



Zdeněk Máčka
z7551 Metody fyzické geografie
Geodetické metody v
geomorfologii



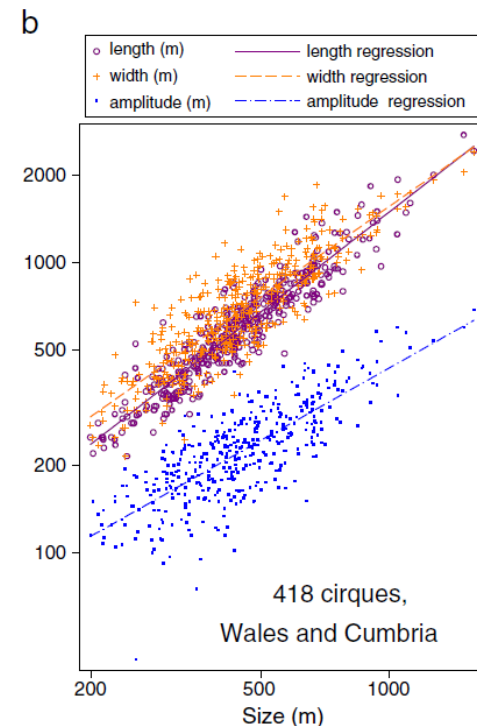
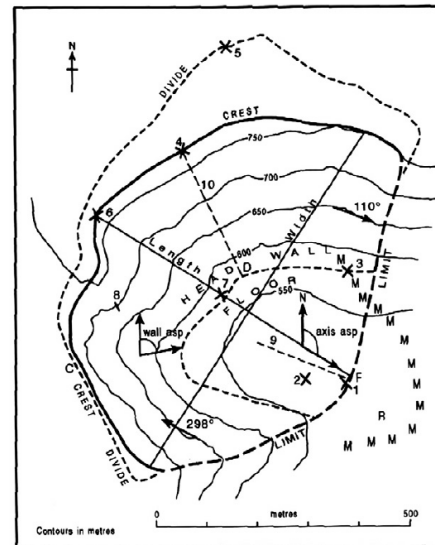
OSNOVA PŘEDNÁŠKY

1. Měřické aplikace v geomorfologii
2. Rozměry malých objektů/forem
3. Měření délek a úhlů
4. Laserové dálkoměry, nivelační přístroje a teodolity
5. Měření výšek objektů
6. Měření svahových profilů
7. Měření koryt vodních toků
8. LiDAR
9. GNSS

Jaké geodetické aplikace v geomorfologii řešíme?

- Měření rozměrů malých objektů
- Měření výškových rozdílů (relativní převýšení, výška objektů)
- Měření rozměrů tvarů reliéfu (š, d, v)

Rozměry karů (Evans 2012)



- Vytvoření geomorfologické mapy (body, linie, polygony)
- Pořízení dat pro vytvoření DEM (DTM, DSM)

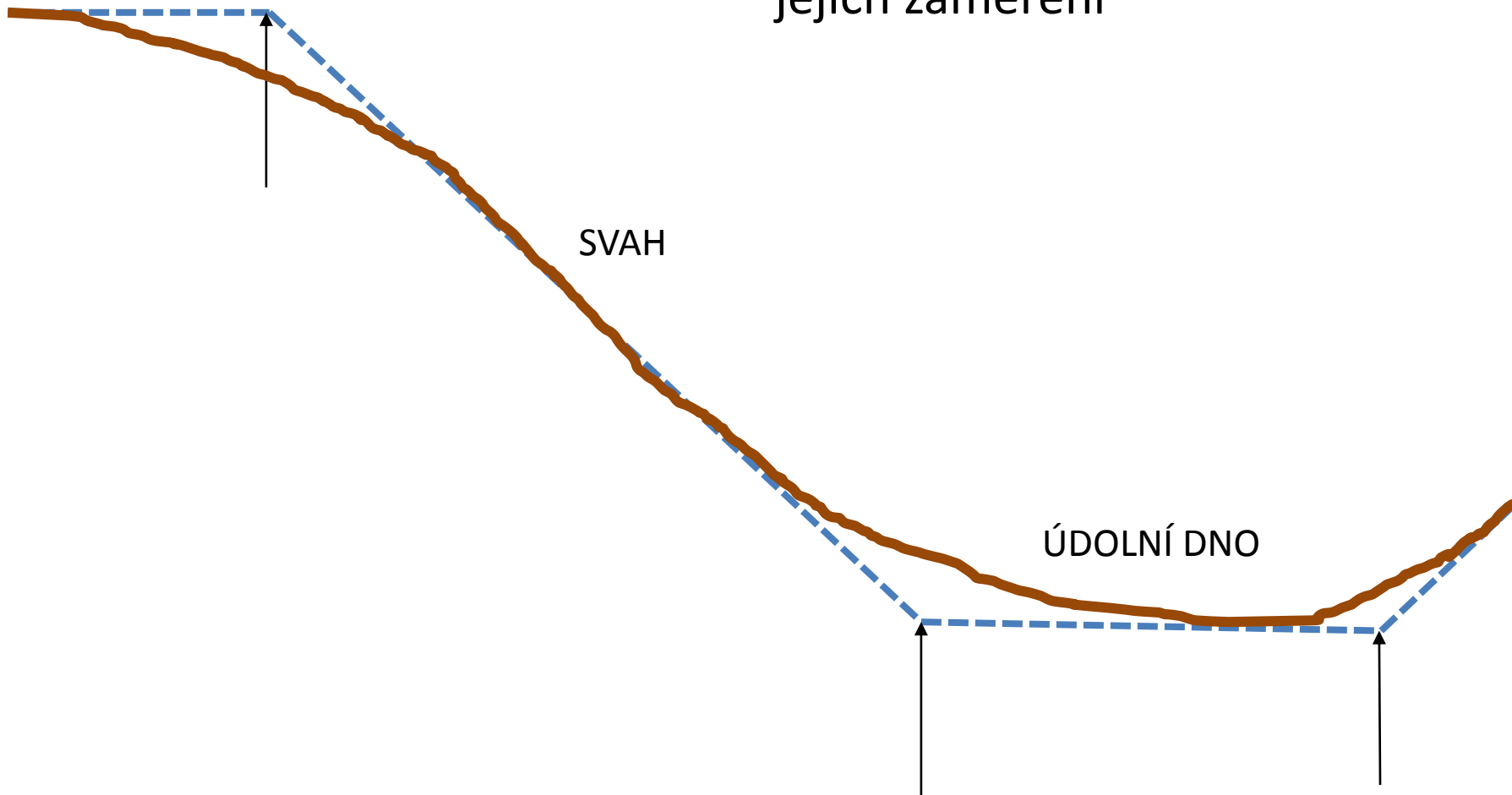
Fuzzy povaha tvarů reliéfu

TEMENNÍ PLOŠINA

Neostré hranice tvarů komplikují
jejich zaměření

SVAH

ÚDOLNÍ DNO



Měření rozměrů malých objektů/forem

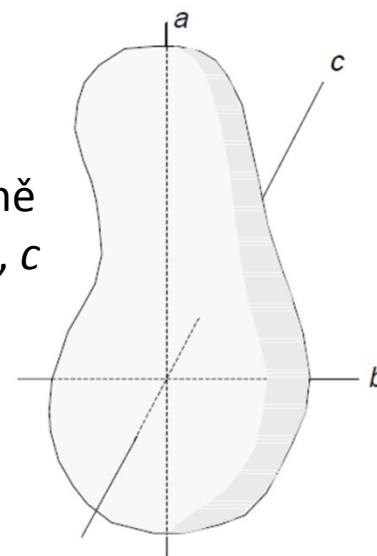
PŘÍKLAD 1: Zrnitostní analýza



Fluviální sedimenty
(klasty od velikosti osy b 4 až 8 mm)

