

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

**Pedagogická fakulta**

Katedra matematiky

**Bakalářská práce**

Jan Minarčík

**Matematická kartografie**

**Čestné prohlášení:**

Tímto prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s pomocí uvedené literatury a uvedených zdrojů.

V Olomouci dne 3. 4. 2016

.....

Jan Minarčík

### **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Mgr. Davidu Nocarovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Taktéž mé díky patří i pracovníkům přírodovědecké fakulty UP v Olomouci, kteří mi ochotně poskytli množství informací, ze kterých jsem mohl dále vycházet.

# Obsah

Úvod.....	6
1. Kartografie .....	7
1.1 Definice .....	7
1.1.1 Definice kartografie - Sališčev .....	7
1.1.2 Definice kartografie – Arnberger .....	7
1.1.3 Definice Terminologického slovníku ICA .....	8
1.2 Struktura kartografie.....	8
1.3 Historie kartografie.....	9
1.3.1 Důvody vzniku kartografie.....	9
1.3.2 Nejstarší světové mapové památky .....	11
1.3.3 Kartografie a antika .....	11
1.3.4 Kartografie Římské říše a středověku .....	13
1.3.5 Námořní kartografie a kompasové mapy .....	13
1.3.6 Renesance kartografie a důležité objevy .....	15
1.3.7 Novověká kartografie .....	15
1.3.8. Mapování našich zemí.....	16
2. Matematická kartografie.....	18
2.1 Referenční plochy.....	18
2.1.1 Referenční elipsoid.....	18
2.1.2 Referenční koule.....	21
2.1.3 Referenční rovina .....	21
2.2 Souřadnicové systémy .....	22
2.2.1. Zeměpisné souřadnice a jejich funkce.....	22
2.2.2 Izometrické souřadnice.....	24
2.2.3 Kartografické souřadnice.....	25
2.2.4 Pravoúhlé souřadnice .....	25
2.3 Důležité křivky .....	26
2.3.1 Geodetická křivka.....	26
2.3.2 Ortodroma .....	26
2.3.3 Loxodroma .....	27
2.4 Kartografické zkreslení .....	28
2.5 Třídění kartografických zobrazení .....	29
3. Budoucnost kartografie a její využití v civilní sféře.....	31
3.1 Ohlédnutí o pár let zpátky .....	32

3.2 Doba elektronická a kartografie .....	33
3.3 Budoucnost kartografie .....	33
3.3.1 Přechod z 2D do 3D .....	34
3.3.2 Z obrazovky do hologramu .....	35
3.3.3 Vesmírná kartografie.....	35
3.4 Civilní využití dnešní kartografie.....	36
3.4.1 GPS.....	36
3.4.2 Mobilní aplikace.....	38
Závěr.....	41
Bibliografie	
Anotace	

## Úvod

V mé bakalářské práci se věnuji tématice matematické kartografie a kartografii obecně. Celá práce je členěna do tří stěžních částí. Cíl mé práce je seznámení čtenáře s vědním oborem kartografie a dále jejím podoborem matematickou kartografií. Vysvětlím a objasním čtenáři základní pojmy daného oboru a jeho základní členění. Dále se věnuji budoucnosti kartografie a mapování z teoretického hlediska. V úplném závěru uvádím pár aplikací, které jsou dnes dostupné pro širokou veřejnost a mají spojitost s kartografií nebo jejími jednotlivými podobory.

V první části píší o kartografii jako vědě takové. Představím její moderní obecnou definici, ale i její historické ekvivalenty. Dále uvádím její dílčí disciplíny, mezi které patří i matematická kartografie. Následně probírám historii mapování ve světě a na našem území.

V druhé části mé bakalářské práce se věnuji podoboru matematické kartografie. Čtenář se zde seznamuje se základními pojmy tohoto vědního podoboru jako například: referenční plocha, souřadnicové systémy, atd. V závěru této části uvádím obecné informace o zkreslení při tvorbě mapy a o kartografických zobrazeních.

V poslední části mé bakalářské práce se věnuji budoucnosti mapování. Úvahou, na základě již vyvinutých technologií, popisuji, kam se může mapování a samotná kartografie dále posouvat. V úplném závěru píší o systému GPS, který by bez existence kartografie nemohl existovat a také o mobilních aplikacích využívajících mapových podkladů dneška a jejich funkce.

Je třeba také uvést, že kromě uvedených literárních zdrojů mi byly zdrojem i poznámky a připomínky pracovníků katedry geografie na Univerzitě Palackého v Olomouci.

# 1. Kartografie

Kartografie jakožto věda, má za úkol zprostředkovávat pomocí svých prostředků proces zobrazování a zkoumání skutečnosti. Na tomto tvrzení je založeno nespočet různých definic kartografie. Nyní zde uvedu jen ty, které podle mě nejvíce vystihují hlavní úkol kartografie.

## 1.1 Definice

### 1.1.1 Definice kartografie - Sališčev

První uvedená definice je dílem Sališčeva Konstantina Alexejeviče. Ten byl sovětským geografem a kartografem první poloviny dvacátého století. Živil se jakožto profesor na univerzitě v Moskvě. Ve svém celoživotním díle se zabýval hlavně teoretickou kartografií a koncepcí atlasů.

*„Kartografie je věda o zobrazování a studiu prostorového rozmístění, spojení a vzájemných vazeb jevů přírody a společnosti (i jejich změn v čase) prostřednictvím zvláštních obrazově znakových modelů – kartografických vyobrazení.“*

### 1.1.2 Definice kartografie – Arnberger

Druhou poměrně výstižnou definicí, je výtvar Erika Arnbergera. Tento rakouský velikán na poli kartografie, svého času pracoval jako úředník v Rakouské akademii věd. Osobně dohlížel na dokončení „Atlasu Dolního Rakouska a Vídně“ a také na dokončení díla „Atlas Rakouské republiky“. Jeho působení se datuje na přelomu druhé poloviny dvacátého století.

*„Kartografie je věda o logice, metodice a technice konstrukce, tvorby a využití map a jiných kartografických vyjadřovacích forem, které jsou způsobilé vzbudit prostorově správnou představu skutečnosti.“*

### 1.1.3 Definice Terminologického slovníku ICA

Nejdříve by bylo vhodné uvést význam zkratky ICA. ICA je International Cartographic Association, což v překladu znamená Mezinárodní kartografická asociace. Prakticky se jedná o největší uskupení odborníků na kartografii ve světě. Ctí nám může být, že jedním z členů této asociace je také pan profesor RNDr., Vít Voženílek, CSc., který působí na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého, zde v Olomouci. Tato definice je nejaktuálnější a celosvětově uznávaná.

*„Kartografie je umění, věda a technologie vytváření map, včetně jejich studia jako vědeckých dokumentů a uměleckých prací. V této souvislosti mohou být za mapy považovány všechny typy map, dále plány, náčrty, trojrozměrné modely a glóbusy, zobrazující Zemi nebo nebeskou sféru v jakémkoliv měřítku.“*

## 1.2 Struktura kartografie

Kartografie je velice komplexní a složitá věda. Jakožto takto komplexní věda se dále dělí na dílčí disciplíny, zabývající se různými specifickými oblastmi tvorby. Pojdme si zde uvést ty nejdůležitější zástupce kartografických disciplín.

1. Matematická kartografie – se zabývá teorií zobrazování referenční plochy zemského povrchu do roviny mapy, vlastnostmi a praktickým užitím zobrazení
2. Topografická kartografie – tvorba a využití topografických (místopisných) map



3. Chorografická kartografie – týká se přehledných, obecně zeměpisných map
4. Tematická kartografie – řeší problematiku map s vymezeným tematickým obsahem (podle obsahu je zde možné ještě další třídění, např.: kartografie ekonomická, geologická, námořní, letecká, atd.)
5. Atlasová kartografie – řeší otázky tvorby a využití atlasů, jako víceúčelové uspořádaných mapových souborů
6. Kosmická kartografie – zabývá se kartografickou interpretací poznatků o kosmu
7. Počítačová kartografie – zahrnuje otázky sestavování a tvorby mapového obrazu automatizovaným způsobem, pomocí počítačů

## 1.3 Historie kartografie

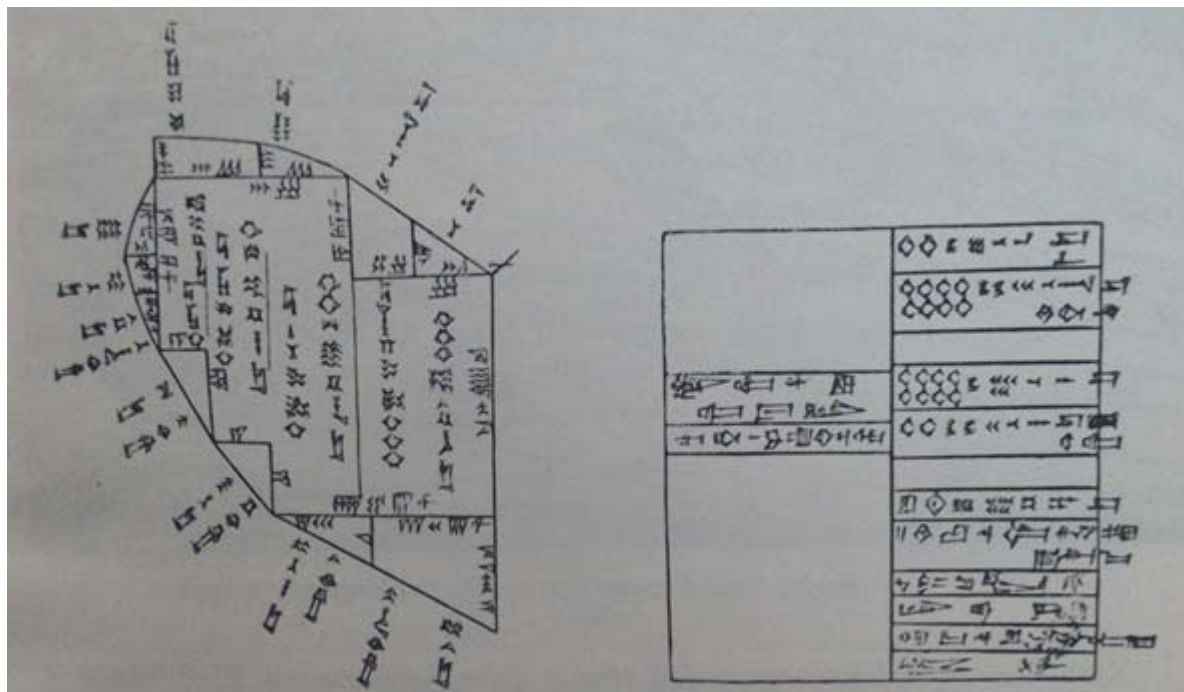
V této podkapitole se budu věnovat samotné historii kartografie. Společně se podíváme na důvody, proč lidé vlastně začali kartografii rozvíjet. Následně si uvedeme historii kartografie ve světě a u nás.

