7. Měření délek

7.1 Definice délky, zákonné měřící jednotky

7.2 Měření délek pásmem

7.3 Optické měření délek

- 7.3.1 Paralaktické měření délek
- 7.3.2 Ryskový dálkoměr

7.4 Elektrooptické měření délek

7.5 Fyzikální a matematické opravy

7.1 Definice délky

Délka je definována jako vzdálenost dvou bodů ve smyslu definované metriky, délka je tedy popsána v jednotkách, tj. v násobcích dohodnutého normálu. Normálem je pro nás 1 metr, což je délka dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy (1983). Metr je jednotkou SI (Le **S**ystème **I**nternational d'Unités).

kilo-	km	10^{3}	**hekto-**	hm	10^{2}
mili-	mm	10^{-3}	**deka-**	dam	10^{1}
mikro-	μm	10^{-6}	**deci-**	dm	10^{-1}
nano-	nm	10^{-9}	**centi-**	cm	10^{-2}

7.2 Měření délek pásmem

- délka pásem 20 – 50 m, nejmenší dílek 1 mm
- pásma z oceli, invaru (Ni, Fe), umělé hmoty
- měřená vzdálenost se rozdělí na úseky kratší než délka pásma, aby body takto vytvořené ležely v přímce, výsledná vzdálenost je pak součtem jednotlivých délek („kladů“ pásma)
- měřená trasa musí být v celé délce přístupná
- měří se délka vodorovná (zajišťuje se pomocí olovnice)
- měření se provádí **vždy 2x**, v rovinném terénu tam a zpět, ve svažitém terénu ve směru sklonu s odsazením (**po svahu**)
- rozdíl dvou měření se posuzuje příslušným mezním rozdílem Δ_M, který je dle metodického návodu pro tvorbu Základní mapy ČSSR:

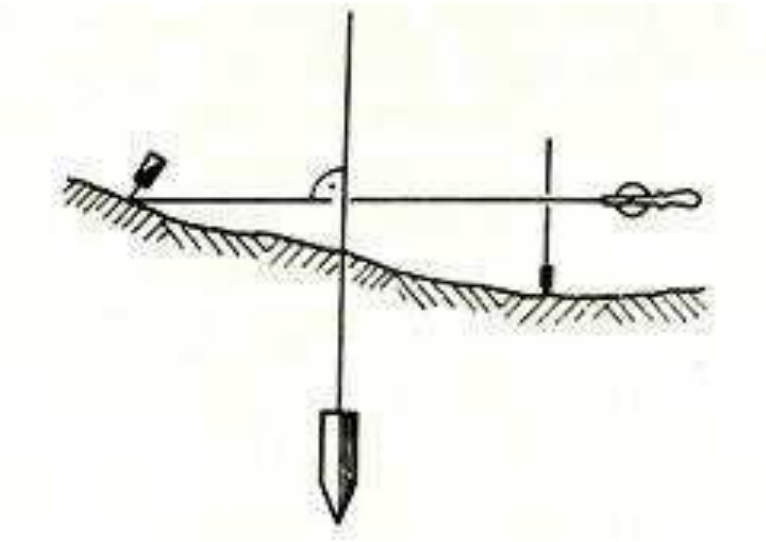
$$\Delta_M = 0,012 \cdot \sqrt{s}$$

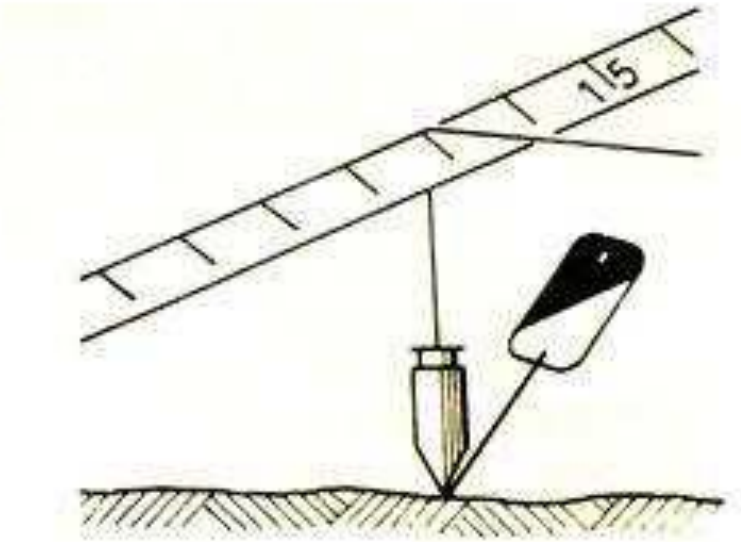
- Přesnost délek měřených pásmem je přibližně 3 cm na 100 m

7.2 Měření délek pásmem.

Postup běžného měření :

1. Měřená vzdálenost se rozdělí na úseky kratší než je délka pásma a ty se stabilizují měřickými jehlami tak, aby body ležely v přímce.
2. Změří se vytvořené úseky – vodorovné délky.
3. Výsledná délka je součtem jednotlivých úseků.

