  $d\varphi''$ ,  $\Delta\omega = d\omega' - d\omega''$ . Když platí  $y' \approx y''$ , lze psát [4]:

$$0 = q + x' * d\kappa' - x'' * d\kappa'' - \frac{x' * y'}{f} * d\varphi' + \frac{x'' * y''}{f} * d\varphi'' + \left( f + \frac{y'^2}{f} \right) * \Delta\omega\quad (47)$$

Druhou možností je tzv. relativní orientace při připojení dalšího snímku, kdy se mění orientace pouze tohoto snímku. Toho se využívá při vyhodnocování řady stereodvojic, když je již první stereodvojice relativně a případně i absolutně orientována. Určované neznámé jsou  $d\kappa''$ ,  $d\varphi''$ ,  $d\omega''$ ,  $db''_y$ ,  $db''_z$  [4]. Pak platí dle [4]:

$$0 = q - x'' * d\kappa'' + \frac{x'' * y''}{f} * d\varphi'' - \left( f + \frac{y''^2}{f} \right) * d\omega'' - db''_y - \frac{y''}{f} * db''_z\quad (48)$$

Absolutní orientace se provádí vyrovnáním podle metody nejmenších čtverců. Jedná se o nejpřesnější způsob, jak získat sedm neznámých prvků absolutní orientace při libovolném počtu nadbytečných vlíčovacích bodů. Aby mohl být proveden výpočet podle zprostředkujících měření metodou nejmenších čtverců, je třeba nejprve linearizovat transformační vztah mezi modelovými a geodetickými souřadnicemi [4].

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + m * R \begin{pmatrix} (x) \\ (y) \\ (z) \end{pmatrix},\quad (49)$$

kde  $x$ ,  $y$ ,  $z$  jsou geodetické souřadnice,  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  jsou geodetické souřadnice počátku soustavy modelových souřadnic  $(x)$ ,  $(y)$ ,  $(z)$ ,  $m$  je měřítko modelu a  $R$  je matice prostorové

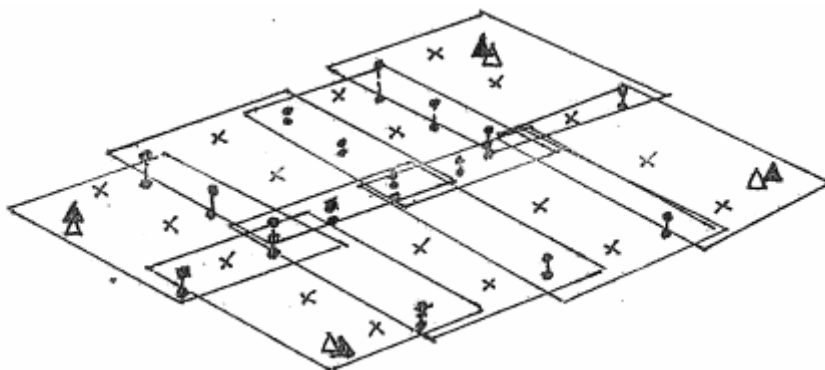
rotace systému modelových souřadnic v systému geodetických souřadnic, obsahující tři úhly  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ . Vztah (43) je prostorová podobnostní transformace s neznámými  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ ,  $m$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ . Pro řešení je potřeba alespoň sedm rovnic, do kterých se dosadí souřadnice vlíčovacích bodů [2], [4].

#### 4.1.3 Analytické řešení

Analytická řešení jsou velmi přesné postupy, které se provádějí na počítačích. Vstupními daty jsou velmi přesně měřené snímkové souřadnice. Rozlišuje se řešení etapové a řešení komplexní, které se dnes využívá nejvíce. Základem komplexního řešení, označovaného také jako Schmidovo, je jednotlivý snímek a přímý transformační vztah (8) mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi, který se linearizuje a neznámé se poté vypočtou iterační metodou. K provedení výpočtu je potřeba znát alespoň 3 vlíčovací body ve stereodvojici a přibližné hodnoty neznámých pro start iterace. Velmi časté využití analytických postupů je v případě aerotriangulace [2], [4]. V následující části je podrobněji popsán příklad blokové analytické aerotriangulace.

### 4.2 Určení prvků vnější orientace blokovou analytickou aerotriangulací

Základem analytické aerotriangulace, a tedy i blokové analytické aerotriangulace, je přímý vztah mezi měřeními souřadnicemi bodu, který je zobrazen alespoň na dvou snímcích [2]. Tato metoda umožňuje výpočet prvků vnější orientace i geodetických souřadnic dalších vlíčovacích či nových bodů vyrovnáním MNC, a to díky nadbytečným pozorováním. Bloková aerotriangulace používá jen menší počet tzv. výchozích vlíčovacích bodů (viz obr. 10), kterými jsou zpravidla signalizované trigonometrické nebo vlíčovací body v příslušné lokalitě. Výhodou metody je také možnost snížení systematických chyb, výpočet dalších neznámých jako např. prvky vnitřní orientace aj.. Blokovou analytickou aerotriangulací lze řešit etapově, kdy se postupuje po dílčích krocích, nebo komplexně, kdy orientace všech modelů probíhá současně [2], [4].



Obr. 10 Bloková analytická aerotriangulace [9]

#### 4.2.1 Blokové vyrovnání pro nezávislé modely – etapové řešení

Základem etapového řešení je model, respektive stereomodel. Mezi jednotlivé kroky tohoto řešení patří relativní orientace modelů, měřítkové připojení, absolutní orientace a na závěr blokové vyrovnání, kdy se postupně připojují jednotlivé stereomodely, které se poté převádějí do modelových či geodetických souřadnic. Vyrovnání lze provádět polohově, výškově, což jsou jednodušší formy blokového vyrovnání, nebo prostorově. V případě prostorového vyrovnání bloku se nejprve provede relativní orientace. Tím se získají modelové souřadnice nových či spojovacích bodů a souřadnice projekčních center jednotlivých modelů. Projekční centra je třeba vyrovnat. Tím se zajistí výšková stabilizace modelů v řadě. Běžně však není možné z důvodu potřeby velkého příčného překrytu

svázat tímto způsobem do triangulované sítě celý blok. Poté následuje absolutní orientace, čímž se relativně orientovaný model uvede do geodetického systému. Tento přechod je matematicky popsán vzorcem (49) [2], [4].

#### 4.2.2 Svazkové vyrovnání bloku – komplexní řešení

Pro svazkové vyrovnání bloku platí informace uvedené v podkapitole 4.1.3 Analytické postupy. Jedná se o velmi kvalitní metodu, která je dnes díky výkonné výpočetní technice velmi často využívána. Po linearizaci vztahu (8) Taylorovým rozvojem následuje vyčíslení parciálních derivací přibližnými hodnotami neznámých, které se získají například pomocí GPS. Pokračuje se iteračními postupy, vyrovnáním metodou nejmenších čtverců podle zprostředkujících a na závěr se přechází na rovnice oprav [4]. Ty jsou pro komplexní řešení definovány dle [4] takto:

$$v_{xij} = \left( \frac{\partial x'}{\partial x_{0j}} \right)^0 * dx_{0j} + \left( \frac{\partial x'}{\partial y_{0j}} \right)^0 * dy_{0j} + \left( \frac{\partial x'}{\partial z_{0j}} \right)^0 * dz_{0j} + \left( \frac{\partial x'}{\partial \omega_j} \right)^0 * d\omega_j + \left( \frac{\partial x'}{\partial \varphi_j} \right)^0 * d\varphi_j + \left( \frac{\partial x'}{\partial \kappa_j} \right)^0 * d\kappa_j + \left( \frac{\partial x'}{\partial x_i} \right)^0 * dx_i + \left( \frac{\partial x'}{\partial y_i} \right)^0 * dy_i + \left( \frac{\partial x'}{\partial z_i} \right)^0 * dz_i - (x'_{ij} - x_{ij}^0), \quad (50)$$

kde  $x'_{ij}$  je měřená snímková souřadnice a  $x_{ij}^0$  je vypočtená snímková souřadnice podle vztahu (8). Obdobný je také vztah pro  $v_{yij}$ . Doplněním do rovnice oprav  $v = A * x - l$  a formulováním podmínky  $v^T * v = \min$  se dle [4] získá řešení:

$$x = (A^T * A)^{-1} * A^T * l, \quad A^T * A = N, \quad (51)$$

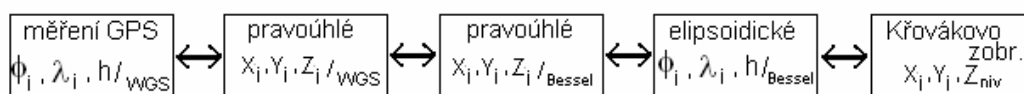
kde  $x$  jsou vyrovnané odhady hodnot neznámých a  $N$  je matice normálních rovnic. Systém normálních rovnic má strukturu [4]:

$$\begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{12} & N_{22} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix}, \quad (52)$$

kde  $x_1$  jsou neznámé prvky vnější orientace a  $x_2$  jsou neznámé souřadnice nových bodů. Matice  $N_{11}$  je hyperdiagonální se submaticemi 6x6 prvků, které odpovídají vždy 6 prvkům vnější orientace pro každý snímek. Matice  $N_{22}$  je také hyperdiagonální se submaticemi 3x3 prvků, jimiž jsou neznámé souřadnice nových bodů [4].

#### 4.3 Aerotriangulace s podporou GPS

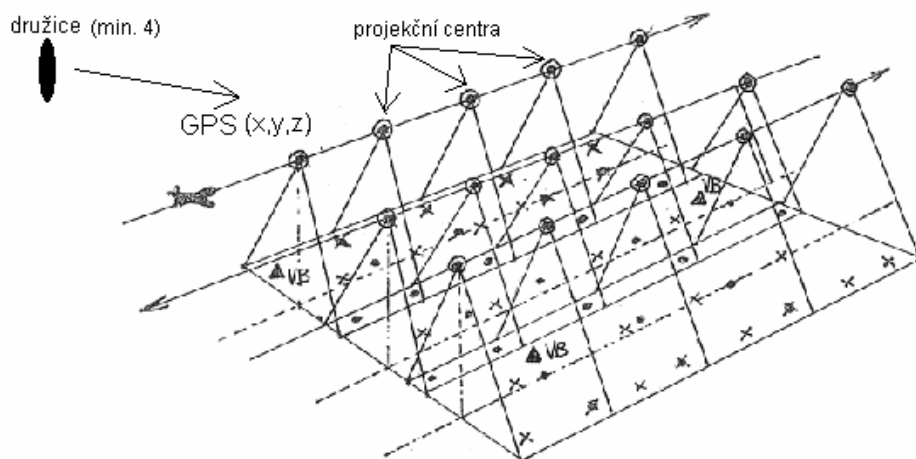
Technologii GPS, kterou se určuje prostorová poloha v místě antény přijímače, lze využít k určení souřadnic vlíčovacích bodů přímo v terénu, nebo také souřadnic středu promítání jednotlivých snímků pro účely aerotriangulace. Poloha se určí prostorovým protínáním zpět, přičemž je třeba registrovat příjem signálu alespoň ze 4 družic. Pomocí GPS se však nejprve získají souřadnice geodetické, v souřadnicovém systému WGS 84. Ty je třeba převést do používaného souřadnicového systému, v případě ČR do S-JTSK [4]. Tento převod, při kterém nelze při výpočtu nadmořských výšek zanedbat odchylky geoidu od elipsoidu, je možné schématicky znázornit podle [4] následovně:



Obr. 11 Schéma převodu geocentrických souřadnic [4]



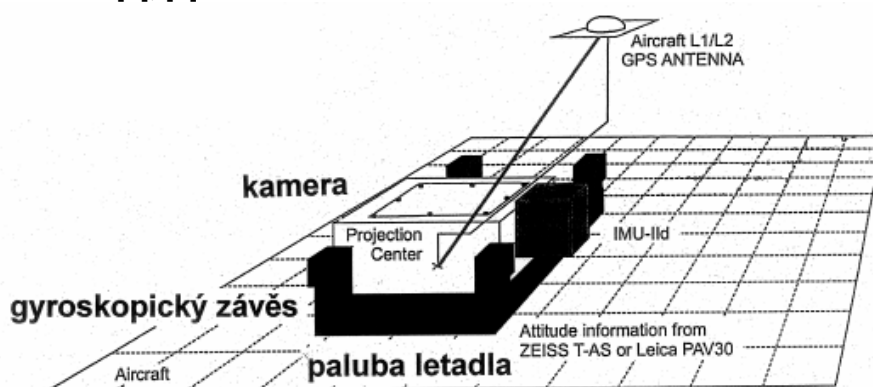
Aparatura GPS se rovněž využívá v reálném čase k navigaci fotogrammetrického letadla na dráze letu. K přesné prostorové lokalizaci letadla slouží diferenciální metoda GPS (D-GPS), kterou se též získají přibližné souřadnice projekčních center odpovídající okamžiku vyhotovení snímku. Ty poté vstupují do vyrovnání. Přesné hodnoty souřadnic se získají výpočtem v rámci analytické aerotriangulace [4]. Využití technologie GPS k určení prvků vnější orientace bude popsáno v následující kapitole.



Obr. 12 Aerotriangulace s podporou GPS [9]

## 5 Určení prvků vnější orientace během snímkového letu aparaturou GPS/IMU

Aparatura GPS/IMU je zařízení pro přesné a operativní určování polohy a orientace leteckých měřických snímků v prostoru. Zatímco aparatura GPS se začala pro potřeby fotogrammetrie využívat již v 90. letech 20. století, IMU, neboli také inerciální měřicí jednotka, se v České republice používá přibližně od roku 2003. Pomocí aparatury GPS lze získat souřadnice vstupní pupily objektivu v době expozice  $(x_0, y_0, z_0)$ . Pomocí IMU lze získat příčný sklon, podélný sklon a pootočení snímku vůči přijatému systému modelových nebo geodetických souřadnic (úhly  $\omega, \varphi, \kappa$ ). Tato technika tedy umožňuje získat všechny prvky vnější orientace již během snímkového letu. Inerciální měřicí jednotka, stejně jako přijímač GPS (anténa) jsou umístěny na palubě letadla (viz obr. 13), přičemž IMU je pevně spojena s měřickou kamerou. Kromě GPS/IMU se lze také setkat se zkratkou GPS/INS [4], [9].



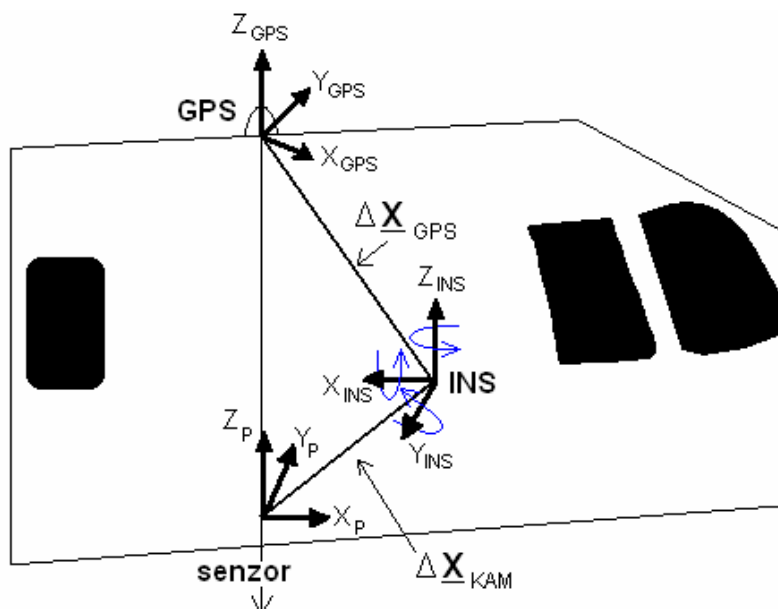
Obr. 13 Aparatura GPS/IMU [9]

### 5.1 Princip fungování aparatury GPS/IMU

Aby bylo možné zjistit prvky vnější orientace během snímkového letu aparaturou GPS/IMU, je třeba znát okamžitý vektor zrychlení. K tomu se využívá dvou fyzikálních zákonitostí – setrvačnosti těles a snahy velmi rychle rotujících těles udržet svou osu rotace ve směru zemské tíže. Oba tyto fyzikální jevy lze využít pomocí speciálních přístrojů, které se nazývají gyroskop a akcelerometr. Proto se inerciální měřicí jednotka skládá ze tří ortogonálních gyroskopů a akcelerometru, jejichž analogové výstupy jsou pomocí elektroniky přeměněny na výstupy digitální. Pomocí soustavy gyroskopů lze velmi přesně určit sklony celého systému vzhledem k tížnici, zatímco akcelerometr měří zrychlení, které je funkcí času a rychlosti. Proto lze interpolací v čase zpětně určit polohovou složku letu. Oba přístroje dokáží měřit velmi přesně, přesto se však bude vypočtená trajektorie letu od té skutečné lišit, a to v důsledku působení systematických chyb. Z tohoto důvodu je třeba měření zpřesnit, k čemuž se používá tzv. diferenciální metoda GPS, zobrazená na obr. 14. Tato metoda se používá k určení relativních prostorových vztahů a je velmi přesná. V případě, že je anténa GPS umístěna přímo nad měřickou komorou, lze vzájemné vztahy mezi měřením IMU a GPS určit poměrně snadno. Tyto systémy však mohou být umístěny na palubě letadla různě. Pak je třeba zjistit jejich excentricitu a respektovat i natáčení měřické kamery v případě, že například automaticky vyrovnává snos letadla za letu. Excentricity jednotlivých zařízení se určují při adaptaci letecké kamery [4].

Systém GPS/IMU vyžaduje velmi přesnou časovou synchronizaci. Kvalita synchronizace má velký vliv na přesnost určovaných prvků vnější orientace. Již 1 ms totiž znamená při rychlosti nosiče 70 m/s (250 km/h) polohovou chybu 7 cm a v úhlech až

0,015°, přičemž tato chyba se vyskytuje zejména na začátku a konci letové řady, kdy se letadlo otáčí. Na přesnost určených prvků vnější orientace má také vliv šum, zejména při odečítání rotačních parametrů (cca 0,002°, při relativní výšce letu 2000 m je to např. cca 7cm). Z těchto důvodů je třeba data filtrovat, k čemuž se používá například tzv. Kálmánův filtr [4], [10].



Obr. 14 Přímá metoda a diferenční GPS [4]

Následující vztah definuje převod měřených hodnot do referenčního systému [4]:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + R_{GPS} * \left( m * R_{INS} * \begin{pmatrix} x' - x'_0 \\ y' - y'_0 \\ -f \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x_{KAM} \\ \Delta y_{KAM} \\ \Delta z_{KAM} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta x_{GPS} \\ \Delta y_{GPS} \\ \Delta z_{GPS} \end{pmatrix} \right), \quad (53)$$

kde  $x, y, z$  jsou výsledné souřadnice,  $x_0, y_0, z_0$  je pozice GPS/IMU v geodetickém systému,  $R_{GPS}$  jsou rotace INS v geodetickém systému,  $R_{INS}$  jsou rotace snímkových souřadnic v INS systému,  $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{KAM}$  je posun INS – projekční centrum kamery a  $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{GPS}$  je posun INS – GPS v INS systému.

## 5.2 Ukázka postupu získání prvků vnější orientace aparaturou GPS/IMU

V tomto odstavci bude podrobněji popsán postup určení prvků vnější orientace během snímkového letu aparaturou GPS/IMU, který provedla společnost Geodis Brno jako testovací a zároveň kalibrační let dne 29. září 2002. Byly použity následující technologie a zařízení [10]:

- aparatura firmy Applanix, model POS AV 310 (počítač – PCS, a IMU)
- kamera Zeiss RMK TOP
- letoun Z – 37, Čmelák
- software na zpracování naměřených dat – Applanix POSpac verze 3.1
- permanentní GPS stanice pro výpočty D-GPS – letiště Brno Tuřany

Počítač vyhodnocuje data ze dvou navigačních sensorů (přijímače GPS a IMU) a provádí přesná měření polohy letadla, jeho rychlosti, kurzu a zrychlení. Přijímač GPS je

12tikanálový dvoufrekvenční a anténa je do PCS připojena přímo koaxiálním kabelem. V roce 2003 byla stávající aparatura ještě doplněna o funkci automatického vylučování snosu. Ofsety antény GPS a středu IMU od optického středu kamery byly určeny pomocí geodetických metod. Určení úhlových rozdílů os souřadných systémů IMU a kamery a jejich zavedení do následného výpočtu se provedlo při kalibračním letu. Tento proces se nazývá dle dokumentace výrobce „boresighting“. Výsledky aerotriangulace následně při postprocesingovém zpracování vstupují do „boresightingu“, a proto byla kalibrační základna vybavena dostatečným počtem vlíčovacích bodů [10].

