

Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství
se sídlem VŠB - Technická univerzita Ostrava

Kartografie

Doc. Ing. Miroslav Tyrner, CSc.
Ing. Hana Štěpánková

Učební texty pro posluchače 1 a 2 ročníku oboru požární ochrany a bezpečnosti průmyslu
© Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava 1999

Obsah:

1. Kartografie (nauka o mapách)	3
1.1. Úvod	3
1.2 Struktura kartografie	4
1.2.1. Mapová díla na území České republiky.....	4
1.2.2. Mapa a její obsahové prvky	6
1.2.3. Třídění map.....	6
1.4 Základní kartografické pojmy.....	8
1.4.1 Tvar a rozměry Země.....	8
1.4.2. Souřadnicové soustavy	10
1.5. Kartografické zobrazení a jeho klasifikace.....	12
1.6 Zobrazovací soustavy používané na území Československa.....	14
1.6.1 Obecné konformní kuželové zobrazení Křovákovo	14
1.6.2. Zobrazení Cassiniové – Soldnerovo	15
1.6.3. Mapování v mezinárodní souřadnicové soustavě Gauss – Krügerově (S-42)	16
1.7 Soudobé topografické mapy České republiky	16
1.7.1 Vojenské topografické mapy (1953-1995)	16
1.7.2 Základní mapa středního měřítka (1968-1995)	19
1.7.3 Mapy velkých měřítek na území ČR	21
1.8 Praktické příklady práce s mapou	23
2. Družicové polohové systémy.....	26
Literatura:	31

1. KARTOGRAFIE (NAUKA O MAPÁCH)

1.1. Úvod

Kartografie je vědní obor i technická disciplína mající svůj předmět zkoumání, odbornou terminologii, vlastní formální jazyk pro popis teoretických i praktických aspektů a matematicky podložené teorie a zákonitosti. Výsledkem práce kartografů jsou **kartografická díla**. Nejčastěji se jedná o **mapy**.

Kartografická díla jak v klasické podobě analogových map či v jejich digitální podobě realizované pomocí výpočetní techniky jsou součástí života, práce a rozvoje společnosti. Jsou nepostradatelným zdrojem poznání a zkoumání skutečnosti, která nás obklopuje. Jsou též významným a veskrze nezastupitelným nástrojem či pomocníkem při poznávání této skutečnosti.

V odborné literatuře lze nalézt řadu definic kartografie. Jednou z mnoha je definice OSN: „Kartografie je věda o sestavování map všeho druhu a zahrnuje veškeré operace od počátečního vyměřování až po vydání hotové produkce (United Nations, Department of Social Affairs, 1949).

Z této definice jsou naprosto zřejmé nesčetné vazby kartografie na celou řadu vědních i technických disciplín.

K těm nejdůležitějším patří zejména:

- **geografie**: důležitý obor kartografie. Slouží k základnímu naplnění obsahu mapy, s kartografií je svázána především v oblasti map středních a malých měřítek při zobrazování velkých územních celků.
- **geodézie**: dala kartografii přesné polohopisné a výškopisné základy, metody vyšší geodézie poskytly údaje o tvaru a rozměrech Země. Geodézie ovlivnila kartografii především v oblasti podrobných mapování sloužících účelům daňovému (katastrální, pozemkové mapy), vojenským (topografické mapy), technickým (podklady pro projektování), aj.
- **mapování**: tvoří rozhraní mezi geodézií a kartografií. Mapováním rozumíme soubor činností (šetření, měření, výpočty, zobrazování) konaných za účelem vzniku tzv. původní mapy, tj. mapy vzniklé především na základě přímého měření v terénu. Do mapování patří i fotogrammetrie, kde je přímé měření v terénu nahrazeno snímkováním zemského povrchu (pozemní a letecká fotogrammetrie).
- **dálkový průzkum Země (DPZ)**: moderní metoda sběru dat pro tvorbu tématických i obecně zeměpisných map středních a malých měřítek. DPZ patří v současné době mezi nejvýznamnější moderní metody sběru a prezentace dat v kartografii, přičemž vazby mezi těmito obory se neustále prohlubují.
- **geoinformační systémy**: aplikovaná informatika zaměřená na sběr, ukládání, aktualizaci a vyhodnocování prostorových informací, zpravidla tabulkovou a kartografickou formou. Cílem není pouhá prezentace uložených dat, ale především jejich analytické vyhodnocení pro nejrůznější aplikační účely a překrytí různých liniových i plošných prvků, výběr objektů ležících v určité vzdálenosti od osy zájmového liniového prvku, či v určité ploše aj.

Pokud bychom do předchozího zahrnuli i **uživatelskou sféru**, tj. obory pracující s mapami, využívajícími jejich obsah ať již v klasické analogové nebo moderní „digitální“

formě, potom lze potvrdit, že kartografie se dostává do styku prakticky se všemi obory lidské činnosti. Z těch nejvýznamnějších jmenujme zejména **vojenství** s jeho tradičním zájmem o zobrazení reliéfu, **státní správu** všech stupňů s požadavky na obsahové prvky map umožňující řízení, **resortní organizace** vyžadující, aby mapy plnily roli grafického pasportu zájmových objektů, aj.

Stranou nelze ponechat ani účely **pedagogické**, využívající map k výukovým účelům pro poznávání reality a samozřejmě **individuální uživatele** map, kteří je potřebují pro účely orientační, cestovatelské, aj.

Mezi nejposlednější vývojové trendy kartografie patří tvorba mapových děl přesahujících hranice jednotlivých států, kde se s úspěchem využívají metody dálkového průzkumu Země (kosmické snímkování). Kartografická díla se tak stávají součástí mezinárodní výměny informací.

1.2 Struktura kartografie

Kartografie musí k plnění svých úkolů řešit řadu teoretických, technických a dalších pracovních otázek. Hledisek, jak rozčlenit tak poměrně složitý vědní obor jakým je kartografie, může být celá řada. Klasifikačním kritériem jednotlivých částí kartografie jsou například jednotlivé disciplíny, které se během vývoje v rámci kartografie formovaly jako relativně ucelené oblasti. Klasické členění lze charakterizovat např. takto:

- **nauka o mapách:** též označovaná jako všeobecná kartografie, zahrnuje povšechné studium map, základní uživatelské úlohy, výklad mapové symboliky, způsoby třídění map, dokumentaci a také historii kartografie,
- **matematická kartografie:** která na podkladě matematicky formulované teorie kartografického zobrazování referenční plochy Země (elipsoid, koule) do referenční plochy mapy (rovina) vymezuje a vysvětluje vlastnosti jednotlivých druhů zobrazení (tvar geografické sítě, průběh zkreslení délek, úhlů a ploch v obrazu mapy),
- **kartografická tvorba:** zabývající se vlastní kartografickou činností, tj. sestavováním mapového obrazu, kde klíčovými otázkami jsou výběr obsahových prvků mapy, návrh jejich grafického zobrazení pomocí jazyka mapy, generalizaci mapového obrazu a jeho výsledné vykreslení,
- **kartografická polygrafie a reprodukce:** soubor technických úkonů potřebných pro polygrafické zpracování mapy, tj. její vytištění
- **kartometrie a morfometrie:** měření na mapách a určování morfometrických charakteristik reliéfu, jedná se o opačný postup oproti vzniku mapy, kdy naměřené veličiny (délky, plochy, úhly, výšky, aj.) určené z mapy jsou odhadem údajů platných v realitě.

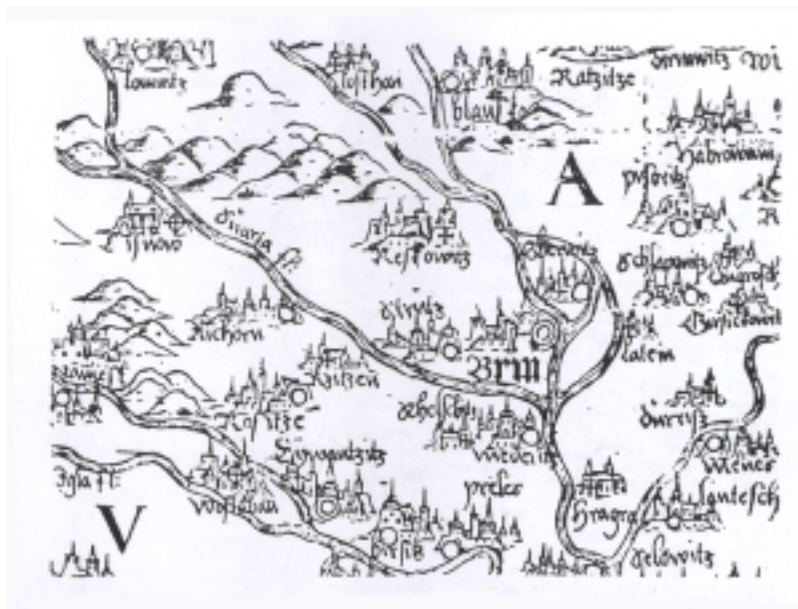
1.2.1. Mapová díla na území České republiky

Naše historické země, tj. Čechy a Morava, byly poprvé schématicky zakresleny společně s ostatními zeměmi Evropy na mapě Ptolemaiově ve 2. stol. n.l.

Nejstarší dochovanou mapu Čech sestavil v r. 1518 mladoboleslavský lékař Mikuláš Klauďán. Mapa je orientovaná k jihu a má bohatou mimorámovou výzdobu. Zachoval se pouze jediný výtisk, který je uložen v litoměřickém archívu.

První mapa Moravy pochází z r. 1569 a jejím autorem je matematik, astronom a lékař Pavel Fabricius. Měřítko mapy je přibližně 1 : 288 000, mapa je již vybavena zeměpisnou sítí.

Dalším významným kartografickým dílem je mapa Moravy J. A. Komenského z r. 1627, která byla vyhotovena na podkladě mapy Fabriciovy a vlastních cest autora. Mapa obsahuje podrobnou síť vodních toků a terén vyznačený tzv. „kopečkovou metodou“. Měřítko mapy je 1 : 470 000. První mapu Slezska vyhotovil v r. 1561 Martin Helwig, mapa je čtyřlístá a byla ještě tištěna z dřevorytu.



Obr. 1: Fabriciova mapy Moravy

První souvislé mapování provedl Jan Kryštof Müller, který byl vojenským inženýrem. V letech 1708-1720 mapoval Uhry (včetně území Slovenska) v měřítku 1 : 550 000, Moravu v měřítku 1 : 180 000 a Čechy v měřítku 1 : 132 000. Mapa Čech byla zobrazena na 25 mapových listech, jejichž mědirytinové desky jsou archivovány v Národním technickém muzeu v Praze. Po Müllerově smrti dokončil mapování jeho žák J. W. Wieland zmapováním Slezska v měřítku 1 : 100 000 až 1 : 150 000.

První vojenské mapování území bývalého Rakousko-Uherska v jednotném měřítku 1 : 28 800 (tzv. josefínské) proběhlo v letech 1764-1768. Ve stejném měřítku se uskutečnilo v období 1810-1860 **druhé vojenské mapování**, na které navázalo v letech 1877-1884 **třetí vojenské mapování** v měřítku 1 : 25 000. Z těchto map byly odvozeny speciální mapy v měřítku 1 : 75 000, opatřené šrafami a generální mapy 1 : 200 000, které po r. 1918 převzal československý stát.

V letech 1923-1933 proběhlo na našem státním území prozatímní vojenské mapování v měřítku 1 : 20 000 a 1 : 10 000 a v letech 1934-1938 definitivní vojenské mapování.

V padesátých letech vzhledem k začlenění Československa do Varšavského paktu dochází ke vzniku mezinárodního mapového díla jednotné koncepce. První mapovací práce tohoto druhu byly provedeny v letech 1953-1957 v měřítku 1 : 25 000. Odvozená byla měřítka 1 : 50 000 (TM 50), 1 : 100 000 (TM 100) a 1 : 500 000 (TM 500). Toto mapové dílo je ještě stále aktuální a je předmětem pravidelné obnovy.

Jako kartografický základ bylo použito příčně válcové konformní Gauss-Krügerovo zobrazení poledníkových pásů. Referenční plochou je elipsoid Krasovského. Rovinný souřadnicový systém pravoúhlých geodetických souřadnic je označován zkratkou „S-42“ (systém 42). Výšky jsou vztaženy k hladině Baltského moře. Podrobněji je toto zobrazení popsáno v dalších kapitolách.