Bečva

Měření vzájemně
kolmých os a , b , c



Kamenná stáda
(velikost balvanů)
třebíčský masiv

PŘÍKLAD 2: Rozměry nano-/mikroforem

Skalní dutiny: měření šířky, výšky a hloubky



Voštiny



Tafoni

Demek (1987)	šířka	výška
nanoforma	do 5 m	do 5 m
mikroforma	do 500 m	do 50 m

Summerfield (1991)	délka	plocha
mikroforma	do 500 m	do 0,25 km ²

Pomůcky pro měření malých objektů

- Posuvné měřítko alias šuplera

rozlišení 0,1 nebo 0,05 mm; rozsah do 150 až 300 mm

variantou je lesnická průměrka: rozlišení 1 nebo 5 mm; rozsah 30 až 100 cm

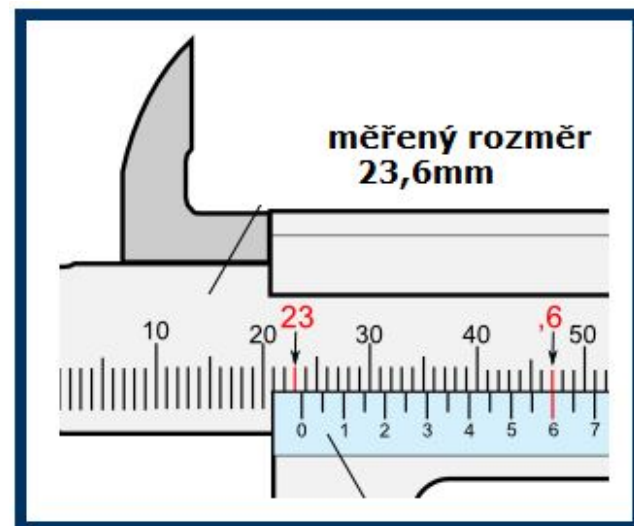


- Svinovací metr

rozlišení 1 mm; rozsah do 5 až 7 m

- Laserový dálkoměr

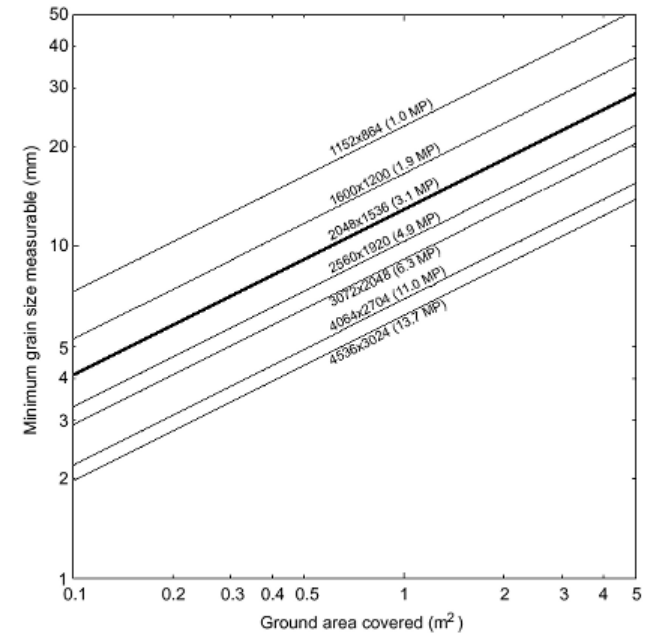
rozlišení 1 mm; rozsah 0,05-100 m



Digital Gravelometer

Fyzické měření klastů je nahrazeno zpracováním obrazu (fotografie)

- Rychlý sběr dat, šetří čas
- Předpoklad: osa b je viditelná
- Zkresluje výsledky: podhodnocuje rozměry klastů

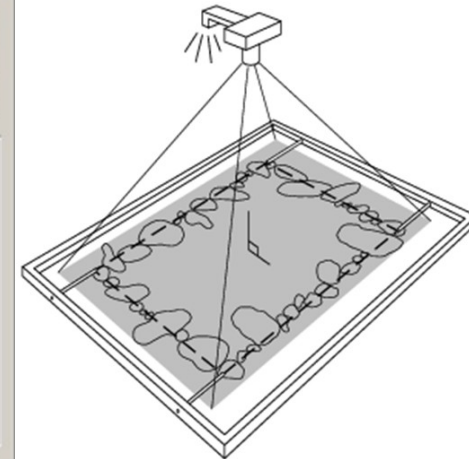
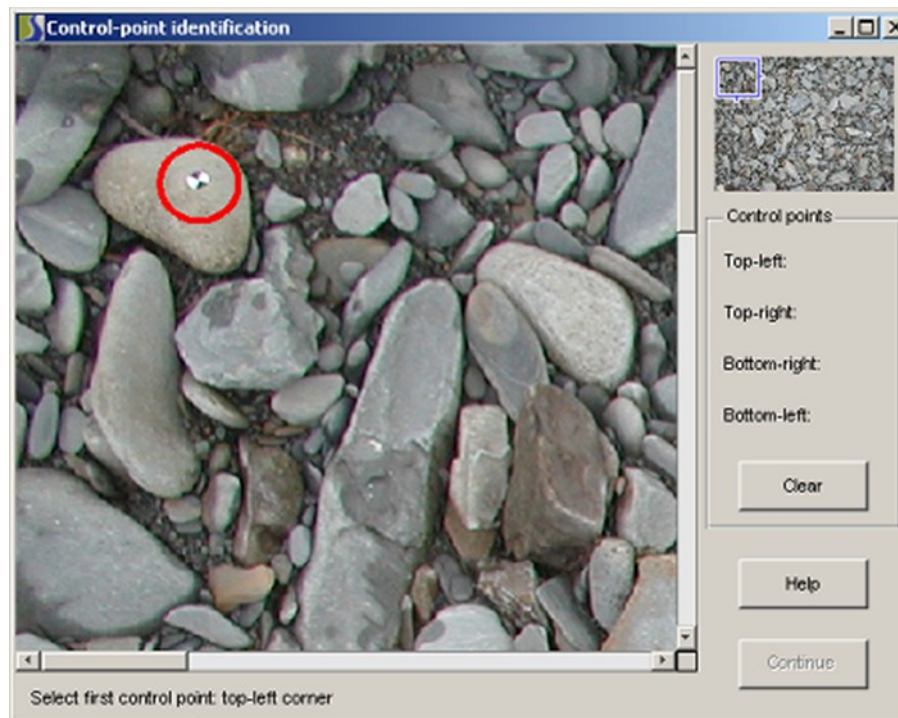


Vytvoření projektu
(File menu)

Vložení snímků
(Image management menu)

Měření velikosti zrn
(Measure grains menu)

Generování výstupů
(Report menu)



Měření délek (vzdáleností)

Délka v *geodézii*: vodorovná vzdálenost mezi dvěma body vyjádřená v délkových jednotkách, tj. násobcích dohodnutého normálu.

1 m (ČSN 01 1300)= dráha, kterou urazí světelný paprsek za $1/299\,792\,458$ s

Délka v *geomorfologii*: často nás zajímá vzdálenost vedená po zemském povrchu (např. skutečná délka svahu)

Metody měření délek:

- Přímé (pásmo, invarový drát, lať)
- Nepřímé (trigonometricky, opticky, elektronicky)

Měření pásmem

Materiál: ocel, plast, invar

Provedení: na vidlici, v pouzdře, na kruhu; délky 10, 15, 20, 30 a 50 m

Dělení pásma: první dm po mm, dále po cm; očíslovány jen dm a m

Přesnost: 1/400 a lepší

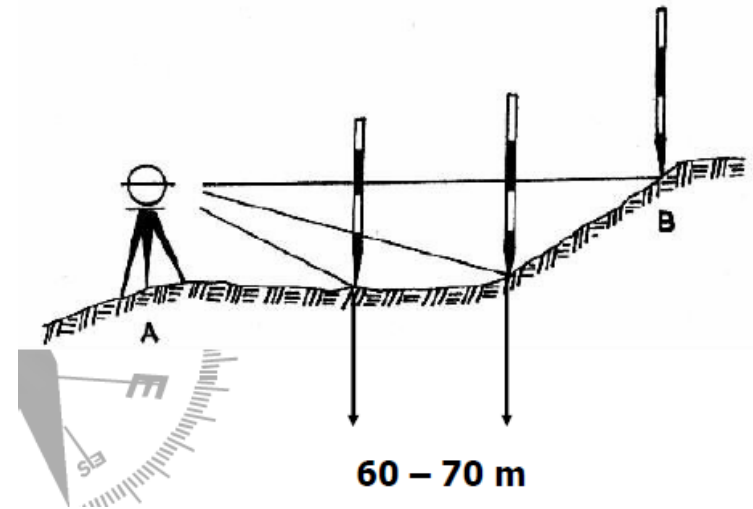
Technické měření

několik cm / 100 m

Přesné měření

do 1 cm / 100 m

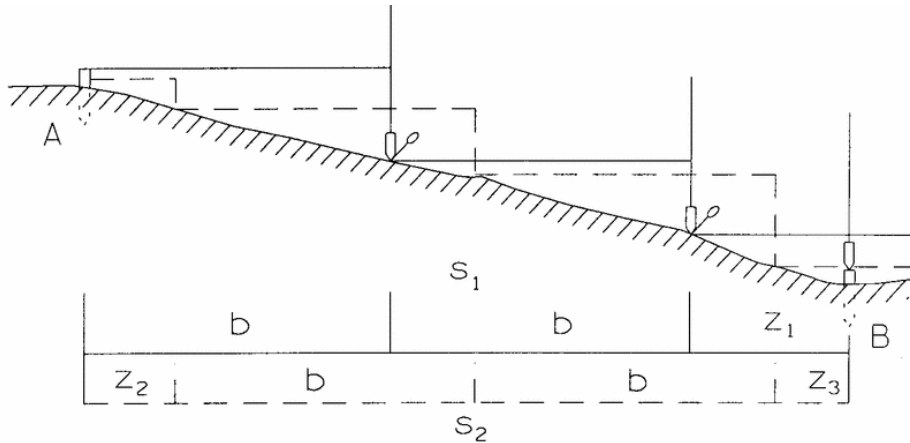
Potřebné pomůcky: měřické hřeby, olovnice, siloměr, výtyčky, stojánky na výtyčky



Měří se ve vodorovné poloze pásma

Každá z délek se měří dvakrát, rovinatý terén: tam a zpět, svažité: po svahu dolů