Data získaná z POS AV 310 byla postupně zpracována softwarovými moduly programu POSPac. Nejprve se extrahovala data z paměťových medií modulem EXTRACT, poté se vypočetly souřadnice expozičních center snímků. To bylo provedeno diferenciální GPS modulem POSGPS. Následovalo zpracování dat z IMU pomocí modulu POSProc. Tento modul se skládá ze výpočetní operace IIN (integrovaná inerciální navigace) a SMTH (vyhlazení), přičemž jednotlivé operace musí vždy proběhnout ve zmíněném pořadí. IIN zpracovává data, zaznamenávaná s frekvencí 200 Hz, směrem dopředu na časové ose, přičemž predikuje chyby pomocí Kalmanova filtru. SMTH probíhá jako zpětný proces na časové ose, kdy se výsledky vypočtené IIN zpřesňují a získává se optimální vyrovnaný průběh trajektorie letu. Posledním modulem programu POSPac je POSEO. Jeho první část se používá k výpočtu stálých úhlových rozdílů mezi osami vztažných soustav IMU a rámu kamery („boresight“ – úhly). Výsledky tohoto výpočtu se použijí v druhé části modulu POSEO, který vypočítá prvky vnější orientace ( $x_0, y_0, z_0, \omega, \varphi, \kappa$ ) pro každý snímek. Poslední část modulu POSEO je tzv. EODIF, který vyrovnává výsledky aerotriangulace, pokud jsou k dispozici a počítá jejich rozdíly. Software POSPac nemá výstup v systému JTSK pro území České republiky, proto bylo nezbytně nutné vyvinout program pro transformaci rovinných pravoúhlých souřadnic (N, E) a rotací kolem tří os ze systému UTM (Applanix) do systému JTSK [10].

## 6 Průzkum přesnosti určení prvků vnější orientace během snímkového letu na příkladě bloků periodického barevného leteckého snímkování území České republiky v měřítku 1:23 000

Průzkum přesnosti určení prvků vnější orientace během snímkového letu byl proveden na blocích č. 504–jih a 502, které byly snímkovány firmou Argus Geo System s.r.o., Hradec Králové v roce 2005 a 2006. Všechny výpočty byly provedeny v programu Excel z řady Microsoft Office a v programu Matlab, verze 7.0.1.

### 6.1 Směrodatné odchylky a systematické chyby

V tabulce 3 jsou uvedeny souborné charakteristiky přesnosti určení prvků vnější orientace aparaturou GPS/IMU. Písmenem  $m$  je označena úplná střední chyba, písmenem  $c$  je označena systematická chyba. Počet snímků v daném bloku je označen písmenem  $n$ , z toho liché řady jsou  $L$  (let směrem na západ) a sudé řady  $S$  (let směrem na východ).

Tabulka 3

Blok	n		dy (m)	dx (m)	dz (m)	d $\omega$ (°)	d $\varphi$ (°)	d $\kappa$ (°)
504–jih 2005 Argus Geo Systém 1.4.2005	115	m	0,208	0,137	0,105	0,0033	0,0034	0,0075
		c	0,004	-0,009	0,018	0,0010	0,0003	-0,0013
	L 50	m	0,214	0,130	0,090	0,0032	0,0039	0,0066
		c	0,105	-0,003	-0,013	-0,0009	-0,0009	-0,0043
	S 65	m	0,204	0,142	0,115	0,0033	0,0003	0,0082
		c	-0,074	-0,014	0,043	-0,0010	0,0013	-0,0057
Kalibrační pole PLZEŇ snímkováno v rámci snímkového letu. Nejsou zřetelné systematické chyby a přesnost většiny prvků odpovídá údajům výrobce aparatury.								
502 2005 Argus Geo Systém 4.4.2005	97	m	0,179	0,078	0,110	0,0349	0,0195	0,0095
		c	-0,004	-0,002	0,009	0,0057	0,0038	0,0088
	L 39	m	0,202	0,076	0,104	0,0362	0,0194	0,0076
		c	0,153	-0,005	0,011	-0,0360	-0,0191	0,0071
	S 58	m	0,162	0,079	0,113	0,0339	0,0195	0,0107
		c	-0,110	0	0,008	0,0337	0,0192	0,0099
Kalibrační pole PLZEŇ snímkováno o 3 dny dříve než snímkový let. Zřetelné systematické chyby zejména úhlových prvků $\omega$ a $\varphi$ .								
504–jih 2006 Argus Geo Systém 11.6.2006	125	m	0,381	0,163	0,110	0,0174	0,0036	0,0238
		c	-0,010	-0,010	0,005	-0,0037	-0,0015	-0,0053
	L 75	m	0,350	0,160	0,119	0,0176	0,0036	0,0261
		c	-0,264	0,023	-0,003	-0,0170	-0,0019	-0,0211
	S 50	m	0,424	0,169	0,096	0,0172	0,0037	0,0197
		c	0,372	-0,061	0,016	0,0163	-0,0010	0,0183
Kalibrační pole vzdálené (OPAVA) snímkováno následujícího dne. Větší systematická chyba GPS ve směru letu a úhlových prvků $\omega$ a $\kappa$ .								
502 2006 Argus Geo Systém 11.6.2006	97	m	0,299	0,173	0,138	0,0164	0,0053	0,0230
		c	0,028	0	0,029	0,0019	-0,0017	0,0074
	L 39	m	0,336	0,203	0,149	0,0174	0,0070	0,0187
		c	-0,265	0,037	0,036	-0,0168	-0,0061	-0,0146
	S 58	m	0,271	0,150	0,131	0,0157	0,0037	0,0255
		c	0,226	-0,025	0,025	0,0145	0,0012	0,0222
Kalibrační pole vzdálené (OPAVA) snímkováno následujícího dne. Větší systematická chyba GPS ve směru letu a úhlových prvků $\omega$ a $\kappa$ .								
<b>Inzerované údaje o přesnosti aparatury GPS/IMU firmy IGI:</b>								
m			<0.100m	<0.100m	<0.200m	0.0040°	0.0040°	0.0100°

V příloze A až D jsou pro každý z bloků uvedeny rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT, ze kterých byly následně vypočteny úplné střední chyby ( $m$ ), systematické chyby ( $c$ ) a náhodné složky ( $\sigma$ ). Největší rozdíl (v absolutní hodnotě) je vyznačen tučně. Je také uvedena četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby  $m$ .

Ve výpočtech byly použity následující vzorce (uvedeno pro případ úhlového prvku  $\omega$ , kde  $d\omega$  je hodnota prvku  $\omega$  získaná během snímkového letu aparaturou GPS/IMU mínus hodnota prvku  $\omega$  získaná po analytické aerotriangulaci):

$$m = \sqrt{\frac{\sum d\omega^2}{n}} \dots\dots\text{úplná střední chyba} \quad (54)$$

$$c = \frac{\sum d\omega}{n} \dots\dots\text{systematická chyba} \quad (55)$$

$$\sigma = \sqrt{m^2 - c^2} \dots\dots\text{náhodná složka} \quad (56)$$

Z výsledků uvedených v příloze A až D vyplývají tyto poznatky:

- Úplné střední chyby ( $m$ ) a systematické odchylky ( $c$ ) prvků vnější orientace  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  jsou zřetelně menší v případě, že byla provedena **kalibrace na základě zpracování naměřených hodnot při přeletu kalibračního pole v rámci téhož snímkového letu**. To je patrné u bloku č. 504–jih /2005, kdy hodnoty úplných středních chyb úhlových prvků byly nízké ( $m_\omega=0,0033^\circ$ ,  $m_\varphi=0,0034^\circ$ ,  $m_\kappa=0,0075^\circ$ ).
- Četnost výskytu chyb ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby  $m$  je velmi blízká normálnímu rozdělení. Chyby nevýrazně převyšující  $-3m$  nebo  $3m$  se vyskytují jen zřídka.

Z tabulky 3 je patrné, že kalibrační pole je žádoucí snímkovat během vlastního snímkového letu (504-jih/2005). Jakmile mezitím dojde k přistání a dalšímu startu, geometrické vztahy mezi kamerou (projekčním centrem) a jednotkou IMU resp. i anténou GPS se mohou trochu změnit, což vede k horším výsledkům.

## 6.2 Vliv směru letu

V příloze E až L jsou pro každý z bloků uvedeny úplné střední chyby ( $m$ ), systematické chyby ( $c$ ) a náhodné složky ( $\sigma$ ) separátně analyzovaných snímkových řad. Chyby  $m$ ,  $c$  a složka  $\sigma$  jsou tedy v daném bloku zvláště vypočítané pro řady nalétané směrem na západ (označené jako liché řady) a řady nalétané směrem na východ (označené jako sudé řady). Součástí analýzy řad daného bloku je také četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby  $m$ . Z výsledků uvedených v příloze E až K vyplývají tyto poznatky:

- V případě, že se analyzují zvláště liché a sudé řady, projeví se zřetelněji systematické chyby ( $c$ ) zpravidla nekalibrovaných úhlových prvků vnější orientace, zejména  $\omega$  a  $\kappa$  (blok 504–jih/2006),  $\omega$  a  $\varphi$  (blok 502/2005). Tento jev není patrný u kalibrovaných úhlových prvků vnější orientace v případě bloku 504–jih/2005, kde byl zvláštní režim snímání (viz 6.1).

### 6.3 Příčné odchylky letové dráhy

V příloze M až P jsou zobrazeny příčné odchylky letové dráhy a zároveň systematické odchylky v jednotlivých řadách a maximální dosažená odchylka v bloku ve směru osy X (S-JTSK). Letadlo by správně mělo letět přesně ve směru osy Y systému JTSK (X-ová souřadnice pro všechny snímky jedné řady by měla být konstantní), avšak vlivem větru a nehomogenního ovzduší se od této plánované letové dráhy odchyluje ve směru osy X. Hodnoty jednotlivých odchylek byly vypočteny tak, že se od X-ové souřadnice středu snímku zjištěné pomocí AAT odečetla plánovaná X-ová souřadnice řady, ve které měl být snímek pořízen. Největší rozpětí systematických odchylek v jednotlivých snímkových řadách se vyskytuje u bloku č. 502 snímkaného v roce 2005 (-16,1 m až +34,6 m). Největší odchylka v 10. řadě bloku 504-jih snímkaného v roce 2005 (-110m) je způsobena krátkým nalétnutím do této řady při dodatečném pořízení „záplaty“ 10 snímků.

### 6.4 Změny absolutní výšky letu podél letové dráhy

V příloze Q až T jsou zobrazeny změny absolutní výšky letu podél letové dráhy a zároveň systematické odchylky v jednotlivých řadách a maximální dosažená odchylka absolutní výšky letu v bloku. Změny absolutní výšky letu podél letové dráhy byly vypočteny tak, že od výšky středu projekce daného snímku, získané pomocí AAT, byla odečtena střední absolutní výška letu v daném bloku. Střední absolutní výška letu pro daný blok byla vypočtena dle následujícího vzorce:

$$z_{stř.} = z_{AAT} + f * m_s, \quad (57)$$

kde  $z_{AAT}$  je střední nadmořská výška daného bloku uvedená v protokolu AAT,  $f$  je konstanta letecké měřické kamery, která byla pro snímkování použita, a  $m_s$  je měřítkové číslo snímků (součin je relativní výškou letu).

Největší odchylka se vyskytuje v 10. řadě bloku 504-jih snímkaného v roce 2005 (-127 m, tj. -3,1% absolutní výšky letu). Největší rozpětí systematických odchylek v jednotlivých snímkových řadách se vyskytuje u bloku č. 504-jih snímkaného v roce 2006 (-95 m až +97,2 m, tj. -2,3 % až +2,4 % absolutní výšky letu).

## 7 Současné možnosti přímého georeferencování leteckých měřických snímků (využití přímo měřených prvků vnější orientace pro tvorbu ortofotomapy)

Pomocí fotogrammetrických řad (vzorce (40) a (41)) byl zkoumán vliv chyb v určení prvků vnější orientace na snímkové souřadnice a na polohu fotogrammetricky určovaných bodů v terénu. Byly zjištěny posuny vyvolané chybami v určení prvků vnější orientace. Tyto posuny jsou zobrazeny v příloze U až X. Ve vzorcích (40) a (41) fotogrammetrických řad se objevují členy  $db_x$ ,  $db_y$ ,  $db_z$  a  $d\omega$ ,  $d\varphi$ ,  $d\kappa$ . Ty byly určeny následovně [1]:

$$db_x = \frac{m_y}{M_s}, \quad db_y = -\frac{m_x}{M_s}, \quad db_z = \frac{m_z}{M_s} \quad \text{a} \quad d\omega = \frac{m_\omega}{\rho^{(0)}}, \quad d\varphi = \frac{m_\varphi}{\rho^{(0)}}, \quad d\kappa = \frac{m_\kappa}{\rho^{(0)}}, \quad (58)$$

kde  $m$  je úplná střední chyba prvku vnější orientace (dle indexu),  $M_s$  je měřítkové číslo a  $\rho^{(0)}$  je konstanta 57,3 pro převod úhlu na radián.

Pozn.: Člen  $db_y$  se volí záporný, jelikož v takovém případě se podle [1] získávají nejméně příznivé výsledky (tzn. získá se největší mezní hodnota, která se může vyskytnout).

Z příloh U až X je patrné, že v případě bloku 504-jih/2005 s kalibrovanými prvky vnější orientace (podle 6.1) dosáhla maximální polohová chyba na snímku **0,024 mm**, což je při průměrném měřítku leteckého měřického snímku 1:23 415 **0,56 m** v terénu. Maximální polohové chyby na snímcích bloků s nekalibrovanými prvky vnější orientace však byly mnohem větší. V bloku 502/2005 je maximální polohová chyba na snímku **0,187 mm**, což je **4,41 m** v terénu. V bloku 504-jih/2006 je maximální polohová chyba na snímku **0,106 mm**, což je **2,53 m** v terénu a v bloku 502/2006 je maximální polohová chyba na snímku **0,99 mm**, což je **2,43 m** v terénu. Z těchto výsledků jednoznačně vyplývá, že využití přímo měřených prvků vnější orientace pro tvorbu ortofotomapy je možné jen v případě kalibrace aparatury GPS/IMU pomocí snímkování kalibračního pole **v rámci téhož snímkového letu**, jako tomu bylo pouze u bloku 504-jih v roce 2005.

Pozn.: Z jiných diplomových prací na Západočeské univerzitě (H. Šnebergerová, P. Procházková, O. Klor) vyplynula zjištění, že digitální barevná ortofotomapa, vyhotovená z leteckých měřických snímků 1: 23 000 s využitím prvků vnější orientace vzešlých z výpočtu analytické aerotriangulace programem MATCH-AT, vykazuje polohovou přesnost (střední souřadnicovou chybu dobře identifikovatelných bodů) kolem 1 metru!



## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo shrnutí teorie prvků vnější orientace a provedení průzkumu přesnosti určení prvků vnější orientace během snímkového letu na příkladě 4 bloků opakovaného barevného leteckého snímkování území České republiky v měřítku 1:23 000. Při zpracování této práce bylo získáno mnoho vědomostí z oblasti teorie letecké fotogrammetrie a zároveň i z praxe při práci se skutečnými daty.

Z průzkumu přesnosti určení prvků vnější orientace aparaturou GPS/IMU během snímkového letu v blocích č. 504–iih a 502, snímkovaných opakovaně v roce 2005 a 2006 (tedy za rozdílných fyzikálních podmínek), vyplývají následující poznatky: Úplné střední chyby ( $m$ ) a systematické odchylky ( $c$ ) prvků vnější orientace  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  jsou zřetelně menší v případě, že byla provedena kalibrace na základě zpracování naměřených hodnot z přeletu kalibračního pole v rámci téhož snímkového letu. Při analýze lichých a sudých řad zvláště se zřetelně projeví systematická chyba ( $c$ ) zejména u nekalibrovaných úhlových prvků vnější orientace. Četnost výskytu chyb ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby  $m$  je blízká normálnímu rozdělení, přičemž chyby nevýrazně převyšující  $3m$  nebo  $-3m$  se vyskytují jen zřídka. Využití přímo měřených prvků vnější orientace pro tvorbu ortofotomapy je možné pouze v případě kalibrace aparatury GPS/IMU pomocí snímkování kalibračního pole v rámci téhož snímkového letu, jako tomu bylo pouze u bloku 504–jih v roce 2005.

## Přehled použité literatury

- [1] ŠÍMA, J. – FIALA, R. Průzkum současných možností přímého georeferencování leteckých měřických snímků. In: *Sborník vědecké konference při veletrhu GEOS*. Zdíby: VÚGTK 2006.
- [2] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie*. Skriptum. Plzeň: Vydavatelství ZČU 2003. ISBN 80-7082-972-9
- [3] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 10*. Skriptum. Praha: Vydavatelství ČVUT 2003. ISBN 80-01-02649-3.
- [4] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 20*. Skriptum. Praha: Vydavatelství ČVUT 2003. ISBN 80-01-02762-7.
- [5] PAVELKA, K. – DOLANSKÝ, T. – HODAČ, J. – VALENTOVÁ, M. *Fotogrammetrie 30, Digitální model terénu*. Skriptum. Praha: Vydavatelství ČVUT 2001. ISBN 80-01- 02413-X.
- [6] ŠMIDRKAL, J. *Fotogrammetrie*. Učebnice pro 3. ročník středních odborných škol studijního oboru 36 – stavebnictví, geodézie a kartografie. Praha: Geodetický a kartografický podnik 1986.
- [7] ŠMIDRKAL, J. *Fotogrammetrie a DPZ I*. Skriptum. Praha: Vydavatelství ČVUT 1991.
- [8] ŠMIDRKAL, J. *Fotogrammetrie a DPZ II*. Skriptum. Praha: Vydavatelství ČVUT 1992.
- [9] ŠÍMA, J. *Fotogrammetrie. Přednášky*. Plzeň: ZČU 2005.
- [10] NAVRÁTIL, P. Geodis Brno uplatňuje moderní postupy určování parametrů vnější orientace leteckých snímků. In: *Geodis news*, 2003, č.2, s.12-13.
- [11] Letecká technika společnosti Argus Geo Systém, dostupné z <http://www.argusgeo.cz/vybaveni.html>

## Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT Blok 504-jih/2005

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	dω	dφ	dk
365	6	0,094	-0,119	0,188	0,003	0,003	-0,01
366	6	0,019	-0,288	0,083	-0,001	0,002	-0,007
367	6	-0,08	0,06	0,041	0,003	0,003	-0,004
368	6	0,186	-0,048	0,082	-0,001	-0,001	-0,004
369	6	0,253	0,051	0,113	0,001	0	-0,005
370	6	0,143	-0,152	0,087	-0,004	-0,002	-0,004
371	6	-0,129	-0,16	0,105	-0,002	0,001	-0,008
372	6	0,033	-0,09	0,089	-0,001	0,001	-0,004
373	6	-0,089	-0,015	0,099	0	-0,001	-0,005
374	6	0,248	0,119	0,256	0,001	-0,002	-0,002
375	6	0,026	-0,261	0,151	-0,004	0,002	0,001
376	6	0,282	0,003	0,2	0,001	0	0,003
377	6	0,179	-0,234	0,176	-0,001	0,002	-0,002
378	6	0,016	-0,063	0,017	0,001	0,003	-0,004
379	6	0,287	0,109	-0,022	0,005	-0,001	-0,007
380	6	0,154	0,076	-0,005	0,003	0,001	-0,008
381	6	0,092	0,107	-0,043	0,001	0,004	-0,01
382	6	0,211	-0,066	-0,044	0	0,002	-0,009
383	6	-0,096	-0,193	0,091	-0,005	-0,001	-0,006
384	6	-0,071	-0,03	0,059	0,003	0,004	-0,011
385	6	-0,075	0,023	0,124	0,002	0,004	<b>-0,016</b>
386	6	-0,142	-0,194	0,01	-0,001	0,001	-0,009
387	6	0,032	0,113	0,025	0,004	0	-0,009
388	6	0,071	0,113	0,206	0,006	-0,003	-0,007
389	6	0,075	0,064	0,044	<b>0,01</b>	0	-0,002
390	7	0,063	0,011	0,031	0,002	-0,005	0,009
391	7	0,05	-0,151	-0,007	0,001	-0,003	0,007
392	7	0,048	-0,046	0,031	0,002	0	0,008
393	7	-0,094	-0,011	-0,149	0,001	0,001	0,005
395	7	0,155	0,179	-0,102	0,003	0,001	0,007
396	7	<b>0,564</b>	0,103	-0,098	0,001	-0,002	0,006
397	7	0,17	0,049	-0,079	0	0,002	0,006
398	7	0,067	-0,109	-0,089	-0,002	0,002	0,007
399	7	0,018	-0,058	-0,083	-0,001	0,002	0,008
400	7	0,079	-0,016	-0,03	0,001	0,005	0,009
401	7	0,3	-0,101	-0,034	0,002	0,003	0,009
402	7	0,138	-0,023	-0,137	0,002	-0,001	0,006
403	7	0,152	-0,165	-0,052	0	0,001	0,003
404	7	0,23	-0,128	0,011	0,002	-0,002	0,005
405	7	0,083	0,077	0,039	0,003	0,003	0
406	7	0,092	-0,126	-0,14	0	-0,001	0
407	7	0,323	-0,044	0,048	0,002	0,002	-0,001