1.2.2. Mapa a její obsahové prvky

Bohatý a různorodý obsah map je třeba systematicky roztřídit. V mapování je možnost rozčlenit obsah mapy na polohopis, výškopis a popis. Toto členění je výhodné z hlediska mapovacího postupu. V kartografii členíme prvky podle jejich původu, charakteru a významu. V mapě rozlišujeme:

- **prvky matematické**, které tvoří konstrukční základ mapy. Jsou to: konkrétní kartografické zobrazení, geodetické podklady, zeměpisná či souřadnicová síť, mapový rám a měřítko mapy. U map velkých a středních měřítek pak i síť pevných bodů polohových a výškových.
- **prvky fyzickogeografické** (přírodovědné), k nimž patří vodstvo, reliéf zemského povrchu, porosty a vše ostatní, co je dáno samostatným vznikem a vývojem Země.
- **prvky sociálně ekonomické** (společensko vědní), tj. sídla, dopravní sítě (silnice, železnice), průmyslové a zemědělské stavby, politicko-administrativní dělení a další prvky vzniklé činností lidí.
- **prvky doplňkové a pomocné**, tj. především geografické názvosloví, různé vysvětlivky, mimorámové údaje, tabulky, grafy a vše ostatní, co vhodně doplňuje obsah mapy a usnadňuje její využití.

Mapám, které obsahují výše uvedené prvky ve vzájemně vyváženém rozsahu, říkáme mapy **všeobecně zeměpisné**. Mapy obsahující ještě další speciální (tématické) prvky, a mapy, na nichž jsou některé vybrané prvky všeobecně zeměpisných map zdůrazněny, označujeme jako **tematické**.

1.2.3. Třídění map

Velké množství různých druhů map současnosti si vyžaduje přijmout určité zásady pro jejich třídění; to je možno provádět podle různých hledisek a kritérií. Zásadně rozeznáváme mapy, které

- a) zobrazují zemský povrch,
- b) zobrazují vesmír a vesmírná tělesa; tyto mapy řadíme mezi **mapy astronomické**.

Mapy zobrazující **zemský povrch** můžeme dále třídit podle:

- způsobu vyhotovení,
- měřítko,
- účelu, k němuž má mapa sloužit,
- obsahu (zobrazované tematiky),
- jiných kritérií, např. podle rozsahu zobrazeného území, podle formátu, podle knihařského zpracování apod.

A. Podle **způsobu vyhotovení** dělíme mapy na **původní a odvozené**.

Mapy původní vznikají z výsledků přímého měření nebo mapování. K současně používaným původním mapám patří např. základní mapy velkého měřítko a z přímého měření zpracované topografické mapy v měřítkách 1 : 5 000, 1 : 10 000 a 1 : 25 000.

Mapy odvozené zahrnují všechny ostatní mapy, které byly odvozeny (grafickou nebo číselnou transformací, zmenšením s následnou generalizací obsahu) z map původních. Sem patří i základní mapa ČSSR 1 : 10 000, která byla odvozena z původní topografické mapy 1 : 10 000.

B. Podle **měřítk**a dělíme zpravidla mapy na

- **mapy velkých měřítek**, tj. měřítek 1 : 5 000 nebo větších (např. 1 : 1 000),
- **mapy středních měřítek**, tj. měřítek v rozmezí 1 : 10 000 až 1 : 200 000,
- **mapy malých měřítek**, tj. měřítek 1 : 500 000 nebo menších (např. 1 : 20 000 000).

Meze stanovené v tomto rozdělení se někdy liší; za mapy velkých měřítek bývají označovány i mapy v měřítku 1 : 10 000 (nebo i 1 : 25 000). Hranice mezi mapami středních a malých měřítek je zpravidla uváděna v rozmezí 1 : 200 000 až 1 : 1 000 000.

Měřítko mapy udává poměr mezi délkou změřenou na mapě a vzdáleností mezi totožnými body v přírodě. Měřítko 1 : 25 000 tedy znamená, že délce 1 cm na mapě odpovídá 25 000 cm (tj. 250 m) ve skutečnosti.

C. Podle **účelu** zpravidla dělíme mapy na:

- a) **mapy pro hospodářskou výstavbu**, k nimž patří např. katastrální mapa, základní mapy velkého měřítk, základní mapy ČR, základní mapy závodů, administrativní a správní mapy;
- b) **mapy pro školy**, k nimž patří např. školní nástěnné mapy všeobecně zeměpisné, politické a hospodářské, určené pro výuku v systému státního školství;
- c) **mapy pro veřejnost**, k nimž patří mapy kulturně osvětové, turistické, orientační plány měst, automapy, vodácké mapy, faksimile starých map apod.;
- d) **mapy resortní tematické**, zpravidla na podkladech map pro hospodářskou výstavbu a doplněné dalším tematickým obsahem; k nim patří mapy geologické, silniční, vodohospodářské, pedologické apod.;
- e) **mapy pro export**, zahrnující různé typy map v cizojazyčných verzích nebo s cizojazyčnými vysvětlivkami, které jsou vydávány buď současně pro vnitřní trh, nebo zpracovávány samostatně na objednávku zahraničních nakladatelství;
- f) **mapy pro obranu státu**, k nimž patří především mapy topografické;
- g) **ostatní mapy**, jako např. přílohové mapy k publikacím, mapy pro propagační účely a různé typy účelových map.

D. Nejobsáhlejší je třídění map podle **obsahu**. Jak již bylo uvedeno, třídíme mapy podle obsahu na **mapy všeobecně zeměpisné** a **mapy tematické**.

Všeobecně zeměpisné mapy dělíme dále na:

- a) **mapy topografické**, na nichž jsou zobrazeny všechny prvky předepsané směrnici pro měření a mapování; patří sem mapy velkých a středních měřítek;
- b) **mapy přehledné**, které zobrazují jen základní, popř. schematizovaný topografický obsah a jiné nejdůležitější informace o území; patří k nim především mapy malých měřítek.

Mapy tematické dělíme do tří velkých skupin:

- a) **mapy fyzicko-geografické**, k nimž patří
 - mapy zvýrazňující vodstvo (mapy oceánografické, hydrografické, mapy hydrologických charakteristik a další),
 - mapy zvýrazňující reliéf zemského povrchu (mapy geomorfologické, morfometrické, hypsometrické, batymetrické a další),

- mapy zobrazující různé atmosférické jevy (mapy meteorologické, klimatické apod.),
- mapy zobrazující geologickou stavbu (mapy geologické, stratigrafické, tektonické, ložiskové, geochemické, hydrogeologické a další),
- mapy zobrazující biosféru (mapy botanické, fytogeografické, zoogeografické, fenologické apod.),
- mapy geofyzikální (mapy seismické, mapy tížnicových odchylek, mapy magnetických deklinací a další),

b) **mapy sociálně ekonomické**, k nimž patří

- mapy obyvatelstva (mapy demografické, mapy sídelních struktur apod.),
- mapy ekonomicko-geografické (mapy průmyslu, mapy vodohospodářské, lesnické, dopravní, spojové, zemědělské apod.),
- mapy zobrazující terciální sféru (mapy služeb, kulturních a školských zařízení, mapy pro cestovní ruch a další),
- mapy politické, správní a administrativní,
- mapy zobrazující vývoj společnosti (mapy dějepisné, archeologické apod.),

c) **mapy technické**, zahrnující např. letecké a námořní navigační mapy, meliorační mapy, železniční mapy, mapy vodní dopravy, důlní mapy; do této skupiny patří i mapy evidence nemovitostí.

Podle způsobu vzájemného sepětí zobrazovaných prvků a jevů můžeme tematické mapy rovněž dělit na:

- **mapy analytické**, které zobrazují odděleně jednotlivé jevy (též: **mapy monotematické**) nebo nejvýše dva až tři jevy nebo jednotlivé nekomplexní charakteristiky stejného jevu (též: **mapy polytematické**); příkladem je mapa teplot, srážek, výnosů ječmene apod.,
- **mapy syntetické**, které zobrazují jevy vyvozené ze syntézy jednotlivých dílčích jevů (např. mapa klimatických oblastí, spojující teplotní a srážkové vlivy, popř. další faktory působící v určité oblasti),
- **mapy komplexní**, které zobrazují současně více vzájemně úzce souvisejících jevů s jejich charakteristickými ukazateli (např. mapa synoptická, vyjadřující současně tlak, teplotu, směr a rychlost větru).

Podle **časového faktoru** (vývoje nebo průběhu jevu a jeho dynamiky) lze tematické mapy dělit na:

- **mapy statické**, znázorňující jevy v určitém okamžiku v minulosti nebo přítomnosti,
- **mapy dynamické**, znázorňující jevy ve vývoji v určitém období,
- **mapy prognostické**, znázorňující předpokládaný vývoj jevů v budoucnosti.

1.4 Základní kartografické pojmy

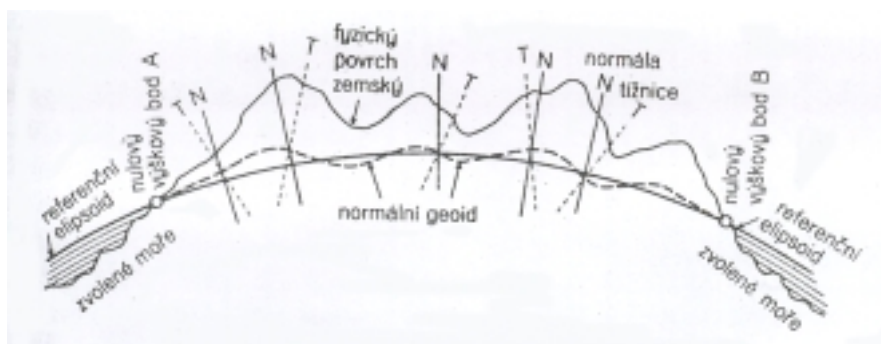
1.4.1 Tvar a rozměry Země

Zemský fyzický povrch má velmi nepravidelný tvar, který vznikl geologickým vývojem Země, vulkanickou činností, erozními a dalšími vlivy. Na Zemi působí přitažlivé síly Měsíce a Slunce i odstředivé síly, vznikající její rotací kolem vlastní osy a kolem Slunce.

Výsledkem těchto sil je **zemská tíže** (gravitace), která na různých místech má různý směr a velikost. Směr tíže nazýváme **tížnicí**. Plocha, která je v každém bodě zemského povrchu kolmá na směr tíže, se nazývá **hladinová plocha**. Za základní hladinovou plochu se volí ta, která prochází nulovým výškovým bodem klidné mořské hladiny zvoleného moře; k ní se redukuje většinou všechna měření na zemském povrchu. Tato plocha se nazývá **geoid**.

Geoid je plochou velmi nepravidelnou a z tohoto důvodu matematicky těžko definovatelnou. Svým tvarem se mu však blíží **rotační elipsoid**, jímž bývá ve výpočtech nahrazován (viz obr. 2).

Elipsoid, kterého používáme pro nahrazení geoidu, se musí co nejlépe přimykát k jeho ploše; takový elipsoid nazýváme **referenčním elipsoidem**. Jeho osu volíme vždy rovnoběžnou, popř. totožnou s osou zemské rotace. Referenční elipsoid je určen hlavními parametry, a to velkou poloosou a a malou poloosou b .



Obr. 2: Řez různými druhy ploch tížnice a normály

Z obr. č.2 vyplývá důležitý poznatek a sice ten, že geoid je plochou vždy kolmou k těžnicím, zatímco referenční elipsoid je plochou kolmou k normálám. Rozdíl mezi polohami různých ploch při zemském povrchu tížnic a normál je v obrázku č. 2 vyznačen schematicky a pro větší názornost zvětšen.

Referenční plochy

Základní referenční plochou je referenční elipsoid. V našich zemích byl zaveden od r. 1841 **Besselův elipsoid**. V r. 1924 byl doporučen Geodetickou a geofyzikální unií **Hayfordův elipsoid**, jehož parametry byly vypočteny v r. 1909 na základě rozsáhlých měření v USA; tento elipsoid však nebyl u nás zaveden. V r. 1944 v Sovětském svazu F. N. Krasovský stanovil nové parametry referenčního elipsoidu; **Krasovského elipsoid** byl v r. 1953 zaveden i v ČSSR. Základní parametry výše uvedených referenčních elipsoidů jsou uvedeny v následující tabulce.