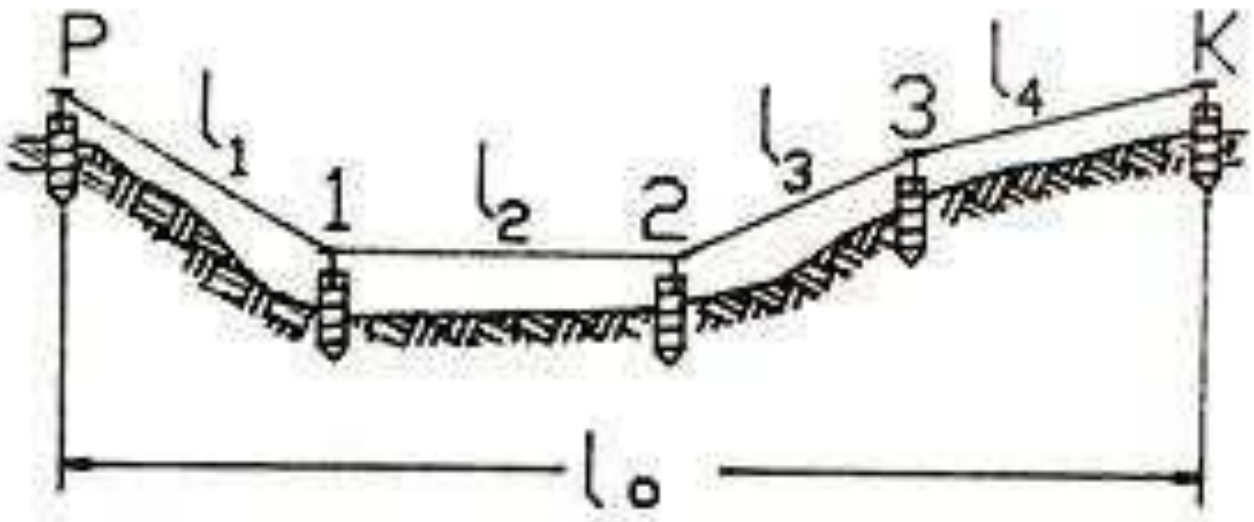




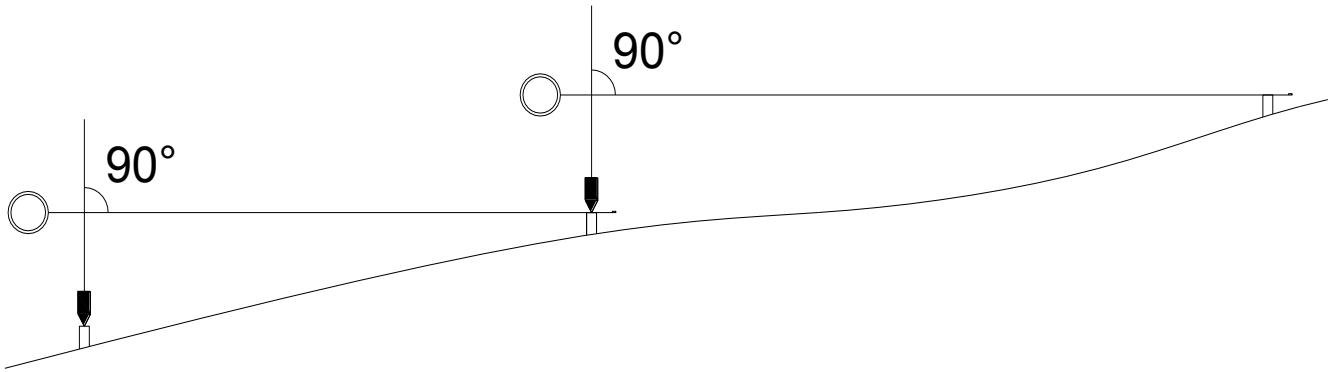
7.2 Měření délek pásmem.

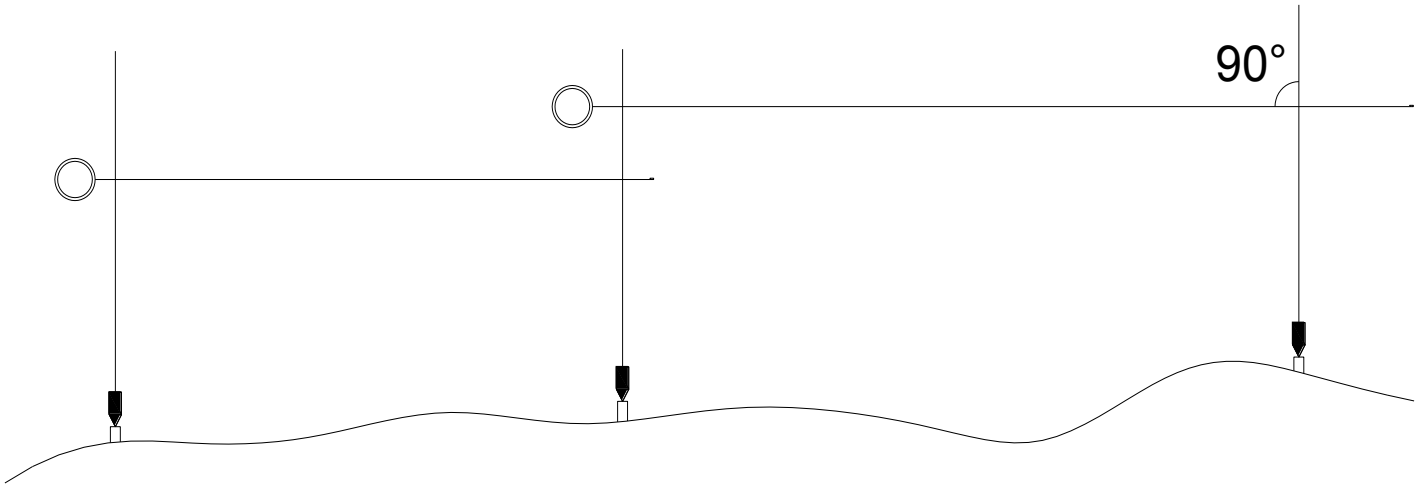
Postup přesného měření :

1. Měřená vzdálenost se rozdělí na úseky kratší než je délka pásma a ty se stabilizují dřevěnými tak, aby body ležely v přímce.
2. Změří se vytvořené úseky – šikmé délky z kolíku na kolík, převýšení se určuje technickou nivelací.
3. Výsledná délka je součtem jednotlivých úseků.

