

8. přednáška ze stavební geodézie SGEA

Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Další geodetické metody

Globální navigační satelitní systémy (GNSS).

Princip.

Metody měření a jejich přesnost, využití.

Systemy.

Účelové mapování.

Digitální model terénu.

Určování ploch a objemů.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Globální navigační systémy jsou v povědomí veřejnosti spojeny zejména s automobilovou navigací, v dnešní době je běžně dostupná tzv. GPSka jako autonomní navigace včetně mapových podkladů, případně jako součást mobilního telefonu či tabletu. Technologicky se však jedná o systémy vytvořené v sedmdesátých letech minulého století (1973), jejichž princip je zachován a pouze se technicky vylepšuje.

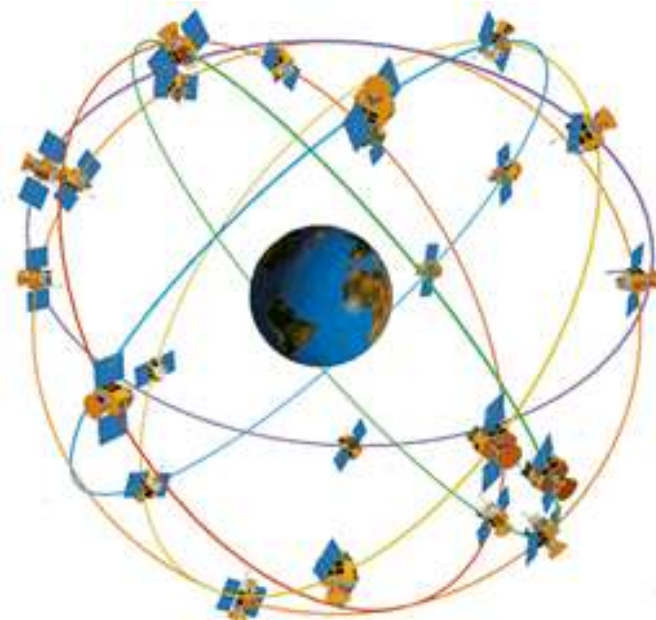
Je vhodné upozornit, že primárně byl první takovýto systém NAVSTAR GPS (viz. dále) vytvořen armádou USA pro vojenské účely jako např. navádění raket, lodí, letadel, chytrých bomb a vojáků na cíl.

Kromě uvedených aplikací se tyto systémy uplatňují při geodetických měřeních, kde zejména v poslední době mění tvář technické a inženýrské geodézie. Jako každá „nová“ a „převratná „ technologie ovšem správně funguje pouze za dodržení konkrétních podmínek, jejich dodržení je nutné zejména pro dosažení předpokládané přesnosti geodetických prací.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Základní princip GNSS

Jedná se o dálkoměrný systém, tj. družice vysílají navigační zprávu, kde uvádějí (kromě jiného) své označení, polohu a čas vyslání. Přijímač, jehož poloha je určována, musí přijmout tyto signály alespoň od čtyř různých družic. Pro každou z družic lze z rozdílu času vyslání signálu družicí a přijetí signálu přijímačem vypočítat jejich vzájemnou vzdálenost, což ve spojení se znalostí polohy družice tvoří kulovou plochu.



V průsečíku kulových ploch se nachází přijímač, resp. lze takto určit jeho souřadnice X , Y , Z . V principu by stačily tři družice, ale přijímač nemá ani zdaleka tak přesné hodiny, jak by bylo třeba a proto je nutné počítat čtvrtou neznámou – opravu hodin přijímače. Z hlediska geodetických úloh se jedná o prostorové protínání z délek. Čím více signálů družic je zachyceno, tím je výsledek přesnější.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Navigationální zpracování dat

Pro potřeby navigace se informace přijaté z družic zpracovávají tak, jak bylo uvedeno v předchozím odstavci. Běžná (absolutní) přesnost v poloze je cca 5 m – 10 m, chyby jsou však na menším území z větší části systematické a lze je snížit pomocí diferenčního měření.

DGPS (diferenční GPS, lépe by mělo být DGNSS) pracuje tak, že jeden přijímač je umístěn na bodě o známých souřadnicích a stále měří, jím určené rozdíly se jako opravy zavádějí do měření na bodech o neznámých souřadnicích. Existují v některých oblastech radiově vysílané korekce, kde tuto činnost za uživatele provádí poskytovatel (korekce WAAS, EGNOS apod.; v ČR placené CZEPOS). Takto lze přesnost zvýšit až na cca 1 m v poloze, využívá se zejména pro potřeby měření v oblasti GIS.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Geodetické zpracování dat

Zpracování měření pro potřeby geodetické je nepoměrně složitější, využívají se zde mnohé další údaje z radiových signálů. Podstatný rozdíl je, že se současně musí měřit nejméně dvěma speciálními geodetickými přístroji, alespoň jeden musí být umístěn na bodě o známých souřadnicích a vždy se určuje pouze vektor mezi známým a neznámým bodem, tj. rozdíl souřadnic.

V současné době se velmi často využívá tzv. síť referenčních stanic, která se využije místo přijímače na známém bodě, připojení k ní se provádí prostřednictvím internetu, obvykle GSM modemem v reálném čase a lze pak jak měřit, tak vytyčovat. V ČR jsou v provozu tři takové sítě a to CZEPOS (ČUZK; Leica), Trimble VRS NOW (Geotronics spol. s r.o.; Trimble) a TOPnet (GB-geodezie, spol. s r.o.; Topcon) a jejich využití je za úplatu. Výhodou je nutnost zakoupit pouze jeden geodetický přijímač.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Geodetické zpracování dat

Podle délky a způsobu měření se rozlišují různé metody, které se také liší přesností:

1. Statická metoda (3 – 5 mm)
2. Rychlá statická (5 mm – 10 mm + 1 ppm)
3. Stop and go (10 mm – 20 mm + 1 ppm)
4. Kinematická (20 mm – 30 mm + 3 ppm)
5. RTK – Real Time Kinematic (25 mm – 50 mm)

V praktické geodézii se především využívá metoda RTK v síti referenčních stanic, případně rychlá statická metoda.

Metody lze rozdělit na postprocesní (během měření se registrují data a posléze se vypočítají výsledky), které lze použít pouze pro měření, nebo realtimové, které poskytují výsledky okamžitě = v reálném čase, které lze využít pro měření i pro vytyčování.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Geodetické zpracování dat

Rychlá statická metoda

Metoda spočívá v současném kontinuálním měření dvou či více aparatur, doba měření desítky minut až jednotky hodin podle požadované přesnosti, výsledky se získávají zpracováním až po dokončení měření (tzv. postprocessing), vzdálenost do maximálně 15 km, dosažitelná přesnost podle vzdálenosti 5 mm až 10 mm + 1 ppm. Metoda postprocesní.

Metoda RTK

V základní konfiguraci se měřicí aparatura skládá z přijímače po dobu měření umístěného na bodě o známých souřadnicích, tzv. „base“, a z přijímače, který se pohybuje po určovaných nebo vytyčovaných bodech, tzv. „rover“. Měření je počítáno v reálném čase, mezi base a rover musí být permanentní datové spojení realizované např. radiomodemy nebo trvalým připojením na internet prostřednictvím GSM.

Base může být nahrazen sítí virtuálních stanic, pak měření probíhá pouze s jedním přijímačem s trvalým připojením na internet k poskytovateli korekcí. Toto řešení je v současné době jednoznačně nejpoužívanější.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

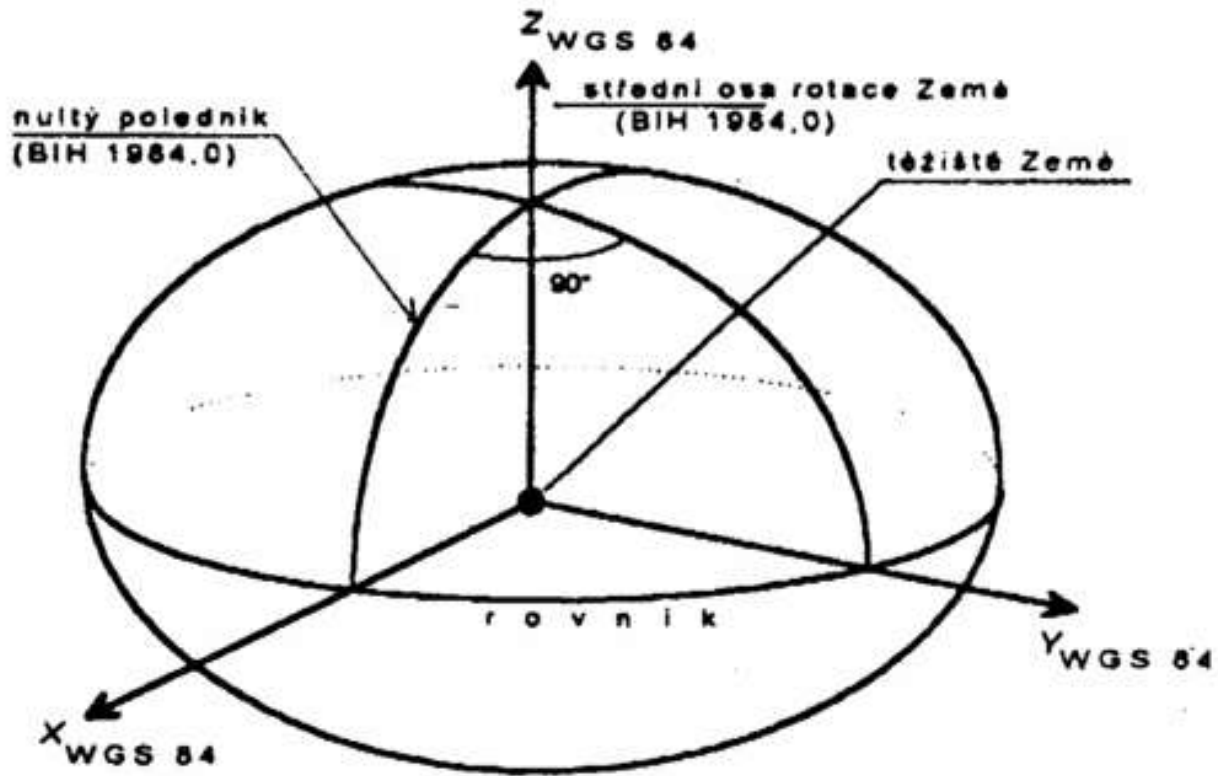
Geodetické zpracování dat

Souřadnicové systémy

Každý GNSS funguje ve „svém“ souřadnicovém systému, např. GPS v geocentrickém WGS-84, a tedy veškeré výsledky zpracování jsou v tomto souřadnicovém systému. Pro běžné použití jsou však potřeba souřadnice v jiném systému, v geodézii obvykle v S-JTSK a Bpv, proto je třeba výsledky měření z GNSS vždy převést z „jeho“ systému do cílového systému transformací, v ČR je Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČUZK) dán závazný postup (včetně rovnic a konstant), jak transformaci provést. V současné době programy obsažené v kontroleru přijímače nebo programy pro zpracování po měření (pokud jsou zakoupeny v ČR) mívají tuto transformaci vestavěnou.

WGS-84

Schéma geocentrického souřadného systému WGS84



Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Struktura systému GNSS

System se skládá ze tří částí:

- Kosmický segment
- Řídící segment
- Uživatelský segment

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Struktura systému GNSS - Kosmický segment (GPS NAVSTAR)

Kosmický segment je tvořen družicemi, původně 24, nyní až 32. Družice obíhají ve výšce 20 200 km nad povrchem Země na 6 kruhových drahách se sklonem 55° . Dráhy jsou vzájemně posunuty o 60° a na každé dráze jsou původně 4 pravidelně, nyní 5-6 nepravidelně rozmístěné pozice pro družice. Družice váží asi 1,8 tuny a na střední oběžné dráze (MEO, Medium Earth Orbit) se pohybuje rychlostí 3,8 km/s, s dobou oběhu kolem Země 11h 58min (polovina siderického dne).

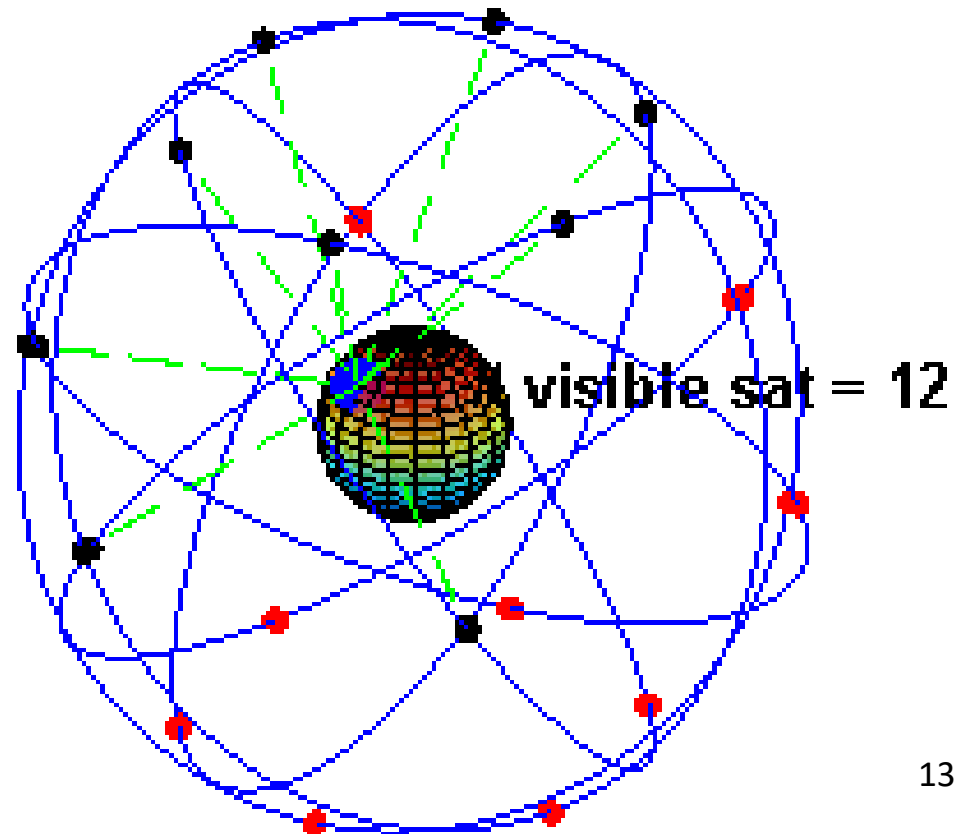
Družice obsahuje 3 až 4 velmi přesné atomové hodiny, antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi, optické, rentgenové a pulzní-elektromagnetické detektory, senzory pro detekci startů balistických raket a jaderných výbuchů, solární panely a baterie jako zdroj energie. Družice jsou několikrát do roka, obvykle plánovaně, odstaveny pro údržbu atomových hodin a korekci dráhy družice.

Rozmístění družic je navrženo tak, aby z každého místa na Zemi byl vidět jejich dostatečný počet pro určení polohy. V České republice je nejčtetnější viditelnost 8 družic.

