

2. přednáška ze stavební geodézie SG01

Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Bodová pole, souřadnicové výpočty

Bodová pole

- měřické body
- rozdělení polohového a výškového bodového pole
- dokumentace geodetického bodu
- stabilizace a signalizace bodů

Souřadnicové výpočty

- délka
- směrník
- polární metoda
- protínání vpřed z úhlů
- protínání vpřed z délek
- protínání zpět, volné stanovisko, geodetické sítě
- polygonové pořady

Body

Body měřické

Body kteréhokoliv z bodových polí, který tvoří podklad pro další měření.

Body podrobné

Body předmětu měření zaměřované při podrobném měření.

Měřické body

Body geodetické

Trvale stabilizovány, je k nim vyhotovena dokumentace geodetických údajů.

Body ostatní

Pouze dočasná stabilizace (dřevěné kolíky s křížkem nebo hřebíčkem, křížky vyznačené křídou).

Geodetické body

- Polohové
- Výškové
- Tíhové: slouží především k vědeckým účelům

Vytváří bodová pole a geodetické sítě.

Každý má číslo, případně i název.

Ke každému se vyplňuje formulář s geodetickými údaji (uživatel si je sám musí ověřit).

Geodetický bod může patřit do více bodových polí.

Rozdělení polohového bodového pole

- Základní polohové bodové pole (ZPBP)
- Zhušťovací body (ZhB)
- Podrobné polohové bodové pole (PPBP)

Souřadnice bodů se počítají v S-JTSK.

ZPBP tvoří body:

referenční síť nultého řádu,
astronomicko-geodetické síť (AGS),
České státní trigonometrické síť (ČSTS),
geodynamické síť.

ZPBP

Bodová pole byla budována od roku 1918 jednotně v rámci tehdejší ČSR.

ČSTS byla dokončena v 50. letech minulého století. Sít se člení na 5 řádů, body nižšího řádu plošně zhušťují body řádu vyššího. Jde o princip

„**z velkého do malého**“. Hustota bodů V. řádu je 1 – 3 km.

Relativní polohová přesnost vztažená k sousedním bodům je cca 15 mm. Práce v ZPBP provádí stát prostřednictvím Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK).