### 1.3.1 Důvody vzniku kartografie

Proč vlastně lidé začali kreslit náčrty a následně i mapy? Co je k tomu vedlo? Na tyto otázky se podíváme ze všech tří stěžních směrů právě nyní.

Prvním důvodem tvorby mapových děl je už od pradávna **snaha o zjištění rozlohy orné půdy**. Šlo o jistý druh plánování zemědělské výroby, spojený s dodávkovými povinnostmi, nejdříve v plodinách, později v peněžitých dávkách. Laicky řečeno bylo potřeba spočítat, jestli je orné půdy dost pro obživu obyvatel a jestli z ní dokáží lidé odvést povinné odvody. Nejvíce v tomto umění vynikali Babyloňané a Egypťané. Památky z těchto civilizací ukazují na to, že zde vznikali

vůbec první mapová a soupisová díla. Centrem pro tuto tvorbu a zároveň vlastníkem nejvíce takovýchto mapových děl byla alexandrijská knihovna.



Obr. 1: Jedna z nejstarších mapových památek popsaná klínovým písmem

Druhým důvodem byly **vojenské zájmy** na mapování. Co se vojenských map týče, byly nalezeny vojenské plány opevňovací, staré přes tisíce let, pocházející z Babylonie. Pro obchodní a vojenské plavby měly později význam tzv. portolány. Portolán je mapa, která na své ploše zachycuje vodní hladinu, na které je zakreslena síť pravidelně rozmístěných směrových růžic, z nichž vybíhá 16 nebo 32 směrů do světových stran. Do té doby bylo možné se na moři orientovat jen pomocí noční oblohy. Tyto mapová díla využívali později i mořeplavci na svých odvážných plavbách za objevy.

Jak léta plynuly, tak se vojenské mapování samozřejmě zdokonalovalo. Nový ráz mu však dala až doba Napoleonova. Ten, v roce 1808, nařídil provést podrobné mapování území Francie v měřítku 1:40 000. Odvozením z tohoto mapového díla později vznikla „Mapa pro generální štáb“. Tato mapa je první úspěchem spolupráce vojenského a civilního mapování, protože právě u ní bylo převzato mnoho poznatků, hlavně pak polohopis, z právě vyhotovených katastrálních map. Vojenskou částí

mapování pak hlavně bylo měření výškopisu. I to byl jeden z hlavních důvodů Napoleonových vojenských úspěchů.

Posledním důvodem vzniku mapových děl v minulosti byl **zájem technický**. Tento zájem se projevoval už v nejranějších počátcích mapování. Z těchto raných dob se nám dochovali četná díla, jako například přehledné a přesné plány měst a budov Římské říše. Ještě ranější důkazy o mapování můžeme nalézt například ve starověkém Egyptě. Odtamtud se nám dodnes dochovali některé mapovací díla týkající se egyptských obdivuhodných staveb. Rozvoj technického mapování se rozvíjel společně s rozvojem společnosti.

### 1.3.2 Nejstarší světové mapové památky

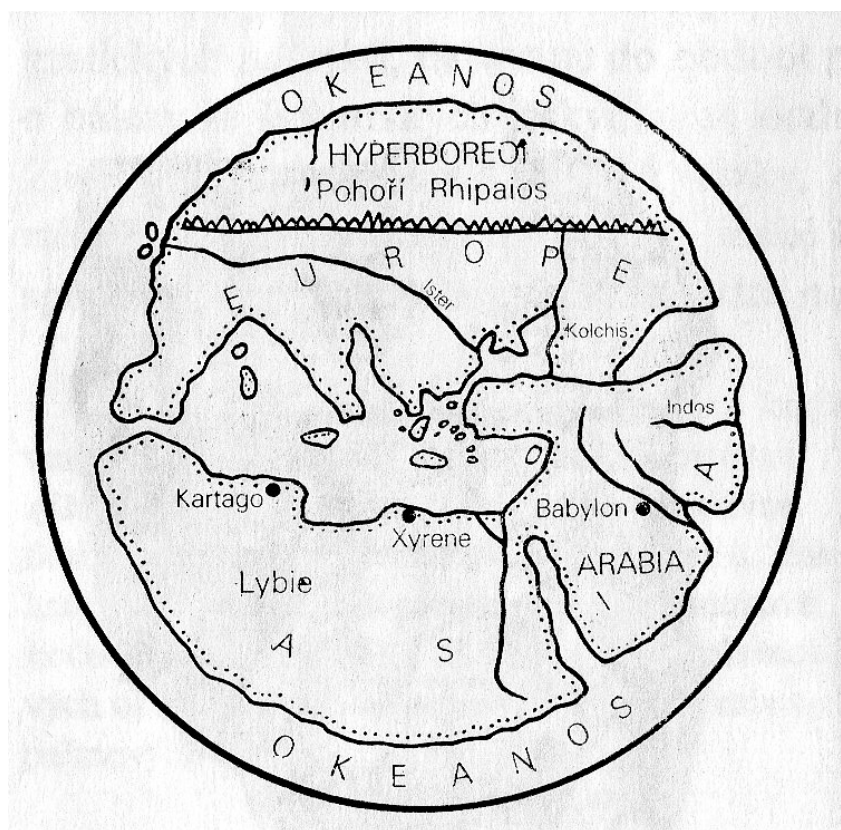
Vůbec nejstarší mapové památky, nebo řekněme spíše pokusy o zaznamenání svého okolí jsou prastaré. Ty nejstarší z nich se datují do období paleolitu, tj. 20 000 let př. n. l. Jedná se o nálezy ze švýcarských jeskyní a ze skalních oblastí ležících v povodí sibiřské řeky Jeniseje. Tyto památky nám zachycují vodní toky, lovecké stezky či místa výskytu nebezpečí. Často byly vyryty do kostí nebo kresleny na skalní stěny. Je nutné podotknout, že tyto památky jsou z doby, kdy se teprve člověk učil společensky jednat a myslet. Tudíž taková znalost písma v této době ještě neexistuje. Všechny poznatky a pokusy o mapování z této doby vychází jen z orientačního smyslu tehdejších lidí a jejich citu pro krajinu. Později jsou známi i nálezy map, vyrytých do kůže či kůry stromu. Logicky se však z těchto památek moc nedochovalo.

### 1.3.3 Kartografie a antika

Co se moderní kartografie týče, ta staví na základech právě z dob antického Řecka a helénského Egypta. Řekové byly prvním národem, který začal myslet v opravdu globálním měřítku. Právě oni jakožto první začali s mapováním celého světa. Jisté pokusy tu samozřejmě byly i dříve. Bohužel však tyto pokusy ztroskotaly na základní myšlence, kterou do kartografie přivedli až Řekové. Ti totiž jako první považovali zemské těleso za kouli a určili její rozměry. Právě na tomto faktu

ztroskotaly všechny pokusy předchozích civilizací. Řekové následně jako první spočítali zemskému tělesu jeho rozměry, zavedli zeměpisné souřadnice a zavedli šedesátinné dělení kruhu. Rovněž také položili základy disciplíně matematické kartografie, které se budeme věnovat později.

První starověká mapa pochází od Anaximandra Milétského. Země je zde vyobrazena jako dokonalý kruh obklopený vodou. Nutně však musíme podotknout, že tehdejší Řekům ještě nebylo známé území severní Evropy a Jižní Afriky, natož pak například Austrálie. O existenci těchto území se Řekové dozvěděli o dost později, při četných vojenských tažení Alexandra Makedonského.



Obr. 2: Anaximandrova mapa světa

Další obrovský přínos kartografii se připisuje Hipparchovi, který rozdělil rovník na 360 dílů a zavedl pro zeměpisné souřadnice pojem délka a šířka, vztažené k protáhlému tvaru Středozemního moře. Zavedení těchto pojmů vlastně znamenalo vznik první zeměpisné sítě souřadnic, kterou s jistými úpravami používáme dodnes.