Struktura systému GNSS - Kosmický segment (GPS NAVSTAR)



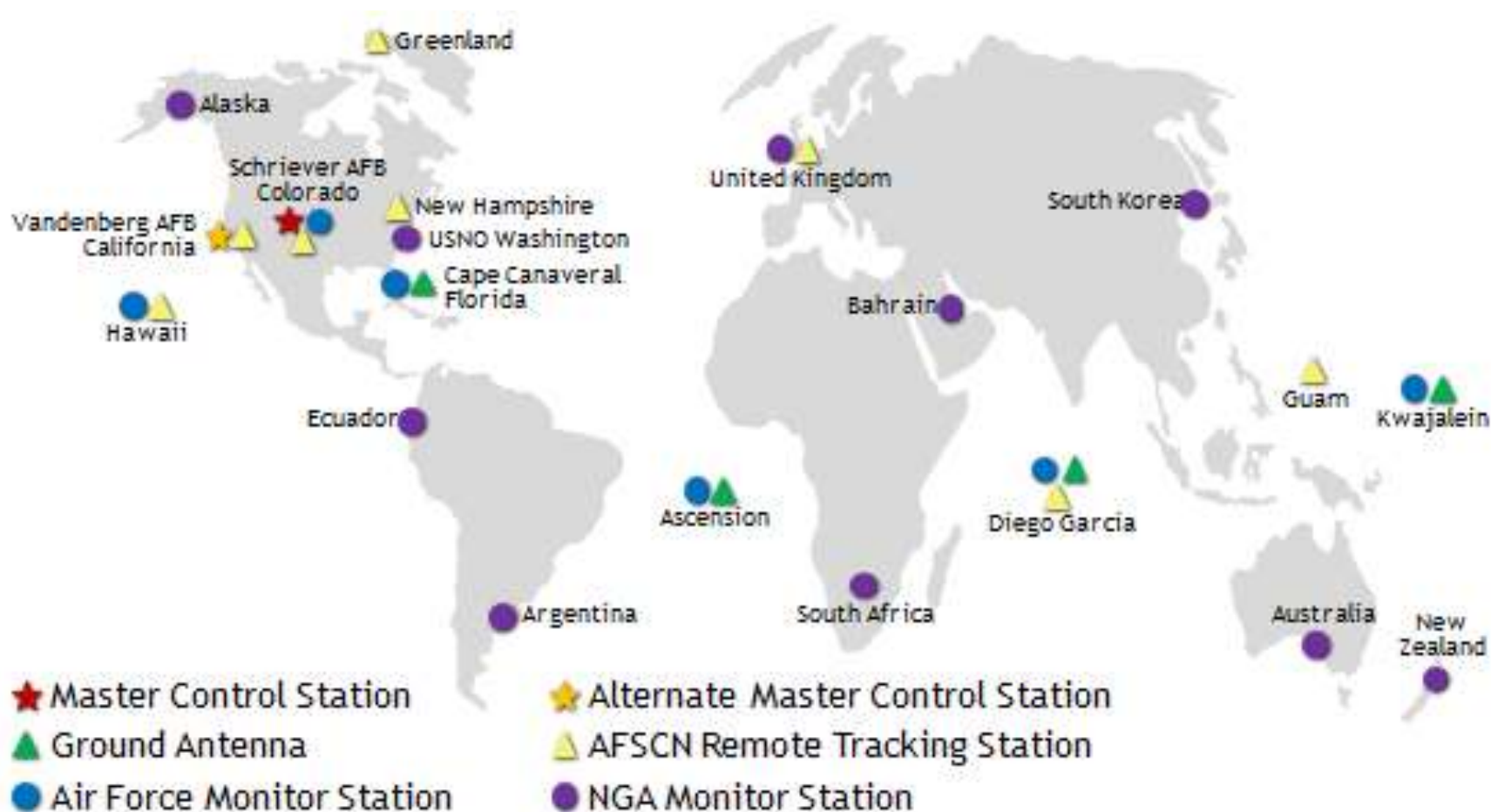
Znázornění změn poloh družic a jejich viditelnosti z konkrétního místa na Zemi (wikipedie)



Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Struktura systému GNSS - Řídící segment

Je tvořen sítí pozemních řídicích center. Monitoruje kosmický segment, zasílá povely družicím, provádí jejich manévry a údržbu atomových hodin.



Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Struktura systému GNSS - Uživatelský segment

Uživatelé pomocí GNSS přijímače přijímají signály z jednotlivých družic, které jsou v danou chvíli nad obzorem. Na základě přijatých dat (časových značek z jednotlivých družic a znalosti jejich polohy) a předem definovaných parametrů přijímač vypočítá polohu antény, nadmořskou výšku a zobrazí přesné datum a čas (GNSS čas!). Komunikace probíhá pouze od družic k uživateli, GNSS přijímač je tedy pasivní.

Geodetický GNSS přijímač se skládá z antény, přijímače a kontroleru (počítač pro nastavení, spuštění a ovládání měření, při měření v reálném čase také k registraci dat) v mnoha variacích a kombinacích uspořádání. V České republice se v současné době využívají přístroje přijímající signál ze systémů GPS, GLONASS, (Galileo a Compass).

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Struktura systému GNSS - Uživatelský segment



Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Struktura systému GNSS - Uživatelský segment



Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Struktura systému GNSS - Uživatelský segment



Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Ve světě jsou tyto systémy GNSS:

americký GPS NAVSTAR (navržen na 24 satelitů, nyní 30 satelitů)

ruský GLONASS (27 satelitů)

evropský GALILEO (26 satelitů – plánováno 30)

čínský BeiDou-3 (COMPASS) (18 satelitů – plánováno 35 satelitů)

Dále existují regionální navigační systémy, které doplňují již stávající GNSS:

japonský QZSS (4 satelity) a indický IRNSS (7 satelitů)

Existence vícero GNSS má pro uživatele řadu výhod. Mezi největší lze řadit dostatečný počet viditelných satelitů v každém okamžiku.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

GPS NAVSTAR

Global Positioning System, zkráceně GPS, je vojenský globální družicový polohový systém provozovaný Ministerstvem obrany USA.

Původní název systému je NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System), vývoj byl zahájen v roce 1973 sloučením dvou projektů určených pro určování polohy System 621B (USAF) a pro přesné určování času Timation (US Navy). Mezi léty 1974–1979 byly prováděny testy na pozemních stanicích a byl zkonstruován experimentální přijímač. Od roku 1978–1985 začalo vypouštění 11 vývojových družic bloku I (dnes blok IIF). V roce 1979 byl rozšířen původní návrh z nedostačujících 18 na 24 družic. Od roku 1980 začalo vypouštění družic se senzory pro detekci jaderných výbuchů jako výsledek dohod o zákazu jaderných testů mezi USA a SSSR.

Počáteční operační dostupnost byla vyhlášena 8. prosince 1993, plná operační dostupnost pak 17. ledna 1994, kdy byla na orbitu umístěna kompletní sestava 24 družic.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

GLONASS

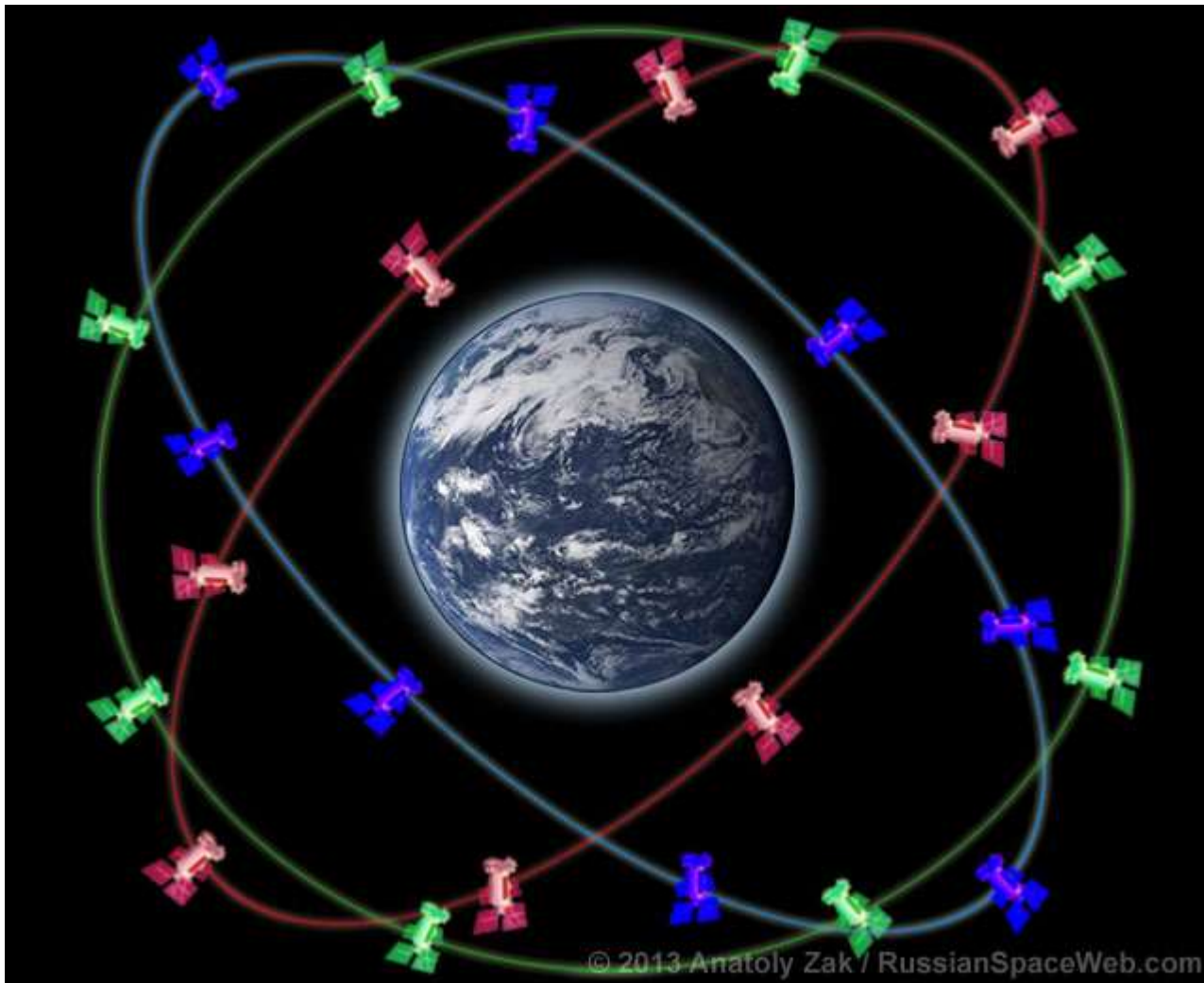
(Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistěma) je globální družicový polohový systém (GNSS) vyvinutý v SSSR a provozovaný armádou.

Vývoj GLONASS byl zahájen v roce 1970, který byl v roce 1976 přijat, a první testovací družice byla vypuštěna v roce 1982. V letech 1996-2001 byla kosmická část systému GLONASS v úpadku. Od roku 2001 (do 2012) je prováděno jeho znovuoobnovení do plného operačního stavu. Kosmický segment je projektován na 24 družic, které obíhají ve výšce 19 100 km nad povrchem Země na 3 kruhových drahách se sklonem 65° . Dráhy jsou vzájemně posunuty o 120° a na každé dráze je 8 symetrických pozic pro družice po 45° . Dnes používané družice Uragan-M váží asi 1,4 tuny a na střední oběžné dráze se pohybuje rychlostí 3,9 km/s, s dobou oběhu kolem Země 11h 15min.

Pozemní segment se téměř celý nachází na území Ruské federace, od 18. května 2007 výnos o bezplatném uvolnění systému GLONASS pro nevojenské použití.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Konstelace satelitů Glonass



Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Galileo

Navigační systém Galileo je plánovaný evropský autonomní globální družicový polohový systém. Jeho výstavbu zajišťují státy Evropské unie.

Původní plány sahají do roku 1999, kdy byl plánován jako veřejný projekt financovaný soukromými investory, od tohoto finančního modelu však investoři odstoupili. Proto se projekt hradí z rozpočtu EU. V roce 2005 byla do vesmíru vyslána první technologická navigační družice pro testování komponent tohoto systému, druhá družice byla vynesena na oběžnou dráhu v roce 2008, v současnosti je na oběžných drahách umístěno 26 satelitů.

Kosmický segment systému má být tvořen 30 operačními družicemi (27+3), obíhajícími ve výšce přibližně 23 tisíc kilometrů nad povrchem Země po drahách se sklonem 56° k zemskému rovníku ve třech rovinách, vzájemně vůči sobě posunutých o 120° . Každá dráha bude mít 9 pozic pro družice a 1 pozici jako zálohu, aby systém mohl být při selhání družice rychle doplněn na plný počet.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Konstelace satelitů Galileo



Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Konstelace satelitů GPS, Galileo a Glonass



GPS

- 6 Orbital planes
- 24 Satellites + Spare
- 55° Inclination Angle
- Altitude 20,200km



Galileo

- 3 Orbital planes
- 27 Satellites + 3 Spares
- 56° Inclination Angle
- Altitude 23,616km



GLONASS

- 3 Orbital planes
- 21 Satellites + 3 Spares
- 64.8° Inclination Angle
- Altitude 19,100km

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Compass - BeiDou Navigation Satellite System - BDS-3

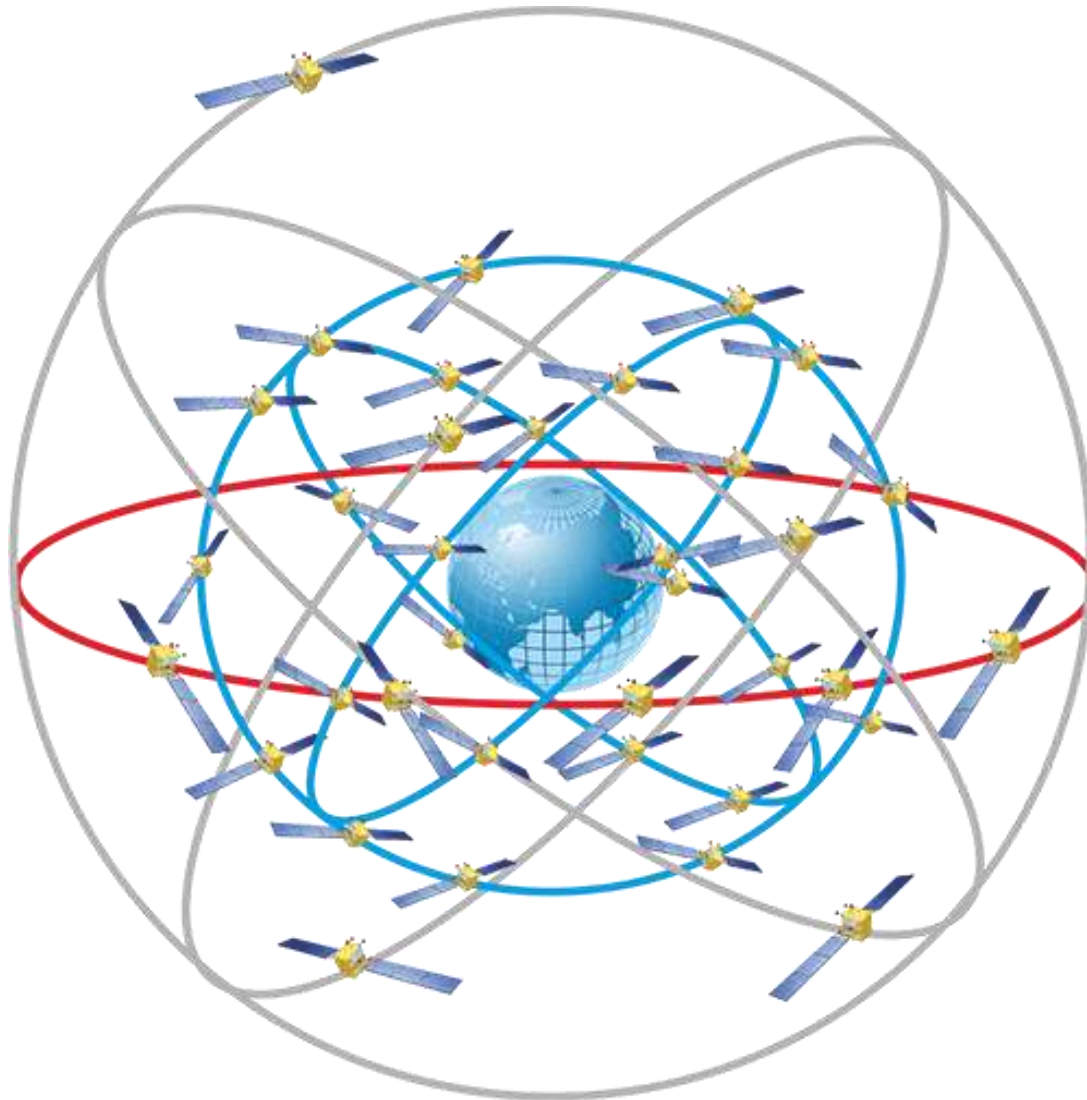
Compass, známý také jako Beidou-3 je globální družicový polohový systém provozovaný Čínou. Compass má sestávat z celkem 35 družic. 27 z nich je (podobně jako u GPS a Galileo) situováno na středním zemském orbitu, 5 na geostacionární dráze a 3 na geosynchronní dráze. V současnosti je na oběžné dráze 18 satelitů systému BDS-3 a 15 satelitů systému BDS-2.

Další lokální systémy

V současné době existují dva regionální systémy (Indie – Indian Regional Navigational Satellite System; Japonsko - Quasi-Zenith), které jsou však jen místním systémem nebo dokonce doplňkem globálního systému, z hlediska geodetických měření v ČR či střední Evropě nemají žádný význam.

