

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra matematiky

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**System JTSK a WGS-84, jejich  
charakteristika a vzájemná transformace**

Plzeň 2007

Romana KUBÁTOVÁ

Vložený list

## **Prohlášení**

Předkládám tuto bakalářskou práci jako součást procesu dokončení studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Zároveň prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně. Všechny informační zdroje, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v úplném seznamu použité literatury, který je součástí bakalářské práce.

V Plzni dne

---

## **Poděkování**

Velmi ráda bych poděkovala Ing. Magdaléně Baranové, která mně jako vedoucí bakalářské práce poskytla řadu materiálů, informací a odborných rad, které byly velmi užitečné při psaní předkládané bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá charakterizováním systémů S-JTSK a WGS-84, tj. jejich definicí, vznikem, matematickými základy. Dále práce popisuje transformaci mezi výše jmenovanými systémy a porovnání přesnosti některých vybraných volně dostupných programů, které tuto transformaci umožňují.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with characteristics of S-JTSK and WGS-84, their definition, origin, mathematical principles. Thesis describes S-JTSK and WGS-84 transformation and compares accuracy of some freeware transformation applications.

## **Klíčová slova**

Geodézie, zeměměřictví, S-JTSK, WGS-84, transformace, Křovákovo zobrazení, UTM, UPS

## **Keywords**

Geodesy, surveying, S-JTSK, WGS-84, transformation, Křovák's projection, UTM, UPS

## Použité zkratky:

AČR	Armáda České republiky
BIH	<i>Bureau International de l'Heure</i>
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
CTP	Konvenční terestrický pól, <i>conventional terrestrial pole</i>
CTRS	<i>Conventional Terrestrial Reference System</i>
DMA (dnes NIMA)	Obranná mapovací agentura armády USA, <i>Defense Mapping Agency</i> , dnes NIMA, <i>National Imagery and Mapping Agency</i>
EGM96	Gravitační model Země, <i>Earth Gravity Model 1996</i>
ETRF89	<i>European Terrestrial Reference Frame 1989</i>
ETRS	<i>European Terrestrial Reference System</i>
EUREF-CS/H-91, CS-NULRAD-92, CS-BRD-93, DOPNUL, VGSN-92, VGSN-99	GPS kampaně na území ČR
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GÚ	Geodetické údaje
IAG	<i>International Cartographic Association</i>
ITRF (ITRS)	<i>International Terrestrial Reference Frame (System)</i>
JTSK	Jednotná trigonometrická síť katastrální
MGRS	<i>Military Grid Reference System</i>
MNČ	Metoda nejmenších čtverců
NASA GSFC	<i>NASA Goddard Space Flight Center</i>
NNSS	Námořní navigační družicový systém, <i>Navy Navigation Satellite System</i>
OCS	<i>Operational Control Segment</i>
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
S-JTSK/95, S-JTSK/XX	Modernizace S-JTSK
UPS	<i>Universal Polar Stereographic</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
WGS-84	Světový geodetický systém 1984, <i>World Geodetic System 1984</i>
ZÚ	Zeměměřický úřad

## Použité symboly a označení:

Symbol	Vysvětlení
$\varphi, \lambda$	geodetické zeměpisné souřadnice na elipsoidu
$U, V$	zeměpisné souřadnice na kouli
$\check{S}, D$	kartografické souřadnice na kouli
$\rho, \varepsilon$	rovinné polární souřadnice
$X, Y$	rovinné pravoúhlé souřadnice
$X, Y, Z$	geocentrické pravoúhlé souřadnice
$H$	elipsoidická výška
$h$	nadmořská výška

# Obsah

<b>0</b>	<b>Úvod</b> .....	8
<b>1</b>	<b>Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální</b> .....	9
	1.1 Vznik .....	9
	1.2 Křovákovo zobrazení .....	10
	1.2.1 Transformace souřadnic .....	11
	1.3 S-JTSK/95, S-JTSK/XX .....	12
	1.3.1 Realizace S-JTSK/95 – nultá etapa .....	12
	1.3.2 Modifikované Křovákovo zobrazení - dotransformace v S-JTSK/95 .....	13
	1.3.3 Realizace S-JTSK/95 – následná etapa – cesta k S-JTSK/XX .....	13
<b>2</b>	<b>Světový geodetický systém 1984</b> .....	15
	2.1 Systém WGS-84 .....	15
	2.2 Elipsoid .....	16
	2.3 Geoid .....	17
	2.4 Zobrazení UTM .....	17
	2.5 Zobrazení UPS .....	18
	2.6 Hlásný systém MGRS .....	19
	2.7 Realizace geocentrického souřadnicového systému v ČR .....	20
	2.7.1 Civilní sféra .....	20
	2.7.2 Vojenská sféra .....	21
<b>3</b>	<b>Transformace</b> .....	23
	3.1 Transformace obecně .....	23
	3.1.1 Transformace pravoúhlých prostorových souřadnic .....	23
	3.1.2 Převod rovinných pravoúhlých souřadnic v rovině Křovákova zobrazení na zeměpisné souřadnice .....	26
	3.1.3 Převod zeměpisných souřadnic na pravoúhlé prostorové souřadnice .....	27
	3.1.4 Transformace mezi S-JTSK a WGS-84 .....	28
	3.2 Koeficienty transformace .....	29
	3.3 Ukázka klíčů .....	29
<b>4</b>	<b>Hodnocení přesnosti transformace vybraných softwarových aplikací</b> .....	31
<b>5</b>	<b>Závěr</b> .....	33
	<b>Použitá literatura</b> .....	34
	<b>Přílohy</b> .....	35

## 0 Úvod

Předmětem bakalářské práce, jak už ze samotného názvu vyplývá, je charakteristika a vzájemná transformace mezi systémy JTSK a WGS-84. Toto téma je velmi aktuální, neboť v době nedávno minulé i současné došlo a stále dochází k velkému rozvoji měřicí techniky, konkrétně aparatur GPS. Tato metoda nabízí velké urychlení a zjednodušení měření v terénu, ale pokud chceme naměřená data (v systému WGS-84) zpracovávat v systému, který se u nás v civilní sféře běžně používá (tj. S-JTSK), nezbyvá nám, než tyto hodnoty nějakým způsobem transformovat. Je více způsobů, jak lze tuto transformaci provést, vždy záleží na přesnosti, s jakou požadujeme výsledky. Dnes je na internetu možné nalézt nejen mnoho placených programů, které transformaci zajišťují, ale i mnoho tzv. *freeware* programů. Právě tyto *freeware* programy jsem si pro jejich snadnou dostupnost vybrala pro porovnávání v této práci.

První a druhá kapitola bakalářské práce se věnuje S-JTSK a WGS-84, jejich definicím, vzniku, užívání, jejich matematickým základům a podobně. Třetí část práce popisuje transformaci mezi těmito systémy, tj. transformaci mezi souřadnicemi  $X, Y$  v rovině Křovákova zobrazení a souřadnicemi  $\varphi, \lambda$  systému WGS-84. Čtvrtá kapitola práce obsahuje hodnocení vybraných softwarových aplikací, které nabízejí transformaci mezi výše uvedenými systémy.

Co se týče názvosloví, v této oblasti je velmi různorodé. Jedním z příkladů je označení WGS-84 – v různých zdrojích se můžete setkat s i označením WGS 84 nebo WGS84. Já jsem se v této práci rozhodla používat označení WGS-84. Další nesrovnalostí, se kterou jsem se během psaní této práce setkala, je označení zploštění u elipsoidu. V některých pramenech naleznete jako označení  $f$ , jinde je uvedeno označení  $i$  a symbol  $f$  udává jeho převrácenou hodnotu. Označení  $f$  je běžné v anglicky mluvících zemích (z anglického *flattening*). Já ve své práci budu používat označení  $i$ .



# 1 Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

Dle [10] je Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální, zkráceně označován S-JTSK, definován:

- Besselovým elipsoidem (Bessel 1841),
- Křovákovým dvojitým konformním kuželovým zobrazením v obecné poloze,
- souborem souřadnic bodů z vyrovnání trigonometrických sítí.

## 1.1 Vznik

Po roce 1918, kdy vznikla ČSR, nastala potřeba nového souřadnicového systému, neboť systém do té doby používaný<sup>1</sup> znamenal, že na našem tehdejší území byly tři souřadnicové soustavy. Z těchto důvodů byla v roce 1919 založena Triangulační kancelář pod záštitou Ministerstva financí. Přednostou kanceláře se stal ing. Josef Křovák a jejím úkolem bylo vybudovat spolehlivé geodetické základy (včetně užití nového kartografického zobrazení) v co nejkratším čase.

Budování nové sítě a s tím spojené měřické práce začaly na Moravě v roce 1920, pokračovaly směrem na východ (Slezsko, Hlučínsko, Slovensko) a ukončeny byly roku 1927. Pro Čechy a tehdejší Podkarpatskou Rus bylo použito výsledků vojenské triangulace (1862-1898). Po vyrovnání vznikla základní síť, která měla celkem 268 bodů.

V následujícím roce se začalo pracovat na zhušťování sítě bodů II., III. a IV. řádu a podrobné trigonometrické sítě V. řádu. Tyto měřické práce byly ukončeny v roce 1958.

Kvůli požadavku co nejrychlejšího vyhotovení a i s ohledem na finanční možnosti nebylo možno základy vybudovat podle všech tehdy kladených požadavků:

1. nebyla provedena nová astronomická měření,
2. nebyly měřeny geodetické základny,
3. síť nebyla spojena se sítěmi sousedních států.

Ze stejných důvodů byly na části převzaty osnovy měřených směrů z vojenské triangulace, která probíhala v letech 1862-1898. Právě vznikající S-JTSK měl s původní vojenskou sítí společných právě 107 bodů. Nakonec bylo pro určení rozměru, orientace a polohy JTSK na Besselově elipsoidu použito pouze 42 bodů.

Trigonometrická síť I. řádu má celkem 268 bodů, ale na 31 bodech na Slovensku se ještě měřilo, když bylo v roce 1926 zahájeno vyrovnání ostatních 237 bodů. Tato síť, obsahující 237 bodů, byla vyrovnána podle podmínkových pozorování tak, že 397 rovnic trojúhelníkových a 162 rovnic stranových bylo řešeno postupnou aproximací. Tyto výpočty trvaly asi rok, neboť se prováděly prakticky bez výpočetní techniky. Základní charakteristiky geometrické přesnosti této sítě:

- střední chyba v měřeném úhlu  $m_{\omega} = 0,93''$
- střední chyba v měřeném směru  $m_{\alpha} = 0,66''$

Vyrovnáním sítě I. řádu byl určen její tvar, jelikož však nebyly měřeny základny ani nebyla provedena jakákoli astronomická měření, byl její rozměr, poloha a orientace na elipsoidu určen převzetím výsledků rakousko-uherské vojenské triangulace, s níž měla síť 107 identických bodů. V prvním kroku bylo těchto 107 bodů se známými zeměpisnými souřadnicemi převedeno do roviny S-JTSK pomocí Křovákova zobrazení. Ve druhém kroku byly tytéž souřadnice

<sup>1</sup> Systém stabilního katastru - na území ČSR systém gusterberský, svatoštěpánský a budapešťský.

spočítány tak, že se z vojenské triangulace vzaly souřadnice bodů Chmelová a Velký Choč (uprostřed sítě), ty byly převedeny na rovinné souřadnice Y, X v Křovákově zobrazení. Z nich se vypočítaly délky a směrníky všech ostatních stran v síti I. řádu a vypočítaly se prozatímní souřadnice 268 bodů. Identické body byly rozděleny do 6 skupin, ve kterých byla podle výsledků Helmertovy transformace posouzena kvalita vojenské triangulace. Z těchto výsledků vyplynulo, že nejlépe budou poloha, orientace a rozměr sítě I.řádu určeny, použije-li se k transformaci 42 bodů, na nichž byly převzaty osnovy měřených směrů z vojenské triangulace. V jiných částech sítě totiž byly neshody v řádech metrů.

Na podkladě těchto 42 identických bodů byly vypočteny transformační koeficienty Helmertovy transformace a díky nim bylo možno spočítat definitivní pravouhlé souřadnice všech trigonometrických bodů I.řádu v Křovákově zobrazení. Takto byl vytvořen souřadnicový systém JTSK.

Rozměr sítě byl tedy prakticky určen z josefské základny a poloha a orientace sítě podle starého a nekorigovaného astronomického měření na základním bodě rakousko-uherské vojenské triangulace Hermannskogel.