Parametr	Referenční elipsoid		
	Besselův	Hayfordův	Krasovského
a (v m)	6 377 397,155	6 378 388,000	6 378 245,000
b (v m)	6 356 078,963	6 356 911,946	6 356 863,019
e	0,081 696 831	0,081 991 889	0,081 813 333
i	1 : 299,153	1 : 297,0	1 : 298,3

Pro zjednodušení výpočtů se místo elipsoidu někdy používá **referenční koule**. Té lze použít dvojím způsobem:

- zobrazí se na ni pomocí kartografického zobrazení body z referenčního elipsoidu,
- zeměpisné souřadnice se považují přímo za souřadnice kulové.

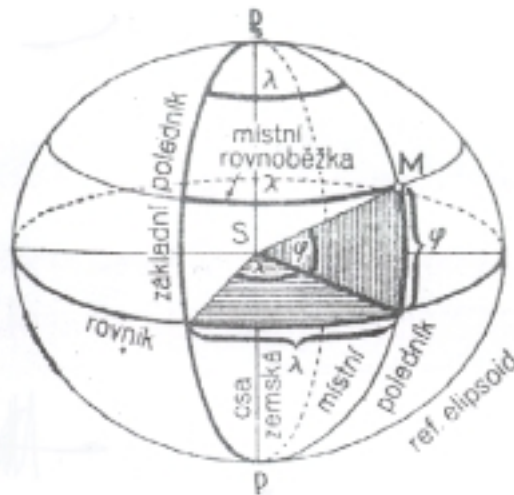
První z uvedených postupů vyhovuje i pro přesné práce geodetické; druhého postupu se používá pro výpočty u map malých měřítek.

Nejjednodušší referenční plochou je **referenční rovina**. Této plochy však můžeme s dostatečnou přesností použít jen pro zobrazení malé části zemského povrchu, nejvýše o průměru 15 km.

1.4.2. Souřadnicové soustavy

Každý bod na zemském povrchu lze definovat **zeměpisnými souřadnicemi**, a to **zeměpisnou šířkou**, kterou značíme φ , a **zeměpisnou délkou**, kterou značíme λ .

Zeměpisná šířka φ je definována jako úhel, který svírá normála n plochy v bodě B s rovinou zemského rovníku (obr. 3). Body o stejné zeměpisné šířce φ leží na kružnici, která se nazývá **zeměpisná rovnoběžka**.



Obr. 3: Zeměpisné souřadnice φ a λ

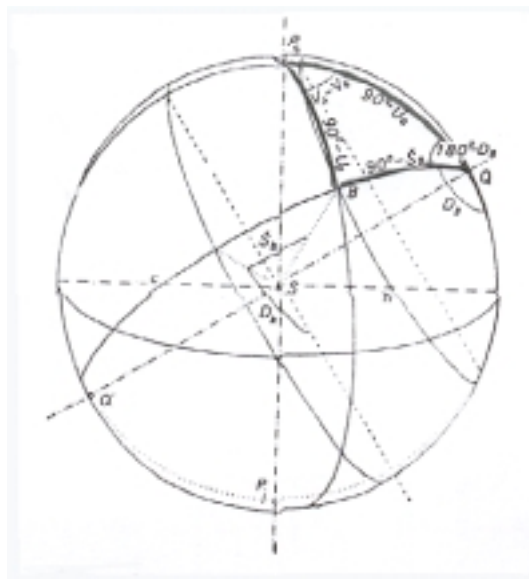
Rovina proložená touto rovnoběžkou je vždy kolmá na rotační osu zemského elipsoidu $P_s P_j$. Rovnoběžka o zeměpisné šířce $\varphi = 0^0$ se nazývá **rovník**. Zeměpisné šířky bodů ležících mezi rovníkem a severním pólem P_s (na severní polokouli) uvažujeme jako kladné v rozmezí 0^0 až 90^0 ; označujeme je jako severní šířky (zkratka s.š.). Zeměpisné šířky bodů ležících mezi rovníkem a jižním pólem P_j uvažujeme jako záporné v rozmezí 0^0 až 90^0 ; označujeme je jako jižní šířky (zkratka j.š.).

Zeměpisná délka λ je definována jako úhel mezi rovinou základního poledníku a rovinou místního poledníku. **Poledník** (meridián) je průsečnice roviny, procházející osou rotace referenční plochy (např. zemského elipsoidu) s touto plochou. **Základní** (nulový) **poledník** prochází hvězdárnou v Greenwichi ve Velké Británii; nazývá se také **greenwichský poledník**. Úhly mezi rovinami jsou při měření proti směru hodinových ručiček považovány za kladné (v rozmezí 0^0 až 180^0); značíme je jako východní zeměpisné délky (zkratka v. d.). Úhly měřené od greenwichského poledníku směrem západním (po směru hodinových ručiček) považujeme za záporné (v rozmezí 0^0 až -180^0); značíme je jako západní zeměpisné délky

(zkratka z. d.). Základní poledník rozděluje pak Zemi na východní a západní polokouli. Souřadnice severního pólu P_s jsou $\varphi = 90^0$ a $\lambda = -180^0$ až $+180^0$, souřadnice jižního pólu P_j jsou $\varphi = -90^0$ a $\lambda = -180^0$ až $+180^0$; vzhledem k této vlastnosti jsou zemské póly singulárními body a zobrazují se v kartografických zobrazeních často jinak než body ostatní (bod se nezobrazují jako bod, ale křivka).

Pokud používáme jako referenční plochu namísto elipsoidu kouli, definujeme každý bod na jejím povrchu **kulovými souřadnicemi**. Zeměpisné šířce φ zde odpovídá **kulová šířka**, označovaná U , zeměpisné délce λ **kulová délka**, označovaná V . Místo kulové šířky U používáme někdy tak zvanou pólou vzdálenost, kterou zpravidla označujeme Ψ . Pak platí vztah $\Psi = 90^0 - U$.

Někdy je vhodné použít pro výpočty místo rotační osy zemské $P_s P_j$ jiné konstrukční osy (např. QQ'). Bod B pak lze vyjádřit **kulovými kartografickými souřadnicemi** - kartografickou šířkou \check{S} a kartografickou délkou D .



Obr. 4: Kulové kartografické souřadnice \check{S} a D

Hodnoty kulových souřadnic U , V a kulových kartografických souřadnic \check{S} , D jsou zakresleny na obr. 4.

Jejich vzájemný vztah je možno odvodit ze sférického trojúhelníka $P_s QB$ pomocí vzorců platných pro obecný sférický trojúhelník.

V tomto trojúhelníku jsou známy velikosti délek $(90^\circ - \check{U}_Q)$, $(90^\circ - U_B)$ a $(90^\circ - \check{S}_B)$. Stejně tak jsou známy hodnoty úhlů $(V_Q - V_B)$ a $(180^\circ - D_B)$.

Pro výpočet neznámé souřadnice \check{S}_B platí cosinová věta pro stranu:

$$\cos(90^\circ - \check{S}_B) = \cos(90^\circ - U_B) \cdot \cos(90^\circ - U_Q) + \sin(90^\circ - U_B) \cdot \sin(90^\circ - U_Q) \cdot \cos(V_Q - V_B)$$

Úpravou dostaneme:

$$\sin \check{S}_B = \sin U_B \cdot \sin U_Q + \cos U_B \cdot \cos U_Q \cdot \cos(V_Q - V_B)$$

Druhou kartografickou souřadnici bodu B tedy D_B vypočteme sinovou větou:

$$\frac{\sin(180^\circ - D_B)}{\sin(V_Q - V_B)} = \frac{\sin(90^\circ - U_B)}{\sin(90^\circ - \check{S}_B)}$$

Po úpravě platí:

$$\sin D_B = \frac{\cos U_B \cdot \sin(V_Q - V_B)}{\cos \check{S}_B}$$

1.5. Kartografické zobrazení a jeho klasifikace

Úkolem kartografického zobrazení je znázornění jednotlivých bodů z referenčního elipsoidu či referenční koule do roviny mapy. Jinak řečeno, k poloze bodů na referenční ploše (elipsoidu či kouli), kterou považujeme za originál najít polohu (co nejvěrnější obraz) bodů v rovině mapy.

Určení věrných obrazů bodů na kouli či elipsoidu v rovině mapy je velmi složitou záležitostí. Každým kartografickým zobrazením totiž dochází k jisté deformaci, tj. ke zkreslení některých prvků (veličin) v mapě. Při stanovení zobrazovacích rovnic, podle nichž k převodu bodů z koule či elipsoidu do roviny mapy dochází, lze však zabezpečit takové podmínky, aby se některá z veličin převedených do mapy nezkreslovala (zůstala stejná).

V kartografických zobrazeních, kterých používáme pro geodetické účely, uplatňujeme zpravidla požadavek, aby se nezkreslovaly naměřené úhly. Musí zde být dodržena podmínka $\Delta\alpha = \alpha' - \alpha = 0$; rovněž maximální úhlové zkreslení musí být rovno nule, tj. $\Delta\omega = 0$.

Kartografická zobrazení, která splňují tuto podmínku, se nazývají **zobrazení konformní** (zobrazení stejnoúhlá).

Pro některé účely požadujeme, aby se na mapě nezkreslovaly plochy. Zobrazení splňující tuto podmínku se nazývají **zobrazení ekvivalentní** (zobrazení stejnoplochá).

U některých druhů zobrazení požadujeme, aby se v mapě nezkreslovaly některé délky (např. poledníky). Kartografické zobrazení splňující tuto podmínku se nazývají **zobrazení ekvidistantní** (zobrazení délkojevná).

Pro některé účely volíme taková zobrazení, kde se sice zkreslují úhly, plochy i délky, ale co možno v nejmenší míře. Taková zobrazení se nazývají **zobrazení kompenzační** (též zobrazení vyrovnávací).

Pro posouzení vhodnosti zobrazení pro dané území často počítáme v různých bodech mapy délkové, plošné a maximální úhlové zkreslení. Spojením bodů se stejnou hodnotou zkreslení vznikají na mapě čáry stejného zkreslení (např. plošného), které se nazývají **ekvideformátory**.

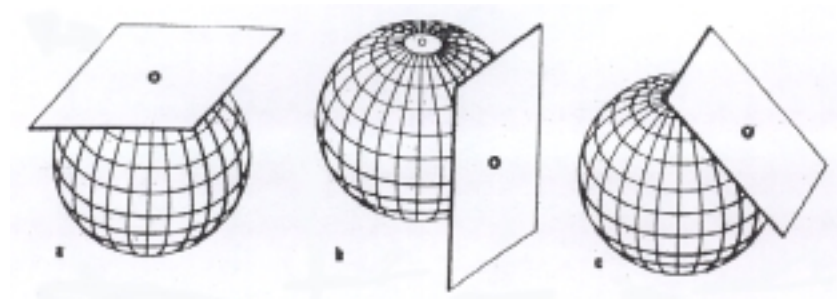
Klasifikaci kartografických zobrazení můžeme provádět i podle jiných kritérií než z výše uvedeného hlediska, a sice podle:

- **zobrazovací plochy** na
 - zobrazení azimutální, kde referenční plochu zobrazujeme zpravidla do tečné roviny,
 - zobrazení válcová (též zobrazení cylindrická), kde referenční plochu zobrazíme nejprve na válec a ten rozvineme do roviny mapy,
 - zobrazení kuželová (též zobrazení kónická), u nichž referenční plochu zobrazíme nejprve na kužel a ten pak rozvineme do roviny mapy;
- **polohy zobrazovací plochy** vůči referenční ploše na
 - zobrazení normální (pólová),
 - zobrazení transverzální (příčná),

- zobrazení obecná (šikmá);

poloha zobrazovací plochy u těchto zobrazení je uvedena na obr. 5 až 7:

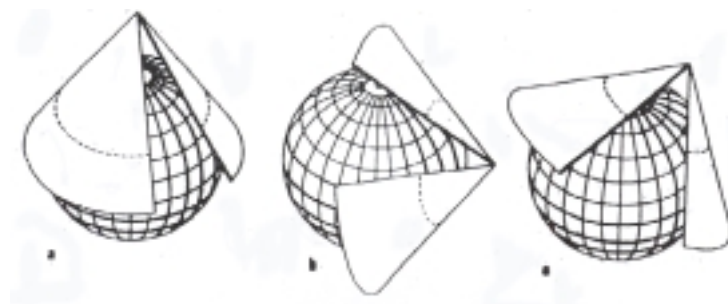
- varianta a) normální poloha,
 b)transverzální – příčná poloha,
 c) obecná poloha



Obr. 5 Azimutální zobrazení



Obr. 6 Válcové zobrazení



Obr. 7 Kuželové zobrazení

Kartografická zobrazení jsou určena matematickými vztahy - **zobrazovacími rovnicemi**. Některá kartografická zobrazení můžeme konstruovat i geometricky. Zvláštním druhem jsou zobrazení, které můžeme získat promítáním (tzv. **kartografické projekce**).