ROVINATÝ n. MÍRNĚ
SVAŽITÝ TERÉN



první měření

$$s_1 = nb + z_1$$

n ... počet kladů pásma
 b ... délka pásma
 z_1 ... zbytek délky

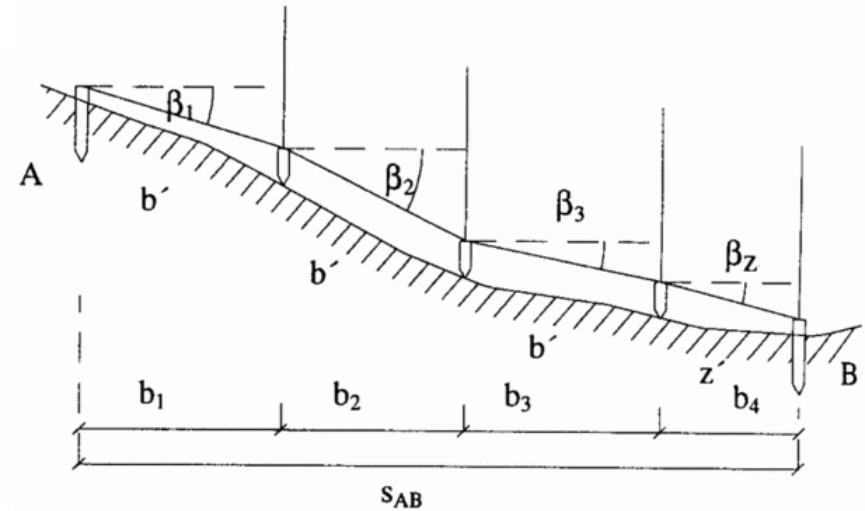
druhá měření

$$s_2 = z_2 + nb + z_3$$

hledaná délka

$$s = \frac{s_1 + s_2}{2}$$

SVAŽITÝ TERÉN



$$b_i = b' \cos \beta_i$$

$$S_{AB} = \sum_{i=1}^n b' \cos \beta_i + z' \cos \beta_Z$$

Při přesné nivelaci je třeba vykolíkovat
dílní vzdálenosti a měřit převýšení



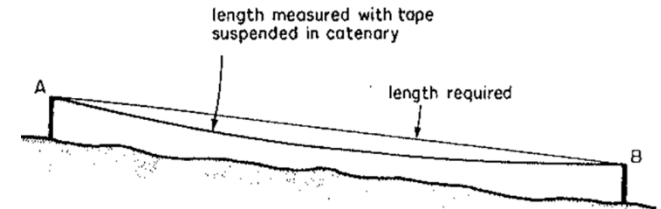
Chyby vznikající při měření pásmem

SYSTEMATICKÉ

NAHODILÉ

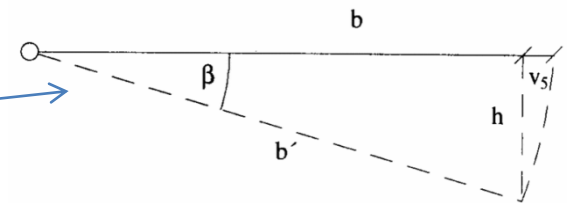


- Nesprávná délka pásma (v_1)
- Změna délky pásma vlivem teploty (v_2)
- Průhyb pásma (v_3)
- Protažení pásma (v_4)
- Nevodorovná poloha pásma (v_5)
- Vybočení pásma ze směru
- Nesprávné určení sklonu nebo převýšení pásma



KOREKCE NA PRŮHYB PÁSMÁ on-line:

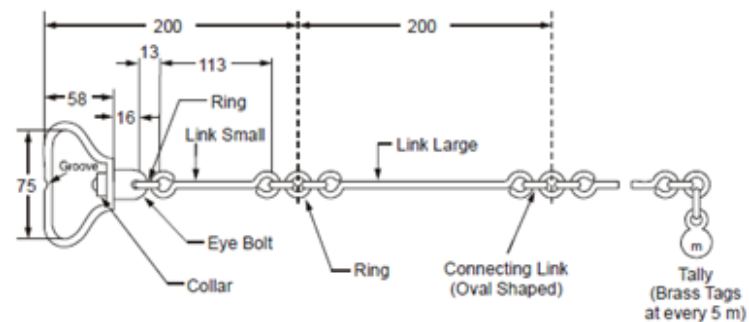
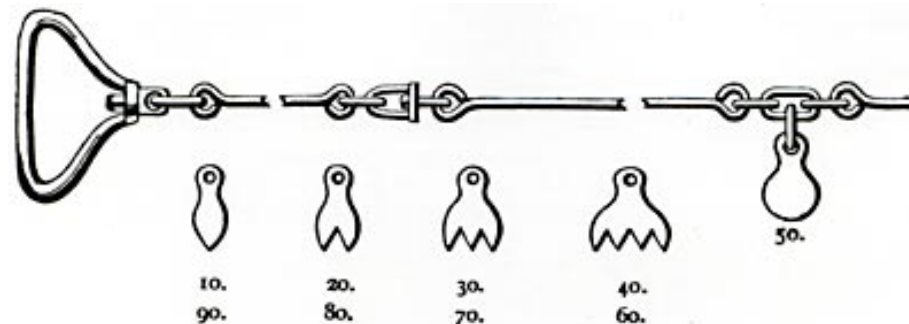
<http://www.edumine.com/tools/tape-sag-correction-calculator/>



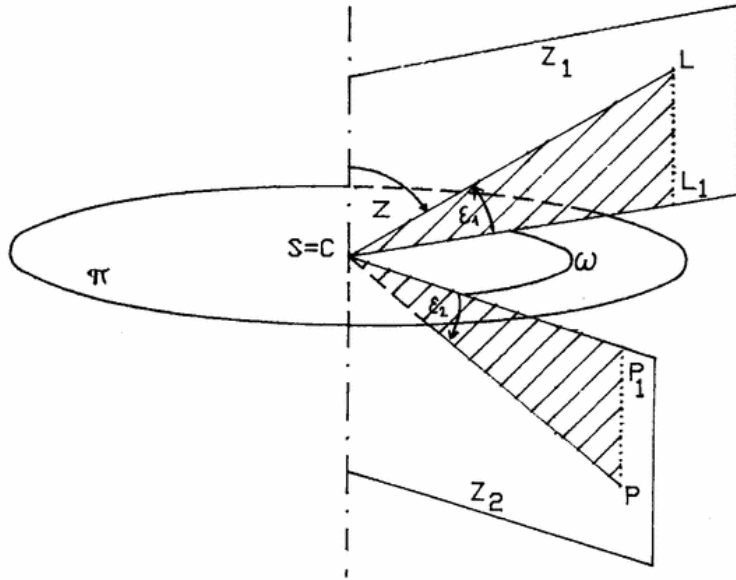
Taková malá reminescence ...

... jak se dříve měřily délky

Měřický řetěz



Měření úhlů



Okružní geodetických přístrojů jsou dělena v **gonech** (= grad, gradián)

- Horizontální úhel (směr)
- Vertikální úhel (zenitový úhel)

Jednotky:

- oblouková míra (radián)
- stupňová míra
 - šedesátinné dělení (°), plný kruh 360°
 - setinné dělení (gon), plný kruh 400 gon

$$1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} \approx 57,296^\circ \approx 57^\circ 17' 45''$$

$$1^\circ = \frac{\pi}{180^\circ} \approx 1,715 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$$

$$1 \text{ gon} = \frac{\pi}{200} \text{ rad} \approx 1,571 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$$

$$1 \text{ rad} = 57,29578^\circ = 63,66198 \text{ gon}$$

$$360^\circ = 400 \text{ gon}$$



$$1^\circ = 10/9 \text{ gon}$$

$$1 \text{ gon} = 9/10^\circ$$

Vodorovné a svislé úhly měříme teodolitem

Vodorovné úhly lze měřit kompasem

KALKULAČKA

MAGNETICKÉ DEKLINACE

<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>



Nivelace

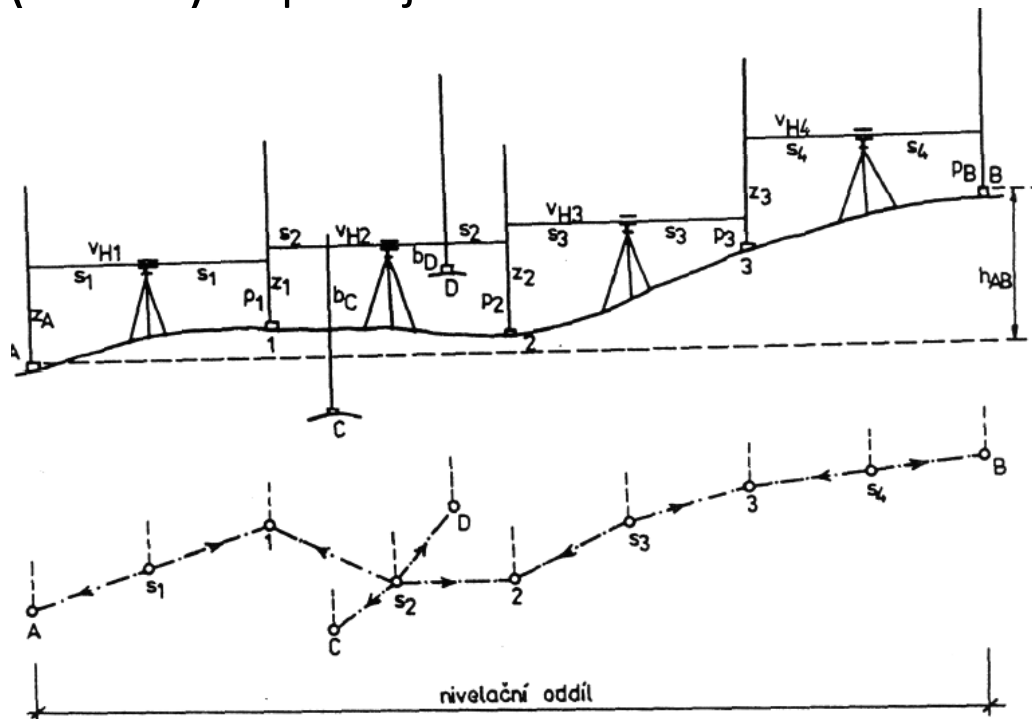
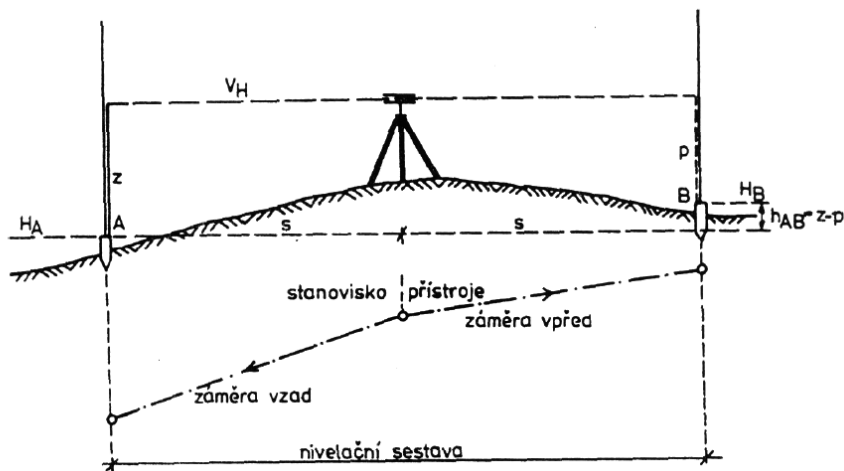
Aktuálně používaný výškový systém:

Česká státní nivelační síť (ČSNS) (Balt po vyrovnání)

Základní výškové bodové pole – spravuje Zeměměřičský úřad

12 základních bodů; I. řád (16. tis.), 2. řád (20 tis.), 3. řád (48 tis.)

Podrobné výškové bodové pole (IV. řád) – spravuje Katastrální úřad



technická (TN):

kilometrová odchylka $\sigma_{km} \leq 5$ mm, délka záměry max. 120 m (optimálně do 60-80 m)

přesná (PN)

velmi přesná (VPN)

zvláště přesná (ZPN)

nivelační sestava → oddíl → pořad

Nivelační přístroj

- Optický
- Laserový

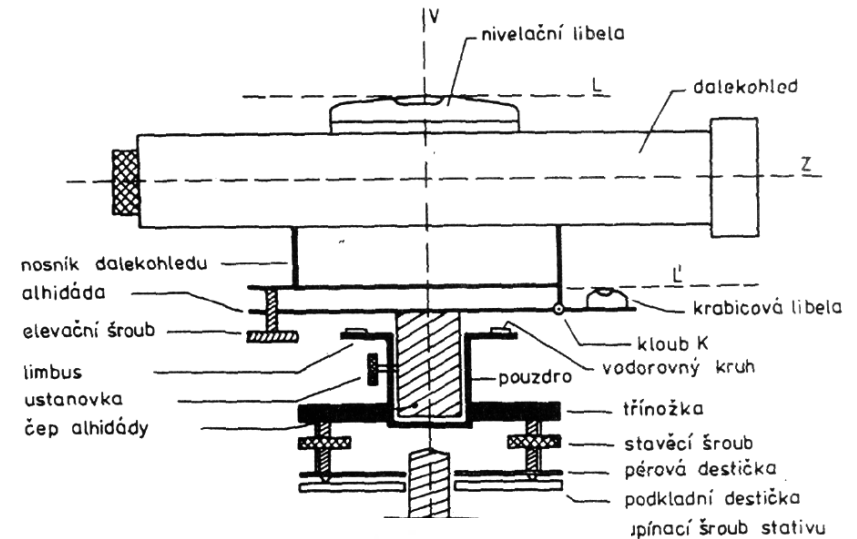


Urovnání záměrné přímky do vodorovné polohy:

- libelové
- kompenzátorové

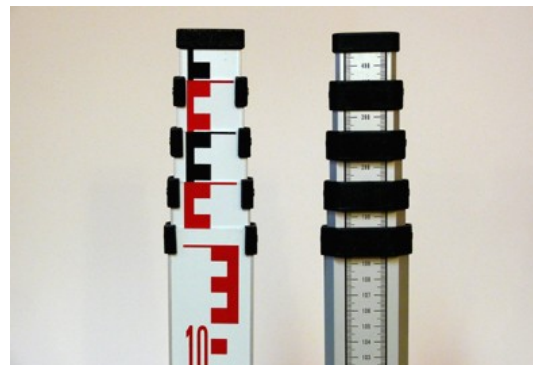
Způsob odečtu:

- vizuální
- digitální (čarový kód)



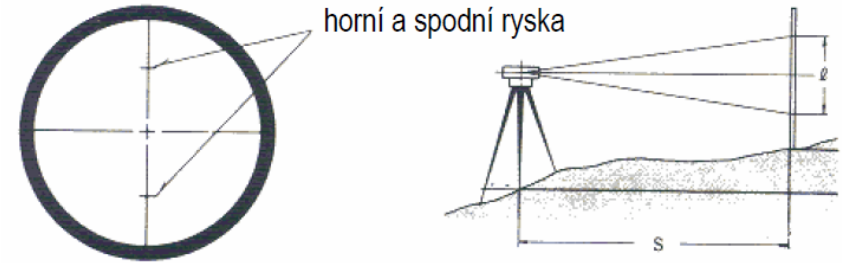
PŘÍSLUŠENSTVÍ:

nivelační lať (+ krabicová libela)
stativ
nivelační podložka / hřeb



Postup měření

1. Pevné postavení stativu s přístrojem
2. Horizontace přístroje pomocí krabicové libely
3. Záměra vzad
 - zacílení na lať, zaostření
 - čtení na lati
4. Záměra vpřed
 - ...



Kontrola a rektifikace

– krabicová libela

Horizontovat přístroj pomocí libely, otočit o 180° , bublina musí zůstat v kruhu

1. rektifikačními šrouby opravit výchylku o $\frac{1}{2}$
2. stavěcími šrouby srovnat libelu, otočit přístroj o 180°
3. opakovat postup, dokud bublina nezůstane v kruhu

– záměrná přímka – kontrola

1. postavit přístroj mezi dvě latě (50-100 m)
2. odečíst na latích a_1 a b_1 , $D = a_1 - b_1$
3. postavit přístroj 2 m od latě, odečíst b_2 , a_2 musí být $b_2 + D$
4. je-li rozdíl větší než 1 mm, je třeba provést opravu rektifikačními šroubky

vymezovací kruh

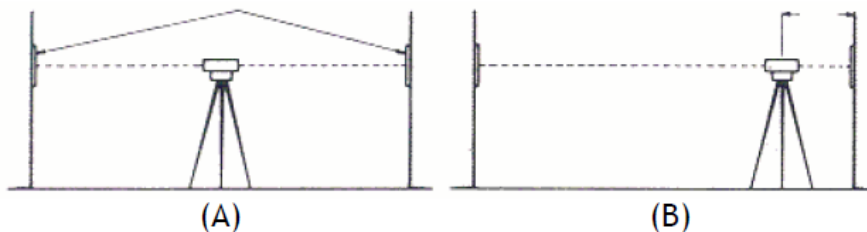
bublina

rektifikační šroubky

oprava výchylky o jednu polovinu

čtení na lati

cca 2m



Teodolit / totální stanice

teodolit s nitkovým dálkoměrem

(=tachymetr)

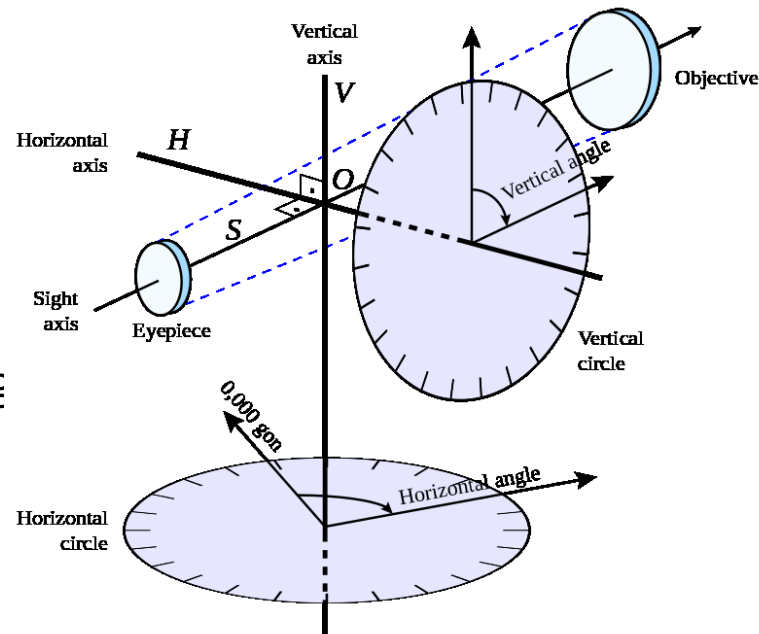
Československo: Carl Zeiss Jena, Wild Heerbrugg

teodolit s laserovým měřením délek

(=totální stanice)

