

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí
Zadávající katedra: Katedra krajinného managementu
Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Souřadnicové systémy používané na území ČR pro evidenci
nemovitostí - historie i současnost**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Bc. Martin Pavel
Konzultant bakalářské práce: Ing. Magdaléna Čepičková
Autor bakalářské práce: Monika Telenská

České Budějovice, 2016

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Monika TELENSKÁ**
Osobní číslo: **Z12830**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Souřadnicové systémy používané na Území ČR pro evidenci nemovitostí - historie i současnost**
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je zhodnocení kartografických zobrazení a souřadnicových soustav na území ČR z hlediska jejich použitelnosti a používanosti v KN, transformací a podmínek pro transformace.

Zásady pro vypracování:

Tvar zemského tělesa a používané referenční plochy.

Přehled kartografických zobrazení.

Přehled souřadnicových soustav.

Možnosti a porovnání transformací mezi souřadnicovými soustavami v KN.

Podmínky pro použití transformací.

Stanovení optimálních podmínek pro použití vybraných druhů transformací mezi souřadnicovými systémy.

Transformace z WGS84 do S-JTSK.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 35 stran textu**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Navrátil, G., Unger, E.: Reprint of: Requirements of 3D cadastres for height systems. Computers, Environment and Urban Systems, 2013.

Čada, V., Vichrová, M. Horizontal control for stable cadastre and second military survey (franziszeische landesaufnahme) in Bohemia, Moravia and Silesia. Acta Geod. Geoph. Hung. 2009, (44), 105-114.

Pyšek, J. Matematická kartografie; Západočeská univerzita: Plzeň, 1995.

Pyšek, J. Kartografie a topografie, I. Kartografie; Západočeská univerzita: Plzeň, 1991.

Fiala, F. Matematická kartografie; Československá akademie věd: Praha, 1955.

Seznam internetových zdrojů:

<http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.1/doc.html>

http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/jine/geos06/paper/22_janus_marsa/paper/22_janu


<http://www.dqts.net/files/wgsman24.pdf>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. Martin Pavel**
Katedra krajinného managementu


Datum zadání bakalářské práce: **17. března 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2015**

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13 ④
370 02 Česká Budějovice


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

L.S.


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. března 2014

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to- v nezkrácené podobě- v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných zemědělskou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, dne 22. 4. 2016.

.....
Monika Telenská

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Bc. Martinu Pavlovi za odbornou pomoc a ochotu po celou dobu zpracovávání. Dále bych také poděkovala mé rodině za podporu a trpělivost, zejména mé kamarádce Anetě Hoblíkové za pomoc s formální podobou práce.

Anotace

Tato bakalářská práce na téma „Souřadnicové systémy používané na území ČR pro evidenci nemovitostí“ přináší přehled a základní charakteristiky jednotlivých zobrazení, používané referenční plochy a transformace souřadnic. Ve třetí kapitole popisují stručný přehled vývoje kartografických zobrazení. V kapitole čtvrté se věnují referenčním plochám, které se používají. V kapitole páté a šesté se zabývám jednotlivým kartografickým zobrazením, které rozebírám podrobněji. V předposlední, tedy sedmé kapitole jsem utvořila přehled souřadnicových soustav. Končím kapitolou osmou, ve které uvádím informace o transformacích.

Klíčová slova: matematická kartografie, referenční plocha, kartografická zobrazení, mapa, elipsoid, souřadnicové soustavy, transformace

Abstract

This thesis on the topic, "Coordinate systems used in the Czech Republic for the registration of real estate," provides an overview and basic characteristics of display used reference sites, and coordinate transformation. In the third chapter describes a brief overview of the development of cartographic representation. The fourth chapter is devoted to reference surfaces that are used. In chapter five and six deal with various cartographic representation, which I analyze in detail. At last, a seventh chapter, I formed an overview of coordinate systems. Abandoning the eighth chapter, in which I mention about transformations.

Keywords: mathematical cartography, reference area, map projection, map, ellipsoid, coordinate system, transformation

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Vysvětlení základních pojmů.....	12
3. Stručný přehled vývoje kartografických zobrazení.....	13
3.1 Antická kartografie.....	13
3.2 Dávnověká řecká a římská kartografie.....	13
3.3 Středověká kartografie.....	14
3.4 Renesanční kartografie.....	14
3.5 Novodobá kartografie.....	14
4. Tvar zemského tělesa a používané referenční plochy.....	16
4.1 Tvar zemského tělesa.....	16
4.2 Referenční plochy.....	17
4.2.1 Referenční elipsoid.....	17
4.2.2 Referenční koule.....	19
4.2.3 Referenční rovina.....	20
5. Analýza kartografického zobrazení.....	21
5.1 Určení třídy kartografického zobrazení.....	22
5.2 Určení druhu kartografického zobrazení podle zkreslení.....	22
5.3 Určení parametrů kartografického zobrazení.....	22
6. Přehled kartografických zobrazení.....	23
6.1 Třídění podle kartografických zkreslení.....	23
6.1.1 Konformní (úhlojevná, stejnoúhlá) zobrazení.....	23
6.1.2 Ekvidistantní zobrazení.....	23
6.1.3 Ekvivalentní (plochojevná, stejnoplochá) zobrazení.....	23
6.1.4 Vyrovnávací (kompenzační) zobrazení.....	24
6.2 Třídění podle plochy, na kterou zobrazujeme.....	24
6.2.1 Azimutální zobrazení.....	24
6.2.2 Kuželové zobrazení.....	24
6.2.3 Válcové zobrazení.....	25
6.3 Nepravá zobrazení.....	25
6.4 Třídění podle polohy osy zobrazení.....	26
7. Přehled souřadnicových soustav.....	28
7.1 Souřadnicové soustavy v geodézii a kartografii.....	28

7.1.1	Geodetické zeměpisné souřadnice $[\varphi, \lambda]$	28
7.1.2	Geocentrické zeměpisné souřadnice $[\beta, \lambda]$	29
7.1.3	Polární sférické souřadnice $[A, s]$	29
7.1.4	Pravoúhlé rovinné souřadnice $[X, Y]$	29
7.1.5	Polární rovinné souřadnice $[\rho, \varepsilon]$	30
7.1.6	Kartografické souřadnice $[\check{S}, D]$	31
8.	Transformace souřadnic	33
8.1	Transformace souřadnic mezi kartografickými zobrazeními	33
8.2	Druhy transformací a jejich podmínky	33
8.2.1	Shodnostní transformace	33
8.2.2	Podobnostní transformace	34
8.2.3	Afinní transformace	34
8.2.4	Helmertova rovinná lineární konformní transformace.....	34
8.3	Identické body	35
8.4	Křovákovo zobrazení	36
8.4.1	Gaussovo konformn. zobr. Besselova elipsoidu (φ, λ) na kouli (U, V)	36
8.4.2	Transformace zeměpisných souřadnic (U, V) na kartografické (\check{S}, D)	37
8.4.3	Konformní kuželové zobrazení kartografických souř. (\check{S}, D) na (ρ, ε)	37
8.4.4	Transformace polárních souřadnic (ρ, ε) na pravoúhlé (X, Y)	38
8.5	Souř. systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK).....	38
8.6	Souřadnicový systém S-42	39
8.7	World geodetic system 1984 (WGS - 84)	40
8.7.1	Transformace z WGS84 do S-JTSK	41
8.8	European terrestrial reference system (ETRS-89).....	42
8.8.1	Transformace z ETRS-89 do S-JTSK	42
8.9	Sáhové mapy	43
8.9.1	Katastrální souřadnicový systém Gusterberský	44
8.9.2	Katastrální souřadnicový systém svatoštěpánský	44
8.10	Zobrazení Cassini-Soldnerovo.....	44
8.11	Metoda plátování	47
9.	Závěr	48
10.	Seznam obrázků	49
11.	Literatura a zdroje	50

Seznam zkratek:

GPS	– Global Positioning System
Navstar	– Navigation System using Time and Ranging
IERS	– International Earth Rotation Service
ITRF	– Terrestrial Reference Frame
EUREF	– European Reference Frame
ETRF	– European Terrestrial Reference Frame
GIS	– Geografický informační systém
S-JTSK	– Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

1. Úvod

Cílem práce je zhodnocení kartografických zobrazení. Používaná zobrazení jsou analyzována na základě znalostí z matematické kartografie. Dále je nezbytné zhodnocení souřadnicových soustav na území ČR z hlediska jejich použitelnosti a používanosti v KN, transformací a podmínek pro transformace.

Celkově je problematika souřadnicových systémů poměrně složitá v tom, že existuje opravdu velké množství systémů, které mají různé využití. Každá aplikace a každý uživatel si díky transformacím může tyto systémy upravovat podle potřeby a také kombinovat tak, aby souřadnicový systém vyhovoval danému účelu.

Potřeba těchto transformací vyvstala právě s příchodem geografických informačních systémů, které začaly kombinovat mapy získávané z různých zdrojů a velice často vytvořené pomocí různých kartografických zobrazení. V takovém případě nezbývá než všechny mapy přetransformovat do jediného zobrazení s jediným rovinným kartézským souřadnicovým systémem.

2. Vysvětlení základních pojmů

Pojem **Geoid** označuje ekvipotenciální plochu zemského tíhového pole odpovídající střední hladině hypotetického zemského oceánu, referenční plocha v systému ortometrických výšek. **Referenčním elipsoidem** nazýváme: 1. dvouosý (případně tříosý) geocentrický elipsoid globálně nejlépe aproximující tvar geoidu, 2. zemský elipsoid nahrazující geoid, přijatý jako referenční plocha pro dané zobrazení. **Referenční plochou** rozumíme matematicky definovanou plochu, která nahrazuje zemské nebo jiné vesmírné těleso nebo jeho část, určená pro geodetické a kartografické výpočty. **Mapa** je zmenšený generalizovaný konvenční obraz Země, kosmu, kosmických těles nebo jejich částí převedený do roviny pomocí matematicky definovaných vztahů (kartografických zobrazení), ukazující prostřednictvím metod kartografického znázorňování polohu, stav a vztahy přírodních, sociálně-ekonomických a technických objektů a jevů. Pod pojmem **kartografické zobrazení** si představíme: 1. matematicky definované vztahy mezi identickými body na dvou referenčních plochách nebo na referenční a zobrazovací ploše, 2. konverze souřadnic z elipsoidického souřadnicového systému do roviny. **Polárními souřadnicemi** nazýváme orientovaný směr a délka z daného bodu (stanoviska) na určovaný bod. **Trigonometrický bod** je: 1. bod trojúhelníkové sítě s měřenými úhly nebo směry, 2. bod České státní trigonometrické sítě. Pojmem **poledník** se rozumí množina bodů na referenční ploše s konstantní zeměpisnou nebo kartografickou délkou. **Transformací souřadnic** se rozumí převod souřadnic z jednoho souřadnicového referenčního systému do jiného, založeného na odlišném datu, a to prostřednictvím jednoznačného vztahu (např. z WGS84 do S-JTSK). **Nultý poledník** je poledník, od kterého se počítá zeměpisná délka. Pod pojmem **rovnoběžka** si představíme množinu bodů na referenční ploše s konstantní nenulovou kartografickou šířkou. **Rovník** je množina bodů na referenční ploše s nulovou kartografickou šířkou. **Souřadnicový systém** je charakterizován počátkem souřadnic, souřadnicovými osami a jejich orientací; matematická pravidla obvykle obsahují údaje o referenční ploše, orientaci sítě na ní, jejím měřítku, referenčním bodu a užitým kartografickým zobrazením. **Pravouhlé souřadnice** představují v matematice takový systém souřadnic, v němž jsou v každém bodě souřadné osy navzájem kolmé.

Definice těchto pojmů byly převzaty z Terminologického slovníku zeměměřičství a katastru nemovitostí. (<http://www.vugtk.cz/slovník>)

3. Stručný přehled vývoje kartografických zobrazení

Vývoj kartografických zobrazení – obdobně jako celé kartografie – souvisí s dávnou snahou a potřebou člověka zakreslit své znalosti o Zemi i ostatních tělesech vesmíru. Úplně první zákresy (Eskymáků, lovců, Indiánů apod.) se zakreslovali volnou rukou a byly velice primitivní. Významnou etapou v historickém vývoji jsou skutečnosti o sférickosti Země a jejích rozměrech. Dále vývoj astronomických a matematických poznatků. Obdobně jako v historii rozpoznáváme v kartografii několik období: antickou kartografií, dávnověkou řeckou a římskou kartografií, středověkou kartografií, renesanční kartografií a novodobou kartografií (Hojovec a kol., 1987).

3.1 Antická kartografie

Antická kartografie je vyznačována tím, že prosté nákrasy byly bez matematického podkladu a vznikaly z nesprávného názoru na velikost a tvar Země. Lidé měli zemský povrch za rovinnou nebo kruhovou desku, která byla obklopena mořem, a podle toho byly také kresleny prvotní mapy tehdejšího známého světa. Mapa světa v podobě kruhu je připisována Anaximandrovi, (Kuska, 1960).