#### 1.3.4 Kartografie Římské říše a středověku

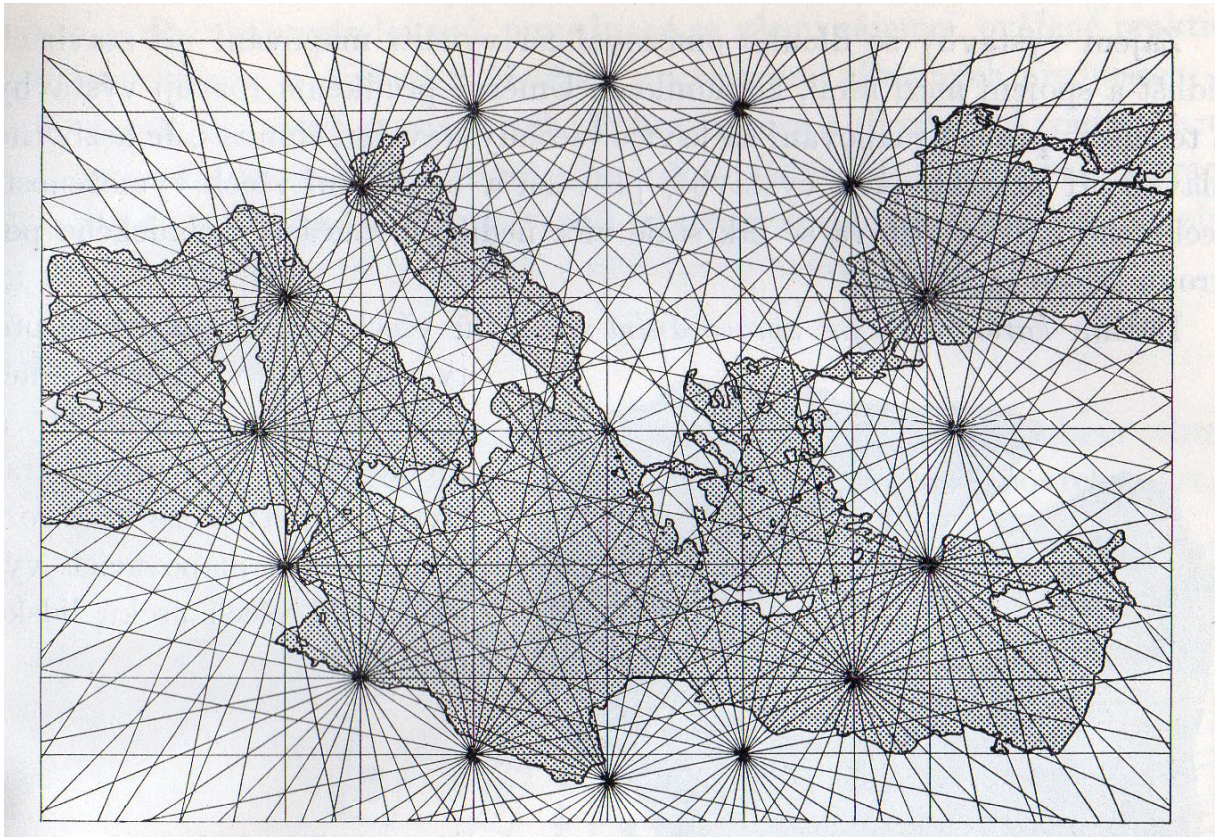
Je paradoxem, že Římská říše, táhnoucí se od Řecka, přes celou střední Evropu a značnou část Británie až po pobřeží Atlantiku, kartografii nepřinesla téměř nic nového. Toto období nazývají kartografové jako období stagnace. Jediným oborem, kde se Římané v kartografii činily, byly technické nákresy jejich budov a měst. Taktéž zaváděli do map délkové jednotky jednotlivých cest. Tyto jednotky však znali už staří Řekové.

Po rozpadu římského impéria v pátém století došlo v Evropě ke vzniku řady státních útvarů, kde svůj ideologický vliv uplatňovala hlavně církev. To mělo neblahé důsledky nejen pro kartografii, ale pro veškeré vědecké zkoumání přírody. Církev totiž prosazovala jako jediný přípustný zdroj informací Bibli. Jediná kartografie této doby v Evropě je kartografií církevních otců, která zobrazovala Zemi jako okrouhlou nebo hranatou desku, jejímž středem byl Jeruzalém.

Kartografie se na toto období uchýlila do náručí Arabů, kde žil hlavně řecký odkaz dále. Zde se totiž pozorování a zkoumání přírody tolik nepřibrzdilo a proto se kartografie zde mohla rozvíjet na mnohem vyšší úroveň než v Evropě. Žádnou výraznou změnu, řekněme spíše milník v kartografii, však Arabové nepřinesli. Na rozdíl od Evropanů však v udržování a zkoumání vědy neustávali. V této době se kartografie také rozvíjela v Číně. Tam však kvůli tehdejší izolaci od světa po tomto období začala upadat.

#### 1.3.5 Námořní kartografie a kompasové mapy

Potřeby rozvíjejícího se námořnictví si vyžadovali nový druh map. Jak už z předchozího textu víme, jednalo se o mapy kompasové nebo tzv. portolány. Co je to portolán, máme vysvětlené v kapitole „Důvody vzniku kartografie“. Tyto mapy sloužili hlavně mořeplavcům pro udržení směru lodi po loxodromě. Co je to loxodroma, si vysvětlíme v druhé kapitole věnující se matematické kartografii. Zde uvádím typický příklad portolánu.



Obr. 3: Portolánová mapa

Dalšími tvůrci kompasových map byly také Portugalci, Španělé, Holanďané a Francouzi. V pozdějších dobách byly tyto mapy doplňovány o poledníky a rovnoběžky. To byly doby, kdy se kartografie vracela zpět ke svým základním kořenům v Řecku. Překvapivé však je, že i když se v počátcích portolánů nepočítalo s kulatostí země, tak jsou tvary a velikosti jednotlivých moří znázorněny téměř dokonale. Paradoxně k tomu v těchto mapách nenajdeme obsah vnitrozemí. To hlavně z důvodu neznalosti daných území. Jedná se právě o ty mapy, na nichž můžeme najít nakresleny různé fantastické tvory počínaje mořskými hady v odlehlých částech moří a konče draky plivajícími oheň ve středech kontinentů. V tomto období opět zažila kartografie rozkvět a znovu se začala stavět na nohy.

(Císař, a další, 1966)

### 1.3.6 Renesance kartografie a důležité objevy

Ve 13. století se do Evropy dostalo období renesance. To pro vědu znamenalo znovuzrození antické kultury. Ta se dostala do křížku s církevními dogmaty trvajících v Evropě po staletí. Největšími představiteli na poli kartografie byly Leonardo da Vinci, Mikuláš Koperník, Giordano Bruno a Galileo Galilei. Byly to právě tito průkopníci, kteří přišli a svým snažením prosadili zavedení heliocentrického systému, který doložili matematickými zákony. Giordano Bruno za to dokonce zaplatil životem.

Důležitým milníkem pro kartografii bylo vynalezení knihtisku na přelomu let 1447 a 1448 Janem Guttenbergem a mědirytiný Marcelem Antoniem Raimondim. Do tehdejší doby byly mapy kresleny výhradně ručně, a proto se nemohli šířit mezi veřejnost. To vše knihtisk změnil. Nyní bylo možné tisknout ve velkých nákladech a šířit tak vědu a poznání dále.

Dalším důležitým milníkem pro kartografii byly objevitelské plavby mezi 15. a 16. stoletím. V relativně krátké době přibyla spousta nových geografických poznatků, které museli být zapracovány co nejrychleji do kartografické podoby. Jednalo se hlavně o území kolonizované Evropskými velmocemi. Během těchto cest byly objeveny nejrůznější ostrovy, souostroví a následně i celý kontinent. Autorem první mapy tzv. Nového světa byl kartograf Juan de la Costa. Zajímavostí je, že mapa obsahující Grónsko a značnou část severní Ameriky už existovala od roku 1440. Jednalo se o tzv. Vinlandskou mapu. Taktéž obsahovala Atlantský oceán v jeho správné šíři. Za objevitele nového kontinentu jsou zde považováni Vikingové Bjarni a Leifa. Bohužel moderní kartografie považuje tuto mapu za falzum, a proto prvenství v objevení nového kontinentu připisuje Kryštofu Kolumbovi.

### 1.3.7 Novověká kartografie

Období renesance kartografii oživilo po staletích bojkotu ze strany církve. Nyní následuje období rozmachu až do nynějších rozměrů. Důležitých milníků pro kartografii je v tomto období více. Uvedme si tedy jen ty nejzásadnější.

Kartografickou dokonalost předváděla celému světu Francie. Ta jako první země na celém světě provedla kompletní mapování svého území a nutno říci s obdivuhodnou přesností. V tomto období také dochází k přechodu kartografie od jednotlivců ke státní správě. Ještě později se začíná formovat takzvaná speciální kartografie. Jedná se o disciplínu, která jako první začala do map zanášet informace nejen topografické, leč také informace geologické, socio-ekonomické, klimatické a vegetační.

#### 1.3.8. Mapování našich zemí

Mapování našich zemí má od 16. století bohatou historii. Nejstarší dosud nalezenou známou mapou Čech je Klaudiánova mapa. Ta byla zhotovena v měřítku 1 : 685 000. Vyřezána do dřeva byla roku 1518 v Mladé Boleslavi v dílně lékaře Mikuláše Klaudiána. Odtud Klaudiánova mapa. Další mapovou památkou z našeho území je mapa Čech pražského měšťana Pavla Aretina z Ehrenfeldu. Ta pochází z roku 1619 a je v měřítku 1 : 500 000. Abychom se nebavili jen o mapových památkách Čech, máme zde i jednoho zástupce Moravských map z tohoto období. Jedná se o mapu Komenského z roku 1627. Ta je zkonstruována v měřítku 1 : 470 000. Výjimečná je tím, že jako první J. A. Komenský celé území procestoval a čerpal tak ze svých vlastních zkušeností, nikoli jen z informací, které se k němu donesly. Tato mapa se také později stala podkladem pro rakouské katastrální mapy.