Trojúhelníky v původní síti I. řádu (1927) byly v Čechách podstatně větší (40 km) než na ostatním území (25 km), proto byla v letech 1928 – 1936 síť doplněna o dalších 93 bodů, čímž vznikla homogenní síť (viz příloha I.). Trigonometrická síť byla již od roku 1928 zhušťována až na úroveň V. řádu, tyto práce byly skončeny v roce 1957. JTSK I. -V. řádu obsahuje přes 47 000 bodů a průměrná délka stran mezi body V. řádu je asi 2 km.

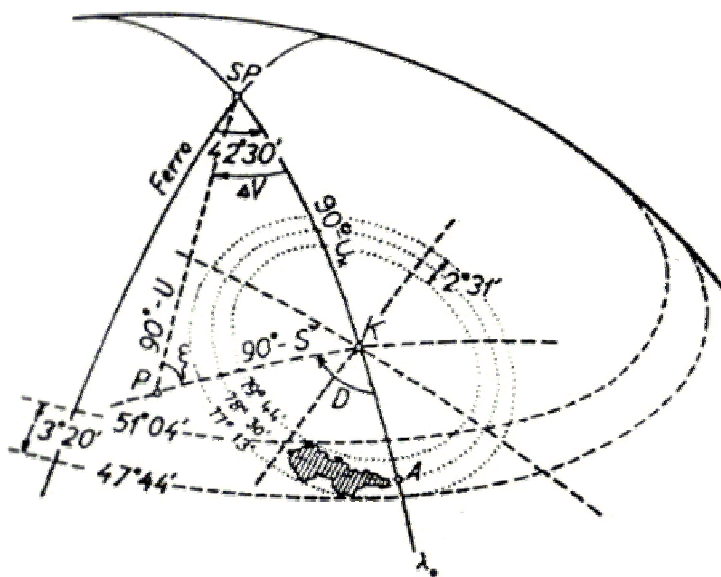
Relativní přesnost JTSK byla velmi vysoká. Vysoká přesnost vložených sítí II. – V. řádu je důsledkem dodržování postupů zakotvených v technologických postupech a tím, že úhly byly měřeny převážně přesnými teodolity *Wild T-3*.

Na závěr řečeno, JTSK měla ve své původní formě hned několik závažných nedostatků. Nebylo provedeno připojení na síť sousedních států a také poloha i orientace byly zatíženy tížnicovou odchylkou – ta v té době ještě nebyla známa. Neuplatnily se ani další měřené základny a azimuty.

## 1.2 Křovákovo zobrazení

S-JTSK je neoddělitelně spjata s Křovákovým zobrazením. Toto zobrazení navrhl ing. Josef Křovák, od roku 1919 přednosta Triangulační kanceláře. Zobrazení se na našem území v civilní sféře používá od té doby dodnes s výjimkou II. světové války a 50. a 60. let 20. století, kdy se u nás vyhotovovaly mapy velkých měřítek v Gaussově zobrazení. Výchozí referenční plochou Křovákova zobrazení je Besselův elipsoid z r. 1841.

**Obr. 1.2.1** Hraniční geografické a kartografické souřadnice souřadnicového systému JTSK [1]



## 1.2.1 Transformace souřadnic

### Transformace zeměpisných souřadnic na kartografické

Obecná poloha kužele byla zvolena kvůli tomu, že území bývalé republiky bylo protáhlé ve směru SZ  $\leftrightarrow$  JV. Naše republika ležela v pásu zeměpisných rovnoběžek o šířce  $3^{\circ}20''$  (tj. přibližně 370 km). Pokud bychom tedy volili normální polohu kužele, dosahovalo by zkreslení na okrajích pásu přibližně +42 cm/km. Tak trochu kuriozitou je, že nejužší pás, do kterého je republika možno sevřít, našel ing. Křovák empiricky – kružítkem na glóbu. Tento pás kartografických rovnoběžek má šířku  $2^{\circ}31'$  a zkreslení na okrajích činí 24 cm/km.

### Konformní kuželové zobrazení

Konstanty  $\rho_0$  a  $n$  Lambertova zobrazení byly zvoleny z podmínky jedné nezkreslené rovnoběžky. Touto volbou konstant získáváme mimo nezkreslenou rovnoběžku délkové zkreslení větší než 1, na okrajích pásu by mohlo činit asi +20 cm/km. Křovák proto při odvozování zobrazovacích rovnic uvažoval, že požadovaného délkového zkreslení základní rovnoběžky dosáhneme zmenšením poloměru koule na hodnotu  $R \cdot 0,9999$  ještě před zobrazením koule na kužel. Délkové zkreslení v základní zobrazovací rovnoběžce  $\check{S}_0$  je tedy rovno 0,9999 (tzv. *multiplikační konstanta*). Tím se vlastně dané zobrazení mění jakobycho zvolili zobrazení se dvěma nezkreslenými rovnoběžkami. Tímto způsobem jsme téměř eliminovali délkové zkreslení při konformním zobrazení, neboť zkreslení na našem území tak dosahuje pouze hodnot z intervalu  $\langle -10; +14 \rangle$  cm/km (viz příloha II.).

### Transformace polárních rovinných souřadnic na pravoúhlé

Pravoúhlá soustava rovinných souřadnic je umístěna tak, že osa  $X$  je tvořena přímým obrazem základního poledníku ( $\lambda = 42^{\circ}30'$  východně od Ferro<sup>2</sup>) a její kladný směr je orientován k jihu. Osa  $+Y$  směřuje na západ. Počátek byl vložen do obrazu vrcholu kužele (zároveň je to

<sup>2</sup> Poledník Ferro prochází nejzápadnějším ostrovem Kanárského souostroví, rozdíl  $\lambda_F - \lambda_G \doteq 17^{\circ}39'59,7''$ .

i obraz kartografického pólu), z čehož vyplývá, že celá Česká republika leží v I. kvadrantu, tj. všechny souřadnice jsou kladné. Navíc pro libovolný bod platí  $Y < X$ .

Přesné vzorce pro přepočítání viz kapitola 3.1.2.

### 1.3 S-JTSK/95, S-JTSK/XX

V současnosti převládají v geodetické praxi při určování souřadnic bodů dvě techniky – GPS a měření pomocí totálních stanic. GPS pracuje s geocentrickými prostorovými souřadnicemi (např. ETRF89), zatímco používání totální stanice je svázáno s rovinnými souřadnicemi (dle zobrazení) a s normálními výškami. Vzhledem k tomu by do budoucna bylo dobré provést zamýšlenou modernizaci S-JTSK na systém S-JTSK/95, který má obsahovat jednoznačně definované matematické vztahy pro převod mezi systémem ETRS a S-JTSK/95.

S-JTSK/95 je zpřesněný systém pro civilní složky národního hospodářství a měl by vyhovovat následujícím požadavkům praktické geodézie:

- systém obsahuje geocentrické pravoúhlé (respektive elipsoidické) souřadnice a tím umožňuje přímé užití GPS,
- umožňuje používání „klasických observačních technik“ – tzn. obsahuje rovinné souřadnice i nadmořské výšky,
- umožní využití stávajících grafických podkladů – tzn. že polohové rovinné souřadnice se budou maximálně blížit souřadnicím stávajícím.

Systém obsahuje rovinné souřadnice  $X, Y$  v modifikovaném Křovákově zobrazení, nadmořské výšky v systému „Balt po vyrovnání“ a geocentrické souřadnice ETRF89.

#### 1.3.1 Realizace S-JTSK/95 – nultá etapa

Nultá etapa realizace rovinných souřadnic S-JTSK/95 byla provedena podobnostní Helmertovou transformací bodů ETRF89 (elipsoid GRS80) do S-JTSK (Besselův elipsoid). Vztah mezi elipsoidickými a nadmořskými výškami byl zprostředkován pomocí kvazigeoidu (řešení VÚGTK 94). Takto vznikl souřadnicový systém, realizovaný pro přibližně 29000 trigonometrických bodů.

Umístění Besselova elipsoidu vůči kvazigeoidu je provedeno za podmínky  $\sum \delta H^2 = \min$ , kde  $\delta H$  je odlehlost Besselova elipsoidu od kvazigeoidu. Rovinné souřadnice jsou získány aplikací Křovákova zobrazení na elipsoidické souřadnice  $\varphi, \lambda$  na Besselově elipsoidu. Další přiblížení k S-JTSK je realizováno kvadratickou dotransformací za podmínky

$$\sum \left[ (X_{S-JTSK/95} - X_{S-JTSK})^2 + (Y_{S-JTSK/95} - Y_{S-JTSK})^2 \right] = \min,$$

přičemž dotransformace je zahrnuta do Křovákova zobrazení jako modifikace.

Systém odstraňuje:

- chybné měřítko stávajícího S-JTSK,
- lokální deformace S-JTSK.

Systém je tvořen souborem bodů, z nichž každému jsou přiřazeny následující souřadnice:

- $\varphi, \lambda$  v ETRF89,  $H$
- $X, Y$  v rovině, v modifikovaném Křovákově zobrazení,  $h$  – nadmořská výška

Mezi těmito souřadnicemi existuje vzájemně jednoznačný vztah:

$$\varphi, \lambda, H_{GRS80} \leftrightarrow \varphi, \lambda, H_{Bessel\ 1841} \leftrightarrow X, Y, h$$

Při této transformaci je  $H$  pouze pomocná veličina. Přesnost realizace převodu výšek je podstatně závislá na přesnosti výšky kvazigeoidu.

Tyto transformace jsou podrobně popsány v kapitole 3.1, jen s rozdílem referenčních elipsoidů, kdy máme vztah mezi elipsoidy Bessel 1841 a GRS 80 – elipsoid GRS 80 se ale jen nepatrně liší od elipsoidu WGS-84, ve většině případů dokonce můžeme tyto elipsoidy přímo zaměnit.

### 1.3.2 Modifikované Křovákovo zobrazení - dotransformace v S-JTSK/95

Modifikace v Křovákově zobrazení je definována dvěma dodatečnými členy, plynoucími z požadavku minimalizace rozdílu mezi souřadnicemi v S-JTSK a S-JTSK/95.

Při převodu souřadnic  $\varphi, \lambda$  z elipsoidu do roviny Křovákova zobrazení dostaneme obecně souřadnice  $Y', X'$ . Celkové výsledné souřadnice tedy jsou:

$$Y = (Y' - \Delta Y) + 5\,000\,000,0 \text{ m} \quad X = (X' - \Delta X) + 5\,000\,000,0 \text{ m}$$

kde  $\Delta Y$  a  $\Delta X$  budou definovány dále.

(Hodnota 5 000 000 je přičítána kvůli přehlednosti.)

Dotransformace [8]:

$$\begin{aligned} \Delta Y &= A_2 + A_3 \cdot Y_{red} + A_4 \cdot X_{red} + 2A_5 \cdot Y_{red} \cdot X_{red} + A_6 (X_{red}^2 - Y_{red}^2) \\ \Delta X &= A_1 + A_3 \cdot X_{red} - A_4 \cdot Y_{red} - 2A_6 \cdot Y_{red} \cdot X_{red} + A_5 (X_{red}^2 - Y_{red}^2) \end{aligned}$$

kde  $Y_{red}$  a  $X_{red}$  jsou:  $Y_{red} = Y' - 654\,000,0 \text{ m}$ ,  $X_{red} = X' - 1\,089\,000,0 \text{ m}$

a koeficienty  $A_1$  až  $A_6$  jsou také uvedeny v [8].

### 1.3.3 Realizace S-JTSK/95 – následná etapa – cesta k S-JTSK/XX

Další realizací, vedoucí ke zpřesnění stávajícího systému, je přímé měření technologií GPS. V současné době je systém zpřesňován dvěma způsoby:

#### První způsob - výběrová údržba

První způsob je založen na tzv. *výběrové údržbě*, kterou provádí ZÚ Praha, při které jsou nově zaměřovány vybrané body trigonometrické sítě, souřadnice těchto bodů jsou získávány vyrovnáním s připojením na síť kampaně DOPNUL. Hustota bodů je volena tak, aby jeden triangulační list obsahoval průměrně 4 body. Při zhušťování je použita technologie GPS, statická metoda, která je z hlediska dosažení vysoké přesnosti nejvýhodnější.

Rozdíly mezi nultou etapou a realizací S-JTSK/95, provedenou v rámci výběrové údržby je možno charakterizovat střední hodnotou polohové odchylky 4 cm. Střední kvadratická hodnota odchylek S-JTSK/95 a S-JTSK je 11 cm, což je v souladu s odhadovanou přesností S-JTSK.