Velmi častá je klasifikace kartografického zobrazení podle **druhu zobrazení** na:

- **zobrazení jednoduchá**, kde souřadnice X, Y v rovině mapy jsou vždy funkcí pouze jediné proměnné, tj. platí

$$X = f(U); \quad Y = g(V)$$
- **zobrazení nepravá**, kde jedna ze souřadnic je funkcí dvou proměnných, tj. platí např.

$$X = f(U, V); \quad Y = g(V)$$
- **zobrazení konvencionální**, kde souřadnice X, Y jsou funkcí obou proměnných, tj.

$$X = f(U, V); \quad Y = g(U, V)$$

1.6 Zobrazovací soustavy používané na území Československa

Vznik nového samostatného Československa byl v roce 1918 provázen řadou problémů mezi něž patřily i různé zákony, které byly převzaty ze zákonodárství rakousko-uherského. Značná nejednotnost právních i technických norem si vynutila tvorbu nových unifikovaných předpisů. Jedním z mnoha byl i zákon č. 177/27 Sb. – Katastrální zákon, na jehož podkladě se od roku 1927 budoval nový československý pozemkový katastr a tedy i mapy velkých měřítek.

1.6.1 Obecné konformní kuželové zobrazení Křovákovo

Pro geodetické a kartografické práce v naší republice má prvořadý význam obecné konformní kuželové zobrazení Křovákovo, neboť tohoto zobrazení používáme v současné době jak pro geodetické výpočty, tak i pro mapy velkých a středních měřítek. Použití tohoto způsobu vyplývá z vládního nařízení č. 116/1995 Sb. a z těchto důvodů bude o něm pojednáno později.

Obecné konformní kuželové zobrazení Křovákovo je dvojitým zobrazením, jímž byl nejprve zobrazen konformně Besselův elipsoid na kouli o poloměru $R = 6.380.703,6105$ m. Na kouli byla provedena transformace kulových souřadnic U, V na kartografické souřadnice \check{S}, D s pólem Q o souřadnicích $\varphi_Q = 48^\circ 15'$ a $\lambda_Q = 42^\circ 30'$ (východně od Ferra) na Besselově elipsoidu, jimž odpovídají kulové souřadnice $U_Q = 59^\circ 42' 42,6969''$, $V_Q = 42^\circ 31' 31,41725''$ (východně od Ferra). Zobrazení koule do roviny bylo provedeno konformním kuželovým zobrazením v obecné poloze s pólem Q . Použit byl tečný kužel se základní rovnoběžkou o šířce $\check{S}_0 = 78^\circ 30'$. Za základní poledník byl zvolen poledník, spojující zemské póly P_s, P_j a pól zobrazení Q .

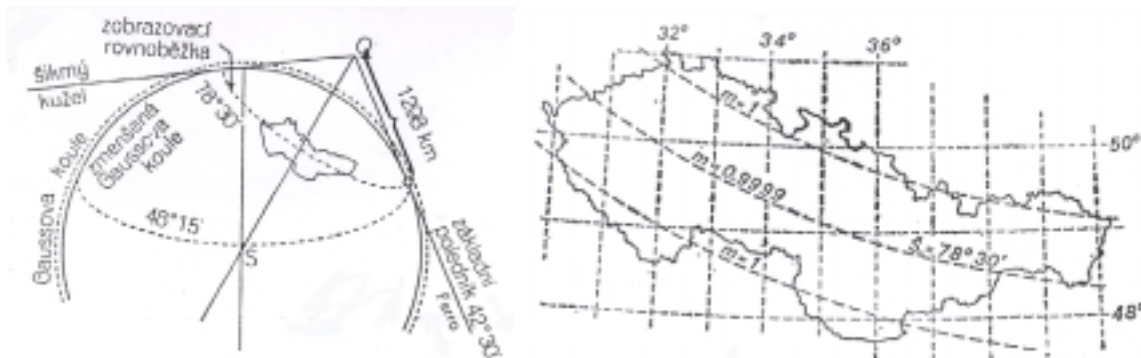
Maximální délkové zkreslení na okraji státního zemí bylo sníženo zavedením redukovaného poloměru referenční koule $R' = 0,9999.R$. Tímto obratem bylo dosaženo obdobného výsledku jako při použití sečného kužele. Délkové zkreslení základní rovnoběžky má hodnotu $m = 0,99990$, rovnoběžky na okraji státního území hodnotu $m = 1,00014$. Dvě kartografické rovnoběžky o šířce $\check{S}_1 = 79^\circ 18' 03''$ a $\check{S}_2 = 77^\circ 40' 50''$ mají délkové zkreslení $m = 1$.

Maximální délkové zkreslení na okraji státního území bylo ještě sníženo obecnou polohou kužele při tomto zobrazení. V případě normální polohy kuželové plochy by byl totiž pás území Československa mnohem širší než při poloze obecné, určené z podmínky, aby se státní území vešlo do šířkově (ve smyslu kartografické šířky) nejužšího pásu. Je všeobecně známo, že s rostoucí šířkou pásu roste maximální zkreslení v okrajových částech. Zatímco pro normální polohu je vliv zkreslení při tečném kuželu na okrajích asi 43 cm na jeden kilometr, v poloze obecné je maximální zkreslení přibližně poloviční. Území Československa je protáhlé ve směru severozápad-jihovýchod a osa tečného kužele nejlépe se mu přimykající je znázorněna na obr. č. 8.

Zemské poledníky a rovnoběžky se v tomto zobrazení jeví jako křivky na sebe kolmé s výjimkou poledníku bodu Q , který se zobrazí jako přímka a je volen za osu X pravouhlých souřadnic, jejíž kladný směr byl zvolen k jihu. Osa Y prochází obrazem bodu Q a je kladná směrem k západu. Tímto uspořádáním bylo dosaženo, že celé státní území Československa leží v prvním kvadrantu a tedy všechny souřadnice X, Y bodů na státním území jsou kladné.

Pro zobrazení Besselova elipsoidu na kouli byly použity zobrazovací rovnice

$$\operatorname{tg}\left(\frac{U}{2} + 45^\circ\right) = \frac{1}{k} \left\{ \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2} + 45^\circ\right) \left(\frac{1 - e \cdot \sin \varphi}{1 + e \cdot \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right\}^\alpha \quad V = \alpha \cdot \lambda$$



Obr. č.8: Křovákovo konformní kuželové zobrazení v obecné poloze

Kulové souřadnice U, V byly dále transformovány na kartografické souřadnice \check{S}, D pomocí vzorců, viz kap. 7.4.2.

Poté následovalo konformní zobrazení kartografických souřadnic \check{S}, D na polární souřadnice ρ, ε .

$$\rho = \rho_0 \left\{ \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\check{S}_0}{2} + 45^\circ\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\check{S}}{2} + 45^\circ\right)} \right\}^n \quad \varepsilon = n \cdot D$$

V závěru výpočtu byly z polárních souřadnic ρ, ε vypočteny pravoúhlé rovinné souřadnice X, Y podle vztahů:

$$X = \rho \cdot \cos \alpha \quad Y = \rho \cdot \sin \alpha$$

Zcela na závěr je nutno připomenout, že tento způsob zobrazení (JTSK) je velmi výhodný z několika hledisek. Celé naše území leží v prvním kvadrantu (neexistují záporné souřadnice). Zkreslení délek je velmi malé. Dosahuje hodnot od -10 cm/km po $+14$ cm/km. Úhlové zkreslení je nulové (konformní zobrazení).

1.6.2. Zobrazení Cassiniovo – Soldnerovo

Bylo požíváno za Rakouska – Uherska (období tzv. Stablního katastru). U nás tedy před zavedením JTSK. Z tohoto důvodu bude popsáno jen velmi stručně, stejně tak jako novější zobrazení Gauss – Krügerovo.

Toto zobrazení navrhl francouzský kartograf Cassini a pro geodetické účely jej upravil Soldner. Jde o válcové zobrazení v příčné poloze, které je ekvidistantní v kartografických polednicích (mapa čtvercová). Pro odstranění narůstajícího zkreslení bylo na území Rakousko-Uherska, kde bylo použito pro katastrální mapování v měřítku 1:2 880, zvoleno

několik válců, které se dotýkaly referenční koule ve zvolených polednicích. Tyto poledníky se v zobrazení nezkrslují a jejich obrazem jsou přímky, které byly zvoleny za osy X . Rovník se zobrazil rovněž jako přímky kolmé na osu X a jeho obraz byl zvolen za osu Y .

Mapy 1:2 880 jsou používány dodnes pro účely katastru nemovitostí. Při mapování bylo zvoleno 11 soustav, z nichž 3 připadly na území Československé republiky. Pro Čechy tvoří osu X poledník procházející trigonometrickým bodem Gusterberg v Rakousku (soustava gusterberská). Pro Moravu a Slezsko byl zvolen za osu X obraz poledníku procházejícího bodem na věži kostela sv. Štěpána ve Vídni (soustava svatoštěpánská). Pro Slovensko byl zvolen za osu X obraz poledníku procházející trigonometrickým bodem Gellertheyy v Budapešti (soustava budapešťská).

1.6.3. Mapování v mezinárodní souřadnicové soustavě Gauss – Krügerově (S-42)

Platnost předchozích zobrazovacích soustav je v důsledku zkreslení plošně omezena. U JTSK muselo být použito složité kuželové projekce v obecné poloze a sečné poloze kužele, aby délkové zkreslení bylo po celém území státu co nejmenší. Podařilo se to jen proto, že rozsah území je poměrně malý.

Pro velké územní celky je velmi obtížné najít podobnou jednotnou a při tom dostatečně přesnou souřadnicovou soustavu.

Zjednodušení a současně zevšeobecnění souřadnicových systémů pro velká území přinesl způsob Gauss – Krügerův. Zjednodušení bylo, že tato souřadnicová soustava umožnila zavést sjednocení souřadnicových soustav tak, že její rozšíření je možné i pro velká území, popř. celou zeměkouli. Souřadnicová soustava S-42 je založena na válcové projekci v poloze transversální s osou válce v rovině rovníku a s dotykovou čarou v poledníku probíhajícím středem zobrazovaného území (tzv. poledníkového pásu).

Rozvinutý a délkově nezkrslý střední (osový) poledník vytvoří v rovině osu X . Průmět rovníku na válec vytvoří povrchovou přímku válce, která je osou Y soustavy. Průsečík obou os je jejím počátkem. Šířka poledníkového pásu se volí 6° nebo 3° délkové.

1.7 Soudobé topografické mapy České republiky

Topografickými mapami rozumíme státní mapová díla středních měřítek (1:10 000 až 1:200 000), pokrývající zájmové území v jednotném kladu a značení mapových listů, vyhotovovaná vojenskou nebo civilní zeměměřičskou službou. Soudobé topografické mapy jsou náročná inženýrská díla, vyhotovená nejmodernějšími metodami geodetické a výpočetní techniky.

1.7.1 Vojenské topografické mapy (1953-1995)

Historie moderní a soudobé vojenské topografické mapy začíná v 50. letech. Vzhledem k začlenění Československa do Varšavského paktu vzniklo v rámci této vojenské struktury mezinárodní mapové dílo jednotné koncepce. První mapovací práce na československém území byly provedeny v letech 1953-1957 v měřítku 1:25 000. Hlavní mapovací metodou byla letecká fotogrammetrie. Odvozena byla měřítko 1:50 000, 1:100 000

a 1:500 000. Toto mapové dílo je stále aktuální a je předmětem pravidelné obnovy, prováděné topografickou službou Armády ČR.

1.7.1.1 Geodetické a kartografické základy

Jako kartografický základ je použito příčné válcové konformní Gaussovo-Krúgerovo zobrazení poledníkových pásů. Referenční plochou je elipsoid Krasovského, rovinný souřadnicový systém geodetických souřadnic je označován zkratkou S-42. Výšky jsou staženy k hladině Baltského moře s nulovým vodočtem Kronštadt (poblíže Petrohradu, Rusko). Redukce vůči dřívějšímu výškovému systému Jadran je $-0,68$ m.