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Konstelace satelitů BeiDou-3



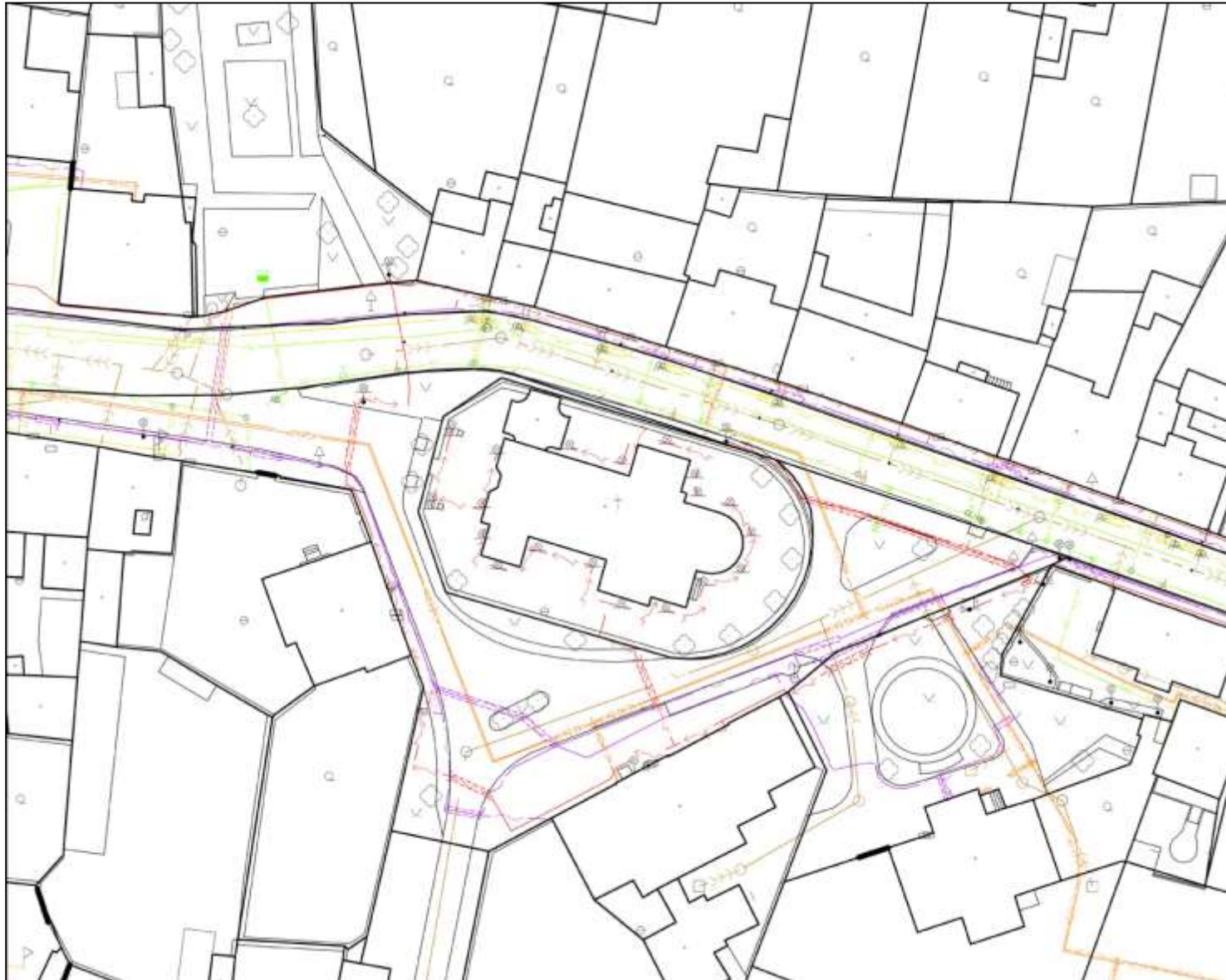
Účelové mapování

Účelové mapy jsou mapy se speciálním obsahem. Kromě základních údajů (hranice parcel, budovy, silnice, železnice, vodní toky...) obsahují ještě doplňující údaje (např. železniční účelová mapa obsahuje navíc údaje potřebné pro provoz železnic – zákres železničního tělesa, zákres příkopů, kolejiště, traťových a staničních železničních zařízení, návěstidel,...).

V současnosti jsou často vedeny digitální podobě. Jsou v měřítkách 1:200 (ZMZ – základní mapa závodu) až 1:5000 (lesnické mapy) podle účelu mapy. Obsah účelové mapy lze rozdělit na část polohopisnou, výškopisnou a popis mapy.

Účelové mapy se využívají pro plánování, projektování, provoz, evidenci a dokumentaci.

Ukázka technické mapy města (Praha)



Metody měření pro účelové mapování

GNSS měření

Prostorová polární metoda

GNSS měření

Poloha a výška bodů je určována GNSS přijímačem.

Odpadá nutnost budování bodového pole.

Výhodou je vysoká přesnost a velký dosah (přes 1 km).

Ne vždy je k dispozici GNSS signál.

Prostorová polární metoda

Základní metoda pro tvorbu účelových map.

V mapovaném prostoru je potřeba mít vybudovanou síť bodů.

Pro určení souřadnic těchto bodů jsou používané metody uvedené v druhé přednášce (polygonové pořady, protínání z úhlů a délek, volné stanovisko,...) a GNSS měření.

Princip metody je měření šikmé vzdálenosti, vodorovného úhlu ω (pro určení směrníku) a zenitového úhlu od známého bodu (stanoviska) na určovaný bod.

Elektronická tachymetrie

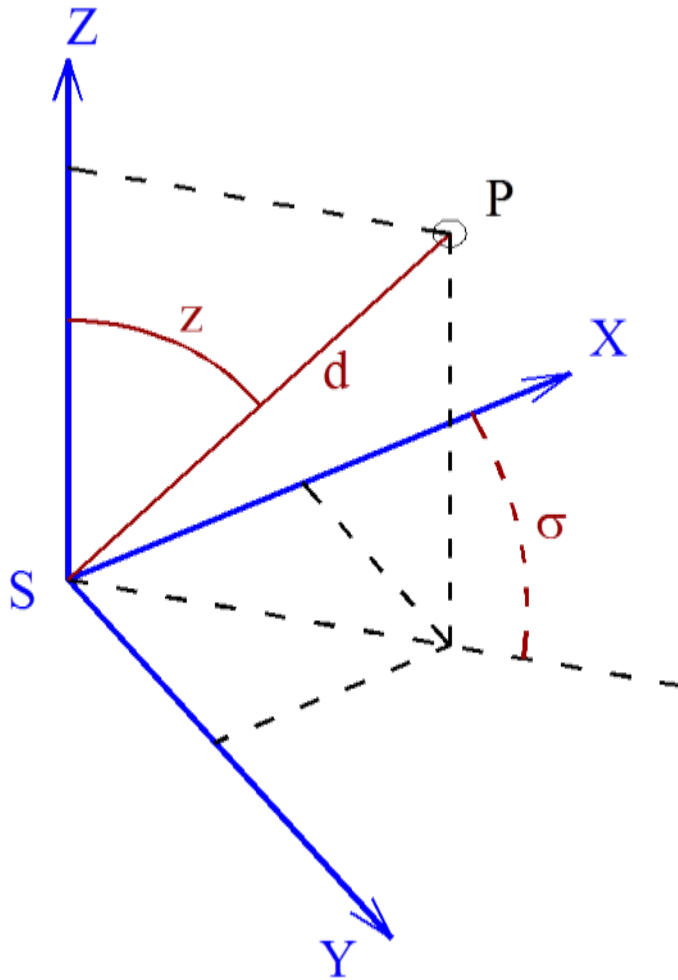
V současnosti nejpoužívanější.

Totální stanice umožňuje měření, registraci a zpracování měření (výpočet Y, X, Z).

Délka je měřena na odrazný hranol.

Výhodou je vysoká přesnost a velký dosah (stovky metrů) → nižší hustota bodů měřické sítě.

Prostorová polární metoda



Rovnice pro výpočet souřadnicových rozdílů mezi bodem měření S a určeným bodem P:

$$\Delta x = s \cdot \cos \sigma = d \cdot \sin z \cdot \cos \sigma$$

$$\Delta y = s \cdot \sin \sigma = d \cdot \sin z \cdot \sin \sigma$$

$$\Delta z = d \cdot \cos z$$

s...vodorovná délka

d...šikmá délka

Směrník σ nelze měřit přímo, určuje se zprostředkovaně.

Prostorová polární metoda

Poloha bodu (souřadnice Y, X)

Měří se vodorovný úhel od dalšího známého bodu O = orientace. Ze směrníku σ_{SO} (vypočte se ze známých souřadnic) a měřeného vodorovného úhlu ω se vypočítá směrník σ_{SP} . V obrázku je délka značena s_{SP} a je již přepočtena na vodorovnou $s_{SP} = d_{SP} \cdot \sin(z)$.

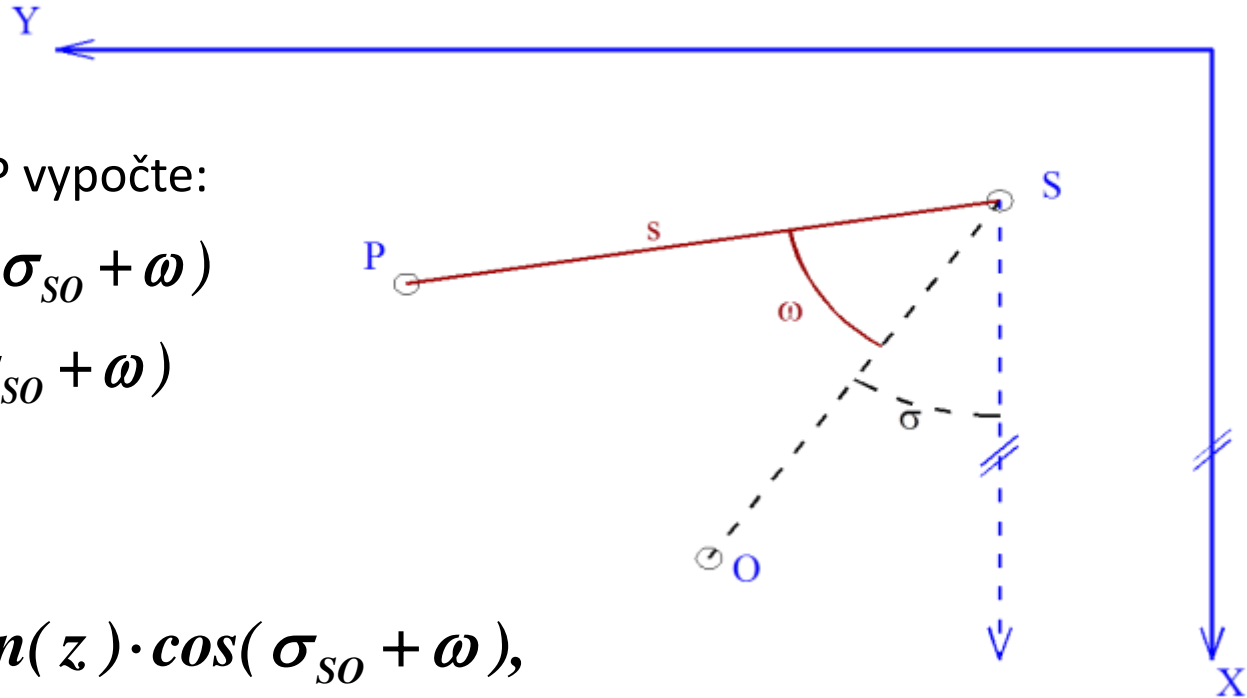
Potom se poloha bodu P vypočte:

$$X_P = X_S + s_{SP} \cdot \cos(\sigma_{SO} + \omega)$$

$$Y_P = Y_S + s_{SP} \cdot \sin(\sigma_{SO} + \omega)$$

$$X_P = X_S + d_{SP} \cdot \sin(z) \cdot \cos(\sigma_{SO} + \omega),$$

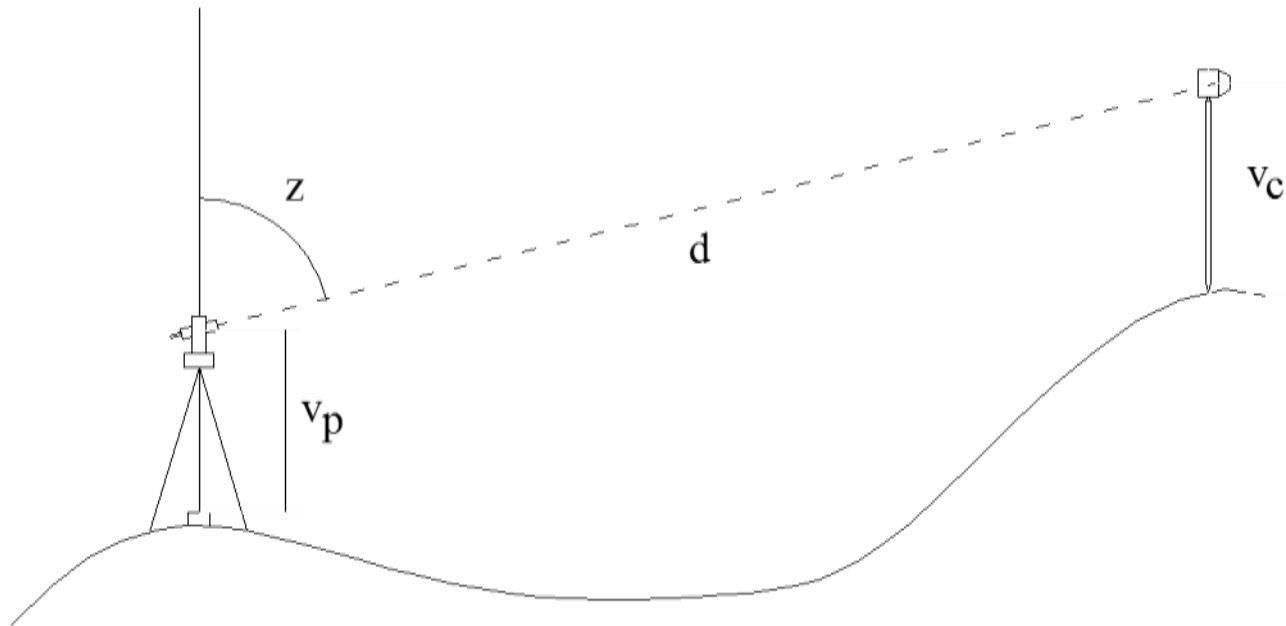
$$Y_P = Y_S + d_{SP} \cdot \sin(z) \cdot \sin(\sigma_{SO} + \omega).$$



Prostorová polární metoda

Výška bodu P (souřadnice Z (H)):

K měřeným veličinám d , ω a z přibývá ještě nutnost určit výšku přístroje v_p a výšku cíle v_c , protože přístroj i cíl obvykle stojí nad bodem.



$$Z_P = Z_S + v_P + d \cdot \cos(z) - v_C$$

Záznam měřených dat - zápisník

Číslo stanoviska

Číslo orientace a měřený úhel na orientaci

Výšku přístroje nad bodem v_p

Pro jednotlivé měřené body

Číslo bodu

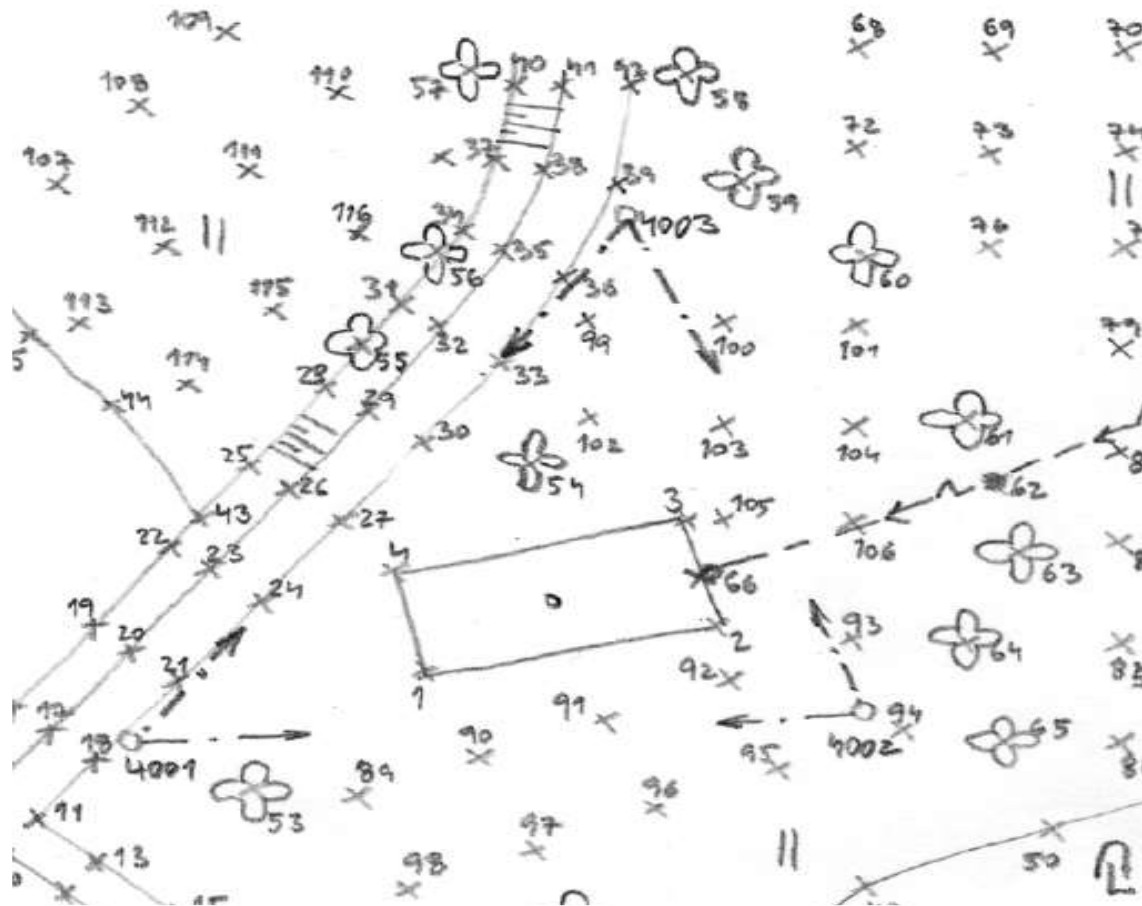
Výšku cíle v_c

Měřené hodnoty d , ω , z

Zápisník nejlépe formou tabulky, u totálních stanic možnost registrace údajů na paměťovou kartu (různé formáty dat) .