408	7	0,298	-0,057	0,031	0,001	0,002	-0,003
409	7	0,141	0,124	-0,058	0,006	0,001	-0,001
410	7	0,204	-0,239	-0,094	-0,001	0,005	-0,002
411	7	0,151	-0,134	-0,036	0,001	0,002	-0,004
412	7	-0,025	-0,241	0,135	-0,003	0,002	-0,005
413	7	-0,016	0,146	0,113	0,003	0,001	-0,005
414	7	0,275	0,104	0,053	0,004	-0,004	-0,002
415	7	-0,181	-0,188	0,07	0	0,004	-0,005
416	8	-0,313	-0,23	0	-0,002	0,004	-0,015
417	8	-0,215	-0,037	-0,002	0	0	-0,007
418	8	-0,059	-0,076	-0,1	-0,002	0,002	-0,008
419	8	-0,242	-0,144	0,154	-0,002	0,003	-0,005
420	8	-0,234	-0,123	0,023	-0,002	0,002	-0,007
421	8	-0,074	-0,025	0,183	0,002	0,002	-0,007
422	8	-0,046	-0,047	-0,057	0,001	0	-0,01
423	8	-0,142	-0,125	-0,047	-0,002	0,006	-0,008
424	8	-0,22	0,135	0,145	0,002	0,003	-0,009
425	8	0,031	0,077	-0,063	0	-0,002	-0,007
426	8	-0,1	0,075	-0,107	-0,002	0,003	-0,008
427	8	-0,561	-0,235	0,16	-0,005	0,01	-0,01
428	8	-0,109	-0,082	-0,044	-0,004	0,004	-0,01
429	8	0,247	0,008	0,155	-0,001	-0,004	-0,011
430	8	-0,081	0,213	-0,183	0,001	0,001	-0,011
431	8	-0,25	0,124	-0,135	0	0,003	-0,011
432	8	-0,164	-0,16	-0,181	-0,006	0	-0,008
433	8	-0,315	0,311	-0,096	-0,001	0,003	-0,015
434	8	-0,155	0,183	-0,011	0,001	0,001	-0,008
435	8	-0,05	0,084	0,022	-0,002	0,002	-0,009
436	8	-0,257	-0,233	0,062	-0,006	0,002	-0,012
437	8	-0,183	-0,167	-0,099	-0,004	0	-0,01
438	8	-0,351	0,128	0,001	0,001	0,006	-0,015
439	8	-0,236	-0,246	0,026	-0,004	0,002	-0,015
440	8	0,317	0,045	<b>0,292</b>	-0,002	-0,009	<b>-0,016</b>
441	9	0,383	0,142	0,139	-0,007	<b>-0,014</b>	0,011
442	9	0,542	-0,083	-0,139	-0,008	-0,011	0,009
443	9	-0,433	0,151	-0,057	-0,004	-0,001	0,01
444	9	-0,024	0,053	-0,089	-0,003	-0,003	0,007
445	9	0,352	-0,103	0,151	-0,007	-0,008	0,006
446	9	0,015	-0,091	-0,014	-0,008	-0,008	0,011
447	9	0,017	0,041	-0,03	-0,005	0,001	0,01
448	9	0,112	<b>0,322</b>	-0,081	0	-0,003	0,012
449	9	-0,013	0,242	0,017	0	0,001	0,01
450	9	0,095	-0,058	0,112	-0,006	-0,006	0,013
452	9	0,027	0,241	-0,06	-0,002	0,001	0,007
453	9	0,31	0,26	0,072	0,002	-0,003	0,007
454	9	0,462	-0,168	0,038	-0,005	-0,001	0,005
455	9	0,027	0,045	-0,239	-0,001	-0,003	0,005
456	9	-0,207	-0,121	-0,068	-0,005	0	0,008

457	9	0,115	0,102	-0,203	-0,002	-0,003	0,006
458	9	0,087	-0,002	0,087	-0,002	0,001	0,005
459	9	0,035	0,048	0,014	-0,001	0,003	0,005
460	9	0,228	0,093	0,121	-0,001	-0,004	0,004
461	9	0,103	0,017	0,085	-0,001	-0,003	0,004
462	9	0,007	-0,051	0,068	-0,002	-0,003	0,002
463	9	0,146	-0,069	-0,014	-0,001	-0,001	-0,003
464	9	-0,084	0,075	0,004	0	0,003	-0,003
465	9	-0,225	-0,145	-0,006	-0,002	0	0,004
466	9	-0,095	-0,046	0,049	-0,001	0,002	-0,003
467	10	-0,145	-0,047	0,042	-0,002	0,002	0
468	10	-0,383	0,005	0,072	-0,002	0,005	-0,003
469	10	-0,084	0,153	-0,017	-0,002	-0,002	-0,001
470	10	-0,069	-0,024	-0,007	-0,004	0	0,003
471	10	0,016	0,138	0,186	-0,002	-0,005	0,002
472	10	-0,198	0,085	-0,01	-0,002	0,001	0,004
473	10	-0,268	0,272	0,174	0	-0,001	0,002
474	10	-0,24	-0,053	-0,028	-0,002	0,003	0,003
475	10	-0,151	-0,088	0,101	-0,005	0,003	0
476	10	-0,179	-0,016	-0,145	-0,006	0,003	0,003
477	10	-0,221	0,235	0,187	-0,003	0,004	0,005
478	10	-0,058	-0,135	0,016	-0,009	0,001	0,008
479	10	-0,563	0,203	-0,115	-0,004	0,003	0,007
480	10	-0,226	0,125	0,114	-0,003	0,001	0,005
481	10	-0,012	-0,117	-0,014	-0,007	0,003	-0,011
		(S-JTSK v metrech)			(v šedesátiných stupních)		
úplná střední chyba <b>m</b>		0,208	0,137	0,105	0,0033	0,0034	0,0075
systematická chyba <b>c</b>		0,004	-0,009	0,018	0,0010	0,0003	-0,0013
náhodná složka <b><math>\sigma</math></b>		0,208	0,137	0,103	0,0031	0,0034	0,0074
maximální chyba		0,564	0,322	0,292	0,0100	-0,0140	-0,0160

z počtu 115 zjištěných rozdílů

### Chyby prvků vnější orientace Blok 504-jih/2005

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 504-jih / 2005	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	K	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	67,0	67,8	68,7	73,9	79,1	60,9	68,27
<-2m...+2m>	94,8	97,4	97,4	93,9	94,8	98,3	95,45
<-3m...+3m>	100,0	100,0	100,0	99,1	98,3	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	0,0	0,0	0,9	1,7	0,0	0,27

## Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT Blok 502/2005

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	dω	dφ	dk
110	10	0,024	-0,031	0,03	0,021	0,025	0,005
111	10	0,014	0,037	0,057	0,029	0,02	0,008
112	10	-0,084	-0,068	-0,313	0,027	0,019	0,007
113	10	0,044	-0,073	-0,03	0,029	0,018	0,009
114	10	-0,008	0,063	0,069	0,032	0,019	0,013
115	10	-0,084	0,025	-0,011	0,032	0,025	0,011
116	10	-0,061	0,003	0,089	0,035	0,023	0,012
117	10	-0,149	0,001	0,034	0,034	0,02	0,015
118	10	0,187	0,075	0,116	0,035	0,017	0,013
119	10	-0,12	0,02	-0,026	0,033	0,02	0,009
120	10	-0,065	-0,019	0,119	0,035	0,025	0,007
121	10	-0,11	0,053	-0,049	0,035	0,02	0,008
122	10	-0,15	0,035	0,032	0,037	0,022	0,008
123	10	0,01	0,076	0,093	0,038	0,022	0,01
124	10	0,008	-0,079	0,062	0,034	0,016	0,007
125	10	0,086	0,072	-0,046	0,035	0,019	0,009
126	10	-0,059	-0,113	-0,173	0,031	0,022	0,007
127	10	-0,018	-0,078	0,055	0,031	0,023	0,011
128	10	0,027	0,017	-0,02	0,034	0,02	0,005
129	10	-0,124	0,066	-0,046	0,036	0,019	0,008
130	10	-0,011	0,008	0,002	0,035	0,018	0,013
131	10	-0,145	-0,011	0,19	0,037	0,014	0,015
132	9	0,187	0,044	-0,106	-0,034	-0,025	0,01
133	9	0,442	-0,076	0,08	-0,035	-0,026	0,006
134	9	-0,015	-0,028	-0,066	-0,036	-0,02	0,009
135	9	0,128	0,089	-0,231	-0,033	-0,02	0,009
136	9	0,279	-0,139	-0,111	-0,038	-0,017	0,01
137	9	0,021	-0,035	0,056	-0,034	-0,012	0,009
138	9	0,181	-0,131	-0,141	-0,037	-0,019	0,009
139	9	0,213	0,068	-0,048	-0,032	-0,018	0,007
140	9	0,397	0,041	0,132	-0,036	-0,021	0,005
141	9	0,21	-0,075	-0,071	-0,038	-0,015	0,006
142	9	<b>0,463</b>	0,097	-0,061	-0,032	-0,018	0,005
143	9	0,141	0,006	0,117	-0,036	-0,018	0,003
144	9	0,256	-0,077	0,019	-0,036	-0,019	0,014
145	9	0,23	0,039	-0,027	-0,038	-0,016	0,007
146	9	0,273	-0,033	-0,007	-0,038	-0,016	0,01
147	9	-0,101	0,055	0,035	-0,035	-0,014	0,006
148	9	0,115	0,031	-0,049	-0,036	-0,015	0,005
149	9	0,197	-0,013	0,162	-0,039	-0,021	0,007
150	9	-0,078	0,137	-0,057	-0,039	-0,018	0,007
151	9	-0,025	-0,178	<b>0,37</b>	<b>-0,047</b>	-0,017	0,001

152	9	0,056	0,054	0,082	-0,046	-0,016	0,009
153	8	-0,062	0,05	-0,24	0,029	0,011	0,012
154	8	-0,08	0,057	-0,036	0,03	0,022	0,014
155	8	-0,071	0,101	0,022	0,032	0,017	0,013
156	8	-0,115	-0,115	-0,092	0,033	0,025	0,012
157	8	-0,364	-0,046	0,122	0,033	0,02	0,009
158	8	0,072	0,104	0,043	0,034	0,018	0,009
159	8	-0,129	-0,021	-0,087	0,033	0,021	0,005
160	8	-0,172	-0,044	0,043	0,032	0,019	0,011
161	8	-0,271	-0,065	-0,013	0,032	0,016	0,01
162	8	-0,102	0,136	0,103	0,036	0,025	0,011
163	8	-0,116	-0,023	0,115	0,033	0,021	0,011
164	8	-0,086	0,027	-0,017	0,034	0,023	0,011
165	8	0,007	0,049	0,05	0,035	0,02	0,003
166	8	-0,205	-0,094	0,024	0,033	0,02	0,011
167	8	-0,438	-0,119	-0,084	0,035	0,02	0,003
168	8	-0,077	0,179	-0,005	0,039	0,017	0,013
169	8	-0,326	-0,024	-0,064	0,038	0,017	0,014
170	8	-0,336	<b>-0,218</b>	-0,033	0,031	0,018	0,013
171	8	0,015	-0,088	0,243	0,036	0,009	0,007
172	7	0,135	-0,029	0,008	-0,027	<b>-0,027</b>	0,003
173	7	0,29	0,007	0,052	-0,028	-0,024	0,006
174	7	0,167	-0,18	-0,085	-0,032	-0,024	0,003
175	7	0,188	-0,032	0,033	-0,03	-0,026	0,006
176	7	0,01	-0,142	-0,038	-0,038	-0,02	0,01
177	7	0,124	0,081	0,033	-0,035	-0,019	0,006
178	7	0,112	-0,022	-0,071	-0,037	-0,017	0,006
179	7	0,102	0,055	-0,004	-0,033	-0,023	0,007
180	7	0,283	-0,022	-0,079	-0,037	-0,022	0,007
181	7	0,192	0,017	0,118	-0,035	-0,023	0,007
182	7	0,338	0,055	-0,012	-0,031	-0,019	0,008
183	7	0,021	-0,061	0,126	-0,036	-0,019	0,01
184	7	0,048	-0,002	-0,054	-0,039	-0,018	0,007
185	7	0,109	0,009	0,064	-0,038	-0,018	0,007
186	7	0,13	0,054	0,155	-0,04	-0,016	0,006
187	7	0,018	-0,005	-0,002	-0,04	-0,017	0,007
188	7	0,112	0,085	0,046	-0,039	-0,018	0,008
189	7	0,01	0,064	0,078	-0,037	-0,015	0,011
190	6	-0,146	-0,048	-0,242	0,029	0,016	0,007
191	6	-0,076	0,068	-0,142	0,033	0,019	0,008
192	6	-0,116	0,031	-0,069	0,032	0,019	0,004
193	6	-0,104	-0,05	-0,007	0,032	0,018	0,007
194	6	-0,226	0,07	-0,11	0,033	0,021	0,011
195	6	-0,152	-0,114	0,081	0,034	0,02	0,009
196	6	-0,125	0,032	0	0,035	0,019	0,007
197	6	-0,177	0,099	0,02	0,038	0,019	0,006
198	6	-0,213	0,002	-0,068	0,034	0,02	0,006
199	6	-0,106	-0,046	0,001	0,034	0,019	0,002
200	6	-0,217	0,182	-0,124	0,035	0,017	0,009

201	6	-0,18	0,035	-0,028	0,035	0,019	0,012
202	6	-0,341	0,015	0,038	0,036	0,019	0,015
203	6	0,014	0,055	0,155	0,037	0,017	0,014
204	6	-0,33	-0,079	0,079	0,036	0,022	0,015
205	6	-0,173	-0,156	0,168	0,037	0,015	0,021
206	6	-0,064	-0,002	0,366	0,045	0,013	<b>0,022</b>
		(S-JTSK v metrech)			(v šedesátinných stupních)		
úplná střední chyba <b>m</b>		0,179	0,078	0,110	0,0349	0,0195	0,0095
systematická chyba <b>c</b>		-0,004	-0,002	0,009	0,0057	0,0038	0,0088
náhodná složka <b><math>\sigma</math></b>		0,179	0,078	0,109	0,0344	0,0191	0,0036
maximální chyba		0,463	-0,218	0,370	-0,0470	-0,0270	0,0220
z počtu 97 zjištěných rozdílů							

### Chyby prvků vnější orientace Blok 502/2005

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 502 / 2005	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	K	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	69,1	73,2	74,2	45,4	57,7	62,9	68,27
<-2m...+2m>	94,8	94,8	92,8	100,0	100,0	97,9	95,45
<-3m...+3m>	100,0	100,0	97,9	100,0	100,0	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,27



## Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT Blok 504-jih/2006

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	d $\omega$	d $\varphi$	dk
1	10	-0,026	-0,075	0,011	-0,015	-0,004	-0,032
2	10	-0,328	0,121	-0,176	-0,022	-0,002	-0,028
3	10	-0,156	-0,099	-0,118	-0,019	-0,001	-0,022
4	10	-0,162	-0,125	-0,138	-0,026	0,001	-0,03
5	10	0,122	-0,039	-0,218	-0,019	0	-0,019
6	10	-0,092	-0,115	-0,214	-0,022	0,003	-0,027
7	10	-0,145	0,222	-0,2	-0,014	0	-0,029
8	10	-0,074	0,031	-0,066	-0,022	-0,008	-0,033
9	10	0,034	0,086	0,033	-0,016	-0,003	-0,04
10	10	0,306	0,187	0,017	-0,022	-0,005	-0,039
11	10	0,094	-0,002	-0,024	-0,02	-0,001	-0,027
12	10	0,012	0,107	-0,043	-0,028	-0,007	-0,044
13	10	-0,215	0,017	0,001	-0,017	-0,003	-0,041
14	10	0,021	0,155	0,009	-0,011	-0,005	-0,034
15	10	-0,018	-0,368	0,109	-0,024	-0,006	-0,042
16	10	-0,059	0,09	-0,145	-0,02	-0,003	-0,037
17	10	-0,046	0,056	0,076	-0,013	-0,004	-0,038
18	10	0,175	0,128	0,024	-0,02	-0,001	-0,037
19	10	-0,295	0,309	0,006	-0,013	-0,001	-0,023
20	10	-0,001	0,284	-0,105	-0,017	-0,001	-0,031
21	10	-0,056	-0,016	0,048	-0,02	-0,002	-0,033
22	10	-0,106	0,134	0,108	-0,014	-0,003	-0,015
23	10	0,076	0,138	0,144	-0,011	-0,005	-0,024
24	10	-0,038	-0,045	0,081	-0,008	-0,003	-0,016
25	10	-0,204	-0,108	0,017	-0,019	-0,006	-0,018
26	9	0,111	0,103	0,168	0,018	0,006	0,027
27	9	0,358	0,037	0,155	0,019	0	0,018
28	9	0,417	0,049	0,159	0,016	0,003	0,019
29	9	0,593	-0,158	-0,078	0,023	0,003	0,016
30	9	0,231	-0,233	-0,007	0,021	0,009	0,019
31	9	0,493	0,144	-0,031	0,014	0,001	0,018
32	9	0,923	-0,126	-0,057	0,017	-0,006	0,013
33	9	0,134	-0,379	0,299	0,007	0,008	0,001
34	9	0,327	0,091	-0,129	0,015	0,005	0,013
35	9	0,16	0,1	-0,104	0,021	0,004	0,008
36	9	0,369	0,099	-0,054	0,022	0,001	0,016
37	9	0,75	0,023	-0,05	0,005	-0,004	0,012
38	9	0,3	-0,322	0,083	0,011	0	0,013
39	9	0,348	-0,189	0,156	0,015	-0,002	0,012
40	9	0,443	-0,175	-0,045	0,013	-0,003	0,011
41	9	0,492	0,206	-0,069	0,023	-0,005	0,021
42	9	0,687	-0,1	-0,038	0,018	-0,005	0,016

43	9	0,863	-0,201	0,043	0,011	-0,005	0,016
44	9	0,302	-0,1	0,047	0,018	-0,003	0,025
45	9	0,469	0,013	-0,002	0,024	0	0,028
46	9	0,615	-0,164	-0,043	0,014	-0,003	0,025
47	9	0,454	0,054	0,002	0,025	0,001	0,024
48	9	0,411	-0,369	-0,218	0,012	-0,001	0,008
49	9	0,648	-0,037	-0,047	0,02	-0,008	0,013
50	9	0,329	0,117	-0,007	0,021	-0,002	0,002
51	8	-0,258	0,123	0,075	-0,005	-0,002	<b>-0,05</b>
52	8	-0,313	-0,06	-0,141	-0,015	-0,002	-0,039
53	8	-0,466	-0,136	-0,017	-0,016	0,002	-0,046
54	8	-0,667	-0,091	0,045	-0,016	0,003	-0,046
55	8	-0,161	0,214	-0,054	-0,015	-0,003	-0,042
56	8	-0,317	-0,229	-0,125	-0,018	0,002	-0,025
57	8	-0,535	-0,009	-0,141	-0,018	0,002	-0,03
58	8	-0,45	0,195	-0,063	-0,018	-0,001	-0,035
59	8	-0,007	-0,02	0,066	-0,018	-0,003	-0,035
60	8	-0,428	0,12	0,076	-0,014	0,005	-0,029
61	8	-0,285	0,062	0	-0,017	-0,001	-0,03
62	8	-0,161	-0,051	0,125	-0,019	-0,004	-0,019
63	8	-0,542	-0,063	0,122	-0,019	0	-0,024
64	8	-0,421	-0,053	0,052	-0,02	-0,004	-0,02
65	8	-0,203	0,106	0,02	-0,017	-0,003	-0,016
66	8	-0,256	-0,248	-0,326	-0,023	0,001	-0,029
67	8	-0,226	-0,048	0,027	-0,022	-0,001	-0,018
68	8	-0,453	0,315	-0,029	-0,018	0,002	-0,016
69	8	-0,306	0,151	0,126	-0,018	-0,001	-0,013
70	8	-0,215	-0,248	-0,008	-0,021	-0,004	-0,02
71	8	-0,162	0,261	-0,047	-0,011	0	-0,016
72	8	-0,285	0,017	0,113	-0,022	-0,002	-0,023
73	8	-0,184	0,043	0,158	-0,019	-0,003	-0,018
74	8	-0,335	0,102	0,024	-0,011	0	-0,017
75	8	-0,161	-0,045	0,019	-0,016	-0,007	-0,001
76	7	0,108	0,067	0,174	0,007	-0,001	0,014
77	7	0,377	0,208	0,082	0,011	-0,002	0,022
78	7	0,348	-0,115	-0,048	0,016	-0,005	0,01
79	7	0,09	-0,024	0,04	0,01	-0,001	0,008
80	7	0,394	-0,206	0,036	0,009	-0,004	0,011
81	7	0,191	0,121	0,016	0,016	-0,002	0,019
82	7	0,515	-0,002	0,092	0,013	-0,003	0,01
83	7	0,326	-0,119	-0,055	0,013	-0,003	0,025
84	7	0,18	0,015	0,049	0,005	-0,002	0,02
85	7	0,134	-0,081	0,013	0,011	0	0,015
86	7	-0,132	-0,147	0,08	0,016	0,003	0,026
87	7	0,264	0,295	0,12	0,021	-0,001	0,026
88	7	0,356	0,016	0,1	0,017	0,001	0,024
89	7	0,297	-0,143	0,001	0,012	-0,003	0,017
90	7	0,257	-0,386	-0,155	0,01	0	0,026
91	7	0,253	-0,1	0,014	0,018	0,003	0,033

