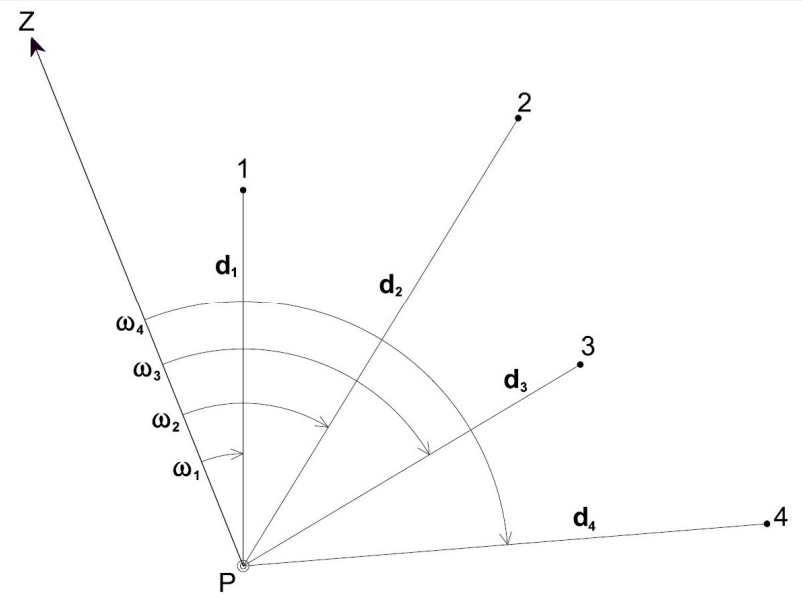
Lesnická a dřevařská fakulta

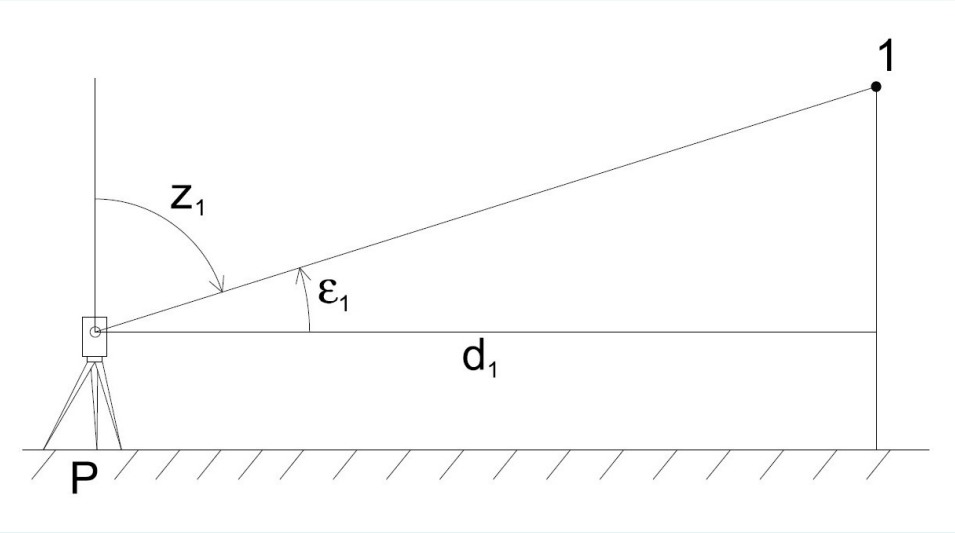
Geodézie
Přednáška

# Tachymetrie
# Výpočetní a zobrazovací práce
# Podélné a příčné řezy

- měřická metoda vhodná k zaměřování terénního reliéfu zemského povrchu
- způsob, kterým se získávají z tachymetrického stanoviska prvky pro určení pravoúhlých prostorových souřadnic podrobného bodu
- princip tachymetrie spočívá v současném určování polohy a výšky bodů na zemském povrchu současným měřením úhlů a délek
- výsledkem měření je podrobný polohopisný a výškopisný plán, který může být použit jako podklad pro další projektové práce
- **poloha** bodů se určuje polárními souřadnicemi:
  - vodorovným úhlem „**ω**“ měřeným od základního orientačního směru „**Z**“
  - vzdáleností „**d**“ měřené od stanoviska přístroje „**P**“



- **výška** bodů se určuje trigonometricky, pouze výjimečně geometrickou nivelací kupředu
  - svislým úhlem
    - zenitová vzdálenost „**z**“ měřená od svislé roviny
    - výškový úhel „**ε**“ měřený od vodorovné roviny
  - vzdáleností „**d**“ měřené od stanoviska přístroje „**P**“




- zemský povrch je nepravidelný a tvarově složitý, při zaměřování výškopisu jej nahrazujeme topografickou plochou bez drobných místních nerovností
- zaměřují se jen ty nerovnosti a objekty, které bude možno v plánu dobře zobrazit a přitom budou pro uživatele podstatné
- v běžné praxi se uplatňuje tachymetrie technická, která se používá k zaměření území v měřítku 1 : 2 000 až 1 : 200

- tachymetrického měření se používá i pro zaměřování větších souvislých částí zemského povrchu (měřítko 1 : 5 000 a menší)
  - technickohospodářské výškopisné mapování
  - topografické mapování
- z tachymetrického stanoviska měříme území v okruhu 50 až 300 metrů (podle použitého přístroje a konfigurace terénu)
- předmětem měření je terén, resp. jeho útvary tvořící topografickou plochu, které charakterizujeme základními čarami:

**Vrstevnice** – čára vedená po zemském povrchu, která má v každém svém bodě stejnou výšku

**Spádnice** – myšlená čára na zemském povrchu probíhající ve směru největšího sklonu terénního reliéfu, v každém svém bodě je kolmá k vrstevnicím procházejícím těmito body

**Hřbetnice** - čára spojující nejvýše položená místa terénních útvarů, mezi přilehlými úbočími tvoří vodní předěl (rozvodnice), má ze všech spádnic na ploše hřbetu nejmenší sklon

**Údolnice** – čára spojující místa největšího vyhloubení příčných řezů údolím, mají vždy menší sklon než přilehlá úbočí, sklon údolnice určuje sklon údolí

**Úpatnice** – čára styku dvou různě skloněných ploch na rozhraní údolí a úbočí, svírajících spolu tupý úhel

**Hrany** (tvarové čáry) – čáry v nichž se stýkají dvě různě skloněné plochy, mohou být vodorovné nebo skloněné

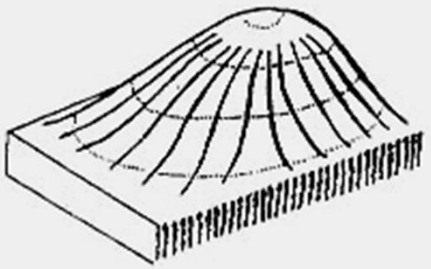
- přirozené – terénní zlomy
- umělé – náspy a zářezy

- terénní reliéf je tvořen nepravidelnou topografickou plochou jejíž kostru tvoří výše zmíněné základní čáry
- topografická plocha může být rovná, vypuklá nebo vhloubená
- tvary na ploše dělíme na vyvýšené a vhloubené
- podle umístění mohou být tvary na vrcholové části vyvýšeniny, na úbočí, na úpatí nebo tvary údolní
- u vyvýšených tvarů rozlišujeme: vrchol (temeno), svah, úpatí
- u vhloubených tvarů rozlišujeme: dno a údolní svah

## Tvary na vrcholové části vyvýšeniny

*Kupa*

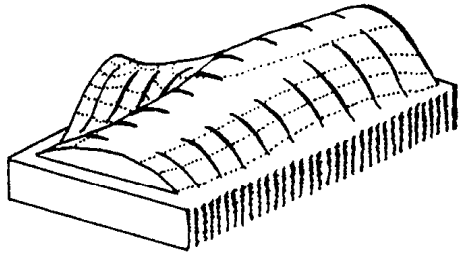
- vypuklý výrazně zaoblený tvar podobný zaoblenému komolému kuželu
- tvar je charakterizován uzavřenými vrstevnicemi, jejichž výška klesá se vzdáleností k vrcholu
- tvarová křivka je kružnice, elipsa nebo nepravidelná
- spádnice se rozbíhají z vrcholu na všechny strany
- vrchol může mít tvar kužele, homole, hrotu nebo plošiny
- svah může být konvexní, konkávní nebo pravidelný



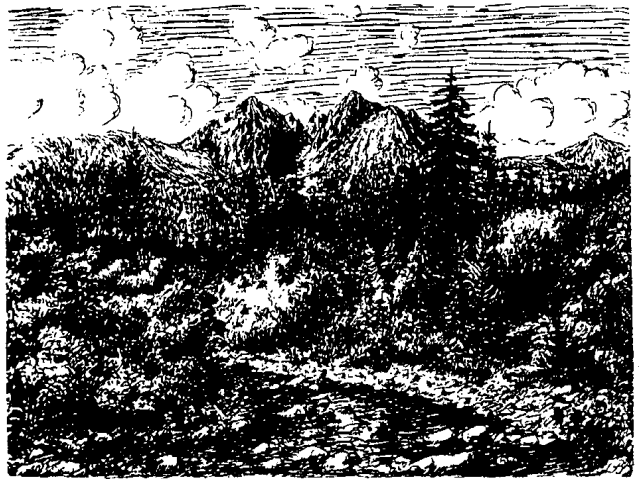
Obr. 10.1.
Kupa s tvarovou čarou eliptickou

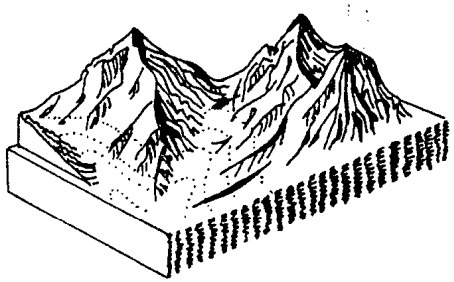
*Vrcholový hřbet*

- zaoblená vrcholová část
- protáhlý vypuklý tvar
- skalnatý hřbet – štít, hřeben (ostrá hrana)