Záznam měřených dat - náčrt

Zobrazuje situaci, stanoviska, orientace, měřené body a pokud se měří i výškopis, výškově charakterizuje terén.



Obecný postup měření a zpracování

Postup prací:

1. Rekognoskace terénu, měřická četa
2. Tvorba měřické sítě
3. Postup měření
 1. Práce na stanovisku
 2. Volba podrobných bodů
 3. Měřický náčrt
4. Tvorba tachymetrického plánu
5. Kontrola kvality

Rekognoskace terénu

Prohlídka terénu, zjišťování stavu skutečnosti na místě.

Měřická četa

3 členové: vedoucí (náčrtář), měřič, figurant

2 členové: vedoucí (náčrtář a figurant), měřič

1 člen: vedoucí, figurant a měřič v jedné osobě, musí mít k dispozici robotizovanou totální stanici, tzv. „One Man Station“

Tvorba měřické sítě (sít' stanovisek)

Měřická sít', kostra, která slouží k polohovému a výškovému připojení podrobného měření. Buduje se před měřením nebo v jeho průběhu. Při měření se používají různé geodetické metody: polygonové pořady, protínání, GNSS, ...

Postup měření

Práce na stanovisku

Připravení přístroje k měření

- Centrace a horizontace přístroje na bodě měřické sítě
- Určení výšky přístroje a nastavení teploty a tlaku pro měření délek v TS
- Měření orientace na sousední bod měřické sítě, je-li možné, kontrola na jiný bod sítě
- Systematický postup měření dle pokynů vedoucího a náčrtu, v průběhu měření kontrola souladu číslování podrobných bodů v zápisníku a v náčrtu
- Měření na stanovisku se uzavírá kontrolním měřením orientace (při dlouhém měření i v průběhu)
- Měří se v jedné poloze dalekohledu (orientace ve dvou)

Volba podrobných bodů

Podrobné body se volí tak, aby vystihovaly průběh terénu a zároveň zahrnovaly všechny body polohopisu (všechny objekty dle požadavku odběratele). Pro výškopis to značí vždy měřit body na hranách a zlomech (meze příkopy, úvozy, náspy), na tvarových čarách (hřbetnice, údolnice), body nejnižší a nejvyšší. Zpravidla se při měření postupuje v profilech, tyto se volí ve směru největšího spádu (nejvhodnější pro interpolaci vrstevnic) ve vhodné rozestupu; nebo ve směru vrstevnice (nejméně namáhavé). Význačné body terénu se zaměřují vždy, v terénu, kde jich není dostatek se doplňují pravidelnou sítí tak, aby vzdálenost bodů byla v cílovém měřítku zobrazení max. 25 mm.

Měřický náčrt

Vede se průběžně, zaznamenávají se poloha, číslo a význam bodu (u polohopisných bodů). Na rozdíl od starších dob není třeba náčrt v poli rýsovat, postačí pečlivá přehledná kresba.

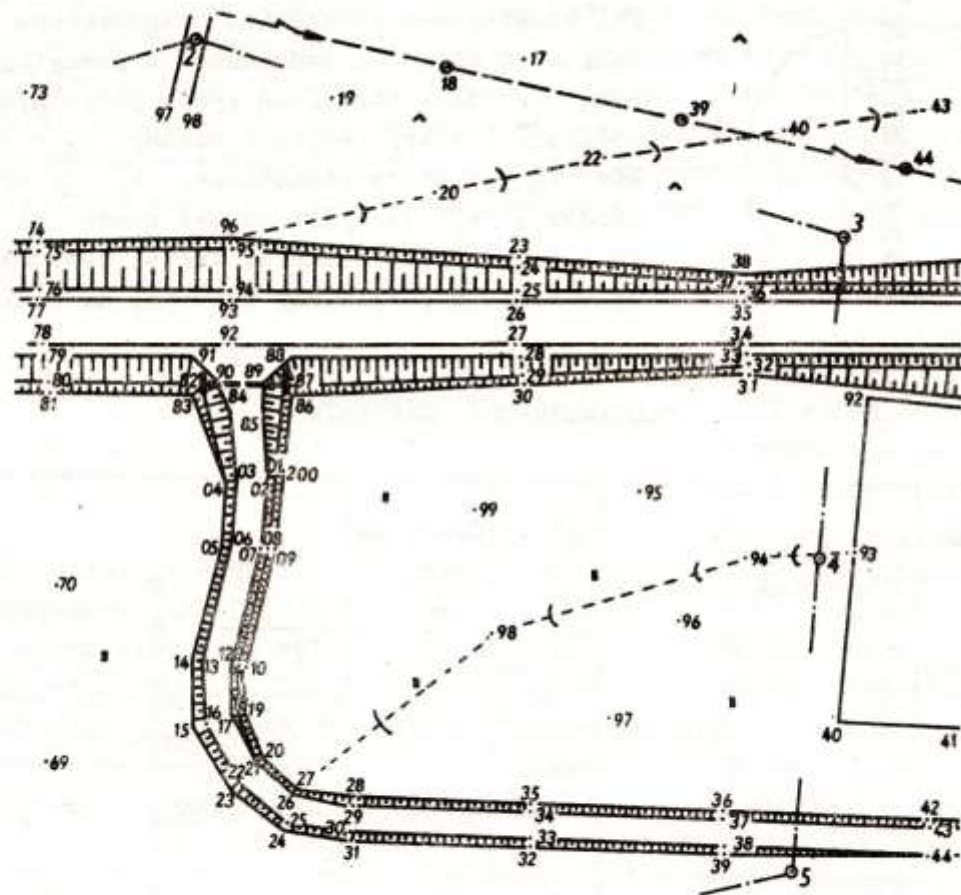
Před tvorbou náčrtu je třeba zhodnotit terén, nakreslit situaci a naplánovat postup měření tak, aby se při samotném měření chaoticky nepřecházelo. Do náčrtu je třeba zaznamenat VŠE, měření může zpracovávat někdo jiný, může být zpracováno později.

Měřený prostor se generalizuje – zjednodušuje, nevýznamné a malé prvky se neměří (grafická přesnost mapy se uvádí 0,2 mm; tj. v měřítku 1:1000 to je 0,2 m).

Zaznamenávají se:

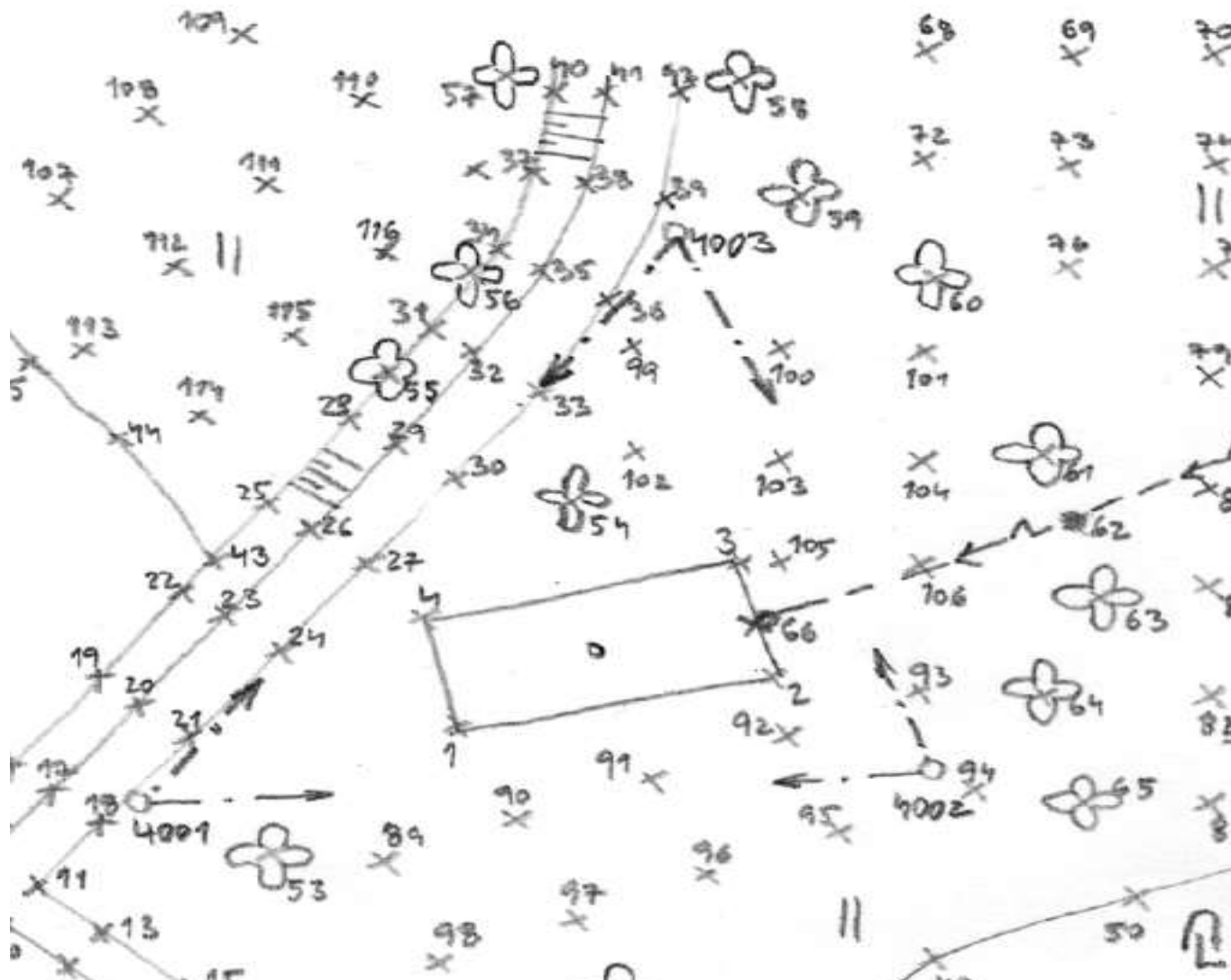
- Body polohopisu a kresba polohopisu včetně značek,
- Body výškopisu,
- Průběh terénních čar,
- Druhy pozemků.

Měřický náčrt

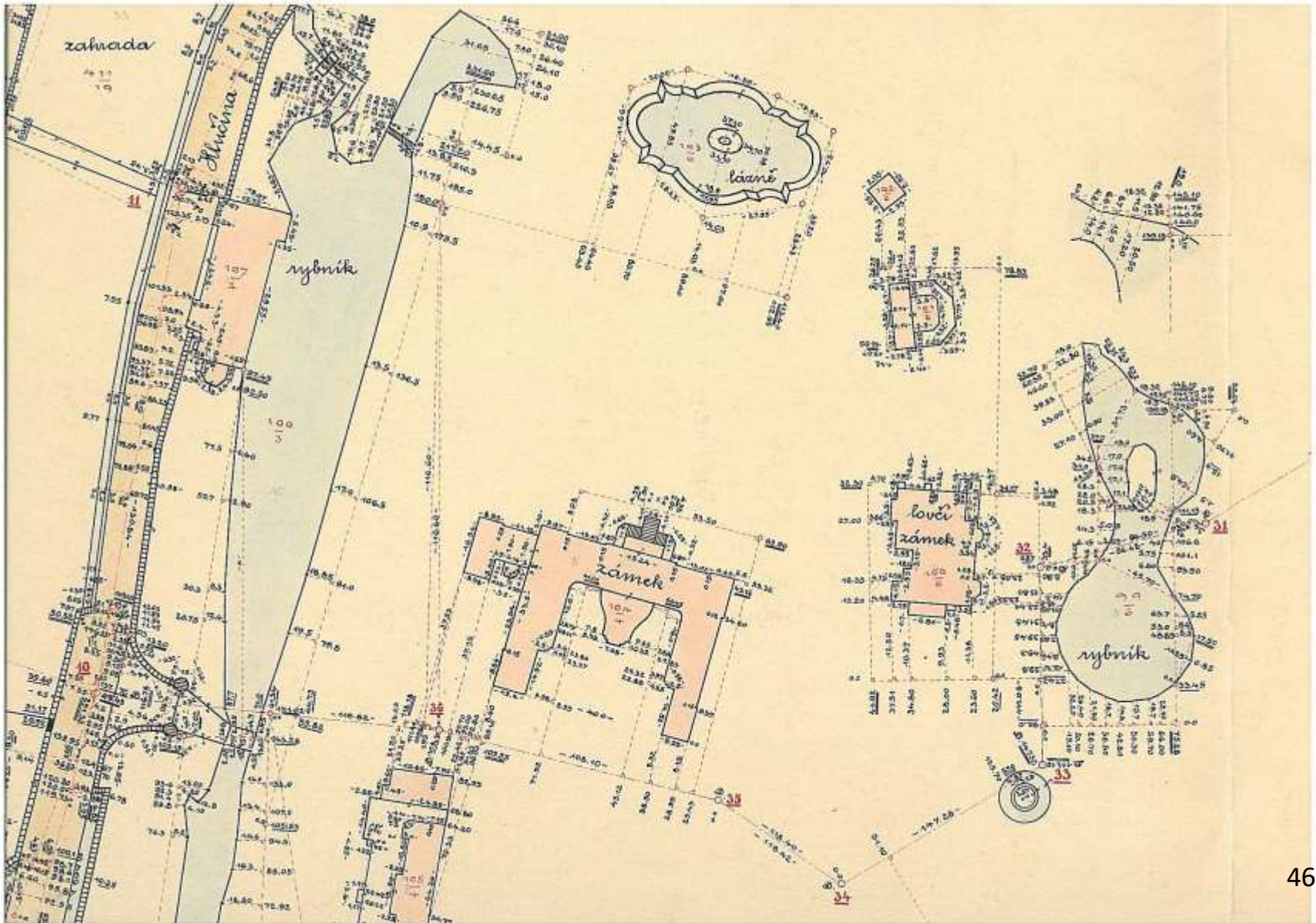


Obr. 9.9

Měřický náčrt



Historický polní náčrt



Tvorba tachymetrického plánu

Výpočet zápisníku.

Zobrazení souřadnicové sítě.

Zobrazení stanovisek.

Zobrazení podrobných bodů.

Vyznačení výšek podrobných bodů.

Vykreslení polohopisu.

Konstrukce a číslování vrstevnic.

Mapové značky a popis.

Výtah výkresu.

Vrstevnice

Křivka spojující na mapě body se stejnou, předem určenou nadmořskou výškou.

Výškový rozdíl mezi dvěma sousedními vrstevnicemi se nazývá základní interval vrstevnic. Volí se s ohledem na měřítko mapy a její účel.