1.7.1.2 Klad a označení mapových listů

Měřítková řada, klad a značení mapových listů Gaussova-Krúgerova zobrazení vychází z Mezinárodní mapy světa 1:1 000 000. Listy této mapy mají rozměry 6° zeměpisné délky a 4° zeměpisné šířky a označují se abecedními znaky A až V pro vrstvu počínaje rovníkem směrem k pólům a dvojičíslem pro poledníkový pás v rozmezí 1 až 60 počínaje poledníkem 180° . Tento poledník byl jako počáteční zvolen proto, že neprochází pevninou, ale světovým oceánem. Z tohoto důvodu nemá greenwichský poledníkový pás označení 0 ale 30.

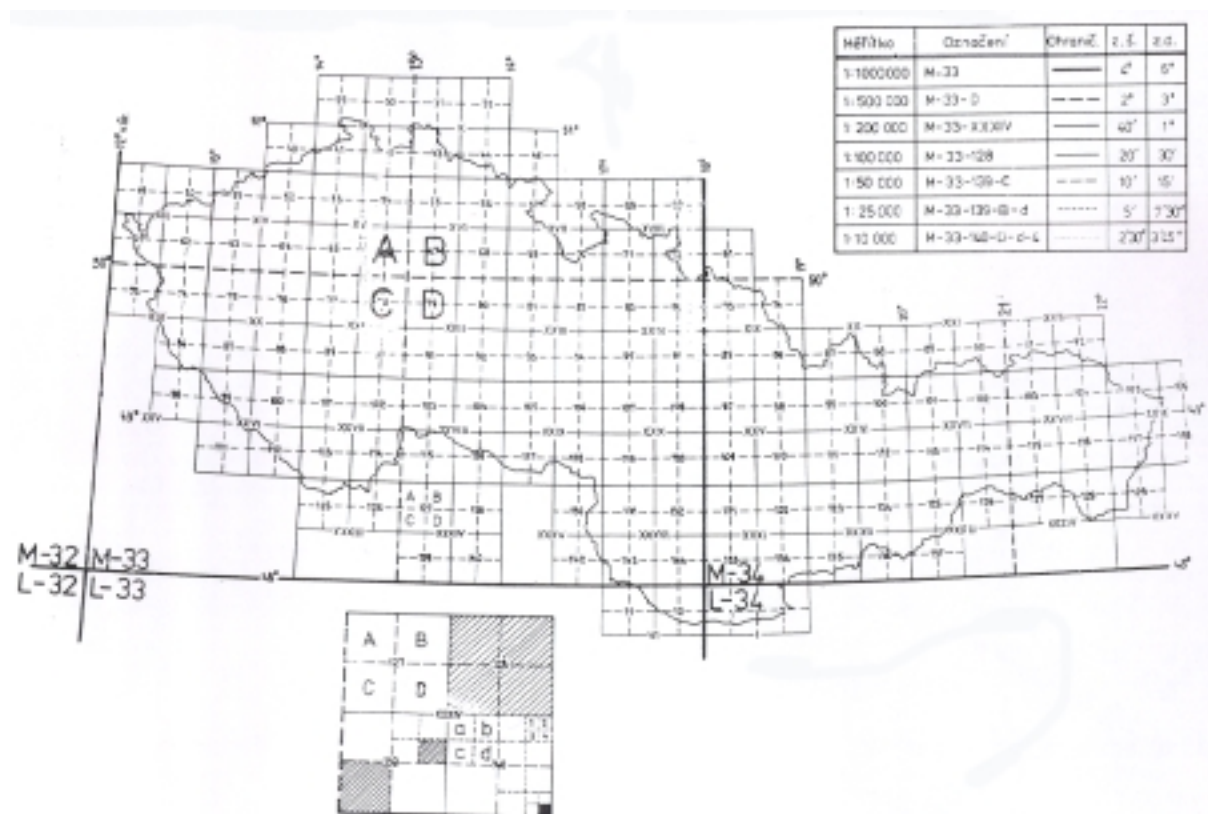


Obr. č.9: Poloha mapových listů M-33 a M-34 v Mezinárodní mapě světa 1 : 1 000 000

Podle obrázku č.9 padnou na území ČR dva listy miliónové mapy světa M-33 a M-34. Miliónová mapa se dělí na listy zeměpisné mapy 1:500 000 rozdělením na 4 části označené písmeny A až D. Mapa 1:200 000 se získá rozdělením listu miliónové mapy na 6×6 polí očíslovaných římskými číslicemi v rozmezí I, II až XXXVI. Topografická mapa 1:100 000 (TM100) se získá přímým rozdělením miliónové mapy na 12 vrstev a 12 sloupců průběžně očíslovaných v rozsahu 1 až 144. List TM100 slouží jako základ pro dělení listů mapy 1:50 000 (TM50), kde se opět použije osvědčený způsob čtvrcení a označení takto vzniklých sekcí písmeny A, B, C, D. Tento postup je zopakován pro měřítko 1:25 000 (TM25), kde se rozdělí list TM50 na čtyři sekce TM25 označené malými písmeny a, b, c, d. Rozměry mapových listů a přehled jejich dělení jsou uvedeny v následující tabulce a obr. č.10.

Měřítko 1:	Výchozí mapa	Dělení	Počet listů	Rozsah listu		Příklad označení mapového listu
				šířka	délka	
milionu			1	6°	4°	M-33
500 000	IMW	2x2	4	3°	2°	M-33-A
200 000	IMW	6x6	36	1°	40'	M-33-XXXVI
100 000	IMW	12x12	144	30'	20'	M-33-144
50 000	TM100	2x2	4	15'	10'	M-33-144-A
25 000	TM50	2x2	4	7'30''	5'	M-33-78-A-a

Poznámka: IMW International Map of the World, Mezinárodní mapa světa



Obr. č.10: Klad a značení mapových listů 1 : 1 000 000 – 1 : 10 000
pro šestistupňové pásy G-K zobrazení

Mapa 1:25 000. Souvislé mapování území bývalého Československa bylo provedeno v letech 1953-1957 metodou letecké fotogrammetrie. Interval vrstevnic 5 m, v mapě je vykreslena kilometrová síť rovinných souřadnic, na rámu mapy jsou ryskami vyznačeny souřadnice geografické sítě v kroku 1'. Území Československa bylo zobrazeno na 1736 listech.

Mapa 1:50 000. Je mapou odvozenou z mapy 1:25 000 (TM25). Interval vrstevnic je 10 m, kilometrová síť má krok 1 km.

Mapa 1:100 000. Obsah mapy vzniká generalizací TM50. Vrstevnice se uvádějí v intervalu 20 m, kilometrová síť v kroku 2 km.

Mapa 1:200 000 a 1:500 000. Nejmenší měřítko vojenských topomap. V měřítku TM500 je vydán přehled kladu mapových listů TM map všech měřítek.

1.7.1.3 Hodnocení

Z kartografického hlediska představují vojenské topomapy obsahově ucelené mapové dílo podrobně zobrazující polohopis i výškopis. Výhodou mapového díla je postupné odvození menších měřítek z základního měřítka 1:25 000, tj. měřítka, v němž bylo původně mapováno. Největší současnou nevýhodou vojenské topomapy je její dlouholeté utajení, způsobené politickým vývojem v letech 1968-1989, a úsporná opatření v armádě limitující finanční prostředky na její údržbu.

1.7.2 Základní mapa středního měřítka (1968-1995)

V roce 1968 nastalo rozsáhlé utajování výsledků geodetických i kartografických prací. Pro potřeby národního hospodářství, státní správy, vzdělávání a projektové činnosti bylo nutno vytvořit tzv. modifikovanou soustavu polohově nedeformovaných, ale obsahově ochuzených map (zákaz zobrazování jakýchkoliv geografických i rovinných souřadnic v poli mapy včetně zákonem zavedeného systému S-JTSK, používaného běžně již od roku 1927). Označení mapy nesmělo umožňovat pomocí klasických postupů matematické kartografie určovat souřadnice rohů mapy na elipsoidu ani v rovině. Mapy pro veřejnost, vytvářené na podkladu základní mapy (autoatlasy, turistické mapy a především plány měst), musely být polohově deformovány.

Civilní zeměměřičská služba (řídící orgán Český úřad geodetický a kartografický – ČÚGaK, nyní Český úřad zeměměřičský a katastrální – ČÚZK) byla nucena vytvořit zcela nové státní mapové dílo, které nese označení Základní mapa středního měřítka (ZM).

1.7.2.1 Geodetické a kartografické základy

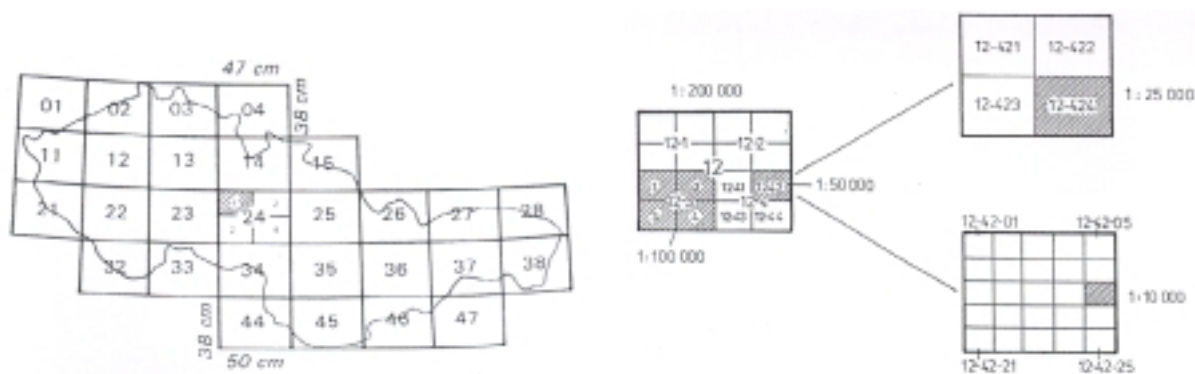
Dílo je vyhotoveno v souřadnicovém systému S-JTSK, Křovákově dvojitým konformním zobrazením Besselova elipsoidu a výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv).

1.7.2.2. Klad a značení mapových listů

Základní mapa pokrývá celé státní území bývalé federace v měřítkové řadě 1:200 000 (ZM200), 1:100 000 (ZM100), 1:50 000 (ZM50), 1:25 000 (ZM25), 1:10 000 (ZM10). Klad listů vychází ze základního měřítka 1:200 000. Pole map ZM200 jsou v rovině S-JTSK vymezena umělou konstrukcí pravidelně se sbíhajících čar, které velmi zhruba sledují obraz poledníků. Dvojice sousedních paprsků vymezuje sloupec, v němž je umístěno 5 listů ZM200 tak, že jejich základny jsou rovnoběžné. Na „jižní“ straně celkového sloupce je délka základny 50 cm, na „severní“ 47 cm, listy ZM200 jsou pravidelné lichoběžníky. Výška listu je konstantní 38 cm. Mapa ZM200 je definována kladem lichoběžníkových listů uspořádaných do osmi sloupců a pěti vrstev. Označení ZM200 se skládá z názvu nejvýznamnějšího zobrazeného sídla a čísla vrstvy (rozmezí 0-4) a čísla sloupce (rozmezí 1-8), např. 24.

Listy ZM větších měřítek vznikají postupnou lineární interpolací, tj. čtvrcením listu vždy nejbližšího menšího měřítka a přidáním číselného označení kvadrantu, viz. následující tabulka a obr. č.11.

Měřítko 1:	Výchozí mapa	Dělení	Počet listů	Příklad označení mapy	Počet listů	
					ČR	ČSFR
200 000	-	-	-	12	19	30
100 000	ZM200	2x2	4	12-4	59	85
50 000	ZM100	2x2	4	12-42	211	338
25 000	ZM50	2x2	4	12-424	787	1 248
10 000	ZM50	5x5	25	12-42-15	4 555	7 312



Obr. č.11: Klad a značení listů ZM 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000 a 1 : 10 000

Systém čtvrcení není zachován pouze u největšího měřítka 1:10 000, které vzniká rozdělením a průběžným očíslováním listu ZM50. Z geometrické podstaty interpolace plyne, že mapové listy všech měřítek si zachovávají rovnoběžnost dolní a horní základny a výšku 38 cm. Jednotlivé listy téhož měřítka obecně nemají stejné rozměry, délky úhlopříček ani plochu. Souřadnice jejich rohů nejsou obkrouhlé hodnoty ani v rovinném systému S-JTSK, ani v geografických souřadnicích φ , λ .