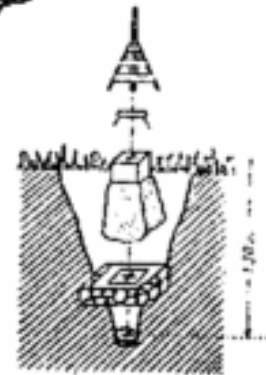
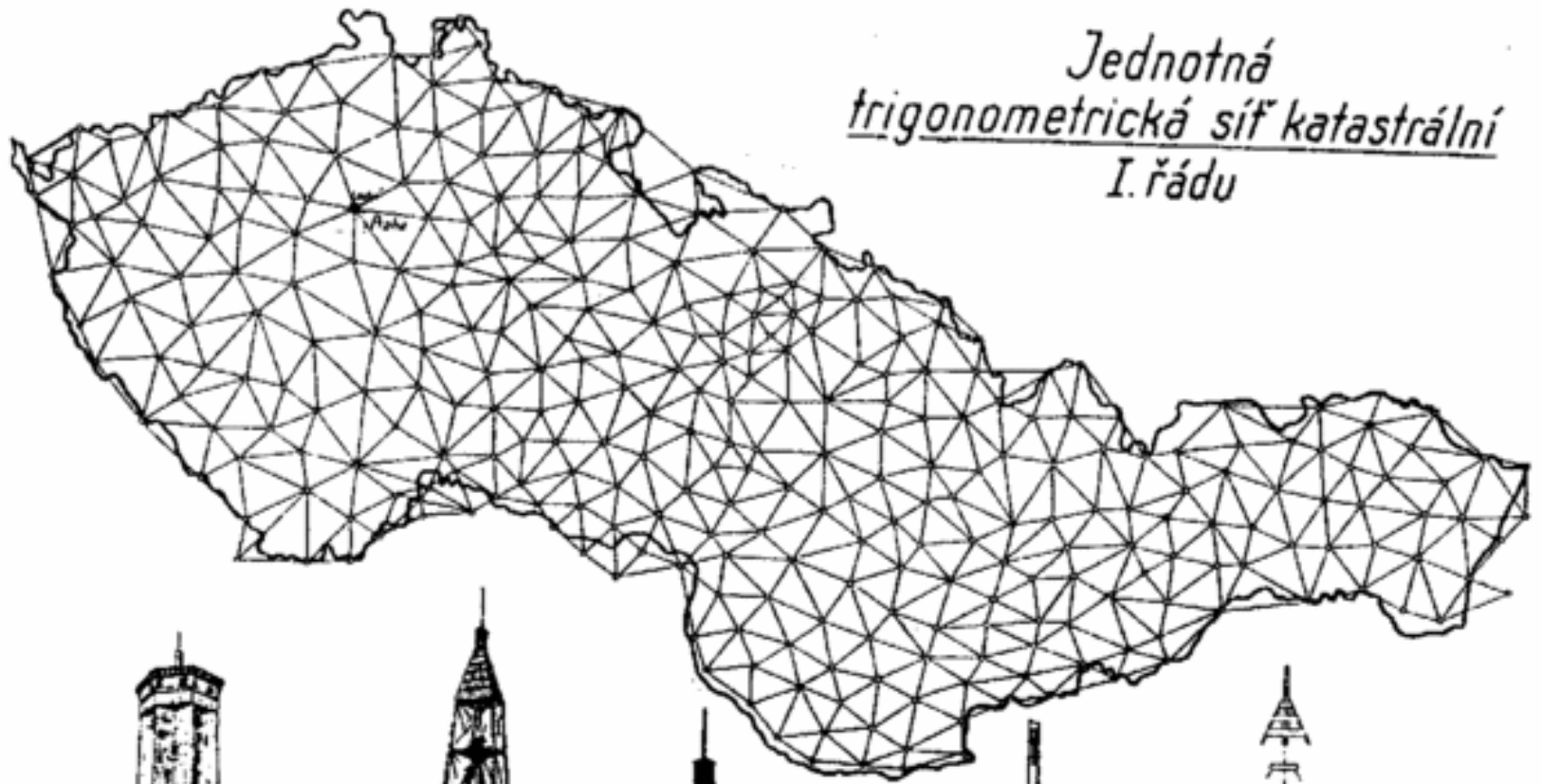
PPBP

Udržují se jen v případě potřeby.

Volí se na objektech se značkou kteréhokoli bodového pole, na hraničních kamenech, kamennými hranoly, ocelovými trubkami,