Druhy vrstevnic:

Základní vrstevnice – dělitelná základním intervalem, tenká linie

Zdůrazněná (hlavní, zesílená) vrstevnice – dělitelná násobkem (obvykle pětinasobkem) základního intervalu, silná linie

Doplňková vrstevnice – obvykle v polovičním nebo čtvrtinovém základním intervalu, tenká přerušovaná linie

Barva vrstevnic je hnědá

Vrstevnice

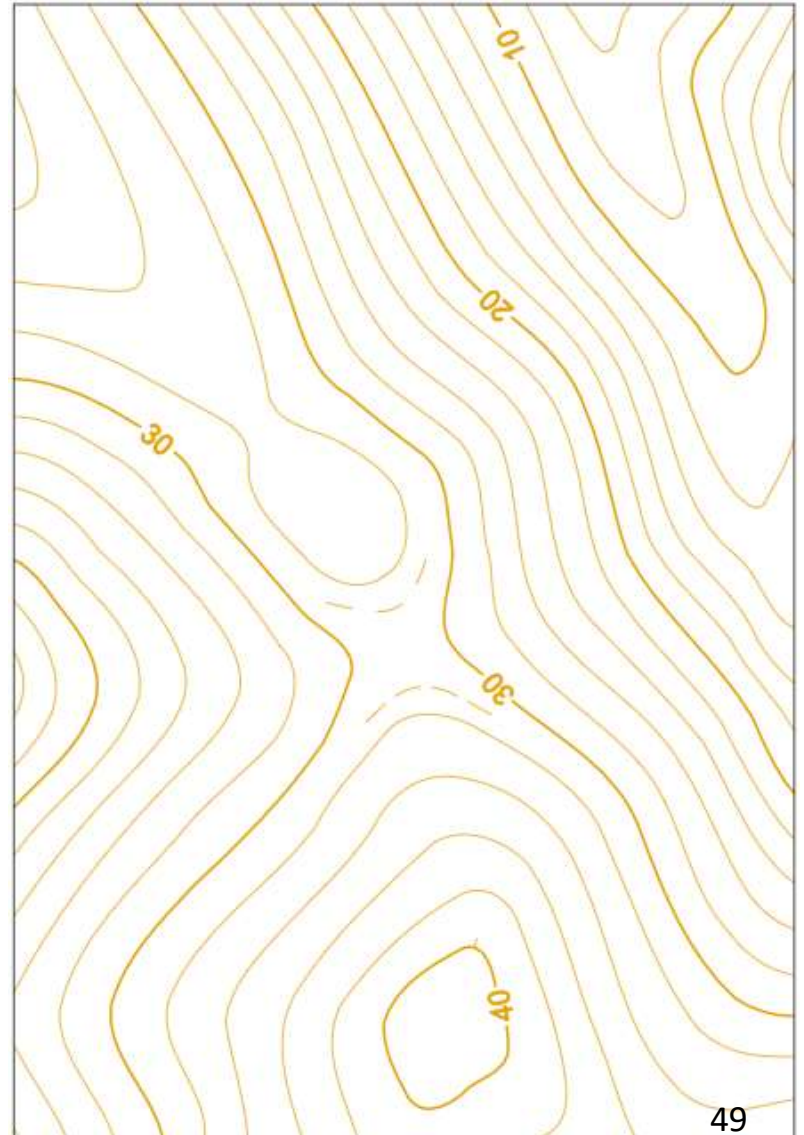
Základní vrstevnice síla cca 0,1 mm

Hlavní vrstevnice síla cca 0,3 mm

Velikost písma číslování 2 až 3 mm

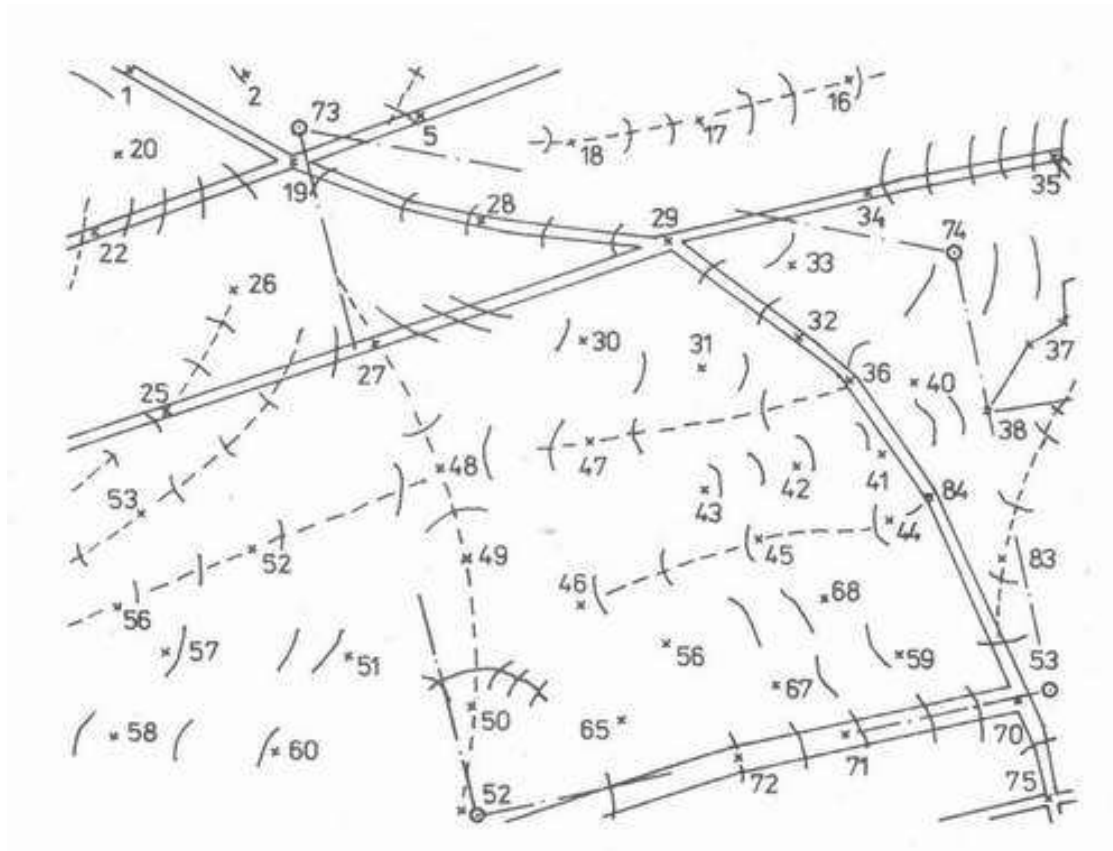
Vrstevnice jsou nepravidelně číslovány svou výškou tak, aby bylo snadné zjistit jejich výšku v libovolné partii mapy.

Písmo je orientováno ve směru stoupání.



Měření výškopisu

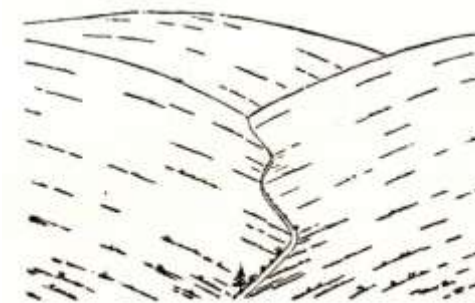
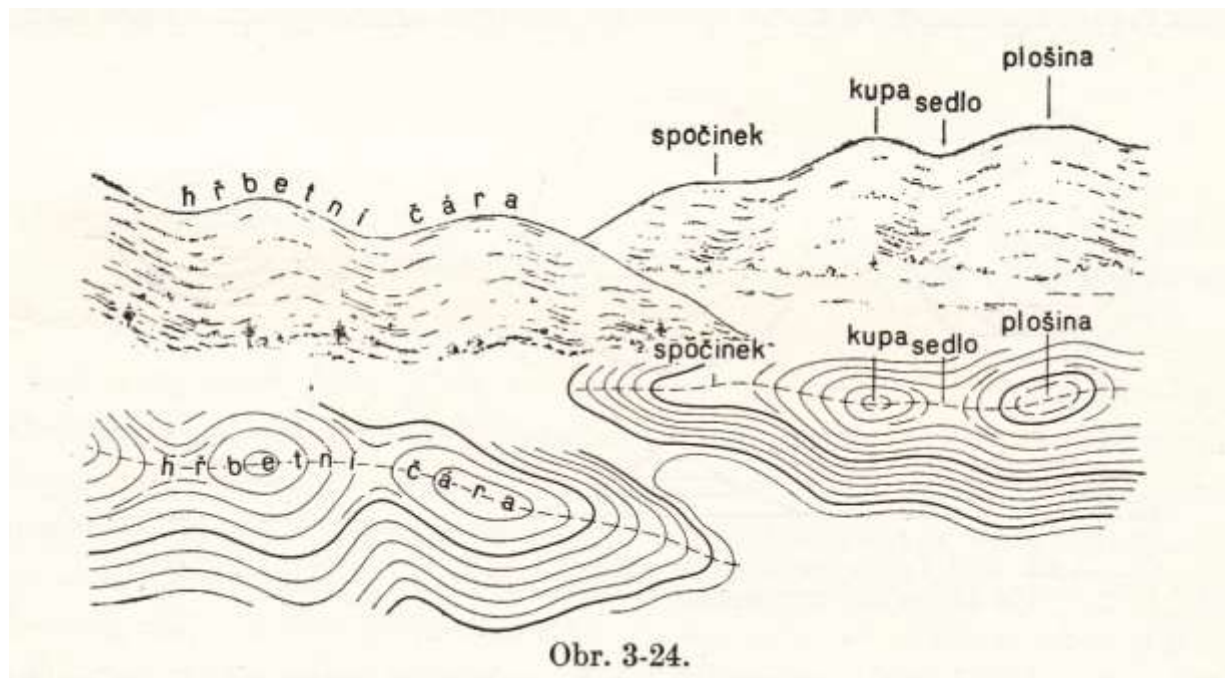
Volí se body na terénní kostře (hřbetnice, údolnice, vrcholy, sedla) a body doplňující, které slouží pro znázornění vrstevnic. Měří se v profilech, nejlépe ve směru největšího spádu. V plochém terénu se body volí v čtvercové síti. Rozestup bodů se řídí členitostí terénu a měřítkem zobrazení.



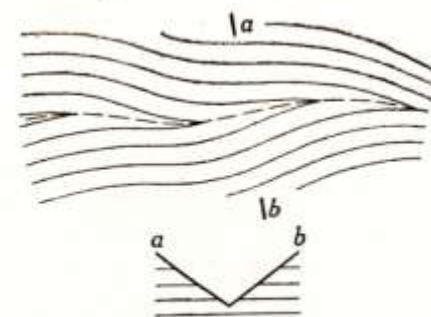
Charakteristické výškopisné křivky terénu:

- **Hřbetnice** (čára styku dvou přilehlých svahů téhož hřbetu; spojuje relativně nejvyšší body terénního tvaru a proto je rozvodnicí; má ze všech spádnic na ploše hřbetu nejmenší sklon),
- **Údolnice** (čára sledující místa největšího vhloubení údolního terénního tvaru; má ze všech spádnic tohoto terénního tvaru nejmenší sklon),
- **Úpatnice** (čára styku dvou různě skloněných dílčích ploch na rozhraní úbočí a údolí, svírajících spolu zpravidla tupý úhel),
- **Spádnice** (myšlená čára probíhající ve směru největšího sklonu plochy, kolmo k vrstevnicím).

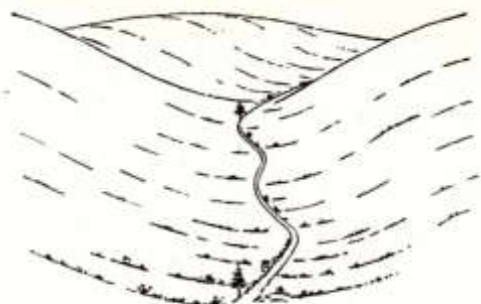
Charakteristické křivky terénu



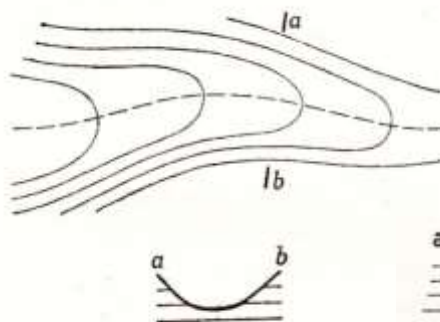
Obr. 3-57. Údolní zářez



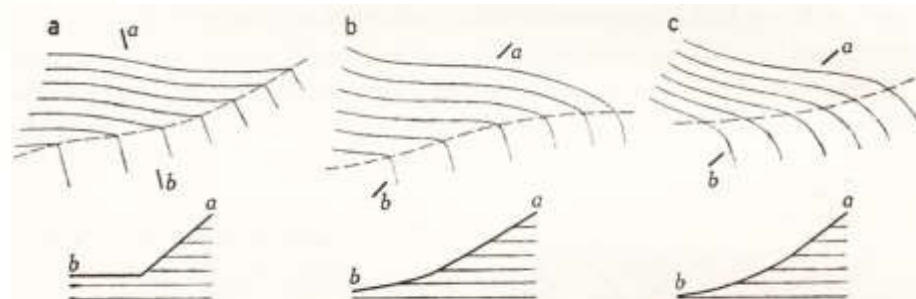
Obr. 3-58. Údolní zářez



Obr. 3-55. Úžlabina



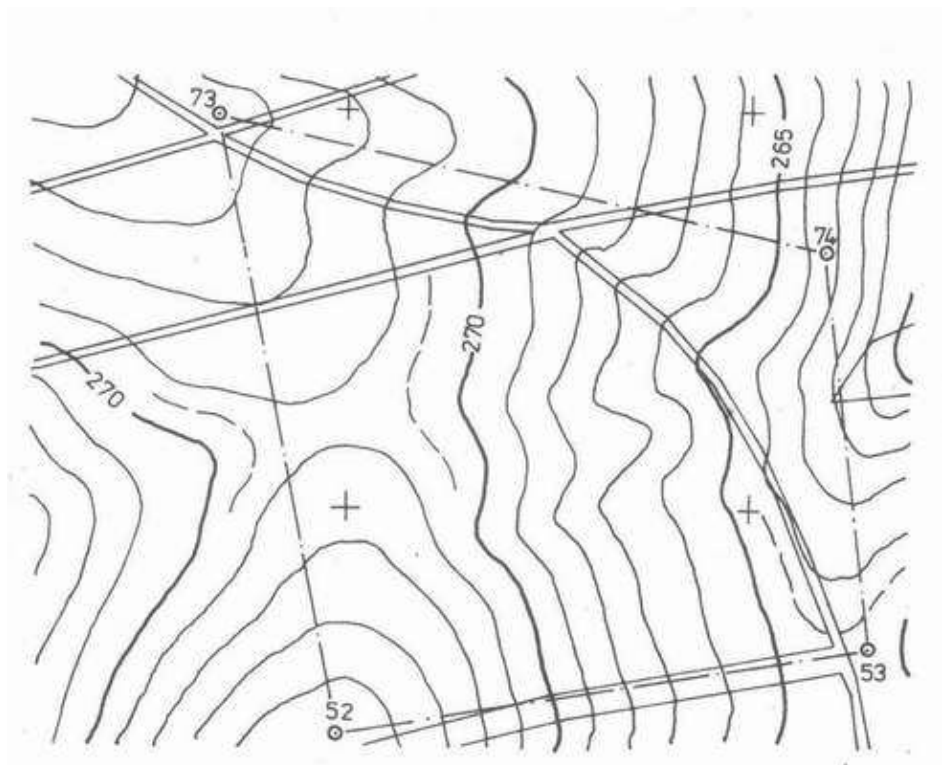
Obr. 3-56. Úžlabina



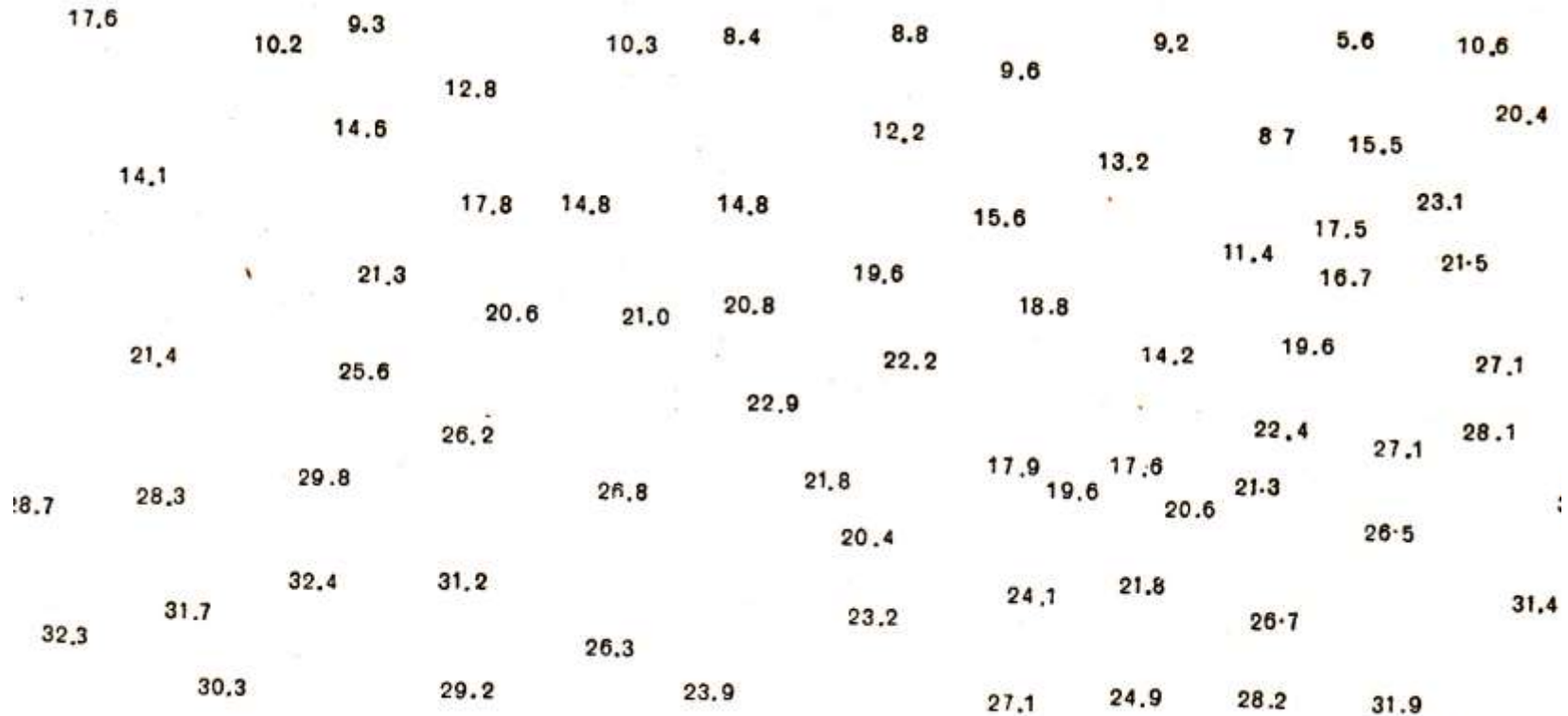
Obr. 3-51. Úpatnicové přechody: ostrý (a), zaoblený (b) a povlnný (c)

Konstrukce vrstevnic

Při konstrukci vrstevnic se nejprve vynesou body podkladu s výškami, vykreslí se polohopis a určí se pravděpodobná poloha vrstevnic pomocí lineární interpolace (pro mapy velkých měřítek. Interpolaci známe grafickou nebo početní. Při interpolaci vrstevnic dodržujeme zásadu, že interpolujeme ve směru spádu a jen mezi nejbližšími body. Při konstrukci vrstevnic **nikdy** neextrapolujeme!