Obr. 10.7.
Vrcholový (vodorovný) hřbet klenutý

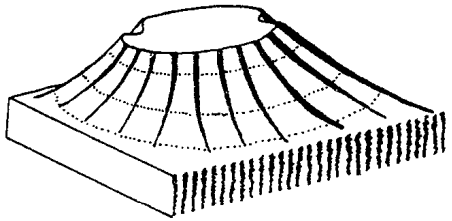




Obr. 10.3. Štít

*Plošina*

- temeno tvoří rovina, případně mírně skloněná plocha
- tvarová čára je obecná uzavřená křivka

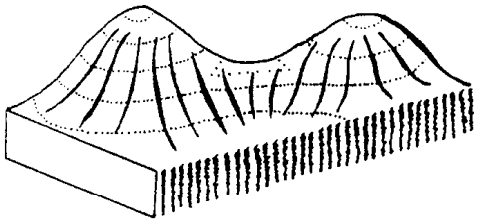


Obr. 10.6.
Vrcholová plošina

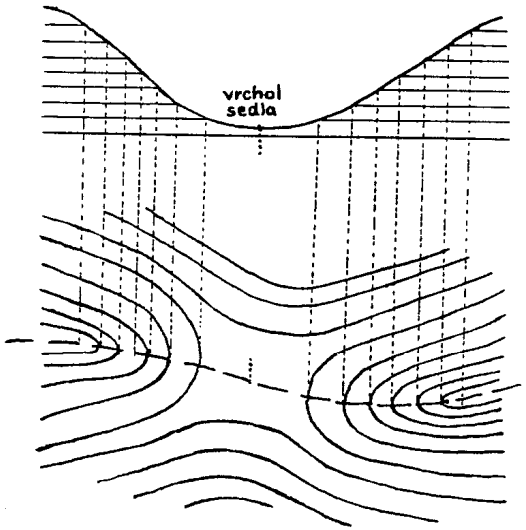
*Sedlo*

- útvar mezi dvěma svršky vyvýšeniny nebo kupami
- nejnižším bodem je vrchol sedla v němž se stýkají dvě hřbetnice a dvě údolnice
- sedlo může být podélné, příčné a nepravidelné

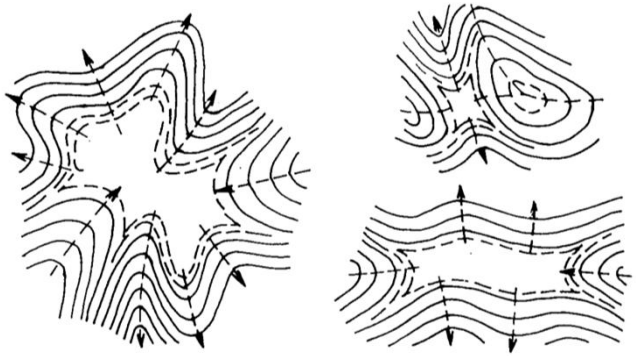
- tvarové čáry jsou čtyřúhelníky poduškovitého tvaru



Obr. 10.10.
Pravidelné sedlo podélné



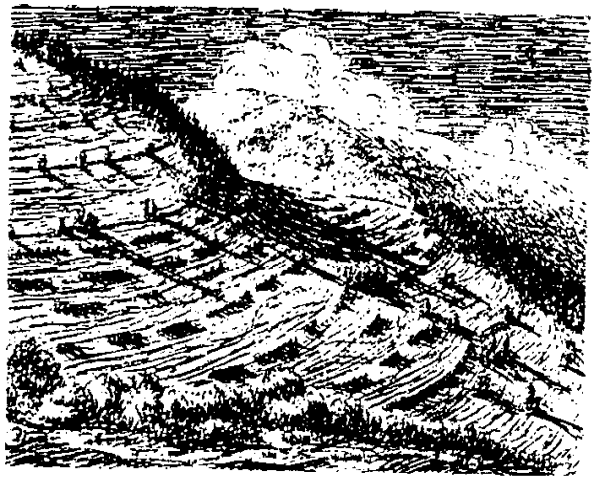

Obr. 10.9.
Tvar průsečnic povrchu sedla
s vodorovnými rovinami

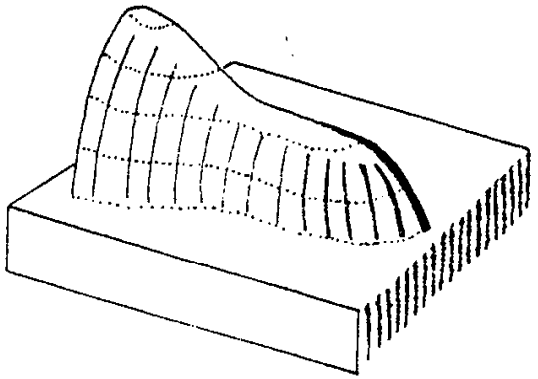


Obr. 10.11.
Nepravidelná sedla

*Spočinek*

- část hřbetu, kde hřbetnice přechází do značně mírnějšího sklonu (do 2 °)
- hřbetnice má vždy před a po ukončení spočinku větší spád





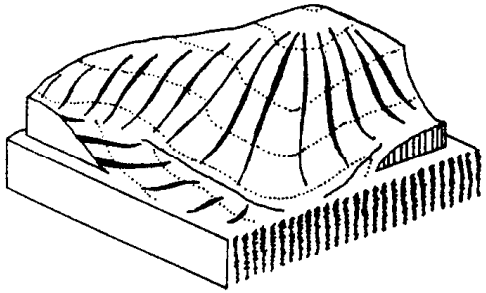
Obr. 10.8. Spočinek

Kupy, spočinky a sedla se vyskytují nejen na vrcholových částech vyvýšenin, ale i na úbočích.

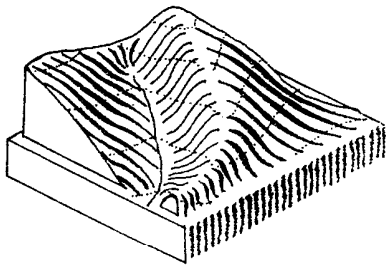
## Vypuklé tvary na úbočí

*Svahový hřbet*

- hřbetnice je skloněná
- podle tvaru:
  - široký
  - normální
  - úzký
  - ostrý



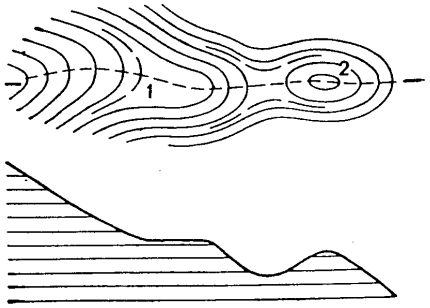
Obr. 10.15.
Svahový hřbet široký



Obr. 10.16.
Svahový hřbet úzký

*Svahová kupa a spočinek*

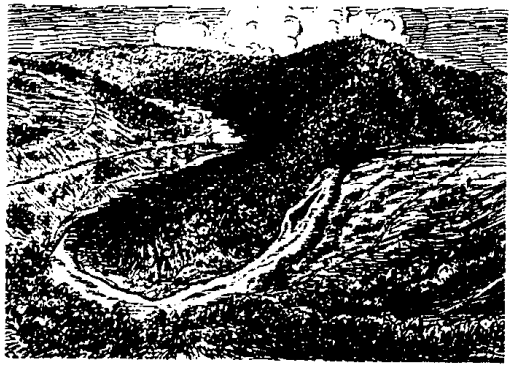
- průběh hřbetu bývá přerušen plochou spočinku a svahovou kupou
- velikosti nenarušují celkový ráz hřbetu

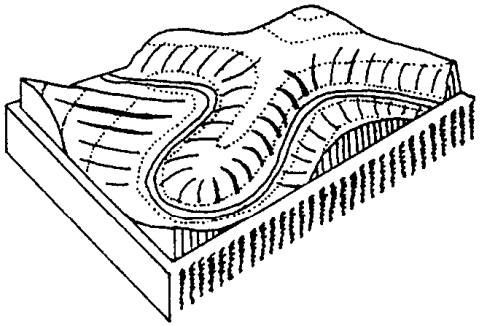



Obr. 10.17.
Svahový hřbet přerušený spočinkem (1)
a svahovou kupou (2)

*Ostroh*

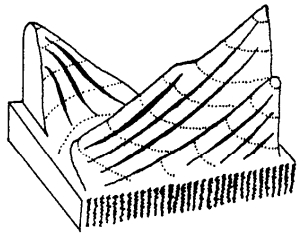
- úzký svahový hřbet
- vybíhá hluboko napříč do údolí



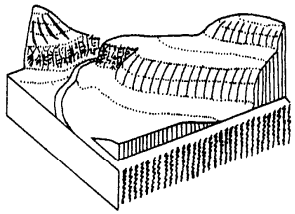


Obr. 10.19. Ostroh

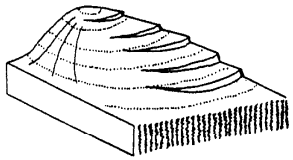
## *Výčnělky, terasy a terénní stupně*



Obr. 10.20.
Výčnělek



Obr. 10.21. Terasy



Obr. 10.22.
Terénní stupně

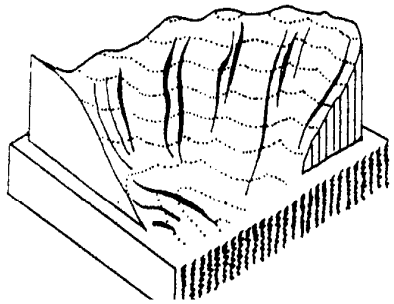
## *Žebro*

- úzký nevysoký výčnělek protáhlý ve směru sklonu úbočí

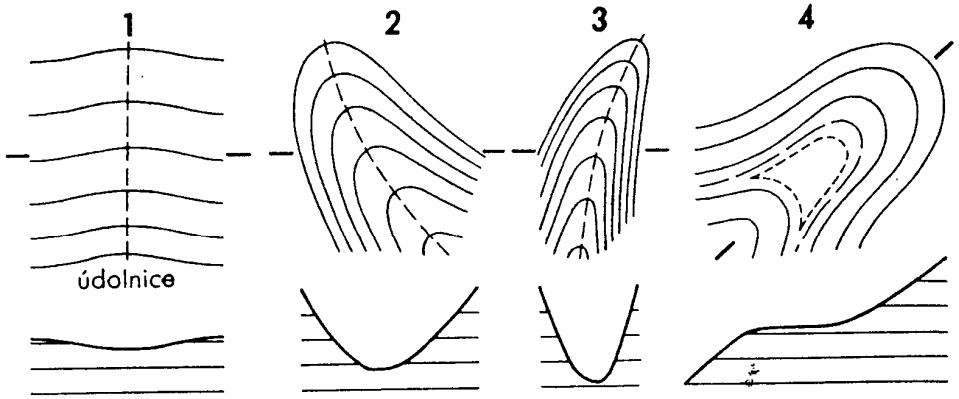
## Vhloubené tvary na úbočí

*Úžlabí*

- mušlovitá prohlubeň mezi dvěma svahovými hřbety
- kosterní čára je údolnice, na níž jsou vrstevnice nejvíce zakřiveny