3.2 Dávnověká řecká a římská kartografie

Kartografie v tomto období je založena na některých vědeckých základech. K tomu pomohly cesty vedoucí podél Afriky a názory o sférickosti Země které vyslovil Pythagor (6. stol. př. n. l.), a to prostřednictvím kruhového stínu Země na Měsíc ve formě zatmění Měsíce. Pole určená soustavou čar na sebe kolmých a odpovídajících přibližně poledníkům a rovnoběžkám se používají pro konstrukci map. Dikearchos Messinský první zavádí rovnoběžku jako čáru, která prochází Gibraltarskou úžinou – Herkulovými sloupy a ostrovem Rhodos. Eratosthenes Alexandrijský (276 – 196 př. n. l.) stanovuje rozměry Země z délky meridiánového oblouku a zavádí čtyřúhelníkovou síť obrazů poledníků a rovnoběžek. Hipparchos (180 – 125 př. n. l.) postavil základy matematické kartografie. Jeho návrh byl určovat polohu bodů na zemském povrchu zeměpisnou šířkou a délkou. Používal perspektivních průmětů koule do roviny, které se dnes označují jako azimutální projekce (Kuchař, 1969).

Hipparchos navrhl zkonstruovat mapy způsobem tehdy známého světa, který odpovídal dnešnímu ekvidistantnímu kuželovému zobrazení, které poté zdokonalil Ptolemaios (90 - 168). Ptolemaios je tvůrcem ekvidistantního kuželového zobrazení se základní rovnoběžkou, která prochází ostrovem Rhodos a lomenými poledníky na rovníku. Dále je Ptolemaios tvůrcem nepravého kuželového zobrazení s třemi nezkreslenými rovnoběžkami. Kromě všeho je ještě autorem katalogu, který obsahuje zeměpisné šířky a délky několika tisíc bodů. (Hojovec a kol., 1987).

3.3 Středověká kartografie

Se zánikem starověku se kartografie ocitá v hlubokém úpadku. Působením křesťanství evropští kartografové nezobrazují skutečnost, ale symbolické a umělecké výrazy svých představ. Bylo zakazováno šíření základního starověkého poznatku, že Země je kulatá. Naopak byl vnucován dojem, že je Země kruhová deska. Vytvořily se tak mapy kruhového tvaru s Jeruzalémem uprostřed (Pyšek, 1991). Arabští učenci uchovali poznatky řecké kartografie a sami přispěli dalšími poznatky k rozvoji kartografie (Hojovec a kol., 1987).

3.4 Renesanční kartografie

Centrem vědeckého bádání byla v 15. století Itálie. K přesunu začíná docházet v 16. století, a to hlavně do severozápadní Evropy – Nizozemí, Francie a Anglie. Důležitou úlohu v tomto směru sehrála mořeplavba.

Od poloviny 16. století se stává centrem kartografie Nizozemí. Hlavní úlohu v rozvoji kartografie od 17. století převzala Francie. Nejvýznamnějším nizozemským kartografem 16. století byl Gerhard Mercator, který je autorem známého konformního válcového zobrazení, v normální poloze, v němž se loxodroma zobrazuje jako přímka. Sbírkou map poprvé označil pod názvem „atlas“, dílo vychází ovšem až po jeho smrti. Poslední vydání Mercatorova atlasu je roku 1653 a obsahuje 451 map. Mercator je rovněž autorem řady globusů (Pyšek, 1991).

3.5 Novodobá kartografie

S vývojem geodézie a matematiky se rozvíjí také matematická kartografie na vědeckých základech. Tvar a rozměry Země se upřesňují v 18. století. Zhotovují se podrobnější mapy oblohy a Země.

Matematická kartografie je uplatňována při tvorbě map pro vojenské a hospodářské účely v druhé polovině 19. století a 20. století. Kartografická zobrazení jsou používána pro mapování ve velkých měřítkách a též pro topografické mapování (Kuska, 1960).

4. Tvar zemského tělesa a používané referenční plochy

4.1 Tvar zemského tělesa

Naše Země je nepravidelné těleso následkem různých sil, z nichž vznikají hlavně zemská přitažlivost (gravitace) a odstředivá síla, vznikající rotací Země kolem své osy. Fyzický zemský povrch je moc nepravidelný a jeho přímé zobrazení do nějaké projekční plochy je téměř nemožné. Proto je potřeba nahradit skutečné zemské těleso pro potřeby kartografického zobrazování nějakým jiným tělesem. Tělesem, jehož povrch by byl matematicky definovatelný. V druhé polovině 19. století matematici, geodeti a fyzici dospěli k názoru, že skutečný povrch zemský je nutno a možno idealizovat (Maršíková a Maršík, 2006).

Pro mapování a kartografii je nutno nahradit zemské těleso topografickou plochou, tj. spojitou plochou, jelikož jeho vlastní povrch je velmi členitý a složitý. Tato plocha vyhlazuje mikrostrukturu i nepodstatné, drobné tvary skutečného povrchu (Kuska, 1960).

Topografická plocha zemského povrchu je přirozeně stále moc mnohotvárná, než aby ji bylo možno snadně a rovnou zobrazit do roviny. Proto je nutno nejprve přejít na přijatelnou, matematicky jednoduše definovanou plochu a tu zobrazit do roviny mapy. Zde napojíme na vyšší geodézii, kde připomeneme pouze některé pojmy. V první řadě jsou to hladinové plochy, tj. ortogonální souvislé plochy k tížnicím Země. Jedna z nich se nazývá geoid, tzv. nulová plocha. Geoid je natolik složitý po matematické stránce, že pro převážnou část úkolů kartografie a geodézie je vhodné ho nahradit jemu blízkým elipsoidem. Buď tak, aby se geoidu co nejlépe přimykalo v dané zájmové oblasti, nebo pro celou Zemi. Zemský elipsoid má hodně malé zploštění, tudíž jej lze v mnoha úkolech nahradit koulí zase s různými možnostmi přiřazení. Pro práce velice malého územního rozsahu lze uvedené jednoduché plochy skoro považovat za rovinu, jak je vysvětleno v geodézii. Náhrada rovinou se prosazuje též při mapování, jelikož tam postupně zobrazujeme po malých částech, nutno vycházet z bodů geodetických sítí (Hojovec a kol., 1987).

Plochy, na kterých provádíme výpočty různých geodetických problémů, které se vztahují k zemskému povrchu, nazýváme referenční plochy. V geodézii a kartografii mluvíme o referenčním elipsoidu, referenční kouli a pro velmi malé oblasti i referenční rovině (Fiala, 1955).

4.2 Referenční plochy

Referenční plocha je pojmenování pro plochu, která se svou velikostí a tvarem přibližuje skutečnému tvaru Země. Nahrazuje při konstrukci mapy zemské těleso nebo jeho část. Existuje několik druhů referenčních ploch, které se navzájem odlišují přesností nahrazené zemského tělesa a svými parametry (Srňka, 1986).

Referenční plochou se rozumí matematicky definovaná plocha, která pro kartografické a geodetické výpočty nahrazuje zemské těleso, či jeho části s přihlédnutím k rozsahu území. Převádíme na ní naměřené hodnoty, jako jsou délky, úhly, směry a řešíme geodetické a zobrazovací úhly. Mezi referenční plochy patří plochy referenčního elipsoidu, referenční koule a na hodně malých území i referenční rovina (Pyšek, 1991). Volba referenční plochy je většinou podřízena rovněž měřítku: tzv. geodetická zobrazení, která používají elipsoidu přímo, nebo jeho převodu na kouli a následně na rovinu. Jsou přijatelná pro mapy velkých a středních měřítek. Pro mapy malého měřítku jsou vhodné souřadnice odvozené z koule o stejné ploše povrchu jako náležitý elipsoid (Novotný, 1996).

4.2.1 Referenční elipsoid

Jedná se o relativní plochu pro kartografické a geodetické výpočty. Dnes se u nás v geodetické a kartografické praxi používají dva referenční elipsoidy. Jedním z nich je Besselův elipsoid (r. 1841), (Pyšek, 1991). Byl stanoven na základě výpočtů poledníkových oblouků určených z 10 odlišných stupňových měření hlavně v evropských zemích. Používá se ve všech státech střední Evropy i v dalších zemích (např. v SSSR do roku 1942), (Voženílek, 1996). Druhým elipsoidem je Krasovského elipsoid (r. 1940), (Pyšek, 1991). Využívá se ve vojenské praxi. Parametry tohoto elipsoidu byly určeny z astronomicko-geodetických sítí západní Evropy, SSSR a USA, jelikož pro území bývalého SSSR nevyhovoval žádný elipsoid do té doby vypočtený (Veverka, 1997). Třetím elipsoidem je Hayfordův elipsoid (r. 1910), (Navrátil a Unger, 2013). Tento elipsoid byl přijat roku 1924 Mezinárodní geodetickou a geofyzikální unií za Mezinárodní elipsoid. Byl odvozen plošnou metodou z astronomicko-geodetických měření J.F. Hayfordem na území USA. Pro příliš velké odchylky ve střední Evropě přijat nebyl v Československu (Veverka, 1997).

V matematické kartografii je výchozí referenční plochou rotační elipsoid zploštělý (sféroid). Co do tvaru i velikosti je určen dvěma konstantami elipsoidu, což můžou být (a, b) , (a, e) , (b, e) , (a, i) , (b, i) , kde a, b jsou po řadě velká (hlavní) a malá (vedlejší) poloosa, e značí excentricitu (numerická výstřednost), jejíž hodnota je $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$, i je zploštění elipsoidu, dáno hodnotou $i = \frac{a-b}{b}$. Občas se vedle excentricity e ještě vyskytuje tzv. druhá excentricita e' , která je dána vzorcem $e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$.

Snahou je, aby se srovnávací elipsoid co nejlépe přimyká ke geoidu ve sledované oblasti. Splnit tento požadavek je komplikovaný úkol. Náležitými metodami se zabývá vyšší geodézie (Kuchař, 1969).

Z mnohých měřických materiálů už byly několikrát vypočteny konstanty referenčního elipsoidu Země. Velice bezchybné jsou konstanty vypočítané roku 1940 sovětským geodetem profesorem F. N. Krasovským z obsáhlého materiálu, rozkládajícího se na odlišných částech světa.

Jejich hodnoty jsou

$$a = 6\,378\,245,000 \text{ m}$$

$$b = 6\,356\,863,019 \text{ m}$$

$$e^2 = 0,006\,693\,421\,6$$

$$i = 1 : 298,3.$$

Vyjma těchto konstant mají pro nás určitý význam také konstanty vypočítané roku 1841 Bessellem, které mají hodnoty

$$a = 6\,377\,397,155 \text{ m}$$

$$b = 6\,356\,078,963 \text{ m}$$

$$e^2 = 0,006\,674\,372\,2$$

$$i = 1 : 299,153.$$

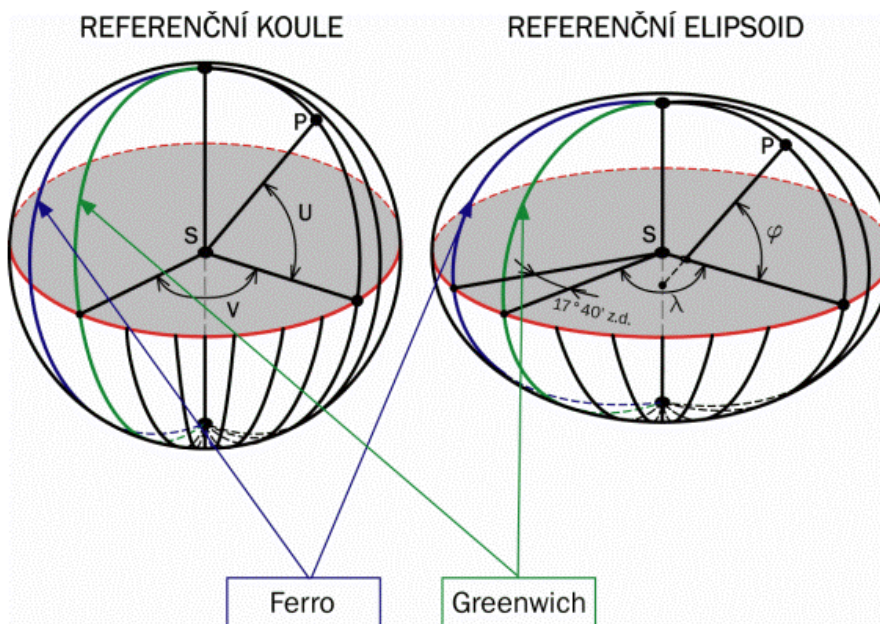
Kromě zde uvedených dvou vypočítala konstanty řada jiných autorů. Nejčastějšího použití z jiných autorů dosáhly hodnoty vypočítané Hayfordem roku 1910 z materiálu na území USA (Hojovec a kol., 1987).

4.2.2 *Referenční koule*

Rotační elipsoid není příliš jednoduchý pro výpočty a konstrukce a tudíž se volí v mnohých případech, pokud to není na újmu požadované přesnosti, za výpočetní plochu kulová plocha, která připouští značně jednodušší výpočty (Fiala, 1955).