92	7	0,622	-0,182	0,081	0,019	-0,004	0,034
93	7	0,308	-0,028	-0,095	0,02	-0,002	0,025
94	7	0,397	0,093	-0,08	<b>0,029</b>	-0,003	0,026
95	7	0,656	-0,179	0,008	0,018	-0,006	0,025
96	7	0,338	-0,154	-0,021	0,02	0	0,027
97	7	0,178	-0,292	0,043	0,017	-0,002	0,021
98	7	0,274	-0,15	0,104	0,019	0	0,026
99	7	0,205	-0,154	0,047	0,019	-0,003	0,019
100	7	0,449	0,118	0,045	0,027	-0,005	0,016
101	6	-0,061	-0,232	0,213	-0,01	0	-0,009
102	6	-0,198	-0,187	<b>0,329</b>	-0,01	0	-0,038
103	6	-0,363	0,085	0,033	-0,014	0,004	-0,017
104	6	-0,671	-0,041	0,143	-0,013	0	-0,022
105	6	-0,427	-0,048	0,119	-0,012	-0,001	-0,008
106	6	-0,574	-0,099	0,121	-0,023	-0,003	0,009
107	6	-0,353	0,139	0,171	-0,014	-0,006	-0,001
108	6	-0,292	-0,036	-0,101	-0,006	-0,006	-0,018
109	6	<b>-0,98</b>	0,216	0,05	-0,01	0,004	-0,021
110	6	-0,613	-0,129	0,203	-0,017	0,003	-0,025
111	6	-0,478	-0,204	0,147	-0,021	-0,001	-0,017
112	6	-0,339	-0,071	-0,028	-0,026	-0,002	0,007
113	6	-0,612	0,275	0,004	-0,017	-0,002	-0,018
114	6	-0,437	0,159	0,051	-0,016	0	0,014
115	6	-0,35	-0,202	-0,126	-0,018	-0,007	0,014
116	6	-0,672	-0,063	0,006	-0,011	-0,002	-0,002
117	6	-0,606	-0,194	-0,132	-0,026	-0,001	-0,018
118	6	-0,652	0,032	0	-0,014	-0,001	-0,014
119	6	-0,413	0,127	0,052	-0,02	0,003	0,014
120	6	-0,263	0,071	0,009	-0,015	-0,004	0,009
121	6	-0,339	0,327	-0,12	-0,011	-0,007	0,007
122	6	-0,188	<b>0,437</b>	-0,112	-0,012	<b>-0,01</b>	-0,01
123	6	-0,41	0,103	-0,278	-0,017	-0,006	-0,002
124	6	-0,357	-0,151	-0,137	-0,023	-0,005	-0,002
125	6	-0,175	-0,035	-0,141	-0,019	-0,001	-0,004
		(S-JTSK v metrech)			(v šedesátinných stupních)		
úplná střední chyba <b>m</b>		0,381	0,163	0,110	0,0174	0,0036	0,0238
systematická chyba <b>c</b>		-0,010	-0,010	0,005	-0,0037	-0,0015	-0,0053
náhodná složka <b>σ</b>		0,381	0,163	0,110	0,0171	0,0033	0,0232
maximální chyba		-0,980	0,437	0,329	0,0290	-0,0100	-0,0500
z počtu 125 zjištěných rozdílů							

## Chyby prvků vnější orientace Blok 504-jih/2006

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 504-jih / 2006	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	$\kappa$	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	67,2	70,4	66,4	52,8	68,0	59,2	68,27
<-2m...+2m>	97,6	95,2	96,8	100,0	96,0	99,2	95,45
<-3m...+3m>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,27

## Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT Blok 502/2006

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	d $\omega$	d $\varphi$	dk
126	6	-0,063	0,119	-0,161	0,007	0,003	0,023
127	6	0,176	-0,084	-0,149	0,011	-0,005	0,012
128	6	0,044	0,171	0,014	0,008	-0,005	0,018
129	6	0,202	-0,245	-0,103	0,007	-0,003	0,038
130	6	0,16	-0,033	0,089	0,02	0,005	0,011
131	6	0,102	-0,305	0,23	0,009	0,008	0,016
132	6	0,069	-0,08	0,171	0,016	0,004	0,015
133	6	0,069	0,196	0,073	0,009	0,001	0,013
134	6	0,024	0,02	-0,029	0,014	0	0,019
135	6	0,326	0,131	-0,045	0,013	-0,002	0,03
136	6	0,097	-0,071	-0,022	0,011	0,002	0,005
137	6	0,155	0,011	-0,023	0,013	0,001	0,026
138	6	0,218	-0,063	-0,042	0,005	0	0,018
139	6	0,089	0,147	-0,02	0,013	0,002	0,003
140	6	0	-0,159	-0,016	0,009	0,002	0,005
141	6	-0,013	-0,035	0,089	0,004	-0,002	-0,007
142	6	0,266	0,078	-0,047	-0,006	-0,01	-0,023
143	7	-0,219	-0,085	0,218	-0,012	-0,006	-0,022
144	7	-0,439	-0,025	0,207	-0,018	-0,003	-0,011
145	7	-0,335	0,027	0,233	-0,013	-0,004	-0,023
146	7	-0,597	0,081	0,194	-0,01	-0,001	-0,011
147	7	-0,652	0,143	0,092	-0,011	-0,001	-0,006
148	7	-0,435	0,015	0,086	-0,022	-0,003	-0,018
149	7	-0,307	-0,018	-0,141	-0,013	-0,003	-0,022
150	7	-0,178	0,174	0,045	-0,021	-0,008	-0,015
151	7	-0,454	0,029	0,024	-0,009	-0,007	0,013
152	7	-0,46	-0,099	-0,097	-0,014	-0,003	0,006
153	7	-0,449	0,23	-0,079	-0,006	-0,004	0,025
154	7	-0,38	-0,226	-0,21	-0,024	-0,002	-0,021
155	7	-0,444	0,051	-0,056	-0,017	-0,006	-0,015
156	7	<b>-0,721</b>	-0,168	-0,005	-0,013	-0,002	-0,014
157	7	0,05	0,136	-0,126	-0,007	<b>-0,016</b>	-0,01
158	7	-0,202	0,761	-0,122	-0,013	-0,009	0,011
159	7	-0,516	-0,102	-0,011	-0,019	-0,003	-0,013
160	7	-0,182	0,192	-0,34	-0,018	-0,01	0,004
161	8	0,446	0,025	0,005	0,009	-0,003	0,044
162	8	0,148	0,034	0,059	0,015	-0,003	0,034
163	8	0,124	-0,043	0,108	0,006	0	0,018
164	8	0,169	0,16	-0,02	0,014	0,002	0,027
165	8	0,247	0,214	0,052	0,019	0,001	0,012
166	8	0,298	0,177	0,133	0,016	-0,002	0,034
167	8	0,428	0,013	0,042	0,006	-0,005	0,008

168	8	0,666	-0,422	0,103	0,009	-0,004	0,019
169	8	0,267	-0,049	-0,017	0,018	0,001	<b>0,039</b>
170	8	0,253	0,034	0,16	0,01	0,003	0,03
171	8	0,341	0,044	0,049	0,019	0,001	0,03
172	8	0,367	-0,136	0,083	0,013	-0,002	0,022
173	8	0,423	0,099	0,048	0,015	0,005	0,002
174	8	0,222	-0,029	0,129	0,018	0,004	0,026
175	8	0,386	0,073	-0,061	0,012	0,002	0,002
176	8	0,179	-0,096	0,066	0,011	0,005	0,02
177	8	0,265	-0,398	0,199	0,011	0	0,019
178	8	0,217	-0,141	0,217	0,011	0,001	0,017
179	8	0,332	0,072	0,123	0,014	0,002	0,003
181	9	-0,087	-0,257	0,013	-0,018	-0,001	-0,018
182	9	-0,447	-0,134	0,05	-0,019	-0,001	-0,02
183	9	-0,118	-0,066	0,049	-0,019	-0,009	-0,015
184	9	-0,257	-0,157	0,052	-0,016	-0,006	-0,011
185	9	-0,148	-0,141	0,201	-0,021	-0,005	-0,02
186	9	0,042	0,171	0,205	-0,014	-0,006	-0,013
187	9	-0,054	-0,035	0,075	-0,017	-0,006	-0,016
188	9	-0,07	0,148	0,003	-0,017	-0,007	-0,02
189	9	-0,129	-0,121	0,154	-0,019	-0,005	-0,023
190	9	-0,209	0,022	0,031	-0,017	-0,008	-0,028
191	9	-0,354	0,032	0,006	-0,017	-0,007	-0,024
192	9	0,164	0,114	0,068	-0,017	-0,013	-0,022
193	9	-0,347	0,246	0,216	-0,012	-0,003	-0,028
194	9	-0,448	-0,013	0,145	-0,017	-0,005	-0,019
195	9	-0,249	-0,177	0,299	-0,023	-0,007	-0,019
196	9	-0,035	-0,005	0,273	-0,023	-0,01	-0,027
197	9	-0,051	0,115	-0,021	-0,023	-0,009	-0,027
198	9	-0,231	<b>0,45</b>	-0,063	-0,021	-0,01	-0,015
199	9	-0,319	0,412	0,034	-0,018	-0,007	-0,027
200	9	-0,185	-0,236	-0,033	-0,025	-0,006	-0,02
201	9	0,102	-0,028	-0,269	-0,02	-0,012	-0,013
202	10	0,035	0,148	0,098	0,014	0,005	0,033
203	10	0,063	-0,01	0,267	0,017	0	0,029
204	10	0,095	-0,343	-0,024	0,014	-0,001	0,029
205	10	0,266	0,022	0,109	0,02	-0,004	0,022
206	10	0,011	0,115	0,171	0,019	-0,001	0,034
207	10	-0,03	-0,188	0,101	0,011	0	0,032
208	10	0,343	-0,078	0,049	0,019	0,001	0,03
209	10	0,238	-0,104	0,09	0,017	0,005	0,035
210	10	0,246	-0,016	0,208	0,022	0,003	0,037
211	10	0,185	-0,05	0,17	0,025	0,007	0,03
212	10	0,371	0,132	0,024	0,025	0,003	0,036
213	10	0,31	-0,008	0,065	0,019	0,004	0,025
214	10	0,356	-0,019	-0,003	0,025	0,008	0,033
215	10	0,338	-0,181	0,047	0,022	0,005	0,031
216	10	0,263	0,13	-0,072	0,021	0,005	0,034
217	10	0,419	-0,133	0,052	0,018	0,003	0,032

218	10	0,528	-0,053	-0,11	0,016	0,002	0,031
219	10	0,202	0,097	-0,092	0,021	0,004	0,031
220	10	0,426	0,064	-0,318	0,02	0	0,019
221	10	0,388	-0,307	-0,311	0,018	0,001	0,018
222	10	0,257	-0,208	<b>-0,342</b>	0,021	0,001	0,026
223	10	0,089	0,103	-0,21	<b>0,027</b>	0,008	0,031
		(S-JTSK v metrech)			(v šedesátinných stupních)		
úplná střední chyba <b>m</b>		0,299	0,173	0,138	0,0164	0,0053	0,0230
systematická chyba <b>c</b>		0,028	0,000	0,029	0,0019	-0,0017	0,0074
náhodná složka <b>σ</b>		0,297	0,173	0,135	0,0163	0,0050	0,0218
maximální chyba		-0,721	0,450	-0,342	0,0270	-0,0160	0,0390
z počtu 97 zjištěných rozdílů							

### Chyby prvků vnější orientace Blok 502/2006

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 502 / 2006	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	K	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	62,9	76,3	69,1	50,5	72,2	61,9	68,27
<-2m...+2m>	96,9	94,8	94,8	100,0	96,9	100,0	95,45
<-3m...+3m>	100,0	99,0	100,0	100,0	99,0	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,27

### Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT Blok 504-jih, liché řady/2005

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	dω	dφ	dk
390	7	0,063	0,011	0,031	0,002	-0,005	0,009
391	7	0,05	-0,151	-0,007	0,001	-0,003	0,007
392	7	0,048	-0,046	0,031	0,002	0	0,008
393	7	-0,094	-0,011	-0,149	0,001	0,001	0,005
395	7	0,155	0,179	-0,102	0,003	0,001	0,007
396	7	<b>0,564</b>	0,103	-0,098	0,001	-0,002	0,006
397	7	0,17	0,049	-0,079	0	0,002	0,006
398	7	0,067	-0,109	-0,089	-0,002	0,002	0,007
399	7	0,018	-0,058	-0,083	-0,001	0,002	0,008
400	7	0,079	-0,016	-0,03	0,001	0,005	0,009
401	7	0,3	-0,101	-0,034	0,002	0,003	0,009
402	7	0,138	-0,023	-0,137	0,002	-0,001	0,006
403	7	0,152	-0,165	-0,052	0	0,001	0,003
404	7	0,23	-0,128	0,011	0,002	-0,002	0,005
405	7	0,083	0,077	0,039	0,003	0,003	0
406	7	0,092	-0,126	-0,14	0	-0,001	0
407	7	0,323	-0,044	0,048	0,002	0,002	-0,001
408	7	0,298	-0,057	0,031	0,001	0,002	-0,003
409	7	0,141	0,124	-0,058	0,006	0,001	-0,001
410	7	0,204	-0,239	-0,094	-0,001	0,005	-0,002
411	7	0,151	-0,134	-0,036	0,001	0,002	-0,004
412	7	-0,025	-0,241	0,135	-0,003	0,002	-0,005
413	7	-0,016	0,146	0,113	0,003	0,001	-0,005
414	7	0,275	0,104	0,053	0,004	-0,004	-0,002
415	7	-0,181	-0,188	0,07	0	0,004	-0,005
441	9	0,383	0,142	0,139	-0,007	<b>-0,014</b>	0,011
442	9	0,542	-0,083	-0,139	<b>-0,008</b>	-0,011	0,009
443	9	-0,433	0,151	-0,057	-0,004	-0,001	0,01
444	9	-0,024	0,053	-0,089	-0,003	-0,003	0,007
445	9	0,352	-0,103	0,151	-0,007	-0,008	0,006
446	9	0,015	-0,091	-0,014	<b>-0,008</b>	-0,008	0,011
447	9	0,017	0,041	-0,03	-0,005	0,001	0,01
448	9	0,112	<b>0,322</b>	-0,081	0	-0,003	0,012
449	9	-0,013	0,242	0,017	0	0,001	0,01
450	9	0,095	-0,058	0,112	-0,006	-0,006	<b>0,013</b>
452	9	0,027	0,241	-0,06	-0,002	0,001	0,007
453	9	0,31	0,26	0,072	0,002	-0,003	0,007
454	9	0,462	-0,168	0,038	-0,005	-0,001	0,005
455	9	0,027	0,045	<b>-0,239</b>	-0,001	-0,003	0,005
456	9	-0,207	-0,121	-0,068	-0,005	0	0,008
457	9	0,115	0,102	-0,203	-0,002	-0,003	0,006
458	9	0,087	-0,002	0,087	-0,002	0,001	0,005



459	9	0,035	0,048	0,014	-0,001	0,003	0,005
460	9	0,228	0,093	0,121	-0,001	-0,004	0,004
461	9	0,103	0,017	0,085	-0,001	-0,003	0,004
462	9	0,007	-0,051	0,068	-0,002	-0,003	0,002
463	9	0,146	-0,069	-0,014	-0,001	-0,001	-0,003
464	9	-0,084	0,075	0,004	0	0,003	-0,003
465	9	-0,225	-0,145	-0,006	-0,002	0	0,004
466	9	-0,095	-0,046	0,049	-0,001	0,002	-0,003
		(S-JTSK v metrech)			(v šedesátinných stupních)		
úplná střední chyba <b>m</b>		0,214	0,130	0,090	0,0032	0,0039	0,0066
systematická chyba <b>c</b>		0,105	-0,003	-0,013	-0,0009	-0,0009	-0,0043
náhodná složka <b><math>\sigma</math></b>		0,186	0,130	0,089	0,0031	0,0038	0,0050
maximální chyba		0,564	0,322	-0,239	-0,0080	-0,0140	0,0130

z počtu 50 zjištěných rozdílů

### Chyby prvků vnější orientace Blok 504-jih, liché řady/2005

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 504-jih, liché ř. /2005	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	K	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	72,0	68,0	70,0	78,0	78,0	60,0	68,27
<-2m...+2m>	92,0	98,0	96,0	92,0	92,0	100,0	95,45
<-3m...+3m>	100,0	100,0	100,0	100,0	98,0	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,27

**Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT  
Blok 504-jih, sudé řady/2005**

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	dω	dφ	dk
365	6	0,094	-0,119	0,188	0,003	0,003	-0,01
366	6	0,019	-0,288	0,083	-0,001	0,002	-0,007
367	6	-0,08	0,06	0,041	0,003	0,003	-0,004
368	6	0,186	-0,048	0,082	-0,001	-0,001	-0,004
369	6	0,253	0,051	0,113	0,001	0	-0,005
370	6	0,143	-0,152	0,087	-0,004	-0,002	-0,004
371	6	-0,129	-0,16	0,105	-0,002	0,001	-0,008
372	6	0,033	-0,09	0,089	-0,001	0,001	-0,004
373	6	-0,089	-0,015	0,099	0	-0,001	-0,005
374	6	0,248	0,119	0,256	0,001	-0,002	-0,002
375	6	0,026	-0,261	0,151	-0,004	0,002	0,001
376	6	0,282	0,003	0,2	0,001	0	0,003
377	6	0,179	-0,234	0,176	-0,001	0,002	-0,002
378	6	0,016	-0,063	0,017	0,001	0,003	-0,004
379	6	0,287	0,109	-0,022	0,005	-0,001	-0,007
380	6	0,154	0,076	-0,005	0,003	0,001	-0,008
381	6	0,092	0,107	-0,043	0,001	0,004	-0,01
382	6	0,211	-0,066	-0,044	0	0,002	-0,009
383	6	-0,096	-0,193	0,091	-0,005	-0,001	-0,006
384	6	-0,071	-0,03	0,059	0,003	0,004	-0,011
385	6	-0,075	0,023	0,124	0,002	0,004	<b>-0,016</b>
386	6	-0,142	-0,194	0,01	-0,001	0,001	-0,009
387	6	0,032	0,113	0,025	0,004	0	-0,009
388	6	0,071	0,113	0,206	0,006	-0,003	-0,007
389	6	0,075	0,064	0,044	<b>0,01</b>	0	-0,002
416	8	-0,313	-0,23	0	-0,002	0,004	-0,015
417	8	-0,215	-0,037	-0,002	0	0	-0,007
418	8	-0,059	-0,076	-0,1	-0,002	0,002	-0,008
419	8	-0,242	-0,144	0,154	-0,002	0,003	-0,005
420	8	-0,234	-0,123	0,023	-0,002	0,002	-0,007
421	8	-0,074	-0,025	0,183	0,002	0,002	-0,007
422	8	-0,046	-0,047	-0,057	0,001	0	-0,01
423	8	-0,142	-0,125	-0,047	-0,002	0,006	-0,008
424	8	-0,22	0,135	0,145	0,002	0,003	-0,009
425	8	0,031	0,077	-0,063	0	-0,002	-0,007
426	8	-0,1	0,075	-0,107	-0,002	0,003	-0,008
427	8	-0,561	-0,235	0,16	-0,005	<b>0,01</b>	-0,01
428	8	-0,109	-0,082	-0,044	-0,004	0,004	-0,01
429	8	0,247	0,008	0,155	-0,001	-0,004	-0,011
430	8	-0,081	0,213	-0,183	0,001	0,001	-0,011
431	8	-0,25	0,124	-0,135	0	0,003	-0,011
432	8	-0,164	-0,16	-0,181	-0,006	0	-0,008

433	8	-0,315	<b>0,311</b>	-0,096	-0,001	0,003	-0,015
434	8	-0,155	0,183	-0,011	0,001	0,001	-0,008
435	8	-0,05	0,084	0,022	-0,002	0,002	-0,009
436	8	-0,257	-0,233	0,062	-0,006	0,002	-0,012
437	8	-0,183	-0,167	-0,099	-0,004	0	-0,01
438	8	-0,351	0,128	0,001	0,001	0,006	-0,015
439	8	-0,236	-0,246	0,026	-0,004	0,002	-0,015
440	8	0,317	0,045	<b>0,292</b>	-0,002	-0,009	<b>-0,016</b>
467	10	-0,145	-0,047	0,042	-0,002	0,002	0
468	10	-0,383	0,005	0,072	-0,002	0,005	-0,003
469	10	-0,084	0,153	-0,017	-0,002	-0,002	-0,001
470	10	-0,069	-0,024	-0,007	-0,004	0	0,003
471	10	0,016	0,138	0,186	-0,002	-0,005	0,002
472	10	-0,198	0,085	-0,01	-0,002	0,001	0,004
473	10	-0,268	0,272	0,174	0	-0,001	0,002
474	10	-0,24	-0,053	-0,028	-0,002	0,003	0,003
475	10	-0,151	-0,088	0,101	-0,005	0,003	0
476	10	-0,179	-0,016	-0,145	-0,006	0,003	0,003
477	10	-0,221	0,235	0,187	-0,003	0,004	0,006
478	10	-0,058	-0,135	0,016	-0,009	0,001	0,008
479	10	<b>-0,563</b>	0,203	-0,115	-0,004	0,003	0,007
480	10	-0,226	0,125	0,114	-0,003	0,001	0,005
481	10	-0,012	-0,117	-0,014	-0,007	0,003	-0,011