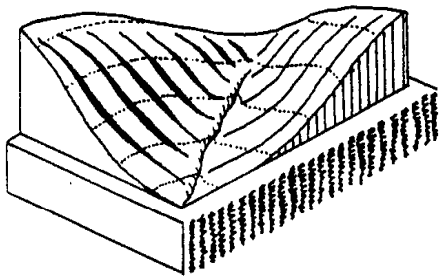
Obr. 10.23. Úžlabí




Obr. 10.24.
Druhy úžlabí

*Zářez*

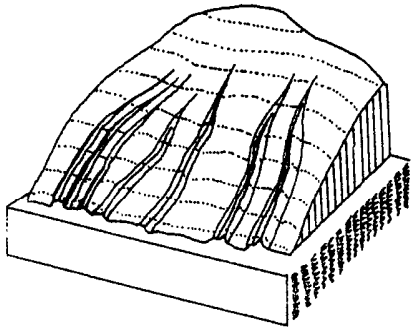
- styk úbočí vytváří hranu, velmi úzké dno, vrstevnice se na údolnici lomí



Obr. 10.25. Zářez

*Rýha*

- vhloubený, protáhlý tvar na mírně skloněných úbočích
- na rozdíl od zářezu má malou hloubku

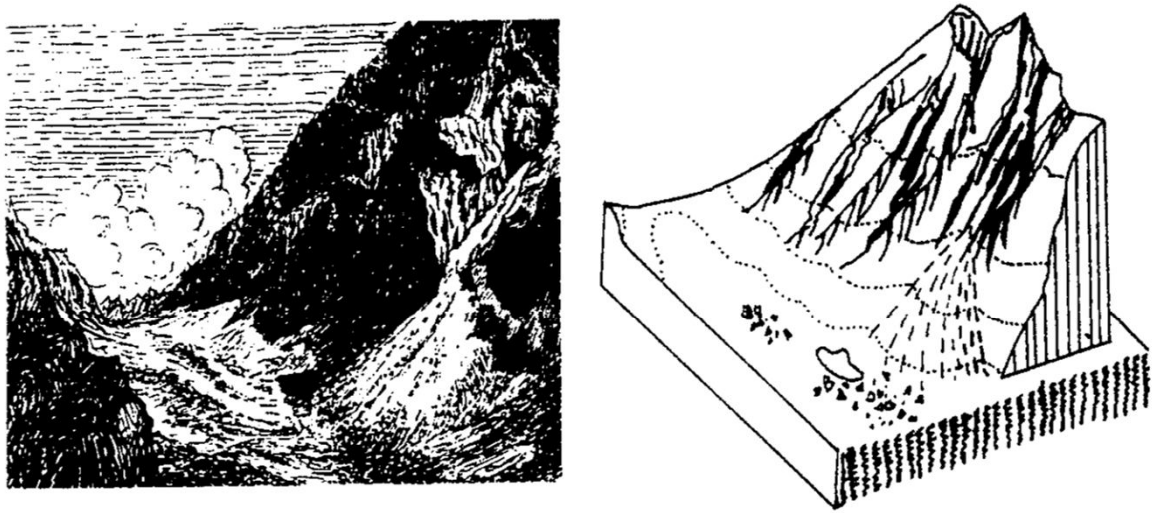


Obr. 10.26. Rýhy

## Tvary na úpatí vyvýšeniny

*Suťový kužel*

- vzniká usazováním kamenů, písku a zeminy
- tvar připomíná plášť kužele

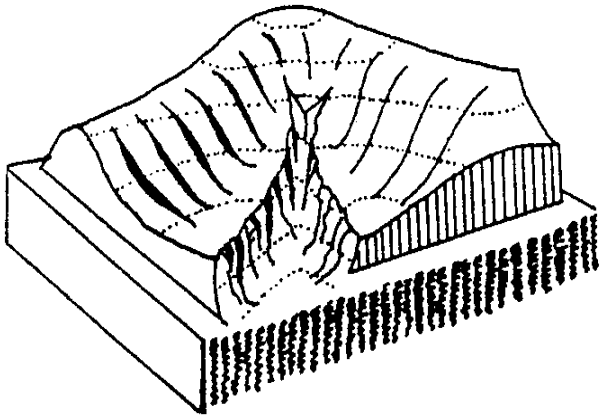


Obr. 10.28. Suťový kužel

*Strž, rokle, jáma*

- podobné rýze, dno je vyryté a hlubší
- rokle bývá široce rozvětvená

Obr. 10.30. Jáma

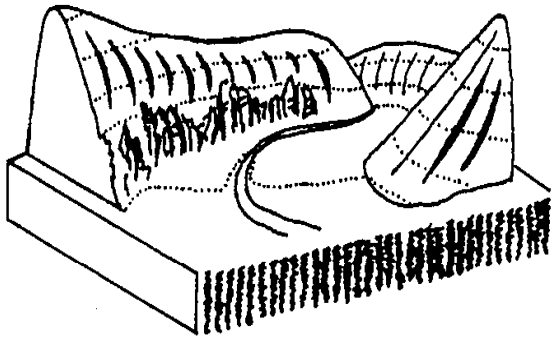


Obr. 10.29. Rokle

## Tvary údolní

*Údolí s rovným dnem*

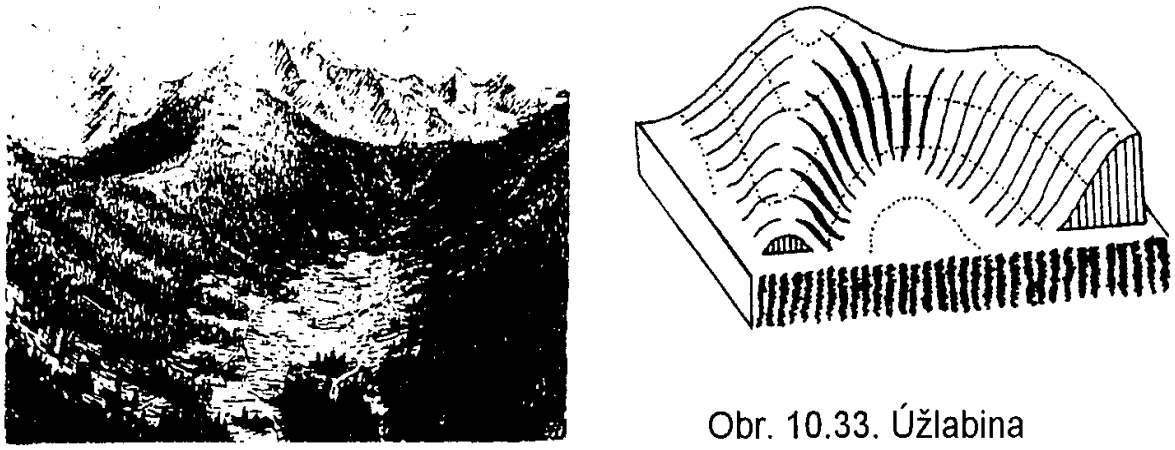
- podélný profil dna může být stejnoměrný, nestejnoměrný a stupňovitý
- vrstevnice dna jsou přímé, lámou se na úpatnici
- dno je rovné, vypuklé a vhloubené



Obr. 10.32.
Údolí s rovným dnem

*Úžlabina*

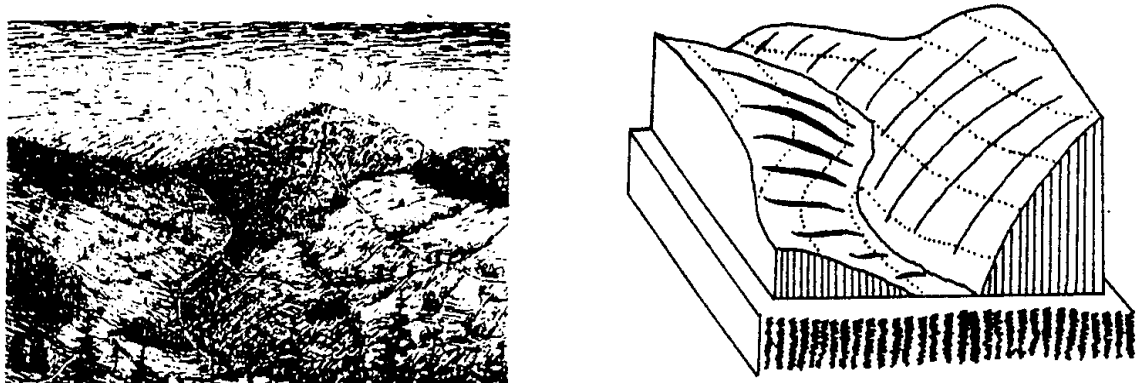
- vhloubený protáhlý tvar o přibližně stejné šířce dna



Obr. 10.33. Úžlabina

*Údolní zářez*

- údolí s úzkým dnem (tvar podobný zářezu na úbočí)