#### Druhý způsob - zhušťování

Druhý způsob provádějí Katastrální úřady v rámci kampaně „zhušťování“. Tato kampaň slouží k určování souřadnic zhušťovacích bodů pomocí technologie GPS. Použitá metoda je „rychlá statická“, každý zaměřovaný bod je zaměřen nejméně dvakrát. Z této kampaně jsou navázáním na nejbližší body sítě DOPNUL počítány souřadnice v ETRF89, sloužící k okamžitému využití. Tyto souřadnice jsou pak transformovány pomocí identických trigonometrických bodů a lokálních transformačních klíčů do S-JTSK.

#### Zpřesnění současné realizace

Rozborem možností zpřesnění souřadnic bodů základního bodového pole se zabývala práce [6], ve které byly navrženy čtyři varianty řešení. V současné době se nejvýhodnější variantou jeví varianta 3, spočívající v novém vyrovnání sítě z vektorů, zaměřených technologií GPS. Zpřesnění současné realizace S-JTSK/95 předpokládá zachování stávající posloupnosti budování systému a využití všech měřených dat. Prvořadým úkolem je zpřesnění sítě bodů DOPNUL. Další etapou

bude využít již provedených, nebo v současné době prováděných měření. V první řadě bude využito dat – měřených vektorů – z výběrové údržby, prováděné ZÚ Praha. Předpokládá se provedení nového vyrovnání z archivovaných vektorů. Tímto způsobem budou určeny souřadnice cca 3500 vybraných trigonometrických bodů, zaměřených statickou metodou. Takto vytvořená kostra bude podkladem pro provedení nového vyrovnání zhušťovacích bodů, opět pomocí archivovaných vektorů z databáze GPS měření s využitím měření na bodech, identických s body sítě DOPNUL a s body výběrové údržby. Vzhledem k tomu, že pro všechny zhušťovací body jsou určeny souřadnice v S-JTSK, bude možno určit pole deformací S-JTSK vůči finální realizaci S-JTSK/95, která je zatím předběžně označena S-JTSK/XX.

### **Doporučení**

Budoucí geodetické základy by měly být orientovány na souřadnicový systém, založený na bázi celoevropského systému ETRF89, tedy na S-JTSK/XX. Tento systém by měl být používán pro geodetická měření všeho typu. Pokud se i nadále však bude používat S-JTSK, tvoří dříve zmíněné budované bodové pole dobrý základ pro určení vzájemného vztahu mezi S-JTSK a S-JTSK/XX.

## 2 Světový geodetický systém WGS-84

Světový geodetický systém 1984 (World Geodetic System) je geodetický geocentrický systém armády USA, ve kterém pracuje globální systém určování polohy GPS a který je zároveň standardizovaným geodetickým systémem armád NATO [9].

WGS-84 je konvenční terestrický systém (CTRS), který je realizován na základě modifikace Námořního navigačního družicového systému (NNSS). Tato modifikace spočívá v posunu počátku souřadnicové soustavy, rotaci a změně měřítka dopplerovského systému NSWG 92-2 tak, aby byl systém geocentrický a referenční nultý poledník byl shodný se základním poledníkem definovaným BIH (tento nultý poledník je posunut asi 100 m východně oproti tradičnímu poledníku Greenwich).

Systém WGS-84 byl na našem území definován v roce 1992 GPS měřením DMA (dnes NIMA) na bodech NULRAD a jejich zpracováním v USA.

Definice systému WGS se vyvíjela od počátečního WGS-60, přes následující WGS-66, WGS-72 a WGS-84.

V devadesátých letech byl systém WGS-84 zpřesněn dvakrát, poprvé v roce 1994, podruhé v roce 1996. Tyto zpřesněné systémy byly označeny WGS-84 (G730) a WGS-84(G873), kde písmeno G značí zkratku GPS a číslo 873 znamená pořadové číslo týdne od zahájení fungování GPS, ve kterém byla do užívání zavedena zpřesněná varianta geodetického systému WGS-84. Přesná data, kdy byly tyto zpřesněné systémy zavedeny do GPS OCS, jsou 29. červen 1994 a 29. leden 1997

Společně s těmito zpřesněními pracovali na společném projektu NIMA, NASA GSFC a Státní univerzita v Ohio. Výsledkem tohoto projektu je nový gravitační model Země: Earth Gravitational Model 1996 (zkráceně EGM96). EGM96 je definován Stokesovými koeficienty sférického harmonického rozvoje tíhového potenciálu. Stokesovy koeficienty jsou vypočteny do stupně  $n = 360$  a řádu  $k = 360$ . Využitím parametrů modelu gravitačního pole WGS-84 nazývaného zkráceně EGM96 je možné například vypočítat k bodu, u něhož známe souřadnice, výšku geoidu, to znamená tím i nadmořskou výšku. Také ale můžeme dostat tíhové zrychlení nebo tížnicové odchylky.

### 2.1 Systém WGS-84

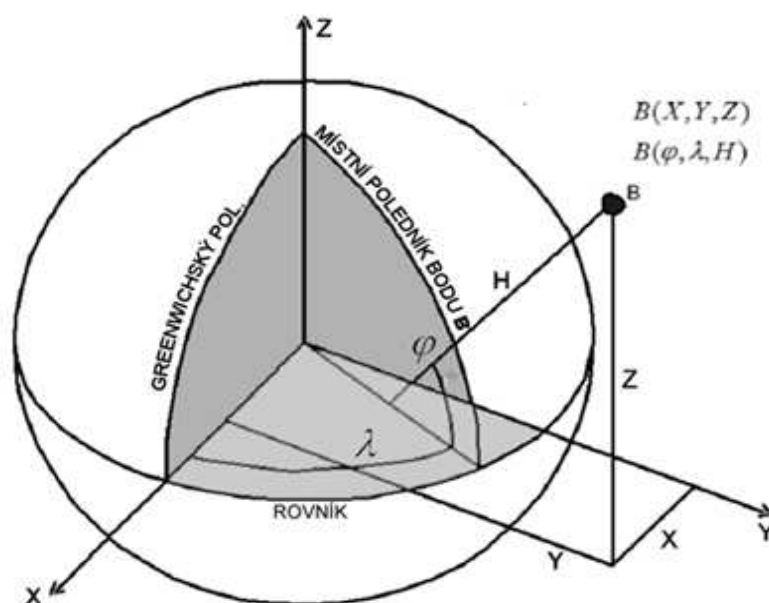
Dle [10] je Světový geodetický referenční systém 1984 na území České republiky určen:

- „*Technologiemi kosmické geodézie, které jsou součástí programů monitorovacího a zpracovatelského centra správce systému,*
- *souborem rovinných souřadnic bodů vztahených ke světovému geodetickému referenčnímu systému 1984 (World Geodetic System 1984), epoše G873,*
- *elipsoidem světového geodetického systému 1984 s konstantami  $a = 6378137$  m,  $f = 1:298,257223563$ , kde "a" je délka hlavní poloosy a "f" je zploštění.“*

Jiná definice uvádí, že geodetický systém WGS-84 je definován:

- polohou počátku a orientace pravouhlé prostorové souřadnicové soustavy,
- parametry referenčního elipsoidu,
- gravitačním modelem Země a geoidem.

**Obr. 2.1.1** Souřadnicová soustava na elipsoidu



Počátek souřadnicové soustavy a směry souřadnicových os jsou definovány následovně:

- počátek je umístěn do těžiště Země,
- osa Z má směr ke konvenčnímu terestrickému pólu (CTP) definovanému BIH na základě souřadnic stanic definujících systém BIH,
- osa X je definována průsečnicí referenčního poledníku WGS-84 a roviny rovníku vztažené k CTP, referenční poledník je nultý poledník definovaný BIH,
- osa Y doplňuje systém na pravotočivý pravoúhlý souřadnicový systém, směr kladné části osy leží v rovině rovníku 90° východně vzhledem k ose X.

Počátek souřadnicového systému WGS-84 je totožný se středem elipsoidu WGS-84 a osa Z je rotační osou elipsoidu.

Takto definovaný systém je s reálnou zemí spojen prostřednictvím pozemních stanic kontrolního segmentu GPS. Původní referenční rámec (z roku 1987) byl realizován prostřednictvím NNSS nebo TRANSIT (Doppler).

V geodetických aplikacích lze použít tři referenčních ploch:

1. topografický povrch Země,
2. geometricky definovaná plocha – elipsoid,
3. geoid.

## 2.2 Elipsoid WGS-84

Elipsoid WGS-84 je definován parametry uvedenými v tab. 2.3.1

**Tab. 2.2.1** Definující parametry elipsoidu WGS-84

Parametr	Označení	Hodnota
velká poloosa	a	6 378 137 m
převrácená hodnota zploštění <sup>3</sup>	f	298,257 223 563
úhlová rychlost rotace Země	$\omega$	$7\,292\,115 \times 10^{-11}$ rad/s
geocentrická gravitační konstanta <sup>4</sup>	GM	$3\,986\,004,418 \times 10^8$ m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>

<sup>3</sup> Originál WGS-84 neměl ve svých základních parametrech tento parametr, ale namísto toho tzv. zónální harmonický koeficient geopotenciálu 2. stupně (C2,0). V tom případě byla hodnota (f) z tohoto parametru odvozená.

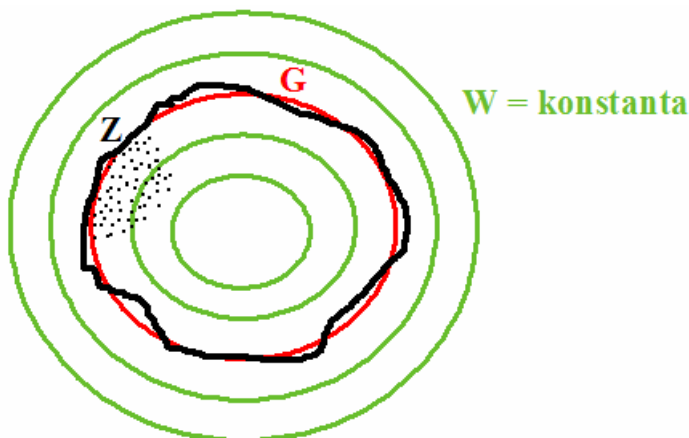
<sup>4</sup> včetně hmot. atmosféry



## 2.3 Geoid

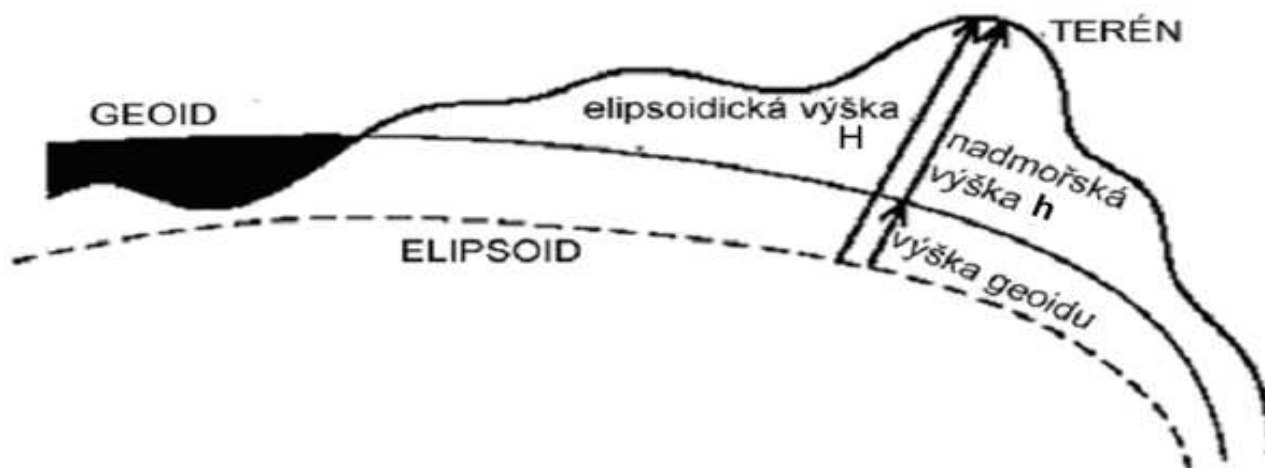
Jak již bylo řečeno výše, jednou z používaných referenčních ploch je geoid. Průběh geoidu je dobře patrný z obr. 2.3.1.

Obr. 2.3.1 Definice geoidu



Geoid je tvořen ekvipotenciální plochou (potenciál je konstantní), která se co nejvíce přimyká střední klidové hladině moří a oceánů. Pro popis geoidu je často používána jeho sférická harmonická reprezentace, nejlepší současnou sadou koeficientů pro tuto reprezentaci je EGM96. Geoid nám vlastně určuje nadmořskou výšku v daném výškovém systému.