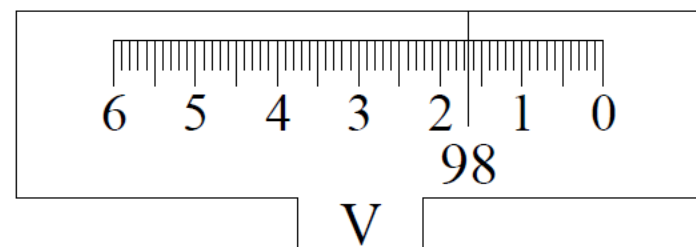
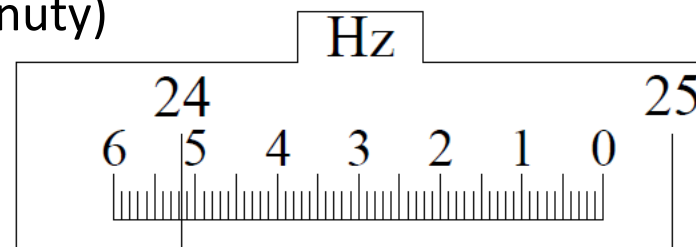
přesnost měření délek v mm hodnotách

Výrobci: Trimble, Leica, Topcon, Zeiss, Nikon



Optickomechanické teodolity:

- minutové (nejmenší dílek stupnice 1 nebo 2 minuty)
- vteřinové (1 nebo 2 vteřiny)
- triangulační (desetiny vteřiny)



Okružní ve ° nebo g

Měření teodolitem

Theo 020

Centrace a horizontace

Základní jednotka měření je skupina

= měření ve dvou polohách dalekohledu → odstranění některých přístrojových chyb

I. poloha: svislý kruh vlevo

II. poloha: svislý kruh vpravo

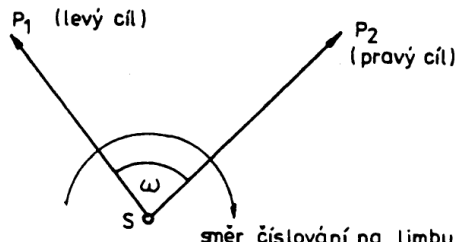
V ideálním případě platí:

$$\varphi_I - \varphi_{II} = \pm 200^g$$

$$z_I + z_{II} = 400^g$$

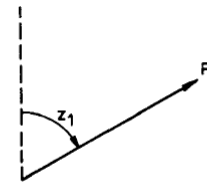


SMĚR

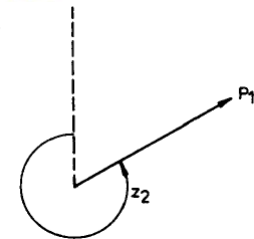


ZENITOVÝ ÚHEL

1. poloha



2. poloha



Stanovisko bílo	Výška stroje	Směr na bod č.	Vodorovné směry					
			Poloha	1. skupina	Průměr prostý reduk.	2. skupina	Průměr prostý reduk.	(6) + (8) 2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
S		P ₁	I	α ₁	φ ₁₋₄			
			II	α ₄				
		P ₂	I	α ₂	φ ₂₋₃			
			II	α ₃				ω
2		1	I	72 18	18 50			
			II	272 19				
		3	I	186 91	91 25			
			II	386 91 50				114 72 75

Bod	Výška cílové značky	Zenitové vzdálenosti z		
		Poloha	Zápis	z
(10)	(11)	(12)	(13)	
8		I	z ₁	z
		II	z ₂	
		Σ		i =
9		I	92 40	92 39
		II	307 62	
		Σ	400 02	i = +0,013
10		I	91 15	91 15 50
		II	308 84	
		Σ	399 99	i = -0,005

indexová chyba

$$i = \frac{z_1 + z_2 - 4R}{2}$$

výsledný zenitový úhel

$$z = z_1 - i$$

Totální stanice

Vysoká přesnost - úhly: 1'', délky: 1 mm

Záměry na vzdálenost > 1 km

Lze provádět i skenování (až 1000 bodů/min, tvorba mračen bodů)

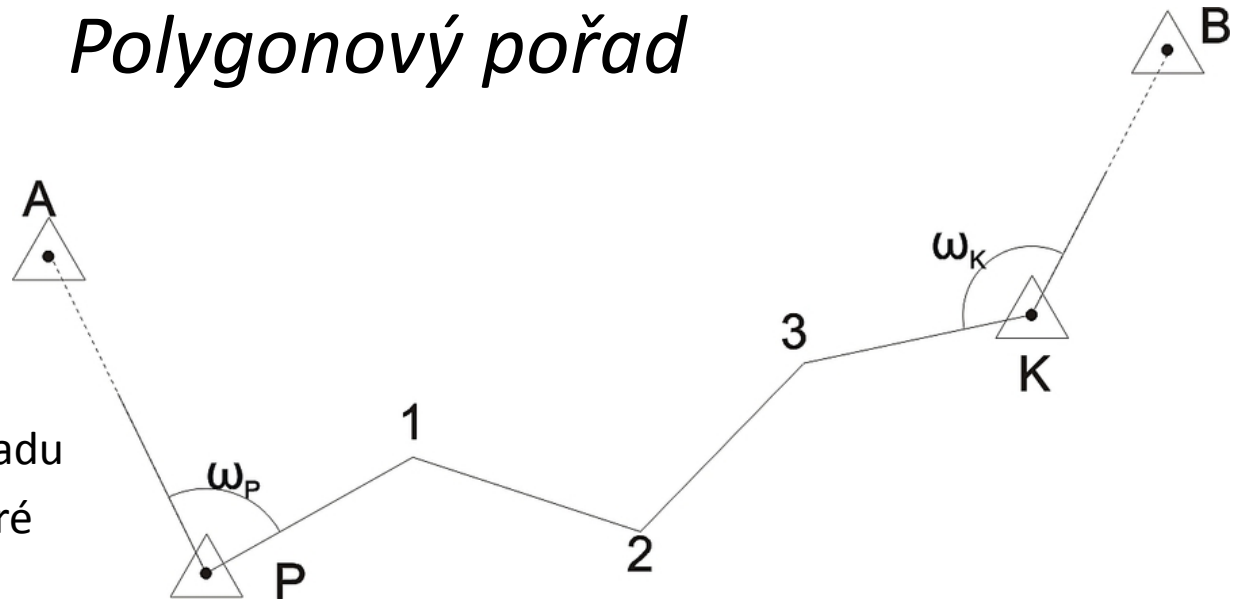
Někdy vestavěná kamera pro pozemní fotogrammetrii

Cílí se na záměrný hranol, nebo přímo na objekty bez hranolu



odrazný hranol

Polygonový pořad



A, B ... orientační body

P, K ... začátek a konec pořadu

1, 2, 3 ... body pořadu, které zaměřujeme

s ... měřené délky

ω ... měřené levostranné úhly

oboustranně připojený a oboustranně orientovaný pořad

Lomená čára tvořící liniovou síť bodů

Používá se k určení souřadnic bodů podrobného polohového bodového pole.

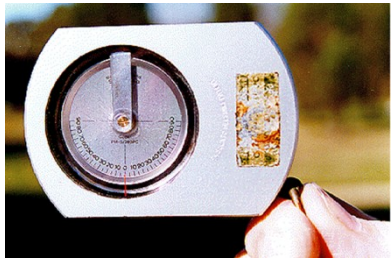
Měření výšek objektů

U jakých objektů nás zajímá výška?

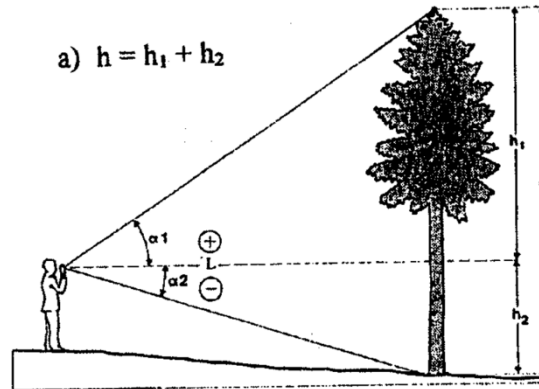
např. tory, skalní věže, skalní sruby a defilé, ...

Lze použít postupy/pomůcky využívané v lesnictví (měření výšek stromů)

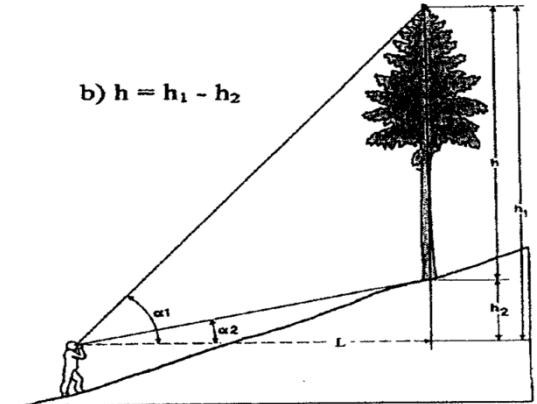
Výškoměry založené na podobnosti pravoúhlých trojúhelníků