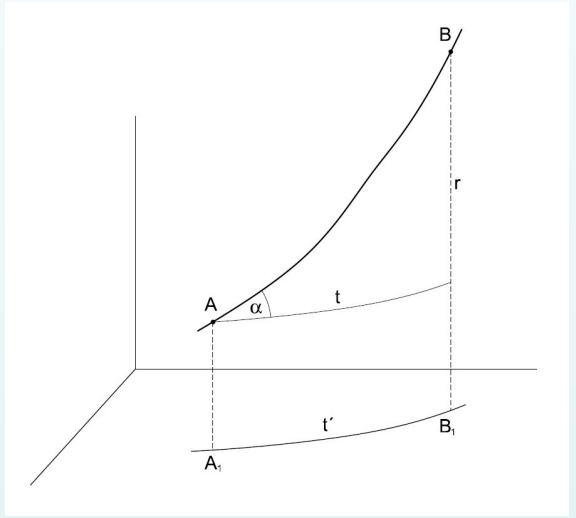
Obr. 10.34
Údolní zářez

## Spád topografické plochy

- v daném místě je maximem sklonů ($s_k$) všech procházejících křivek

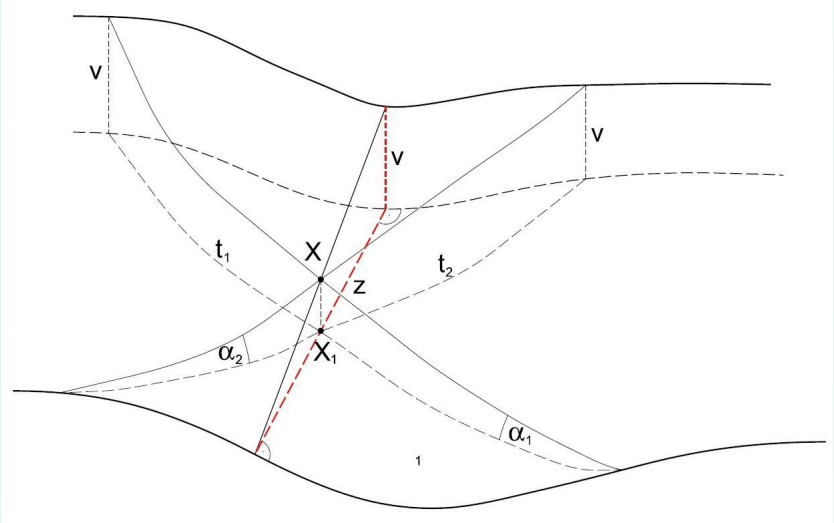
r … rozdíl kót bodů
t … délka zobrazené křivky

$$s_k = \frac{r}{t} = \mathrm{tg}\alpha$$




- maximální sklon je pro nejmenší t
- nejkratší vzdálenost je po kolmici (spádnici)
  $t_{min} = z$
- spád plochy ($s_p$) vypočítáme ze vzorce: $s_p = \frac{v}{z}$

v … ekvidistance
z … rozestup vrstevnic



## Terénní práce

- před měřením je třeba shromáždit veškeré mapové podklady, souřadnice bodového pole, výšky bodů
- po prostudování se provede rekognoskace terénu (důležitá pro rozvržení sítě nutných tachymetrických stanovisek)
- při technické tachymetrii zaměřujeme území různých velikostí a tvarů
  - území menšího rozsahu (projekty pozemních staveb, odvodňovací a zavlažovací systémy)
  - území dlouhého úzkého pásu (projekty silnic, cest, úpravy toků)
- volíme polygonové pořady, jejichž vrcholy se použijí jako stanoviska (v místech dominujících svému okolí - výhled na všechny strany)
- síť těchto stanovisek obvykle zaměříme před vlastním měřením
- při méně přesných metodách nebo menším území můžeme měřit síť současně s vlastním tachymetrickým mapováním nebo po něm
- v terénu se vyhotovuje tachymetrický náčrt území (ideálně do zvětšeniny katastrální mapy)

# Tachymetrie

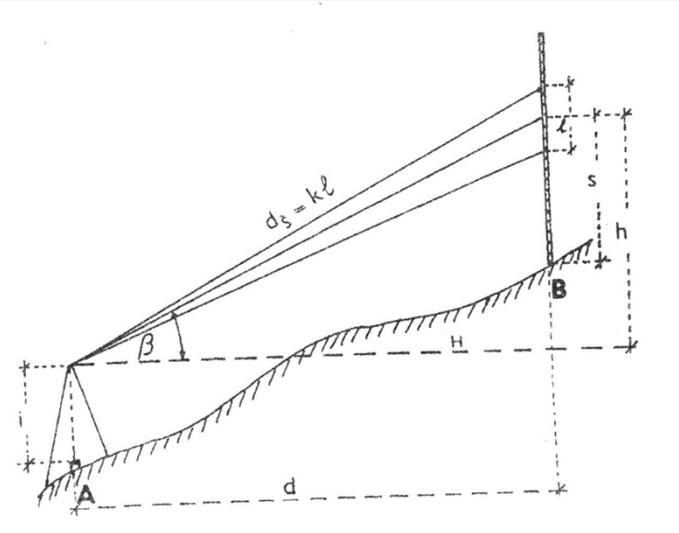
- body v terénu volíme tak, abychom co nejvěrněji vystihli průběh terénu
- hustota bodů závisí zejména na tvaru a složitosti terénu, velikosti měřítka, a předpokládaného intervalu vrstevnic
- průměrně zvlněný terén – doporučuje se, aby body na plánu byly od sebe vzdáleny 2-3 cm, tj. např. pro měřítko 1 : 500, 10-15 m ve skutečnosti
- pro automatizované zpracování výškopisu je třeba body volit hustěji než pro zpracování analogové
- pro měření lze použít univerzální teodolit doplněný optickým nebo elektronickým dálkoměrem, případně totální stanici
- tachymetrii dělíme na:
  - grafickou-stolovou
  - busolní
  - číselnou
- z hlediska použitého přístroje dělím tachymetrii na:
  - nitkovou
  - elektronickou (digitální)
- dnes se používá výhradně digitální číselná tachymetrie, nitková výjimečně

## Výpočetní práce

- výpočty potřebné ke konstrukci tachymetrických plánů se skládají ze dvou na sebe navazujících etap:
  - výpočet pravoúhlých souřadnic a výšek tachymetrických stanovisek
  - výpočet vodorovných vzdáleností a výšek podrobných bodů, případně jejich pravoúhlých rovinných souřadnic (elektronická tachymetrie)
- počtářské práce při výpočtu podrobných tachymetrických bodů spočívají ve výpočtu tachymetrického zápisníku
- vodorovnou vzdálenost „**d**“ a převýšení „**h**“ počítáme podle tachymetrických rovnic:

$$d = k \cdot l \cdot \cos^2 \varepsilon$$

$$h = \frac{1}{2} k \cdot l \cdot \sin 2\varepsilon$$

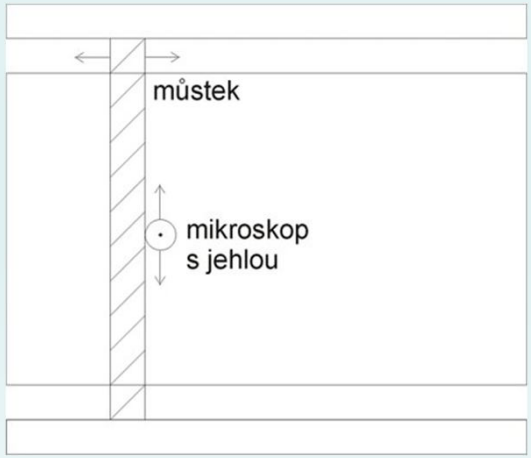


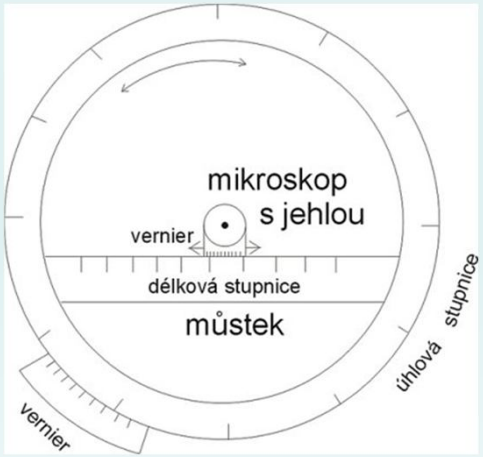

- výška bodu $\mathbf{v_B}$ se vypočte z výrazu:

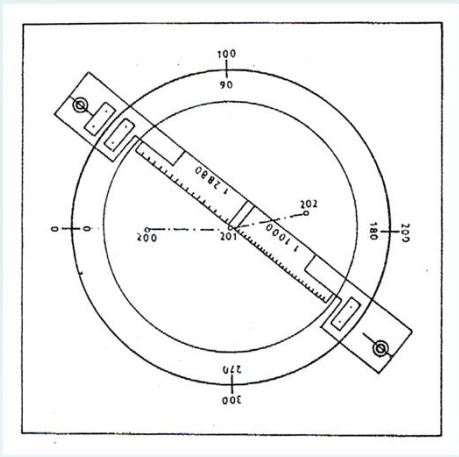
$$v_B = v_A + i \pm h - s$$

## Zobrazovací práce

- zobrazení tachymetrických stanovisek provádíme pravoúhlými a polárními souřadnicemi, případně graficky
  - koordinátografy (rozlehlé oblasti)
  - zobrazovací trojúhelníky a odměřovací soupravy (oblast menších rozměrů)
  - pomocí úhloměru a příčného měřítka
- zobrazení podrobných bodů na mapový podklad provádíme ručně nebo pomocí polárních transportérů
- v dnešní době se používá automatizovaný způsob



## Metody zobrazení výškopisu

- pro znázornění výškové složky v mapě, případně plánu se používá několika způsobů: bodové, liniové a plošné značky, případně kombinace
  - bodové značky – kóty
  - liniové značky – vrstevnice a technické šrafy
  - plošné značky – stínování, tónování, barevná hypsometrie, sklonové šrafy
- plošné znázornění se uplatňuje pouze na mapách středních a malých měřítek