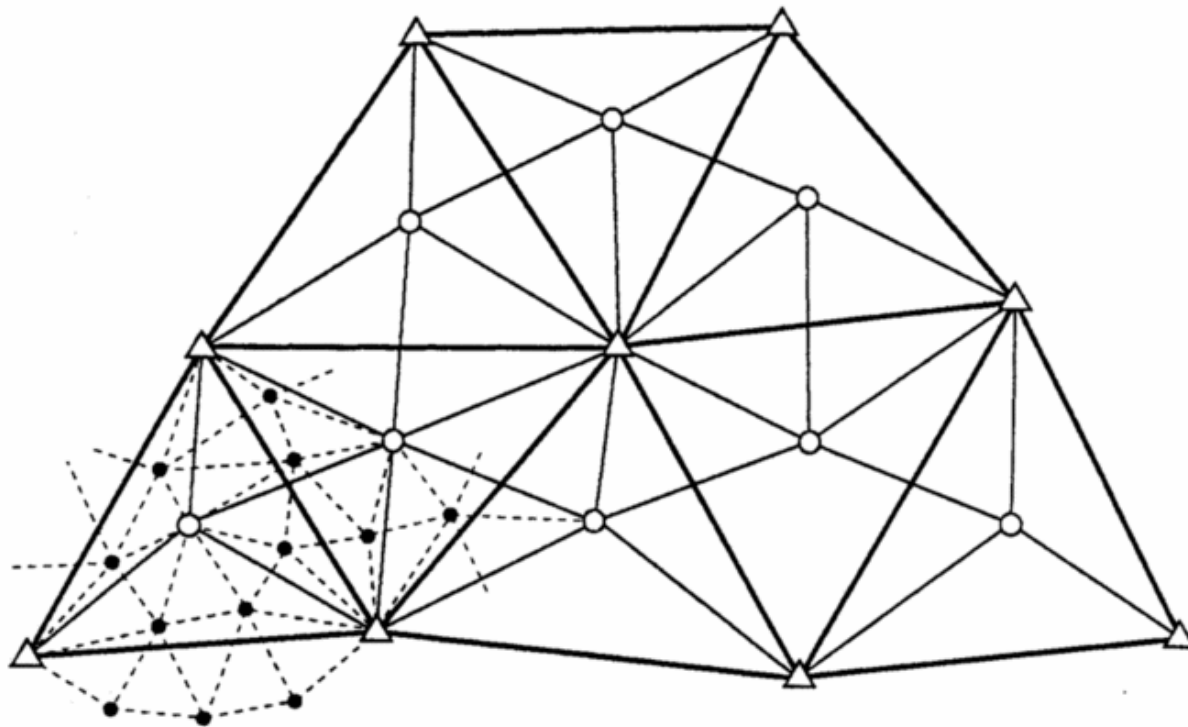
...

*Jednotná
trigonometrická síť katastrální
I. řádu*



Vytýčení a zajištění trigonometrických bodů katastrálního vyměřování

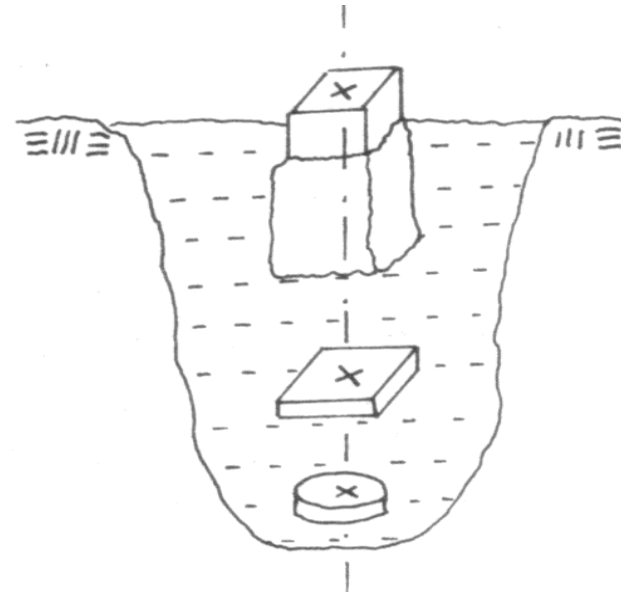
Postup budování polí



- △ ... body I. řádu
- ... body II. řádu
- ... body III. řádu

Stabilizace ZPBP

- 1 povrchová a 2 podzemní značky (nad sebou)
 - Povrchová: kamenný (žulový) hranol délky 0,8 m s opracovanou hlavou tvaru krychle o straně 0,2 m s vytesaným křížkem.
 - Podzemní: kamenná a skleněná deska s křížkem.
- Další způsoby...



Signalizace bodů

Trvalá:

Měřické věže.

Věže kostelů.

Měřické pyramidy s čb signální tyčí.