1.7.2.3 Obsah základní mapy

Základní mapa obsahuje polohopis, výškopis a popis týkající se reliéfu, sídel, komunikací atd. Z hlediska utajení byla ZM služebním mapovým dílem, tj. mohly je kupovat pouze organizace. Nyní je její prodej uvolněn a mohou ji získávat i fyzické osoby. Prodává se v mapových službách katastrálních úřadů 1. stupně.

1.7.2.4 Mapová díla

Základní mapa je zásadně mapou odvozenou, tj. nevzniká novým mapováním. To se provádí zcela výjimečně, pouze v místech značného množství změn.

Základní mapa 1:10 000. Postupně vydávaná v letech 1991-1998. Interval vrstevnic 2 m. Vznikla odvozením z TM10.

Základní mapa 1:25 000. Vznikla odvozením z ZM10 nebo z prozatímní verze TM25. Interval vrstevnic 5 m.

Základní mapa 1:50 000. Vznikla jako první ZM odvozením z vojenských TM v letech 1971-1973. Interval vrstevnic 5 m. Mapa je předmětem pravidelné údržby.

Základní mapa 1:100 000. Mechanická zmenšenina ZM50.

Základní mapa 1:200 000. Vytvořena odvozením z TM200. Interval vrstevnic 25 m.

Hodnocení. Základní mapa přes určitá omezení je předmětem pravidelné obnovy. Technická veřejnost je na ni zvyklá. Výhodou je přítomnost měřítka 1:10 000, zapojení do Státního informačního systému a značné množství odvětvových i účelových verzí a vazba na mapy velkých měřítek.

1.7.2.5 Závěr

Z obecného hlediska není přítomnost dvou celostátních mapových děl středních měřítek (TM, ZM) výhodná. Společnosti přináší nejen značné nadbytečné finanční výdaje, ale zejména tříští práce civilních i vojenských topografů při mapování obdobných objektů.

Svět analogových map se pomalu stává archaismem. Moderní mapy již s námi začínají komunikovat přes obrazovky počítačů. Mapa vložená do počítače se stává standardním komunikačním partnerem inženýra, pracovním nástrojem umožňujícím vyjádření jeho představ o uspořádání území. Prostředkem dialogu jsou geoinformační technologie založené na tzv. technologiích GIS-geografických informačních systémů. Řešením bude digitální „bezešvá“ mapa území ČR, tj. mnohovrstvá datová báze pokrývající celé území republiky, dostupná běžnými prostředky osobní výpočetní techniky.

1.7.3 Mapy velkých měřítek na území ČR

K mapám velkých měřítek patří mapy stabilního katastru, nové katastrální mapy po roce 1929, státní mapa 1:50 000, hospodářská a odvozená, technicko hospodářská mapa a technické mapy měst.

1.7.3.1 Mapy stabilního katastru v českých zemích

Katastrální mapa obsahuje geometrické zobrazení všech parcel v jednom katastrálním území. Vznikly více než před 150 lety. Podrobné mapování se provádělo metodou měřického stolu, a to v měřítku 1:2 880. Zvolené nezvyklé měřítko 1:2 880 bylo pro tuto dobu praktické. Vzniklo z podmínky, aby tehdejší používaná plocha jednoho jitra čili 40x40 sáhů byla na mapě zobrazena čtvercem o straně 1 palce. Poněvadž 1 sáh obsahuje 72 palců, vznikne součinem $40 \times 72 = 2880$, a tím je určen poměr velikosti obrazu k originálu.

1.7.3.2 Nová katastrální mapa po roce 1929

Nejednotnost trigonometrických základů na našem území při vzniku republiky v roce 1918, jakož i roztříštěnost zobrazovacích soustav vedla ke vzniku Křovákova obecného

konformního kuželového zobrazení. Tohoto zobrazení v současné době používáme pro mapy všech velkých měřítek. Započaté mapovací práce v tomto systému zastavila německá okupační správa v období 1939-1945. Naše státní území bylo v této době mapováno v 6° stupňových pásech Gauss-Krügerova zobrazení.

1.7.3.3 Státní mapa hospodářská

Po osvobození v roce 1945 bylo zapotřebí map pro projekční práce všeho druhu, zejména v měřítku pro projektování nejhodnějším, tj. 1:5 000. Bylo proto rozhodnuto o vyhotovení „Státní mapy 1:5 000 – hospodářské“ SHM5 jako mapy původní s polohopisným a výškopisným obsahem a to na celém státním území. Mapy se začaly vyhotovovat od roku 1952 a to opět v systémech JTŠK a ČSJSN/J. Mapový list obsahoval území 2,5x2,0 km, měl tedy rozměr 50x40 cm. Pro označení mapových listů se použila jako základ mapa 1:50 000 zobrazující území 25x20 km. Její listy byly označeny názvem největšího sídliště na mapě. Mapa 1:50 000 se rozdělila na 10 sloupců a 10 vrstev, které se označily číslicemi 0-9 od SV rohu směrem na západ a jih, tedy ve směru stoupajících souřadnic. Nomenklatura mapy je potom dána názvem listu mapy 1:50 000 a číslem sloupce a vrstvy příslušné mapy 1:5 000.

Protože tvorba původní mapy hospodářské postupovala pomalu, přikročilo se k vyhotovení mapového provizória 1:5 000 tzv. „Státní mapy 1:5 000 – odvozené SMO-5“. Jak z názvu vyplývá sestavila se tato mapa z podkladů, které byly k dispozici. Pro polohopis se využily katastrální mapy, které se zmenšily do měřítku 1:5 000 a montáží převedly do kladu listů SMO-5. Výškopis mimo jiné byl převzat i z mapy 1:25 000, proto má pouze orientační povahu.

1.7.3.4 Technicko hospodářská mapa

Dosavadní vyhotovené mapy přestávaly plně vyhovovat potřebám zejména z hlediska přesnosti. Proto bylo rozhodnuto vyhotovit nové celostátní mapové dílo velkého měřítko, tj. technicko hospodářské mapy. S jejich výrobou se začalo po roce 1960 a byly pořizovány pro technické a hospodářské účely. Mají zkratku THM.

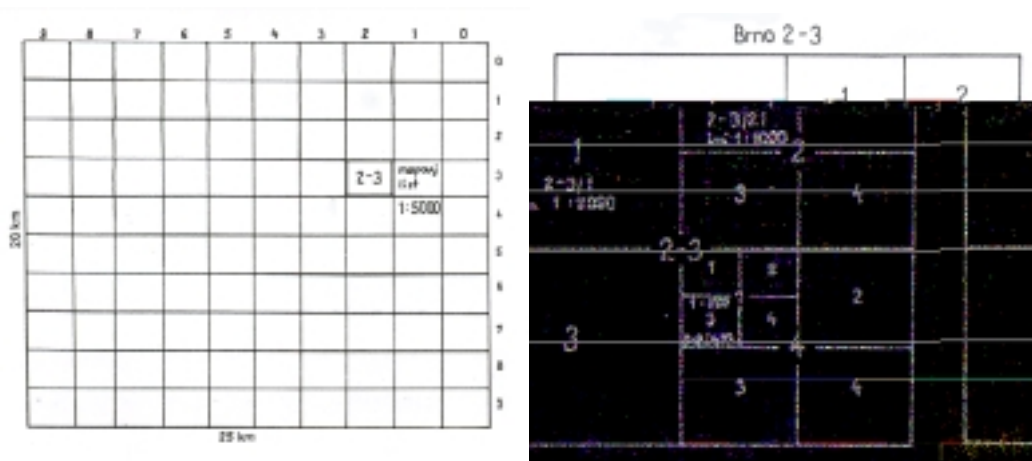
Technicko hospodářská mapa před rokem 1969 byla pořizována v systému S-42. THM po roce 1969 se vyhotovuje v systému JTŠK a ve výškovém systému baltském po vyrovnání (Bpv).

Označování listů map v měřítku 1:5 000 je stejné, jaké bylo u státních map 1:5 000, ať hospodářských nebo odvozených. Sestává z názvu příslušného listu státní mapy měřítko 1:50 000 a čísel sloupce a vrstvy oddělených pomlčkou. Sloupce a vrstvy kladu map 1:5 000 označujeme čísly 0-9 jak ve směru osy Y, tak i X počínaje od SV rohu listu mapy v měřítku 1:50 000.

Označování listů map v měřítku 1:2 000 se tvoří označením příslušného listu mapy 1:5 000, doplněným čísly 1-4, které označují severozápadní (1), severovýchodní (2), jihozápadní (3) a jihovýchodní (4) čtvrtiny map listu 1:5000.

V označování listů map 1:1 000 a 1:500 se postupuje stejným způsobem, jak je patrné z obr. č.12. V následující tabulce je uvedeno označení mapových listů, jak se uvádí na mapě.

Měřítko mapy	Označení na mapovém listu
1:50 000	Brno
1:5 000	Brno 2-3
1:2 000	Brno 2-3/1
1:1 000	Brno 2-3/21
1:500	Brno 2-3/413



Obr. č.:12

1.8 Praktické příklady práce s mapou

Konečným výsledkem práce geodeta a kartografa je mapa, do které je uložena celá řada informací polohopisného či výškopisného charakteru mapované oblasti, které mohou být využity v různých oborech činnosti.

Mapa je zmenšeným obrazem skutečnosti, která se nachází na povrchu země. Za základ zobrazení bylo zvoleno kótované promítání na jednu průmětnu – půdorys. Na rozdíl od stavební či strojnické dokumentace neobsahuje v polohopise kóty, které udávají přesný rozměr objektů či jejich vzdálenosti. Tyto údaje ale i údaje jiné je možno z mapy odvodit. Způsob jakým se zjišťují hodnoty délek, ploch a úhlů z mapy se zabývá obor kartografie zvaný kartometrie.

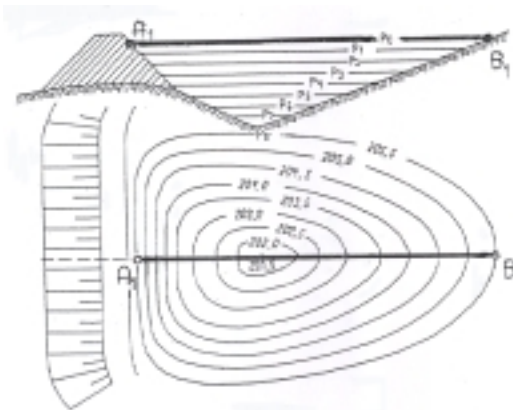
V následujícím bude uvedeno několik praktických příkladů zjišťování údajů z mapy.

- Zjišťování **vodorovné vzdálenosti** mezi dvěma body A_1 a B_1 o stejných výškových kótách. Mezi důležité matematické prvky, které mapa obsahuje je měřítko mapy. Měřítko mapy je jedním z důležitých údajů a je nepostradatelné i pro určování skutečných vzdáleností při odměřování z mapy či naopak při jejich vynášení do mapy.

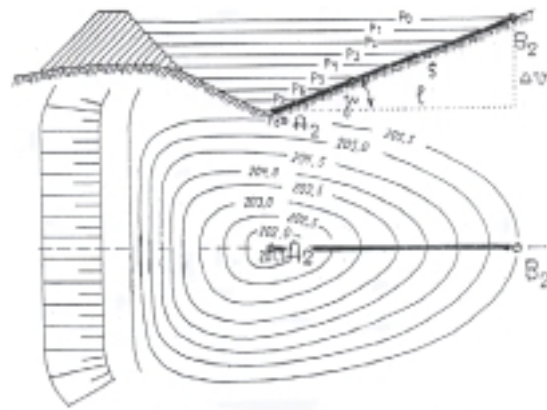
Měřítko mapy udává poměr mezi délkou změřenou na mapě a vzdáleností mezi identickými body v terénu (ve skutečnosti). Potom měřítko mapy 1:1 000 znamená, že např. délce 1 cm na mapě odpovídá 1000 cm, tj. 10 m ve skutečnosti. Nutno zdůraznit, že tento popsáný postup odpovídá zjišťování vodorovné vzdálenosti mezi dvěma body, tedy vzdálenosti bodů o stejných nadmořských výškách (stejně vrstevnici) – viz obr. č.13.

- Zjišťování **šikmé** (přímé) **vzdálenosti** mezi dvěma body A_2 a B_2 o nestejných výškových kótách.