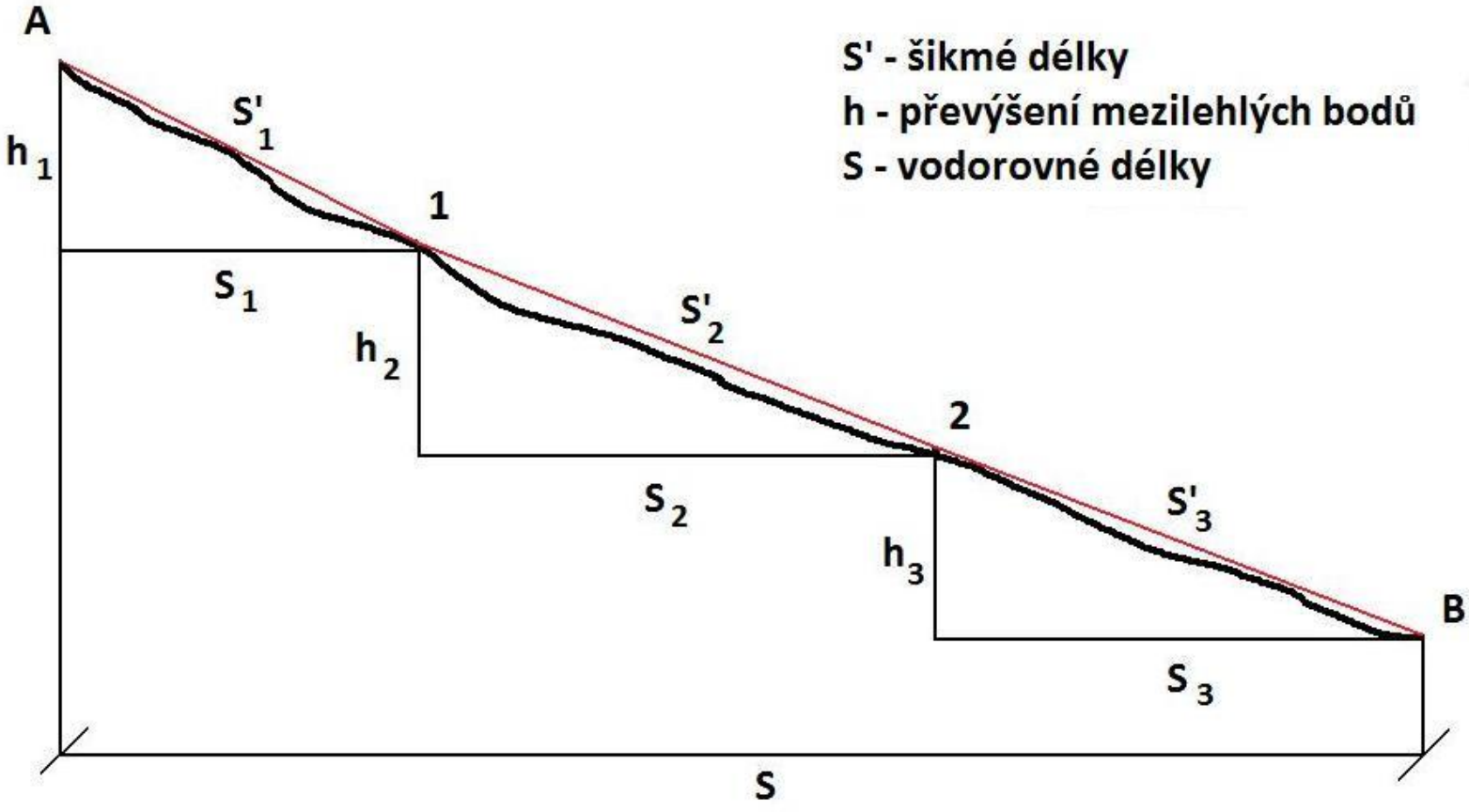


7.2 Měření délek pásmem





V případě, že sklon terénu je velký (krátké úseky), je vhodné měřit délku šikmou a k tomu převýšení (nebo teodolitem zenitový úhel) a vodorovnou délku dopočítat.



7.2 Chyby při měření délek pásmem

- **ze skutečné délky**: není znám skutečný rozměr pásma, je třeba mít pásmo kalibrované,
- **z teplotní roztažnosti**: se změnou teploty se mění délka pásma, u přesných měření je třeba zavádět opravu:

$$o_t = (t - t_0) . \alpha . d$$

kde d - měřená délka,
α - součinitel teplotní délkové roztažnosti,
t - teplota měřidla, t_0 - teplota při kalibraci

- **z vybočení ze směru**: přesnost zařazení mezilehlých pomocných bodů do přímky,
- **z nesprávného napnutí**: podle pásma silou 50 N až 100 N,
- **z nevodorovnosti**,
- **z průhybu**: i při použití správné síly u delších pásem dojde k prověšení a je třeba zavést početní opravu,
- **z přiřazení**: chybné čtení hodnoty.

K 2292

KALIBRAČNÍ LABORATOŘ č. 2292

AUTORIZOVANÉHO METROLOGICKÉHO STŘEDISKA

VÝZKUMNÝ ÚSTAV GEODETICKÝ, TOPOGRAFICKÝ A KARTOGRAFICKÝ

250 66 ZDIBY 98

KALIBRAČNÍ LIST č.: 18 393/2002

Datum vystavení: 1. 10. 2002 — List 1 ze 2 listů

Zadavatel: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra speciální geodézie

Datum přijetí měřidla: 26. 9. 2002

Měřidlo: Pracovní měřidlo nestanovené, 30 m ocelové pásmo PAR, žluté, s mm dělením, v pouzdře, s nulou v průběhu pásma

Inventární číslo: 4780907

Použitý etalon: Helio – neonový laser 633 nm, Laser Head, Model 5519A, Ser.No. 3627A00792, kalibrační list č. 818-KL-1190/00

Napínací síla: 50,0 N

Předpisy: Kalibrace byla provedena dle následujících předpisů:
Pracovním postupem dle ČSN ISO 8322-2/1994 – Geometrická přesnost ve výstavbě - Určování přesnosti měřicích přístrojů - část 2: Měřická pásma, dle ČSN 251105 – Měřická pásma.
Kalibračním postupem KP - č. 1: Měřická pásma:
B - ocelová, umělohmotná a tkaninová pásma.
EA-4/02 Metodika vyjadřování nejistot měření při kalibracích.

Podmínky pro kalibraci: laboratorní, teplota 20,0° C ± 0,3°C, tlak 973,3 hPa

Kalibrační list může být rozšiřován v celkovém počtu stran beze změn. Změny a doplňky mohou být provedeny pouze laboratoří, která dokument vystavila.

Výsledky měření:

Nominální hodnota (m)	Odchylka (mm)	Nominální hodnota (m)	Odchylka (mm)
0	0,0	16	-0,7
1	+0,3	17	-0,6
2	+0,4	18	-0,9
3	+0,1	19	-0,8
4	+0,4	20	-0,8
5	-0,1	21	-0,9
6	-0,1	22	-0,9
7	-0,1	23	-0,9
8	-0,3	24	-1,0
9	-0,2	25	-1,0
10	-0,2	26	-0,9
11	-0,4	27	-0,6
12	-0,3	28	-0,7
13	-0,4	29	-0,6
14	-0,6	30	-0,7
15	-0,5		

Poznámka: znaménko + (-) znamená, že pásmo je delší (kratší) nominální délky.

Rozšířená nejistota měření při **K = 2** je **U ≤ ± [0,3 + 0,007 . L(m)] mm.**

Údaj platí pro koeficient rozšíření K = 2, tj. pravděpodobnost P = 95%.
Rozšířená nejistota byla stanovena v souladu s dokumentem EA-4/02.

Pásmo vyhovuje ustanovení ČSN 251105 pro přesnost měřických pásem.

Ve Zdibech dne 27. 9. 2002 kalibraci provedla: D. Lazová

Ing. J. Lechner, CSc.
vedoucí KL

7.3 Optické měření délek

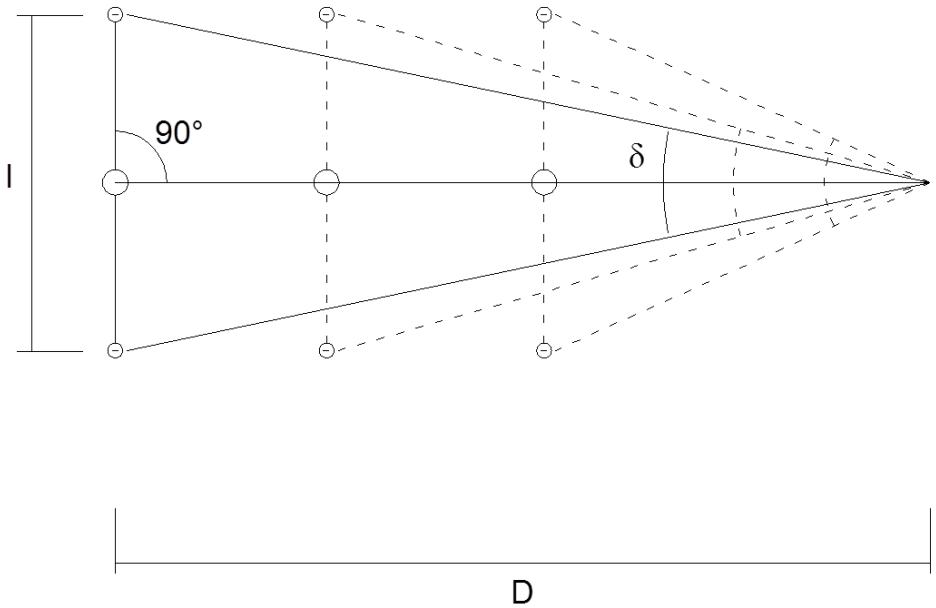
Základem optického měření délek je řešení pravoúhlého nebo rovnoramenného trojúhelníka, kde figuruje základna ***l*** a úhel ***δ***. Jedna z těchto hodnot je proměnlivá (měřená) a vypočítá se z ní určovaná délka ***D***.