Jedná se o zemskou kouli, která byla uznaná jako referenční plocha. Pro vyhotovení map v malém měřítku, nebo pokud se jedná o méně přesné topografické nebo geodetické výpočty je nejvýhodnější použít jako referenční plochu kulovou plochu. Výpočty na ní jsou jednodušší, má neměnnou křivost a všechny její normály se protínají přesně ve středu koule. Existují dva způsoby jak referenční kouli využít. Prvním způsobem je že nejprve zobrazíme patřičným způsobem elipsoid na kouli, ze které potom převedeme geometrické prvky do roviny. Jako druhou možnost volíme kouli o poloměru R specifických vlastností a tou poté nahradit elipsoid. V daném případě zeměpisné souřadnice platné pro elipsoid používáme bez jakékoliv změny také na kouli. K velkým rozdílům v délkách dochází na elipsoidu a na kouli mezi body o stejných zeměpisných souřadnicích, vzhledem k proměnné křivosti elipsoidu závislé na zeměpisné šířce (Pyšek, 1991).

Úkoly kartografie a geodézie lze řešit s referenční koulí podstatně snadněji než s referenčním elipsoidem. Této přednosti se snažíme využít pokaždé, kdy to vyhoví danému účelu. Referenční koule je vhodná pro mapy v měřítku 1: 1 000 000 a menším (Hojovec a kol., 1987).



Obr. č. 1: Rozdíl mezi koulí a elipsoidem, obrázek také znázorňuje vzdálenost poledníku Ferro od poledníku Greenwich (zdroj: Hanzlová, 2001).

4.2.3 Referenční rovina

Pro velice malé části zemského povrchu můžeme pro polohopisná měření zanedbat zakřivení Země a její povrch pokládat za rovinu. Pro převážnou část úkolů technické praxe se nicméně nebere zřetel na zakřivení Země do okruhu cca 15 km. Při měřeních výškových zakřivení zemského povrchu zanedbat nemůžeme, jelikož chyba z rozdílu skutečného a zdánlivého horizontu docílí vysokých hodnot (na 1 km – 7,8 cm; 5 km – 1,96 m; 20 km – 31,4 m), (Pyšek, 1991).

5. Analýza kartografického zobrazení

Pokud tvoříme mapu, využíváme map různého druhu, kvality a původu. Starší mapy, zejména zahraniční, nemají pokaždé údaje o kartografickém zobrazení, nebo jsou tyto údaje velice stručné a neúplné. Proto se snažíme vyhledat informace o mapách v odborné literatuře. Stanovení třídy kartografického zobrazení lze v některých případech vykonat jednoduše vizuálně. Tato úloha není jednoduchá a musíme vykonat kartometrické vyšetření. Mapy, na kterých provedeme toto vyšetření, jsou otisky běžného nákladu a jsou zatíženy chybami z vyhotovení kartografických originálů, reprodukčního procesu a též deformace papíru. Tyto chyby svou velikostí přesahují kartografická zobrazení map středních a velkých měřítek. Podstatnou funkci hraje měřítko mapy. Čím větší je měřítko mapy, tím je těžší kartometrické vyšetření (Srňka, 1986).

Kartografické zobrazení je metoda, která na referenční ploše přiřadí každému bodu na zobrazovací ploše právě jeden bod. Velká řada těchto způsobů byla odvozena v dlouhém vývoji kartografie.

Kartografické zobrazení je jednoznačně matematicky vyjádřeno vztahem mezi souřadnicemi bodů na zobrazovací a referenční ploše (v nějakých případech na dvou referenčních plochách). Například pokud zobrazujeme elipsoid do roviny mapy, mají zobrazovací rovnice obecný tvar

$$X = f(\varphi, \lambda), \quad Y = g(\varphi, \lambda). \quad (5.1)$$

Nejčastěji se uvažuje pro konstrukce kartografických zobrazení jako referenční plocha koule při tvorbě tematických map malých a středních měřítek. Poloha bodu na kouli je vyjádřena zeměpisnými souřadnicemi U a V , a rovina jako zobrazovací plocha, plášť kužele nebo plášť válce, na které je pravoúhlými rovinnými souřadnicemi x a y vyjádřena poloha obrazu bodu. Nebo také polárními rovinnými souřadnicemi ρ a ε (Voženílek, 1999).

Je několik kartografických zobrazení, která se řadí do několika skupin s různými charakteristickými vlastnostmi. Budeme se proto zabývat třemi hlavními skupinami třídění: A) třídění podle kartografických zobrazení, B) třídění podle plochy, na kterou zobrazujeme, C) třídění podle polohy osy zobrazení (Maršíková a Maršík, 2006).

5.1 Určení třídy kartografického zobrazení

Zeměpisná síť na mapě musí být utvořena osnovou poledníků a rovnoběžek, které se mohou zobrazit buď jako přímky, kružnice nebo jiné křivky. Pomocí pravítka můžeme zjistit přímočarost obrazu poledníků nebo rovnoběžek. Kružítkem nebo pravítkem zjišťujeme oblouky kružnic a určíme, jestli jsou kružnice koncentrické nebo excentrické. Úhel ϑ (théta) mezi obrazem rovnoběžky a poledníku měříme jako úhel tečen v uvažovaném bodě (Kuchař, 1969).

5.2 Určení druhu kartografického zobrazení podle zkreslení

Délky úseků poledníků a rovnoběžek odměříme na mapě a tyto délky porovnáme s odpovídajícími délkami na zemském povrchu, které se přepočítají podle měřítko mapy. Tím dostaneme m_p , m_r . Dále odměříme úhly ϑ . V zobrazeních konformních je $m_p = m_r$ (m_p = délkové zkreslení v poledníku, m_r = délkové zkreslení v rovnoběžce) a $\vartheta = 90^\circ$. Se vzdáleností od středu nebo osy zobrazení se zkreslení zvětšuje. V zobrazeních ekvivalentních musí platit vztah $P = m_p m_r \sin \vartheta = 1$ ve všech bodech mapy. Na základním poledníku úseky mezi dvěma rovnoběžkami nebo úseky mezi dvěma poledníky na rovníku směrem od středu zobrazení nebo osy zobrazení se zmenšují. V zobrazeních ekvidistantních v polednicích $m_p = 1$, v rovnoběžkách $m_r = 1$ (Hojovec a kol., 1987).

5.3 Určení parametrů kartografického zobrazení

Po té co určíme třídu a druh můžeme také určit i parametry zobrazení. Tato úloha je prakticky neřešitelná z map velkých a středních měřítek. Úseky poledníků a rovnoběžek odměřujeme s přesností 0,1 mm. M_p a m_r vypočítáme s přesností $\pm 0,001$. Vyjdou nám vypočítané hodnoty m_p , m_r ze kterých sestrojíme graf a dále určíme místa, kde $m_p = 1$, $m_r = 1$ a stanovíme nezkreslené rovnoběžky nebo neutrální body zobrazení. Po té, co zjistíme parametry, počítáme pravoúhlé rovinné souřadnice, které porovnááme s naměřenými (Srňka, 1986).

6. Přehled kartografických zobrazení

6.1 Třídění podle kartografických zkreslení

Nemůžeme získat mapu, ve které by geometrické prvky nebyly zkresleny. Je ovšem možné požadovat při stanovení zobrazovacích rovnic, aby nebyl některý prvek zkreslen. Dostáváme potom řadu kartografických zobrazovacích způsobů, které jsou uvedeny níže (Pyšek, 1995).

6.1.1 Konformní (úhlojevná, stejnoúhlá) zobrazení

Tato zobrazení mají tu vlastnost, že nejsou zkresleny úhly, tzn., že kterýkoliv úhel na mapě přesně odpovídá originálu. Dochází však k velkému zkreslení ploch (Pyšek, 1995). Konformní zobrazení mají v nějakém bodě zkreslení délek ve všech směrech stejné, nicméně se ale mění velikost délkového zkreslení v závislosti na vzdálenosti místa od středu nebo osy zobrazení. V mapě se zobrazí nevelký čtverec nebo kruh na elipsoidu opět v podobě čtverce či kruhu, který je odlišně zmenšený nebo zvětšený proti danému měřítku mapy (Mikšovský, 1994). Forma menších území, která jsou ohraničena např. mnohoúhelníkem, se velice dobře zachovává, ale také tvar větších celků se poruší daleko méně, než např. u jiných zobrazení, plošné zkreslení bývá ale větší. U těchto zobrazení se obvykle zobrazují graficky isočáry, které nám dovolují stanovit skutečné měřítko mapy na jakémkoliv místě zobrazovaného území a též stanovit zkreslení délkové části (Maršíková a Maršík, 2006).

6.1.2 Ekvidistantní zobrazení

Tato zobrazení nazýváme též jako stejnoúhlá, stejnodélná a délkoevná. Jedná se o taková zobrazení, kde se v každém bodě mapy nezkresluje délka poledníku. Měřítko mapy platí pro rozestup rovnoběžek. Afinně se deformují obrazy malého plošného elementu, tzn., že např. obrazem kruhu je elipsa, obrazem čtverce je obdélník (Mikšovský, 1994).

6.1.3 Ekvivalentní (plochojevná, stejnoplochá) zobrazení

U tohoto zobrazení nejsou zkresleny plochy, výrazné je ovšem zkreslení úhlů (Pyšek, 1995). Tato zobrazení poskytují pro obrazce velké i malé, na všech místech mapy přesně polohu podle udaného měřítko mapy. V těchto mapách jsou délková

zkreslení různá v různých směrech, tvar obrazců je deformován v mapě. Obecně můžeme říci, že obrazem čtverce je kosodélník (Maršíková a Maršík, 2006).

6.1.4 Vyrovnávací (kompenzační) zobrazení

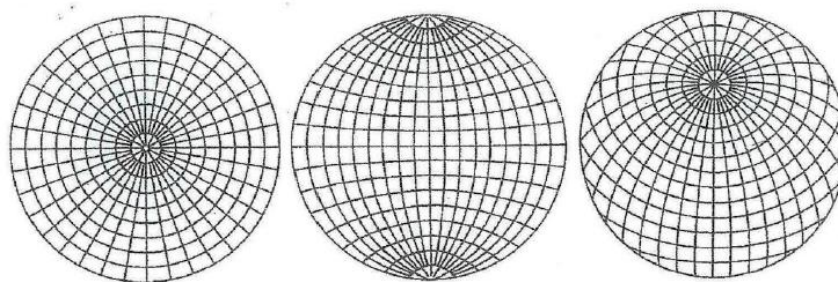
Dochází zde ke zkreslení úhlů i ploch, zkreslení úhlové je ovšem menší než u zobrazení ekvivalentních a plošné zkreslení menší než u konformních. Mezi vyrovnávací zobrazení patří velmi často právě zobrazení ekvidistantní (Pyšek, 1995).

6.2 Třídění podle plochy, na kterou zobrazujeme

Dle charakteru promítací plochy rozpoznáváme zobrazení azimutální, kuželové a válcové (Novotný, 1996).

6.2.1 Azimutální zobrazení

Body se zobrazují z referenční plochy rovnou na rovinnou průmětnu, která se dotýká buď v póle, to nazýváme polohou normální, nebo v nějakém bodě nacházejícím se na rovníku, tomu se říká poloha příčná či transversální. Další variantou je, že se dotýká v jakémkoliv jiném bodě na referenční ploše, to se nazývá poloha obecná neboli šikmá. Azimutální zobrazovací prostředky se užívají pro mapy v malém měřítku (Novotný, 1996).

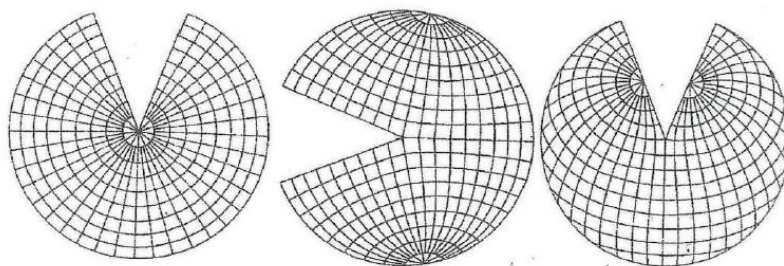


Obr. č. 2: Azimutální zobrazení (zdroj: Voženilek, 1999).

6.2.2 Kuželové zobrazení

Toto zobrazení převádí body z referenční plochy na plášť kužele tečného nebo sečného, který může být buď v poloze obecné, nebo normální. U polohy normální je osa kužele stejná s rotační osou glóbu. Poloha příčná se nepoužívá. Toto zobrazení se užívá velice často. Typickým obrazem geografické sítě v poloze normální

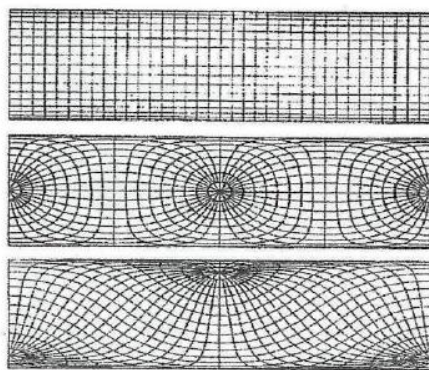
jsou vějířovitě rozvinuté, přímé poledníky. Obrazy rovnoběžek se zdají jako soustředné oblouky (Novotný, 1996).



Obr. č. 3: Kuželová zobrazení (zdroj: Voženilek, 1999).