Základem je zjištění vodorovné vzdálenosti, z které pak s ohledem na různost výškových kót bodů odvodíme pak šikmou vzdálenost. Toto je možno provést graficky či početně. V prvním případě zjistíme šikmou vzdálenost dvou bodů pomocí sklápěcího trojúhelníka (lichoběžníka). Úloha je známa z deskriptivní geometrie a je znázorněna na obr. č.14. V druhém případě šikmou vzdálenost vypočítáme z pravoúhlého trojúhelníka Pythagorovou větou: $s = \sqrt{l^2 + (\Delta v)^2}$ či pomocí goniometrické funkce $s = \frac{l}{\cos \gamma}$.



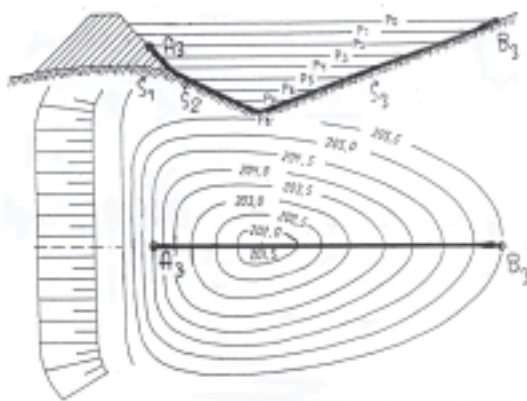
Obr. č.13



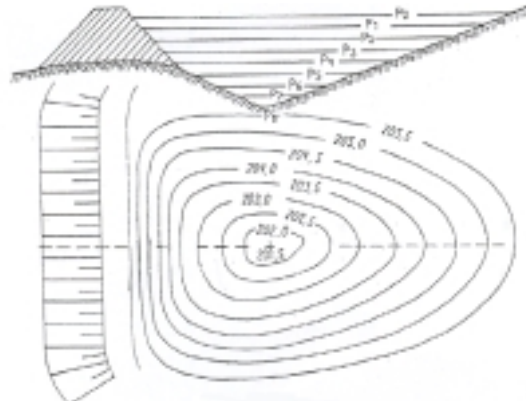
Obr. č. 14

- Zjišťování **skutečné vzdálenosti** mezi dvěma body A_3 a B_3 (tj. délky křivky po terénu mezi koncovými body A_3 a B_3). Tato úloha se řeší s ohledem na grafický podklad (mapa) opět graficky zjišťováním dílčích šikmých vzdáleností mezi body. Součet všech dílčích šikmých vzdáleností nám udává skutečnou (po povrchu terénu) vzdálenost dvou bodů – viz obr. č.15.

Reciprokou úlohou předcházející je zobrazení naměřené vodorovné délky do mapy konkrétního měřítka. Zde se jedná o opačný postup než v předcházejících případech. Máme-li do mapy 1:1 000 vynést délku 28 m postupujeme následovně. Víme, že 10 m naměřené délky v terénu se zobrazí do mapy daného měřítka úsečkou 1 cm. Chceme zjistit, jak velkou úsečkou x se zobrazí naměřená délka 28. Vycházíme ze základního vztahu $1:x=1000:2800$. Jednoduchým výpočtem zjistíme, že $x=2800:1000=2,8$ cm. Stejným způsobem bychom zjistili hodnoty pro ostatní měřítka map.



Obr. č.15



Obr. č.16

Častou úlohou bývá také výpočet ploch a objemů, a proto je zde uveden i číselný příklad tohoto typu.

Příklad: Vypočtete objem vodní nádrže, jejíž velikost a tvar je znázorněn na obr. č.16 vrstevnicemi o intervalu 0,5 m. (Velikost a tvar je znázorněn půdorysem)

Postup výpočtu je následující: Z mapy zjistíme plochu nepravidelného obrazce omezeného jednotlivými vrstevnicemi, tj. plochy vodorovných řezů, kterými jsme si nádrž rozdělili. V našem případě je celá nádrž rozdělena na 8 dílčích částí (vrstev). Plochy jednotlivých řezů v intervalu po 0,5 m jsou označeny P_0 - P_8 , viz obr. č.16 (vodorovné řezy P_0 - P_8 jsou znázorněny nárysem).

Plochy rovinných řezů zjistíme nejrychleji pomocí nitkového nebo polárního planimetru. (planimetr polární je jednoduchá mechanická pomůcka k určování plošného obsahu nepravidelných obrazců v mapě). Plochy řezů ve vodorovných rovinách jsou:

$$P_0=3240 \text{ m}^2 \quad P_1=2640 \text{ m}^2 \quad P_2=2146 \text{ m}^2 \quad P_3=1664 \text{ m}^2 \quad P_4=1368 \text{ m}^2 \\ P_5=802 \text{ m}^2 \quad P_6=524 \text{ m}^2 \quad P_7=254 \text{ m}^2 \quad P_8=0 \text{ m}^2$$

Celkový objem nádrže bude dán součtem jednotlivých částí, na které jsme si tuto nádrž vodorovnými řezy rozdělili a můžeme je vypočítat různými způsoby:

- a) objem mezi dvěma sousedními profily počítáme velmi jednoduše jako objem hranolu o podstavě rovné aritmetickému průměru ploch obou profilů o výšce $h=0,5$ m:

$$\text{Potom platí: } V_1=(P_0+P_1) h/2 \quad V_2=(P_1+P_2) h/2 \quad \dots \quad V_8=(P_7+P_8) h/2$$

$$\text{Celkový objem } V_{\text{celk}}=\text{součet } V_i=h(P_0/2+P_1+P_2+\dots+P_7+P_8/2)$$

Dosazením konkrétních hodnot dostaneme

$$V_{\text{celk}}=0,5(1620+2640+2146+1664+1368+802+524+254+0)=5509 \text{ m}^3$$

- b) objem vodní nádrže můžeme přesněji stanovit podle Simpsonova vzorce. Vytvoříme vrstvy o výškách $2h$. Dílčí vrstvě o výšce $2h$ prisoudíme objem prizmatoidu, jehož podstavu určíme z průměru horní a dolní plochy a čtyřnásobku plochy střední. Objem první dvojvrstvy podle obr. bude

$$V_{02}=2h (P_0+4P_1+P_2) /6$$

Sečtením dílčích objemů dostaneme objem celkový:

$$V_{\text{celk}}=h [P_0+P_8+4(P_1+P_3+P_5+P_7)+2(P_2+P_4+P_6)] /3$$

Z uvedeného je zřejmé, že počet vrstev abychom mohli vytvořit „dvojvrstvy“ musí být sudý. V případě lichého počtu bychom poslední vrstvu počítali jako zbytkové těleso.

Dosazením stejných hodnot jako v předchozím případě dostaneme

$$V_{\text{celk}}=\frac{0,5}{3} [3240+0+4(2640+1664+802+254)+2(2146+1368+524)]=5459 \text{ m}^3$$

2. DRUŽICOVÉ POLOHOVÉ SYSTÉMY

Historie vzniku samotných družicových systémů není dlouhá, ovšem historie, která předchází jejich vzniku je bohatá. Určit prostorové vztahy mezi body co nejpřesněji je touhou lidstva již po celá staletí. Určení těchto prostorových vztahů (navigace) byla z počátku prováděna úhlovou navigací podle přírodních těles – hvězd. Později s vynálezem radiového vysílání pomocí radiomajáku. Ještě později, prakticky však ihned po vypuštění umělých družic se začalo uvažovat o jejich využití podobně jako v minulosti těles přírodních. Tento záměr se splnil a s pomocí družic byly vyvinuty mnohem dokonalejší a bezpečnější systémy než předchozí.

První takový navigační systém v 60. letech uvedli do provozu USA pod názvem **Transit**. Tento systém byl tvořen 5 družicemi obíhajícími po oběžné dráze ve výšce 1075 km a třemi pozorovacími stanicemi ve Spojených státech amerických. Oběžná doba družic byla 107 minut. Jejich rozmístění bylo takové, aby z kteréhokoliv místa na zeměkouli byla viditelná alespoň jedna družice každých 35 – 100 minut. Toto omezení bylo zdůvodňováno požadavkem zamezit vzniku interference signálů ze dvou družic. Každá družice vysílala signál, který určoval její oběžnou dráhu a její pozici na ní v dvouminutových intervalech. Údaje o své oběžné dráze (tzv. efemeridy) dostávala družice z pozorovacích stanic každých 12 hodin. Pozorovatel pak na základě znalostí takto získaných údajů a změřeného doplerovského posunu mohl výpočtem zjistit svoji polohu (stanoviště). Postupným zdokonalováním systému a způsobu vyhodnocování bylo možno určit polohu s přesností řádově v metrech.

Hlavním zdrojem nepřesnosti tohoto systému byla nepřesnost vysílaných efemerid. Proto byla vyvinuta metoda měření, kdy jedna stanice byla umístěna na bodu o známé poloze. Z přijatých signálů byly spočítány opravy efemerid a ty pak bylo možno následně použít pro korekci výpočtů v okruhu o poloměru až 500 km. Výsledná přesnost v určení polohy bodů se tím zvýšila. I přes toto zlepšení nevýhodou zůstaly jen dvourozměrné (polohové) výsledné souřadnice a již uvedená občasná dostupnost signálu.

V roce 1972 byl zaveden systém pod označením **Timation**, který byl opět zdrojem cenných zkušeností pro pozdější projekt **GPS**.

Obdobný vývoj můžeme sledovat i v bývalém SSSR. Koncem 60. let byl zprovozněn navigační systém **Cyklon** a později další dva obdobné systémy – vojenský šestidružicový **Parus** a civilní čtyřdružicový s názvem **Cikáda**. Tyto systémy byly co do kvality ekvivalentní uvedeným americkým systémům.

V současné době se v Rusku používá novější systém pod označením **GLONASS** a Spojené státy americké zprovoznily moderní systém **GPS**. Vzhledem k tomu, že běžně dostupné jsou dnes pouze přijímače pro systém GPS, bude v dalším věnována pozornost tomuto systému. Je třeba však mít na paměti, že i systém GLONASS bude v budoucnu hrát významnou roli ve všech oblastech aplikace družicových polohových systémů. Např. EU má eminentní zájem o využívání systému GLONASS, jak z důvodů perspektivní spolupráce s Ruskem, tak i z toho důvodu, že kombinované použití GPS/GLONASS by mohlo pomoci vyřešit problémy s tzv. integritou signálů a zajistilo by větší spolehlivost celého systému. Zmíněný problém spočívá v přijetí přijímače chybného signálu nebo navigační zprávy z družic (např. dojde k chybnému dekódování parametrů potřebných pro korekci hodin družice, nebo pro výpočet její polohy). V tomto případě může přijímač GPS ukázat na svém výstupu naprosto chybnou polohu.

Z tohoto důvodu je naprosto nutné provádět tzv. testování integrity signálu. Nejčastěji se dnes hovoří o tzv. autonomním monitorování integrity přijímačem (Receiver Autonomous Integrity Monitoring – RAIM), které je založeno na skutečnosti, že i když k vlastnímu stanovení polohy je třeba sledovat čtyři družice, má přijímač možnost jich sledovat více. V tomto případě sleduje-li více družic než čtyři, lze detekovat chybný signál a vzniklou situaci signalizovat. O výhodách použití systému RAIM se hovoří právě v souvislosti s kombinovanými přijímači GPS/GLONASS, které budou mít k dispozici až 48 družic.

V roce 1973 se rozhodlo americké ministerstvo obrany (U.S. Department of Defence) vyvinout a zprovoznit nový družicový navigační systém, který by nahradil méně kvalitní již vpředu zmíněný systém TRANSIT a TIMATION. Výsledkem tohoto snažení je současný NAVSTAR GPS. Toto označení vzniklo zkratkami anglických slov NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System – Navigační určování času a vzdáleností pomocí družic Globální polohový systém. Důvody vzniku GPS z počátku byly výhradně vojenské. Později ale americký kongres rozhodl, že GPS bude zpřístupněn i civilním uživatelům, ovšem s určitými omezeními.

GPS byl vyvinut pro přesnou navigaci v reálném čase tak, aby poloha a rychlost stanice byly známy ihned po skončení měření. Polohová přesnost takto určených souřadnic je řádově v desítkách metrů, což požadavkům navigace v naprosté většině případů vyhovuje. Při použití relativních metod měření lze dosáhnout přesnosti mnohem větší až 1-2 ppm v měřené délce a to i na dlouhé vzdálenosti.