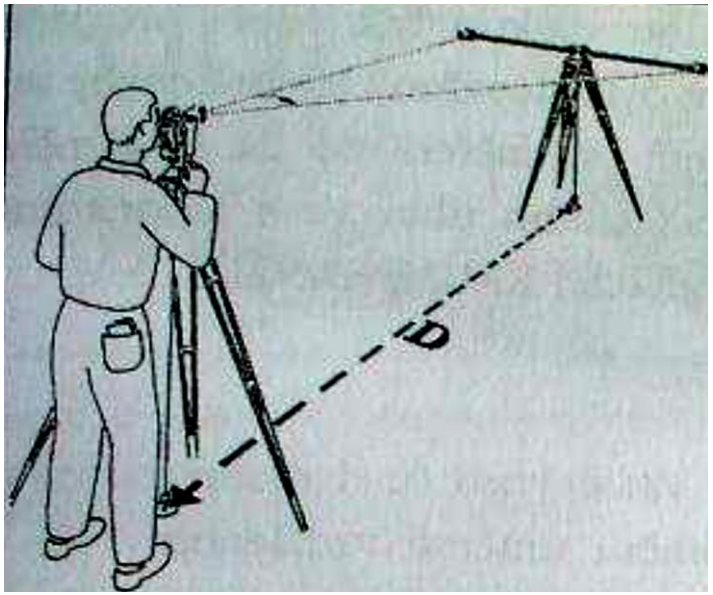
Měří se dvojicí zařízení : přístroj – cílový znak, kterým obvykle bývá vodorovně či svisle postavená lať v různých úpravách.

Výhodou oproti pevným měřidlům (pásmo) je snadnější a rychlejší měření a možnost měření přes překážky.

7.3.1 Paralaktické měření délek

Paralaktické měření délek je založeno na velmi přesném měření tzv. „paralaktického úhlu“ δ a velmi přesně známé délce základny l.





7.3.1 Paralaktické měření délek.

7.3.1 Paralaktické měření délek

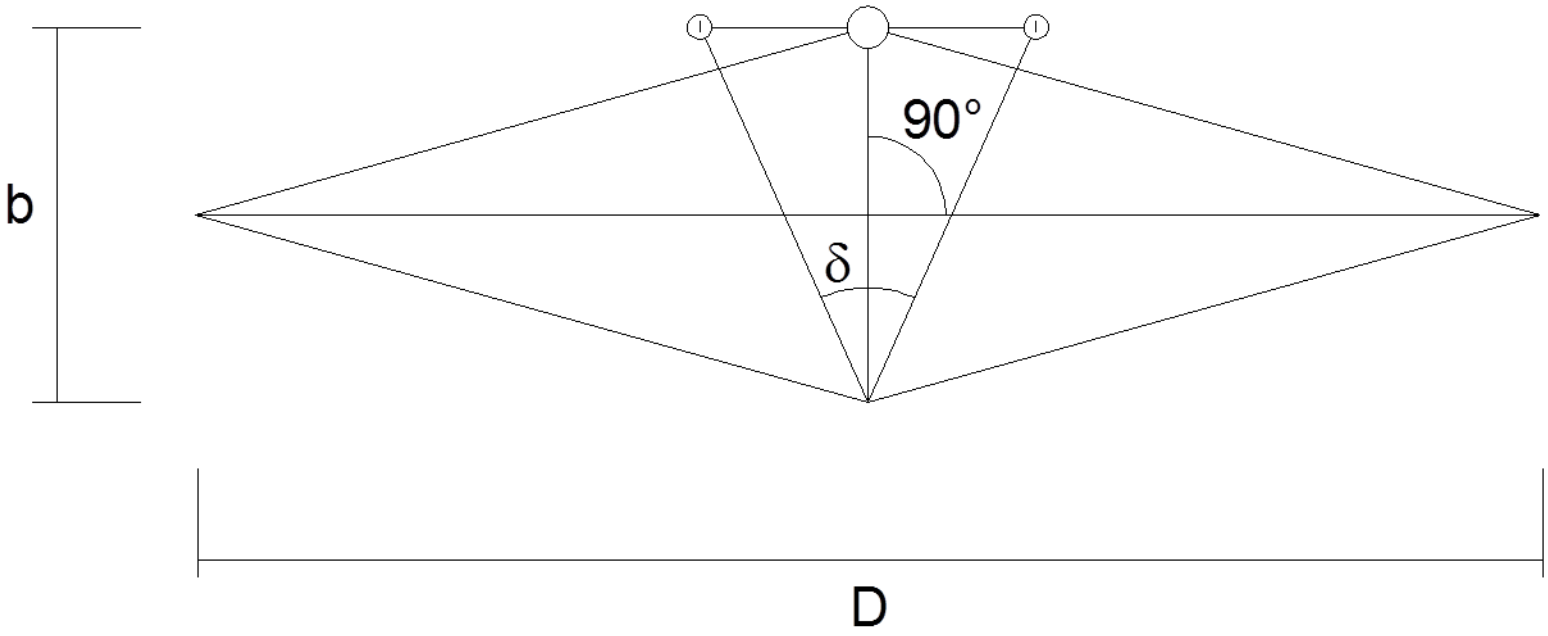
Na počátečním bodě je připraven k měření teodolit, na druhém konci je zcentrována a zhorizontována základnová lať. Pomocí kolimátoru (záměrné zařízení) je nastavena do polohy kolmo na měřenou délku. Měří se vodorovný úhel $\boldsymbol{\delta}$, ze známé délky základny $\boldsymbol{l}$ lze vypočítat délku $\boldsymbol{D}$, vypočtená délka je vodorovná.

$$\boldsymbol{D = \frac{l}{2} cotg\left(\frac{\delta}{2}\right)}$$

Důležitá je přesně známá délka základnové latě $\boldsymbol{l}$, zjišťuje se kalibrací. Dosažitelná přesnost je až 1 : 100 000, tj. 1 mm na 100 m. Metoda je levná a velmi vhodná pro měření na krátké vzdálenosti, teoreticky lze vzdálenost 10 m změřit s přesností na 0,1 mm.