(S-JTSK v metrech)

(v šedesátinných stupních)

úplná střední chyba <b>m</b>	0,204	0,142	0,115	0,0033	0,0030	0,0082
systematická chyba <b>c</b>	-0,074	-0,014	0,043	-0,0010	0,0013	-0,0057
náhodná složka <b><math>\sigma</math></b>	0,190	0,142	0,107	0,0032	0,0027	0,0059
maximální chyba	-0,563	0,311	0,292	0,0100	0,0100	-0,0160

z počtu 65 zjištěných rozdílů

### Chyby prvků vnější orientace Blok 504-jih, sudé řady/2005

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 504-jih, sudé ř. /2005	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	K	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	63,1	67,7	69,2	70,8	80,0	64,6	68,27
<-2m...+2m>	96,9	96,9	96,9	95,4	96,9	100,0	95,45
<-3m...+3m>	100,0	100,0	100,0	98,5	98,5	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	0,0	0,0	1,5	1,5	0,0	0,27

### Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT Blok 502, liché řady/2005

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	dw	dφ	dk
132	9	0,187	0,044	-0,106	-0,034	-0,025	0,01
133	9	0,442	-0,076	0,08	-0,035	-0,026	0,006
134	9	-0,015	-0,028	-0,066	-0,036	-0,02	0,009
135	9	0,128	0,089	-0,231	-0,033	-0,02	0,009
136	9	0,279	-0,139	-0,111	-0,038	-0,017	0,01
137	9	0,021	-0,035	0,056	-0,034	-0,012	0,009
138	9	0,181	-0,131	-0,141	-0,037	-0,019	0,009
139	9	0,213	0,068	-0,048	-0,032	-0,018	0,007
140	9	0,397	0,041	0,132	-0,036	-0,021	0,005
141	9	0,21	-0,075	-0,071	-0,038	-0,015	0,006
142	9	<b>0,463</b>	0,097	-0,061	-0,032	-0,018	0,005
143	9	0,141	0,006	0,117	-0,036	-0,018	0,003
144	9	0,256	-0,077	0,019	-0,036	-0,019	<b>0,014</b>
145	9	0,23	0,039	-0,027	-0,038	-0,016	0,007
146	9	0,273	-0,033	-0,007	-0,038	-0,016	0,01
147	9	-0,101	0,055	0,035	-0,035	-0,014	0,006
148	9	0,115	0,031	-0,049	-0,036	-0,015	0,005
149	9	0,197	-0,013	0,162	-0,039	-0,021	0,007
150	9	-0,078	0,137	-0,057	-0,039	-0,018	0,007
151	9	-0,025	<b>-0,178</b>	<b>0,37</b>	<b>-0,047</b>	-0,017	0,001
152	9	0,056	0,054	0,082	-0,046	-0,016	0,009
172	7	0,135	-0,029	0,008	-0,027	<b>-0,027</b>	0,003
173	7	0,29	0,007	0,052	-0,028	-0,024	0,006
174	7	0,167	-0,18	-0,085	-0,032	-0,024	0,003
175	7	0,188	-0,032	0,033	-0,03	-0,026	0,006
176	7	0,01	-0,142	-0,038	-0,038	-0,02	0,01
177	7	0,124	0,081	0,033	-0,035	-0,019	0,006
178	7	0,112	-0,022	-0,071	-0,037	-0,017	0,006
179	7	0,102	0,055	-0,004	-0,033	-0,023	0,007
180	7	0,283	-0,022	-0,079	-0,037	-0,022	0,007
181	7	0,192	0,017	0,118	-0,035	-0,023	0,007
182	7	0,338	0,055	-0,012	-0,031	-0,019	0,008
183	7	0,021	-0,061	0,126	-0,036	-0,019	0,01
184	7	0,048	-0,002	-0,054	-0,039	-0,018	0,007
185	7	0,109	0,009	0,064	-0,038	-0,018	0,007
186	7	0,13	0,054	0,155	-0,04	-0,016	0,006
187	7	0,018	-0,005	-0,002	-0,04	-0,017	0,007
188	7	0,112	0,085	0,046	-0,039	-0,018	0,008
189	7	0,01	0,064	0,078	-0,037	-0,015	0,011

	(S-JTSK v metrech)			(v šedesátinných stupních)		
úplná střední chyba <b>m</b>	0,202	0,076	0,104	0,0362	0,0194	0,0076
systematická chyba <b>c</b>	0,153	-0,005	0,011	-0,0360	-0,0191	0,0071
náhodná složka <b><math>\sigma</math></b>	0,131	0,076	0,104	0,0039	0,0035	0,0025
maximální chyba	0,463	-0,178	0,370	-0,0470	-0,0270	0,0140

z počtu 39 zjištěných rozdílů

### Chyby prvků vnější orientace Blok 502, liché řady/2005

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 502, liché ř. / 2005	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	K	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	69,2	71,8	71,8	53,8	64,1	64,1	68,27
<-2m...+2m>	94,9	94,9	94,9	100,0	100,0	100,0	95,45
<-3m...+3m>	100,0	100,0	97,4	100,0	100,0	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,27

**Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT  
Blok 502, sudé řady/2005**

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	dω	dφ	dk
110	10	0,024	-0,031	0,03	0,021	<b>0,025</b>	0,005
111	10	0,014	0,037	0,057	0,029	0,02	0,008
112	10	-0,084	-0,068	-0,313	0,027	0,019	0,007
113	10	0,044	-0,073	-0,03	0,029	0,018	0,009
114	10	-0,008	0,063	0,069	0,032	0,019	0,013
115	10	-0,084	0,025	-0,011	0,032	<b>0,025</b>	0,011
116	10	-0,061	0,003	0,089	0,035	0,023	0,012
117	10	-0,149	0,001	0,034	0,034	0,02	0,015
118	10	0,187	0,075	0,116	0,035	0,017	0,013
119	10	-0,12	0,02	-0,026	0,033	0,02	0,009
120	10	-0,065	-0,019	0,119	0,035	<b>0,025</b>	0,007
121	10	-0,11	0,053	-0,049	0,035	0,02	0,008
122	10	-0,15	0,035	0,032	0,037	0,022	0,008
123	10	0,01	0,076	0,093	0,038	0,022	0,01
124	10	0,008	-0,079	0,062	0,034	0,016	0,007
125	10	0,086	0,072	-0,046	0,035	0,019	0,009
126	10	-0,059	-0,113	-0,173	0,031	0,022	0,007
127	10	-0,018	-0,078	0,055	0,031	0,023	0,011
128	10	0,027	0,017	-0,02	0,034	0,02	0,005
129	10	-0,124	0,066	-0,046	0,036	0,019	0,008
130	10	-0,011	0,008	0,002	0,035	0,018	0,013
131	10	-0,145	-0,011	0,19	0,037	0,014	0,015
153	8	-0,062	0,05	-0,24	0,029	0,011	0,012
154	8	-0,08	0,057	-0,036	0,03	0,022	0,014
155	8	-0,071	0,101	0,022	0,032	0,017	0,013
156	8	-0,115	-0,115	-0,092	0,033	<b>0,025</b>	0,012
157	8	-0,364	-0,046	0,122	0,033	0,02	0,009
158	8	0,072	0,104	0,043	0,034	0,018	0,009
159	8	-0,129	-0,021	-0,087	0,033	0,021	0,005
160	8	-0,172	-0,044	0,043	0,032	0,019	0,011
161	8	-0,271	-0,065	-0,013	0,032	0,016	0,01
162	8	-0,102	0,136	0,103	0,036	<b>0,025</b>	0,011
163	8	-0,116	-0,023	0,115	0,033	0,021	0,011
164	8	-0,086	0,027	-0,017	0,034	0,023	0,011
165	8	0,007	0,049	0,05	0,035	0,02	0,003
166	8	-0,205	-0,094	0,024	0,033	0,02	0,011
167	8	<b>-0,438</b>	-0,119	-0,084	0,035	0,02	0,003
168	8	-0,077	0,179	-0,005	0,039	0,017	0,013
169	8	-0,326	-0,024	-0,064	0,038	0,017	0,014
170	8	-0,336	<b>-0,218</b>	-0,033	0,031	0,018	0,013
171	8	0,015	-0,088	0,243	0,036	0,009	0,007
190	6	-0,146	-0,048	-0,242	0,029	0,016	0,007

191	6	-0,076	0,068	-0,142	0,033	0,019	0,008
192	6	-0,116	0,031	-0,069	0,032	0,019	0,004
193	6	-0,104	-0,05	-0,007	0,032	0,018	0,007
194	6	-0,226	0,07	-0,11	0,033	0,021	0,011
195	6	-0,152	-0,114	0,081	0,034	0,02	0,009
196	6	-0,125	0,032	0	0,035	0,019	0,007
197	6	-0,177	0,099	0,02	0,038	0,019	0,006
198	6	-0,213	0,002	-0,068	0,034	0,02	0,006
199	6	-0,106	-0,046	0,001	0,034	0,019	0,002
200	6	-0,217	0,182	-0,124	0,035	0,017	0,009
201	6	-0,18	0,035	-0,028	0,035	0,019	0,012
202	6	-0,341	0,015	0,038	0,036	0,019	0,015
203	6	0,014	0,055	0,155	0,037	0,017	0,014
204	6	-0,33	-0,079	0,079	0,036	0,022	0,015
205	6	-0,173	-0,156	0,168	0,037	0,015	0,021
206	6	-0,064	-0,002	<b>0,366</b>	<b>0,045</b>	0,013	<b>0,022</b>

(S-JTSK v metrech)

(v šedesátinných stupních)

úplná střední chyba <b>m</b>	0,162	0,079	0,113	0,0339	0,0195	0,0107
systematická chyba <b>c</b>	-0,110	0,000	0,008	0,0337	0,0192	0,0099
náhodná složka <b><math>\sigma</math></b>	0,119	0,079	0,337	0,1810	0,1382	0,1027
maximální chyba	-0,438	-0,218	0,366	0,0450	0,0250	0,0220

z počtu 58 zjištěných rozdílů

### Chyby prvků vnější orientace Blok 502, sudé řady/2005

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 502, sudé ř. / 2005	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	K	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	72,4	75,9	74,1	43,1	53,4	53,4	68,27
<-2m...+2m>	89,7	94,8	91,4	100,0	100,0	98,3	95,45
<-3m...+3m>	100,0	100,0	98,3	100,0	100,0	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,27

## Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT Blok 504-jih, liché řady/2006

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	dω	dφ	dk
1	10	-0,026	-0,075	0,011	-0,015	-0,004	-0,032
2	10	-0,328	0,121	-0,176	-0,022	-0,002	-0,028
3	10	-0,156	-0,099	-0,118	-0,019	-0,001	-0,022
4	10	-0,162	-0,125	-0,138	-0,026	0,001	-0,03
5	10	0,122	-0,039	-0,218	-0,019	0	-0,019
6	10	-0,092	-0,115	-0,214	-0,022	0,003	-0,027
7	10	-0,145	0,222	-0,2	-0,014	0	-0,029
8	10	-0,074	0,031	-0,066	-0,022	-0,008	-0,033
9	10	0,034	0,086	0,033	-0,016	-0,003	-0,04
10	10	0,306	0,187	0,017	-0,022	-0,005	-0,039
11	10	0,094	-0,002	-0,024	-0,02	-0,001	-0,027
12	10	0,012	0,107	-0,043	<b>-0,028</b>	-0,007	-0,044
13	10	-0,215	0,017	0,001	-0,017	-0,003	-0,041
14	10	0,021	0,155	0,009	-0,011	-0,005	-0,034
15	10	-0,018	-0,368	0,109	-0,024	-0,006	-0,042
16	10	-0,059	0,09	-0,145	-0,02	-0,003	-0,037
17	10	-0,046	0,056	0,076	-0,013	-0,004	-0,038
18	10	0,175	0,128	0,024	-0,02	-0,001	-0,037
19	10	-0,295	0,309	0,006	-0,013	-0,001	-0,023
20	10	-0,001	0,284	-0,105	-0,017	-0,001	-0,031
21	10	-0,056	-0,016	0,048	-0,02	-0,002	-0,033
22	10	-0,106	0,134	0,108	-0,014	-0,003	-0,015
23	10	0,076	0,138	0,144	-0,011	-0,005	-0,024
24	10	-0,038	-0,045	0,081	-0,008	-0,003	-0,016
25	10	-0,204	-0,108	0,017	-0,019	-0,006	-0,018
51	8	-0,258	0,123	0,075	-0,005	-0,002	<b>-0,05</b>
52	8	-0,313	-0,06	-0,141	-0,015	-0,002	-0,039
53	8	-0,466	-0,136	-0,017	-0,016	0,002	-0,046
54	8	-0,667	-0,091	0,045	-0,016	0,003	-0,046
55	8	-0,161	0,214	-0,054	-0,015	-0,003	-0,042
56	8	-0,317	-0,229	-0,125	-0,018	0,002	-0,025
57	8	-0,535	-0,009	-0,141	-0,018	0,002	-0,03
58	8	-0,45	0,195	-0,063	-0,018	-0,001	-0,035
59	8	-0,007	-0,02	0,066	-0,018	-0,003	-0,035
60	8	-0,428	0,12	0,076	-0,014	0,005	-0,029
61	8	-0,285	0,062	0	-0,017	-0,001	-0,03
62	8	-0,161	-0,051	0,125	-0,019	-0,004	-0,019
63	8	-0,542	-0,063	0,122	-0,019	0	-0,024
64	8	-0,421	-0,053	0,052	-0,02	-0,004	-0,02
65	8	-0,203	0,106	0,02	-0,017	-0,003	-0,016
66	8	-0,256	-0,248	-0,326	-0,023	0,001	-0,029
67	8	-0,226	-0,048	0,027	-0,022	-0,001	-0,018



68	8	-0,453	0,315	-0,029	-0,018	0,002	-0,016
69	8	-0,306	0,151	0,126	-0,018	-0,001	-0,013
70	8	-0,215	-0,248	-0,008	-0,021	-0,004	-0,02
71	8	-0,162	0,261	-0,047	-0,011	0	-0,016
72	8	-0,285	0,017	0,113	-0,022	-0,002	-0,023
73	8	-0,184	0,043	0,158	-0,019	-0,003	-0,018
74	8	-0,335	0,102	0,024	-0,011	0	-0,017
75	8	-0,161	-0,045	0,019	-0,016	-0,007	-0,001
101	6	-0,061	-0,232	0,213	-0,01	0	-0,009
102	6	-0,198	-0,187	<b>0,329</b>	-0,01	0	-0,038
103	6	-0,363	0,085	0,033	-0,014	0,004	-0,017
104	6	-0,671	-0,041	0,143	-0,013	0	-0,022
105	6	-0,427	-0,048	0,119	-0,012	-0,001	-0,008
106	6	-0,574	-0,099	0,121	-0,023	-0,003	0,009
107	6	-0,353	0,139	0,171	-0,014	-0,006	-0,001
108	6	-0,292	-0,036	-0,101	-0,006	-0,006	-0,018
109	6	<b>-0,98</b>	0,216	0,05	-0,01	0,004	-0,021
110	6	-0,613	-0,129	0,203	-0,017	0,003	-0,025
111	6	-0,478	-0,204	0,147	-0,021	-0,001	-0,017
112	6	-0,339	-0,071	-0,028	-0,026	-0,002	0,007
113	6	-0,612	0,275	0,004	-0,017	-0,002	-0,018
114	6	-0,437	0,159	0,051	-0,016	0	0,014
115	6	-0,35	-0,202	-0,126	-0,018	-0,007	0,014
116	6	-0,672	-0,063	0,006	-0,011	-0,002	-0,002
117	6	-0,606	-0,194	-0,132	-0,026	-0,001	-0,018
118	6	-0,652	0,032	0	-0,014	-0,001	-0,014
119	6	-0,413	0,127	0,052	-0,02	0,003	0,014
120	6	-0,263	0,071	0,009	-0,015	-0,004	0,009
121	6	-0,339	0,327	-0,12	-0,011	-0,007	0,007
122	6	-0,188	<b>0,437</b>	-0,112	-0,012	<b>-0,01</b>	-0,01
123	6	-0,41	0,103	-0,278	-0,017	-0,006	-0,002
124	6	-0,357	-0,151	-0,137	-0,023	-0,005	-0,002
125	6	-0,175	-0,035	-0,141	-0,019	-0,001	-0,004
			(S-JTSK v metrech)			(v šedesátinných stupních)	
úplná střední chyba <b>m</b>		0,350	0,160	0,119	0,0176	0,0036	0,0261
systematická chyba <b>c</b>		-0,264	0,023	-0,003	-0,0170	-0,0019	-0,0211
náhodná složka <b>σ</b>		0,230	0,156	0,119	0,0048	0,0031	0,0154
maximální chyba		-0,980	0,437	0,329	-0,0280	-0,0100	-0,0500
z počtu 75 zjištěných rozdílů							

## Chyby prvků vnější orientace Blok 504-jih, liché řady/2006

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 504-jih, liché ř. /2006	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	$\kappa$	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	68,0	72,0	62,7	52,0	68,0	60,0	68,27
<-2m...+2m>	98,7	96,0	96,0	100,0	97,3	100,0	95,45
<-3m...+3m>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,27

**Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT  
Blok 504-jih, sudé řady/2006**

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	dω	dφ	dk
26	9	0,111	0,103	0,168	0,018	0,006	0,027
27	9	0,358	0,037	0,155	0,019	0	0,018
28	9	0,417	0,049	0,159	0,016	0,003	0,019
29	9	0,593	-0,158	-0,078	0,023	0,003	0,016
30	9	0,231	-0,233	-0,007	0,021	<b>0,009</b>	0,019
31	9	0,493	0,144	-0,031	0,014	0,001	0,018
32	9	0,923	-0,126	-0,057	0,017	-0,006	0,013
33	9	0,134	-0,379	<b>0,299</b>	0,007	0,008	0,001
34	9	0,327	0,091	-0,129	0,015	0,005	0,013
35	9	0,16	0,1	-0,104	0,021	0,004	0,008
36	9	0,369	0,099	-0,054	0,022	0,001	0,016
37	9	0,75	0,023	-0,05	0,005	-0,004	0,012
38	9	0,3	-0,322	0,083	0,011	0	0,013
39	9	0,348	-0,189	0,156	0,015	-0,002	0,012
40	9	0,443	-0,175	-0,045	0,013	-0,003	0,011
41	9	0,492	0,206	-0,069	0,023	-0,005	0,021
42	9	0,687	-0,1	-0,038	0,018	-0,005	0,016
43	9	<b>0,863</b>	-0,201	0,043	0,011	-0,005	0,016
44	9	0,302	-0,1	0,047	0,018	-0,003	0,025
45	9	0,469	0,013	-0,002	0,024	0	0,028
46	9	0,615	-0,164	-0,043	0,014	-0,003	0,025
47	9	0,454	0,054	0,002	0,025	0,001	0,024
48	9	0,411	-0,369	-0,218	0,012	-0,001	0,008
49	9	0,648	-0,037	-0,047	0,02	-0,008	0,013
50	9	0,329	0,117	-0,007	0,021	-0,002	0,002
76	7	0,108	0,067	0,174	0,007	-0,001	0,014
77	7	0,377	0,208	0,082	0,011	-0,002	0,022
78	7	0,348	-0,115	-0,048	0,016	-0,005	0,01
79	7	0,09	-0,024	0,04	0,01	-0,001	0,008
80	7	0,394	-0,206	0,036	0,009	-0,004	0,011
81	7	0,191	0,121	0,016	0,016	-0,002	0,019
82	7	0,515	-0,002	0,092	0,013	-0,003	0,01
83	7	0,326	-0,119	-0,055	0,013	-0,003	0,025
84	7	0,18	0,015	0,049	0,005	-0,002	0,02
85	7	0,134	-0,081	0,013	0,011	0	0,015
86	7	-0,132	-0,147	0,08	0,016	0,003	0,026
87	7	0,264	0,295	0,12	0,021	-0,001	0,026
88	7	0,356	0,016	0,1	0,017	0,001	0,024
89	7	0,297	-0,143	0,001	0,012	-0,003	0,017
90	7	0,257	<b>-0,386</b>	-0,155	0,01	0	0,026
91	7	0,253	-0,1	0,014	0,018	0,003	0,033
92	7	0,622	-0,182	0,081	0,019	-0,004	<b>0,034</b>

93	7	0,308	-0,028	-0,095	0,02	-0,002	0,025
94	7	0,397	0,093	-0,08	<b>0,029</b>	-0,003	0,026
95	7	0,656	-0,179	0,008	0,018	-0,006	0,025
96	7	0,338	-0,154	-0,021	0,02	0	0,027
97	7	0,178	-0,292	0,043	0,017	-0,002	0,021
98	7	0,274	-0,15	0,104	0,019	0	0,026
99	7	0,205	-0,154	0,047	0,019	-0,003	0,019
100	7	0,449	0,118	0,045	0,027	-0,005	0,016
		(S-JTSK v metrech)			(v šedesátinných stupních)		
úplná střední chyba <b>m</b>		0,424	0,169	0,096	0,0172	0,0037	0,0197
systematická chyba <b>c</b>		0,372	-0,061	0,016	0,0163	-0,0010	0,0183
náhodná složka <b><math>\sigma</math></b>		0,203	0,158	0,094	0,0054	0,0035	0,0074
maximální chyba		0,803	-0,386	0,299	0,0290	0,0090	0,0340

z počtu 50 zjištěných rozdílů

### Chyby prvků vnější orientace Blok 504-jih, sudé řady/2006

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 504-jih, sudé ř. /2006	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	K	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	68,0	70,0	74,0	54,0	68,0	58,0	68,27
<-2m...+2m>	96,0	94,0	96,0	100,0	94,0	100,0	95,45
<-3m...+3m>	100,0	100,0	98,0	100,0	100,0	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,27

### Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT Blok 502, liché řady/2006

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	dω	dφ	dk
143	7	-0,219	-0,085	0,218	-0,012	-0,006	-0,022
144	7	-0,439	-0,025	0,207	-0,018	-0,003	-0,011
145	7	-0,335	0,027	0,233	-0,013	-0,004	-0,023
146	7	-0,597	0,081	0,194	-0,01	-0,001	-0,011
147	7	-0,652	0,143	0,092	-0,011	-0,001	-0,006
148	7	-0,435	0,015	0,086	-0,022	-0,003	-0,018
149	7	-0,307	-0,018	-0,141	-0,013	-0,003	-0,022
150	7	-0,178	0,174	0,045	-0,021	-0,008	-0,015
151	7	-0,454	0,029	0,024	-0,009	-0,007	0,013
152	7	-0,46	-0,099	-0,097	-0,014	-0,003	0,006
153	7	-0,449	0,23	-0,079	-0,006	-0,004	0,025
154	7	-0,38	-0,226	-0,21	-0,024	-0,002	-0,021
155	7	-0,444	0,051	-0,056	-0,017	-0,006	-0,015
156	7	<b>-0,721</b>	-0,168	-0,005	-0,013	-0,002	-0,014
157	7	0,05	0,136	-0,126	-0,007	<b>-0,016</b>	-0,01
158	7	-0,202	<b>0,761</b>	-0,122	-0,013	-0,009	0,011
159	7	-0,516	-0,102	-0,011	-0,019	-0,003	-0,013
160	7	-0,182	0,192	-0,34	-0,018	-0,01	0,004
181	9	-0,087	-0,257	0,013	-0,018	-0,001	-0,018
182	9	-0,447	-0,134	0,05	-0,019	-0,001	-0,02
183	9	-0,118	-0,066	0,049	-0,019	-0,009	-0,015
184	9	-0,257	-0,157	0,052	-0,016	-0,006	-0,011
185	9	-0,148	-0,141	0,201	-0,021	-0,005	-0,02
186	9	0,042	0,171	0,205	-0,014	-0,006	-0,013
187	9	-0,054	-0,035	0,075	-0,017	-0,006	-0,016
188	9	-0,07	0,148	0,003	-0,017	-0,007	-0,02
189	9	-0,129	-0,121	0,154	-0,019	-0,005	-0,023
190	9	-0,209	0,022	0,031	-0,017	-0,008	<b>-0,028</b>
191	9	-0,354	0,032	0,006	-0,017	-0,007	-0,024
192	9	0,164	0,114	0,068	-0,017	-0,013	-0,022
193	9	-0,347	0,246	0,216	-0,012	-0,003	<b>-0,028</b>
194	9	-0,448	-0,013	0,145	-0,017	-0,005	-0,019
195	9	-0,249	-0,177	<b>0,299</b>	-0,023	-0,007	-0,019
196	9	-0,035	-0,005	0,273	-0,023	-0,01	-0,027
197	9	-0,051	0,115	-0,021	-0,023	-0,009	-0,027
198	9	-0,231	0,45	-0,063	-0,021	-0,01	-0,015
199	9	-0,319	0,412	0,034	-0,018	-0,007	-0,027
200	9	-0,185	-0,236	-0,033	<b>-0,025</b>	-0,006	-0,02
201	9	0,102	-0,028	-0,269	-0,02	-0,012	-0,013
		(S-JTSK v metrech)			(v šedesátinných stupních)		
úplná střední chyba <b>m</b>		0,336	0,203	0,149	0,0174	0,0070	0,0187
systematická chyba <b>c</b>		-0,265	0,037	0,036	-0,0168	-0,0061	-0,0146

náhodná složka $\sigma$	0,205	0,199	0,145	0,0046	0,0035	0,0116
maximální chyba	-0,721	0,761	0,299	-0,0250	-0,0160	-0,0280
z počtu 39 zjištěných rozdílů						

### Chyby prvků vnější orientace Blok 502, liché řady/2006

**Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby m**

Blok 502, liché ř. /2006	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	K	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	61,5	79,5	66,7	53,8	71,8	51,3	68,27
<-2m...+2m>	97,4	92,3	94,9	100,0	97,4	100,0	95,45
<-3m...+3m>	100,0	97,4	100,0	100,0	100,0	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,27

**Rozdíly prvků vnější orientace GPS/IMU minus AAT  
Blok 502, sudé řady/2006**

Číslo snímku	řada	dy	dx	dz	dω	dφ	dk
126	6	-0,063	0,119	-0,161	0,007	0,003	0,023
127	6	0,176	-0,084	-0,149	0,011	-0,005	0,012
128	6	0,044	0,171	0,014	0,008	-0,005	0,018
129	6	0,202	-0,245	-0,103	0,007	-0,003	0,038
130	6	0,16	-0,033	0,089	0,02	0,005	0,011
131	6	0,102	-0,305	0,23	0,009	0,008	0,016
132	6	0,069	-0,08	0,171	0,016	0,004	0,015
133	6	0,069	0,196	0,073	0,009	0,001	0,013
134	6	0,024	0,02	-0,029	0,014	0	0,019
135	6	0,326	0,131	-0,045	0,013	-0,002	0,03
136	6	0,097	-0,071	-0,022	0,011	0,002	0,005
137	6	0,155	0,011	-0,023	0,013	0,001	0,026
138	6	0,218	-0,063	-0,042	0,005	0	0,018
139	6	0,089	0,147	-0,02	0,013	0,002	0,003
140	6	0	-0,159	-0,016	0,009	0,002	0,005
141	6	-0,013	-0,035	0,089	0,004	-0,002	-0,007
142	6	0,266	0,078	-0,047	-0,006	<b>-0,01</b>	-0,023
161	8	0,446	0,025	0,005	0,009	-0,003	<b>0,044</b>
162	8	0,148	0,034	0,059	0,015	-0,003	0,034
163	8	0,124	-0,043	0,108	0,006	0	0,018
164	8	0,169	0,16	-0,02	0,014	0,002	0,027
165	8	0,247	0,214	0,052	0,019	0,001	0,012
166	8	0,298	0,177	0,133	0,016	-0,002	0,034
167	8	0,428	0,013	0,042	0,006	-0,005	0,008
168	8	<b>0,666</b>	<b>-0,422</b>	0,103	0,009	-0,004	0,019
169	8	0,267	-0,049	-0,017	0,018	0,001	0,039
170	8	0,253	0,034	0,16	0,01	0,003	0,03
171	8	0,341	0,044	0,049	0,019	0,001	0,03
172	8	0,367	-0,136	0,083	0,013	-0,002	0,022
173	8	0,423	0,099	0,048	0,015	0,005	0,002
174	8	0,222	-0,029	0,129	0,018	0,004	0,026
175	8	0,386	0,073	-0,061	0,012	0,002	0,002
176	8	0,179	-0,096	0,066	0,011	0,005	0,02
177	8	0,265	-0,398	0,199	0,011	0	0,019
178	8	0,217	-0,141	0,217	0,011	0,001	0,017
179	8	0,332	0,072	0,123	0,014	0,002	0,003
202	10	0,035	0,148	0,098	0,014	0,005	0,033
203	10	0,063	-0,01	0,267	0,017	0	0,029
204	10	0,095	-0,343	-0,024	0,014	-0,001	0,029
205	10	0,266	0,022	0,109	0,02	-0,004	0,022
206	10	0,011	0,115	0,171	0,019	-0,001	0,034
207	10	-0,03	-0,188	0,101	0,011	0	0,032
208	10	0,343	-0,078	0,049	0,019	0,001	0,03

209	10	0,238	-0,104	0,09	0,017	0,005	0,035
210	10	0,246	-0,016	0,208	0,022	0,003	0,037
211	10	0,185	-0,05	0,17	0,025	0,007	0,03
212	10	0,371	0,132	0,024	0,025	0,003	0,036
213	10	0,31	-0,008	0,065	0,019	0,004	0,025
214	10	0,356	-0,019	-0,003	0,025	0,008	0,033
215	10	0,338	-0,181	0,047	0,022	0,005	0,031
216	10	0,263	0,13	-0,072	0,021	0,005	0,034
217	10	0,419	-0,133	0,052	0,018	0,003	0,032
218	10	0,528	-0,053	-0,11	0,016	0,002	0,031
219	10	0,202	0,097	-0,092	0,021	0,004	0,031
220	10	0,426	0,064	-0,318	0,02	0	0,019
221	10	0,388	-0,307	-0,311	0,018	0,001	0,018
222	10	0,257	-0,208	<b>-0,342</b>	0,021	0,001	0,026
223	10	0,089	0,103	-0,21	<b>0,027</b>	0,008	0,031

(S-JTSK v metrech)

(v šedesátinných stupních)

úplná střední chyba <b>m</b>	0,271	0,150	0,131	0,0157	0,0037	0,0255
systematická chyba <b>c</b>	0,226	-0,025	0,025	0,0145	0,0012	0,0222
náhodná složka <b><math>\sigma</math></b>	0,150	0,148	0,361	0,1246	0,0609	0,1582
maximální chyba	0,666	-0,422	-0,342	0,2700	-0,0100	0,4400

z počtu 58 zjištěných rozdílů

### Chyby prvků vnější orientace Blok 502, sudé řady/2006

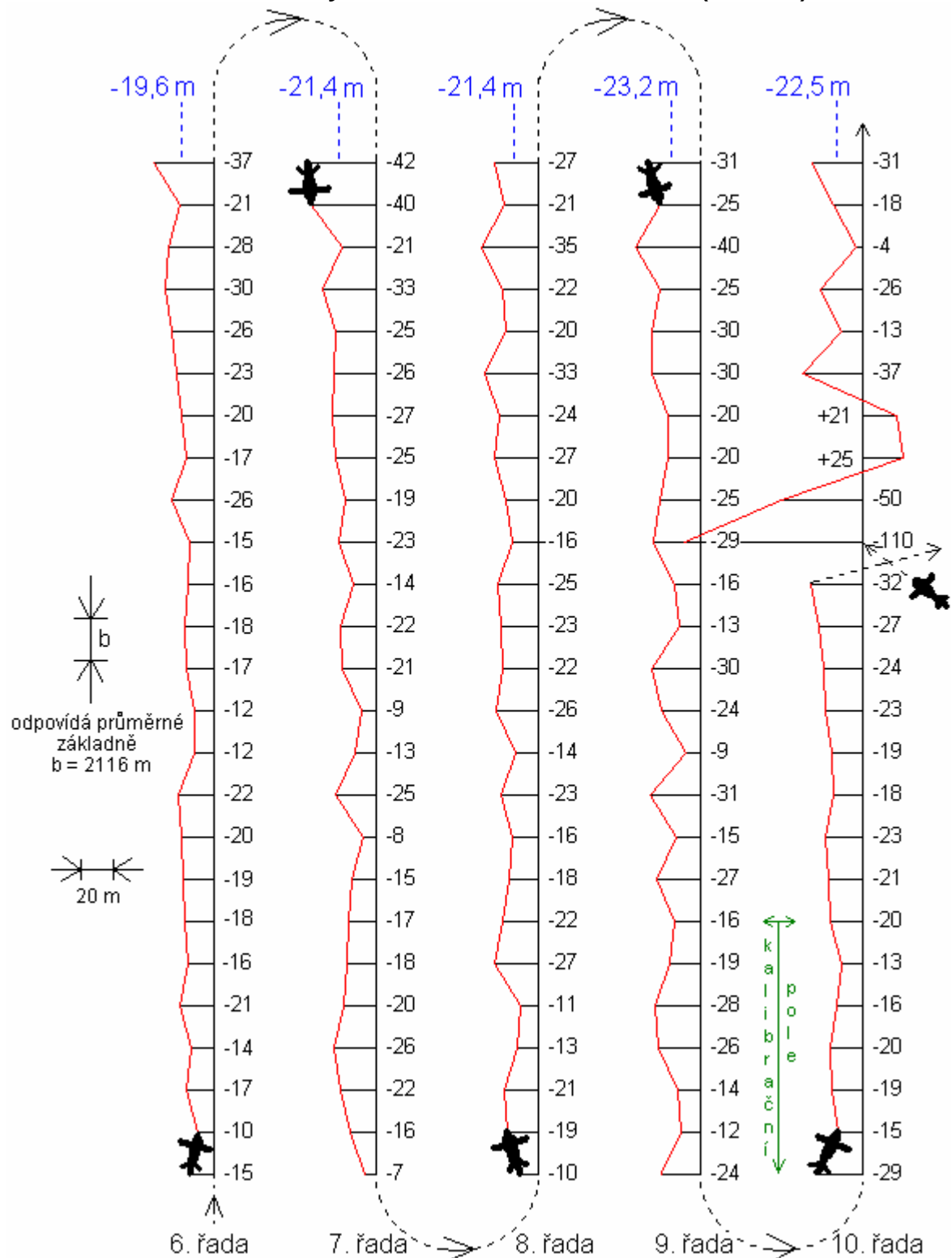
Četnost výskytu chyb prvků vnější orientace určených během snímkového letu  
aparaturou GPS/IMU ve třídách definovaných násobky úplné střední chyby **m**

Blok 502, sudé ř. /2006	Y	X	Z	$\omega$	$\varphi$	K	norm. rozd.
	(četnost v %)						
<-m...+m>	67,2	74,1	72,4	55,2	63,8	50,0	68,27
<-2m...+2m>	98,3	91,4	93,1	100,0	93,1	100,0	95,45
<-3m...+3m>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,73
abs.>3m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,27



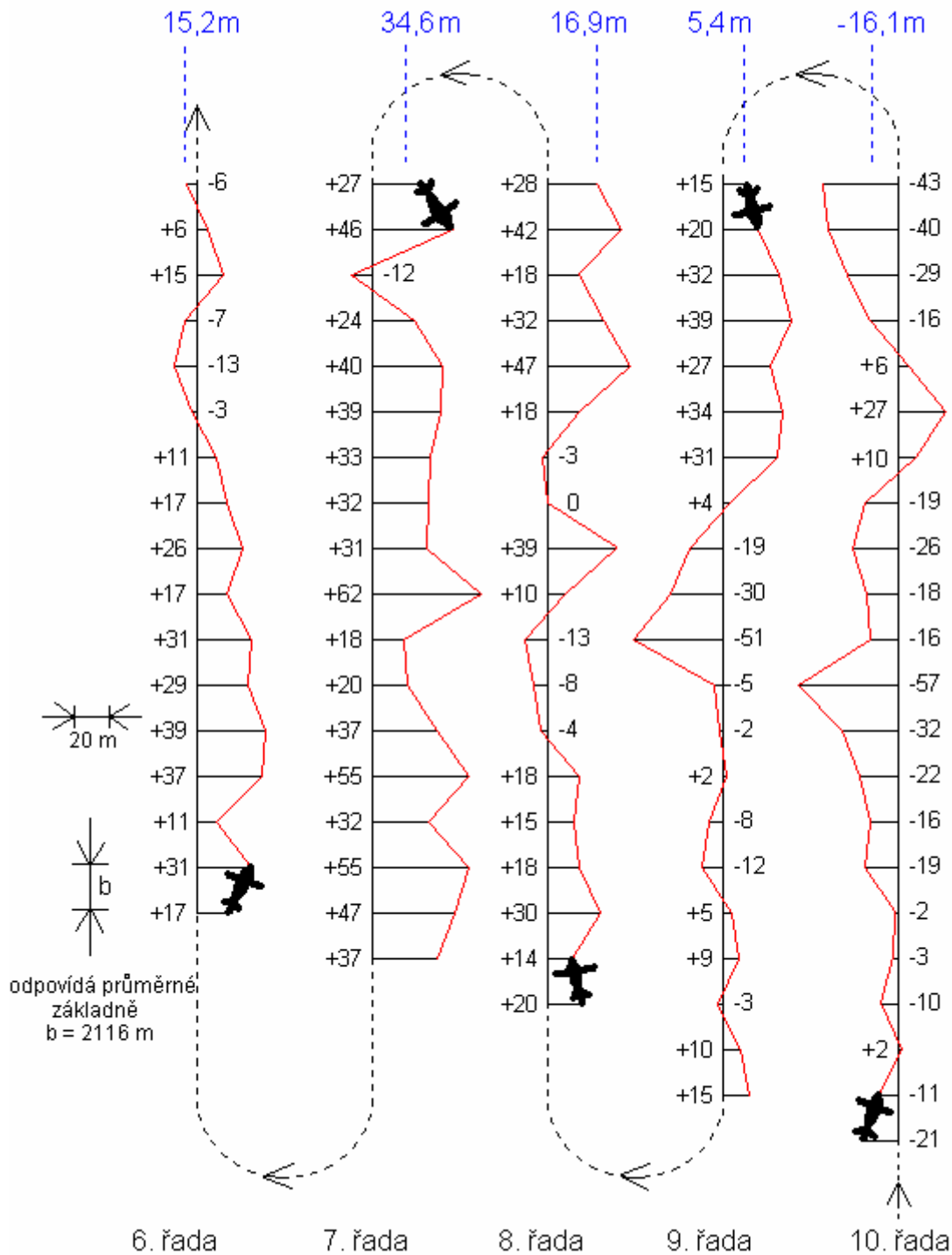
## PŘÍČNÉ ODCHYLKY OD PLÁNOVANÉ LETOVÉ DRÁHY BLOK 504-jih (ARGUS GEO SYSTÉM), 2005

systematické odchylky v jednotlivých snímkových řadách -19,6 až -22,5 m  
maximální dosažená odchylka v bloku ve směru souř. X (S-JTSK) -110 m



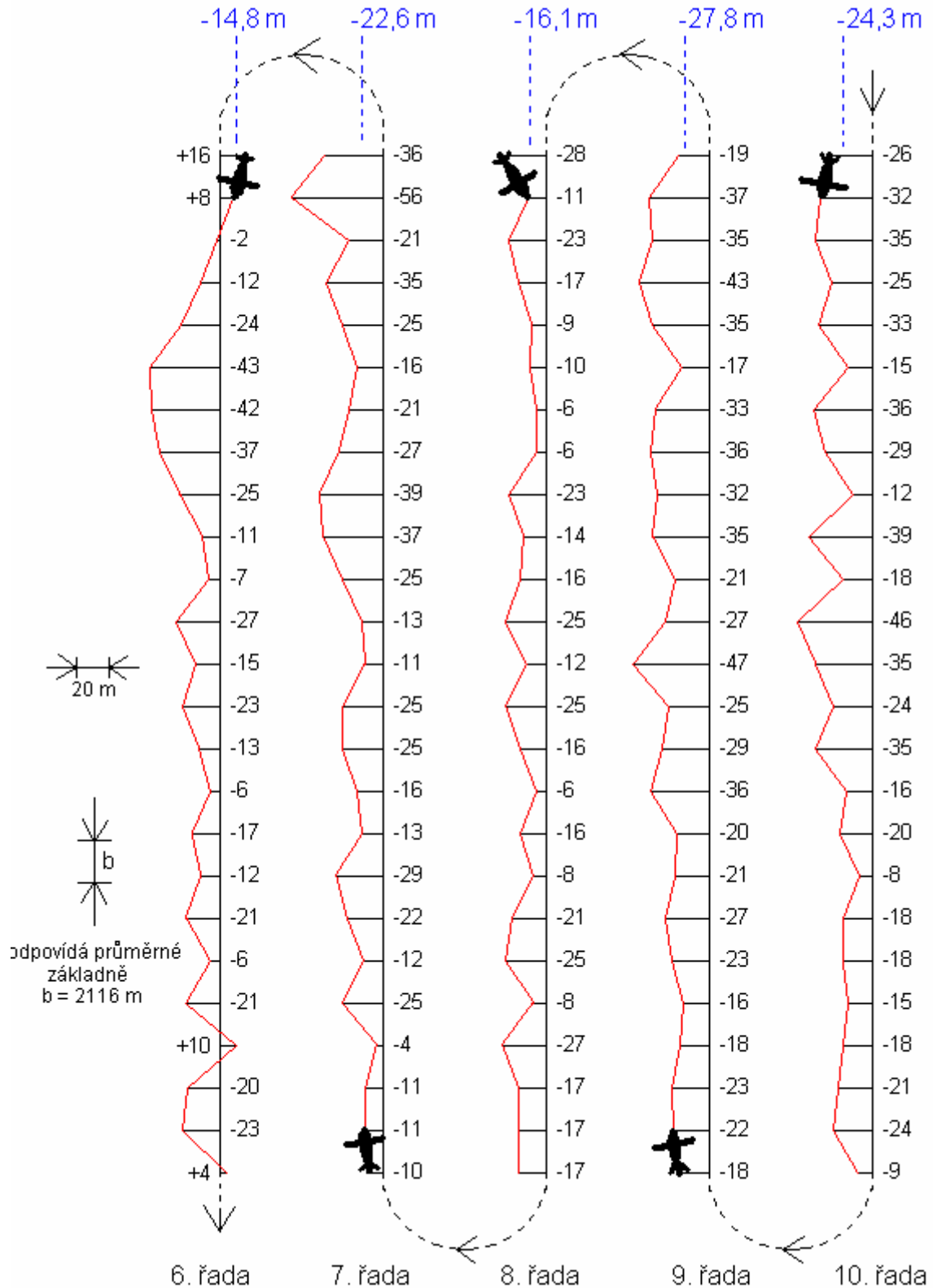
## PŘÍČNÉ ODCHYLKY OD PLÁNOVANÉ LETOVÉ DRÁHY BLOK 502 (ARGUS GEO SYSTÉM), 2005

systematické odchylky v jednotlivých snímkových řadách -16,1 až +34,6 m  
maximální dosažená odchylka v bloku ve směru souř. X (S-JTSK) +62 m