Obr. 4: Komenského mapa Moravy

Časem došla společnost k topografickému mapování, hlavně díky nedostatku mapových materiálů při válčení. Proto došlo k prvnímu vojenskému mapování, také někdy nazývanému mapování josefské. To bylo prováděno v letech 1763 až 1785. Mapy byly konstruovány v měřítku 1 : 28 800 přičemž území velkých měst a vojenských oblastí byly mapovány při měřítku 1 : 14 400. Velmi podrobně toto mapování vyobrazuje vodní síť. Z těchto map byla později odvozena tzv. „Malá mapa království českého“.

Druhé vojenské mapování, jehož zaměřením byly i naše země, proběhlo mezi léty 1806 a 1869. Někdy se také nazývá mapování Františkovo. Měřítko zůstalo zachováno stejné, jako u prvního mapování. Hlavním pokrokem byl přechod k Lehmannově šrafuře. To mapě umožňovalo zobrazovat výškové členitosti terénu. Z tohoto mapování byla později odvozena „Speciální mapa království českého“. Tato mapa byla tvořena 38 mapovými listy a později se stala prvním veřejným mapovým dílem na území Čech. Bohužel pro časovou náročnost konstrukce map, se stávalo, že mnoho částí již bylo zastaralých a proto se přešlo k dalšímu vojenskému mapování.

K třetímu vojenskému mapování byl vydán rozkaz roku 1872, kdy mapování započalo, a trvalo až do roku 1883. Významným krokem u tohoto mapování byl přechod k měřítku dekadickému a to sice k měřítku 1 : 25 000. Taktéž poprvé byla zhotovena mapa celé Evropy. Ta byla sice hojně využívána, leč pro její nedostatky a nepřesnosti nebyla nijak dále rozvíjena.

## 2. Matematická kartografie

Co to vlastně matematická kartografie je? Jedná se o část kartografické tvorby, zabývající se geometrickými a matematickými základy kartografických děl. Nejdůležitějším úkolem této části kartografie, je přenos údajů o poloze z referenční plochy země na referenční plochu mapy. Jednodušeji řečeno se jedná o převod pozice bodu ze zemského povrchu do mapy, jakožto rovinného útvaru. Nyní se společně podíváme na základní prvky matematické kartografie, jako jsou referenční plochy, souřadnicové systémy či důležité křivky. Poté se podíváme také na kartografické zkreslení a třídění kartografických zobrazení.

### 2.1 Referenční plochy

Referenční plochy jsou matematicky jednoduše definovatelné plochy, které nahrazují skutečnou plochu planety země. Máme tři nejčastější druhy referenčních ploch. Jedná se o referenční elipsoid, též někdy označovaný jako sféroid, dále referenční kouli a rovinu. Nyní se podíváme na jednotlivé referenční plochy zvlášť.

#### 2.1.1 Referenční elipsoid

Je nejsložitější referenční plochou ze všech. Tento elipsoid povětšinou nahrazuje celou plochu planety při tvorbě map s velkým měřítkem. Elipsoid je určen dvěma konstantami, což můžou být různé kombinace veličin.

a – hlavní (velká) poloosa

b – vedlejší (malá) poloosa

e – numerická výstřednost neboli excentricita

i – zploštění elipsoidu

Zde uvádím vztahy pro vypočítání excentricity a zploštění:

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

$$i = \frac{a - b}{a}$$

Někdy se také používá tzv. druhá excentricita  $e'$ . Ta je dána vztahem:

$$e'^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{b^2}$$

V kartografii se však neuvádí pouze jeden průměrný elipsoid. I zde je několik druhů na výběr. Každý z nich je vhodnější pro jinou lokaci. Většinou pro tu, na jejímž území byl měřen. Prvním z dnes ještě využívaných elipsoidů je elipsoid Besselův. Ten vznikl z měření probíhajících v létě roku 1841. Dnes se užívá hlavně pro země střední Evropy. Má tyto naměřené hodnoty:

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

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

$$e^2 = 0,006\,674\,371$$

$$i = 1 : 299,153$$

Bohužel je již značně zastaralý, a proto je častěji nahrazován Krakovským elipsoidem. Ten byl vypočten v roce 1940 ruským geodetem Krakovským. Jeho hodnoty jsou:

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

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

$$e^2 = 0,006\,693\,422$$

$$i = 1 : 298,3$$

Specifickým zástupcem elipsoidu je elipsoid Hayfordův. Ten pochází z roku 1909. Je specifický hlavně tím, že všechny jeho hodnoty byly naměřeny jen a čistě na území USA, kde se taktéž do dnes používá.

$$a = 6\,378\,388,000 \text{ m}$$

$$b = 6\,356\,911,946 \text{ m}$$

$$e^2 = 0,006\,722\,670$$

$$i = 1 : 297,0$$

Posledním používaným typem elipsoidu je takzvaný WGS-84. Zkratka znamená World Geodetic System. Byl spočítán v roce 1984, odtud 84 v názvu. Používá se především pro moderní měření technikou GPS.

$$a = 6\,378\,137,000 \text{ m}$$

$$b = 6\,356\,752,314 \text{ m}$$

$$i = 1 : 298,257$$

Hodnota  $e^2$  pro WGS-84 není ani v jednom z literárních zdrojů uvedena. Nyní si ji vypočítáme, abychom měli možnost porovnání s údaji u ostatních elipsoidů.

$$e^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2} = \frac{[(6\,378\,137,000^2) - (6\,356\,752,314^2)]}{6\,378\,137,000^2} = 0,006\,943\,801$$

### 2.1.2 Referenční koule

O dost snadnější úkol čeká matematické geografy, pokud jako referenční plochu zvolí kouli. Ta poskytuje, na rozdíl od elipsoidu, mnohem jednodušší vztahy. Koule má konstantní křivost a proto jsou výpočty pro ni nesrovnatelně jednodušší. Využívá se ji buďto takzvaně dvojité nebo přímo. Pokud je referenční koule použita dvojité, znamená to, že nejprve vhodně zobrazíme elipsoid na kouli a z té dále postupujeme na nejjednodušší referenční plochu, rovinu. Provádíme tím pádem dvojitě zobrazení. Přímé použití referenční koule je možné jen v případě, kdy se jedná o konstrukci mapy malého měřítka.

### 2.1.3 Referenční rovina

Nejjednodušší referenční plochou je samotná jednoduchá rovina. V okrouhlém území do průměru 20 km, což je maximálně 700 km<sup>2</sup>, je možné zemský povrch považovat za rovinu. Vodorovné délky a úhly jsou prakticky stejné na zakřivené referenční ploše i na její tečné rovině.

## 2.2 Souřadnicové systémy

Abychom byly schopni v matematické kartografii přenášet jednotlivé body, či útvary z referenčních ploch až do roviny, musíme nejdříve jednoznačně určit polohu těchto bodů. K tomuto úkolu nám slouží právě souřadnicové systémy. V těch nám dvojice číselných údajů udává polohu jednotlivých bodů. Nyní se podíváme na jednotlivé souřadnicové systémy, jelikož se jich v kartografické tvorbě využívá více.

### 2.2.1. Zeměpisné souřadnice a jejich funkce

Když mluvíme o zeměpisných souřadnicích, máme tím na mysli zeměpisnou šířku a zeměpisnou délku. Pojdme si tyto dva pojmy definovat, jak je definuje Hojovec.

*Zeměpisná šířka – je dána úhlem, který svírá normála n referenční plochy v uvažovaném bodě P s rovinou zemského rovníku. Na elipsoidu je označujeme písmenem  $\varphi$ , na kouli písmenem U. Měříme ji od rovníku k pólům. Na severní polokouli je kladná (0 až  $+90^\circ$ ), na jižní polokouli záporná (0 až  $-90^\circ$ ).*

*Zeměpisná délka – je úhel, který svírá rovina určená zemskou osou SJ a uvažovaným bodem P s obdobnou rovinou, zvolenou na základní (nulovou), tj. procházející zvoleným bodem (např. Greenwich). Zeměpisnou délku označujeme na elipsoidu  $\lambda$ , na kouli V. Měříme ji od zvolené základní roviny k východu (0 až  $360^\circ$ ), případně k východu (0 až  $180^\circ$ ) a k západu (0 až  $180^\circ$ ).*

(Hojovec, a další, 1987)

Samozřejmě existují i místa, které mají jednu ze souřadnic konstantní v celé své délce, případně šířce. Místa s konstantní zeměpisnou šířkou se nazývají zeměpisné rovnoběžky, ty s konstantní zeměpisnou délkou pak zeměpisné poledníky.

Zeměpisné rovnoběžky mají také své zvláštní případy. Prvním z nich je rovnoběžka zvaná rovník, která má zeměpisnou šířku rovnou 0. Druhým případem jsou rovnou 2 místa, která jsou singulárními body. To znamená, že nabývají díky svému umístění speciálních vlastností. Těmito dvěma body jsou póly. Jejich zeměpisná šířka, je totiž v celém rozsahu možné šířky, tudíž od 0 až po  $\pm 180^\circ$ .

Společně nám zeměpisné rovnoběžky a poledníky tvoří takzvanou zeměpisnou síť, která nám vizuálně charakterizuje matematické vztahy mezi jednotlivými referenčními plochami a kartografickým zobrazením. Právě pro to je jedním ze základních kamenů každé mapy.