Obr. 2.3.2 Definované výšky



## 2.4 Zobrazení UTM<sup>5</sup>

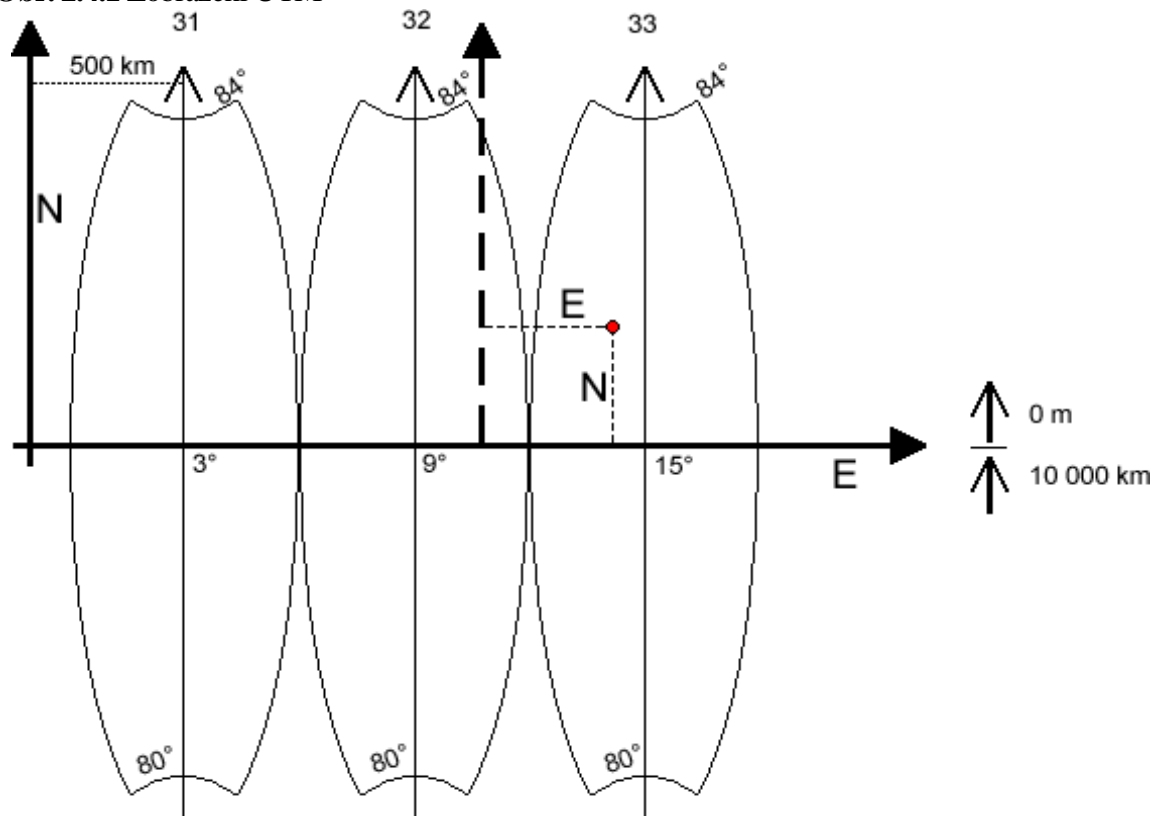
Zobrazení UTM je Mercatorovo konformní válcové zobrazení elipsoidu přímo do roviny v příčné poloze (osa válce leží v rovině rovníku). Toto zobrazení se používá pro území mezi rovnoběžkami 80° j.š. a 84° s.š. a je svou podstatou velmi blízké Gauss-Krügerovu zobrazení, ve kterém jsou například vyhotoveny topografické mapy systému 1942/83<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Universal Transverse Mercator

<sup>6</sup> Rozdíl mezi zobrazením UTM a Gauss-Krügerovým je hlavně ve zvoleném elipsoidu a délkovém zkrácení základního poledníku.

Pro zobrazení zemského povrchu je Země rozdělena do šedesáti šestistupňových pásů, které jsou číslovány od poledníku  $180^\circ$  směrem na východ, takže například Česká republika leží v pásích číslo 33 a 34. Každý tento poledníkový pás je zobrazen do roviny pomocí válcového konformního zobrazení v příčné poloze, tzn. že každý šestistupňový pás má vlastní soustavu pravouhlých rovinných souřadnic s počátkem v průsečíku rovníku se středním poledníkem daného pásu.

Obr. 2.4.1 Zobrazení UTM



Osa E (Easting) je vložena do obrazu rovníku a je kladná na východ, svislou osu značíme N (Northing) a má kladný směr na sever. Ač je počátek souřadnic na uvedeném průsečíku, nesetkáme se se zápornými hodnotami E, neboť se k nim přičítá konstanta<sup>7</sup> 500 000 m, stejně se kvůli zamezení záporné hodnoty N přičítá u bodů na jih od rovníku k souřadnici N hodnota 10 000 000 m.

Rovnoběžkové pásy jsou označeny písmeny A až Z (bez písmen O a I – ta jsou vynechána, neboť by se lehce mohla splést s čísly) – Příloha III.

Jelikož má každý šestistupňový pás svou soustavu souřadnic, není dvojice hodnot E, N jednoznačným konkrétním vyjádřením polohy. Z tohoto důvodu se k předávání informací o poloze používá tzv. *hlásný systém MGRS* (viz odst. 2.6), což je pouze jiný zápis prvků E a N.

## 2.5 Zobrazení UPS<sup>8</sup>

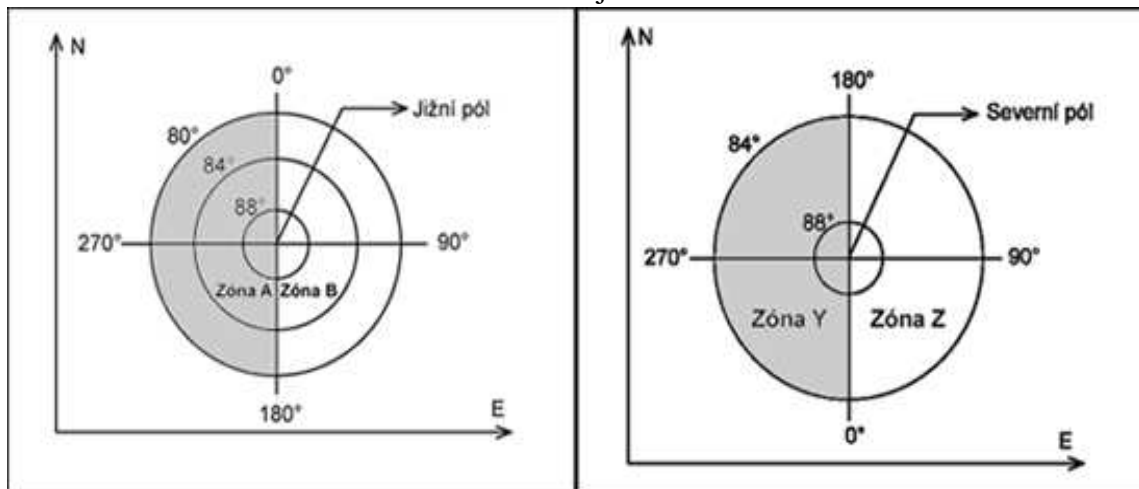
Zobrazení UPS je konformní azimutální zobrazení s konstantním zkreslením na pólu (toto zobrazení je možné odvodit geometrickou cestou, proto se můžeme setkat také s názvem stereografická projekce). Používá se pro zobrazení bodů ležících severně od  $84^\circ$  s.š. a jižně od  $80^\circ$  j.š. Počátek pravouhlé rovinné souřadnicové soustavy je položen do severního (jižního) pólu.

<sup>7</sup> Tzv. *adiční konstanta*

<sup>8</sup> Universal Polar Stereographic

Souřadnicovou osu sever–jih tvoří poledníky  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , osu východ– západ tvoří poledníky  $90^\circ$  a  $270^\circ$ . K oběma souřadnicím se přičítá konstanta 2 000 000 m.

**Obr. 2.5.1** Souřadnicová soustava UPS v severní a jižní zóně



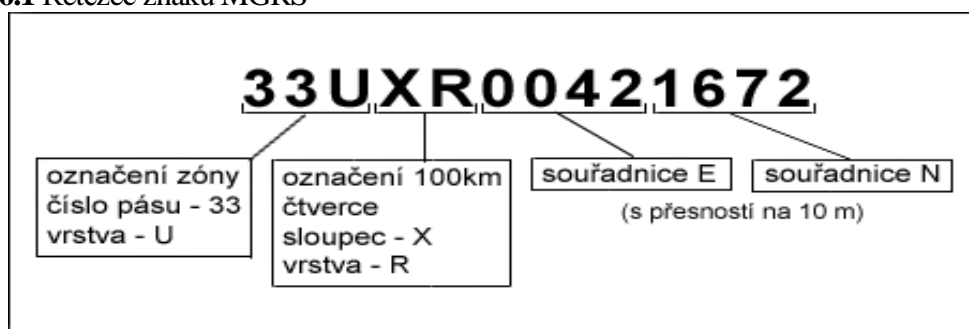
## 2.6 Hlásný systém MGRS

Jak už bylo řečeno výše, jelikož má každý šestistupňový pás svou soustavu souřadnic, není dvojice hodnot E, N jednoznačnou identifikací polohy a proto se používá hlásný systém MGRS (u nás je známý i jako *hlásný systém UTM*). Celkový údaj o poloze bodu v systému MGRS je řetězec znaků, který je tvořen 3 údaji:

1. označení zóny - zóny v polárních oblastech mají tvar půlkruhů, které vzniknou rozdělením jednotlivých kruhů poledníky se zeměpisnými délkami  $0^\circ$  a  $180^\circ$  (viz obr. 2.5.1), zóny v oblastech se zobrazením UTM mají tvar sférických lichoběžníků.
2. označení 100km čtverce,
3. souřadnice bodu ve 100 km čtverci – 4, 6, 8 nebo 10 číslic podle přesnosti určení souřadnic daného bodu

Výsledný zápis by tedy mohl vypadat například jako na obr. 2.6.1.

**Obr. 2.6.1** Řetězec znaků MGRS



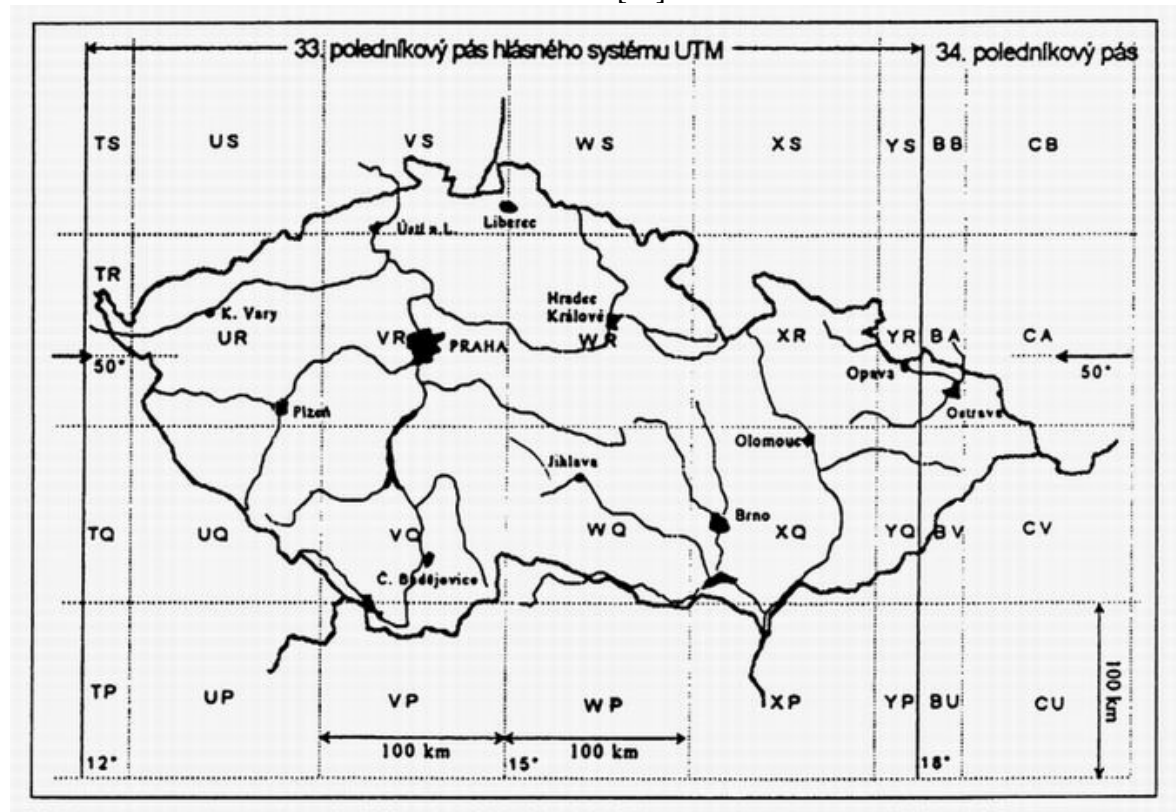
Sférický lichoběžník se označuje číslem pásu a označením vrstvy. Většina území České republiky spadá do zóny 33U.