## Výškové kóty

- dávají nám informaci o výškových poměrech v mapě
- absolutní nebo relativní výška bodu připsaná k jeho polohopisnému obrazu
  - absolutní (výšky vrcholů kup, sedel, profilů komunikací)
  - relativní (výšky terénních stupňů, zářezů, výkopů a násypů)
- kóty se umísťují na význačné body terénu
- číselný údaj poskytne rychlou a přesnou informaci o výšce
- *kótovaný plán* je základem pro sestrojení vrstevnicového plánu

## Vrstevnice

- svislé průměty průsečnic reliéfu s vodorovnými rovinami, které mají pravidelný interval
- vertikální vzdálenost mezi dvěma sousedními vrstevnicemi v rovině mapy se nazývá rozestup (ekvidistance)
- rozestup (interval vrstevnic) se volí v závislosti na:
  - velikosti zobrazované plochy
  - členitosti terénu
  - použitém měřítku
- jako synonymum výrazu vrstevnice se používá izohypsa, vrstevnice o záporné výšce se nazývá hloubnice, čili izobáta
- polohově zobrazené řezy terénu s hladinovými plochami vzdálenými od sebe o stejnou výškovou hodnotu tvoří *vrstevnicový plán*
- vrstevnicový plán se doplňuje důležitými kótami význačných bodů terénu ležících mimo vrstevnice a technickými šrafami
- rozlišujeme vrstevnice základní, zdůrazněné (zvýrazněné), doplňkové a pomocné

Základní vrstevnice

- kreslí se tenkou, hnědou, nepřerušovanou a uzavřenou linií
- jejich výška je dělitelná základním intervalem

Zdůrazněné vrstevnice

- používají se pro větší názornost
- jsou vyznačeny hnědou, nepřerušovanou, uzavřenou a silnou linií
- každá pátá vrstevnice je zdůrazněná

Doplňkové vrstevnice

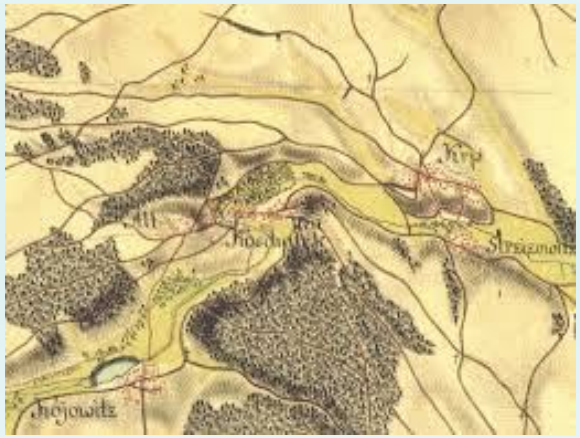
- vyznačují se v polovičním nebo čtvrtinovém výškovém intervalu
- použití tam, kde k vystižení tvaru terénu nestačí základní vrstevnice
- kreslí se tenkou, hnědou, přerušovanou linií (mezery kratší než čáry)
- nemusí být uzavřené

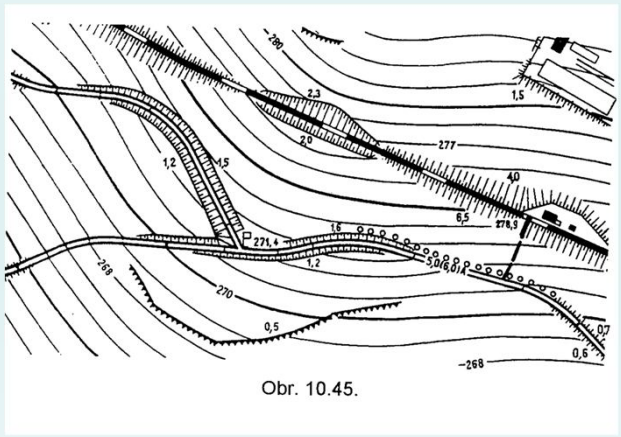
Pomocné vrstevnice

- v místech s nestálým reliéfem, zejména v místech uměle vytvořených terénních tvarů (oblasti povrchové těžby), nekótují se
- kreslí se tenkou, hnědou, přerušovanou linií (mezery stejné jako čáry)

## Šrafy

- jedna z prvních snah o znázornění výškopisu
- užíváno dříve než vrstevnice, lepší vyjádření plasticity
- druhy šraf:
  - kreslířské – bez zaměřování výšek, pouze orientační sklonové poměry
  - sklonové - vyjádření vhodným poměrem černé a bílé barvy, hustota, délka a tloušťka  podrobena geometrickým zásadám (Lehmanova stupnice)
  - technické – použití v současných mapách, dávají informaci o náhlé změně sklonu, musí být doplněny kótou





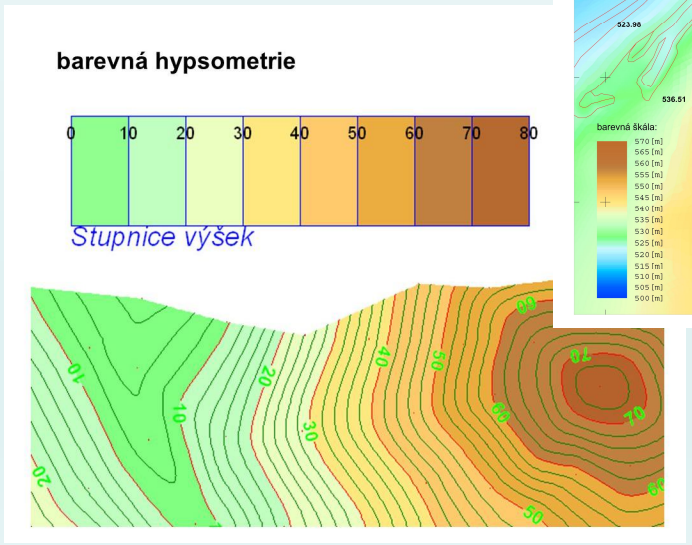
Obr. 10.45.

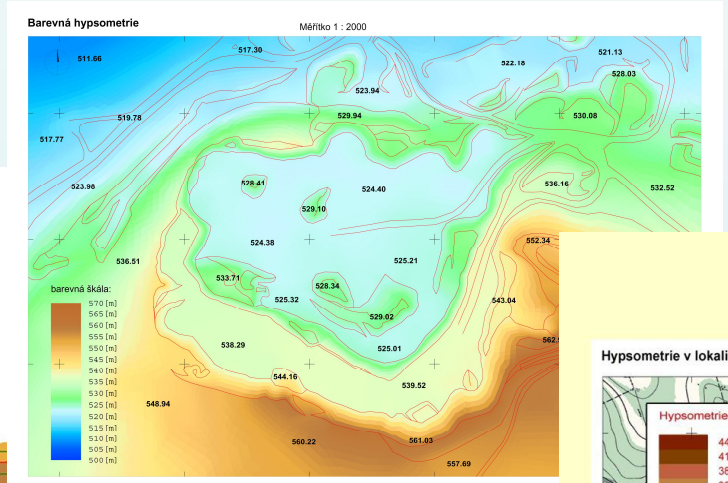
## Stínování

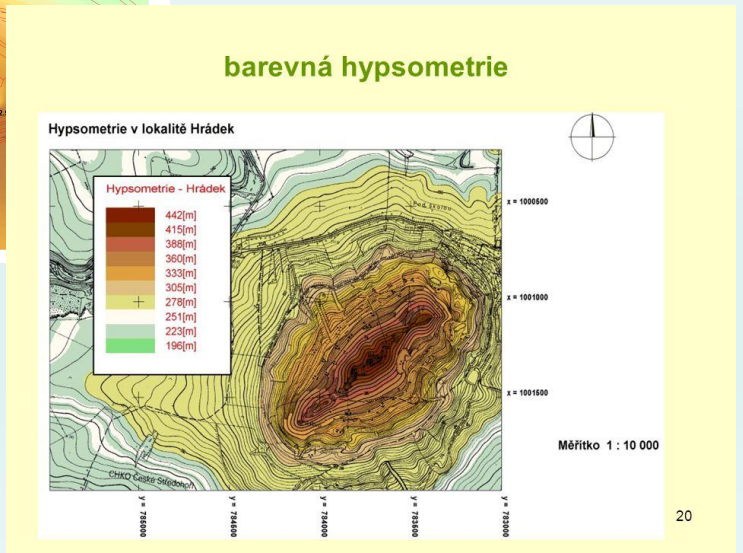
- založeno na šikmém osvětlení terénu a znázornění vrženého stínu
- mapa dostává podobu leteckého snímku – strany přivrácené ke světlu jsou světlé a odvrácené od světla ztemnělé
- rozlišujeme několik směrů osvětlení:
  - přirozené – simuluje reálné osvětlení slunečním zářením od jihu
  - konvenční – osvětlení od severozápadu, z hlediska vnímání plasticity nejúčinnější
  - svislé – založeno na kolmém dopadu světla, příkřejší svah = tmavší odstín

## Barevná hypsometrie

- princip spočívá v převodu výškových poměrů terénu do barevných přechodů (ohraničených vrstevnicemi) podle zvolené stupnice
- hypsometrie může být stupňovitá nebo plynulá
- je velmi názorná, do určité míry zachovává informaci o absolutní výšce



## Analogový vrstevnicový plán

- reliéf se znázorňuje zpravidla kombinací metod kótování, vrstevnic a technických šraf
- konstruován na podkladě vynesených bodů geometrického základu a podrobných bodů
  - body vyneseny polárně
  - výškové kóty orientovány k severu
- vyznačení terénní kostry podle náčrtu (spádnice, hřbetnice, údolnice)

## Interpolace vrstevnic

- úloha, při které se vyhotovují vrstevnice v daném území na základě znalosti polohy a výšky podrobných bodů terénu
- pro interpolaci používáme morfologickou (nelineární, pohledovou) nebo lineární interpolaci

1. *Morfologická* – předpokládá plynulou změnu spádu mezi podrobnými body, nelze použít přesný postup, nutno zohlednit, že spád terénu je ve vrcholových a údolních partiích menší než na úbočích terénních svahů, proto bude u vrcholů a údolí rozestup vrstevnic větší než na úbočích