V matematické kartografii se také používají veličiny nazývané diferenciály (elementy) poledníkového oblouku. Element poledníkového oblouku značíme  $ds_p$  a element rovnoběžného oblouku  $ds_r$ . Pro tyto elementy platí následující matematické zákonitosti:

Pro elipsoid

$$ds_p = M d\varphi$$

$$ds_r = N \cos \varphi d\lambda$$

Pro kouli

$$ds_p = R dU$$

$$ds_r = R \cos U Dv$$

$$\text{Kde } M = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}, \quad N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{jsou}$$

hlavními poloměry křivek elipsoidu v bodě o zeměpisné šířce  $\varphi$ ,  $R$  je poloměr koule,  $N \cos \varphi$  respektive  $R \cos U$  je poloměr příslušné rovnoběžky. Délka poledníkového oblouku  $s_p$  mezi zeměpisnými šířkami  $\varphi_1$  a  $\varphi_2$  resp.  $U_1$ ,  $U_2$  je dána výrazy:

$$s_p = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi \text{ resp. pro kouli } s_p = R (U_2 - U_1),$$

délka oblouku rovnoběžky  $s_r$  mezi poledníky o zeměpisných délkách  $\lambda_1, \lambda_2$  resp.  $V_1$  a  $V_2$  je

$$s_r = N \cos \varphi (\lambda_2 - \lambda_1) \text{ resp. } s_r = R \cos U (V_2 - V_1),$$

kam samozřejmě souřadnicové rozdíly dosazujeme v obloukové míře (Buchar, a další, 1996).

### 2.2.2 Izometrické souřadnice

Druhým druhem souřadnic využívaných v kartografii jsou souřadnice symetrické, taktéž někdy nazývané izometrické. Tyto souřadnice jsou (např.:  $\xi, \eta$ ) takové, že v nich lze délkový element čáry  $dS$  napsat ve tvaru:

$$dS^2 = f(\xi, \eta) (d\xi^2 + d\eta^2),$$

kde  $f$  je libovolná funkce,  $(d\xi^2 + d\eta^2)$  je součet čtverců diferenciálů souřadnic, jehož přítomnost je podmínkou označení souřadnic za symetrické. Malé  $q$ , tedy izometrická šířka zde po odvození dostává vzorec,

$$q = \ln \operatorname{tg} \left( \frac{\varphi}{2} + 45^\circ \right) - \frac{e}{2} \ln \frac{1+e \sin \varphi}{1-e \sin \varphi}$$

Pro referenční kouli označujeme izometrické souřadnice  $Q, V$ . Vzorce se zjednoduší na tvar



$$q = \int_0^U \frac{dU}{\cos U} = \ln \operatorname{tg} \left( \frac{U}{2} + 45^\circ \right).$$

(Hojovec, a další, 1987)

### 2.2.3 Kartografické souřadnice

Dalším typem souřadnic jsou souřadnice kartografické. Aby byl mapový obraz referenční plochy co nejvěrnější, je potřeba, aby se rozvinutelná plocha, co nejlépe přimykala v dané oblasti k referenční ploše. To ale pro nás znamená, že ne vždy bude osa zobrazovací plochy totožná s osou země. Jinak řečeno, v realitě nebudeme zobrazovat mapu, které má střed v pólu. Právě pro to zavádíme kartografické souřadnice vztažené k novému pólu, jehož zeměpisné souřadnice jsou vhodně zvolené k novému pólu.

### 2.2.4 Pravoúhlé souřadnice

Posledním typem jsou pravoúhlé souřadnice, které se využívají v rovině mapy. Tyto souřadnice jsou izometrické, neboť v nich délkový element  $dS$  má stejnou hodnotu, jako délkový element u izometrických souřadnic:

$$dS^2 = dX^2 + dY^2.$$

## 2.3 Důležité křivky

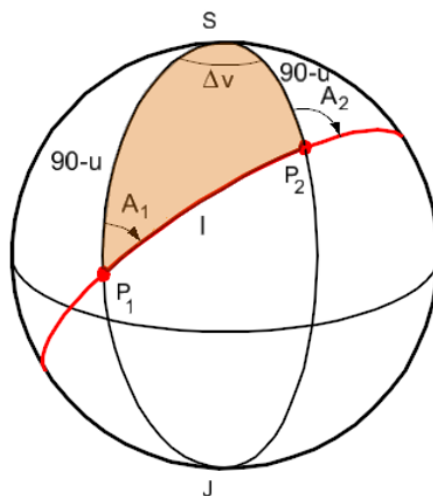
Posledními základními prvky, bez nichž by matematická kartografie jen stěží mohla fungovat jako dnes, jsou důležité křivky na referenčních plochách. Jmenovitě se jedná o geodetickou křivku, ortodromu a loxodromu.

### 2.3.1 Geodetická křivka

Je nejkratší čára, spojující dva koncové body na referenční ploše. Její hlavní normála je v každém jejím bodě totožná s normálou referenční plochy. Jinak řečeno, pokud bude referenční plochou rovina, tak tato čára bude prostou křivkou. V případě, že referenční plochou bude koule či elipsoid, tak bude nabývat tvaru křivky.

### 2.3.2 Ortodroma

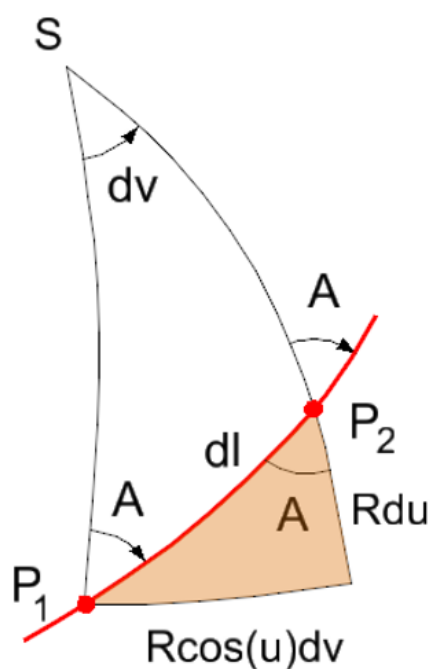
Geodetickou křivkou na referenční kulové ploše je hlavní kružnice, pro niž užíváme označení ortodroma. Tento pojem se nejčastěji využívá v letecké a námořní dopravě. Můžeme s ním však pracovat kdekoliv, kde je potřeba vypočítat nejkratší vzdálenost dvou bodů. Jinak řečeno kratší ze dvou oblouků kružnice, spojující tyto dva body na kulové ploše.



Obr. 5: Příklad ortodromy

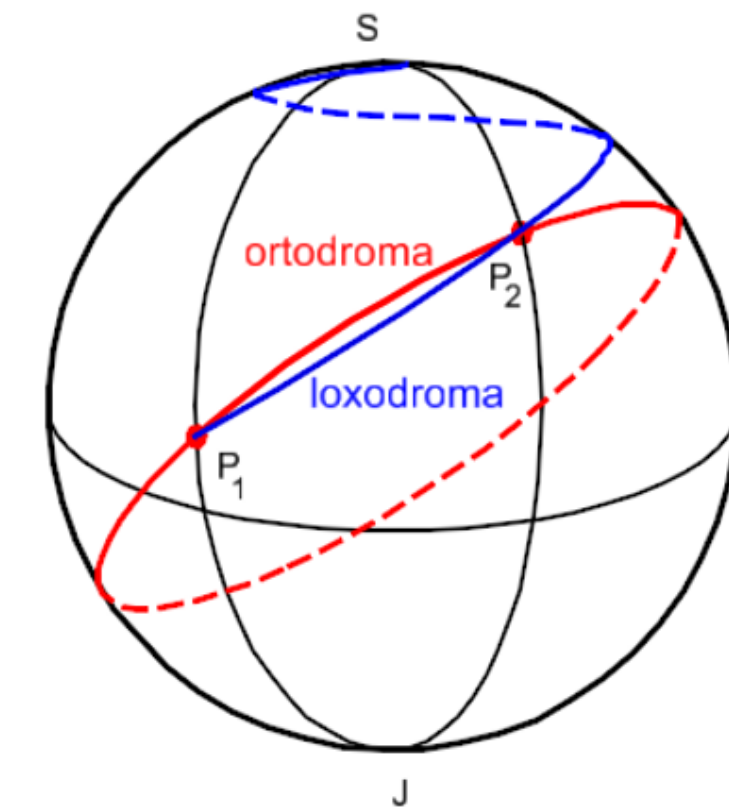
### 2.3.3 Loxodroma

Loxodroma je křivka na referenční ploše země, která protíná v celém svém průběhu poledníky pod stejným úhlem (na obrázku si můžeme všimnout, že úhly  $A$  jsou vždy stejné). Tato její vlastnost je velmi výhodná pro účely námořní a letecké dopravy. Je proto zapotřebí se jí zabývat také v kartografii. Každá loxodroma s azimutem jiným než  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  a  $270^\circ$  vytváří na referenční ploše spirálu, která se neustále přibližuje zemskému pólu. Spojíme-li dva body na zemském povrchu loxodromou a geodetickou křivkou, bude loxodroma vždy delší, pouze při azimutu  $0^\circ$  se obě křivky ztotožní s poledníkem (Hojovec, a další, 1987).



Obr. 6: Příklad loxodromy (můžeme pozorovat zachování úhlu)

Pro lepší pochopení rozdílu mezi ortodromou a loxodromou ještě uvádím následující obrázek. V něm můžeme nádherně vidět rozdíl jednotlivých křivek, pokud jsou úhly mezi křivkou a poledníky zachovány tak, jak to dělá loxodroma. Pokud tyto úhly nejsou zachovány, tak se z kratší části křivky spojující 2 body ortodromy stává kružnice.