### Označení 100km čtverců

Dalším údajem v řetězci MGRS je označení 100km čtverců. Tyto čtverce vzniknou dělením poledníkových pásů po 100 km ve směru souřadnice E ve směru souřadnic N. Na okrajích poledníkových pásů tak vznikají neúplné 100km čtverce. Čtverce (i neúplné) se označují dvojicí

písmen. První písmeno je označení v západovýchodním směru, druhé v severojižním směru. Sloupce jsou označeny písmeny abecedy<sup>9</sup> A až Z (bez I a O), po písmenu Z se pokračuje znovu od A. Vrstvy jsou značeny písmeny A až V (opět bez I a O), po písmenu V opět přichází na řadu A. U lichých poledníkových pásů začíná první vrstva od rovníku písmenem A, u sudých písmenem F.

**Obr. 2.6.2** Označení 100 km čtverců na území ČR [12]



### Souřadnice ve 100km čtverci

Další část údaje MGRS vyjadřuje polohu bodu v rámci příslušného 100km čtverce. První polovina posloupnosti číslic udává vzdálenost bodu ve vodorovném směru od západní svíslé strany 100km čtverce, druhá polovina posloupnosti udává vzdálenost bodu ve svíslém směru od jižní vodorovné strany 100km čtverce (tzn. pomyslný počátek je v levém dolním rohu 100km čtverce).

## 2.7 Realizace geocentrického souřadnicového systému v ČR

### 2.7.1 Civilní sféra

Na základě návrhu Subkomise EUREF, která spadá pod IAG je doporučeno používat jako geocentrický souřadnicový systém ETRF89, jehož souřadnicový rámec byl odvozen z ITRF. Systém ETRS má oproti systému ITRS velkou výhodu v tom, že je spojen s euroasijskou kontinentální deskou. Díky tomu jsou roční časové změny souřadnic nejméně o řád (v mm) menší, než je tomu v případě ITRF (cm). ETRF89 je v ČR v první radě zprostředkován definitivním vyrovnáním kampaně EUREF-CS/H-91.

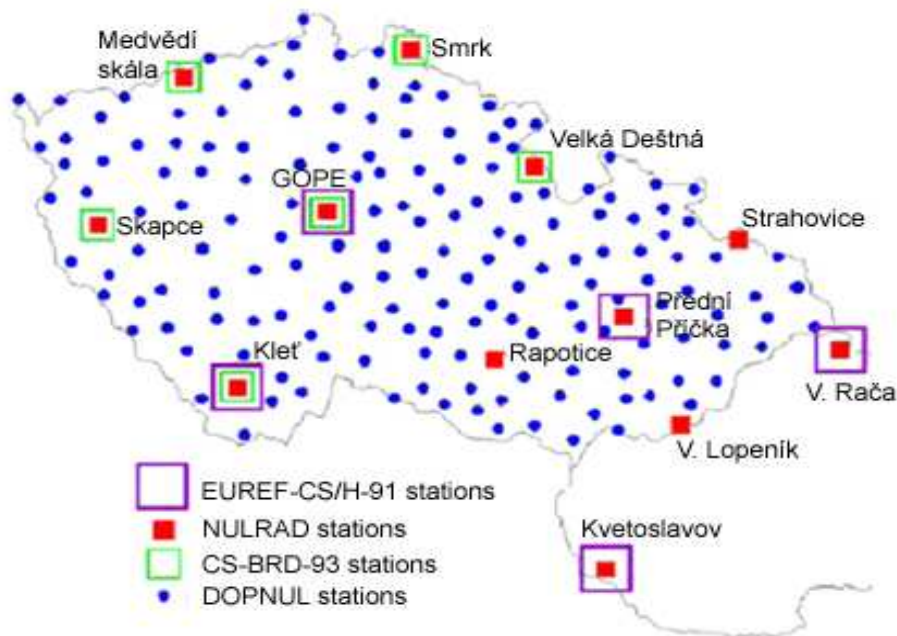
<sup>9</sup> Vzhledem k užití nejenom v České republice jde o abecedu anglickou, tzn. bez diakritiky, písmena *ch*.

Na našem území postupně proběhly následující kampaně:

- Kampaň EUREF-CS/H-91 (EUREF-EAST-91)
- Kampaň CS-NULRAD-92
- Kampaň CS-BRD-93
- Kampaň DOPNUL

Více informací o jednotlivých kampaních viz [12]

**Obr. 2.7.1:** Kampaně GPS na území ČR, pomocí nichž je definován ETRF89 [7]



### Výsledné řešení realizace ETRS-89 v ČR

Od roku 1991 byla na našem území provedena řada kvalitních měření na bodech sítě nultého řádu, proto byla tato měření využita k novému vyrovnání sítě nultého řádu na území ČR.

### Realizace převodu S-JTSK do ETRF89 [12]

Zatímco v S-JTSK jsou k dispozici souřadnice a nadmořské výšky všech trigonometrických bodů, v případě ETRF89 bylo k dispozici pouze 176 bodů. Proto bylo nutné tuto síť dále zhustit. Pro 174 identických bodů (dva body byly vyloučeny) byl určen transformační klíč 7-prvkové podobnostní transformace mezi S-JTSK a ETRF89. Odchyly na identických bodech byly nejprve aproximovány kubickou konformní transformací a dále rozděleny pro 9 969 použitých bodů Jungovou transformací. Tímto způsobem byl realizován ETRF89 pro všech 9969 bodů.

### 2.7.2 Vojenská sféra

V sektoru vojenském bylo započato s realizací systému WGS-84 na základě kampaně VGSN-92 organizované DMA a Topografickou službou AČR v roce 1992. Body byly dále zpřesněny kampaní GPS VGSN-99.

### Kampaň VGSN-92

V roce 1992 proběhla na základě dohody mezi tehdejší Topografickou službou AČR a americkou mapovací službou DMA měřická kampaň GPS pod názvem VGSN-92.

Cílem bylo zaměřit s maximální dosažitelnou přesností souřadnice 19 vybraných geodetických bodů na území Československa. Veškeré výpočetní práce byly provedeny v USA. Kampaň VGSN-92 položila geodetické základy systému WGS-84, který dnes označujeme jako WGS-84 varianta originál.

### **Kampaň VGSN-99**

V roce 1999 byly geodetické základy systému WGS-84 na území naší republiky zpřesňovány v rámci kampaně VGSN-99, výpočetní práce byly opět provedeny americkou stranou. Výsledkem této kampaně byly zpřesněné souřadnice 7 vybraných geodetických bodů. Všechny tyto body byly zaměřeny absolutní metodou GPS s přesností  $\pm 10$  cm. Zpřesněný geodetický systém se označuje jako WGS-84 (G873).

Geodetický systém WGS-84 (G873) byl plně zaveden do Armády České republiky k 1. lednu 2006.

### 3 Transformace

Jak už bylo řečeno, v současné době v České republice existují dva různé systémy, ve kterých se vyskytují mapová díla. Jedním z nich je S-JTSK, druhým je systém WGS-84, který je standardním systémem přijímačů družicové navigace GPS. Vzhledem k velkému rozvoji této techniky je dnes stále větší snaha o to, abychom mohli pracovat s daty z S-JTSK i WGS-84 najednou a proto je velmi důležité znát transformační vztahy mezi těmito dvěma systémy. Bohužel, vzhledem k metodě, jakou byla vyrovnávána síť JTSK, nemůže být použit univerzální transformační klíč pro celé území republiky, neboť S-JTSK vykazuje nepravidelně měnící se lokální deformace [5].

#### 3.1 Transformace obecně

Transformace souřadnic je obecně proces, při kterém dochází k přechodu od jedné soustavy souřadnic ke druhé. Tento přechod se dá vyjádřit pomocí transformačních rovnic. Souboru transformačních rovnic říkáme transformační klíč. Při transformaci tedy uvažujeme dvě soustavy souřadnic, mezi nimiž hledáme vzájemný vztah. Ve své bakalářské práci budu používat geometrické transformace, to jsou transformace založeny na poznání přesné polohy vybraných bodů - identických bodů, jejichž polohu známe v obou souřadnicových systémech.

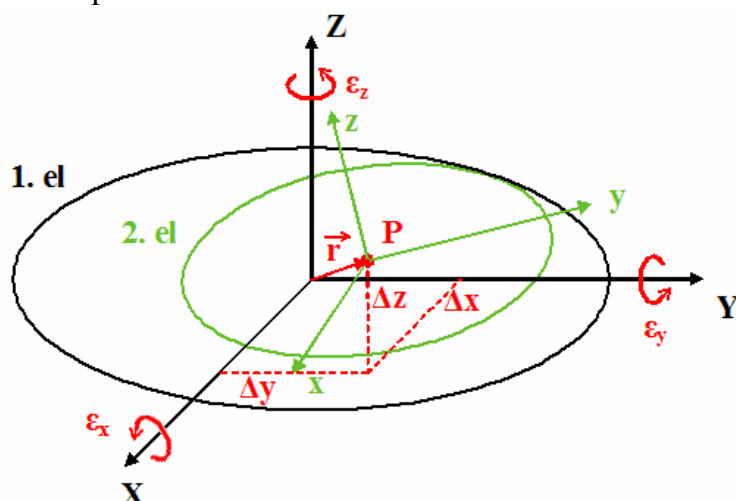
Abychom mohli použít níže popsany postup transformace pravoúhlých prostorových souřadnic  $(x, y, z) \rightarrow (x', y', z')$ , musíme umět v každém systému tyto souřadnice určit. Někdy můžeme mít souřadnice rovnou takto zadané, jindy je můžeme mít zadané třeba jako zeměpisné geodetické souřadnice  $(\varphi, \lambda, H)$ , jindy jako souřadnice rovinné – v případě Křovákova zobrazení  $(Y, X)$ .

##### 3.1.1 Transformace pravoúhlých prostorových souřadnic

Transformaci dvou různých geodetických systémů můžeme popsat pomocí výpočtu polohového vektoru  $\vec{r}'$  bodu  $P$  v pravoúhlé soustavě  $x', y', z'$  z polohového vektoru  $\vec{r}$  stejného bodu v soustavě  $x, y, z$ .

Představme si dva naprosto různé systémy souřadnic. To znamená jiný elipsoid a tím i jeho rozměr, jiné měřítko, jiná orientace os na elipsoidu a jiný počátek soustavy. Dobře je to patno z obr. 3.1.1

Obr. 3.1.1 Vztah dvou elipsoidů



Nejčastěji se v praktických geodetických aplikacích užívají dvě metody - lineární konformní transformace a afinní (polynomická) transformace. Obě tyto transformace v sobě zahrnují tři základní operace:

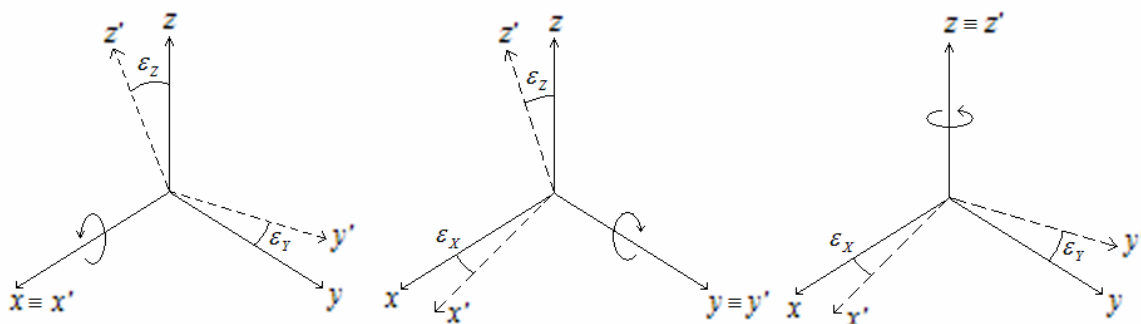
- rotaci
- translaci
- změnu měřítka.