6.2.3 Válcové zobrazení

Vzniká převodem bodů na plášť válce z referenční plochy. Plášť se dotýká glóbu podél nějakého poledníku, to se nazývá poloha příčná, nebo také podél rovníku, zde se jedná o polohu normální. Další možností je podél kterékoliv hlavní kružnice, jedná se o šikmou polohu. Ve jmenovaných polohách může být použit i sečný válec. Toto zobrazení v příčné poloze je účelné i pro mapy velkého a středního měřítka v tzv. dvojúhelníkových (poledníkových) pásech. V poloze normální byla užita dokonce pro mapy světa v malém měřítku (Novotný, 1996).



Obr. č. 4: Válcová zobrazení (zdroj: Voženilek, 1999).

6.3 Nepravá zobrazení

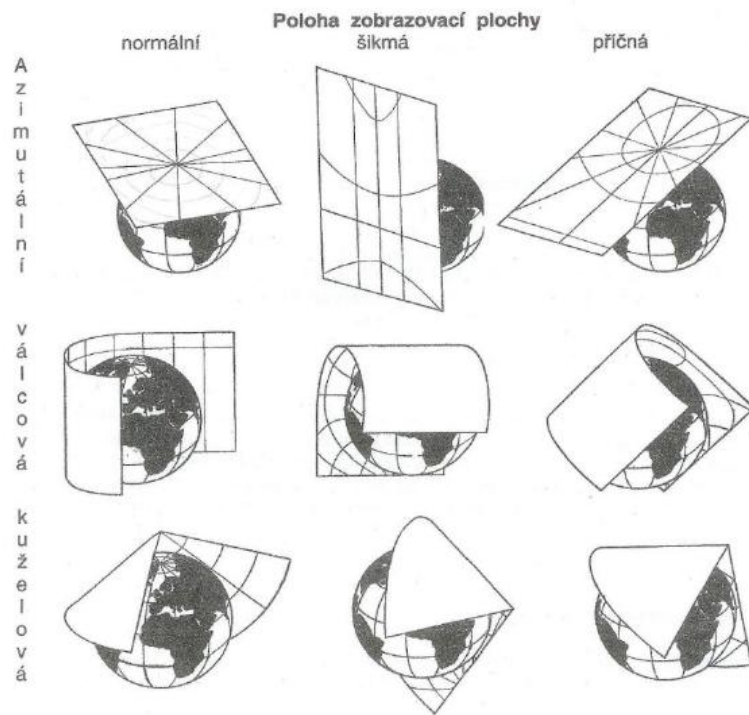
Tato zobrazení patří do širší skupiny tzv. konvencionálních zobrazení. U těchto zobrazení nemůžeme ani zdánlivě předpokládat nějaký geometrický způsob zobrazení. Odvození transformačních rovnic mezi zeměpisnými a rovinnými souřadnicemi je čistě matematické. Zobrazení nepravá válcová, kuželová a azimutální – pseudocylindrická, pseudokonická a pseudoazimutální – jsou taková

zobrazení, kde jsou obrazy rovnoběžek stejné jako u pravých zobrazení válcových, kuželových či azimutálních, nicméně poledníky jsou obecně křivky (Maršíková a Maršík, 2006).

Tato zobrazení byla z velké části odvozena matematickou transformací z vyjmenovaných zobrazovacích prostředků. Specifickým případem kuželových zobrazení jsou zobrazení pankonická, kruhová a polykonická. Tato zobrazení jsou převážně navržena jako vyrovnávací (Novotný, 1996).

6.4 Třídění podle polohy osy zobrazení

Toto dělení má věcný význam u skupiny zobrazení, která jsou jednoduše geometricky definována, tzn. u pravých zobrazení. Za zobrazení normální válcové, kuželové a azimutální pokládáme zobrazení takové, kdy je totožná osa zobrazovací plochy (válcové či kuželové) s osou zemskou, nebo když je střed zobrazení totožný s průsečíkem zemské osy se zobrazovací rovinou, to platí při zobrazení azimutálním. Pokud je osa zobrazovacího válce nebo kužele kolmá na zemskou osu, tzn., že leží v rovině zemského rovníku, tak se říká, že se jedná o zobrazení válcové nebo kuželové příčné (transversální). Pokud se zobrazovací rovina dotýká zemského tělesa v nějakém bodě rovníku, tak mluvíme právě o azimutálním příčném zobrazení. Při obecné poloze bodu dotyku, nebo při obecné poloze osy zobrazovací plochy vzniká obecné zobrazení, kterému se rovněž říká šikmé (Maršíková a Maršík, 2006).



Obr. č. 5: Polohy zobrazovacích ploch (zdroj: Voženilek, 1999).

7. Přehled souřadnicových soustav

Zásadním požadavkem matematické kartografie stejně jako geografie, geodézie a jiných oborů je přesné, jednoznačné udávání polohy bodů na zobrazované ploše i na jeho kartografickém obraze. Polohu určovaného bodu udává dvojice číselných údajů příslušných souřadnic. V matematické kartografii se uplatňují následující souřadnicové soustavy (Hojovec a kol., 1987).

7.1 Souřadnicové soustavy v geodézii a kartografii

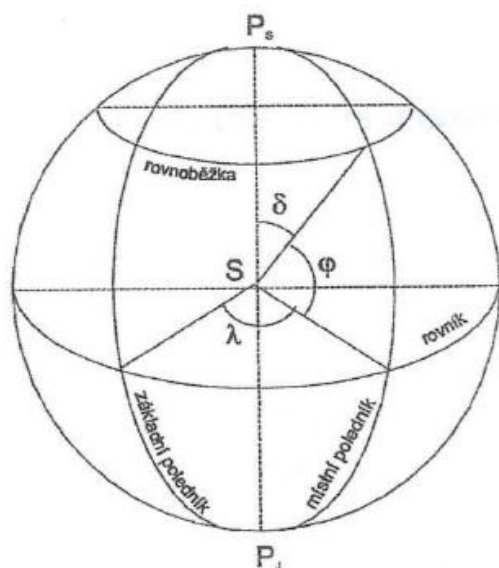
7.1.1 Geodetické zeměpisné souřadnice $[\varphi, \lambda]$

Na zemském povrchu určují polohu bodů, nebo také na zvolené referenční ploše. Jedná se o zeměpisnou šířku φ a zeměpisné délku λ (Novotný, 1996).

Zeměpisná šířka φ bodu P je úhel, který normála referenční plochy n svírá v uvažovaném bodě s rovinou rovníku r . Zeměpisnou šířku měříme od rovníku k pólům $|\varphi| \leq 90^\circ$. Na jižní polokouli je záporná, na severní kladná (Pyšek, 1991).

Zeměpisná délka λ bodu P je úhel, který svírá rovina místního poledníku a základního poledníku. Za základní poledník je považován místní poledník hvězdárny Old Royal Observatory v Greenwichi (Londýn). Hodnota λ se pohybuje v rozmezí od 0° do 360° (180°) ve směru východním nebo od 0° do 180° se znaménkem záporným směrem na západ (západní zeměpisná délka - z.z.d.) a kladným směrem na východ (východní zeměpisná délka - v.z.d.), (Voženílek, 1999).

Zemské rovnoběžky jsou geometrickým místem bodů referenční plochy s konstantní zeměpisnou šířkou. Zemské poledníky (meridiány) mají konstantní zeměpisnou délku. Poledníky mají rovnici $\lambda = \text{konstantní}$, resp. $V = \text{konst.}$, rovnoběžky pak $\varphi = \text{konst.}$, resp. $U = \text{konst.}$ Speciálními případy rovnoběžek jsou rovník ($\varphi = 0^\circ$, respektive $U = 0^\circ$) a zemské póly S, J ($\varphi = \pm 90^\circ$, respektive $U = \pm 90^\circ$). O těchto pólech platí, že mají zeměpisnou délku 0° až 360° , jelikož jsou singulárními body. Jejich kartografické obrazy mají mnohdy odlišné vlastnosti než obrazy obyčejných bodů (může se jednat např. o oblouky nebo úsečky), (Hojovec a kol., 1987).



Obr. č. 6: Zeměpisné souřadnice (zdroj: Voženilek, 1999).

7.1.2 Geocentrické zeměpisné souřadnice $[\beta, \lambda]$

V nějakých úlohách matematické kartografie, ale hlavně v astronomii a v navigaci se používá soustava souřadnic: geocentrická šířka β a zeměpisná délka λ . Geocentrická šířka β je úhel, který svírá spojnice bodu P se středem elipsoidu O. Na referenční kulové ploše $\beta = \varphi$ (Pyšek, 1995).

7.1.3 Polární sférické souřadnice $[A, s]$

Pyšek, 1991 napsal, že polohu dvou bodů na referenční ploše můžeme určit úhlem A a délkou spojnice s . A značí azimut a oblouk hlavní kružnice je s . P'_0 značí řez referenční plochy rovinou, která je rovnoběžná s P_0 , tedy s rovinou základního poledníku. A_{10} je azimut spojnice $P_1 P_0$. α_{10} je sférický směrník. γ je meridiánová konvergence, pro kterou platí:

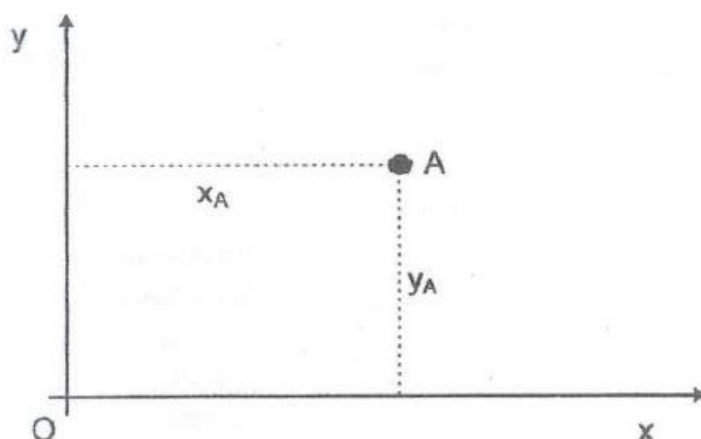
$$\gamma = A_{10} - \alpha_{10} \quad (7.1)$$

7.1.4 Pravoúhlé rovinné souřadnice $[X, Y]$

Nejčastěji pracujeme v rovině mapy s pravoúhlými souřadnicemi X, Y. Tyto souřadnice jsou izometrické. Délkový element dS má hodnotu

$$dS^2 = dX^2 + dY^2 \quad (7.2)$$

S pravoúhlými souřadnicemi lze pracovat také na referenčním elipsoidu nebo na kouli. Můžeme tak například zvolit za osu X určitý poledník a pořadnice pak měříme k této ose X po geodetických kolmicích (na kouli jsou to hlavní kružnice, nikoliv zemské rovnoběžky). V obecném případě by na elipsoidu osou X byla zvolená geodetická křivka a pořadnicemi by byly na ni kolmé geodetické křivky (na kouli by to byly převážně kružnice hlavní), (Hojovec a kol., 1987).



Obr. č. 7: Pravoúhlé rovinné souřadnice (zdroj: Voženílek, 1999).

7.1.5 Polární rovinné souřadnice $[\rho, \varepsilon]$

(Voženílek, 1999) tvrdí, že tyto souřadnice se vztahují ke kartografickému, respektive zeměpisnému pólu a osám. Jsou definovány následovně:

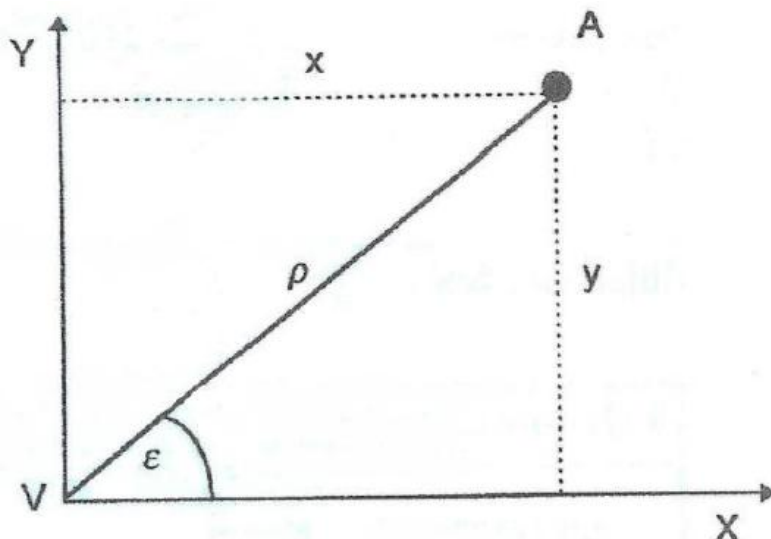
Počátkem je zvolený bod V. Jedná se o obecně konstrukční pól, nejčastěji buď bod dotyku zobrazovací a referenční plochy nebo obraz zemského pólu. Osa y leží v obrazu základního poledníku.

Mezi polární rovinné souřadnice patří:

Průvodič bodu od počátku ρ , kde ρ je vzdálenost určovaného bodu A na konstrukční ose y od počátku V. Úhel průvodiče ε , což je úhel mezi průvodičem ρ a osou y.