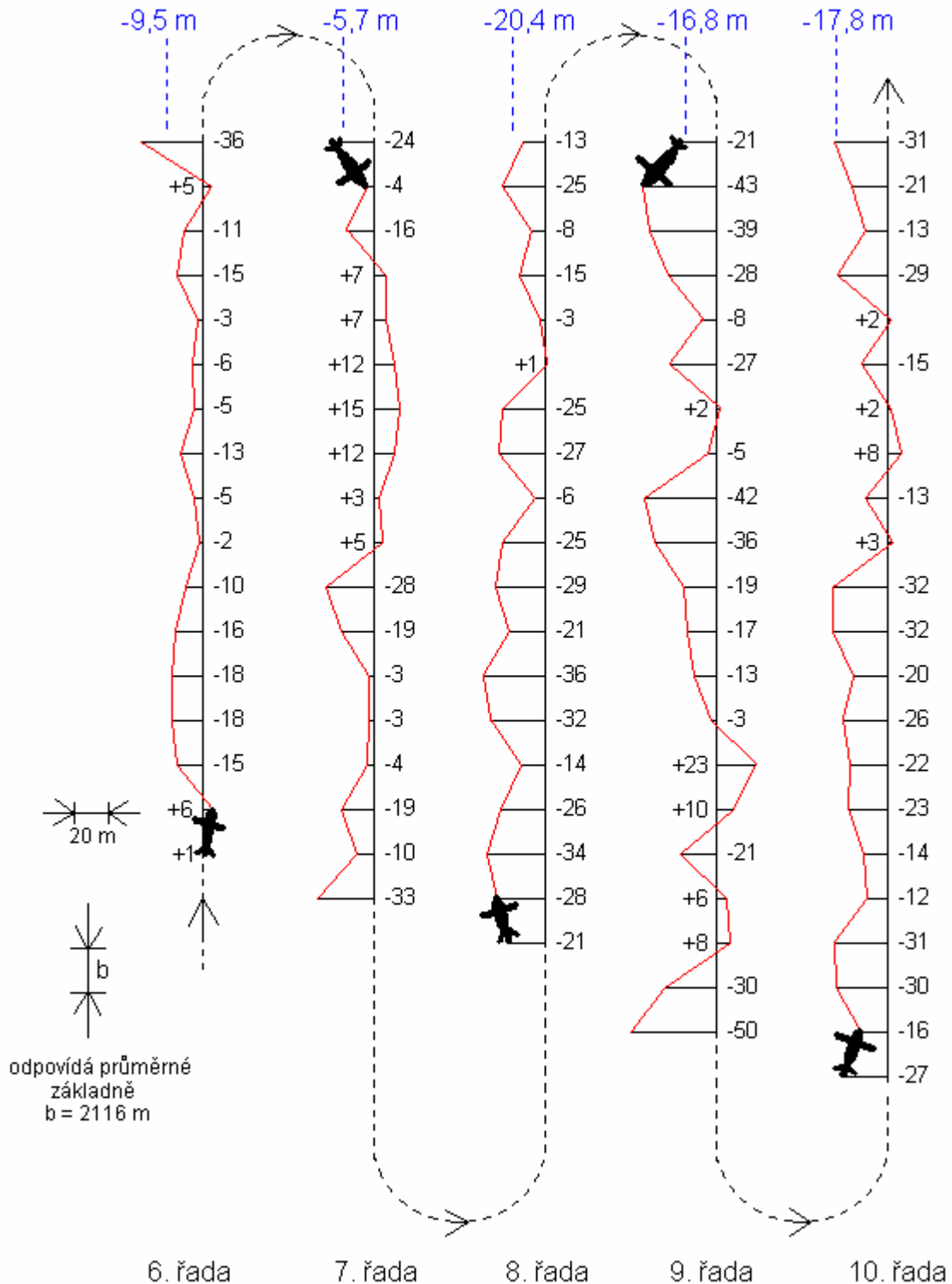
## PŘÍČNÉ ODCHYLKY OD PLÁNOVANÉ LETOVÉ DRÁHY BLOK 504-jih (ARGUS GEO SYSTÉM), 2006

systematické odchylky v jednotlivých snímkových řadách -14,8 až -27,8 m  
maximální dosažená odchylka v bloku ve směru souř. X (S-JTSK) -56 m



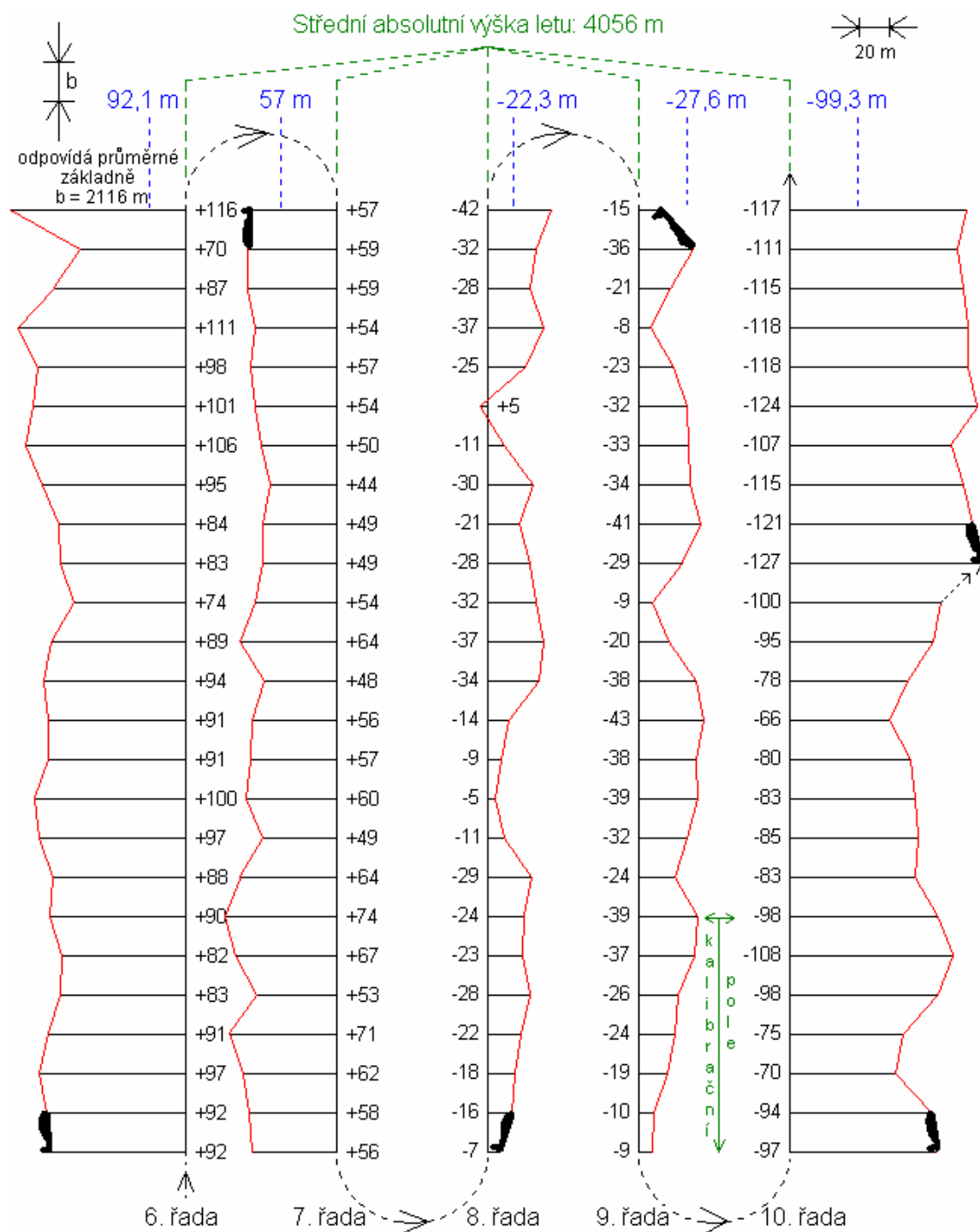
## PŘÍČNÉ ODCHYLKY OD PLÁNOVANÉ LETOVÉ DRÁHY BLOK 502 (ARGUS GEO SYSTÉM), 2006

systematické odchylky v jednotlivých snímkových řadách -5,7 až -20,4 m  
maximální dosažená odchylka v bloku ve směru souř. X (S-JTSK) -50 m



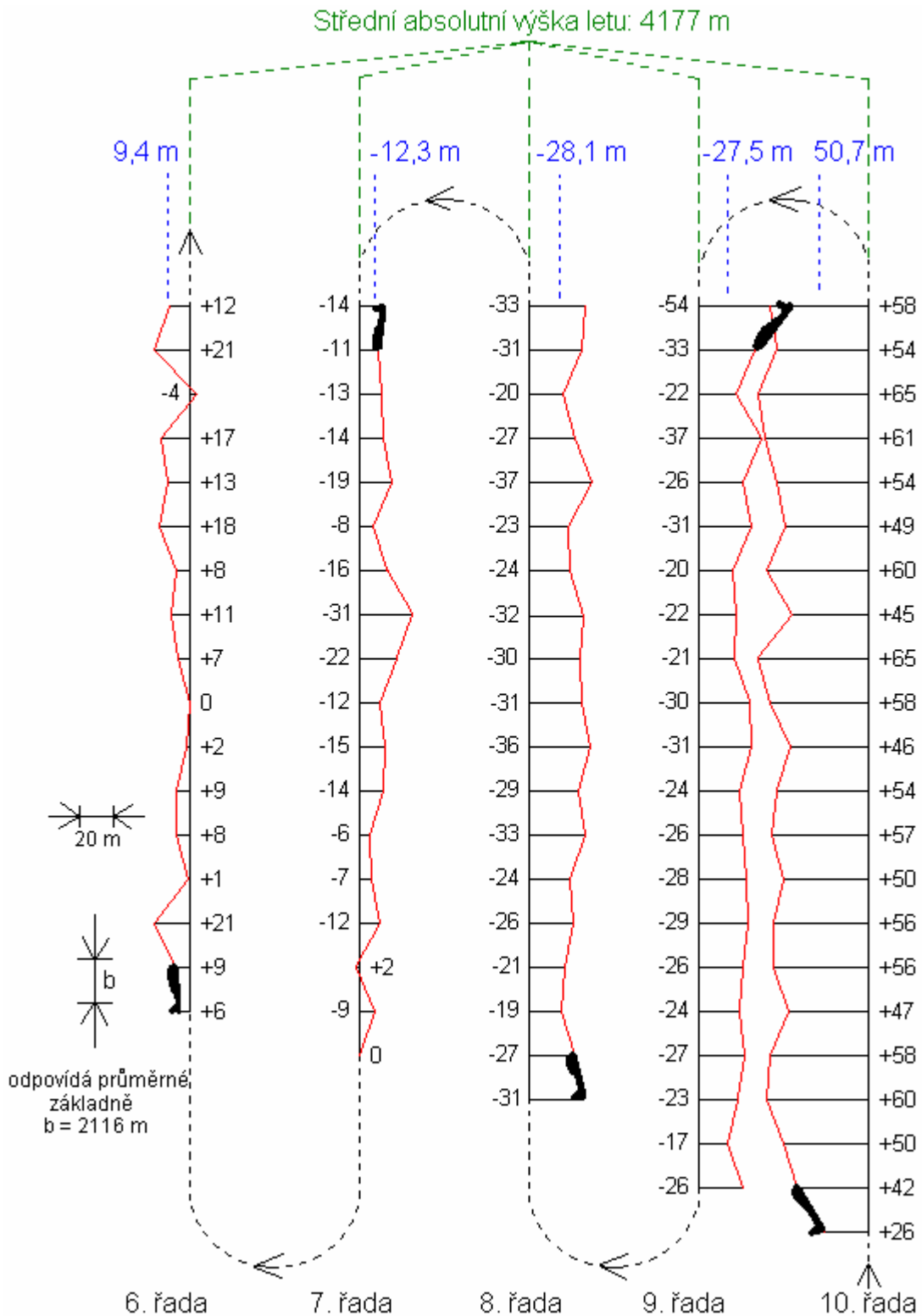
## ZMĚNY ABSOLUTNÍ VÝŠKY LETU PODÉL LETOVÉ DRÁHY BLOK 504-jih (ARGUS GEO SYSTÉM), 2005

systematické odchylky v jednotlivých snímkových řadách -99,3 až +92,1 m  
maximální dosažená odchylka absolutní výšky letu v bloku -127 m



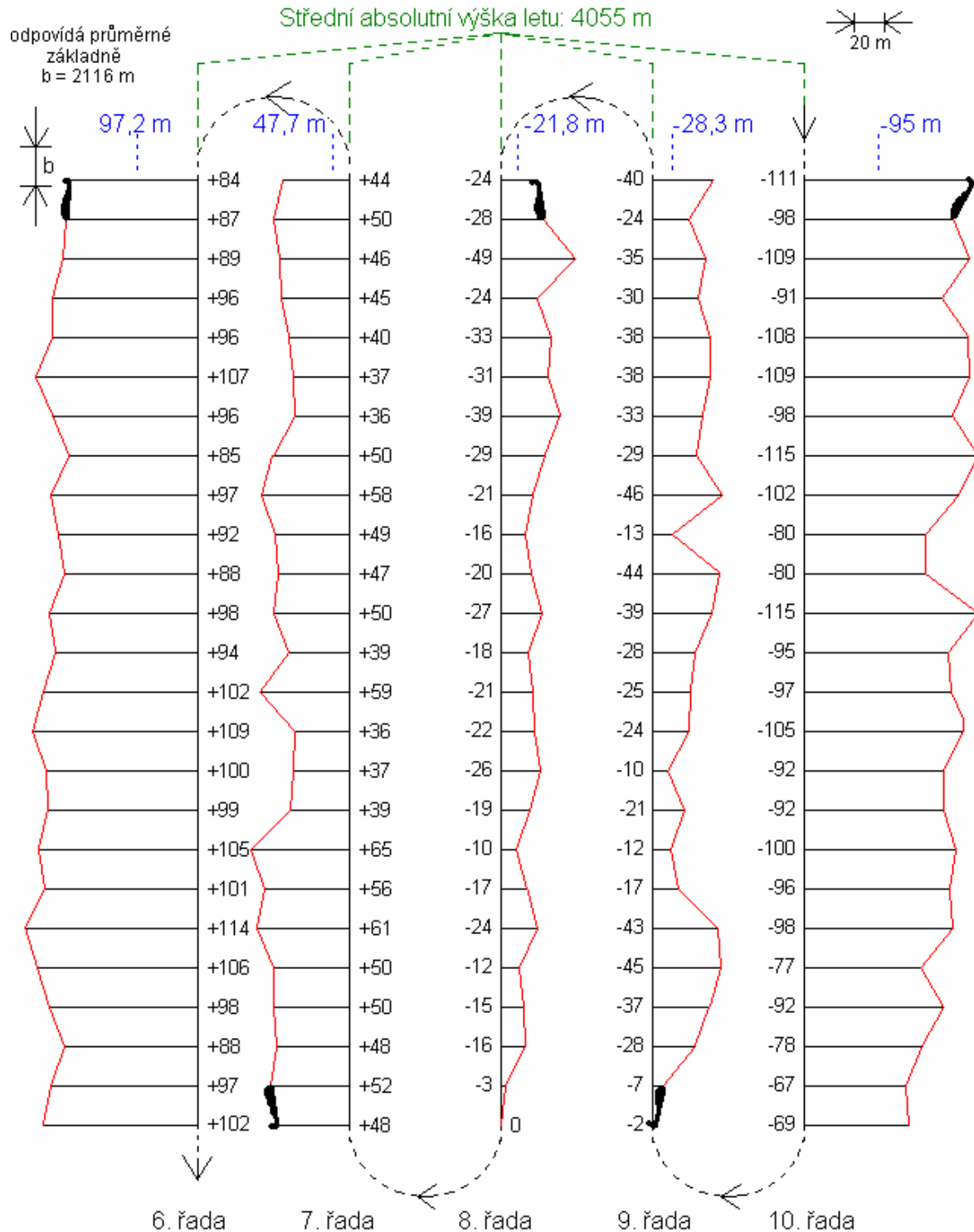
## ZMĚNY ABSOLUTNÍ VÝŠKY LETU PODÉL LETOVÉ DRÁHY BLOK 502 (ARGUS GEO SYSTÉM), 2005

systematické odchylky v jednotlivých snímkových řadách -28,1 až -50,7 m  
maximální dosažená odchylka absolutní výšky letu v bloku +65 m



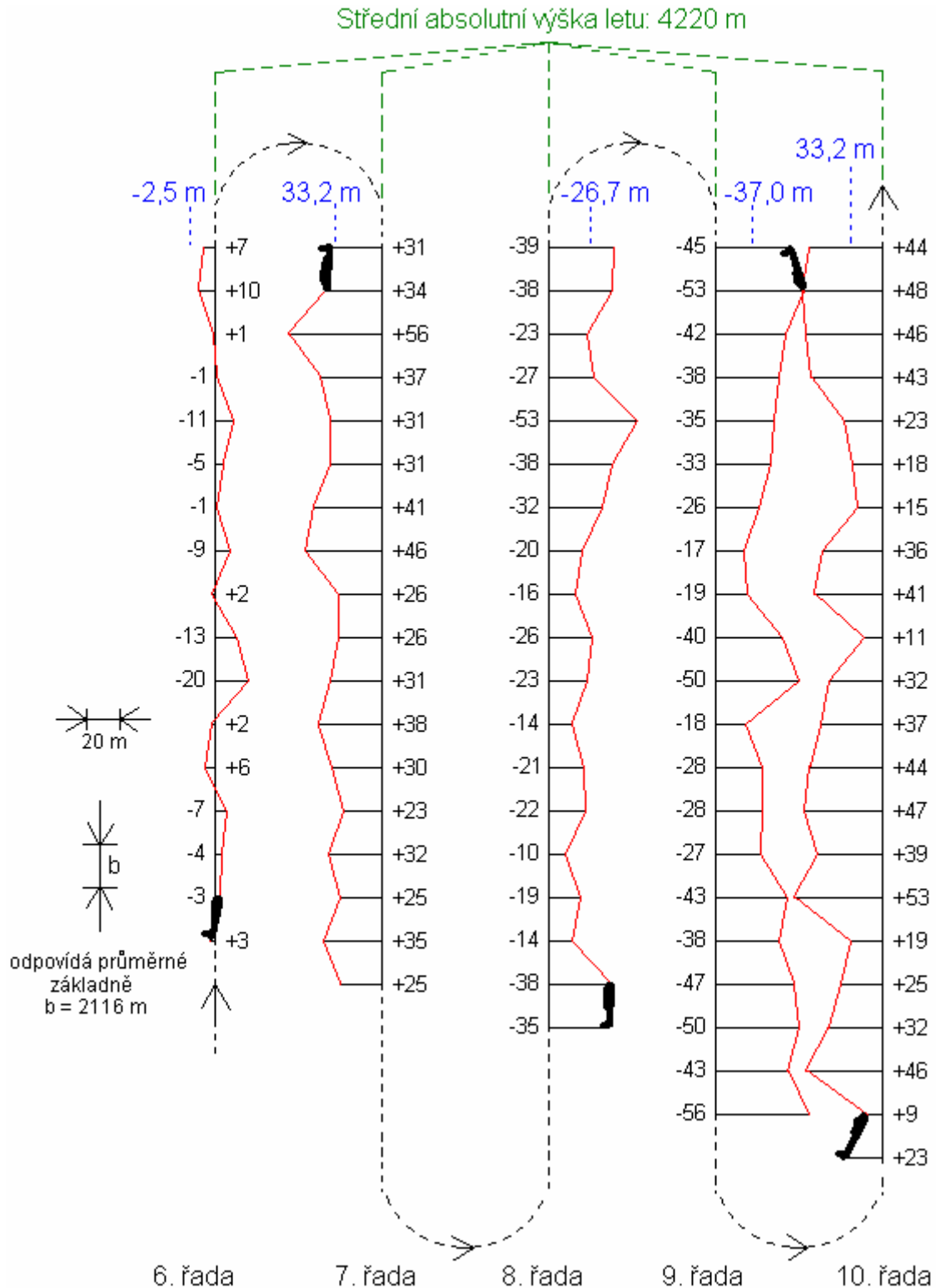
## ZMĚNY ABSOLUTNÍ VÝŠKY LETU PODÉL LETOVÉ DRÁHY BLOK 504-jih (ARGUS GEO SYSTÉM), 2006

systematické odchylky v jednotlivých snímkových řadách -95 až +97,2 m  
maximální dosažená odchylka absolutní výšky letu v bloku -115 m