Tyto geometrické transformace přitom vycházejí z toho, že koeficienty, kterými jsou výše uvedené operace charakterizovány, jsou konstantní v celé oblasti transformovaných dat. Někdy se můžeme setkat s označením přímé transformace. Afinní a konformní transformace se liší pouze v jednom bodě a tím je měřítko. Zatímco konformní transformace předpokládá změnu měřítka ve všech směrech stejnou, transformace afinní počítá s různou změnou měřítka ve směru os. Vzhledem k tématu bakalářské práce se již dále nebudu zabývat transformací afinní, neboť pro tuto oblast je důležitá především transformace konformní.

### Rotace

Uvažujme, že souřadnicová soustava  $x', y', z'$  vznikne ze soustavy  $x, y, z$  nejprve otočením kolem osy  $z$  o úhel  $\varepsilon_z$ , pak otočením kolem osy  $y$  o úhel  $\varepsilon_y$  a nakonec otočením kolem osy  $x$  o úhel  $\varepsilon_x$ . (Otočení o úhel  $\varepsilon$  znamená otočení kolem dané osy proti směru hodinových ručiček při pohledu proti směru osy názorněji je to vidět na obr. 3.2.1).

**Obr. 3.1.2** Otočení kolem osy  $x$ , kolem osy  $y$  a kolem osy  $z$



Polohový vektor pak vypočteme jako  $\vec{r}' = R(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z) = R(\varepsilon_x) \cdot R(\varepsilon_y) \cdot R(\varepsilon_z)$ ,

kde

$$R(\varepsilon_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon_x & \sin \varepsilon_x \\ 0 & -\sin \varepsilon_x & \cos \varepsilon_x \end{bmatrix}, R(\varepsilon_y) = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_y & 0 & -\sin \varepsilon_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varepsilon_y & 0 & \cos \varepsilon_y \end{bmatrix}, R(\varepsilon_z) = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_z & \sin \varepsilon_z & 0 \\ -\sin \varepsilon_z & \cos \varepsilon_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Výsledná matice rotace má tedy tvar:

$$R(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z) = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_y \cos \varepsilon_z & \cos \varepsilon_y \sin \varepsilon_z & -\sin \varepsilon_y \\ \sin \varepsilon_x \sin \varepsilon_y \cos \varepsilon_z - \cos \varepsilon_x \sin \varepsilon_z & \sin \varepsilon_x \sin \varepsilon_y \sin \varepsilon_z + \cos \varepsilon_x \cos \varepsilon_z & \sin \varepsilon_x \cos \varepsilon_y \\ \cos \varepsilon_x \sin \varepsilon_y \cos \varepsilon_z + \sin \varepsilon_x \sin \varepsilon_z & \cos \varepsilon_x \sin \varepsilon_y \sin \varepsilon_z - \sin \varepsilon_x \cos \varepsilon_z & \cos \varepsilon_x \cos \varepsilon_y \end{bmatrix}$$

Tato matice je závislá na pořadí rotací kolem jednotlivých os.

Protože však dle [14] jsou v soudobých referenčních systémech úhly pootočení velmi malé, lze tuto matici zjednodušit. Pro  $\varepsilon_i \rightarrow 0$ , kde  $i = X, Y, Z$ , platí  $\sin \varepsilon_i \rightarrow \varepsilon_i$  a  $\cos \varepsilon_i \rightarrow 1$ .



Matice rotace pak vypadá následujícím způsobem:

$$R(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z) = \begin{bmatrix} 1 \cdot 1 & 1 \cdot \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ \varepsilon_x \cdot \varepsilon_y \cdot 1 - 1 \cdot \varepsilon_z & \varepsilon_x \cdot \varepsilon_y \cdot \varepsilon_z + 1 \cdot 1 & \varepsilon_x \cdot 1 \\ 1 \cdot \varepsilon_y \cdot 1 + \varepsilon_x \cdot \varepsilon_z & 1 \cdot \varepsilon_y \cdot \varepsilon_z - \varepsilon_x \cdot 1 & 1 \cdot 1 \end{bmatrix}$$

Jak už bylo napsáno výše, hodnota  $\varepsilon$  je velmi malá, proto lze uvažovat  $\varepsilon_i \cdot \varepsilon_i \rightarrow 0$

Z toho nám tedy vyplývá zjednodušená matice rotace:

$$R(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z) = \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix}$$

### Translace

Translaci (posun) můžeme jednoznačně vyjádřit pomocí vektoru  $\vec{r}_0 = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)^T$  polohy počátku jedné soustavy v druhé.

### Změna měřítka

Změnu měřítka vyjadřujeme buď číslem (transformace konformní) nebo vektorem (transformace afinní). Často se můžeme setkat se zápisem měřítka ve tvaru  $q = (1 + m)$ , kde  $m$  je hodnota délkového zkreslení.

Výsledný vztah pro transformaci systémů tedy vypadá následovně:

$$\vec{r}' = \vec{r}_0 + (1 + m) \cdot R(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z) \cdot \vec{r},$$

po úpravě

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + (1 + m) \cdot \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Jak již bylo napsáno výše, koeficienty transformační rovnice získáme díky identickým bodům. Ve většině případů se nepoužívá pro výpočet klíče minimální možný počet identických bodů, ale používá se mnohem většího počtu. Z toho důvodu platí, že transformujeme-li identické body, ze kterých byly koeficienty klíče vypočteny, nedostaneme přesné souřadnice  $x', y', z'$ , ale obecně jiné souřadnice  $\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}$ . Rozdíly odpovídajících souřadnic tedy můžeme vyjádřit následujícím způsobem:

$$\delta x'_i = x'_i - \tilde{x}_i \quad \delta y'_i = y'_i - \tilde{y}_i \quad \delta z'_i = z'_i - \tilde{z}_i$$

K vyrovnání se často používá metoda nejmenších čtverců (MNČ). V našem případě tedy podmínka MNČ vypadá takto:

$$\sum (\delta x_i'^2 + \delta y_i'^2 + \delta z_i'^2) = \min.$$

Často se setkáme s označením *Helmertova transformace* (někdy také 7-prvková Helmertova transformace) - to je právě lineární konformní transformace s vyrovnáním koeficientů podle MNČ. Pokud transformujeme další body, můžeme následně provést tzv. *Jungovu transformaci* (dotransformaci). Ta spočívá v rozdělení zbylých odchylek na identických bodech bodům transformovaných podle následujících vzorců:

$$\delta x'_j = \frac{\sum_{i=1}^n p_{ij} \delta x'_i}{\sum_{i=1}^n p_{ij}} \quad \delta y'_j = \frac{\sum_{i=1}^n p_{ij} \delta y'_i}{\sum_{i=1}^n p_{ij}} \quad \delta z'_j = \frac{\sum_{i=1}^n p_{ij} \delta z'_i}{\sum_{i=1}^n p_{ij}},$$

kde  $p_{ij} = \frac{1}{s_{ij}^2}$  ( $s_{ij}$  je vzdálenost mezi body s indexem  $i$  a  $j$ ,  $n$  je počet identických bodů).

Souřadnice po tomto kroku tedy vypadají tak, že identické body si ponechají původní souřadnice z 2. soustavy (tj. původní, známé  $x', y', z'$ ), transformované body pak jsou ve tvaru

$$x'_j = \tilde{x}_j + \delta x'_j, \quad y'_j = \tilde{y}_j + \delta y'_j, \quad z'_j = \tilde{z}_j + \delta z'_j.$$

### 3.1.2 Převod rovinných pravoúhlých souřadnic v rovině Křovákova zobrazení na zeměpisné souřadnice

Při transformaci souřadnic  $(Y, X)$  na  $(\varphi, \lambda)$  pracujeme celkem se třemi plochami - rovinou, koulí a elipsoidem. Jak již bylo řečeno, Křovákovo zobrazení je konformní kuželové zobrazení v obecné poloze a z toho plynou níže uvedené vztahy.

Znázornění situace viz obr. 1.2.1. Postup transformace  $(Y, X)$  na  $(\varphi, \lambda)$  probíhá podle schématu

$$[\varphi, \lambda] \stackrel{i.}{\leftrightarrow} [U, V] \stackrel{ii.}{\leftrightarrow} [\check{S}, D] \stackrel{iii.}{\leftrightarrow} [\rho, \varepsilon] \stackrel{iv.}{\leftrightarrow} [Y, X]$$

Používané konstanty:

$$\begin{aligned} U_K &= 59^\circ 42' 42,69690'' & \alpha &= 1,000\,597\,498\,372 \\ V_K &= 42^\circ 31' 31,41725'' & n &= 0,979\,924\,704\,620\,830 \\ \check{S}_0 &= 78^\circ 30' & k &= 0,996\,592\,486\,900 \quad (\neq \text{multiplikační konstanta})^{10} \\ \varphi_0 &= 49^\circ 30' & R &= 6\,380\,703,610\,500\,m \\ \rho_0 &= 1\,298\,039,004\,615\,180 & U_0 &= 49^\circ 2' 35,84625'' \\ e &\dots \text{excentricita Besselova el.} \end{aligned}$$

#### I. Gaussovo konformní zobrazení Besselova elipsoidu na kouli $[\varphi, \lambda] \leftrightarrow [U, V]$

Lze vycházet ze vzorce

$$\operatorname{tg}\left(\frac{U}{2} + \frac{\pi}{4}\right) = \frac{1}{k} \cdot \left[ \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\pi}{4}\right) \cdot \left(\frac{1 - e \cdot \sin \varphi}{1 + e \cdot \sin \varphi}\right)^{\frac{e}{2}} \right]^\alpha \quad V = \alpha \cdot \lambda$$

Zeměpisnou šířku  $U$  lze získat také pomocí řady:

$$\begin{aligned} \Delta U &= 99,858\,597\,9496 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta \varphi + 86,503\,510\,75 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta \varphi^2 - \\ &15,109\,01 \cdot 10^{-8} \cdot \Delta \varphi^3 - 117,3673 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta \varphi^4 - 180 \cdot 10^{-14} \cdot \Delta \varphi^5 \end{aligned}$$

inverzní vztah:

$$\begin{aligned} \Delta \varphi &= 100,141\,602\,2789 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta U - 86,871\,504\,17 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta U^2 + \\ &16,701\,97 \cdot 10^{-8} \cdot \Delta U^3 + 117,5089 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta U^4 \end{aligned} \quad \lambda = \frac{V}{\alpha}$$

kde  $\Delta U = U - U_0$        $\Delta \varphi = \varphi - \varphi_0$

<sup>10</sup> Občas se můžeme setkat s tím, že jako konstanta  $k$  je uváděna hodnota rovnající se převrácené hodnotě mnou uvedené hodnoty (přibližně 1,003419164). Nelze říct, že by ta či ona interpretace byla nesprávná, v obou případech jde pouze o jiné označení, na celkový výpočet nemá tento rozdíl žádný vliv.

## II. Transformace souřadnic $[U, V] \leftrightarrow [\check{S}, D]$

Vztahy plynou ze sférické trigonometrie:

$$\sin \check{S} = \sin U_K \cdot \sin U + \cos U_K \cdot \cos U \cdot \cos \Delta V \qquad \sin D = \frac{\sin \Delta V \cdot \cos U}{\cos \check{S}}$$

kde  $\Delta V = V_K - V$

inverzní vztah:

$$\sin U = \sin U_K \cdot \sin \check{S} - \cos U_K \cdot \cos \check{S} \cdot \cos D \qquad \sin \Delta V = \frac{\sin D \cdot \cos \check{S}}{\cos U}$$

## III. Konformní kuželové zobrazení $[\check{S}, D] \leftrightarrow [\rho, \varepsilon]$

Zobrazovací rovnice konformního kuželového rozhraní v obecné tečné poloze:

$$\rho = \rho_0 \cdot \left[ \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\check{S}_0}{2} + \frac{\pi}{4}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\check{S}}{2} + \frac{\pi}{4}\right)} \right]^n \qquad \varepsilon = n \cdot D$$

Konstanty  $\rho_0$  a  $n$  pro jednu nezkreslenou rovnoběžku  $\Rightarrow \rho_0 = R \cdot \cotg \check{S}_0$ ,  $n = \sin \check{S}_0$

Uvážení multiplikační konstanty bude:  $\rho_0 = 0,9999 \cdot R \cdot \cotg \check{S}_0$

inverzní vztah:

$$\check{S} = 2 \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \left[ \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\check{S}_0}{2} + 45^\circ\right)}{\sqrt[n]{\frac{\rho}{\rho_0}}} \right] - 45^\circ \right\} \qquad D = \frac{\varepsilon}{n}$$

## IV. Transformace souřadnic polárních na pravouhlé $[\rho, \varepsilon] \leftrightarrow [X, Y]$

$$Y = \rho \cdot \sin \varepsilon \qquad X = \rho \cdot \cos \varepsilon$$

inverzní vztah:

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{Y}{X} \qquad \rho = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

### 3.1.3 Převod zeměpisných souřadnic na pravouhlé prostorové souřadnice

Dle [5] platí pro transformaci  $(\varphi, \lambda, H) \Rightarrow (x, y, z)$  tyto vztahy:

$$X = (N + H) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda$$

$$Y = (N + H) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda$$

$$Z = [N \cdot (1 - e^2) + H] \cdot \sin \varphi$$

$$kde \quad e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}}$$

$a$ ...hlavní poloosa el.