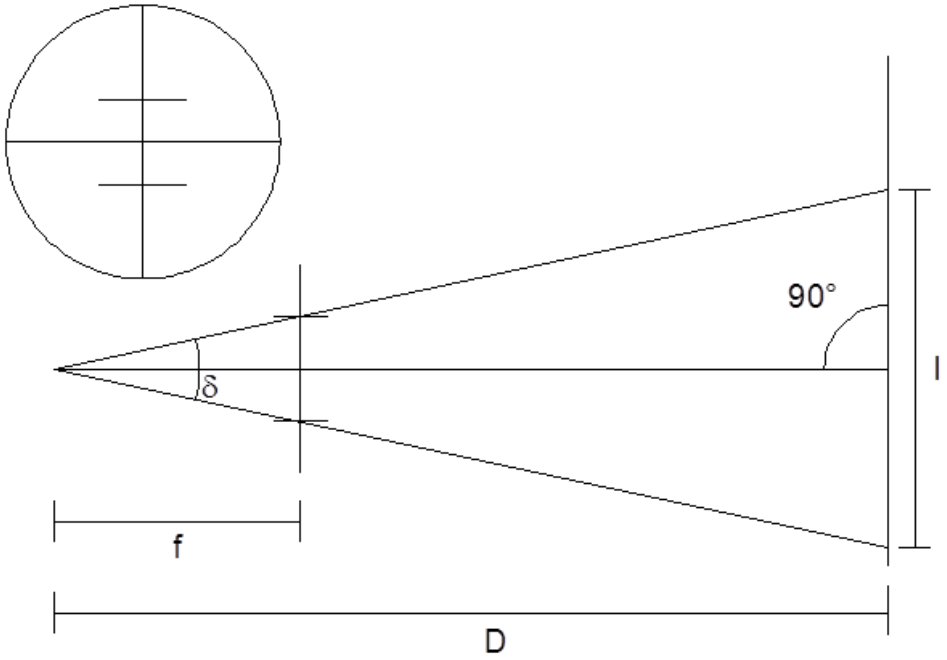
7.3.1 Paralaktické měření délek

Použitelná vzdálenost měření je přibližně 100 m, delší měřenou vzdálenost lze rozdělit na více úseků nebo využít postup tzv. paralaktických článků.



7.3.2 Ryskový dálkoměr

Je součástí prakticky všech teodolitů a nivelačních přístrojů, je tvořen dvojicí krátkých vodorovných rysek na svislém vláknu ryskového kříže, symetricky umístěných k vodorovné rysce. Cílovým znakem je obvykle lať s centimetrovým dělením (nivelační lať pro technickou nivelaci). Úhel ***δ*** je konstantní, je dán vzdáleností rysek a ohniskovou vzdáleností ***f***, mění se pouze určovaný laťový úsek ***l***.



7.3.2 Ryskový dálkoměr – vodorovná délka

f – ohnisková vzdálenost

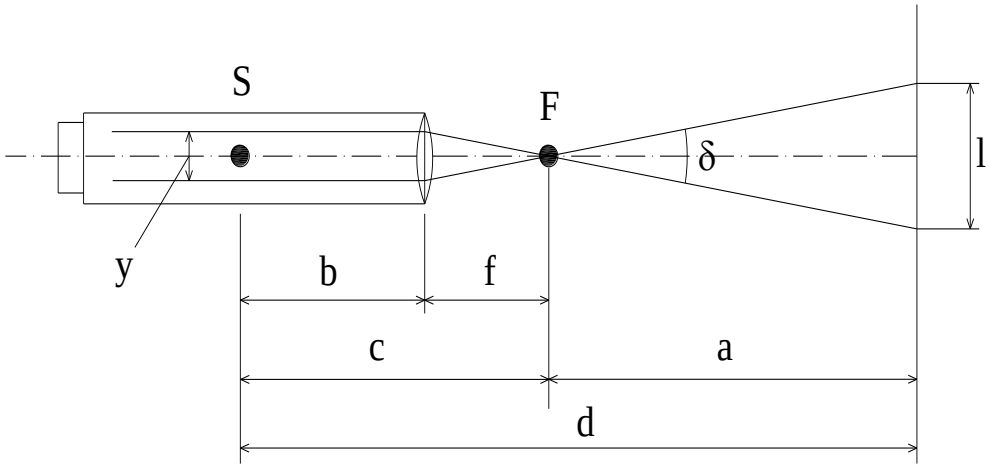
y – konstrukční vzdálenost rysek

b – vzdálenost objektivu od osy přístroje

l – laťový úsek

d – vzdálenost bodu od osy přístroje

k – násobná konstanta, obvykle 100



$$d = a + f + b \qquad c = f + b \qquad a = \frac{f}{y} \cdot l = k \cdot l$$

$$d = a + c = k \cdot l + c$$

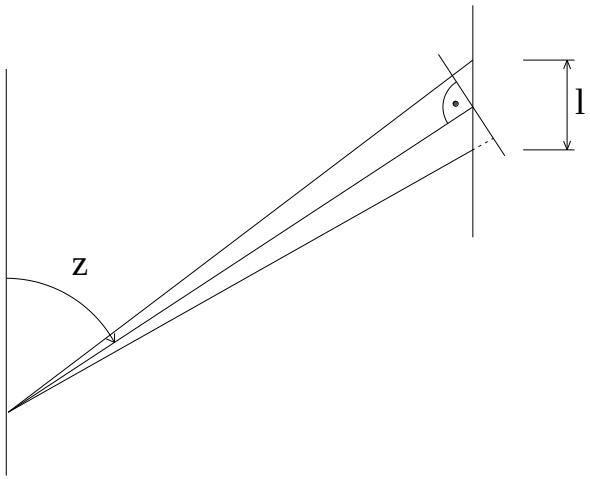
$$d = \frac{l}{2} cot\, g\left(\frac{\delta}{2}\right), k = \frac{1}{2} cot\, g\left(\frac{\delta}{2}\right) \quad \Rightarrow \quad d = k \cdot l$$

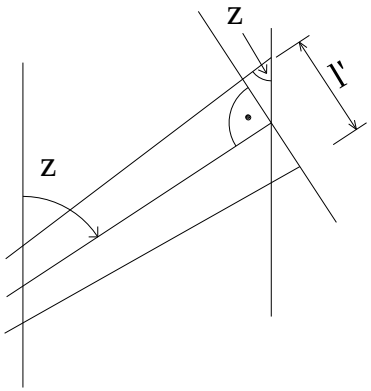
7.3.2 Ryskový dálkoměr – šikmá záměra

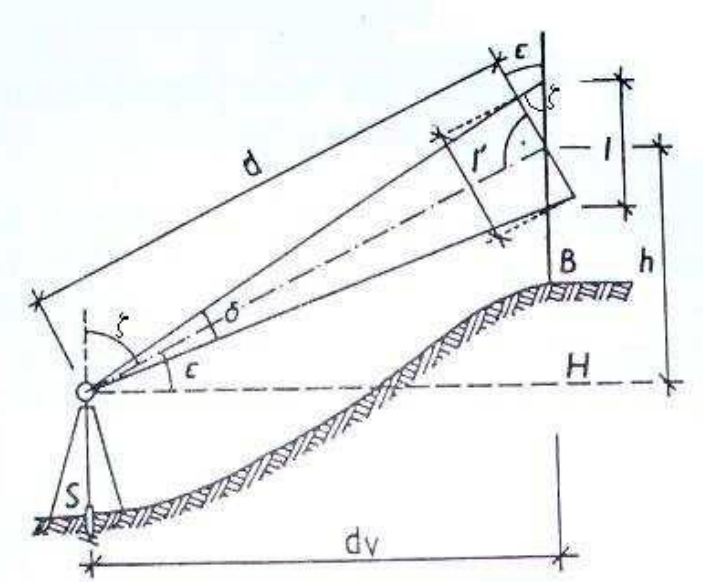
Při šikmé záměře je potřeba kromě laťového úseku měřit i zenitový úhel. Pak platí:

$$D = k \cdot l \cdot \sin^2 z$$

Člen ($\sin^2 z$) představuje redukci šikmo čteného laťového úseku, a také převod délky ze šikmé na vodorovnou. Existují přístroje, které redukci zavádějí automaticky (mechanicko-opticky) jako např. Dahlta 010 A/B. Přesnost určení délky je až 1 : 600, tj. 0,1 m na 60 m, dosah do 120 m.