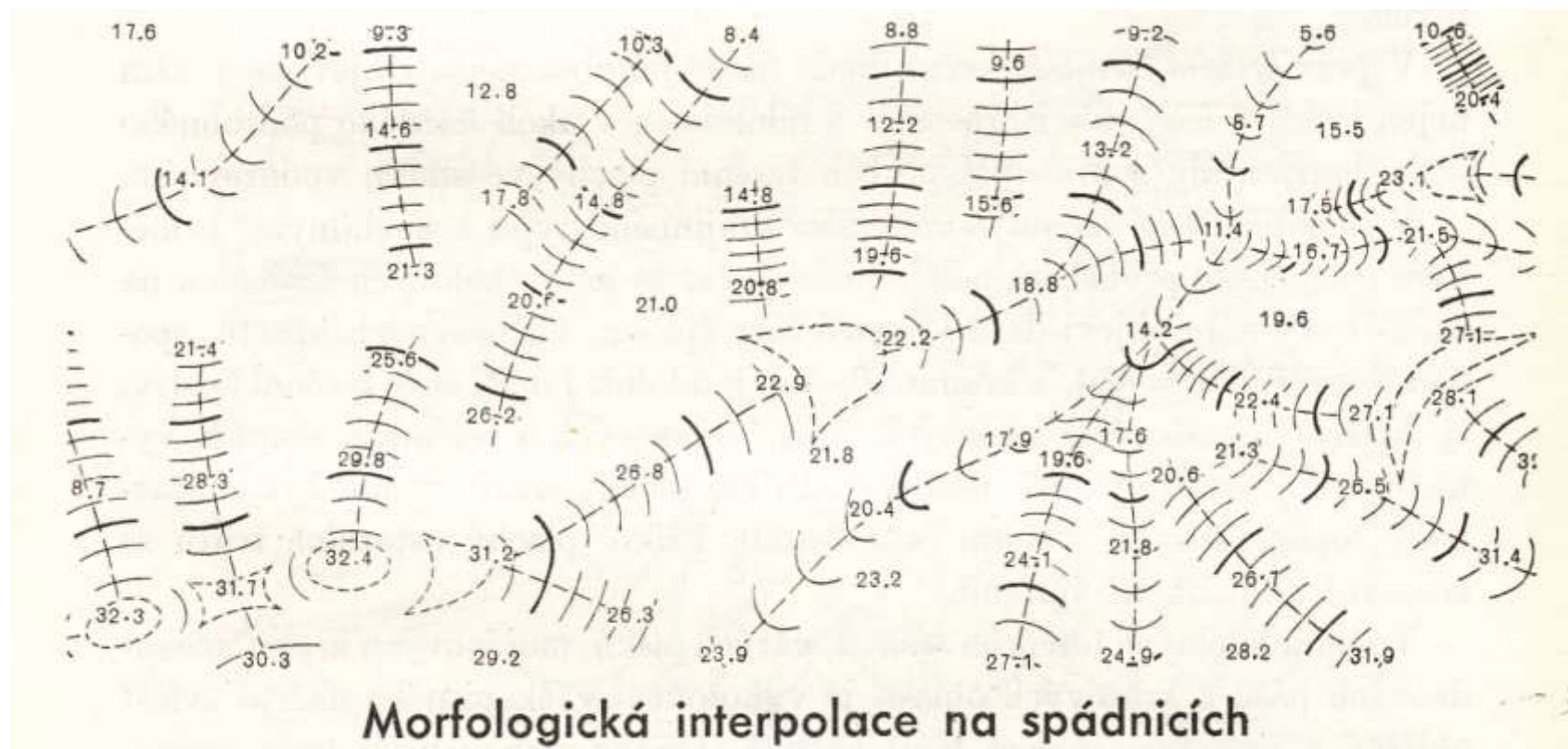
Postup při řešení vrstevnic



Postup při řešení vrstevnic



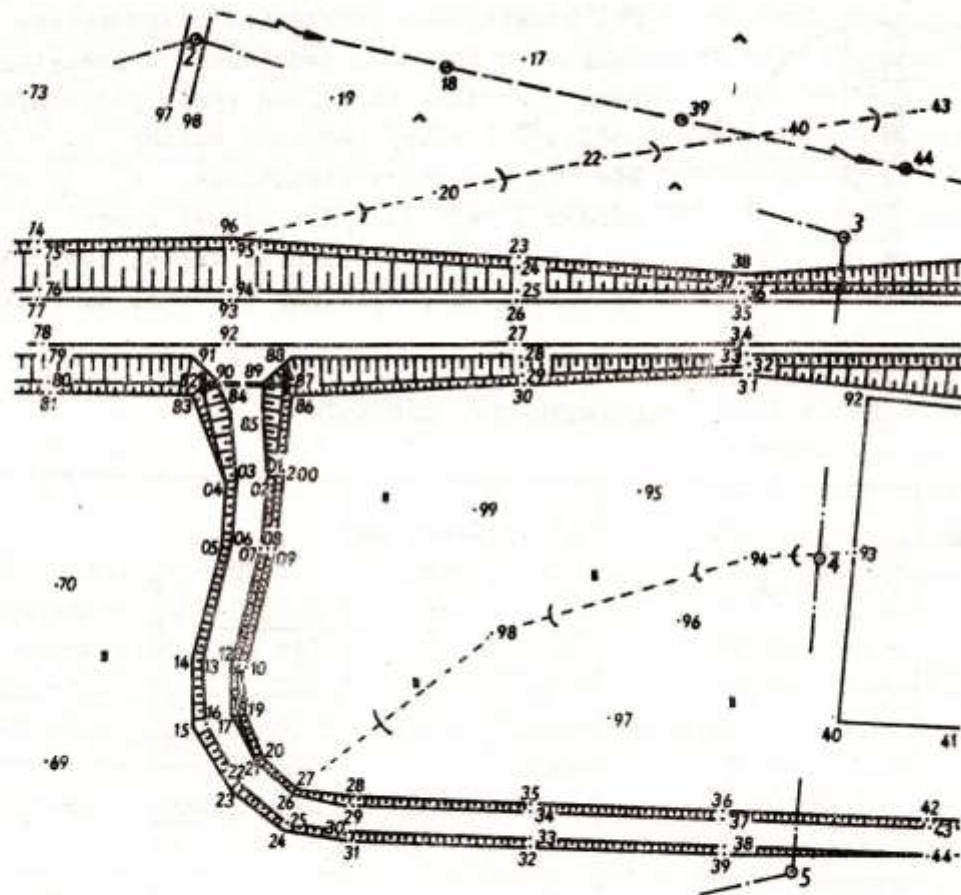
Postup při řešení vrstevnic



Postup při řešení vrstevnic

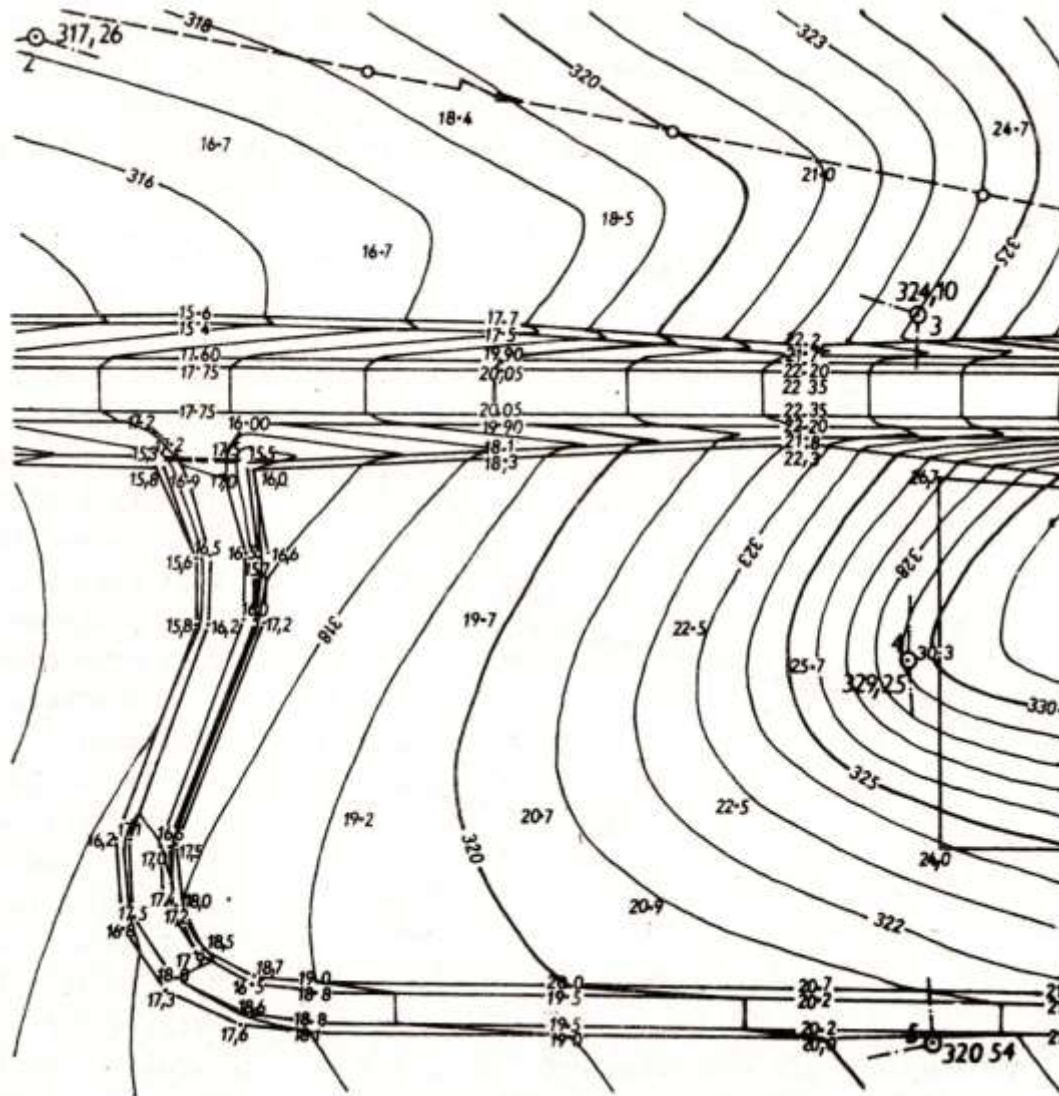


Měřický náčrt



Obr. 9.9

Tachymetrický plán



Digitální model terénu

Zemský povrch je matematicky nevyjádřitelná plocha, je třeba ji generalizovat (zjednodušit). DMT má za úkol tento povrch popsat v digitální podobě a umožnit další operace nad výsledkem. Vstupem jsou body v prostoru a případně další údaje (např. definice hran apod.)

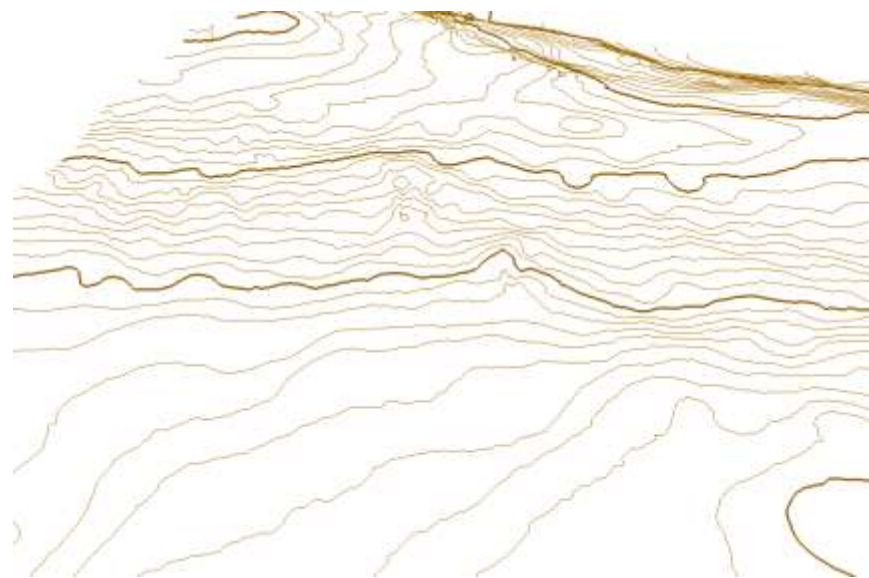
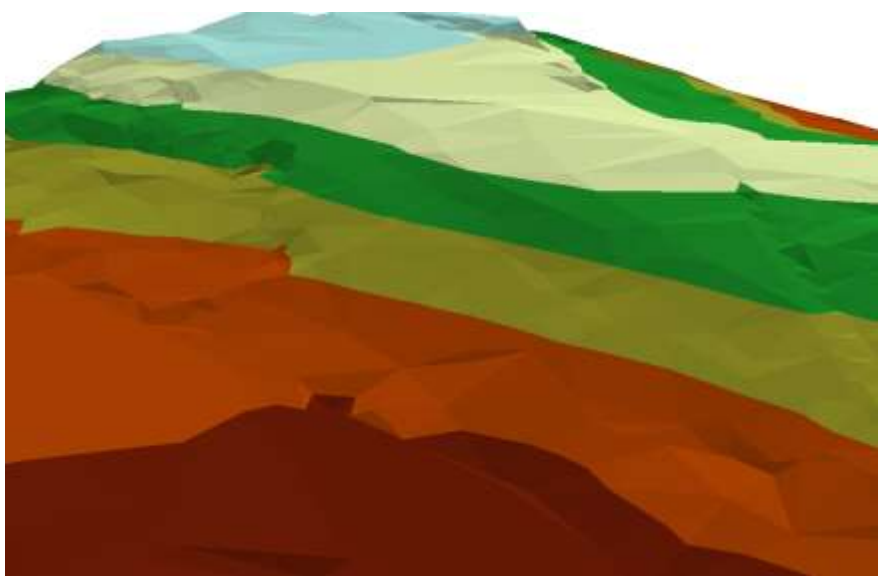
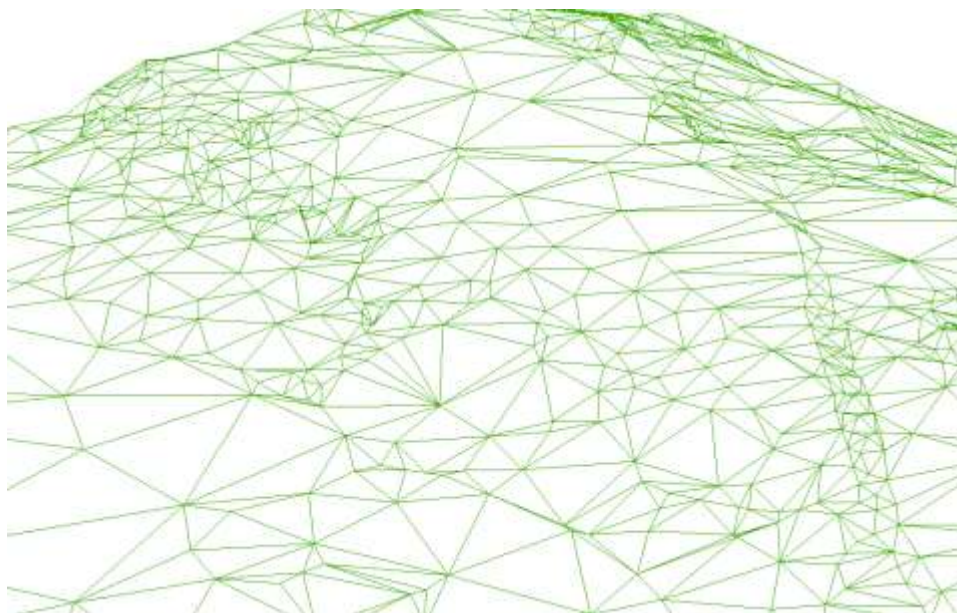
Zemský povrch je z větší části hladký (běžné hladké plochy, ve zjednodušení), ale také ostrý (zlomy, zářezy, hrany, umělé terénní tvary).