$b$ ...vedlejší poloosa el.

$e$ ...excentricita

Zpětný převod je ovšem mnohem složitější a je více vhodných způsobů, kterými ho lze provést. Jednou z možností je postupovat podle návrhu v [5].



**Tab. 3.1.4** Parametry Besselova elipsoidu a elipsoidu WGS-84 [1]

Parametr		Bessel 1841	WGS-84
hlavní poloosa [m]	<i>a</i>	6 377 397,155	6 378 137,000
vedlejší poloosa [m]	<i>b</i>	6 356 078,96290	6 356 752,31425
excentricita	<i>e</i>	0,081 696 831	0,081 191 910
zploštění	<i>i</i>	1: 299,153	1: 298,257

$$\text{kde } e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}, \text{ a } i = \frac{a - b}{a}$$

## 3.2 Koeficienty transformace

Abychom mohli použít transformační klíč, musíme znát potřebné koeficienty. Je to celkem 7 parametrů  $(m, \Delta x, \Delta y, \Delta z, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)$  a k jejich určení potřebujeme dostatečný počet identických bodů. Tyto parametry byly již nespočetně mnohokrát určeny a tak jejich hodnoty naleznete v mnoha publikacích. Problém je, že těchto souborů naleznete sice velké množství, ale každý takový soubor má konkrétní hodnoty jiné. Vždyť jen v [5] jsou tři různé soubory parametrů. Hodnoty parametrů totiž samozřejmě záleží na bodech, ze kterých je počítáme. Základním problémem určujícím přesnost transformačního klíče je tedy vhodný výběr bodů.

První myšlenkou tedy je, jak velké území budu transformovat. Pokud je to nějaké menší území, stačí nám vybrat body v blízkosti tohoto území a získáme tzv. *lokální transformační klíč*. Pokud bychom chtěli převod například pro celou republiku, dostáváme tzv. *globální klíč*. Vzhledem ale k již dříve několikrát uvedeným deformacím S-JTSK tento systém nemůže být tolik přesný.

Chceme-li transformovat data po celé republice, musíme najít vhodný soubor bodů, ze kterých vypočítáme koeficienty. Tyto body musí mít souřadnice jak v S-JTSK, tak ve WGS-84. Vzhledem k tomu, že terestrický systém ITRF je prakticky shodný s WGS-84 (rozdíl mezi WGS-84 a ITRF jsou v řádu centimetrů viz [4]) a lze tyto souřadnice zaměnit [5], nabízí se nám soubor bodů kampaně DOPNUL. Tyto body jsou rovnoměrně rozmístěné po celém zájmovém území a měly by tedy vyhovovat.

Pro výpočet koeficientu pro menší zájmové území stačí vyhledat například na <http://dataz.cuzk.cz/> body, které mají souřadnice určeny v S-JTSK i v ETRS-89 a přibližně nám vystihují danou oblast. Hodnoty parametrů transformačního klíče budou pochopitelně jiné než u globálního klíče, ale měly by v daném území poskytnout vyšší přesnost při transformaci bodů.

## 3.3 Ukázka klíčů

Na ukázkou zde uvádím jeden z globálních klíčů, který jsem v literatuře objevila a jeden z lokálních klíčů – tab. 3.3.1. Globální klíč jsem získala z [5], kde jich je uvedeno hned několik. Zde uvedený klíč je vypočítán z bodu DOPNUL za použití podmínky minimalizující  $\max_r$ <sup>11</sup>. Lokální klíč jsem získala od Ing. Davida Vojtěcha, který jej počítal v rámci své diplomové práce, kterou obhájoval v červnu 2006 také na geomatice. Tento klíč však bohužel v práci neuvádí. Tento lokální klíč je platný na území západně od Liberce - konkrétně Liberec až Hrádek nad Nisou.

Oba klíče jsou platné pro transformaci bodů z WGS-84 do S-JTSK. K opačné transformaci lze dohledat jiné koeficienty, z matematického hlediska bychom mohli použít stejné koeficienty s opačnými znaménky.

<sup>11</sup> Dle [5] je  $\max_r = \max r_i = \max \sqrt{(X_i^{\text{spoc}} - X_i^{\text{známé}})^2 + (Y_i^{\text{spoc}} - Y_i^{\text{známé}})^2}$

**Tab. 3.3.1** Koeficienty transformačního klíče

<b>klíč</b> <b>parametr</b>	<b>Globální</b>	<b>Lokální</b>
$m [10^{-6}]$	-3,54300	-0,0279
$\Delta x [m]$	-570,69000	-627,65390
$\Delta y [m]$	-85,69000	-190,59510
$\Delta z [m]$	-462,84000	-423,70140
$\varepsilon_x [']$	4,99821	8,04743
$\varepsilon_y [']$	1,58676	-0,54933
$\varepsilon_z [']$	5,26110	3,74677

## 4 Hodnocení přesnosti transformace vybraných softwarových aplikací

Součástí této bakalářské práce je i hodnocení vybraných softwarových aplikací. Rozhodla jsem se porovnávat pouze tzv. „freeware“ programy, tj. volně dostupné a v jejich výběru mi velmi pomohl článek [15]. Budu tedy pracovat s následujícími programy:

- (1) **DoKrovi**  
Dostupné z: <http://www.ibot.cas.cz/personal/wild/data/DoKrovi.exe>  
Autor: Jan Wild
- (2) **Matkart**  
Dostupné z: [http://www.kartografie.ic.cz/matkart/g/program/vb105\\_sjtsk\\_wgs84\\_tam\\_a\\_zpet.exe](http://www.kartografie.ic.cz/matkart/g/program/vb105_sjtsk_wgs84_tam_a_zpet.exe)  
Autor: Bohuslav Veverka, verze 2003-07
- (3) **Wgs84**  
Dostupné z: <http://www.geospeleos.com/Mapovani/WGS84toSJTSK/Wgs84.exe>  
Autor: Jakub Kerhart, 2002
- (4) **WGS84toSJTSK<sup>12</sup>**  
Dostupné z: <http://www.geospeleos.com/Mapovani/WGS84toSJTSK/WGS84toSJTSK.exe>  
Autor: Zdeněk Hrdina
- (5) **Přepočet z S-JTSK do WGS-84**  
Dostupné z: <http://gpsweb.cz/JTSK-WGS.htm>  
Autor: Zdeněk Hrdina, 2002
- (6) **Přepočet z WGS-84 do S-JTSK**  
Dostupné z: <http://gpsweb.cz/WGS84toSJTSK.html>  
Autor: Zdeněk Hrdina, 2001

**Tab. 4.1** Přehled porovnávaných programů

		výšky	WGS do JTSK	JTSK do WGS	vstup	výstup	mezivýsledky
<b>Program č.</b>	<b>1</b>	Ne	Ano	Ne	Klávesnice, soubor	Obrazovka, soubor	Ano
	<b>2</b>	Ne	Ano	Ano	Klávesnice	Obrazovka	Ne
	<b>3</b>	Ne	Ano	Ano	Klávesnice	Obrazovka	Ne
	<b>4</b>	Ano	Ano	Ne	Klávesnice	Obrazovka, soubor <sup>13</sup>	Ano
	<b>5</b>	Ano	Ne	Ano	Klávesnice	Obrazovka	Ne
	<b>6</b>	Ano	Ano	Ne	Klávesnice	Obrazovka	Ano

Pro ověření přesnosti transformací jsem si vybrala 5 bodů NULRAD (Skapce, Klet', Smrk, Rapotice, Strahovice) viz obr. 2.7.1.

<sup>12</sup> Program č. 4 je od stejné jako programy č. 5 a 6 od doc. Hrdiny, ale pravděpodobně se jedná o starší verzi programu č. 6. Je to pouze má domněnka, nikde jsem nenalezla časový údaj o vzniku tohoto programu.

<sup>13</sup> V tomto programu je sice nabízena možnost uložení do souboru, ale jedná se pouze o uložení jednoho přepočítaného bodu, ne například většího souboru naměřených dat.

Postupovala jsem tak, že jsem vyjádřila střední souřadnicovou chybu podle vzorce:

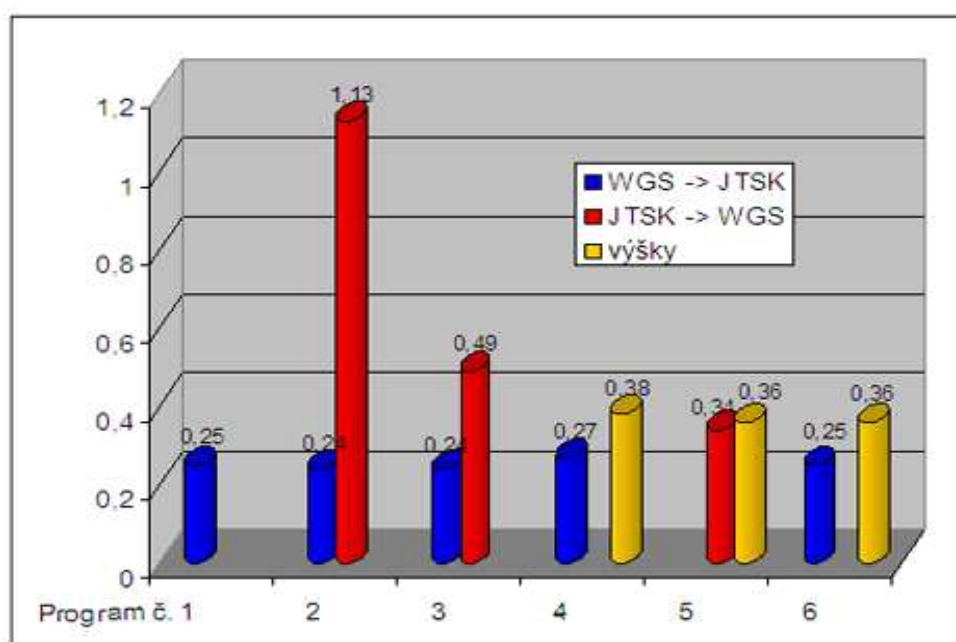
$$m_{XY} = \sqrt{\frac{(X_{zGÚ} - X_{spoč.})^2 + (Y_{zGÚ} - Y_{spoč.})^2}{2 \cdot n}},$$

kde  $n$ ... počet bodů, tj. v našem případě 5. U programů číslo 4, 5 a 6 jsem také vypočítala chybu ve výšce podle vzorce:

$$\Delta H = \frac{\sum_{i=1}^n \text{abs} |H_{zGÚ} - H_{spoč.}|}{n}.$$

Všechny takto vypočítané hodnoty jsem přehledně zpracovala do grafu v prostředí *MSExcels*.

**Obr. 4.2** Porovnání přesnosti transformace jednotlivých programů.



Při transformaci souřadnic z WGS-84 do S-JTSK dopadly všechny mnou srovnávané programy velmi podobně, jejich střední souřadnicová chyba se pohybuje v rozmezí  $\langle 0,24; 0,27 \rangle$  cm. Při transformaci opačné, tj. z S-JTSK do WGS-84 už to takto vyrovnané nebylo. U programu Matkart je chyba nejméně dvakrát větší než u programů č. 3 a 4. Tento rozdíl může být způsoben různými důvody. Může se jednat o jiný soubor bodů, ze kterého byl klíč počítán; tyto body mohly být vybrány jen z malého území a nevyhovují tak datům, které rovnoměrně pokrývají celou naši republiku. Co se týče porovnání výšek, to opět dopadlo u programů, které tento výpočet nabízejí, velmi podobně. Chyba ve výšce se pohybuje v intervalu  $\langle 0,36; 0,38 \rangle$  cm.

Z výše provedeného srovnání je dle mého názoru nejlepší program č.6 *Přepočít z WGS-84 do S-JTSK* od doc. Hrdiny. Vykazuje nejmenší chyby při převodu ze systému WGS-84 do S-JTSK. Bohužel však nenabízí opačnou transformaci – z S-JTSK do WGS-84. Pro tuto transformaci bych z výše jmenovaných programů volila program č. 5 *Přepočít z S-JTSK do WGS-84* také od doc. Hrdiny<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Zřejmě se v případě programů č. 5 a č. 6 jedná o jeden program, který je rozdělen do dvou částí. Lze to usuzovat z přesnosti ve výškách i podle autora.