Shrnutí přesnosti klasických metod

Přesnost paralaktického měření délek – až 1 mm na 100 m

Přesnost měření pásmem – cca 3 cm na 100 m

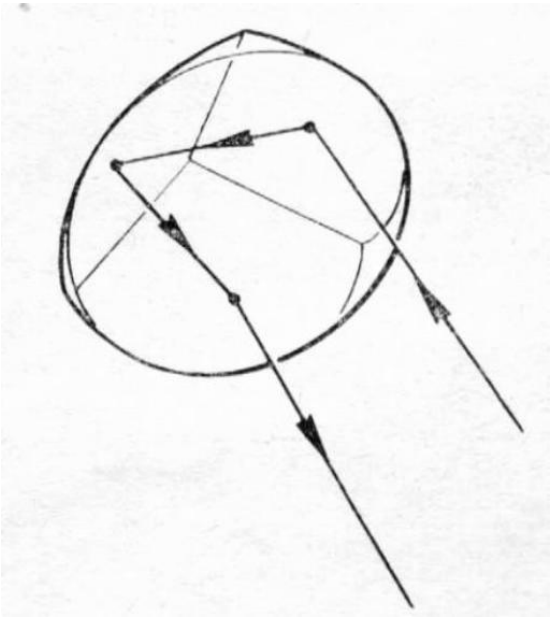
Přesnost ryskového dálkoměru – cca 2 dm na 100 m

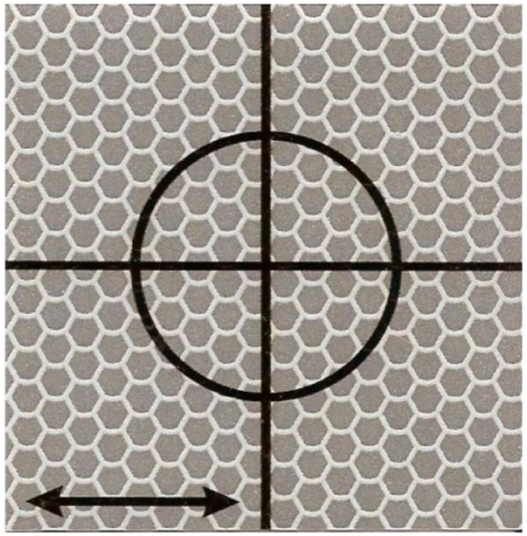
7.4 Elektrooptické měření délek

- Při elektrooptickém měření délek se jako prostředek měření využívá elektromagnetické záření (EMZ).
- Na jednom konci měřené délky je vysílač EMZ, na druhém odražeč (vrací signál zpět).
- Odražeč:
  - Koutový hranol
  - Libovolný difúzní povrch
- Princip určení vzdálenosti:
  - Vyhodnocení fáze nebo frekvence modulovaného EMZ
  - Měření tranzitního času EMZ
- Dálkoměr měří šikmou délku – délku přímé spojnice dálkoměr – hranol (cíl).

7.4 Koutový hranol, odrazná fólie

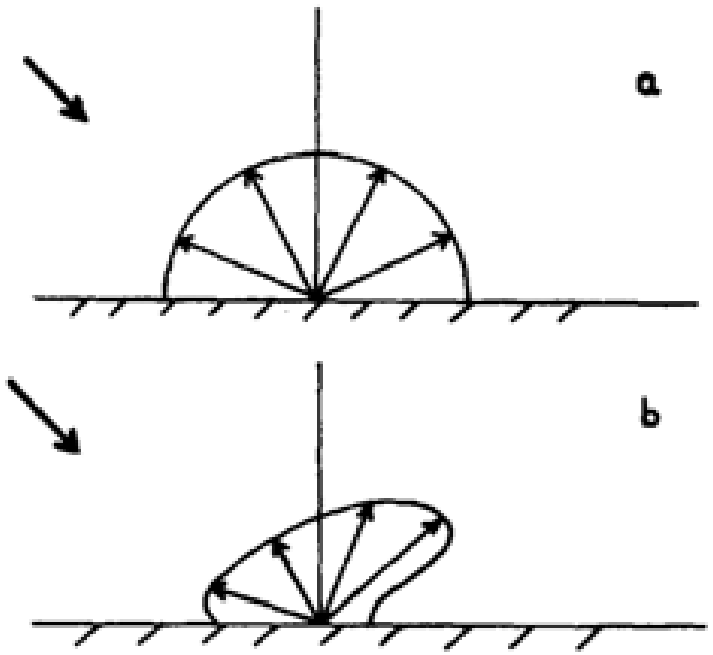
- EMZ z něj vychází pod tím samým úhlem, pod kterým do něj dopadlo.
- Každý typ hranolu má svou součtovou konstantu, tj. systematický rozdíl mezi délkou měřenou a skutečnou. To je zapříčiněno různým vztažným bodem.
- Odrazná fólie má ty samé vlastnosti, její součtová konstanta je 0.