2. *Lineární* - probíhá na interpolačních spojnicích (čára zobrazující přímku stejného spádu), na této přímce se předpokládá konstantní spád terénu a hledáme místa určená intervalem vrstevnic, snadno lze provádět mechanicky nebo automaticky

➢ interpolaci provádíme:
- graficky – pomocí trojúhelníků a pravítka nebo pomocí interpolátorů
- početně
- odhadem
- automatizovaně (na PC)

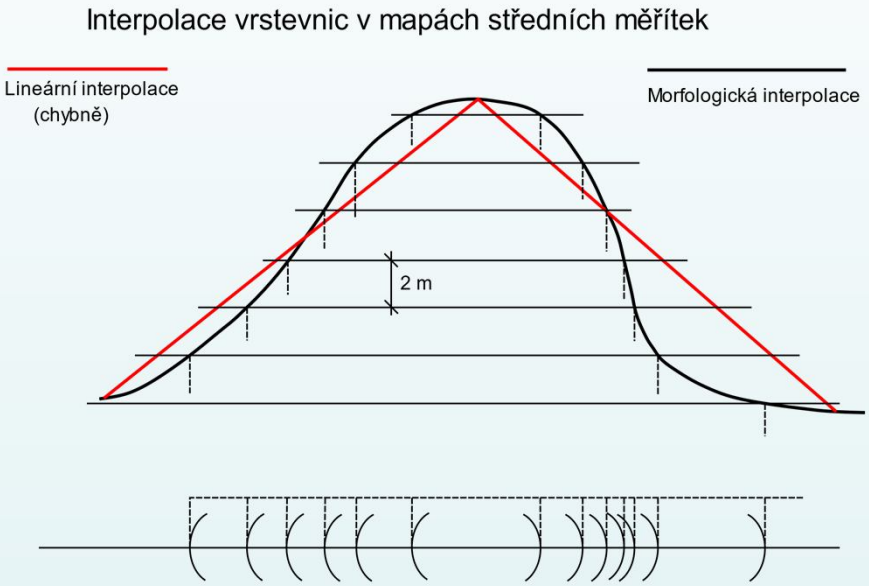
❑ vrstevnice vykreslujeme hladkou křivkou, začínáme vykreslovat nejdelší

❑ kótování vrstevnic je rozptýlené po ploše mapy, číslice se píší hlavou ve směru stoupání terénu (do svahu)

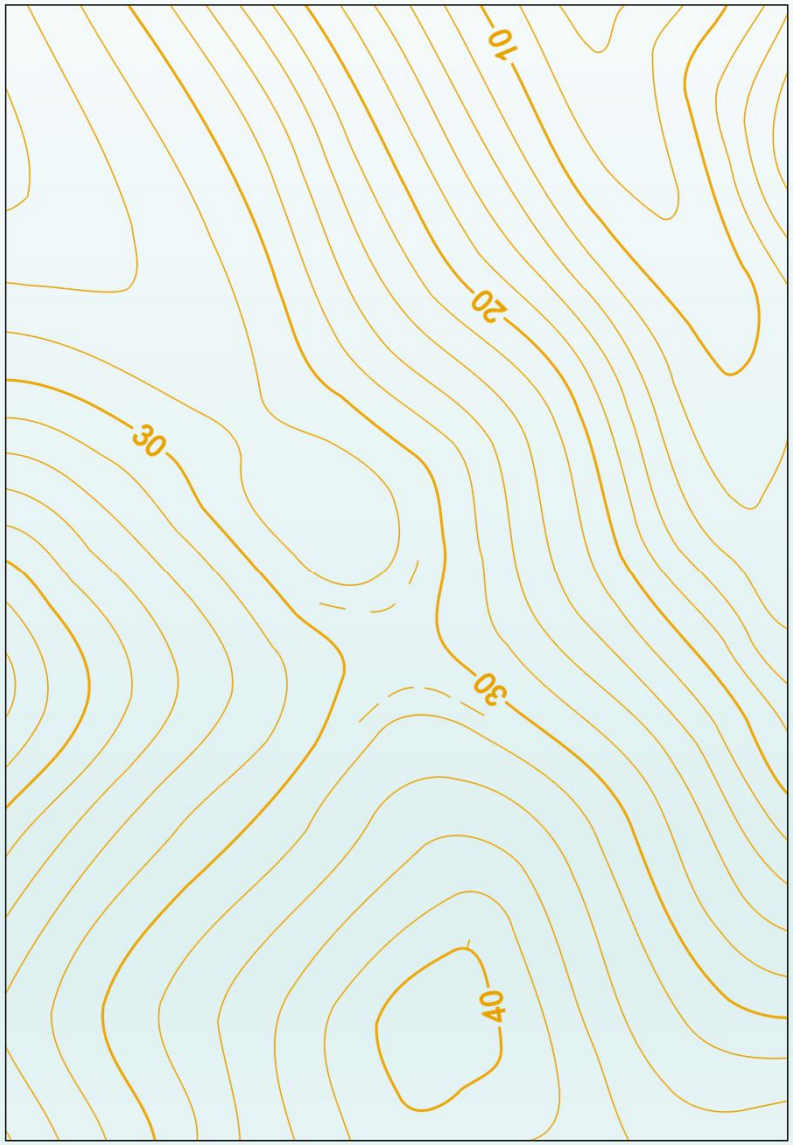
❑ pro lepší přehlednost o směru sklonu terénu se vrstevnice doplňují krátkými čárkami – *spádovkami* (kolmé na vrstevnici, kreslí se ve směru klesání terénu)

❑ pod objekty se vrstevnice nekreslí, přes komunikaci přecházejí přibližně kolmo

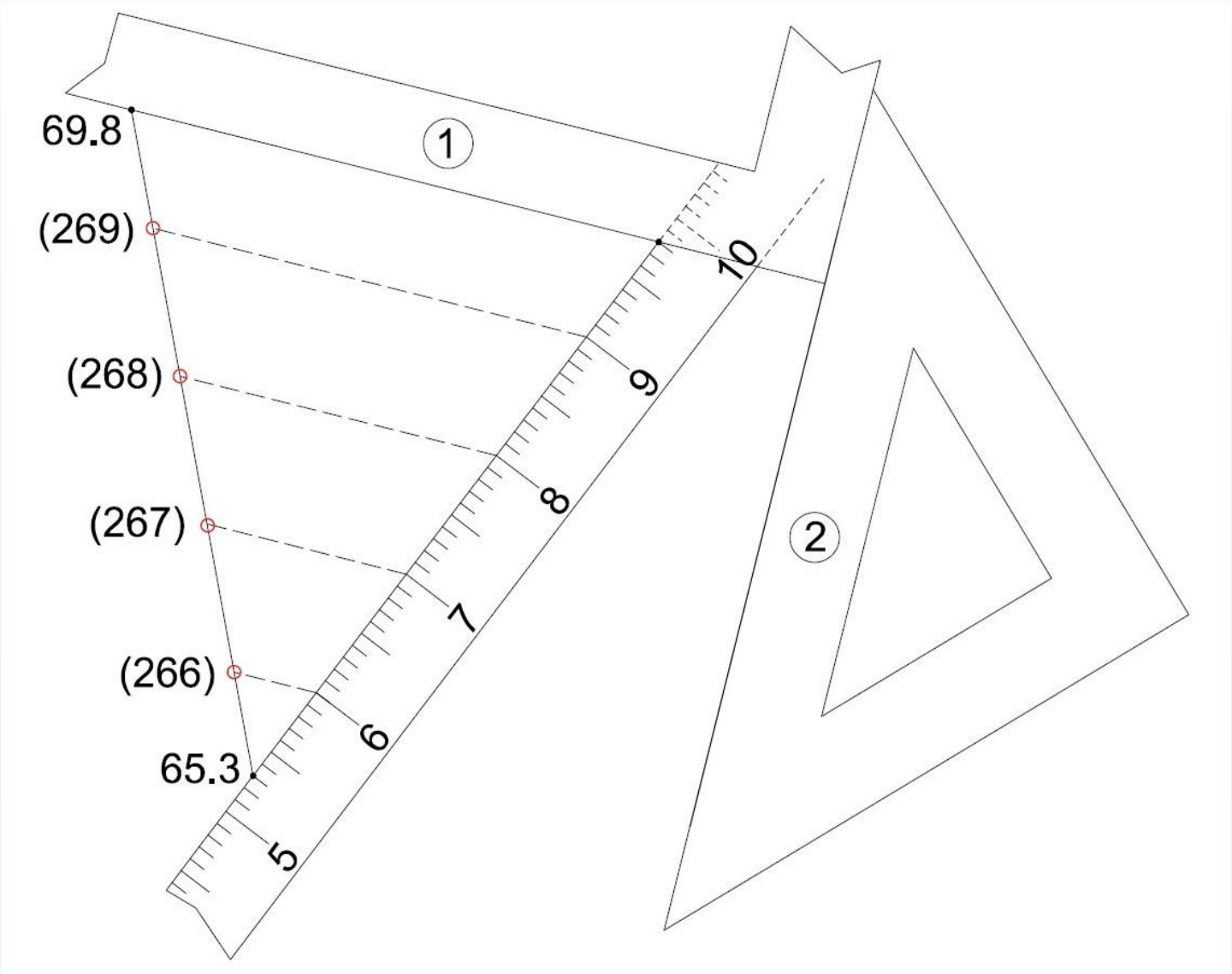
❑ údolnice a čáry terénní kostry se do mapy nekreslí !!!