Obr. 6: Rozdíl mezi ortodromou a loxodromou

## 2.4 Kartografické zkreslení

Kartografické zkreslení vzniká vždy při transferu originálu bodu či křivky o dané křivosti, do obrazu na plochách s rozdílnou křivostí. Např. přenos z elipsoidu na kružnici, či z kružnice do roviny. Při transferu vzniká více druhů zkreslení:

**Zkreslení délkové**  $m$  je poměr nekonečně malé délky (dálkového elementu) v obraze k délce jejího originálu.

**Zkreslení plošné**  $P$  je poměr ploch dvou k sobě odpovídajících nekonečně malých obrazců v obraze a originále.

**Zkreslení úhlové** je rozdíl úhlu na obraze od jeho velikosti v originále.

**Zkreslení geodetické křivosti** je rozdíl mezi geodetickou křivostí obrazu křivky a geodetickou křivostí křivky v originále (Hojovec, a další, 1987)

## 2.5 Třídění kartografických zobrazení

Kartografická zobrazení můžeme, podobně jako v jiných oborech, třídít nejedním způsobem. Nyní si zde uvedeme několik typů třídění tak, jak je dělí Buchar, 1996.

Třídění podle zkreslení:

- a) Stejnoúhlá – zde se nezkrslují úhly, na úkor toho však dochází k extrémnímu zkreslení plochy
- b) Stejnodélná – zde se nezkrslují délky určitých skupin čar, například rovnoběžek, nikdy se však nejedná o všechny délky v mapě naráz
- c) Stejnoplochá – toto je přesným opakem zobrazení stejnoúhlého, plochy zůstávají zachovány, úhly jsou však extrémně zkreslené
- d) Vyrovnávací – tyto zobrazení jsou středem mezi zobrazeními stejnoúhlými a stejnoplochými, dochází u nich totiž k mírnému zkreslení jak plochy, tak úhlů, ničeho však extrémně

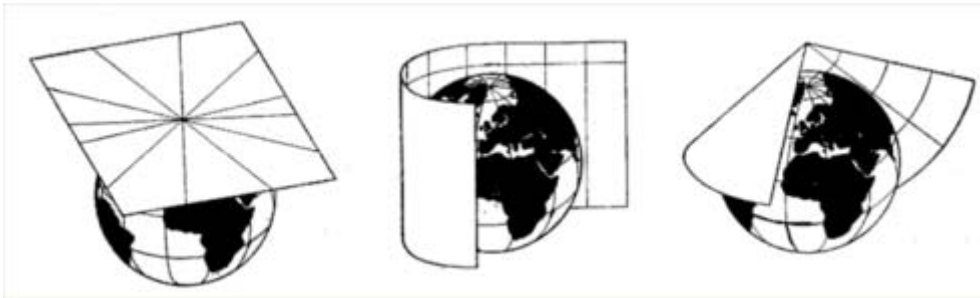
Třídění podle zobrazovací plochy:

- a) Zobrazení na kulovou plochu – zobrazení elipsoidu na kouli
- b) Jednoduchá zobrazení – zobrazení na rozvinuté plochy, zde dochází k dalšímu rozdělení ploch na kuželovou, válcovou a azimutální, kdy se zobrazuje plášť kužele nebo válce rozvinutý do roviny
- c) Nepravá kuželová, válcová a azimutální zobrazení – zde jsou některé vlastnosti jednoduchých zobrazení zachovány a jiné změněny
- d) Mnohokuželová zobrazení – u těchto zobrazení se místo na jediný plášť kužele zobrazuje na nekonečný počet plášťů kuželů, na každý z nich se zobrazí jeho dotyková křivka s referenční plochou

- e) Zobrazení po vymezených částech – většinou se nejedná o nový způsob zobrazení, ale jen o opakování existujícího zobrazení, pro místa, kde byla referenční plocha rozdělena
- f) Neklasifikovaná – zde řadíme zobrazení, která nemůžeme zařadit do žádné z předcházejících skupin zobrazení. Většinou bývají výsledkem některých předem stanovených podmínek pro zobrazení.

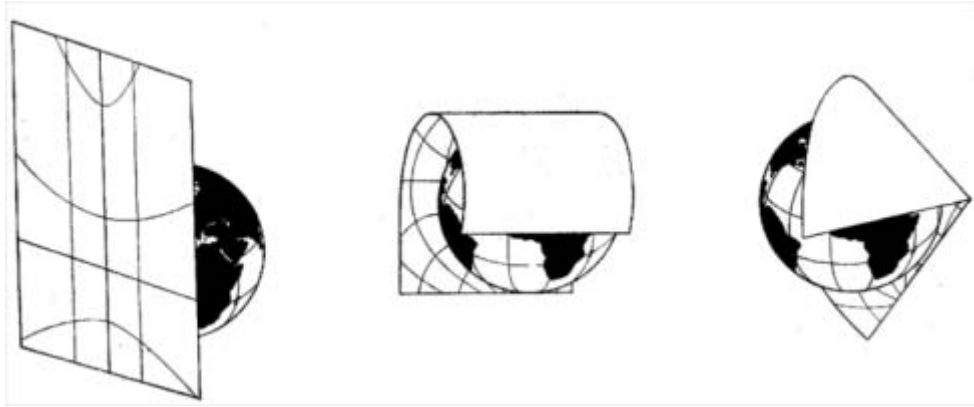
Toto jsou nejčastější rozdělení zobrazení v matematické kartografii. Víceméně se na něm shoduje vícero českých autorů. Dalšíh druhů dělení je nespočet. Jako jeden příklad za všechny si můžeme uvést například dělení jednoduchých zobrazení. Ty můžeme dělit podle toho, v jaké poloze je provádíme:

- a) V poloze normální – to je poloha, kdy je osa válce či kužele totožná s osou referenční plochy



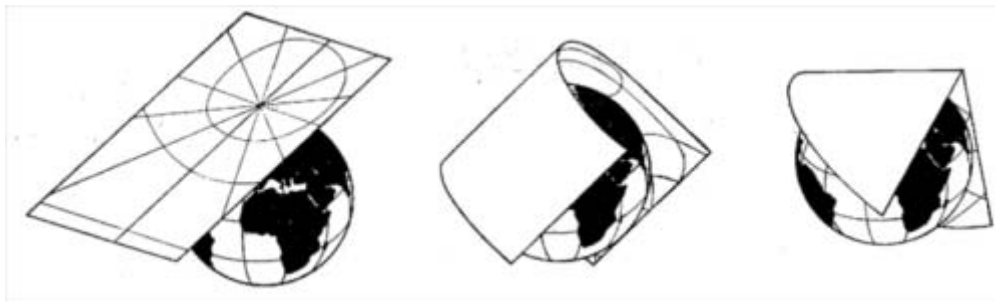
Obr. 7: Polohy normální

- b) V poloze příčné – to je poloha, kdy je osa kužele či válce v rovině rovníku a prochází středem země



Obr. 8: Polohy příčné

- c) V poloze šikmé – to je poloha, kdy osa kužele či válce neprochází ani rovníkem, ani pólem



Obr. 9: Polohy šikmé

(Buchar, a další, 1996)

### 3. Budoucnost kartografie a její využití v civilní sféře

V této kapitole nahlédneme pár let zpět do historie kartografie. Na toto povídání navážeme tématem mapových děl dneška. Následovat bude náhled do blízké i vzdálené budoucnosti mapování a kartografie celkově. Posledním tématem mé práce bude využití kartografie v civilní sféře.

### 3.1 Ohlédnutí o pár let zpátky

Historii kartografie už máme za sebou. Nyní bych se chtěl podívat na minulost z pohledu technologického vývoje. Žijeme v době moderní, počítačové, internetové či elektrické. Ať už ji budeme nazývat jakkoliv, tyto technologie se stávají den co den větší součástí našeho života. Úplně stejně je tomu i v kartografii. Mohli bychom se vrátit o sto let zpátky a všem tvrdit, že v dalším století už budeme mapy tvořit jen v počítačích, také tam budou uloženy a my si je budeme jen zobrazovat a procházet u sebe doma na osobních počítačových stanicích. V tom lepším případě by Vás měli za blázna, v tom horším raději nedomýšlet. A to se bavíme o pouhém zlomku času. Za sto let jsme tvorbu map téměř plně automatizovali, převedli drtivou většinu map do digitální podoby, vytvořili nespočet programů a algoritmů, které dokáží mapy sami tvořit a konstruovat.

Mnoho mladých lidí si poklepe na čelo a řekne mi, že to je vzdálená minulost. Že technologie pro lidi stojí a dostává se jen do rukou korporací a vlád po celém světě. Tak se podívejme i do této civilní sféry. Je mi 21 let a svůj první počítač, na kterém bych mohl pracovat s mapami, jsem dostal v 7 letech. Internet byl v té době v plenkách, tudíž nějaké online mapy byly dostupné jen na univerzitách, které internetem disponovali. Rychlost byla příšerná a zvuky, které počítač vydával, ještě horší. Nedávno jsem si byl vybrat nový mobil. Nešel jsem po nějak výkonném kousku a domů jsem si donesl stroj, který nestál ani dva tisíce korun. Tento chytrý mobil je výkonnější než můj první počítač, disponuje připojením k internetu kdekoli na světě, dokáže zaměřit moji polohu na mapě do přesnosti 2 metrů, má integrované 3D mapy a nespočet různých dalších funkcí. No a nyní se zkusme vrátit o 14 let zpátky a říci, že ta obrazovka co leží na stole, ta krabice co leží pod stolem, ta myš a klávesnice a ty repro bedny se nám jednou vlezou do kapsy a budou mnohdy o dost inteligentnější než jejich majitelé.