Polární souřadnice se užívají při kuželových a azimutálních zobrazeních. Pokud jsou u zobrazení počátky polárních i pravoúhlých souřadnicových soustav ztotožněny, pak mezi nimi platí následující vztah:

$$x = \rho \cos \varepsilon \qquad y = \rho \sin \varepsilon \qquad (7.3)$$



Obr. č. 8: Polární rovinné souřadnice (zdroj: Voženílek, 1999).

7.1.6 Kartografické souřadnice [Š, D]

Aby byl mapový obraz referenční plochy co nejpřesnější, je nutné, aby co nejlépe přimykala v dané oblasti k referenční ploše rozvinutelná plocha, na kterou často zobrazujeme (například plášť kužele nebo válce). To ale znamená, že osa zobrazovací plochy nebude někdy s osou zemskou totožná, respektive u roviny tzv. střed mapy v zemském pólu nebude. Potom je ovšem nutné vyjádřit polohu na referenční ploše v souřadnicích vztahených k novému pólu, jehož zeměpisné souřadnice jsme vhodně zvolili (Hojovec a kol., 1987). Využívají se při konstrukci map v šikmé a příčné poloze zobrazovací plochy. V podstatě se jedná o řešení sférického trojúhelníku. Tyto souřadnice jsou pak obdobné k souřadnicím zeměpisným. Kartografické souřadnice jsou formulovány následovně:

- Kartografický pól Q – značí bod o zeměpisných souřadnicích φ_Q a λ_Q který je umístěný tak, aby se zobrazovací plocha pokud možno co nejlépe přimykla zobrazovanému území.
- Kartografická šířka Š – jedná se o úhel, který je z referenční koule odvozen pomocí kosinové věty. V nové kartografické zeměpisné síti je tento úhel analogický zeměpisné šířce.

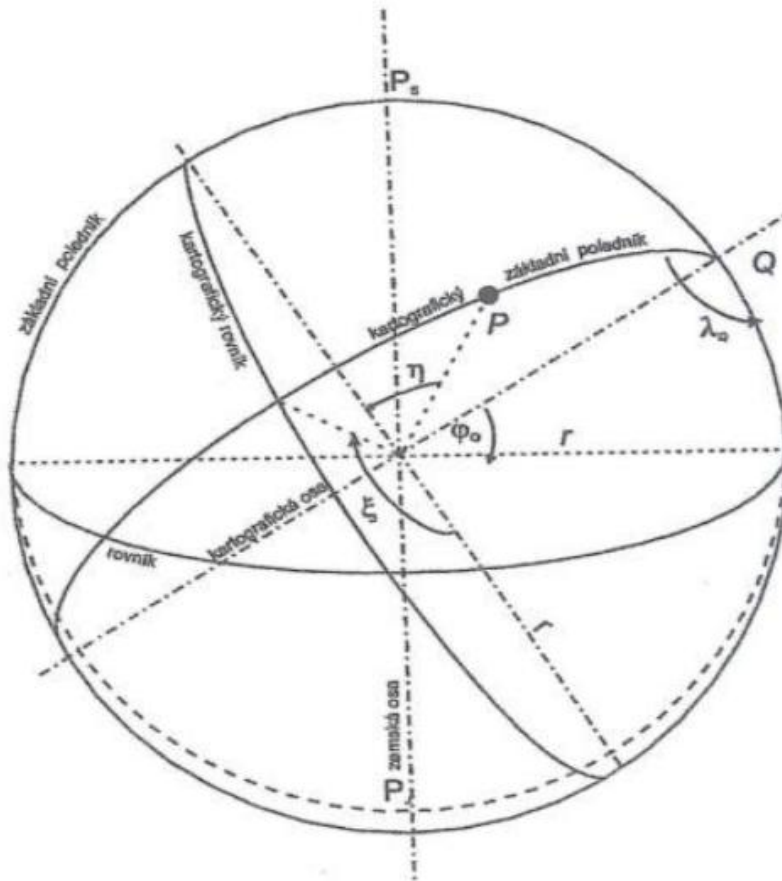
$$\sin \check{S} = \sin \varphi_Q \sin \varphi + \cos \varphi \cos \varphi_Q \cos \Delta \lambda \quad (7.4)$$

- Kartografická délka D – je úhel, který je odvozen pomocí sinové věty z referenční koule.

$$\cos D = \frac{\sin \Delta\lambda \cos \varphi}{\cos \xi} \quad (7.5)$$

V nové kartografické zeměpisné síti je tento úhel obdobný zeměpisné délce.

Souřadnicovým systémem je kartografická síť pro základní polohy zobrazovací plochy – normální, příčné a šikmé (Voženílek, 1999).



Obr. č. 9: Kartografické souřadnice (zdroj: Voženílek, 1999).

8. Transformace souřadnic

V geodézii je mnohdy vhodné nebo nutné změnit pravoúhlé souřadnice polohově nebo prostorově určených bodů, ať už jednotlivých nebo na určitém souvislém území, aniž se na fyzickém povrchu Země změní poloha bodu. Této úloze se říká transformace souřadnic. Pod tímto pojmem se rozumí převod souřadnic z druhého souřadnicového systému do prvního souřadnicového systému. Podmínkou řešení je znalost souřadnic přinejmenším nutného počtu identických bodů v obou systémech (Hánek a kol., 2008).

8.1 Transformace souřadnic mezi kartografickými zobrazeními

Jedná se o specifický problém matematické kartografie. S úlohou se můžeme setkat při transformaci souřadnic mezi geodetickými souřadnicovými systémy s různými kartografickými zobrazeními. Také se může vyskytnout při konstrukci přehledných map, za použití podkladů v ostatních kartografických zobrazeních. Transformace souřadnic je těžkou a rozsáhlou oblastí vyšší geodézie. Řešením vztahů mezi kartografickými zobrazeními různých systémů se na těchto transformacích podílí matematická kartografie. Odvozují se konformní vztahy mezi symetrickými souřadnicemi systémů obvykle při využití identických bodů. Při větší hustotě těchto bodů může být přitom využito metody plošné interpolace, lineární transformace, kolineární či afinní transformace a někdy též grafické interpolace (Hojovec a kol., 1987).

8.2 Druhy transformací a jejich podmínky

8.2.1 Shodnostní transformace

Tato transformace zachovává měřítko (měřítkový koeficient $q = 1$) a má tedy tři parametry (dvě translace a rotaci). Pro určení transformačního klíče je zapotřebí alespoň dvou identických bodů. Základní rovnice shodností transformace zní (Talhofer, 2007)

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + q \begin{pmatrix} \cos \omega & -\sin \omega \\ \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}. \quad (8.1)$$

8.2.2 *Podobnostní transformace*

Transformace zachovává tvar - je konformní, q je různé od 1. Pro tuto transformaci se používají dva a více identických bodů (Talhofer, 2007).

8.2.3 *Afinní transformace*

Je vhodná v případě, pokud je nutno použít dva rozdílné měřítkové faktory pro obě osy. Afinita nezachovává podobnost ani konformitu. Kružnice se transformuje na elipsu a čtverec na obdélník. Svazek rovnoběžných přímek se zobrazí opět jako svazek rovnoběžných přímek ale pod jiným úhlem. Pro určení transformačních koeficientů jsou nutné tři identické body (Veverka a Zimová, 2008).

Při transformaci mezi souřadnicovými systémy je nezbytné při volbě typu transformace uvážit vlastnosti zobrazení. V případě geodetických systémů, které jsou většinou konformní, uijeme podobnostní transformaci, která konformitu zachová. Na menším území (například 10 x 10 km) vystačíme s transformací lineární-Helmertova transformace. Na územích větších je nutno použít podobnostní transformaci vyššího řádu (Hanzl, 1997).

8.2.4. *Helmertova rovinná lineární konformní transformace*

Je vhodná pro rovinné systémy typu X, Y, jejichž počátky jsou vzájemně posunuty o hodnoty Δx , Δy . Souřadné osy jsou vůči sobě stočeny o úhel β a ve směrech obou souřadnicových os platí měřítkový faktor m . Souřadnicové systémy mohou být mírně nestejnorodé (Veverka, 2006).

Helmertova transformace je residuální, to znamená, že na identických bodech, kterých může být velice mnoho, nezískáme identické souřadnice, ale souřadnice odlišené jako výstup z výpočtu. Tato transformace patří mezi evropskými geodety, k jedné z nejoblíbenějších metod přepočtu souřadnic mezi dvěma nemnoho odlišnými souřadnicovými systémy. Transformační rovnice mají tvar: (Veverka a Zimová, 2008).

$$X_{out} = m (X_{in} \cos \beta - Y_{in} \sin \beta) + \Delta x$$

$$Y_{out} = m (X_{in} \sin \beta + Y_{in} \cos \beta) + \Delta y \quad (8.2)$$

8.3 Identické body

Pro zabezpečení výpočtu vztahů mezi novodobým souřadnicovým referenčním systémem a obrazovými souřadnicemi na staré mapě je velice důležitý sběr tzv. identických bodů. Jedná se o totožné body, přičemž dvoje jejich souřadnice slouží k výpočtu geometrické transformace obrazu mapy. Mezi kladené nároky patří např. jejich počet a prostorové rozložení (Čada, 2003).

Počet identických bodů aplikovaných pro transformaci je závislý na schopnostech identifikace vhodných objektů na staré mapě. Platí, že čím je více identických bodů, tím lépe. Používají se takové body, u kterých je možné předpokládat identitu, tzn. nezměněnou polohu v čase. Přijatelné je použít zejména trvalé stavby (kostely), nebo jiné prvky infrastruktury (cestní síť). Dále jsou též vyhovující přírodní prvky (výškové kóty). Opatrnost je třeba věnovat stavbám, které mohly být přestavěny v průběhu času, nebo vodním tokům, které mohly být regulovány. U map malých měřítek jsou vhodné vodstvo, významné tvary pobřeží nebo třeba signatury měst (Cajthaml, 2013).

Je velice důležité rozložení identických bodů. Pro správné výsledky transformace je třeba identickými body překrýt celou oblast, která je zkoumána (celý prostor mapy). Naopak, není příliš vhodná pro transformaci blízkost některých identických bodů. Je dobré volit body, které reprezentují větší oblast, než zbytečně používat identické body např. na sousedních budovách (Bayer, 2008)

Po výběru a identifikaci identického bodu na staré mapě, je nutno odečíst obrazové souřadnice. Toho lze dosáhnout převážně v GIS software. Je pak třeba přiřadit souřadnice v soudobém souřadnicovém referenčním systému k obrazovým souřadnicím. Využívají se zpravidla aktuální mapové podklady, nebo konkrétní souřadnice objektů. V dnešní době není na překážku do GIS software připojit aktuální mapová díla pomocí webových mapových služeb a využít tak odečítání souřadnic identických bodů tímto způsobem. Pokud na staré mapě není možné identifikovat dostatek objektů nacházejících se na současném podkladu, je také možné využít již georeferencované staré mapy. Tyto mapy se obsahem lépe shodují se starou mapou. Je zde ovšem velmi důležité znát parametry a přesnost, s jakou byly mapy georeferencovány (Cajthaml, 2013).

8.4 Křovákovo zobrazení

Jedná se o kuželové zobrazení, které navrhl ing. Josef Křovák roku 1922. Toto zobrazení bylo velice přijatelné pro protáhlé území tehdejší Československé republiky. I když je v dnešní době území našeho státu kratší, tak je Křovákovo zobrazení považováno za vyhovující. Uplatňování do geodetické a kartografické praxe nebylo nikterak snadné (Ježek, 2003).

Jedná se o kartografické zobrazení, které se nazývá dvojité konformní kuželové zobrazení v obecné poloze. Jestliže se o nějakém zobrazení říká, že je konformní znamená to, že úhly odměřené v mapě jsou správné a též odpovídají skutečnosti. Zobrazení kuželové znamená, že území je projektováno na kužel. Šikmé, neboli obecné kuželové zobrazení znamená, že osa kužele nesouhlasí se zemskou osou. Křovákovo zobrazení v naší zemi je použito pro velkoměřítkové (katastrální) mapy.

Křovák objevil pokusně na globu podélnou osu Československa, a poté našel též pokusně kužel dotýkající globu v podélné ose Československa. Křovák použil Besselův elipsoid jako referenční plochu. Geografické souřadnice bodu B (φ, λ) na elipsoidu se transformují v několika krocích na rovinné souřadnice $B'(x, y)$, (Maršík, 1998). V první řadě je provedeno Gaussovo konformní zobrazení Besselova elipsoidu na kouli a následně konformní zobrazení na plochu kuželovou obecně položenou (Ježek, 2003).

Schéma zobrazení:

$$(\varphi, \lambda) \rightarrow (U, V) \rightarrow (\check{S}, D) \rightarrow (\rho, \varepsilon) \rightarrow (X, Y) \quad (8.3)$$

8.4.1 Gaussovo konformn. zobr. Besselova elipsoidu (φ, λ) na kouli (U, V)

Jako první je zobrazen Besselův elipsoid na kouli. Tento krok předchází zobrazení na kuželovou plochu, proto se nazývá Křovákovo dvojité zobrazení. Minimální délkové zkreslení kolem základní rovnoběžky, která byla zvolena $\varphi_0 = 49^\circ 30'$, je podmínkou zobrazení. Pro φ_0 je hodnota délkového zkreslení $m_0 = 1$. Pro tuto rovnoběžku byly stanoveny další konstanty podle (Ježek, 2003).