Interpolace vrstevnic v mapách středních měřítek
Lineární interpolace
(chybně)
Morfologická interpolace
2 m

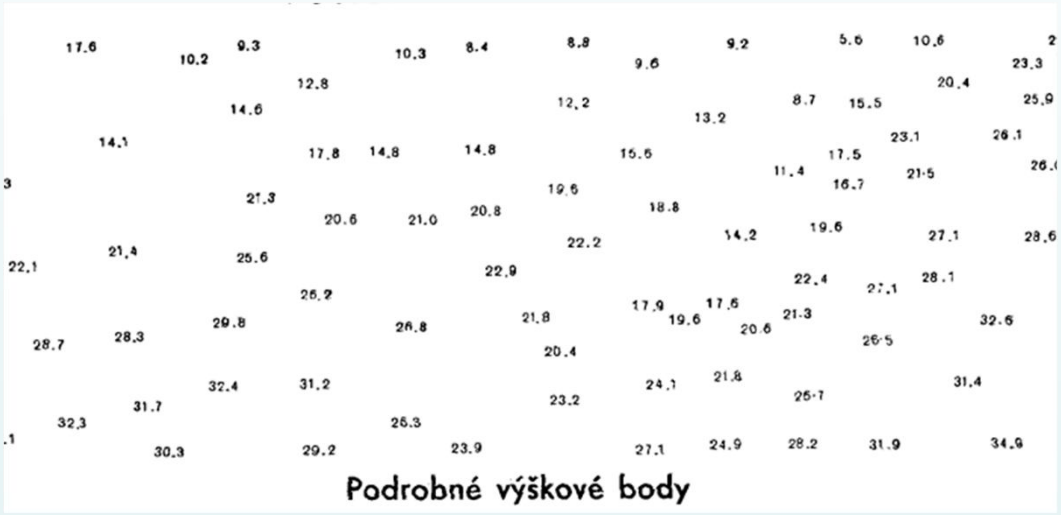
U vrstevnic je důležité rozlišovat hlavu a patu číslovky
která nám udává nadmořskou výšku.
Červená šipka, je tedy stoupání a bílá šipka je klesání
124
127
128
126
128
125


10
20
30
30
40

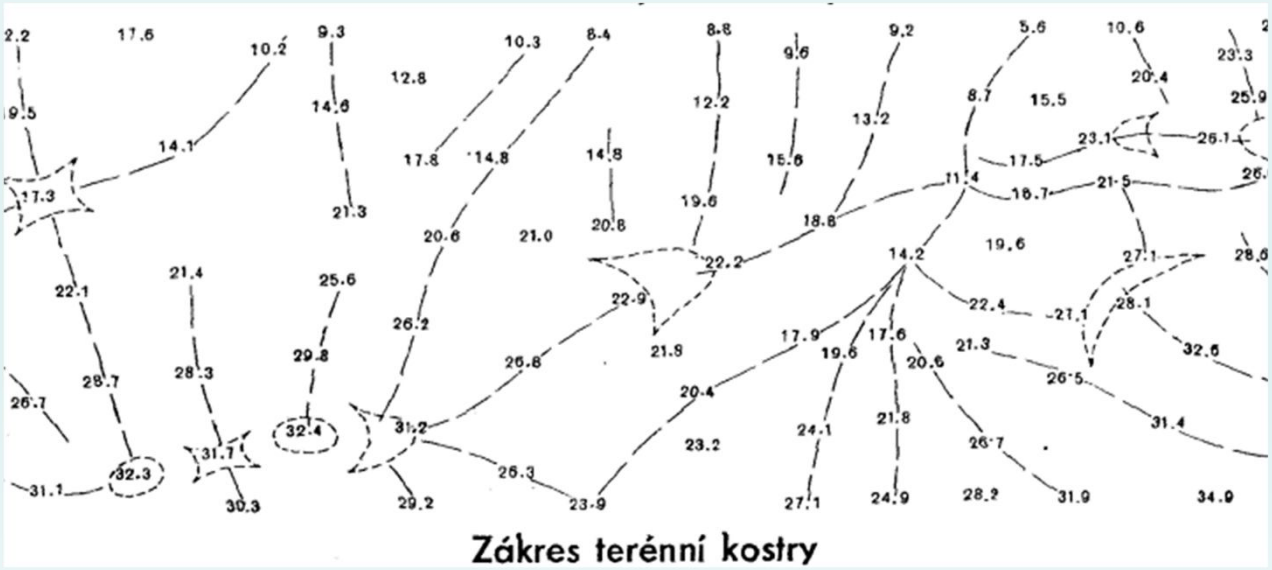
# Grafická interpolace



# Postup při řešení vrstevnic

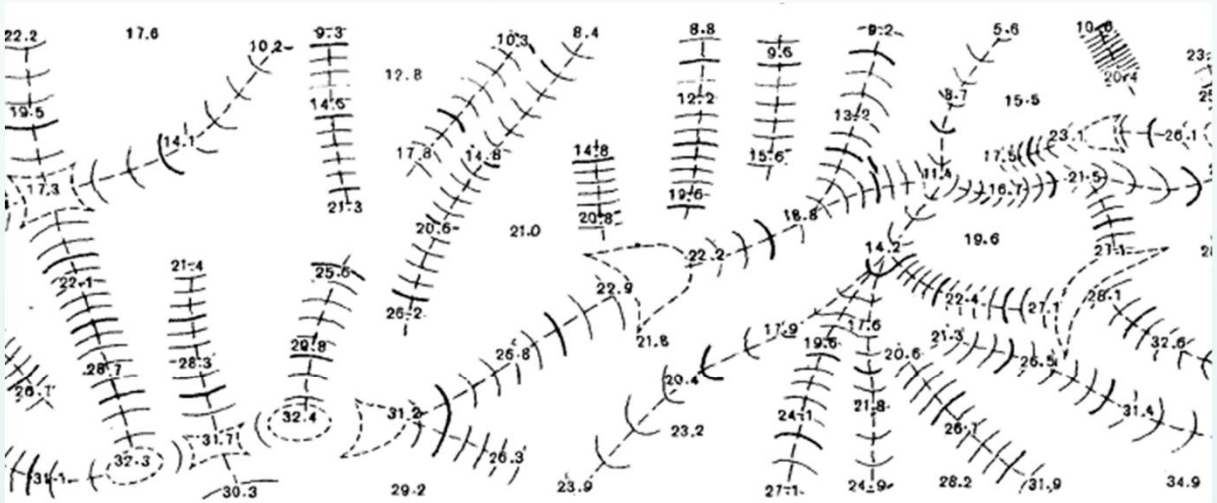


Podrobné výškové body

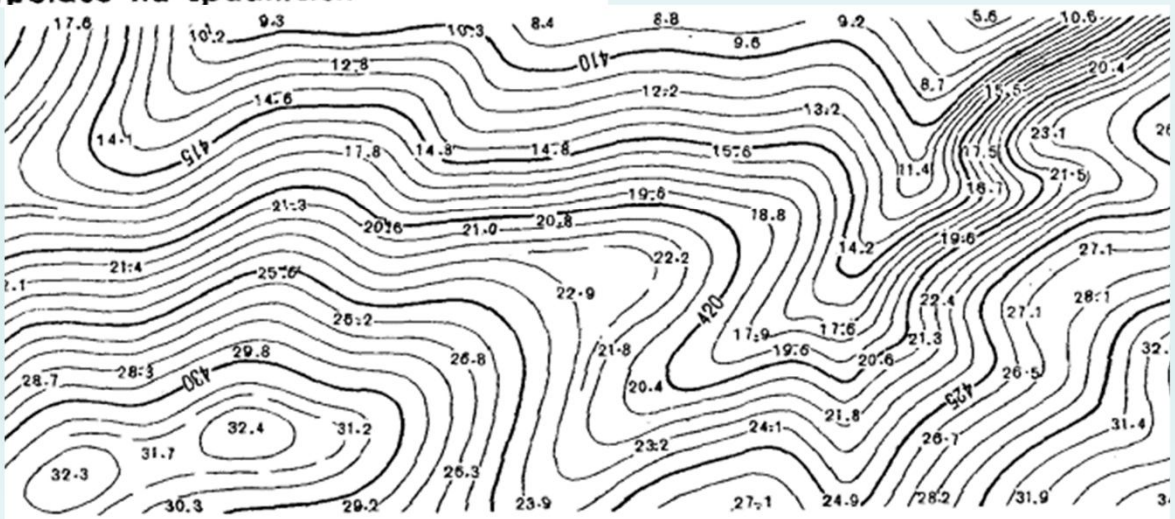


Zákres terénní kostry

# Postup při řešení vrstevnic



Morfologická interpolace na spádnicích



Vrstevnicový obraz

## Digitální vrstevnicový plán

- v současnosti se pro tvorbu plánů využívá software s možností tvorby digitálních modelů terénu (DMT) – ArcGIS, MicroStation, Atlas DMT, Trimble Business Center, Topos
- vlastní digitální model bývá nejčastěji tvořen trojúhelníkovou sítí generovanou mezi přímo měřenými nebo jinak určenými body (TIN)
- DMT lze prezentovat v podobě drátového modelu, jednobarevně vyplněných ploch nebo ploch vyplněných fotorealistickou texturou
- následně lze z těchto modelů přímo generovat vrstevnicový obraz
- při fotogrammetrickém vyhodnocení užíváme zpravidla dvousnímkovou leteckou stereometodu
  - možnost plastického vjemu
  - přímé „tažení“ vrstevnic
- doměřování „zakrytých míst“ geodetickými metodami
- zdroje dat pro digitální modely terénu: tachymetrie, metody GNSS, fotogrammetrické metody, laserové skenování, naskenované analogové podklady

# Podélný profil a příčný řez



- patří mezi základní měřické podklady pro projekci a výstavbu všech liniových staveb jako jsou:
  - komunikace
  - vodní toky
  - vodovody
  - kanalizace
- rozdíl mezi profilem a řezem – výšková míra profilů je oproti délkové míře vždy větší (obraz je převýšený), řezy jsou vyhotoveny v jednom měřítku

**Podélný profil**

- obraz řezu svislé roviny proložené podélnou osou liniového objektu stavby s terénem po rozvinutí do roviny
- získává se přímým měřením délek a výšek – komunikace, vodovody, kanalizace nebo odvozením z příčných profilů – úpravy vodních toků a vodních staveb
- nejdříve je nutné polohově vytyčit osy staveb
- základem měření je obvykle polygon, vede se přibližně osou stavby
- důležité situační body po obou stranách osy stavby se doměří kolmicemi