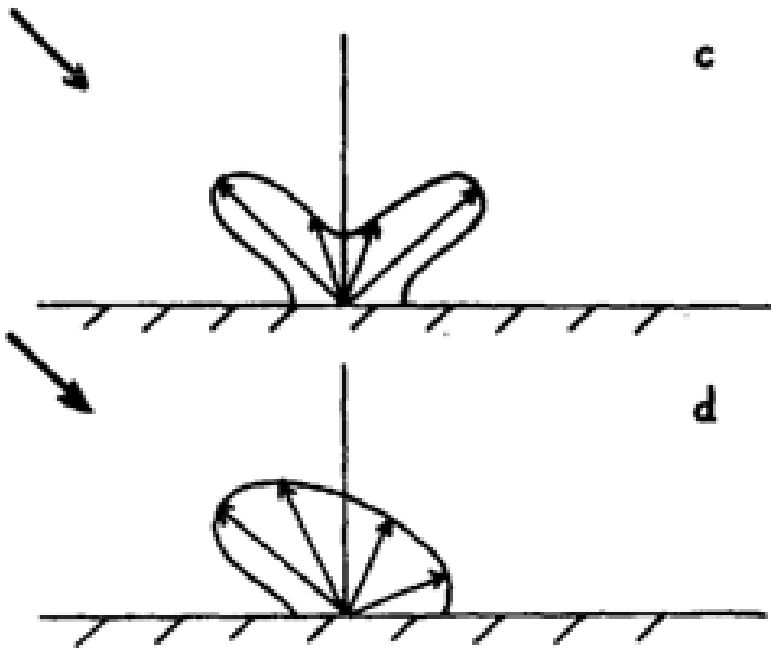




7.4 Různé typy povrchů dle odrazivosti

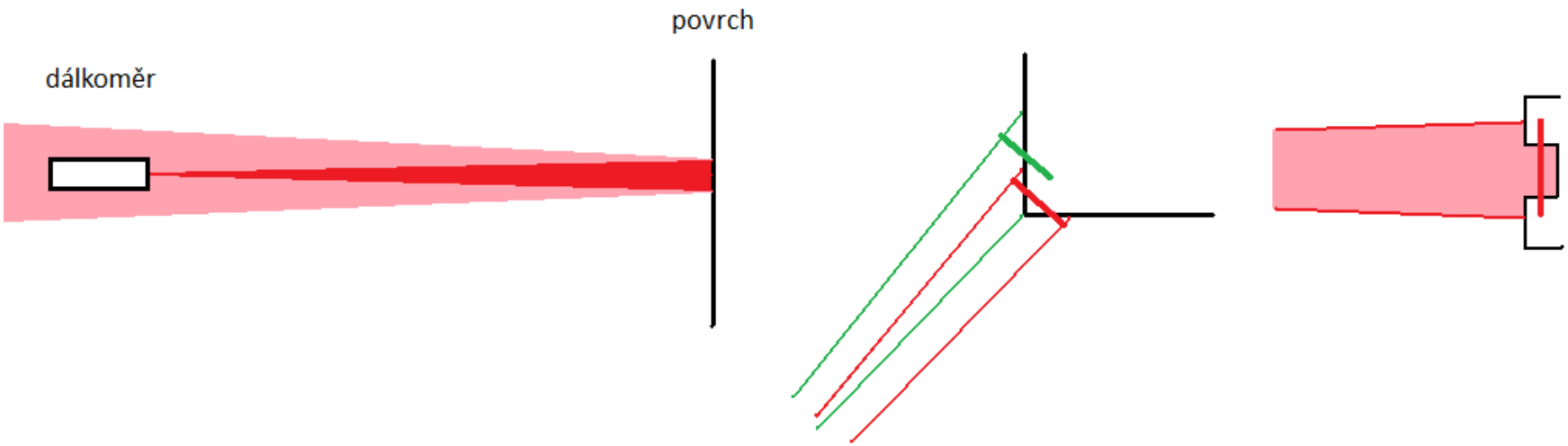
a) difůzní
b) zrcadlové
c) kombinované
d) rýhované





7.4 Divergence dálkoměrného signálu

- Dálkoměrný signál nemá v celé své dráze konstantní šířku, ale rozbíhá se – diverguje
- S touto vlastností je třeba počítat, obzvlášť při měření bez hranolu



7.4 Elektrooptické měření délek, přesnost

- Dálkoměr může být nasazovací (starší konstrukce, nutno počítat s odsazením) nebo zabudovaný, souosý se záměrnou přímkou (totální stanice).
- Souosost se záměrnou přímkou – důležitý předpoklad, ověřit

- Přesnost je u elektrooptických dálkoměrů udávána ve tvaru:

$$X + Yppm \cdot D$$

kde X je konstantní součást směrodatné odchylky,

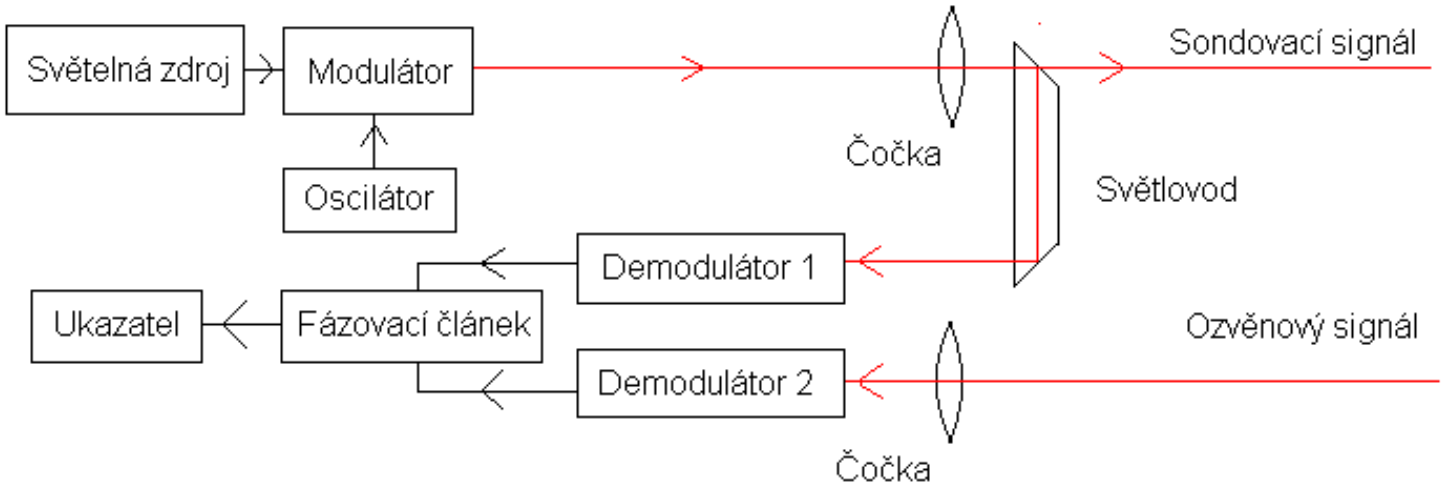
Y je proměnná součást sm. odchylky, závislá na velikosti měřené délky D.

Např. σ = 3 mm + 2 ppm*D D je v km

Pro vzdálenost 2 km je σ 7 mm (3+2*2).

7.4 Fázový dálkoměr

Fázový dálkoměr vyšle modulovanou vlnu o určité fázi φ_0, od cíle (odrazného hranolu) se vrátí vlna o fázi φ_1. Velikost fázového rozdílu $\Delta\varphi$ charakterizuje měřenou délku. Z principu plyne, že vlna musí být delší než měřená vzdálenost, nelze totiž určit, kolik bylo celých vln. Pro zpřesnění měřené vzdálenosti se využívá více vln, jako např. vlny délek 1000 m; 10 m; 1 m a hodnoty určené z fázových rozdílů 382 m; 2,43 m; 0,428 m; výsledná hodnota by byla 382,428 m.