Druhy DMT (Terminologický slovník ČÚZK):

- **Digitální model reliéfu** - Digitální reprezentace reliéfu zemského povrchu v paměti počítače, složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů
- **Digitální model povrchu** - Zvláštní případ digitálního modelu reliéfu konstruovaného zpravidla s využitím automatických prostředků (např. obrazové korelace ve fotogrammetrii) tak, že zobrazuje povrch terénu a vrchní plochy všech objektů na něm (střechy, koruny stromů a pod.).

Digitální model terénu

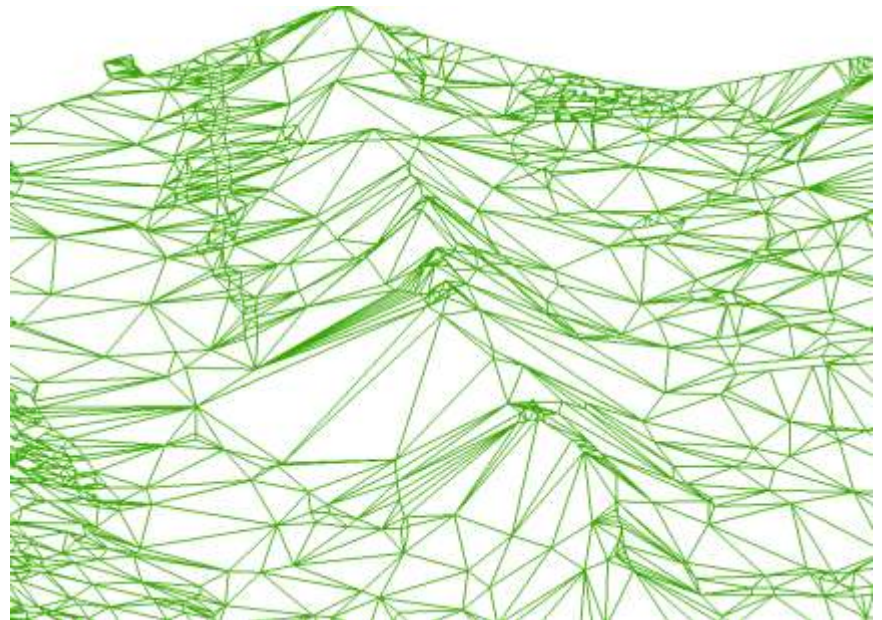
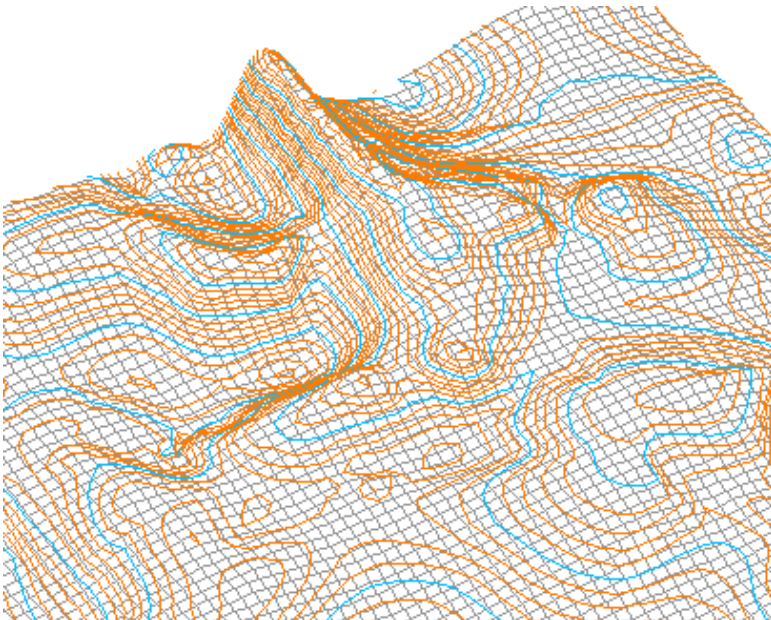
Výstupy DMT:



Digitální model terénu

Druhy DMT podle typu ploch:

- Polyedrický model terénu (nepravidelná trojúhelníková síť, jednotlivě roviny).
- Rastrový model terénu (čtvercová síť, jednotlivě roviny).
- Plátový model terénu (složitější, většinou nadstavba nad předchozí dva druhy – aproximace vyšším řádem).



Digitální model terénu

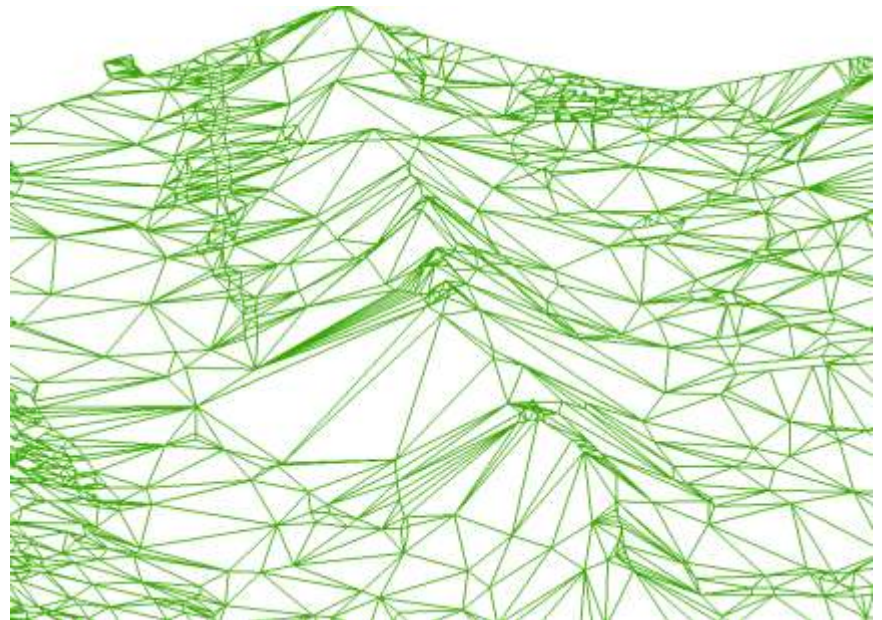
Polyedrický model terénu (TIN model)

Plošky jsou nepravidelné trojúhelníky, společná je nejvýše hrana. Sít trojúhelníků vytvořena za použití triangulačních algoritmů.

Proložením rovin vrcholy jednotlivých trojúhelníků vznikne nepravidelný mnohostěn (tzv. polyedr), který se přimyká k terénu.

Hustota bodů nebývá na celém území stejná. Větší počet bodů na jednotku plochy v místech, kde je terén členitější.

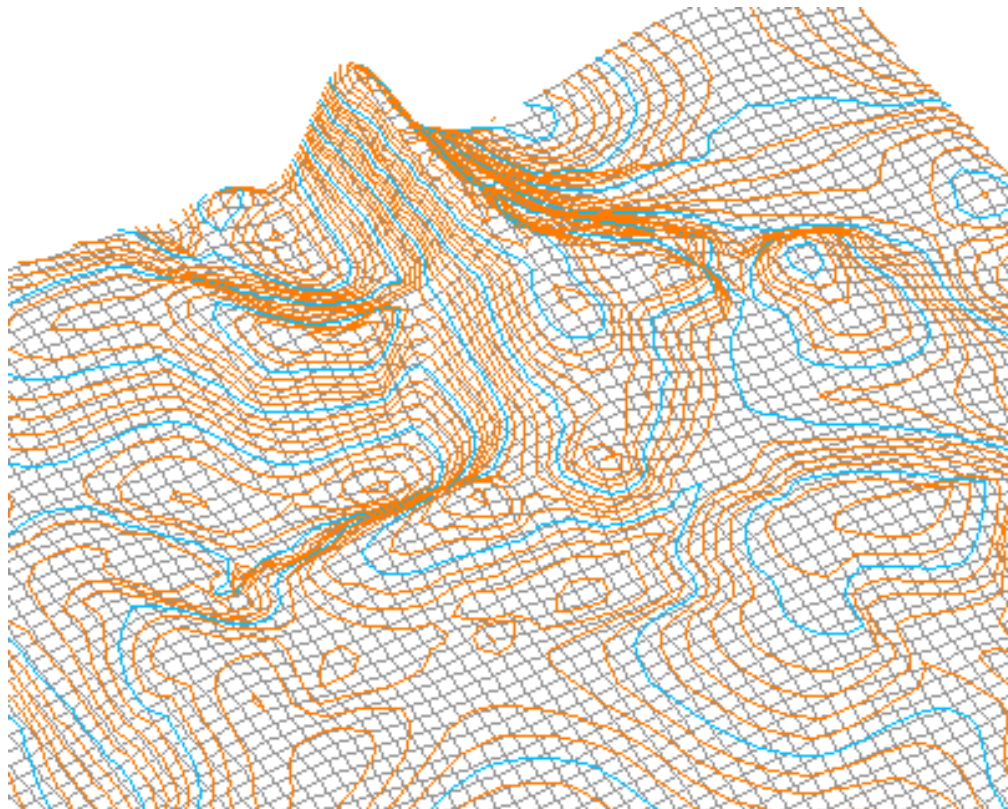
Nižší počet bodů na jednotku plochy u málo členitého terénu. Polyedrický model při vhodné volbě bodů aproximuje skutečný terén lépe než model rastrový.



Digitální model terénu

Rastrový model terénu

Tvořen pravidelnými ploškami se společnými hranami (grid). Plošky představují zborcené čtyřúhelníky, lze je rozdělit na trojúhelníky.

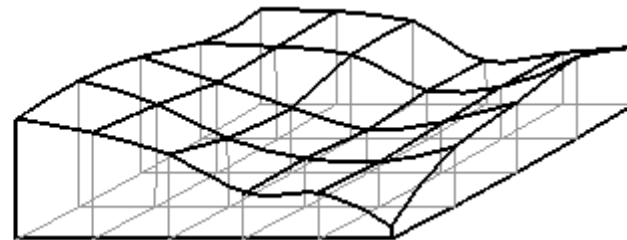
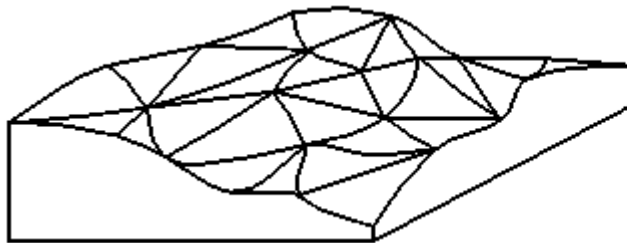


Digitální model terénu

Plátový model terénu:

U předchozích modelů mezi sousedními ploškami jsou vždy ostré přechody. Z estetického hlediska takový způsob reprezentace terénu nepůsobí přirozeně, z kartografického hlediska není věrný. Plátový model odstraňuje nevýhody předchozích modelů, vymodelovaný terén může být hladký.

Vychází se z trojúhelníkových plošek, které mohou být různě zakřivené (používají se polynomické funkce). Může následovat optimalizace geometrických ploch – model je složen z obecných n-úhelníků.



Digitální model terénu

Konstrukce vrstevnic (interpolace):

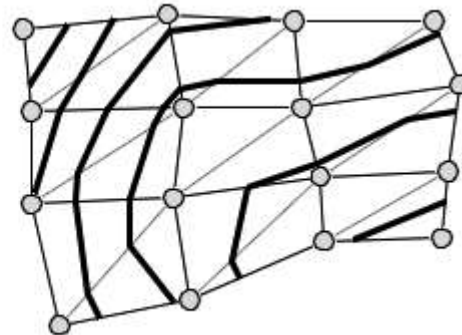
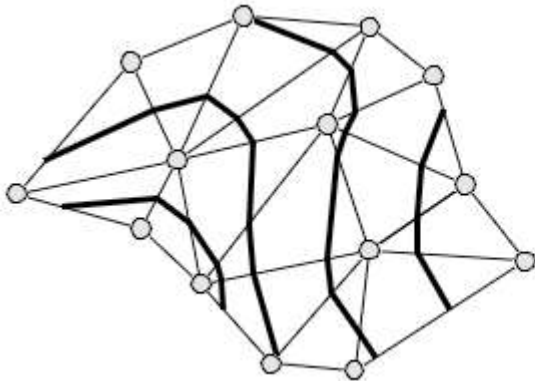
Interpolaci vrstevnic lze provádět ze všech typů modelů.

Podle způsobu konstrukce vrstevnic:

- Lineární interpolační algoritmy.
- Nelineární interpolační algoritmy (geomorfologická interpolace, zohledňuje skutečný tvar terénu (sklon okolních plošek), používá se v mapách velkých a středních měřítek. Složité.

Dle tvaru vrstevnic:

- Algoritmy generující zalomené vrstevnice.
- Algoritmy generující zaoblené vrstevnice.



Určování ploch a objemů

Při řešení technických úkolů se často vyskytuje úkol určit velikost plochy. Pokud se pohybujeme v geodézii, jedná se nejčastěji o určení velikosti plochy pozemku tzv. „**výměry pozemku**“.

Pozemek je přirozená část zemského povrchu oddělená od sousedních částí hranicí územní správní jednotky nebo hranicí katastrálního území, hranicí vlastnickou, hranicí držby, hranicí druhů pozemků popř. rozhraním způsobu využití pozemků.

Parcela je obraz pozemku, který je geometricky a polohově určen, zobrazen svislým průmětem hranic v katastrální mapě a označen parcelním číslem.

Výměra pozemku

je vyjádření plošného obsahu průmětu hranic pozemku do zobrazovací roviny v plošných metrických jednotkách. Velikost výměry vyplývá z geometrického určení pozemku. Tvar pozemku je obecně reprezentován *n-úhelníkem*. Výměra se určuje na celé čtvereční metry. Vedlejší jednotkou je 1 hektar = 10000 m².

Určení výměry pozemku lze provést:

Z přímého měření

- Rozkladem
- Ze souřadnic

Z map a plánů

- Z odměřených hodnot
- Pomocí planimetrů

Určování výměr z přímého měření rozkladem

N-úhelník pozemku je rozdělen na jednoduché geometrické obrazce, pro které známe vzorce pro výpočet jejich plošných obsahů, nejčastěji trojúhelníků.

Obecný trojúhelník

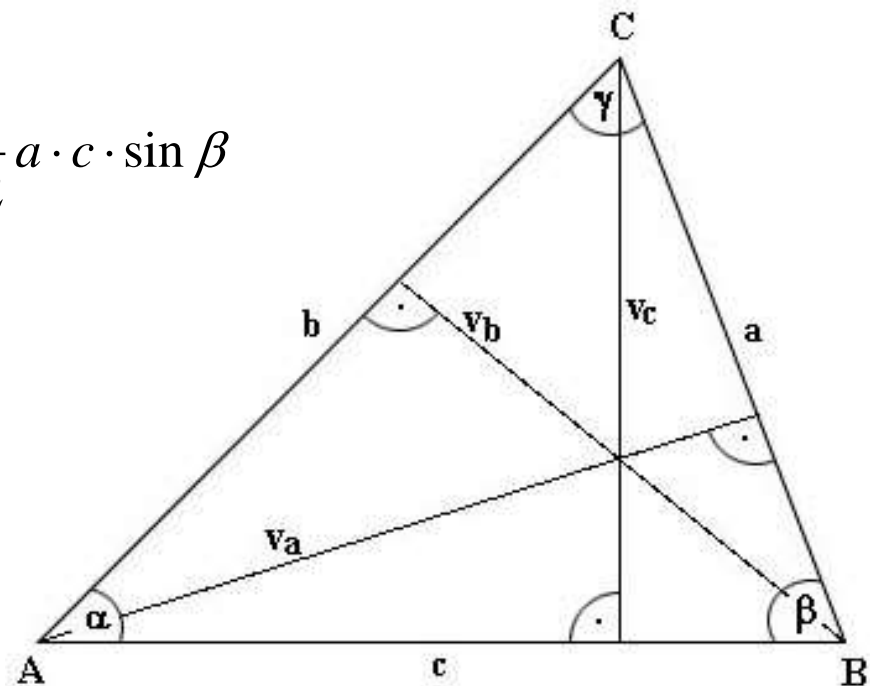
$$P = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot \sin \gamma = \frac{1}{2} b \cdot c \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} a \cdot c \cdot \sin \beta$$

$$P = \frac{c \cdot v_c}{2}$$

Heronův vzorec

$$P = \sqrt{s \cdot (s - a) \cdot (s - b) \cdot (s - c)}$$

$$s = \frac{a + b + c}{2}$$



Určování výměr z přímého měření ze souřadnic

Pro výpočet výměr ze souřadnic se používají tzv. l'Huilierovy vzorce. Jedná se o rozklad n-úhelníka na lichoběžníky, kdy během výpočtu dochází ke sčítání, či odčítání jejich ploch.