## 5 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo shrnout poznatky o systémech JTSK a WGS-84 a ucelit informace o jejich vzájemné transformaci.

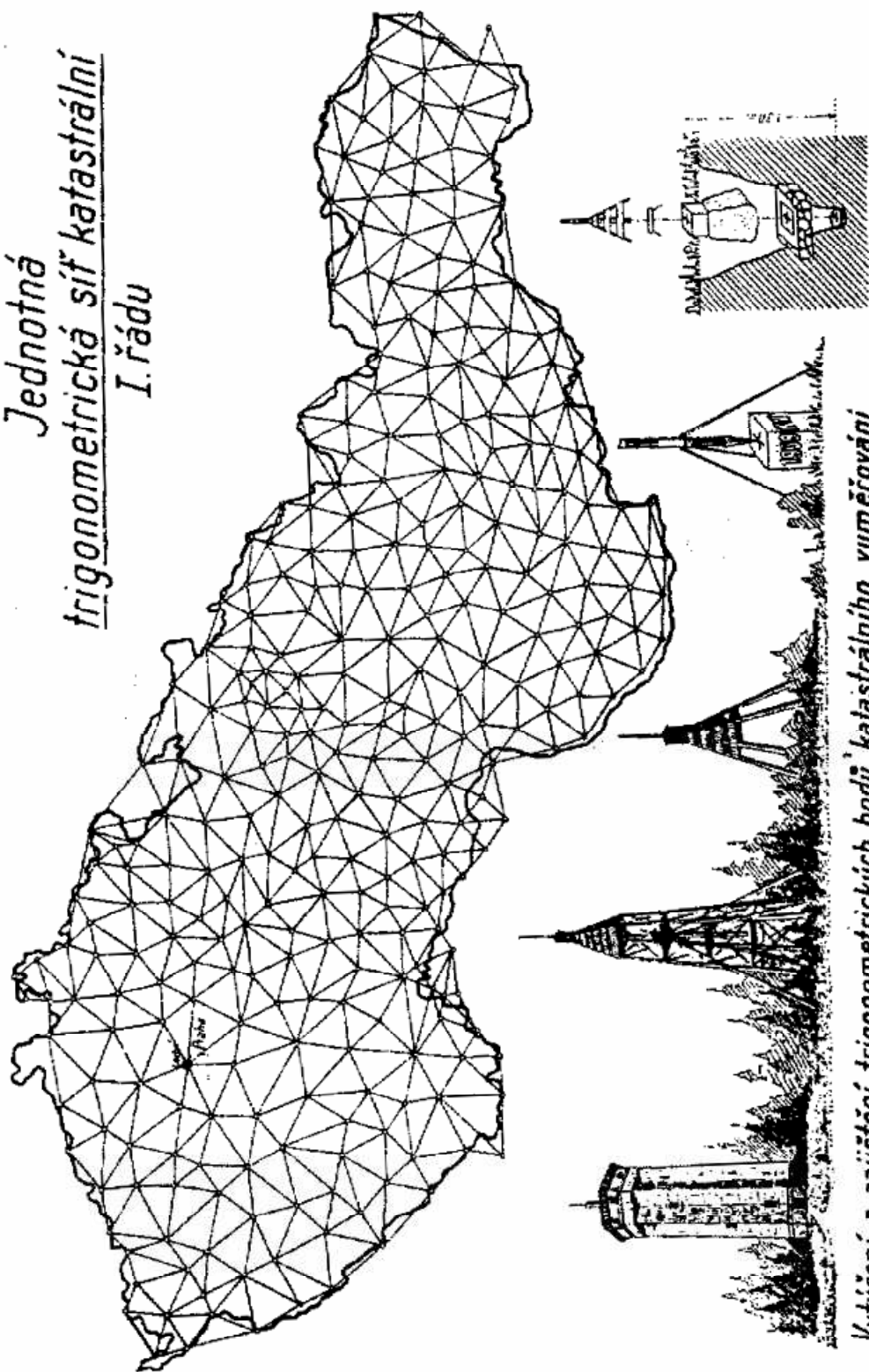
Domnívám se, že cíle práce se podařilo naplnit do míry, v jaké je to v rozsahu této práce možné. Při psaní této práce jsem narazila na různé další zajímavosti, kterým bych se ráda věnovala dále a rozšířila tím tuto práci například do práce diplomové. Jedna z věcí, kterou bych ráda zapracovala do diplomové práce, by byl program pro transformaci mezi systémy WGS-84 a JTSK, který pracuje i s výškami, je schopen pracovat i se soubory a podobně. Výhodné by bylo, kdyby byl program schopen provést transformaci buď z implicitně definovaného transformačního klíče nebo z uživatelem zadaného. Dalším vhodným rozšířením by bylo obohatit tento program i o možnost transformace bodů z jiných systémů.

## Použitá literatura

- [1] BARANOVÁ, M.: *Multimediální texty k předmětu MK*. [online]. 2007. [cit. 2007-05-05]. Dostupné z: [http://www.gis.zcu.cz/studium/mk2/multimedialni\\_texty/index\\_soubory/index.html](http://www.gis.zcu.cz/studium/mk2/multimedialni_texty/index_soubory/index.html)
- [2] ČADA, V. *Geodézie. Přednášky z předmětu GENI* [online]. Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd, Katedra matematiky. 2005. [cit. 2007-01-05]. Dostupné z: <http://www.gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html>
- [3] ČERNOHORSKÝ J., KOLÁŘ R., KOSTELECKÝ J., ŠIMEK J.: *Rozvoj geodetických základů České republiky v kontextu EUREF*. Geodetický a kartografický obzor, č. 4-5, roč. 50/92, 2004, str. 63 – 79.
- [4] *Department of Defence World Geodetic System 1984. Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems*. National Imagery and Mapping Agency. Technical report NIMA TR8350.2, 3rd edition, 2000.
- [5] HRDINA, Z.: *Transformace souřadnic ze systému WGS-84 do systému S-JTSK*. Praha: ČVUT, 1997. Dostupné z: [http://www.geospeleos.com/Mapovani/WGS84toSJTSK/WGS\\_JTSK.pdf](http://www.geospeleos.com/Mapovani/WGS84toSJTSK/WGS_JTSK.pdf)
- [6] KOSTELECKÝ, J.: *Rozbor možností připojení lokalit zhuštění bodového pole na DOPNUL*. Technická zpráva VÚGTK č. 992/99, Zdiby 1999.
- [7] KOSTELECKÝ, J.: *Souřadnicový systém S-JTSK-95, současný stav a možnosti jeho zpřesnění*. Dostupné z: <http://gama.fsv.cvut.cz/gk/k152/navody/VG21/VG21-S-JTSK95.pdf>
- [8] KOSTELECKÝ, J., CIMBÁLNÍK, M., PROVÁZEK, J., ZAJÍČEK, L.: *Reference coordinate system S-JTSK/95 – Its establishment in the Czech republic*. In Proceedings of Research Works 1998. Roč.44. Zdiby: VÚGTK, 1998. str. 55-63. ISBN 80-85881-10-1 Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/sb98/kostel.htm>
- [9] KOSTELECKÝ, J., DUŠÁTKO, D. (eds.). *Geodetické referenční systémy v České republice. Vývoj od klasických ke geocentrickým souřadnicovým systémům*. Monografická publikace VÚGTK a VZÚ Praha, roč. 44, č.21. Zdiby 1998. 186 str.
- [10] Nařízení vlády ČR č. 116/1995 Sb., kterým se stanoví geodetické referenční systémy, státní mapová díla závazná na celém území státu a zásady jejich používání.
- [11] NOVÁK, P.: *Přednáškové fólie z předmětu Vyšší geodézie 2007*. Dostupné z: <http://www.gis.zcu.cz/?page=gev>
- [12] ŠÍMA, P. *Křovákovo zobrazení*. [online]. 2007. [cit. 2007-01-05]. Dostupné z: <http://krovak.webpark.cz/index.htm>.
- [13] *UTM – Wikipedie, otevřená encyklopedie*. [online]. 2007. [cit. 2007-05-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/UTM>
- [14] VEVERKA, B. *Souřadnicové transformace v GISech a digitální kartografii*. ČVUT Praha, 2001. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/kartografie/konference2001/sbornik/veverka/veverka-referat.htm>
- [15] *Z S-JTSK do WGS-84 a zpět*. Zeměměřič, č. 06-10. [cit. 2007-5-5]. Dostupné z: <http://www.zememeric.cz/default.php?clanek.php?zaznam=2233>

# **Přílohy**

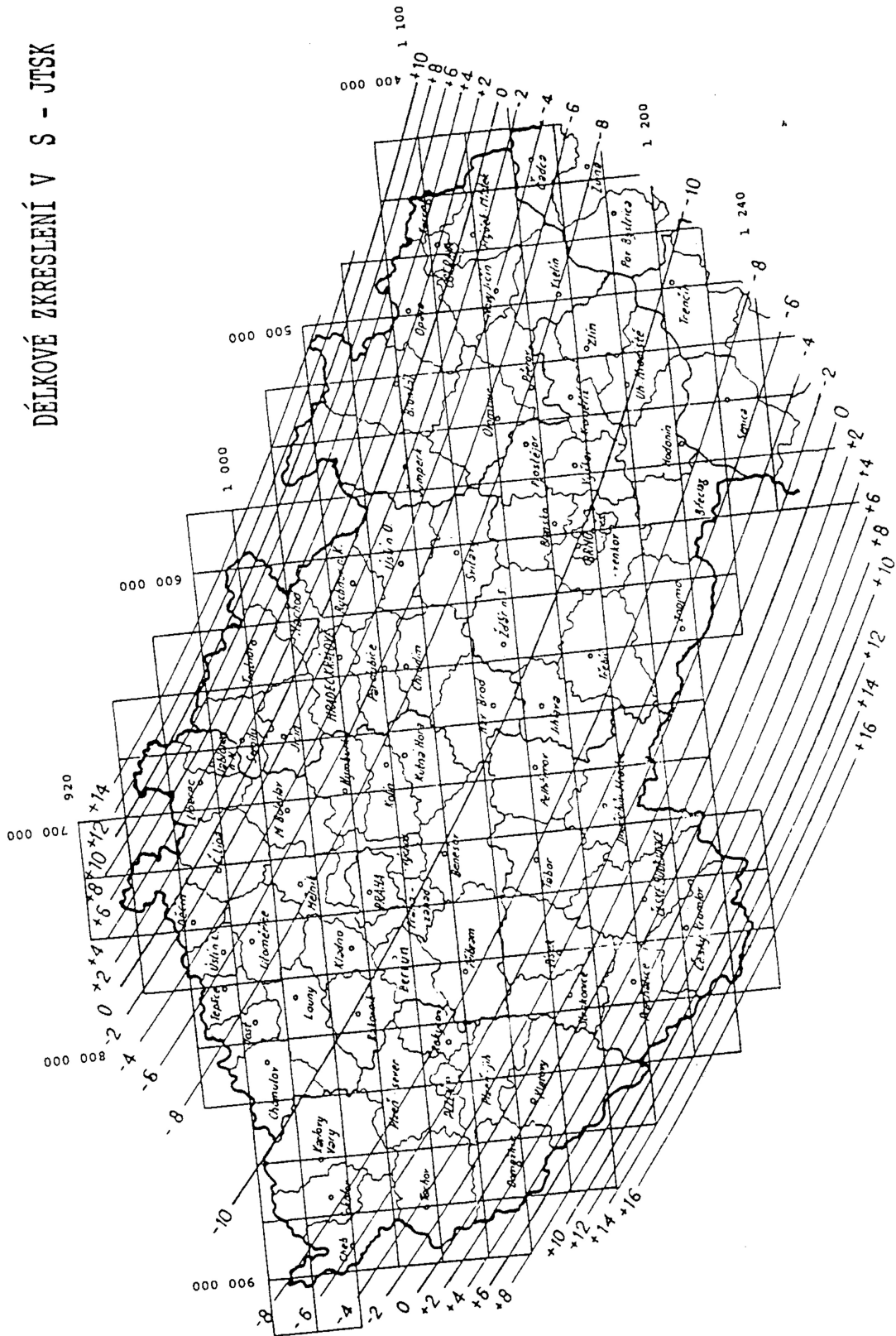
*Jednotná  
trigonometrická síť katastrální  
I. řádu*



*Vytváření a zajištění trigonometrických bodů katastrálního vyměřování*

Příloha II. Průběh délkového zkreslení v systému JTSK [2]

DÉLKOVÉ ZKRSELENÍ V S - JTSC



**Příloha III.** Zobrazení UTM – označení sloupců (poledníkových) a vrstev (rovnoběžkových)  
[13]