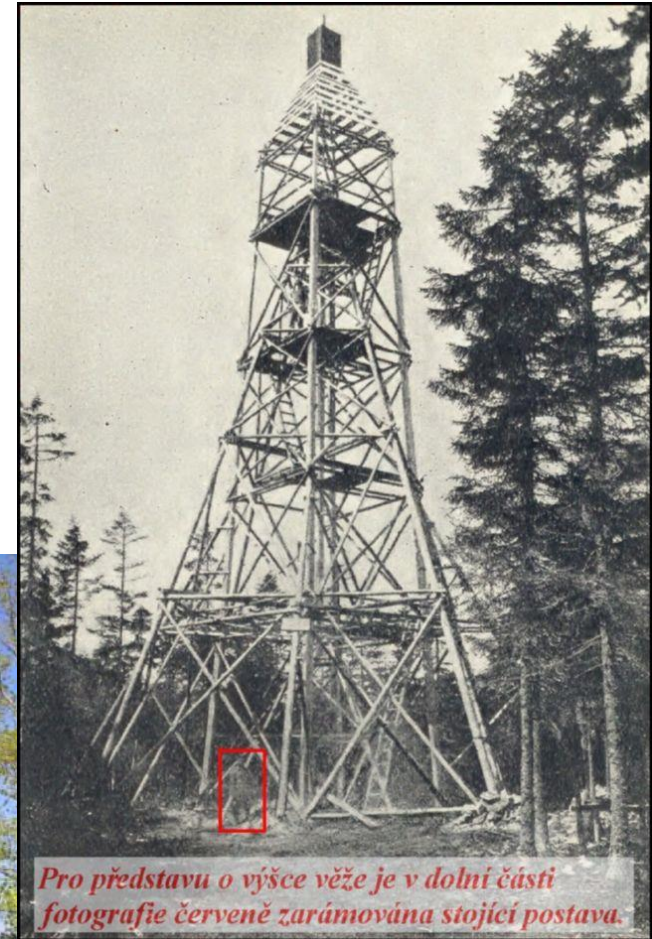
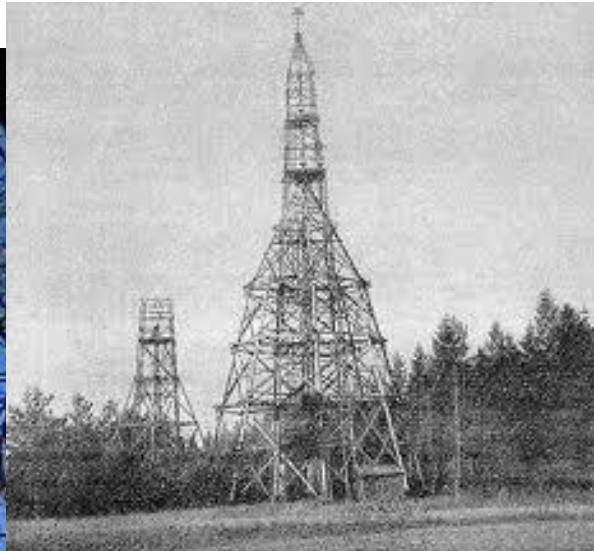
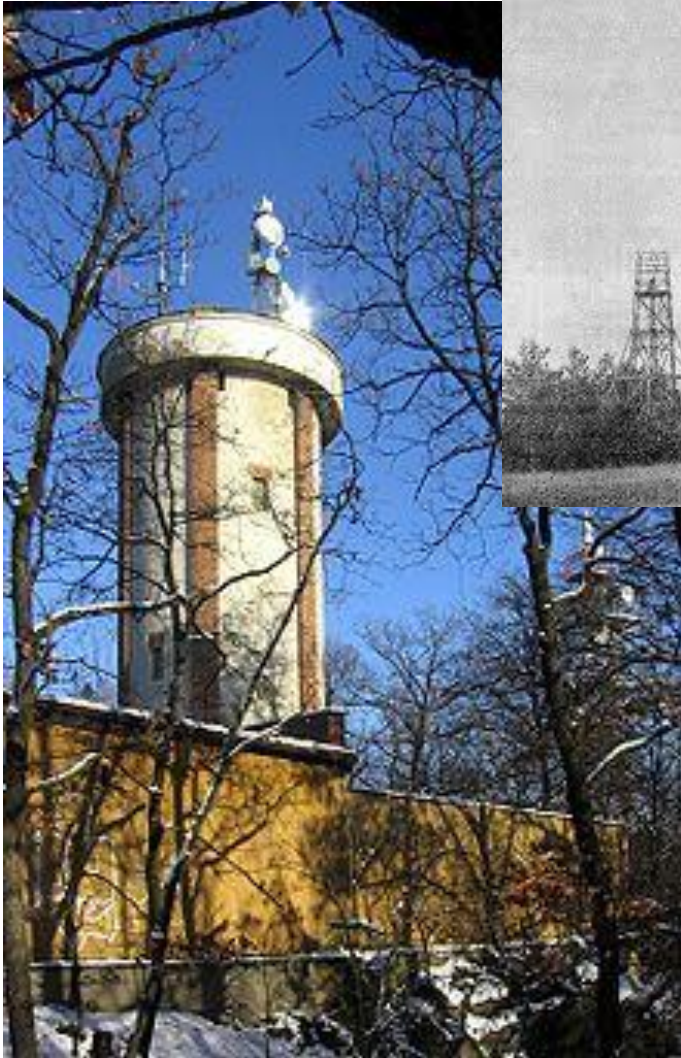
Dočasná:

Výtyčky umístěné ve stojánku.

Stativy s terčem nebo odrazným hranolem.

Hrot měřického hřebu nebo tužky.

Měřické věže



Pro představu o výšce věže je v dolní části fotografie červeně zarámována stojící postava.

Výškové bodové pole

Výšková měření se připojují na pevné výškové body, které tvoří výškové bodové pole (VBP), které je děleno na:

Základní výškové bodové pole (ZVBP)

Podrobné výškové bodové pole (PVBP)

Základní výškové bodové pole obsahuje:

- Základní nivelační body (ZNB) – 11 bodů rozmístěných na celém území ČR v místech, kde se nepředpokládají geologické posuny. Základní výchozí výškový bod je bod Lišov u Českých Budějovic (zřízen 1889).
- Body České státní nivelační sítě (ČSNS) I. až III. řádu

ZNB a ČSNS I. a II. řádu jsou určeny velmi přesnou nivelací (VPN)

ČSNS III. řádu jsou určeny přesnou nivelací (PN)

Výškové bodové pole

Podrobné výškové bodové pole obsahuje:

- Body ČSNS IV. řádu (určeny PN)
- Body plošných nivelačních sítí (určeny PN)
- Stabilizované body technických nivelací

Nivelační body jsou rozmístěny tak, aby v extravilánu byla jejich průměrná vzdálenost menší než 1 km a v intravilánu byla okolo 300 m. V intravilánu jsou osazeny vždy nejméně 3 značky.

Stabilizace výškových bodů

Stabilizace bodů je prováděna podle vyhlášky č. 31/1995 Sb.

Stabilizace přirozená

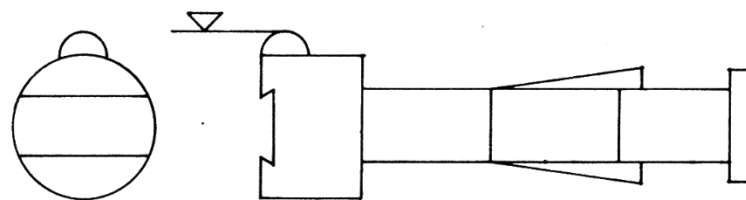
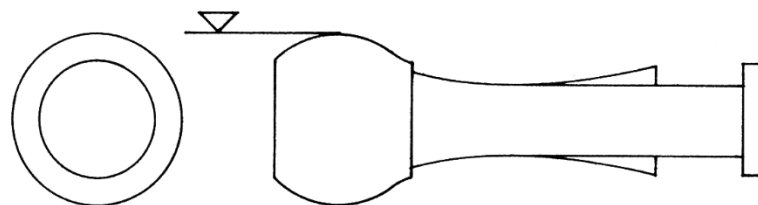
Využívají se vhodné přírodní útvary, které se případně přizpůsobí - např. u základních nivelačních bodů je vlastním bodem vybroušená ploška 15x15 cm na rostlé skále (nad bodem byl vybudován pomník výšky 2 m s dutinou, do které se po odkrytí horního kamene - jehlanu spouští nivelační lať). Použito především pro body ZNB.