Zobrazovací rovnice:

$$\tan\left(\frac{U}{2} + 45^\circ\right) = \frac{1}{k} \left[\tan\left(\frac{\varphi}{2} + 45^\circ\right) \cdot \left(\frac{1-e\sin\varphi}{1-e\sin\varphi}\right)^{e/2} \right]^\alpha$$

$$V = \alpha \cdot \lambda. \quad (8.4)$$

Konstanty:

$$U_0 = 49^\circ 27' 32,84625''$$

$$\alpha = 1,000597498372$$

$$k = 0,9965924869$$

$$R = \sqrt{MoNo} = 6380703,6105m.$$

Pro délkové zkreslení platí vztah:

$$m = \frac{\alpha R \cos(U)}{N \cos(\varphi)}. \quad (8.5)$$

8.4.2 Transformace zeměpisných souřadnic (U, V) na kartografické (\check{S}, D)

(Baranová, 2004) říká, že jelikož je kuželové zobrazení použito v poloze obecné, musíme zeměpisné souřadnice transformovat na kulové ploše (U, V) na souřadnice kartografické (\check{S}, D):

$$\sin \check{S} = \sin U_k \cdot \sin U + \cos U_k \cdot \cos U \cdot \cos \Delta V$$

$$\sin D = \frac{\sin \Delta V \cdot \cos U}{\cos \check{S}} \quad (8.6)$$

kde $\Delta V = V_k - V$.

U_k = zeměpisná šířka a V_k = zeměpisná délka

8.4.3 Konformní kuželové zobrazení kartografických souř. (\check{S}, D) na (ρ, ε)

(Ježek, 2003) tvrdí, že dále je konformně zobrazena na kužel v obecné poloze referenční koule. Ve vzorcích pro kuželové zobrazení nahradíme zeměpisné souřadnice kartografickými, a tím získáme dané zobrazovací rovnice:

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{\tan \left(\frac{\check{S}_0}{2} + 45^\circ \right)}{\tan \left(\frac{\check{S}}{2} + 45^\circ \right)} \right)^n$$

$$\varepsilon = n \cdot D. \quad (8.7)$$

Konstanty ρ_0 a n byly pro jednu nezkreslenou rovnoběžku $\check{S}_0 = 78^\circ 30'$ zvoleny a určeny ze vzorců:

$$\rho_0 = k \cdot R \tan \check{S}_0 = 1298039,0046 \text{ m}$$

$$n = \sin \check{S}_0 = 0,97992470462, \quad (8.8)$$

kde $k = 0,9999$ a poloměr referenční koule je R . Na základní rovnoběžce redukuje délkové zkreslení koeficient k , který je znám jako multiplikační konstanta, a tím snižuje jeho hodnotu na okrajových rovnoběžkách. V důsledku je to obdobný obrat, jako kdyby byl zvolen sečný kužel.

Pro inverzní výpočet platí vztahy:

$$\check{S} = 2 \left(\tan^{-1} \left(\left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{1/n} \tan (U_0 + 45^\circ) \right) - 45^\circ \right)$$

$$D = \frac{\varepsilon}{n} \quad (8.9)$$

8.4.4 Transformace polárních souřadnic (ρ, ε) na pravouhlé (X, Y)

Křovák situoval osu X do obrazu základního poledníku $\lambda_0 = 42^\circ 30' \text{ v.}$ Ferra a počátek souřadnic do vrcholu kužele Q . Tím byla umístěna celá ČSR do jediného kvadrantu (Ježek, 2003). Platí následující zobrazovací rovnice pro převod, podle (Baranová, 2004).

$$X = \rho \cos \varepsilon$$

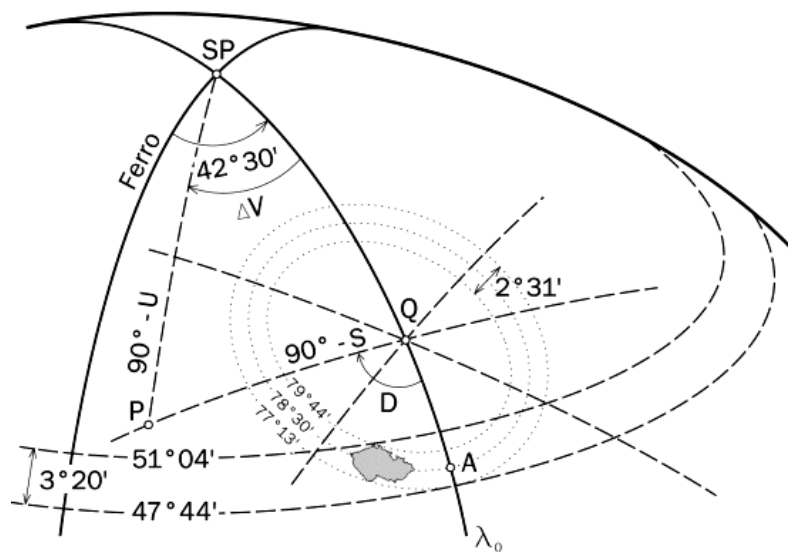
$$Y = \rho \sin \varepsilon \quad (8.10)$$

8.5 Souř. systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK)

Tento systém byl založen na konformním kuželovém zobrazení v obecné poloze roku 1922 Ing.Křovákem, jak jsem již zmínila v kapitole 8.4. Kartografický pól kužele P_Q má zeměpisné souřadnice $U_Q = 59^\circ 42' 42,7'' \text{ s.š.}$ a $V_Q = 42^\circ 31' 31,4'' \text{ v.d.}$ od Ferra. Kužel se v obecné poloze dotýká kartografické rovnoběžky $\check{S}_0 = 78^\circ 30'$,

jejím obrazem je kružnice o poloměru ρ_0 , která prochází bodem A ($U_A = 42^\circ 31' 31,4''$, $V_A = 48^\circ 12' 42,7''$) na území Podkarpatské Rusi. Tato kružnice je ve výchozím bodě A kolmá na základní poledník ($V_A = 42^\circ 31' 31,4''$), prochází středem území a její kartografická šířka je $78^\circ 30'$ (Novák a Murdych, 1988).

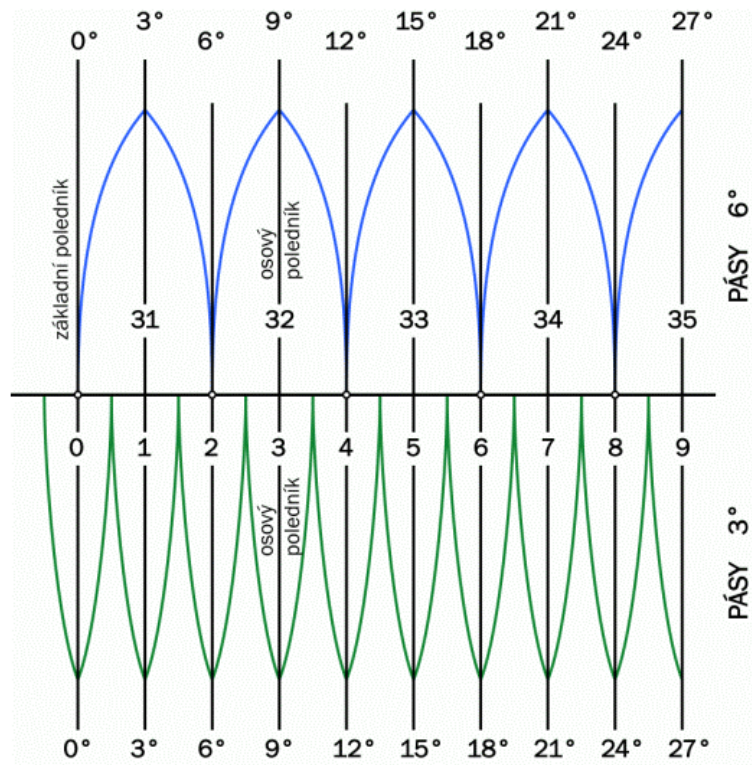
Kartografické poledníky se v tomto zobrazení zpodobňují jako svazek paprsků vybíhajících z vrcholu kužele. Kartografické rovnoběžky se zobrazují jako soustředěné kružnice o poloměrech ρ . Pravoúhlé rovinné souřadnice S-JTSK se značí a zapisují v pořadí $(Y, X)_{S-JTSK}$, kladný směr osy X směřuje k jihu, kladný směr osy Y doleva (Cimbálník a Veverka, 1992).



Obr. č. 10: Hraniční geografické a kartografické souřadnice souřadnicového systému S-JTSK (zdroj: Cimbálník a Veverka, 1992).

8.6 Souřadnicový systém S-42

Podstatou tohoto systému je Gaussovo konformní válcové zobrazení v příčné poloze, které je založené na Krasovského elipsoidu. Toto zobrazení je rozděleno na šestistupňové (někdy třístupňové) poledníkové pásy. Každý pás je zvlášť promítnut do roviny a má svou vlastní pravoúhlou souřadnicovou soustavu. Kladný směr osy x směřuje k severu, osy y k východu. Základní poledník greenwickský je osovým poledníkem pásu, který se označuje jako nultý pás. V šestistupňových pásch je poledník 15° v.d. naším osovým poledníkem a osou x. Poledníkové pásy jsou vertikálně rozčleněny na čtyřstupňové vrstvy označované písmeny abecedy od A do Z směrem od rovníku k pólům (Novák a Murdych, 1988).



Obr. č. 11: Rozdíl mezi 3° a 6° pásy (zdroj: (Novák a Murdych, 1988).

8.7 World geodetic system 1984 (WGS - 84)

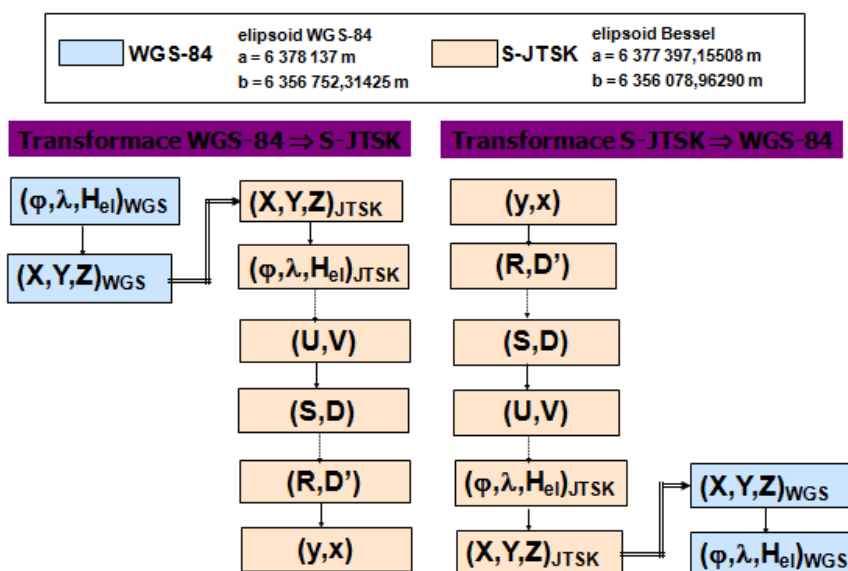
Od počátku šedesátých let 20. století bylo možno budovat globální geodetické sítě kontinentálního nebo celosvětového rozsahu. Jsou to hlavně metody dynamické kosmické geodézie, které umožňují "přístup" ke geocentru a tedy budování geocentrických souřadnicových systémů. Souřadnicový systém WGS-84 je definován jako soubor pozemních stanic systému GPS-Navstar. Okamžité polohy družic, tak jak jsou vysílány v tzv. palubních efemeridách, mají ovšem přesnost řádově nižší než je přesnost souřadnic stanic definujících systém (Kostelecký, 1993).

Pro řešení geodynamických úloh existuje terestrický referenční systém ITRS (IERS Terrestrial Reference System, jedná se o mezinárodní službu, která určuje parametry rotačního vektoru Země) realizovaný souborem souřadnic stanic tvořících terestrický souřadnicový systém ITRF, budovaný na základě výsledků laserového měření vzdáleností ke geodynamické družici LAGEOS, využitím metod dlouhozákladnové interferometrie a laserové lokace Měsíce. Tento systém dosahuje úplné přesnosti kolem ± 3 cm v každé souřadnici (Novák a Murdych, 1988).

Analýzy a srovnání ITRF se systémem WGS-84 ukázaly, že jsou kompatibilní v rámci přesnosti ± 2 m v každé souřadnici. WGS-84 je založen na Mercatorově univerzálním konformním válcovém zobrazení (6° poledníkové pásy). Souřadnice se vyjadřují jak v zeměpisných souřadnicích (φ - zeměpisná šířka, λ - zeměpisná délka, H - elipsoidická výška), tak i v pravoúhlých souřadnicích (X, Y, Z). Systému byl přiřazen elipsoid WGS84 (Cimbálník a Veverka, 1992).