# Podélný profil a příčný řez



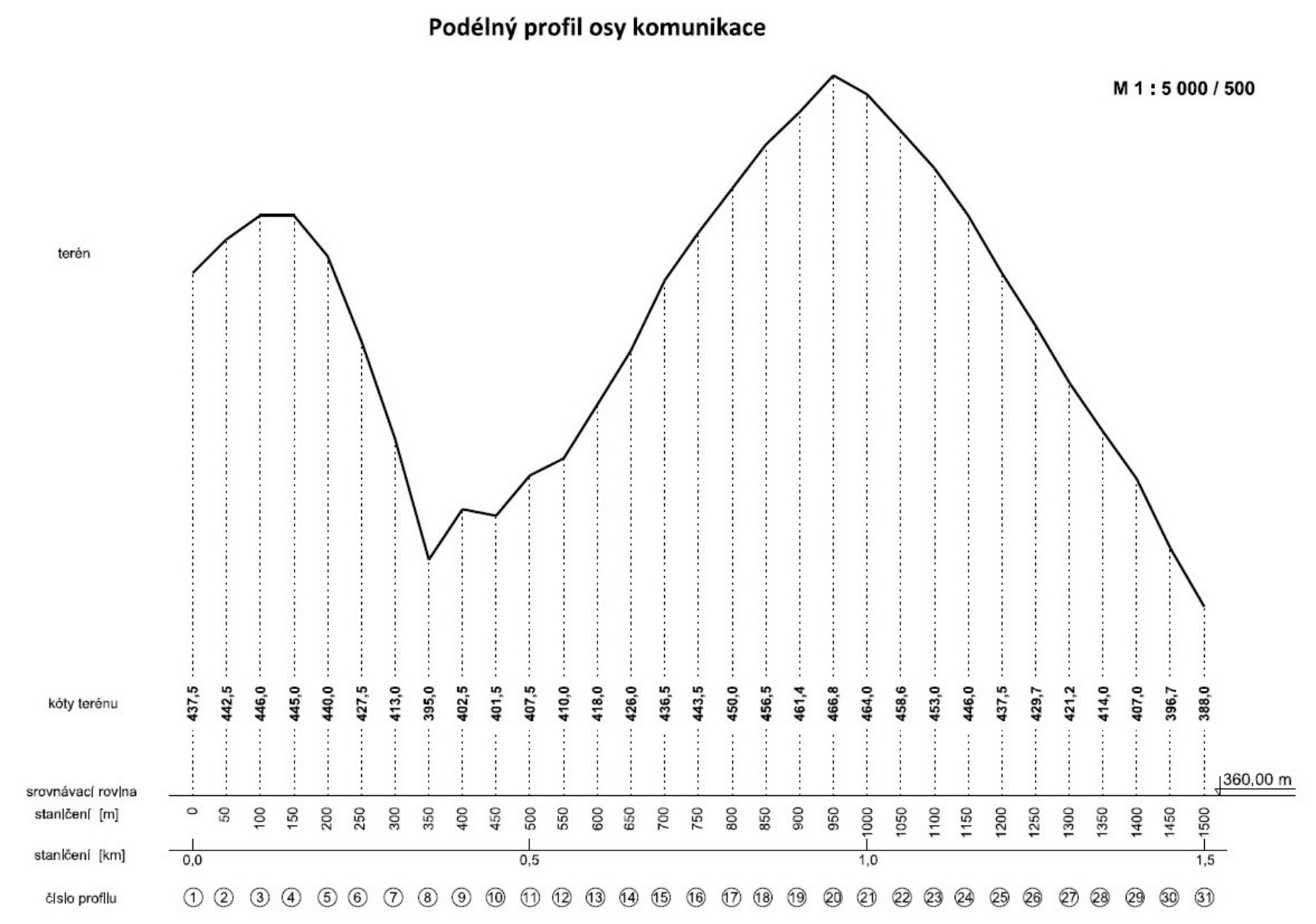
- celý profil se rozdělí pomocí kolíků na pravidelné úseky (5,10,20,50,100 m)
- vyznačí se v něm i body, kterými budou procházet příčné řezy
- všechny tyto body, včetně důležitých situačních bodů a bodů ve kterých se terén znatelně lomí, se polohově i výškově zaměří
- výšky bodů se obvykle připojují nivelací na ČSNS, u méně významných staveb (bez připojení na stávající inženýrské sítě) je možné pracovat v místním výškovém systému
- výšky stabilizovaných bodů určujeme na milimetry a výšky terénu na centimetry
- výškové kóty se v profilu uvádí v metrech na dvě desetinná místa
- současně s nivelací probíhá délkové měření
- v současnosti se k měření podélných profilů častěji používá totální stanice, podrobné body se měří tachymetricky
- při vynášení profilu volíme výškové měřítko přibližně 10 x větší než podélné => lépe vynikne výšková rozlišnost terénu

## Příčný řez

- řezy svislé roviny kolmé na osu stavby s terénem
- měříme je po vytyčení a stabilizaci osy stavby
- zaměřují se v pravidelných odstupech (10, 20, 50 m), charakteristických bodech trasy a vertikálních zlomech
- jsou nedílnou součástí projektů komunikace nebo úprav vodních toků, využívají se při určování objemů profilovou metodou
- směr příčného řezu se vytyčuje hranolem a koncové body se stabilizují, na kratší vzdálenosti můžeme směr řezu odhadnout
- délka řezu na obě strany od osy závisí na rozsahu prací (5 - 100 m)
- zaměření spočívá v určení vzdáleností a výšek jednotlivých podrobných bodů řezu
- délky jsou vztaženy k bodu v ose stavby, výšky jsou určeny ve výškovém systému společném s podélným profilem
- výšky měříme nivelačním přístrojem, případně svahoměrnou soupravou (svažitý terén, násypy a zářezy)
- v současnosti se k jejich měření používá nejčastěji totální stanice

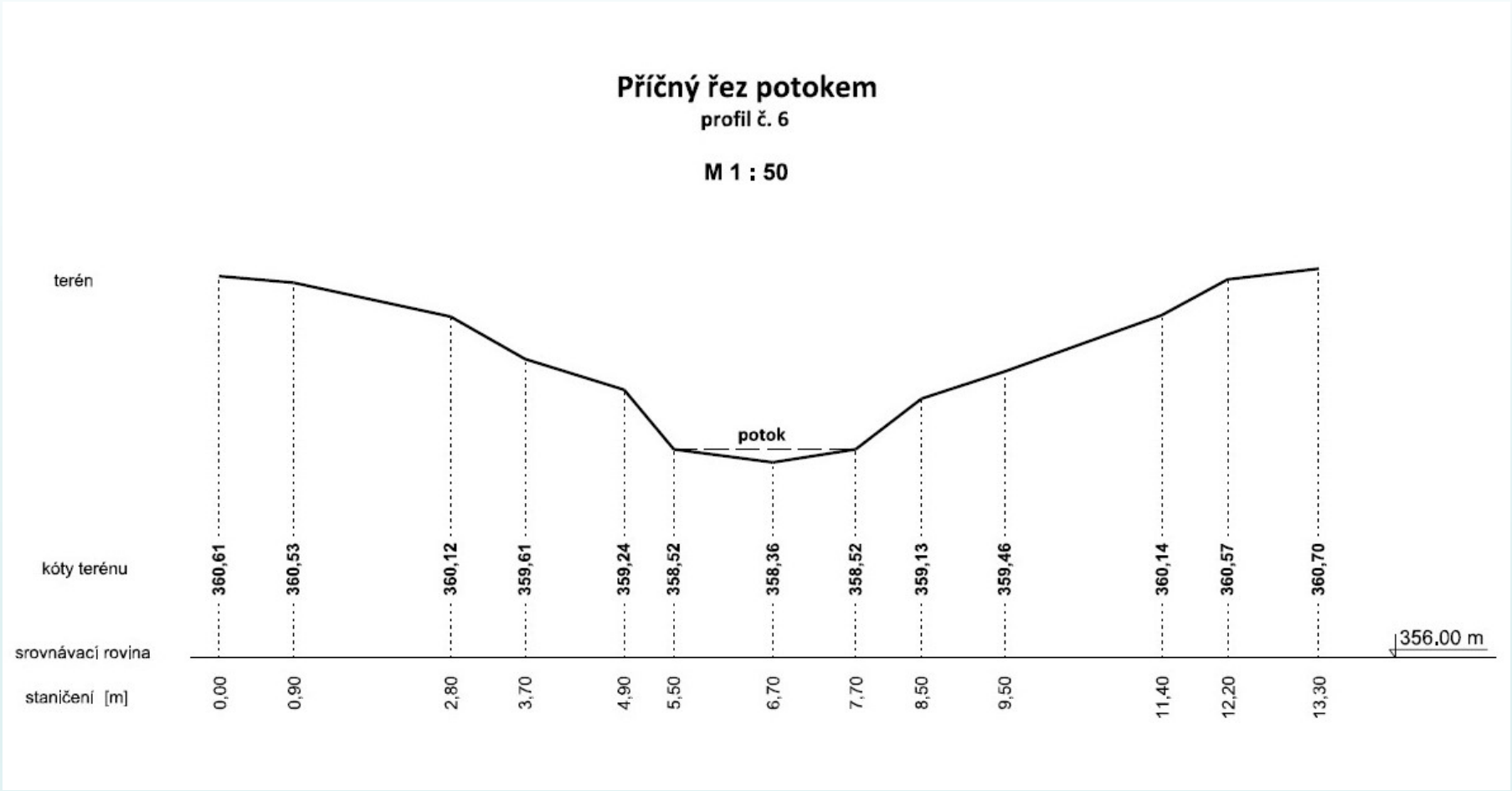
# Podélný profil





# Příčný řez




Příčný řez potokem
profil č. 6
M 1 : 50
terén
potok
kóty terénu
srovnávací rovina
356,00 m
staničení [m]
360,61
360,53
360,12
359,61
359,24
358,52
358,36
358,52
359,13
359,46
360,14
360,57
360,70
0,00
0,90
2,80
3,70
4,90
5,50
6,70
7,70
8,50
9,50
11,40
12,20
13,30

# Děkuji za pozornost

# Ing. Miloš Cibulka, Ph.D.

**Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky**
**Lesnická a dřevařská fakulta**
**uhulag.mendelu.cz**
**tel.: 545 134 015**