Stabilizace umělá

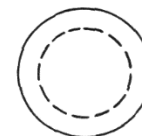
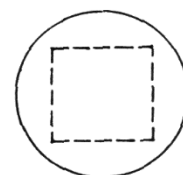
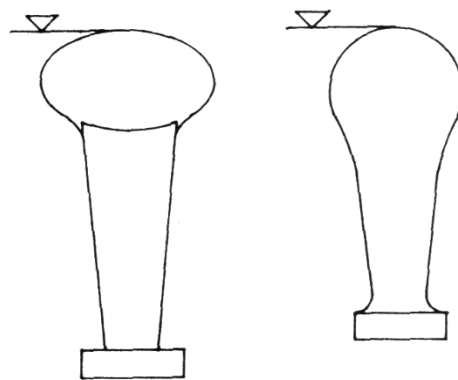
Značky ze zvláštních hmot – sklo, slitina mědi a niklu, litina (odolávají vlhkosti a kyselinám). Tyto značky jsou buď hřebové nebo čepové.

Stabilizace bodů

a) značky čepové - osazují se z boku, asi 0,5 m nad terénem

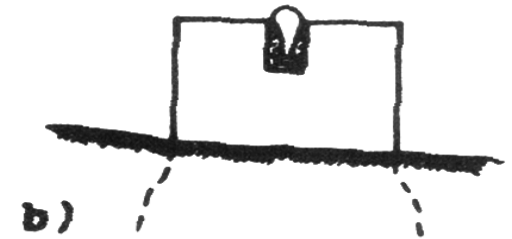
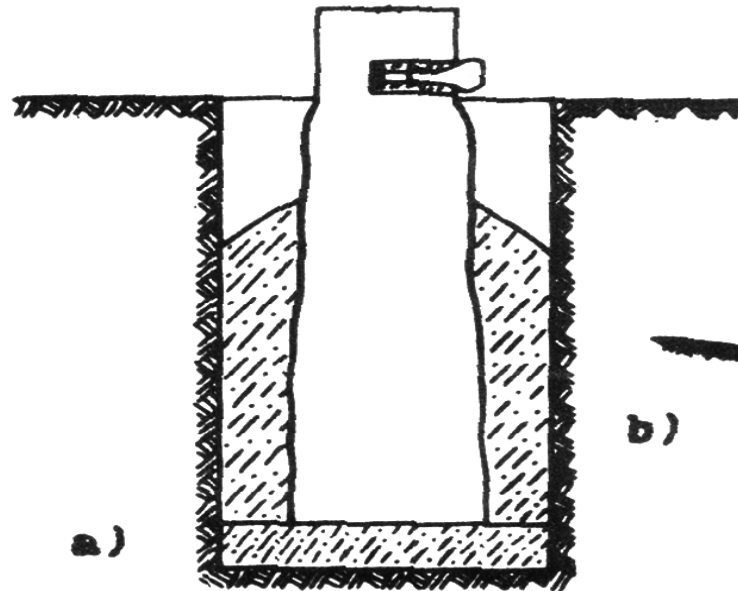
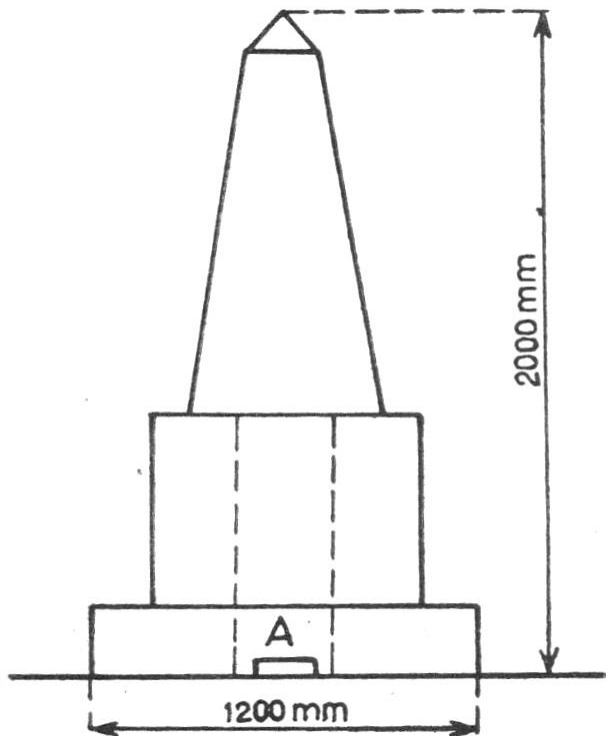