8.7.1 Transformace z WGS84 do S-JTSK

Vzhledem k tomu, že WGS-84 používá jiný elipsoid než S-JTSK, tak je nutné použít transformaci prostorových souřadnic. Nejprve se transformuje elipsoid WGS-84 na Besselův elipsoid. Dále se provede transformace prostorových pravoúhlých souřadnic do systému S-JTSK. Následně se vypočítají zeměpisné souřadnice S-JTSK a pokračuje se v dalších výpočtech. Nejprve zeměpisné souřadnice S-JTSK zobrazíme na kouli, tak získáme sférické souřadnice (U, V). Tyto souřadnice transformujeme na kartografické souřadnice (\check{S}, D). (\check{S}, D) se zobrazí na kartografické poledníky a rovnoběžky (R, D'). Jednoduchou transformací získáme pravoúhlé rovinné souřadnice (Y, X) souřadnicového systému JTSK (Hanzlová, 2001).



Obr. č. 12: Transformace z WGS84 do S-JTSK (Hanzlová, 2001).

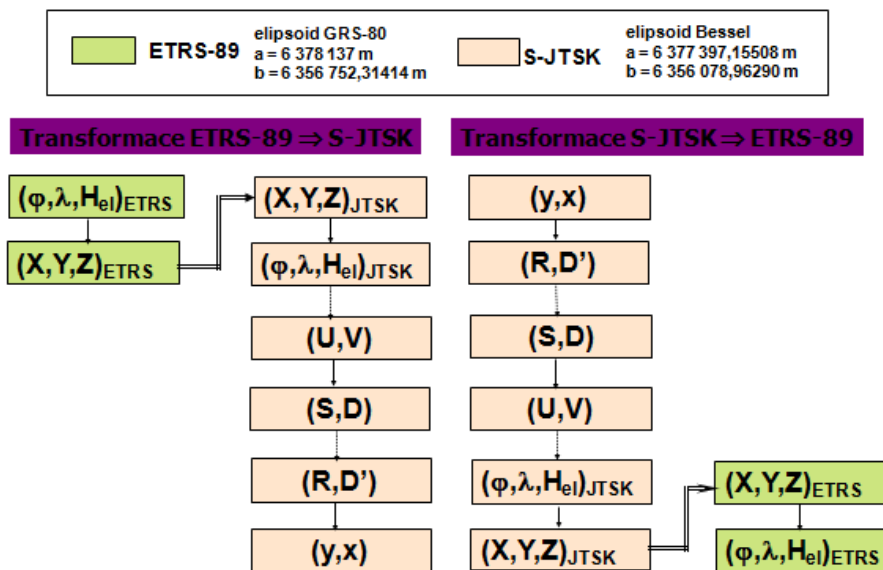
8.8 European terrestrial reference system (ETRS-89)

ETRS představuje jednotný souřadnicový systém, jehož uskutečnění započalo nástupem technologie GPS a je úspěšně celoevropsky budován. ETRS je definován systémem konstant a referenčním rámcem ETRF, který je realizován souřadnicemi stabilizovaných bodů na zemském povrchu. Systém využívá jak zeměpisné souřadnice $(\varphi, \lambda, \text{Hel})_{\text{ETRS}}$, tak pravoúhlé souřadnice (X, Y, Z) ETRS. Je založen na elipsoidu GRS80 (Geodetic Reference System 1980), který je svými parametry velice blízký elipsoidu WGS84 (Novák a Murdych, 1988).

Dalším systémem je Mezinárodní terestrický souřadnicový systém (ITRS – International terrestrial reference systém). Počátek kartézského systému souřadnic je v blízkosti těžiště Země. Osy X a Z vytváří realizaci Greenwichského poledníku. Osy X a Y leží na rovníku. Systém je realizován geocentrickými souřadnicemi a jejich časovými změnami. Zde se primárně používá kartézských souřadnic, ale je možné tyto souřadnice přepočítat na souřadnice geodetické na zvoleném celosvětovém elipsoidu. Během času dochází ke zpřesňování pozorovacích metod a nárůstu pozorování. Dochází tedy k různým realizacím ITRS. Prvním je ITRS88 z roku 1988, v současnosti poslední realizací je ITRS2008 z roku 2010 (Kostelecký, 2011).

8.8.1 Transformace z ETRS-89 do S-JTSK

Postup této transformace je stejný jako u transformace z WGS-84 na S-JTSK. Liší se pouze koeficienty transformační rovnice a jinými konstantami elipsoidu. ETRS-89 používá elipsoid GRS-80 (Hanzlová, 2001).



Obr. č. 13: Transformace z ETRS-89 do S-JTSK (Hanzlová, 2001).

8.9 Sáhové mapy

Sáhové mapy, které dnes pokrývají zhruba 70 % území státu, vznikaly při mapování stabilního katastru před více než 150 lety. Základem mapování byla trigonometrická síť, na svou dobu sice dokonalá, ale z dnešního pohledu již samozřejmě naprosto nevyhovující. Bylo využito i měření předchozí vojenské triangulace. Souřadnice se pro jednoduchost počítaly jako rovinné body 4. řádu, které byly základem vlastního podrobného mapování a byly určeny grafickou triangulací v měřítku 1 : 14 400. Stabilizace byla prováděna dodatečně s odstupem více než dvaceti let. Použito bylo Cassini-Soldnerovo zobrazení (Pešl, 1992).

Pro velké zkresení narůstající od počátku soustavy bylo pro pokrytí Rakousko-Uherska zvoleno 7 zobrazovacích soustav, jejichž rozhraní bylo pevně stabilizováno zemskými hranicemi. Pro České země soustava s počátkem v bodě Gusterberg, pro Moravu a Slezsko s počátkem v bodě věže vídeňského dómu Svatého Štěpána (Čada, Vichrová, 2009). Mapování probíhalo metodami měřického stolu. Přesnost byla stanovena nikoliv jako absolutní přesnost v poloze bodů, ale jako přesnost relativní. Výsledkem byla mapa převážně v měřítku 1 : 2 880 na kvalitním papíře. Mapa byla poznamenána vlivem metod měření značnými lokálními deformacemi, vlivem papírové podložky a pak srážkou (Čada, 1999).

8.9.1 Katastrální souřadnicový systém Gusterberský

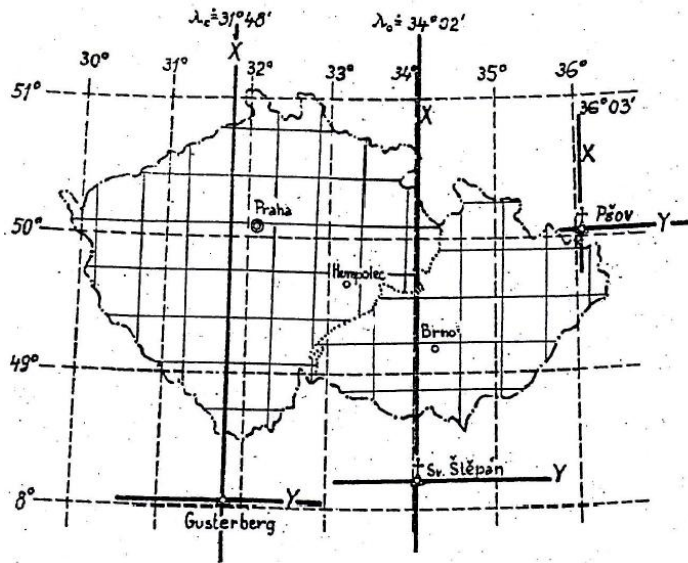
Katastrální souřadnicový systém Gusterberský je určen Cassiniovým (nebo Cassiniho)-Soldnerovým transverzálním válcovým zobrazením, délkojevným v hlavních kružnicích, s plochou válce dotýkající se konvenčního základního poledníku a s osou válce ležící v rovině konvenčního rovníku. Počátek je v trigonometrickém bodě Gusterberg v Horním Rakousku (Voříšek, 2008).

8.9.2 Katastrální souřadnicový systém svatoštěpánský

Katastrální souřadnicový systém svatoštěpánský je určen stejně jako souřadnicový systém Gusterberský Cassiniovým nebo Cassiniho-Soldnerovým transverzálním válcovým zobrazením, délkojevným v hlavních kružnicích, s plochou válce dotýkající se konvenčního základního poledníku a s osou válce ležící v rovině konvenčního rovníku (nařízení vlády č. 430/2006 Sb.).

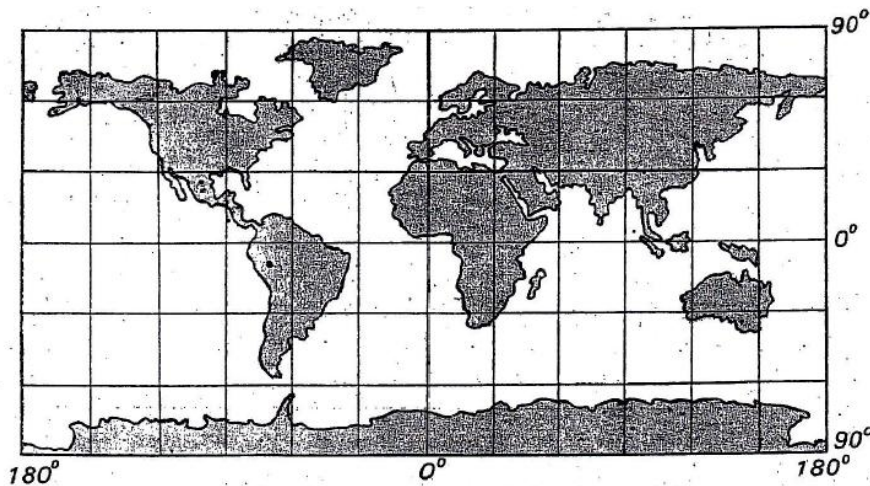
8.10 Zobrazení Cassini-Soldnerovo

Toto zobrazení bylo použito pro pořízení map stabilního katastru první poloviny 19. století tehdejšího Rakouska-Uherska. Zobrazení to bylo příčné válcové ekvidistantní v polednicích. Válcová plocha se ve zvoleném základním poledníku dotýkala referenčního elipsoidu. Jednalo se o Zachův elipsoid, který se později nazýval jako katastrální, o rozměrech $a = 6\,376\,045$ m, $b = 6\,355\,477$ m. Území celého státu (Rakouska-Uherska) bylo rozděleno na více poledníkových pásů se samostatnými souřadnicovými soustavami z důvodu, aby nedošlo v mapách k velkým deformacím délek a ploch. Osa X byla vždy položena do poledníku jdoucího význačným trigonometrickým bodem. Její kladná větev směřovala k jihu. Počátkem souřadnicové soustavy byl právě tento zvolený trigonometrický bod. Na západ směřovala kladná větev osy Y, kolmá k X (Maršíková a Maršík, 2006). Katastrální mapy země české byly pořízeny v souřadnicové soustavě X, Y, přičemž počátkem je trigonometrický bod Gusterberg o zeměpisných souřadnicích $\varphi_0 = 48^\circ 02' 20''$ a $\lambda_0 = 31^\circ 48' 09''$ (vých. Ferra). Moravsko-slezská země má počátek souřadnicové soustavy X, Y na věži kostela sv. Štěpána ve Vídni, jejíž souřadnice jsou $\varphi_0 = 48^\circ 12' 32''$ a $\lambda_0 = 34^\circ 02' 22''$ (vých. Ferra). Tyto soustavy jsou schématicky ukázány na obr. č. 14 (Böhm, 1951).



Obr. č. 14: Souřadnicové soustavy stabilního katastru (zdroj: (Maršíková a Maršík, 2006).

Mapy zhotovené v příčném válcovém Cassini-Soldnerově zobrazení se též nazývají mapy čtvercové, jelikož zeměpisná síť rovnoběžek a poledníků se zobrazí jako čtvercová síť. Schéma mapy světa v příčném válcovém zobrazení, ekvidistantním v polednicích, je na obr. č. 15.



Obr. č. 15: Geografická síť v Cassini-Soldnerově zobrazení (zdroj: (Maršíková a Maršík, 2006).

Znamená to, že odlišně veliké sférické lichoběžníky mezi poledníky a rovnoběžkami se zobrazují jako shodně veliké čtverce. Když je ve směru poledníků délkové zkreslení nulové a měřítko $m_p = 1$, tak je zobrazení ekvidistantní v polednicích. Ve všech dalších směrech nastává zkreslení délek, nicméně největší ve směru kolmém na osu X. Asi 180 km od základního Gusterbergského poledníku,

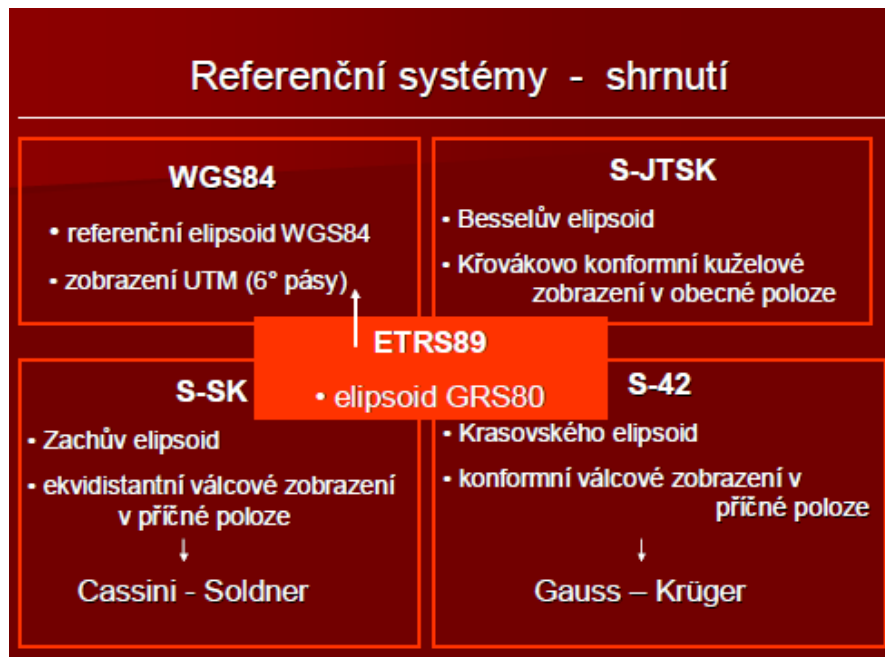
tzn. na katastrálních mapách ve východních Čechách, je délkové zkreslení až 40 cm / 1 km. Ovšem, dochází i ke zkreslení ploch a úhlů (Maršíková a Maršík, 2006).