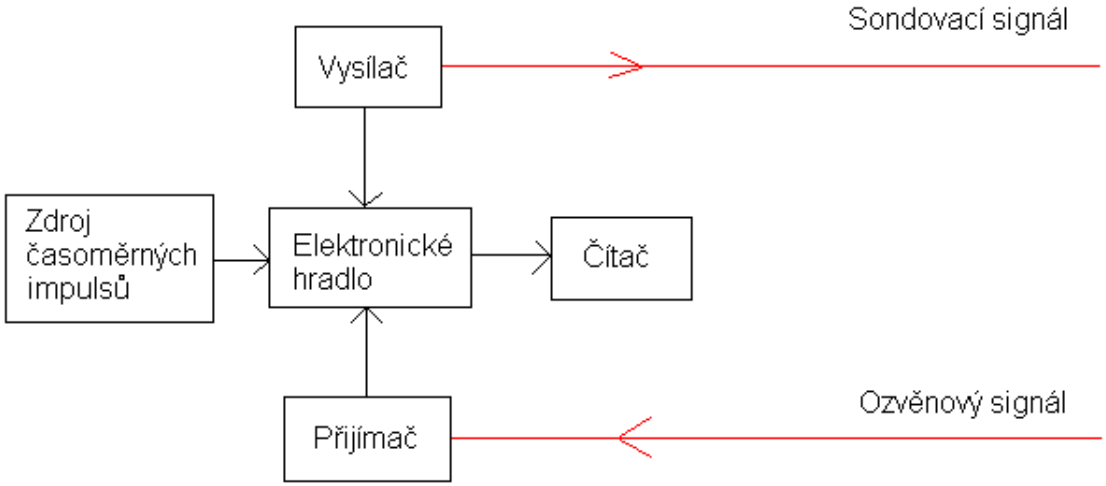


7.4 Dálkoměr měřící tranzitní čas

Dálkoměr vyšle záření, při jeho návratu určí dobu *t*, za kterou záření absolvovalo vzdálenost rovnu dvojnásobku měřené délky (tam a zpět).

$$2D = v \cdot t \Rightarrow D = \frac{v \cdot t}{2}$$

v… rychlost elektromagnetického záření v daném prostředí
Vysoké nároky na přesnost měření času, 1 milimetr vzdálenosti urazí světlo ve vakuu za 3,3 ps, vzdálenost 10 km za 33 ms.



7.4 Ruční dálkoměry

7.5 Korekce a redukce měřených délek

Fyzikální korekce – u elektronicky měřených délek.

- Vlnová délka elektromagnetického záření závisí na prostředí, kterým záření prochází, tj. na atmosférické teplotě a tlaku.
- Hodnota fyzikální korekce se zadává do dálkoměru (vypočte se ze vzorců, které výrobce uvádí v manuálu), případně přístroj po zadání teploty a tlaku opravu do měřených délek sám zavede.
- Opomenutí zavedení či špatné zavedení fyzikálních korekcí zanáší do měření systematickou chybu v měřítku.

Matematické redukce – pro souřadnicové výpočty

- redukce měřené délky do nulového horizontu (redukce z nadmořské výšky).
- Redukce délky v nulovém horizontu do zobrazení.

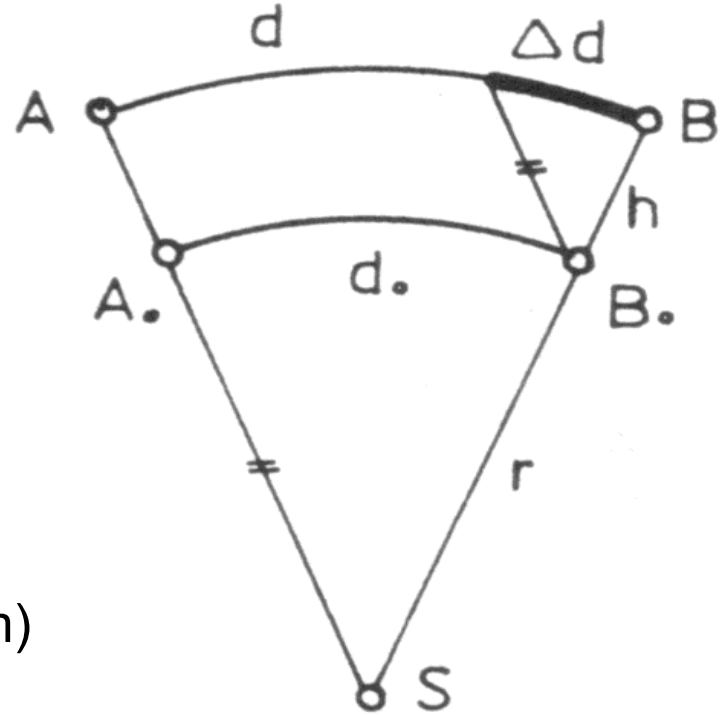
7.5 Matematické redukce – z nadmořské výšky

Přímo měřené délky (po fyzikální redukci) je nutno redukovat do tzv. nulového horizontu.

$$d_0 = d - \Delta d,$$

$$\frac{\Delta d}{h} = \frac{d}{r+h},$$

$$\Delta d = d\,\frac{h}{r+h}.$$



r ... poloměr referenční koule (6380 km)

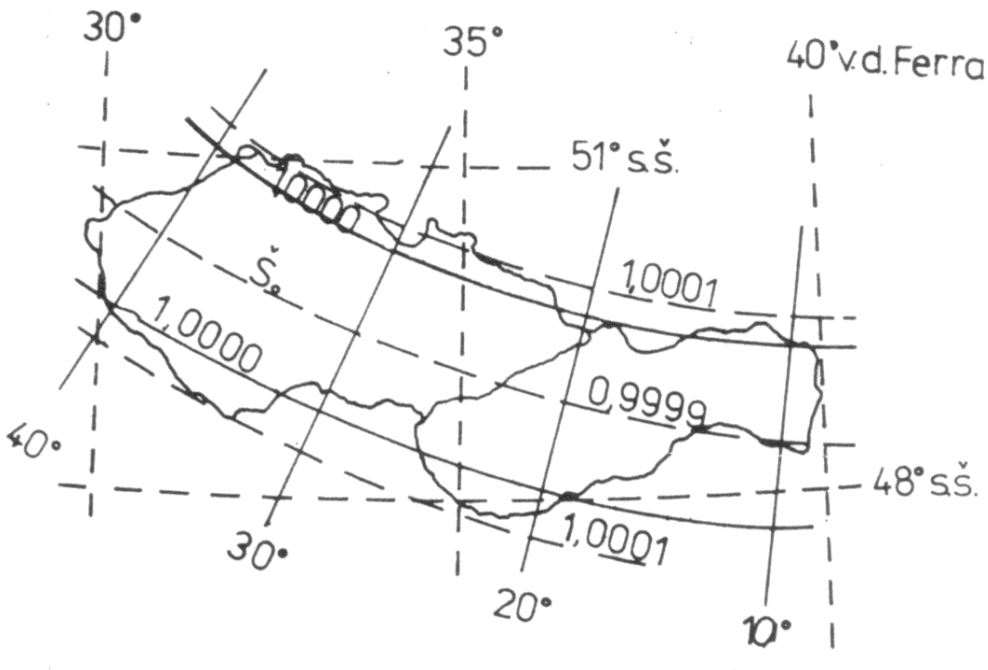
h ... nadmořská výška

7.5 Redukce délky do zobrazení S-JTSK

$$s = d_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(m_A + m_B \right)$$

Pro kratší délky

$$s = d_0 \cdot m_A$$



Hodnotu délkového zkreslení ***m*** lze získat výpočtem z rovnic nebo odečíst z mapy izočar kartografického zkreslení.