Suunto



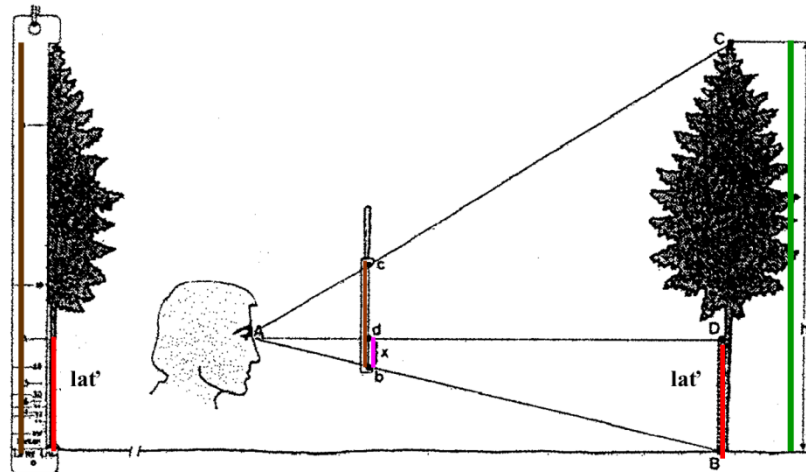
$$h = L (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) = h_1 + h_2$$



$$h = L (\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2) = h_1 - h_2$$

Výškoměry založené na stejnolehlosti obecných trojúhelníků

Christenův výškoměr



$$\frac{h}{k} = \frac{s}{x}$$

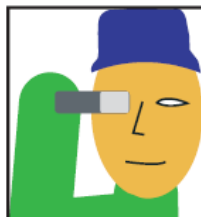
↓

$$h = \frac{s \cdot k}{x} = \frac{\text{konst}}{x}$$

Haglöf electronic clinometer



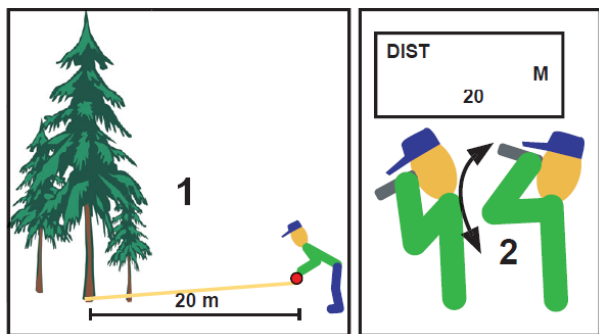
Na objekt se cílí oběma očima



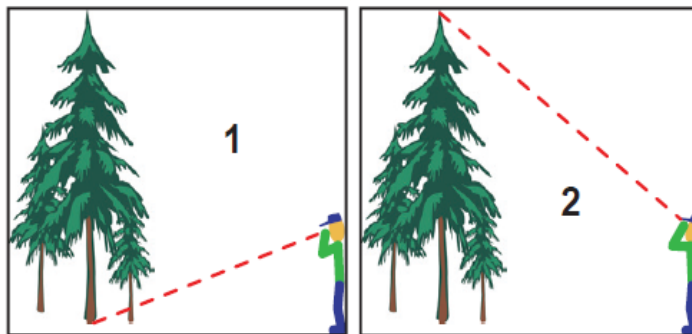
DIST
Přístroj samotný
neměří délky!

HGT

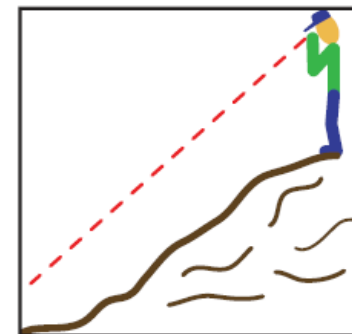
DEG



Nastavení vzdálenosti k měřenému objektu.



Výška objektu: záměr na patu a vrchol



Sklon: náklon v požadovaném úhlu

Měření svahových profilů

svahový profil = spojnice hřbetnice (rozvodnice) a údolnice, sleduje směr největšího sklonu (kolmá k vrstevnicím)

Možnosti konstrukce profilu:

TOPOGRAFICKÁ MAPA
DMT

mikrotopografie
lomy spádu



TERÉN

Jak vybrat reprezentativní soubor profilů?

- údolní/říční síť
- bodové pole (grid)

MĚŘENÍ V TERÉNU

Praktické obtíže – přístupnost vybraných profilů

Série délkových a sklonových měření podél profilu (rozlišení $0,5^\circ$ a $0,1$ m)

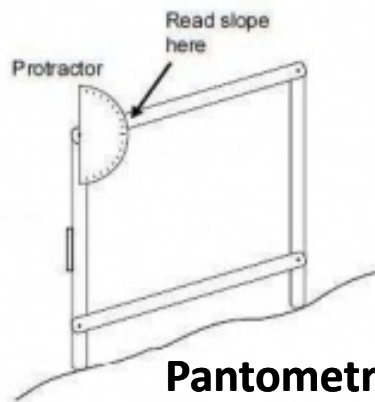
Nepravidelný n. pravidelný krok měření délek, segmenty o délce do 5 m, často jen 1 až 2 m

Doporučení: alespoň 50 měření na profilu

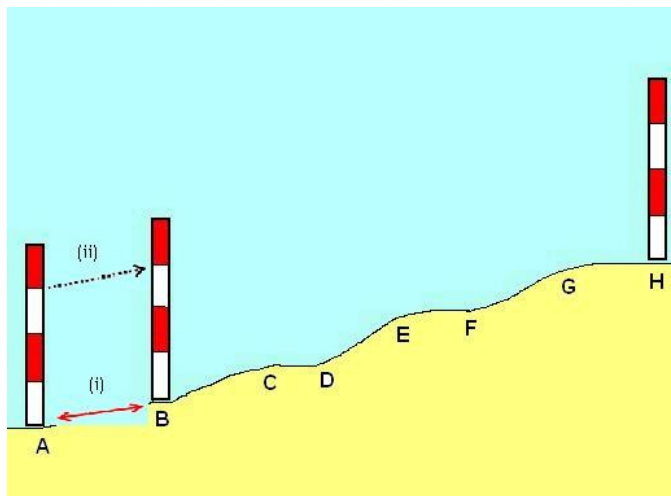
Délka segmentů může ovlivnit četnosti sklonů (menší krok více reflektuje mikrotopografii)

Co použít k měření?

Abney level
+
výtyčka



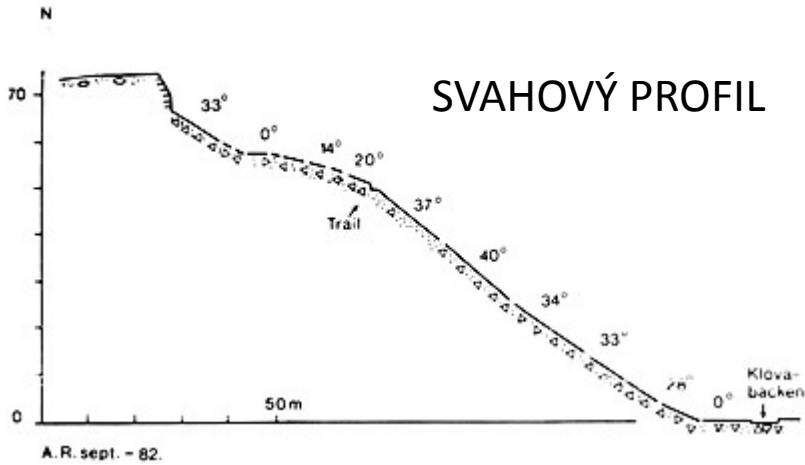
Pantometr



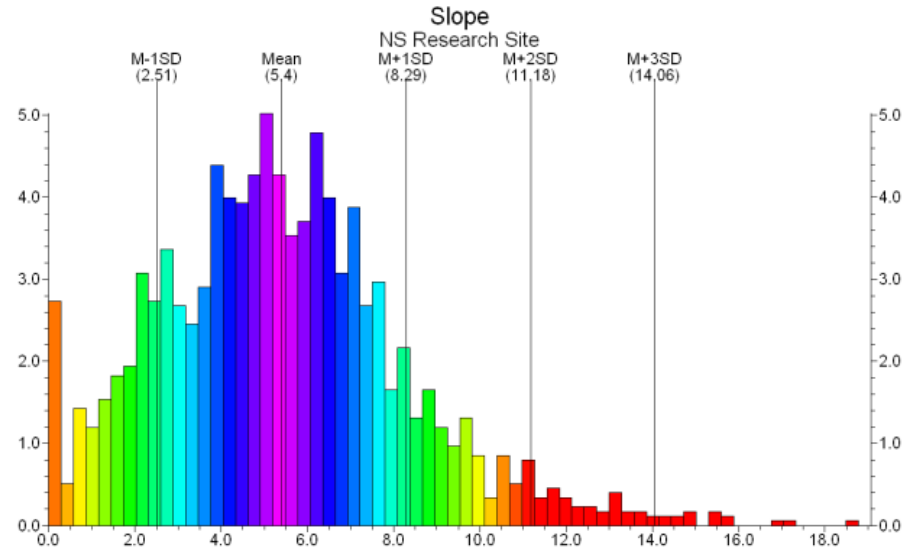
Sklonoměr + lať



Znázorňování sklonových dat

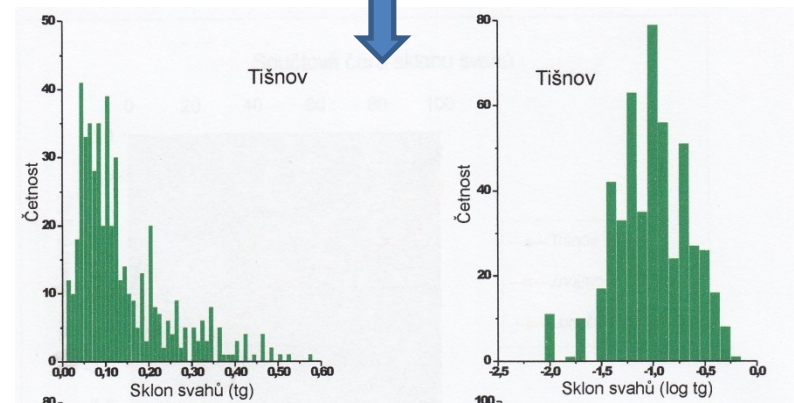


GRAF VZDÁLENOST – SKLON



HISTOGRAM ROZDĚLENÍ ČETNOSTÍ:

- obvykle pravé sešikmení
- logaritmus tg → normální rozdělení



Laserový dálkoměr

pulsy infračerveného záření
time-of-flight princip

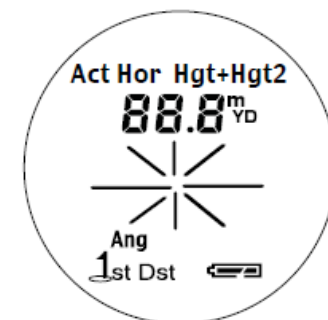
MĚŘITELNÉ PARAMETRY

- lineární vzdálenost
- horizontální vzdálenost
- vertikální úhel
- výška objektu / výška mezi dvěma body

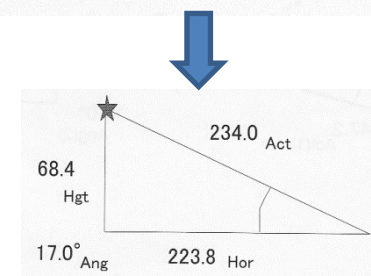
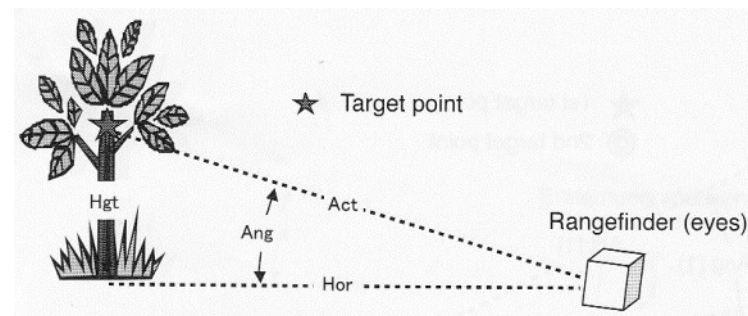
Rozsah měření: 10 až 500 m

Rozlišení

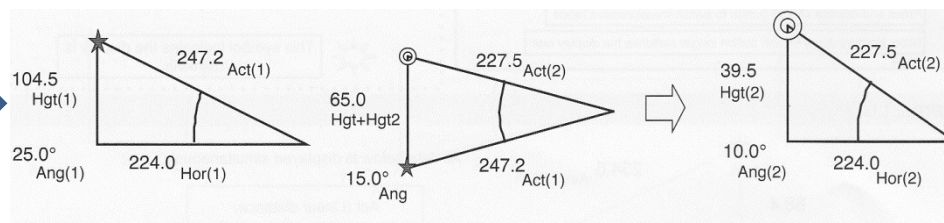
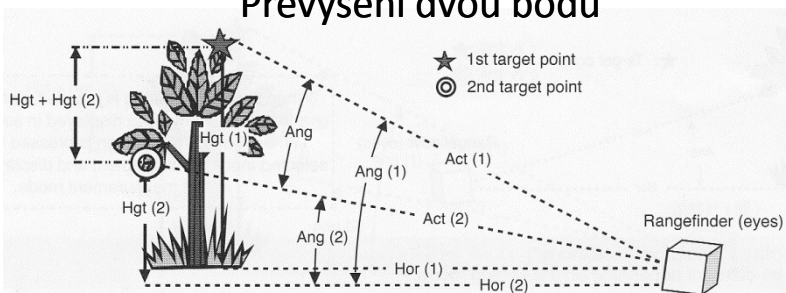
	do 100 m	nad 100 m
lineární L	0,5 m	1 m
horizontální L	0,2 m	1 m



Vzdálenost bodu



Převýšení dvou bodů



Měření koryt vodních toků

- Příčný profil

bankfull šířka (w) + šířka dna

průměrná (d) a maximální hloubka (d_{max})

tvárový index ($F = w/d$)

omočený obvod (p), hydraulický rádius ($R = A/p$)

- Podélný profil

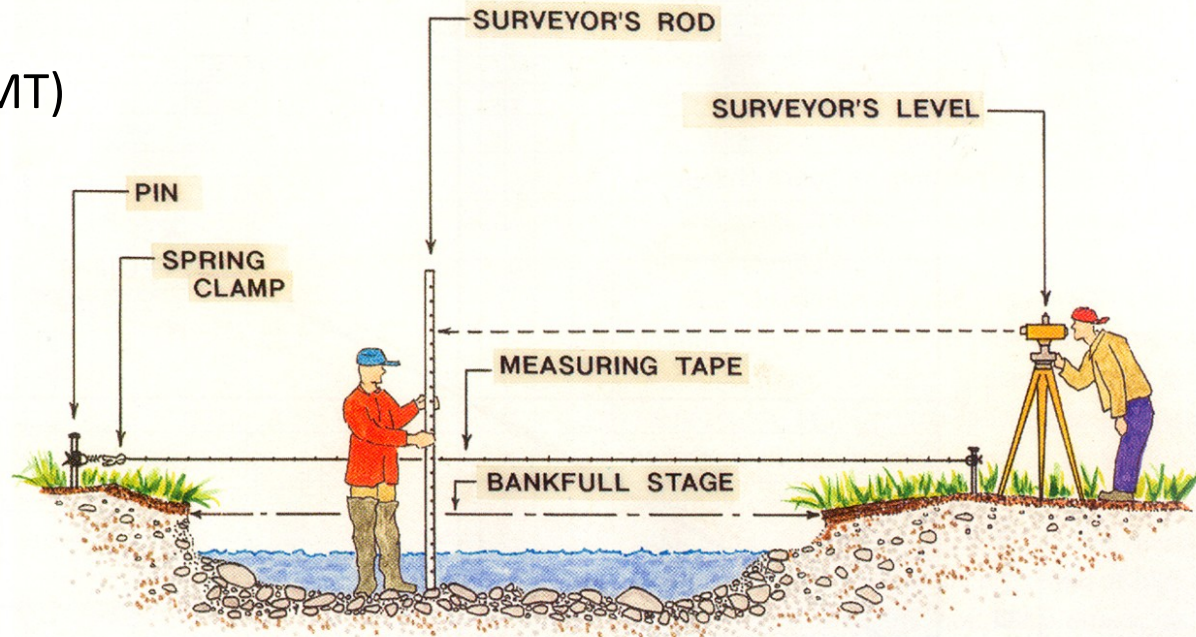
vodní hladina, dno (terénní měření)

závislost na měřítku: krátké úseky – ovlivnění dnovými formami, delší úseky – celkový trend

podélný profil nivy (mapy, DMT)

- Dnové formy

- Půdorys



Laserové skenování (LiDAR)

- Letecké (airborne laser scanner, ALS)
- Pozemní (terrestrial laser scanner, TLS)
- Ruční (hand-held mobile laser scanner, HMLS)

Nejčastěji měření tranzitního času (time-of-flight)
 $l = ct/2$



Measurement technology	Range [m]	Accuracy [mm]	Manufacturers
Time of flight	< 100	< 10	Callidus, Leica, Mensi, Optech, Riegl
	< 1000	< 20	Optech, Riegl
Phase measurement	< 100	< 10	IQSun, Leica, VisImage, Zoller+Fröhlich
Optical triangulation	< 5	< 1	Mensi, Minolta



Rychlost snímání 10 000 bodů/s → point cloud (mračno bodů)

Výrobci pozemních laser skenerů:

Riegl

Leica

Trimble

Minolta

Optech

Z+F

iQSun

Callidus

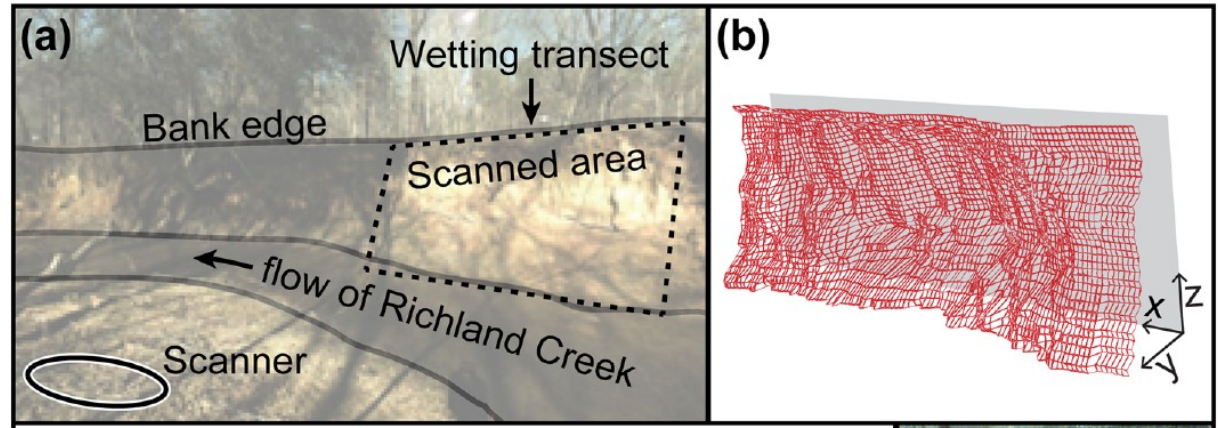
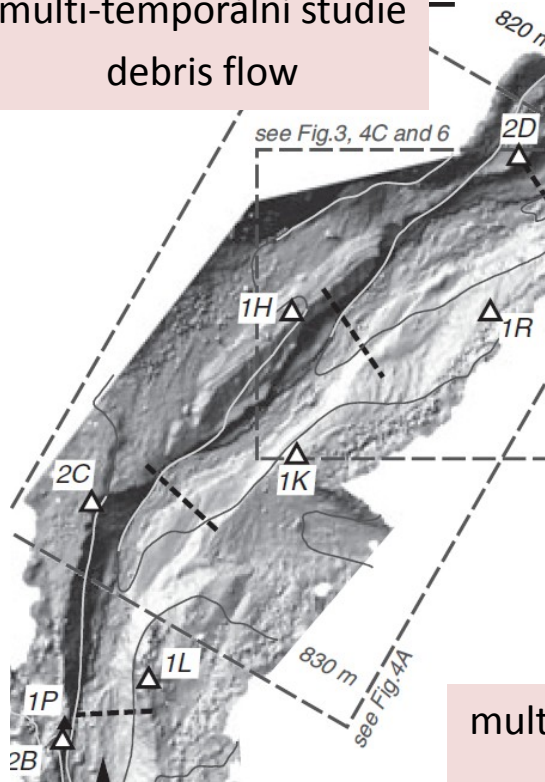
VisImage