Základní vzorec pro výpočet plochy lichoběžníku:

$$P = \frac{a+b}{2} \cdot v$$

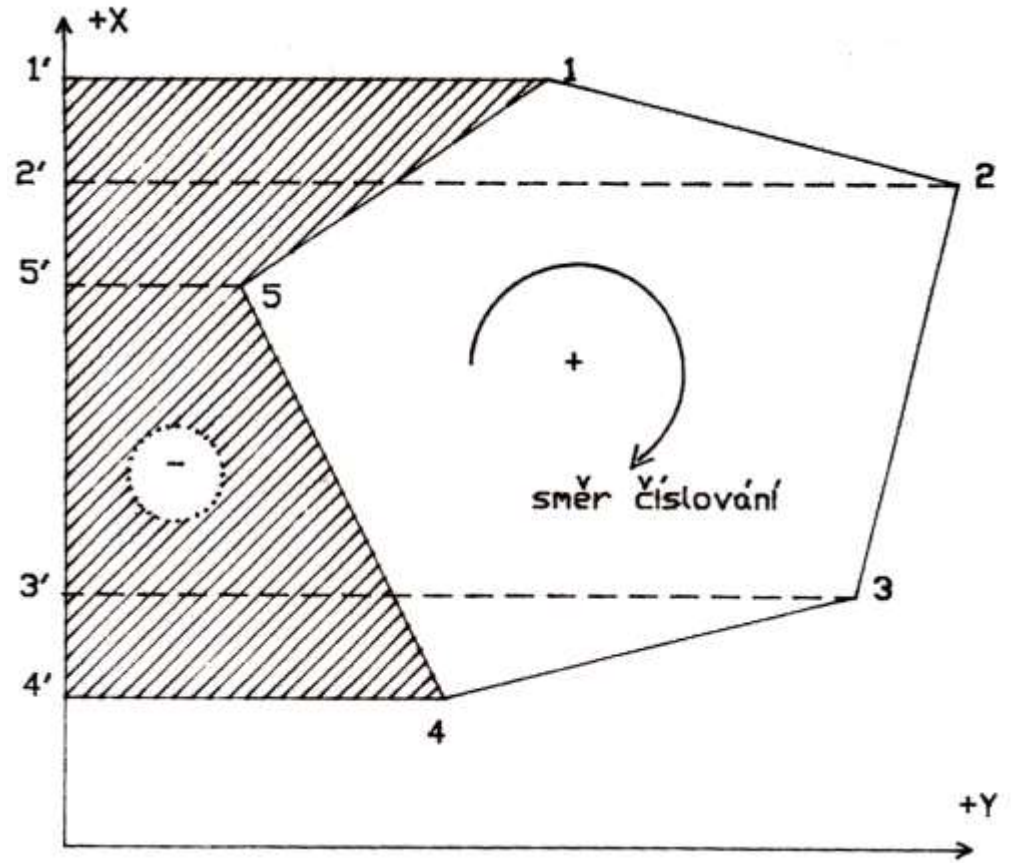
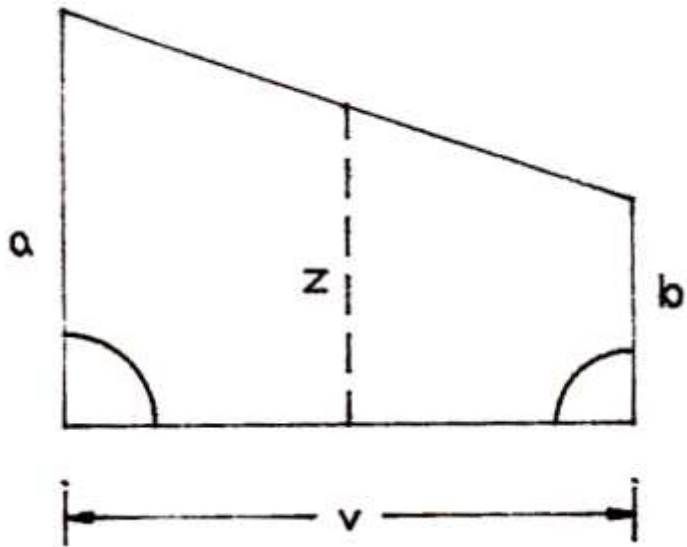
l'Huilierův vzorec vzhledem k ose x:

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [x_i \cdot (y_{i+1} - y_{i-1})]$$

l'Huilierův vzorec vzhledem k ose y:

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [y_i \cdot (x_{i-1} - x_{i+1})]$$

Určování výměr z přímého měření ze souřadnic



Určování výměr z map

Z odměřených hodnot

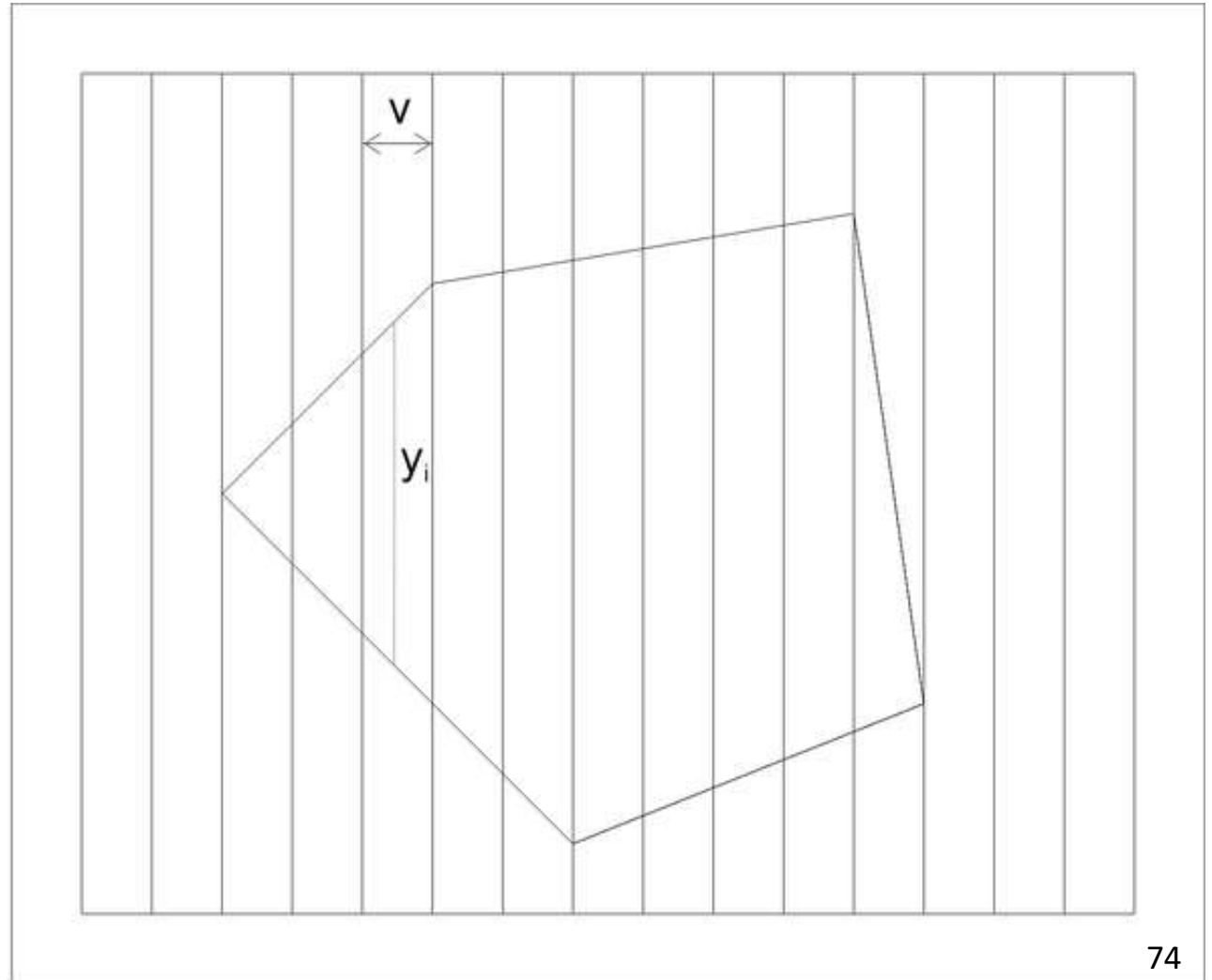
Pro určení výměry n -úhelníku zobrazeného na mapě použijeme předchozí postup, potřebné hodnoty odměříme ze zákresu.

Pomocí planimetru

Pro určení výměry lze použít speciální pomůcky zvané planimetry, které mají různé konstrukce. Např. nitkový planimetr je kovový rám, ve kterém ve směru kratší strany jsou napnuty rovnoběžně a v konstantním rozestupu nitě. Tyto nitě dělí měřený obrazec na tenké lichoběžníky. Obsah obrazce je suma ploch těchto lichoběžníků, tj. součet násobků středních příček lichoběžníků a vzdálenosti nití.

Nitkový planimetr

$$P = v \cdot \sum_{i=1}^n y_i$$



Určování objemů

Při určování objemů V nahrazujeme nepravidelné tvary zemního tělesa tvary geometrickými.

Nejčastěji používáme vzorec pro kolmý hranol, kde P_p je plocha podstavy a v je výška:

$$V = P_p \cdot v$$

Jehlan a kužel:

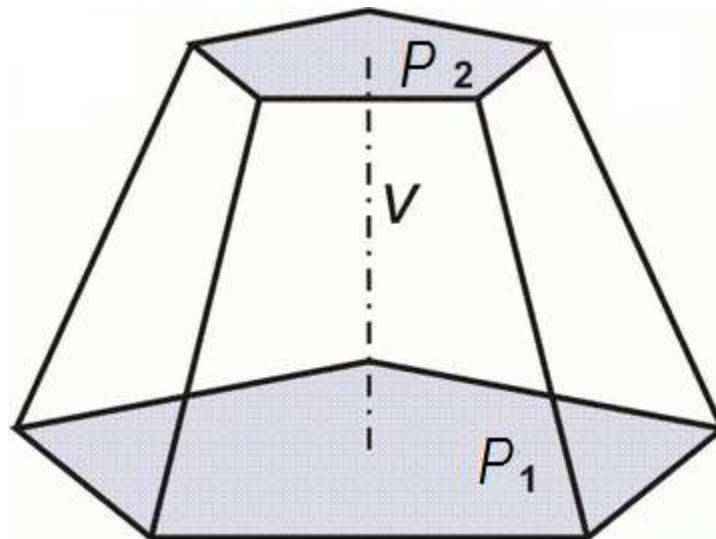
$$V = \frac{P_p \cdot v}{3}$$

Komolý jehlan a komolý kužel, kde P_1 a P_2 jsou plochy dolní a horní podstavy a v je výška:

$$V = \frac{v}{3} \left(P_1 + \sqrt{P_1 \cdot P_2} + P_2 \right)$$

Zjednodušeně:

$$V = \frac{v}{2} (P_1 + P_2)$$



Výpočet pomocí řezů

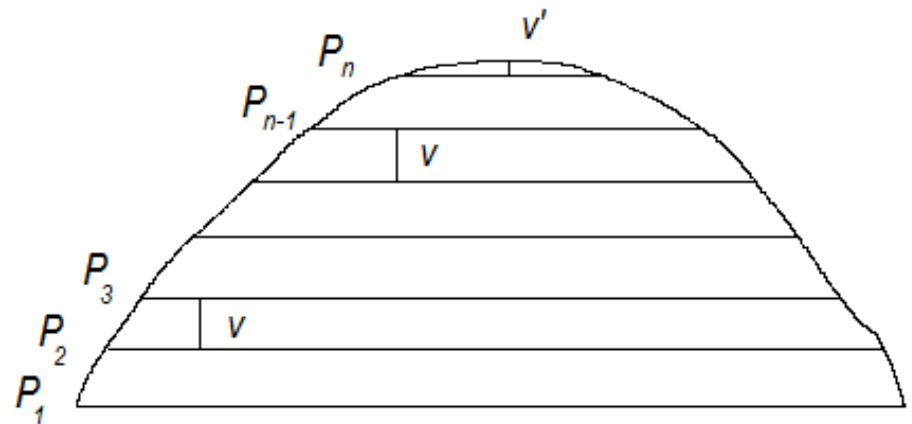
Těleso je rozděleno pomocí vodorovných nebo svislých řezů.

Plochy ohraničené jednotlivými řezy lze zjistit planimetricky, interval řezů je závislý na požadované přesnosti, objem řezu se spočítá například vzorcem pro komolý kužel. Příklad pro vodorovné řezy (vrstevnice):

$$V = \frac{v}{3} \left(2 \cdot \sum_{i=2}^{n-1} P_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{P_i \cdot P_{i+1}} + P_1 + P_n \right)$$

Dále je nutno připočítat objem zbytkového tělesa o výšce v' :

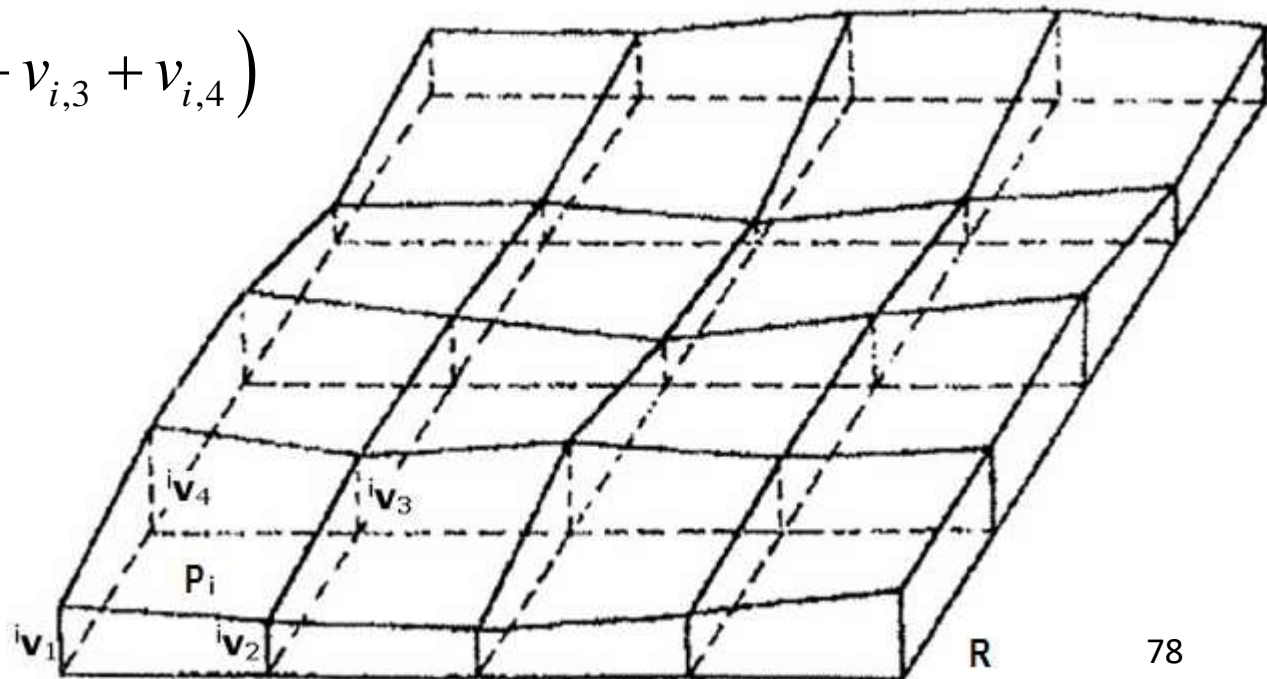
$$V = \frac{P_n \cdot v'}{3}$$



Výpočet pomocí čtvercové sítě

Postup se užívá v plochém území. V lokalitě se vybuduje pravidelná plošná čtvercová síť, jejíž body budou výškově zaměřeny. Potom objem V nad srovnávací rovinou R bude součet objemů nad jednotlivými čtverci:

$$V = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n P_i (v_{i,1} + v_{i,2} + v_{i,3} + v_{i,4})$$



Výpočet pomocí trojúhelníkových sítí

Dnes nejčastější typ výpočtu objemu pro DMT. Povrch DMT je tvořen nepravidelnou trojúhelníkovou sítí (TIN). Objem tělesa nad srovnávací rovinou, jehož povrch je definován TIN, se určí jako součet objemů trojbokých kolmých hranolů seříznutých rovinou nerovnoběžnou s rovinou podstavy.

$$V = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \frac{v_{i,1} + v_{i,2} + v_{i,3}}{3}$$