Globální polohový systém sestává ze tří částí nazývaných **segmenty**:

- kosmický segment
- řídicí segment
- uživatelský segment.

Kosmický segment je tvořen soustavou družic rozmístěných systematicky na oběžných drahách a vysílajících navigační signály. Plná konstelace GPS se skládá z 24 družic. Z tohoto počtu je 21 navigačních a 3 aktivní záložní družice, které se však od ostatních družic ničím neliší. Celý kosmický segment je navržen tak, aby v libovolném okamžiku byl z libovolného místa na Zemi možný příjem 4-8 družic s elevací větší než 15° nad obzorem. Družice obíhají kolem Země na 6 téměř kruhových drahách ve výšce 20 200 km nad zemským povrchem se sklonem k rovníku 55° a oběžnou periodou 12 hvězdných hodin (11 hodin 58'). Vypouštění nových družic se děje při selhání více jak 3 družic nebo při modernizaci systému.

Každá družice GPS je vybavena velmi přesnými atomovými hodinami, vysílačem, vlastním procesorem a řadou jiných zařízení sloužících k vojenským účelům. Pro korekci oběžné dráhy a k orientaci družice je také každá z družic vybavena setrvačnickými a vlastním pohonným systémem.

První družice vypuštěné v letech 1978-1985 patřily k tzv. bloku I. Jejich úkolem bylo zabezpečit zkušební provoz systému. V roce 1996 už žádná z družic tohoto bloku nebyla funkční. Byly nahrazeny dokonalejšími typy družic bloku II. Družice používané v současné době nesou označení blok IIa. V současné době jsou navrženy družice s některými novými konstrukčními prvky pod označením IIR, které mají nahradit předchozí typy.

Družice vysílají stabilní signály udržované atomovými rubidiovými a césiiovými hodinami o základní frekvenci 10,23 MHz. Násobením základní frekvence vznikají dvě nosné vlny L1 a L2. Družice vysílá i nosnou vlnu L3, která však slouží k vojenským účelům (např. detekce jaderných výbuchů).

Nové družice oproti původním jsou vybaveny novým typem atomových hodin o řád přesnějším než předchozí a také umožňují měření mezi družicemi navzájem a tím dochází k zlepšení tuhosti a přesnosti systému.

Řídicí systém je zodpovědný za řízení celého systému. O zabezpečení nepřetržité činnosti systému NAVSTAR GPS pečuje tzv. operační řídicí systém (Operational Control System – OCS), který se skládá z jedné hlavní řídicí stanice, pěti monitorovacích stanic a tří pozemních řídicích stanic.

Hlavní řídicí stanice se nachází v Colorado Springs. Shromažďuje měření z monitorovacích stanic, počítá efemeridy družic a parametry družicových hodin. Tyto výsledky pak předává do pozemních řídicích stanic, které je pak dále předávají přímo družicím. Tyto efemeridy slouží k navigaci v reálném čase (tzv. vysílané efemeridy). V Colorado Springs jedna z pěti monitorovacích stanic. Další jsou na ostrově Hawai (Tichý oceán), Ascension Island (jižní Atlantik), Diego Garcia (Indický oceán) a Kwajalan (Tichý oceán). Měření jsou předávána hlavní řídicí stanici. Monitorovací stanice tvoří oficiální síť pro určování vysílaných efemerid a modelování chodu družicových hodin. Výsledky jsou modulovány do družicového signálu a jsou tak dostupné pro navigaci v reálném čase. Tři z uvedených stanic, tj. Ascension Island, Diego Garcia a Kwajalan jsou zároveň tzv. pozemní řídicí stanice. Jsou vybaveny prostředky pro komunikaci se satelity a právě jim předávají efemeridy a údaje o chodu jejich hodin, které byly vypočítány v hlavní řídicí stanici. V současné době se tyto údaje předávají na družice jednou denně. Pro přesnější geodetické a geofyzikální měření jsou zpravidla požadovány přesnější dráhy než jsou aktuálně vysílané efemeridy. Od roku 1992 určuje takové vysoce přesné dráhy civilní mezinárodní GPS služba pro geodynamiku (International GPS Service for Geodynamics – IGS).

Polohy družic GPS stanic a určovaných bodů jsou vztaženy ke globálnímu celosvětovému geodetickému systému WGS-84 (World Geodetic System 1984). Počátek kartézského souřadnicového systému je v těžišti zemského tělesa. Osa Z je totožná se střední polohou rotační osy. Osa X je v rovině rovníku a směřuje do Greenwichského poledníku. Osa Y je orientována o 90° na východ.

Celý systém NAVSTAR GPS používá vlastní časovou škálu – čas GPS. Čas GPS se řídí hlavními kontrolními hodinami (Master Control Clock). S nimi jsou synchronizovány hodiny jednotlivých družic.

Existují dva základní způsoby odvozování času:

- z pohybu Země (astronomický čas)
- z kmitočtu atomů (atomový čas)

První způsob je znám od nepaměti, druhý je dílem moderní fyziky. Zdálo by se logické, že druhý způsob nahradí první. Ovšem není tomu tak z jednoduchého a prostého důvodu: atomový čas není naprosto v žádném vztahu k pohybu Země, ale jen ke vztahu k zákonitostem platným v atomové fyzice. Pro potřeby navigace je rozhodující čas vztažený k rotaci země. Atomový čas byl proto svázán s rotací Země zavedením nové časové škály tzv. univerzálního koordinovaného času (Universal Coordinated Time – UCT). Jedná se o hybridní časovou škálu, kdy přesný čas je sledován atomovými hodinami, ale je opravován tak, aby byl v souladu s astronomickým časem odvozeným od rotace Země.

Uživatelský segment tvoří všechny přijímače GPS. V současné době přijímače nejsou univerzální, ale jsou uzpůsobené oblasti využití, jako např. navigační aparatury, vojenské a civilní geodetické aparatury nebo přijímače pro časovou synchronizaci. Existuje tedy mnoho typů komerčních přijímačů vzájemně se lišících. Přijímač pro navigační účely musí bezpečně zajistit příjem signálu a jeho zpracování. Pro výpočet všech čtyř souřadnic (X Y Z a T) je zapotřebí přijímat signály alespoň ze čtyř družic.

Každý přijímač se skládá z následujících modulů:

- anténa – přijímá signály všech družic od určitého úhlu nad horizontem. Výšková maska vylučuje ve většině případů příjem signálů z družic pod menším výškovým úhlem než 15° .
- předzesilovač mající za úkol zesílit velmi slabý přijímaný signál.
- radiofrekvenční jednotka, která zpracovává přijímané signály. Podle schopnosti v daném okamžiku přijímat signál od různých družic je dělíme na jedno- či více kanálové. U jednobandových přijímačů je příjem řešen velmi rychlým přepínáním na jednotlivé družice. Vícekanálové přijímače postupně obsazují jednotlivé kanály družicemi a každý kanál si danou družici podrží až do přerušení příjmu.
- mikroprocesor, řídící celý přijímací proces a vykonává numerické operace s přijatým signálem.
- komunikační jednotka umožňující styk uživatele s přijímačem a zobrazující údaje o činnosti přijímače (displej a klávesnice).
- paměťová jednotka uchovávající všechny observované veličiny pro pozdější následné zpracování.

Pod uživatelský segment můžeme také logicky zařadit následné zpracování, tedy software pro zpracování měření GPS, který zpravidla vyhotovuje každá firma vyrábějící GPS přijímače.

Koncepce systému NAVSTAR GPS umožňuje určování polohy dvěma metodami:

- absolutní (Singel point)
- relativní (Relative position)

Absolutní určování polohy je založeno na měření pseudovzdáleností z kódových měření. Z jednoho měření (pseudovzdálenosti) jsme schopni stanovit pouze to, že přijímač se musí nacházet na kulové ploše o poloměru r_1 vypočítané vzdálenosti se středem v družici. Provedeme-li stejné měření ve vztahu k druhé družici, pak přijímač bude opět ležet na povrchu kulové plochy se středem v této druhé družici a poloměru r_2 . Průsečnice obou těchto kulových ploch je kružnice, který nám prozatím nejednoznačně určuje možnou polohu přijímače. Třetí současně změřená pseudovzdálenost r_3 nám určuje třetí kulovou plochu, kterou nám zmíněná kružnice protíná ve dvou bodech. Jeden z těchto dvou průsečíků nám určuje nyní jednoznačně hledanou polohu. První (jeden) průsečík leží daleko ve vesmíru a proto ho můžeme pro naše řešení zcela zanedbat. Druhý zmíněný průsečík nám však již jednoznačně určuje polohu stanoviště přijímače.

Z uvedeného postupu měření tj. současně na tři družice vyplývá, že takový postup je schopen teoreticky poskytnout přesnou polohu přijímače v trojrozměrném prostoru. Bohužel je to opravdu jen teoreticky. Ve skutečnosti to ta snadné není.

Prakticky, jak již bylo naznačeno, synchronizace hodin není tak dokonalá, takže je nezbytné celý postup určení polohy přijímací stanice tomu přizpůsobit.

Posun hodin na družicích oproti času GPS je známý a proto je možné dodatečně časové údaje družic synchronizovat. Přesto však ještě zůstává neznámým časový posun hodin přijímače ΔT vůči času GPS. Tento časový posun se projeví tak, že výpočty pseudovzdáleností r_1 , r_2 a r_3 nejsou správné. Nejsou správné, tedy liší se o vzdálenost, kterou urazí radiové vlny za čas ΔT . Důsledkem toho je pak ta skutečnost, že jejich průsečík není jednoznačný, jak bylo konstatováno vpředu. Místo bodu je to trojúhelník. Teprve když opravíme vypočtené vzdálenosti (poloměry) o příslušnou hodnotu $c \cdot \Delta T$ můžeme zjistit polohu přijímače jednoznačně. Z vpředu popisované situace vyplývá, že pro čtyři neznámé, tj. tři souřadnice polohy přijímače X , Y , Z a časový posun hodnot přijímače ΔT máme k dispozici pouze tři měření. Jediným řešením je provedení (přidání) ještě jednoho měření. Prakticky to tedy znamená měřit pseudovzdálenosti přijímače ke čtyřem družicím. Ze čtyř měření můžeme uvedené čtyři neznámé vypočítat. Přesnost tohoto způsobu je řádově v metrech až desítkách metrů.

Stanovení relativní polohy. GPS přijímače mohou být použity také pro stanovení relativní polohy vzhledem k pevně známému bodu. Tento postup může být aplikován jak reálném čase (při terénním měření), tak i následným zpracováním (postprocesing). Relativní stanovení polohy užívá měření založených na stanovení pseudovzdáleností, které určitým způsobem opravuje. Korekce se stanovují pomocí referenčního GPS přístroje. Tento referenční přijímač je umístěn na bod o přesně známých souřadnicích a tudíž je možné z jeho měření vypočítat chybu přijímačem stanovené polohy od polohy skutečné. Zjištěné chyby v podstatě korekce je pak možno přenést do druhého přijímače a použít je jako oprav pro jeho měření.

V závěru jsou uvedeny některé výhody a nevýhody GPS:

Výhody: pracuje bez ohledu na počasí i denní a noční dobu, měření probíhá poměrně rychle a poskytuje třírozměrné souřadnice

Nevýhody: nezbytná přímá viditelnost družice, nemožnost měření v podzemí, problémy s měřením v údolích stejně tak jako v územích s hustou zástavbou, kde může docházet k přerušování příjmu signálu z družic.

Literatura:

Kapitola 1:

1. Buršík, A.-Procházka, F.: Geodetické počítařství, Kartografické nakladatelství, Praha 1969.
2. Hojovec, V. a kol.: Kartografie, Geodetický a kartografický podnik v Praze n.p., 1987.
3. Kubečka, E.: Geodézie a důlní měřičství, VŠB Ostrava, 1992.
4. Mikšovský, M.: Kartografie, Geodetický a kartografický podnik v Praze n.p., 1987.
5. Veverka, B.: Soudobé topografické mapy České republiky, Stavební obzor 6/95.

Kapitola 2:

6. Cimbálník, M.: Vyšší geodézie 2, ČVUT Stavební fakulta Praha, 1997.
7. Drápela, Z.: NAVSTAR GPS, VUT Brno, seminární práce, 1995.

Kartografie

Doc. Ing. Miroslav Tyrner, CSc.

Vydalo Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, roku 1999.

Vytisklo Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství

1. vydání

Publikace neprošla jazykovou úpravou

ISBN: 80-86111-15-6