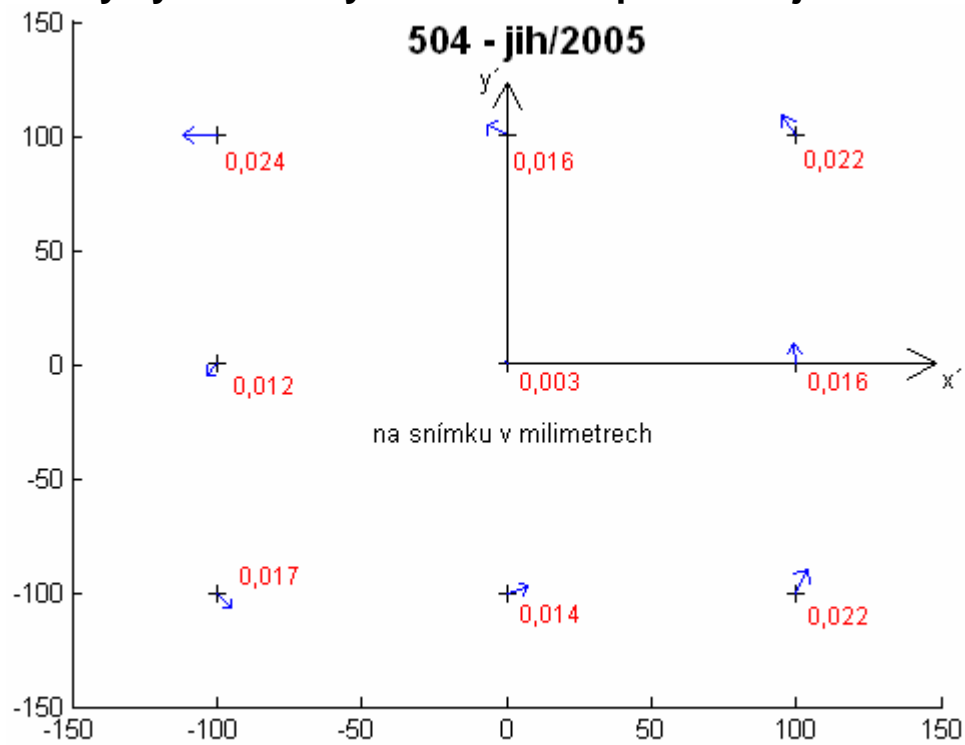
## ZMĚNY ABSOLUTNÍ VÝŠKY LETU PODÉL LETOVÉ DRÁHY BLOK 502 (ARGUS GEO SYSTÉM), 2006

systematické odchylky v jednotlivých snímkových řadách -37 až +33,2 m  
maximální dosažená odchylka absolutní výšky letu v bloku -56 m

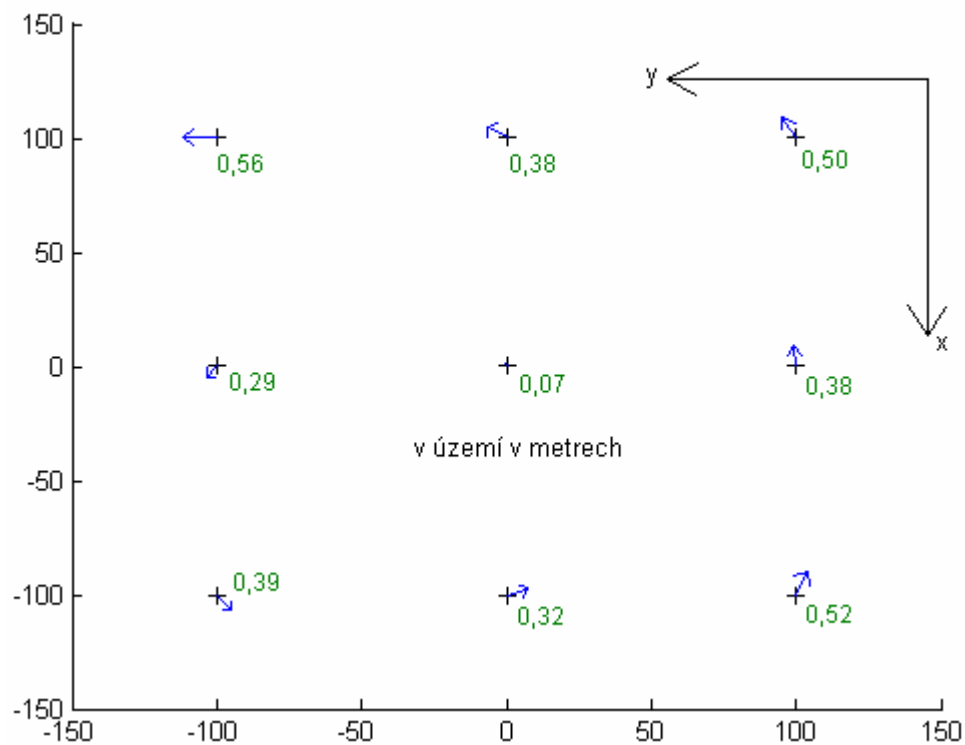




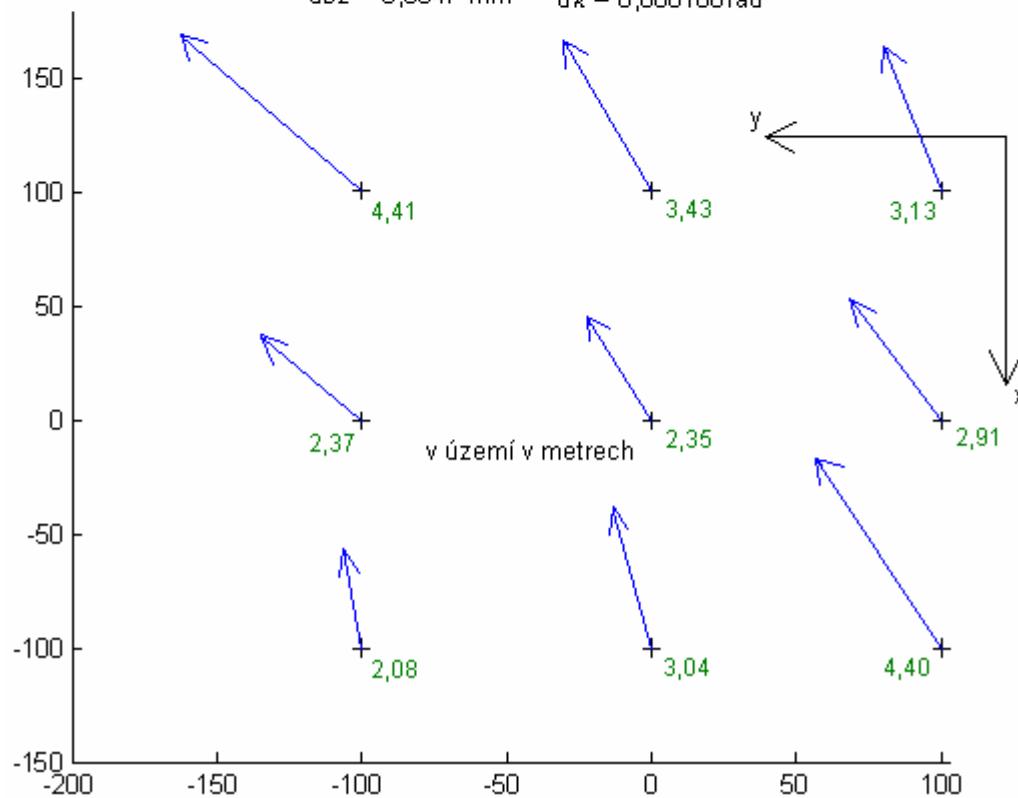
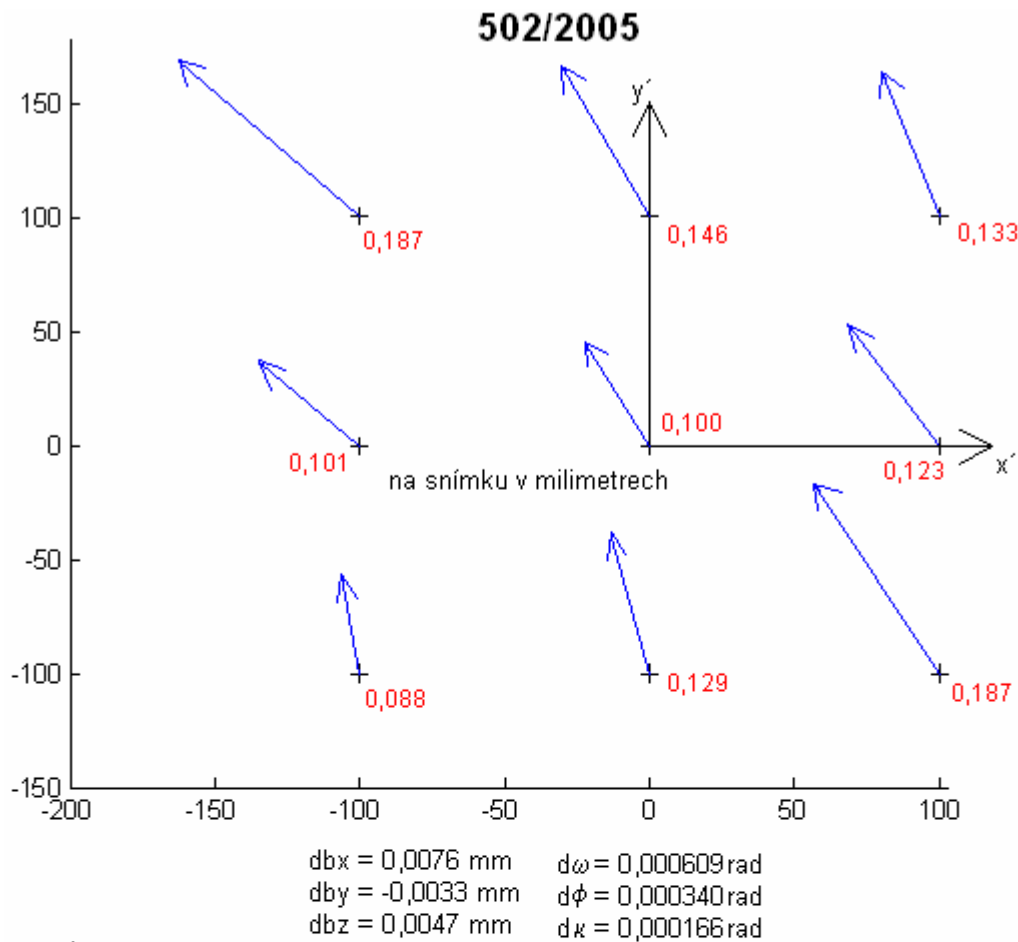
## Posuny vyvolané chybami v určení prvků vnější orientace



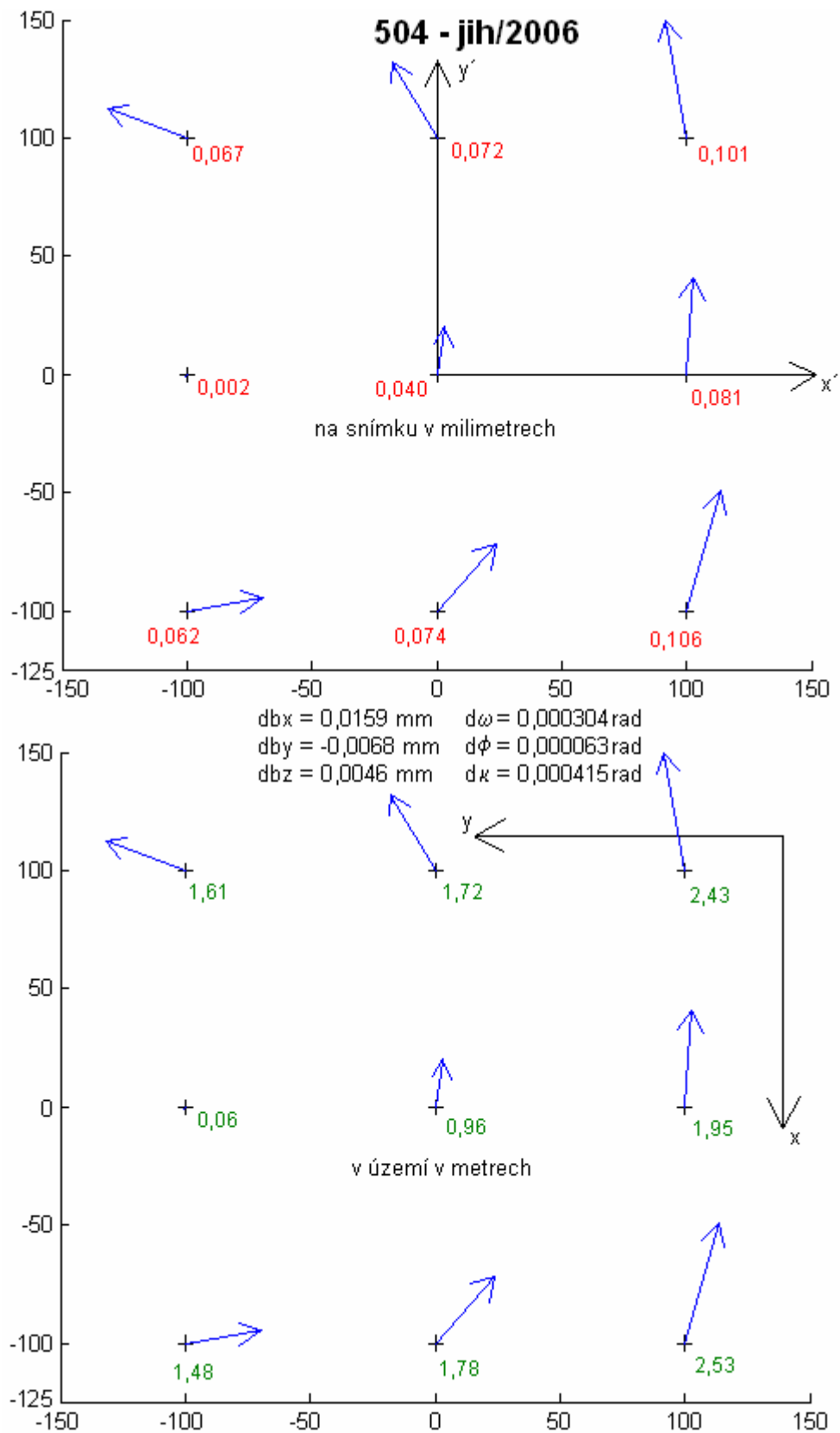
$$\begin{aligned} dbx &= 0,0089 \text{ mm} & d\omega &= 0,000058 \text{ rad} \\ dby &= -0,0059 \text{ mm} & d\phi &= 0,000059 \text{ rad} \\ dbz &= 0,0045 \text{ mm} & d\kappa &= 0,000130 \text{ rad} \end{aligned}$$



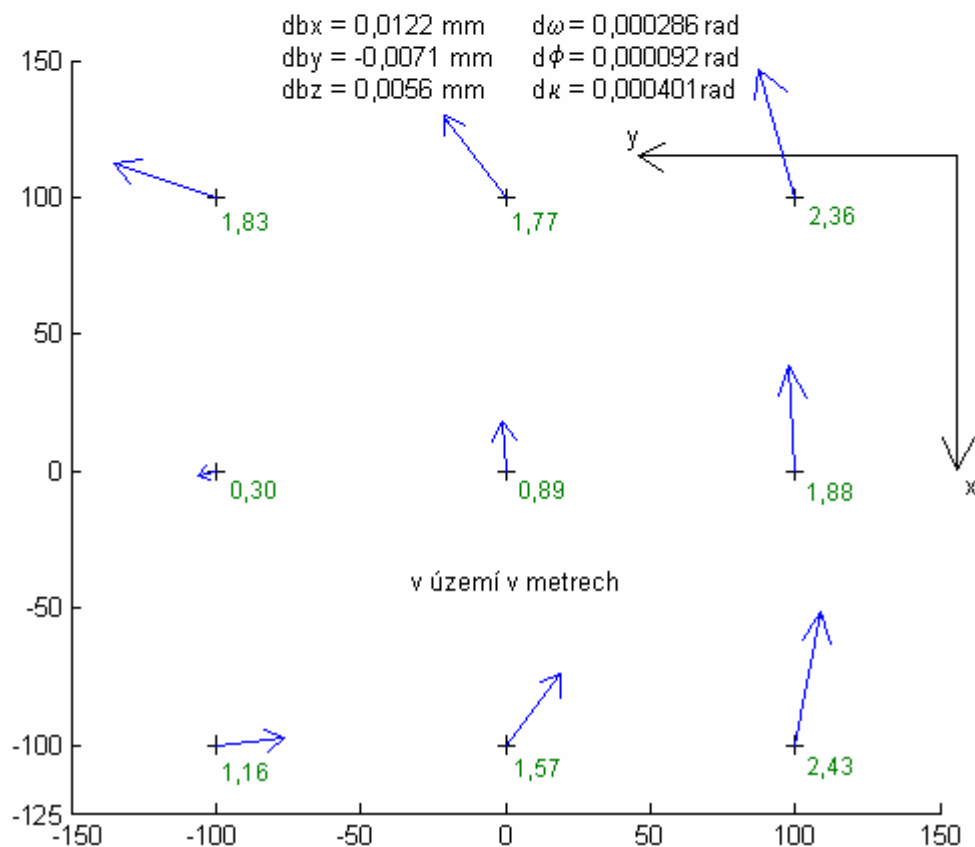
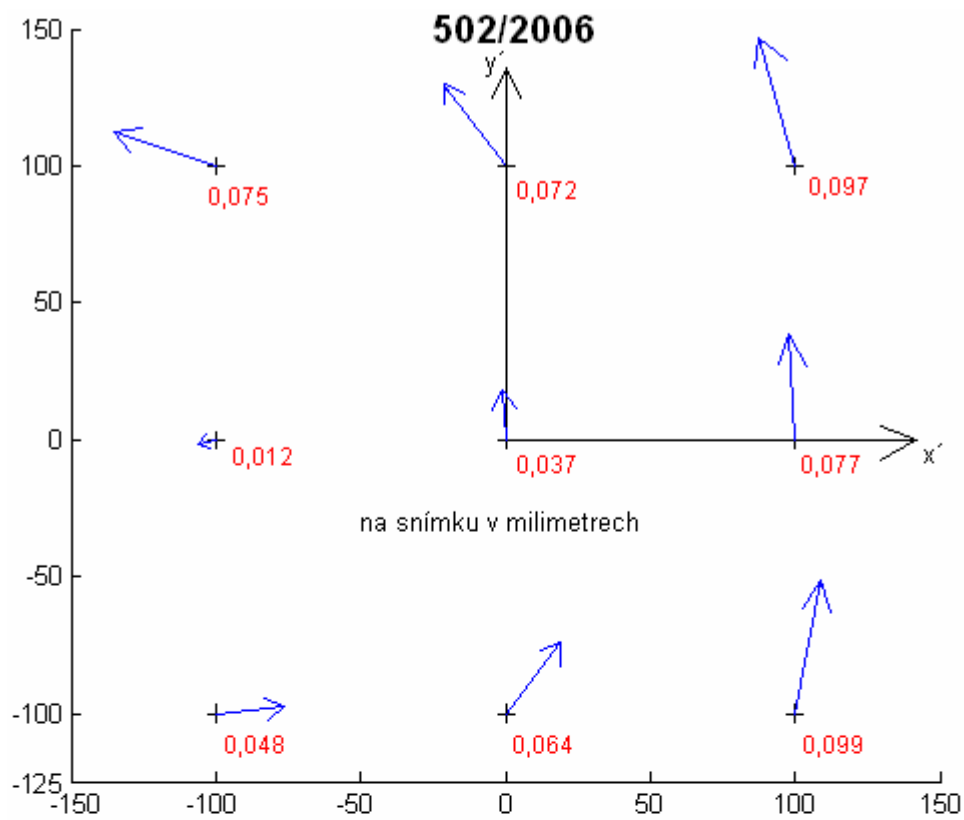
## Posuny vyvolané chybami v určení prvků vnější orientace



## Posuny vyvolané chybami v určení prvků vnější orientace




## Posuny vyvolané chybami v určení prvků vnější orientace



**Letecká technika společnosti Argus Geo Systém, s.r.o.,  
Hradec Králové**

-  
↓

Cessna TU 206 F




*Dostup : 5 500 m*  
*Rychlost : 80 – 220 km/h*  
*Vytrvalost : 5 hod 30 min*

The image shows a Cessna TU 206 F aircraft, a high-wing, four-seat turboprop plane, parked on a runway. The aircraft is white with blue accents on the nose and tail. In the background, there are green fields and a range of mountains under a clear blue sky.

-  
↓

Piper Aztec



*Dostup : 7 000 m*  
*Rychlost : 100 – 280 km/h*  
*Vytrvalost : 7 hod*

The image shows a Piper Aztec aircraft, a high-wing, four-seat turboprop plane, parked on a runway. The aircraft is white with red and black accents. In the background, there are green fields and a range of mountains under a clear blue sky.