Proč jsem zde uvedl tohle malé srovnání? Chtěl jsem, aby si čtenář uvědomil, jak rychle jde technologie dopředu. Dnes už lidstvo nebrzdí technologie. Spíše ho omezuje vydání prostředků na její výzkum. O tom však až jindy. S tímto vývojem se pojil i vývoj kartografie. Sto let zpět nikdo nevěřil počítačům. Dvacet let zpátky nikdo nevěřil internetu. Osm let zpátky nikdo nevěřil malým chytrým mobilům. No a má



otázka zní, kam půjdeme dále? Co je další meta, kterou technologie ruku v ruce s kartografií překonají.

### 3.2 Doba elektronická a kartografie

Jak už výše zaznělo, dnes žijeme v době elektronické a tomuto faktu se musela přizpůsobit i kartografie. Ta se postupem času musela transformovat z fyzické do digitální podoby, aby mohla dále pokračovat na internet, do mobilů, stolních počítačů a podobně. Největším příkladem za všechny je asi společnost Google, která se snaží dostat na internet co nejdokonalejší digitální mapu celého světa. Denně ji používáme, aniž bychom si toho byly vědomi. Jsou to právě tyto mapy, z kterých telefon čerpá naši polohu a následně nám dokáže předpovědět počasí, doporučit nejlepší restaurace v okolí či nás podle map navést k nejbližší benzínové pumpě. Dalším příkladem spolupráce našich elektronických zařízení a map může být například informační kanál o dopravních zácpách. Stovky mobilů jsou připojeny k internetu a jejich uživatelé posílají informace o dopravní zácpě na informační portál. Ten informace zpracovává, vyhodnocuje a umisťuje do online mapy. Odtamtud už je možné, aby si informaci z mapy vytáhnul kdokoliv, kdo má přístup k internetu. Ještě bych rád doplnil informaci, že českým ekvivalentem map od Googlu jsou mapy.cz.

### 3.3 Budoucnost kartografie

Nyní už víme, jak se kartografie musela digitalizovat a přenést do virtuálního prostředí. Také jsme si nastínili dnešní využití map, kterému se podrobně budeme věnovat v druhé polovině této části práce. Nad čím jsme se však ještě společně nezamysleli, je budoucnost kartografie v technologiích. Že papírovým mapám jednoho dne začne pomalu zvonit umíráček, už víme. Samozřejmě zachovány budou, leč určitě v menších počtech. Kam však může kartografie v tomto digitálním věku dále pokračovat? Čeká nás nějaký postup dále, nějaká další kartografická revoluce? Podle mě ano a právě v následujících třech podkapitolách vysvětlím, kam se dále může kartografie posunout.

### 3.3.1 Přejchod z 2D do 3D

V nejbližší budoucnosti se podle mě můžeme těšit na přechod map do třetí dimenze. Jisté náznaky jsou tu i dnes. Dejme tomu aplikace Google Earth nabízí procházku po celém světě ve foto módu, kdy se virtuálně pohybujeme po mapě a v určitých vzdálenostních intervalech si můžete prohlédnout okolí daného bodu v 360°. Prozatím se jedná jen o 2D kartografickou mapu obohacenou o snímky okolí. Podle mě je jen otázka času, kdy se z foto módu přesuneme do plného 3D zobrazení, ať už to bude na obrazovkách našich PC nebo na holografických zobrazeních, o kterých se budeme bavit za chvíli. Otázkou však zůstává, jestli se ještě stále bude jednat o kartografii? Přeci jen, když už se pohybujeme ve třetí dimenzi, tak se většinou bavíme o modelování. A to je právě ten největší zlom, který podle mě v kartografii nastane.

Kartografie bude nucena se rozdělit na dva hlavní proudy. Prvním z nich zůstanou klasičtí kartografové, kteří budou mapovat území a zanášet je do dvojrozměrných map, tak jak je známe. Druhá skupina kartografů, vezme tyto mapy jako podklady pro svou práci a začne pomalu modelovat. Část těchto lidí bude muset jít do terénu, aby jednotlivé objekty na mapě nafotily, zmapovaly a donesly poznatky zpět k poslední skupině nových kartografů, kteří z exaktních poznatků vytvořili modely. Je pravda, že po těchto krocích se z kartografů začnou stávat spíše modeláři. Nutno však dodat, že bez jejich práce by pokrok nešel dopředu.

Posledním krokem celé nové kartografie, nebo chcete-li kartografického modelování pak, bude zmenšování modelu z reálné velikosti objektu do velikosti přijatelní pro moderní zobrazovací zařízení, například holograf. O tom ale až níže. Je pravda, že model v měřítku 1:1, bychom už dnes byly schopni zobrazit v zařízeních pro virtuální realitu, leč ne každý má při ruce právě toto zařízení. Tohle je podle mě směr, kterým se kartografie v blízké budoucnosti dále vyvine.

### 3.3.2 Z obrazovky do hologramu

Nyní se zaměřím na technologickou část vývoje, která půjde ruku v ruce s kartografickým vývojem. Jak už jste z nadpisu mohli vyčíst, budu zde nyní psát o holografích. Co to tedy holograf, chcete-li hologram, je? Jedná se snímek vytvářející trojrozměrný obraz za pomoci laserové technologie. Technologickou stránku věci nechme za sebou a pojďme se podívat, co to tedy znamená pro kartografii.

Představme se situaci, kdy máme doma čtvercový stůl o velikosti  $1\text{m}^2$  a nad ním holografické zobrazovací zařízení. Dejme tomu, že bychom dokázali na tento stůl promítnout území o velikosti jednoho kilometru čtverečního ve 3D modelu. To by bylo teprve technologická revoluce kartografie. Žádný nudný papír, přepočítávání měřítka, atd. Skutečný model, který bychom si díky technologii mohli na stole zvětšit, zmenšit, prohlédnout veškerá zákoutí daného území apod. Prakticky by se jednalo o nejlepší zmapování území, kterého jen můžeme dosáhnout.

Další metou, která čeká nejen kartografii, bude čas. Nastane doba, kdy se opět budou muset i kartografové zamyslet a začít tvořit mapy časosběrné. Kdy do jediného modelu dokáží zabudovat staletí vývoje daného území. To se však bavíme o velice vzdálené budoucnosti a proto ji nechme na starost myslitelům.

### 3.3.3 Vesmírná kartografie

Ten hlavní důvod, co požene kartografii dopředu, bude prostý. Přelidnění. Říkáte si co to má s kartografií společného? Tak si objasníme nejkratší možnou spojitost. Přelidnění na naší planetě bude mít za následek nedostatek potravin a životního prostoru. Historie se zopakuje a tak jako kdysi pralidé, tak i nyní budeme hledat nová místa s dostatkem zdrojů pro život. Ty se však na naší planetě nebudou již nacházet a tím pádem budeme hledat jinde. To je ten hlavní důvod, který pošle lidstvo do vesmíru. Jenomže i ve vesmíru bude potřeba se nějak orientovat a právě zde přicházíme k nové skupině geografů-modelářů, kteří se oddělili od předešlé skupiny klasických kartografů v předchozí kapitole.

Tito noví kartografové budou mapovat a modelovat vesmír do 3D modelu, který budou dále zmenšovat. Ano, otázkou sice zůstává, jestli je vesmír opravdu jen třírozměrný, To však ponechejme k úvaze jiným. My vycházíme z toho, že člověk vnímá v jednom okamžiku třírozměrný prostor. Možná i čtyřrozměrný, podstatné je, jestli uvažujeme nad časem jako nad dalším prostorem. Tento malý model vesmíru pak budeme zobrazovat na holografických zobrazovacích zařízeních pro lepší orientaci.

Nyní se můžete také zeptat, proč tedy dělat nějaké modely? Vždyť naše planeta je také trojrozměrná a stačí nám dvojrozměrné mapy. To je sice pravda, leč na naší planetě působí gravitace a tudíž se nemůžeme volně pohybovat vertikálně. Proto ani nikdy nebyla potřeba mapovat naši planetu ve 3D. To se však ve vesmíru mění. Zde je možný pohyb všemi směry a proto bychom měli disponovat nějakým druhem mapy či modelu, který nám napoví, jak se orientovat v již probádané části vesmíru.

To bylo z mé strany vše k budoucnosti mapování a tvorbě kartografických modelů a map. Chtěl bych ještě podotknout, že v části o budoucnosti kartografie jsem jednal čistě jen úvahově a ze svých zkušeností, či přečtených článků o budoucnosti. Jistou inspirací mi byla i řada sci-fi filmů, které už nejednou dokázali, že dokáží vývoj technologie ve všech směrech předpovědět lépe, než různí myslitelé.

### 3.4 Civilní využití dnešní kartografie

V této poslední části mé práce, bych se rád zaměřil na využití mapových děl kartografie v dnešním světě. Něco z využití jsme si nastínili již dříve, leč nyní se podíváme na typické příklady využití a trochu více si je rozebereme. Neuvádím zde veškeré využití, ale jen ta, která my přijdou nějakým způsobem zajímavá.

#### 3.4.1 GPS

Nyní se společně podíváme na systém GPS. Rozhodl jsem se i toto téma zařadit do mé bakalářské práce, jelikož tento systém souvisí s tématem obecné

kartografie. Prakticky tento systém hledá určitý bod na referenční ploše, který následně převádí do, pro nás, už bližšího mapového provedení. Určitě se už každý z nás s tímto systémem setkal. V celém názvu se jedná o Globální družicový navigační systém. Pojďme se na něj podívat trochu blíže.