U nás jsou pořád ještě využívány mapy stabilního katastru v měřítku 1 : 2880. Snahou je převést obsah těchto starých katastrálních map co nejvýhodněji a co nejúplněji do našeho celostátního souřadnicového systému (JTSK). Nestejnorodost souřadnic tomu ovšem brání. Různou triangulací a různým zobrazením je způsobená odlišnost souřadnic (x, y) stabilního katastru souřadnic (X, Y) systému JTSK. Proto není možná jednorázová transformace souřadnic na velkých plochách. Je nutno rozdělit převáděné území na co nejmenší trojúhelníky, které jsou určeny tzv. identickými body. Jedná se o tři body, u kterých známe souřadnice v obou soustavách (x, y) a (X, Y), (Hojovec a kol., 1987). Použijeme vzorce pro afinní transformaci v rovině pro převod souřadnic.

$$X = a_1 x + b_1 y + c_1$$

$$Y = a_2 x + b_2 y + c_2 \quad (8. 11)$$

Příhodná je proto afinní transformace, jelikož se při ní stará síť bodů postupně posune, pootočí a její měřítko se upraví tak, že vrcholy klíčového trojúhelníka zapadnou přesně do polohy, která je dána souřadnicemi (X, Y). Můžeme podle výše uvedených rovnic sestavit šest lineárních rovnic o šesti neznámých transformačních koeficientech a_1, a_2, \dots, c_2 , máme-li trojici identických bodů se známými souřadnicemi v obou soustavách. Po výpočtu získáme transformační rovnice transformačních koeficientů pro převod bodů ze starých katastrálních map do současné souřadnicové soustavy JTSK. Dříve než započneme výpočet transformačního klíče (transformačních koeficientů) je nutné ověřit identitu klíčových bodů. Můžeme použít např. Helmertovu transformaci nebo porovnat strany trojúhelníku identických bodů v obou soustavách (Maršíková a Maršík, 2006).



Obr. č. 16: Shrnutí referenčních systémů (zdroj: (Hánek, 2007).

8.11 Metoda plátování

Tato metoda byla navržena a ověřena pro zajištění hladké a spojitě kresby po transformaci zejména sáhových map. Metoda plátování vychází z teorie bikubického Coonsova plátu (Čada a Břehovský, 2000).

Pomocí kubických spline křivek ze zaměřených významných bodů rámu a rohů listů je rekonstruován deformovaný průběh rámu mapového listu. Tyto body rámu a rohy listů patří mezi nejvíce deformované a často nečitelné části rastru a mají přitom základní vliv. Dále je možné vytvořit Coonsův plát, který je matematickým modelem určitého mapového listu. Pro transformaci je potřeba ještě jeden plát, který odpovídá ideálnímu mapovému listu ve zvoleném souřadnicovém systému (Hánek a kol., 2008).

Souřadnice x , y bodu na plátu, který je vykonstruován z interpolačních křivek průběhu rámu, jsou určeny prostřednictvím parametrů u , v ve směru hran rámu. Tyto parametry jsou totožné i pro bod ležící na plátu, který byl vykonstruován z průběhu ideálního plátu v souřadnicovém systému. Tímto způsobem se pro každou dvojici u , v získá bod, který je známý v obou soustavách. Z těchto bodů jsou pak body identické pro transformaci deformovaného rastru (Cimbálník a Mervart, 1999).

9. Závěr

V první části jsem rozebrala různé referenční plochy, které existují a podrobně je rozebrala. Dále jsem analyzovala kartografická zobrazení a jejich dělení. Kartografické zobrazení je jednoznačně matematicky vyjádřeno vztahem mezi souřadnicemi bodů na zobrazovací a referenční ploše. Velká řada těchto způsobů byla odvozena v dlouhém vývoji kartografie.

Ve druhé části bakalářské práce jsem se zabývala souřadnicovými systémy a transformacemi souřadnic. Problematika souřadnicových systémů je velice složitá, jelikož existuje veliké množství systémů. Každý systém má různé využití, avšak každý uživatel si díky transformacím může souřadnicové systémy upravovat a kombinovat tak, aby vyhovovaly co nejvíce danému účelu.

Transformace se provádí pro převádění souřadnic z jednoho systému do druhého. Podstata transformace souřadnic spočívá ve změně souřadnic bodů, aniž by došlo ke změně jejich polohy na zemském povrchu. Hlavní důvod pro transformaci souřadnic jsou rozdílné souřadnicové systémy a pokus vyhnout se novému přeměřování.

10. Seznam obrázků

- *Obr. č. 1: Rozdíl mezi koulí a elipsoidem, obrázek také znázorňuje vzdálenost poledníku Ferro od poledníku Greenwich.*
- *Obr. č. 2: Azimutální zobrazení.*
- *Obr. č. 3: Kuželová zobrazení.*
- *Obr. č. 4: Válcová zobrazení.*
- *Obr. č. 5: Polohy zobrazovacích ploch.*
- *Obr. č. 6: Zeměpisné souřadnice.*
- *Obr. č. 7: Pravoúhlé rovinné souřadnice.*
- *Obr. č. 8: Polární rovinné souřadnice.*
- *Obr. č. 9: Kartografické souřadnice.*
- *Obr. č. 10: Hraniční geografické a kartografické souřadnice souřadnicového systému S-JTSK.*
- *Obr. č. 11: Rozdíl mezi 3^oa 6^opásy.*
- *Obr. č. 12: Transformace z WGS84 do S-JTSK.*
- *Obr. č. 13: Transformace z ETRS-89 do S-JTSK.*
- *Obr. č. 14: Souřadnicové soustavy stabilního katastru.*
- *Obr. č. 15: Geografická síť v Cassini-Soldnerově zobrazení.*
- *Obr. č. 16: Shrnutí referenčních systémů.*

11. Literatura a zdroje

1. Seznam literatury

1. Baranová, M. (2004): Kartografické vztahy systémů SK a JTSK. Plzeň, Západočeská univerzita, fakulta aplikovaných věd, 18 s.
2. Bayer, T. (2008): The importance of computational geometry for digital cartography. *Geoinformatics FCE CTU* 3, s. 15 - 24.
3. Böhm, J. (1951): *Matematická kartografie*. Brno, Vysoká škola technická, 140 s.
4. Cajthaml, J. (2013): Polynomial georeferencing method for old map series. In 13th International Multidisciplinary Scientific geoconference SGEM 2013. Albena, s. 50 – 52.
5. Cimbálník, M., Veverka, B. (1992): Transformace mezi souřadnicovými systémy v mapových dílech ČSFR. *ČVUT v Praze, Geodetický a kartografický obzor ročník 38/80, číslo 10*, s. 204-208.
6. Cimbálník, M., Mervart, L. (1999): *Vyšší geodézie 1*. Praha, vydavatelství ČVUT, 171 s.
7. Čada, V. (2003): *Robustní metody tvorby a vedení digitálních katastrálních map v lokalitách sáhových map*. Habilitační práce, Praha, vydavatelství ČVUT, Stavební fakulta, 114s.
8. Čada, V. (1999): Obnova katastrálního operátu v lokalitách souřadnicových systémů stabilního katastru. *GaKO*, 45/87, číslo 6, s. 20 – 23.
9. Čada, V., Břehovský, M. (2000): Transformace rastrů při tvorbě DKM. *Geodetický a kartografický obzor* 46 (88), č. 12, 251 s.
10. Čada, V., Vichrová, M. (2009): Horizontal control for stable cadastre and second military survey (franziszeische landesaufnahme) in Bohemia. Moravia and Silesia, *Acta Geod, Geoph. Hung*, (44), s. 105–114.
11. Fiala, F. (1955): *Matematická kartografie*. Praha, Československá akademie věd, 288 s.

12. GI&GIS Workshop, Spatial Reference Systems for Europe, Space Applications Institute, Listopad 1999, 73 s.
13. Hanzl, V. (1997): Matematická kartografie. Brno, Fakulta stavební VÚT, s. 15 - 20.
14. Hanzlová, M. (2001): Program pro transformaci souřadnic mezi souřadnicovými systémy platnými na území ČR. Ostrava, VŠB-TU, s. 10 – 15.
15. Hánek, P. (2007): Stavební geodézie. Praha, ČVUT, s. 10 – 12.
16. Hánek, P., Hánek, P. (2008): Geodézie pro obor pozemkové úpravy a převody nemovitostí. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 88 s.
17. Hojovec, V., Daniš, M., Hájek, M., Veverka, B. (1987): Kartografie. Praha, Geodetický a kartografický podnik, 660 s.
18. Ježek, Jan. (2003): Vývoj programového modulu pro převod souřadnic mezi kartografickými zobrazeními. Praha, ČVUT, Stavební fakulta, 62 s.
19. Kostecký, J. (1993): K převodu výsledků měření aparaturami GPS do souřadnicového systému S-JTSK. VÚGTK, Zdiby, Geodetický a kartografický obzor ročník 39/81, číslo 7, s. 133-139.
20. Kostecký, J. (2011): Souřadnicové systémy – jak je to s nimi v současnosti? Hvězdárna v Rokycanech, Zákrytový zpravodaj, 8 s.
21. Kuchař, K. (1969): Přehled matematické kartografie. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, 127 s.
22. Kuska, F. (1960): Matematická kartografia. Bratislava, Slovenské vydavateľ'stvo technickej literatury, s. 36 – 38.
23. Maršík, Z. (1998): Základy geodézie a kartografie. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 81 s.
24. Maršíková, M., Maršík, Z. (2006): Kartografie. České Budějovice, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 113 s.

25. Mikšovský, M. (1994): Kartografická polygrafie a reprografie. Praha, s. 115 – 120.
26. Nařízení vlády č. 430/2006 Sb. o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání, s. 1 – 5.
27. Navratil, G., Unger, E. (2013): Reprint of: Requirements of 3D cadastres for height systems. Computers, Environment and Urban Systems, s. 15 – 17.
28. Novák, V., Murdych, Z. (1988): Kartografie a topografie. SPN Praha, 320 s.
29. Novotný, M. (1996): Geodézie a kartografie. České Budějovice, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 130 s.
30. PEŠL, I.(1992): Číselné zaměřování změn v souřadnicovém systému S-JTSK. GaKO, 38/80, číslo 11, s. 65 – 70.
31. Pyšek, J. (1991): Kartografie a topografie. I. Kartografie. Plzeň, Západočeská univerzita, Pedagogická fakulta, s. 5 – 25.
32. Pyšek, J. (1995): Matematická kartografie. Třída jednoduchých zobrazení. Plzeň, Západočeská univerzita, Pedagogická fakulta, 3 – 96.
33. Srnka, E. (1986): Matematická kartografie. Brno, VAAZ, 302 s.
34. Talhofer, V. (2007): Základy matematické kartografie. Brno, univerzita obrany, fakulta vojenských technologií, s. 36 – 38.
35. Veverka, B. (1970): Topografická a tematická kartografie. Praha, vydavatelství ČVUT, 199 s.
36. Veverka, B. (2006): Souřadnicové souřadnice v geoinformatice. Praha, vydavatelství ČVUT, Fakulta stavební, katedra mapování a kartografie, 10 s.
37. Veverka, B., Zimová, R. (2008): Topografická a tematická kartografie. Praha, ČVUT, s. 25 – 30.
38. Voříšek, P. (2008): Geodetické referenční systémy. Vysoké Mýto, VOŠ a SŠS, s. 12 – 13.

39. Voženílek, V. (1999): Aplikovaná kartografie I. – tematické mapy. Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, 168 s.

40. Voženílek, V. (1996): Output Tools of GIS for Cartographical Purposes. Brno, Proceeding Brno-GIS, 25 – 27 s.

2. Elektronické zdroje

39. Cuzk: Český úřad zeměměřický a katastrální. [online]. [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz/>.

40. Geomatika. [online]. ZČU v Plzni [cit. 2015-10-29]. Dostupné z: <http://www.gis.zcu.cz/>, fakulta aplikovaných věd.

41. <http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.1/doc.html>. [cit. 2015-11-11].

42. Vugtk: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický. [online]. [cit. 2015-11-28]. Dostupné z:

http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/jine/geos06/paper/22_janus_marsa/paper/22_janus_marsa.pdf

43. <http://www.dqts.net/files/wgsman24.pdf>. [cit. 2015-10-15].