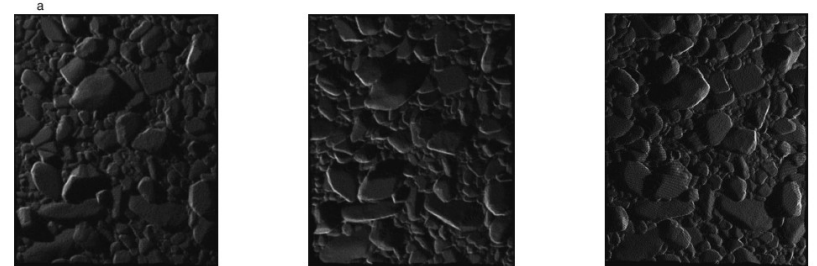
Příklady aplikací

multi-temporální studie
břehová eroze

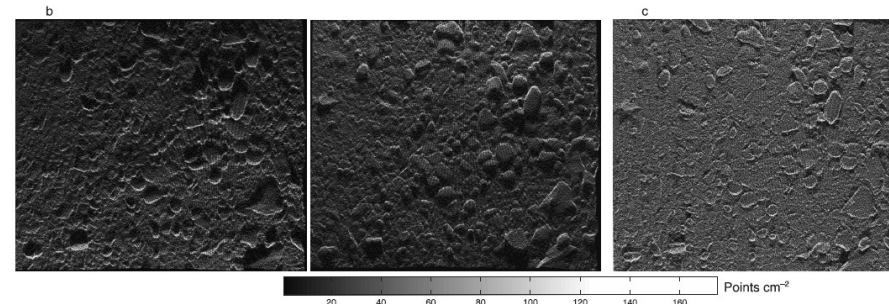
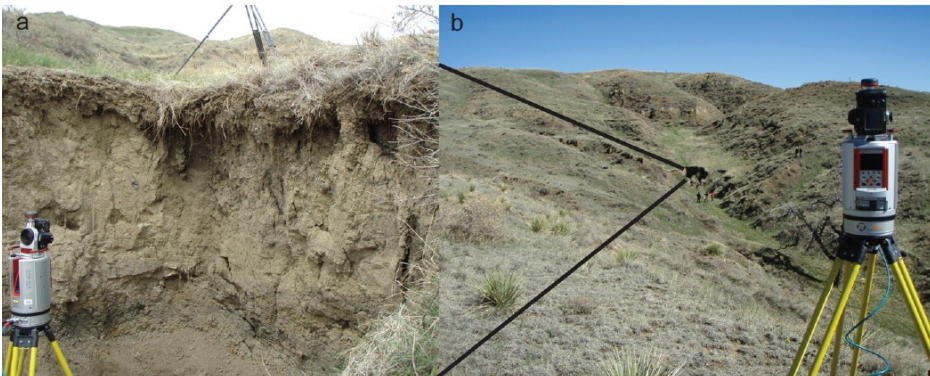
multi-temporální studie
debris flow



zrnitost a mikrotopografie
(štěrkového) říčního dna



multi-temporální studie
stržová eroze



Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Globální:

- Navstar GPS (USA)
- Glonass (Rusko)
- Galileo (EU)
- Compass (Čína)

Regionální:

- BeiDou (Čína),
- IRNSS (Indie)
- QZSS (Japonsko)

Typy přístrojů:

- turistické
polohová přesnost: < 5 m
- pro sběr dat do GIS
polohová + výšková přesnost: 10 cm
- geodetické
polohová přesnost: mm



- přijímač
uzpůsobený
příjmu korekcí
- blízkost
referenční stanice

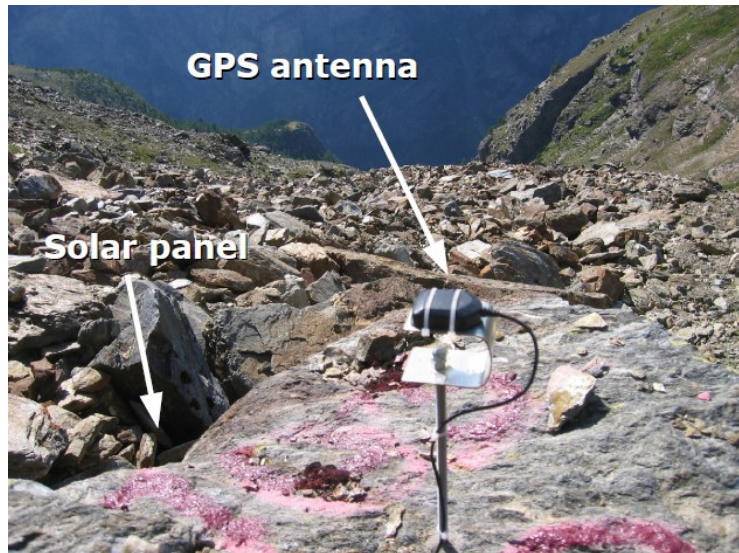
EGNOS: 5 m → 1,5 m

Korekce pro zpřesnění pozice:
ZÚ (czepos): mm/cm až 10 cm přesnost
27 stanic

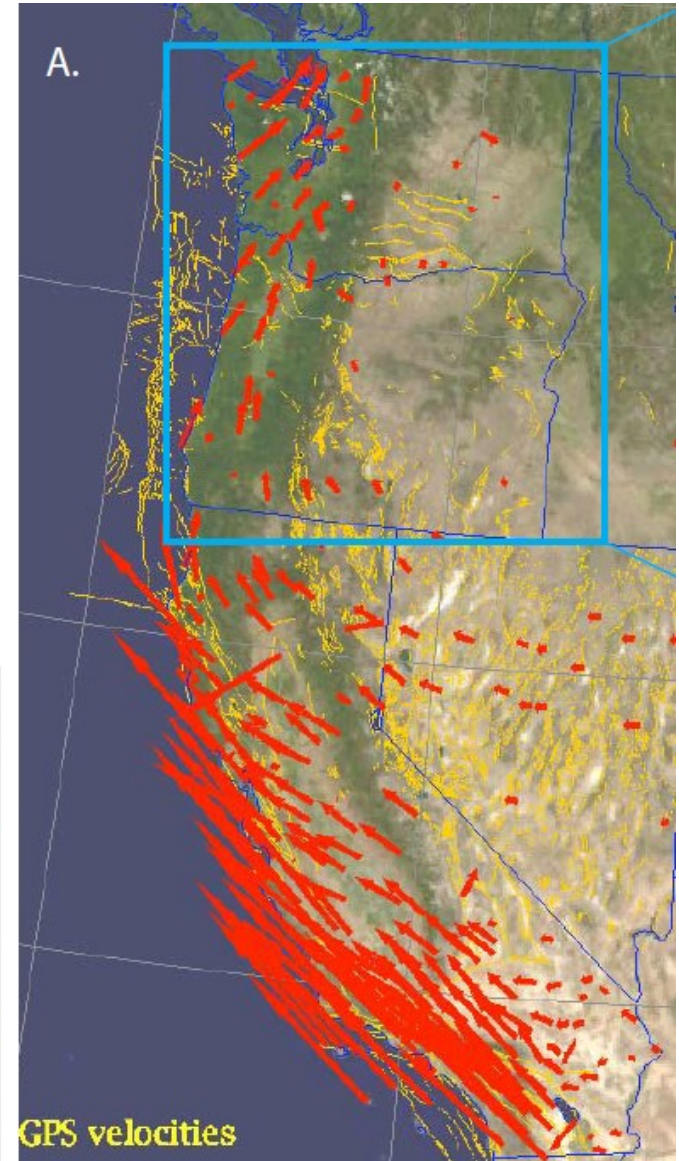
registrace + zpoplatnění
reálný čas (přes mobilní internet) n. postprocessing

Příklady aplikací

Monitoring svahových procesů
permanentní + opakovaná měření



Monitoring
WD
GPS trackery



Monitoring (horizontálních) pohybů
zemské kůry