Samotný vývoj systému GPS započal v sedmdesátých letech dvacátého století na území USA. Samozřejmě tento projekt nevznikal jako první svého druhu, leč vnikl z projektu NAVSTAR GPS. Roku 1983 bylo americkým prezidentem Ronaldem Reganem vyhlášeno, že systém GPS bude po dokončení dostupný i k civilním účelům.



Obr. 10: Oficiální logo projektu NAVSTAR GPS

GPS se skládá ze tří segmentů: řídicí, uživatelský a kosmický. Kosmický segment zahrnuje 27 satelitů, které jsou rovnoměrně rozmístěné na 6 přibližně kruhových drahách ve výšce okolo 20 000 km vzájemně stočených o 60 stupňů. Z 27 satelitů jsou tři záložní, pro případ poruchy, ostatní jsou aktivní. Uživatelský segment tvoří GPS přijímače, které pouze přijímají signál z družic.

A jak vlastně GPS funguje? Družice vysílají signály na dvou kmitočtech L1 a L2, které nejsou ovlivňovány meteorologickými podmínkami. Pro civilní použití je určen kmitočet L1, tento signál se skládá z několika složek: efemerid a pseudonáhodných kódů. Efemeridy jsou uloženy v Almanachu, který vysílají družice. Efemeridy obsahují časový kód, údaje o poloze, rychlosti, parametry dráhy

satelitu atd. Na základě časového rozdílu mezi okamžikem příjmu a vysílání signálu se vypočte vzdálenost od družice dle rovnice: rychlost světla  $\times$  čas = vzdálenost. Z průtoku třech poloměrů (vzdáleností) polohových kružnic přístroj GPS vypočítá aktuální polohu. K výpočtu je potřeba přesné synchronizace času mezi přístrojem a družicemi, která se děje automaticky na základě údajů z družic. Pro výpočet nadmořské výšky je potřeba minimálně čtyř satelitů (Smolová, a další, 2005).

### 3.4.2 Mobilní aplikace

V současnosti je mapových podkladů využíváno také hojně v mobilních aplikacích. Ať se kdokoli z nás podívá do svého chytrého mobilu, tak tam minimálně jednu takovou aplikaci najde. Pojďme si ty nejrozšířenější aplikace využívající mapových podkladů přiblížit a trochu probrat.

#### 1) Google mapy

V současnosti snad nejkompaktnější a nejvíce dokonalé mapové podklady dostupné v chytrých mobilech využívající jakýchkoli operační systém. Tato aplikace disponuje plánovačem tras, možností uložení mapových podkladů zdarma po dobu 30ti dní, zobrazení aktuálního provozu na silnicích nebo možností zobrazení tras linek hromadné dopravy. Aplikace také nabízí uživateli zadání domovské adresy a adresy v práci a poté na základě vzdálenosti trasy z mapových podkladů, průměrné rychlosti vašeho vozidla a frekventovanosti silnic, po kterých nejspíše pojedete, vypočítá plánovaný příjezd domů. To může být v dnešním moderním a uspěchaném světě obrovskou výhodou.

Další funkcí, které Vám tato aplikace nabídne, je možnost vyhledání nejbližších objektů určitého zaměření ve vašem okolí. To znamená, že pokud máte málo paliva a zadáte si hledání nejbližší čerpací stanice, aplikace vyhledá v určitém rádiu od vaší polohy všechny čerpací stanice a nabídne vám nejkratší možné spojení k nim.

Říkáte si a co to má společného například s matematickou kartografií? Mnohem více než se zdá. Prvním krokem aplikace je určení vaší polohy. K tomu ji dopomůže systém GPS. Fungování systému GPS jsme si již trochu osvětlili, a proto víme, že využívá poznatky matematické kartografie v ohledu referenčních ploch. Dalším krokem aplikace je vyhledání jednotlivých bodů v mapě, které reprezentují dané zařízení. Aby bylo vůbec možné nějaký bod na mapě lokalizovat, musí být poloha bodu na mapě nějak určena. To znamená, že k lokaci bodu se využívá zeměpisných souřadnic. Ty jsou dalším základním prvkem matematické kartografie. V dalším kroku aplikace již nemá matematická kartografie zastoupení, je však holým faktem, že ve dvou ze tří nejdůležitějších kroků její prvky figurují.

## 2) Mapy.cz

Jedinou schopnou českou konkurencí, pro světového giganta Google, je portál mapy.cz. Ten má i svou mobilní aplikaci, která nabízí prakticky stejné funkce jako ta od Googlu. Naše aplikace, však nabízí daleko větší paletu různých mapových podkladů. Je-li libo mapa zimní, která nahrazuje typické barevné schéma map svým vlastním, poté například mapa letecká a to hned ve trojím provedení, kde člověk může snadno porovnat, jak se jeho okolí mění s ptačí perspektivy či třeba mapa z devatenáctého století, na které najdeme nejednu již zaniklou cestu nebo vesničku. Celkově se jedná o aplikace postavené na bázi kartografie, která je velice povedená a nabízí retrospektivní pohled na místo bydliště i naprostému kartografickému laikovy.

## 3) Sky map

Dalším zajímavým počinem na poli využití kartografie je aplikace Sky Map. Jedná se zde sice také o kartografii, ale v trochu jiném

měřítku. Tato aplikace využívá poznatku vesmírné kartografie. Má v sobě uloženou aktuální mapu hvězdné oblohy a dokáže tak zobrazit uživateli pohled na noční oblohu i za plného dne. Aplikace komunikuje s gyroskopem v telefonu a díky tomu může zobrazit přesně zaměřenou část oblohy na vašem displeji.



## Závěr

V této bakalářské práci jsme se společně věnovali kartografii a její dílčí disciplíně matematické kartografii. Představili jsme si kartografii, jako vědu takovou i s její bohatou historií. Věřím, že nejednen čtenář se dozvěděl nějakou novou informaci ohledně dějin kartografie, stejně jako já, když jsem si pro tuto práci budoval znalosti na základě literárních děl uznávaných kartografických autorů. Velice zajímavé taktéž bylo pozorovat vývoj definic kartografie v čase, kdy si každý tuto vědu vykládal tak trochu po svém.

Doufám, že ve druhé části své bakalářské práce jsem neobohatil o vědomosti jen sebe samého, leč i čtenáře. V této části jsem shrnul základní prvky matematické kartografie, této zajímavé vědy, na jednom místě. Nezahlocoval jsem čtenáře zbytečnými nadbytečnými informacemi, které v praktické rovině nemůže dále využít, pokud není odborníkem v dané oblasti.

Třetí část mé práce, byla vybudována na základě množství futuristických článků a na úvahách nejednoho světově uznávaného vědce v oboru moderních technologií. Technologie se sune mílovými kroky vpřed a věda za ní nemůže zaostávat. Bylo velice zajímavé zjistit, jak se na budoucnost této vědy dívají různí lidé z různých úhlů. Přeci jen, kartografie je vědou stále otevřenou a s obrovským potencionálem do budoucna. Věřím, že při bližší zabřednutí do problematiky, by se na toto téma dalo debatovat hodiny.

## Bibliografie

**Buchar, Petr a Hojovec, Vladislav. 1996.** *Matematická kartografie 10.* Praha : ČVUT, 1996. ISBN: 80-01-01491-6.

**Buchar, Petr. 1996.** *Matematická kartografie.* Praha : Nakladatelství ČVUT, 1996. ISBN: 978-80-01-037665-2.

**Císař, Jan, Boguszak, František a Janeček, Josef. 1966.** *Mapování.* Praha : SNTL, 1966. 04-018-66.

**Čapek, Richard, Mikšovský, Miroslav a Mucha, Ludvík. 1992.** *Geografická kartografie.* Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1992. ISBN: 80-04-25153-6.

**Hojovec, Vladimír, a další. 1987.** *Kartografie.* Praha : GKP, 1987. 29-621-87.

**Kučař, Karel. 1979.** *Přehled matematické kartografie.* Praha : SPN, 1979.

**Lauermann, Lubomír a Svatoňová, Hana. 2015.** *Základy matematické kartografie.* Brno : Masarykova Univerzita, 2015. ISBN: 978-80-210-7942-7.

**Potužák, Pavel a Císař, Jan. 1966.** *Podrobné mapování.* Praha : SNTL/SVTL, 1966. 04-013-66.

**Pyšek, Jiří. 1995.** *Matematická kartografie: třída jednoduchých zobrazení.* Plzeň : Západočeská Univerzita, 1995. ISBN: 80-7043-165-2.

**Smolová, Irena a Andrejs, Vít. 2005.** *Geomorfologické mapování pomocí GPS.* [PDF] Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2005.

## Anotace

<b>Jméno a příjmení:</b>	Jan Minarčík
<b>Katedra:</b>	Katedra matematiky
<b>Vedoucí práce:</b>	Mgr. David Nocar, Ph.D.
<b>Rok obhajoby:</b>	2016

<b>Název práce:</b>	Matematická kartografie
<b>Název v angličtině:</b>	Mathematics of Cartography
<b>Anotace práce:</b>	Práce pojednává o historii kartografie v světovém i národním měřítku. Dále práce objasňuje základní prvky matematické kartografie. Poslední částí bakalářské práce je pohled do budoucnosti kartografie.
<b>Klíčová slova:</b>	kartografie, mapování, matematická kartografie, historie kartografie, budoucnost kartografie
<b>Anotace v angličtině:</b>	Thesis descusses the history of cartography at the global and national scale. The work also explains the basic elements of mathematical cartography. The last part of the work is too look into future of cartography.
<b>Klíčová slova v angličtině:</b>	cartography , mapping, mathematical cartography , history of cartography , the future of cartography
<b>Přílohy vázané v práci:</b>	
<b>Rozsah práce:</b>	43 stran
<b>Jazyk práce:</b>	Čeština