b) značky hřebové - osazují se shora



Stabilizace bodů

Značky se osazují do skály, podsklepených budov, pilířů mostů nebo do nivelačních kamenů.





LOCUS PERENNIS
diligentissimae cum libella librationis
quae est in Austria et Hungaria con-
fecta cum mensura graduum me-
ridionalium et parallelorum quam
Europaeam vocant erectum
MDCCLXXXIX.

Stabilizace bodů, nivelační údaje

- Nad značkou musí být volný prostor pro svislé postavení nivelační lať
- Nivelační lať se staví na nejvyšší místo hlavy značky
- Nad bodem nebo na ochranné červenobílé tyči v blízkosti bodu je umístěn štítek s textem „Státní nivelace. Poškození se trestá.“

Pro každý výškový bod jsou vyhotoveny **nivelační údaje**, které obsahují:

- Označení bodu
- Kde se bod nachází
- Nadmořskou výšku v BpV
- Situační nákres a popis
- Druh značky
- Kdo a kdy stabilizoval bod a vyhotovil nivelační údaje

Nivelační údaje si musí uživatel ověřit.

NIVELAČNÍ ÚDAJE

Pořadí: **1** Platnost od: **1.6.1990** do:

Nivelační pořad - Podrobná nivelační síť:		Kraj: Jihočeský	List mapy: 33 - 11				
Nde Třeboň - Veselí		Okres: Jindřich. Hradec	1:50000				
		Obec: Třeboň	SMO - 5				
		Kat. úz.: Třeboň	Třeboň 3 - 2				
Předcházející bod: NZ₁₄-55.1	Délka oddílu	Vzdálenost od počátku pořadu	Nivelační převýšení	Tíhová redukce	Oprava z vyrovnání	Nadmořská výška balt - po vyrovnání	Převod do jadranu
0.1	km	m	m	mm	m	m	+
	0,210	0,210	+0,126 05	-0,04	+0,61	439,167 2	0,392 5
Situace: Č. Třeboň II (Jindřichův Hradec), dům čp.1042, 0,4 m nad zemí							
Poznámky:							
Druh značky	Stupeň stability	Stabilizoval (ústav, jméno, datum)	Druh bodu	Výška z roku.....	Převýšení z roku.....		
čepová VI a	3 Druh stabilizace	GKP Kreps 1988		1988-dod.č.2	1988		
Stav a stáří stavby, stavební hmota, půdní vlastnosti: zachovalá omítnutá podsklepená cihlová stavba z roku 1965							
Geologický popis:							Klasifikace
Geomorfologické vlastnosti místa: mírný spád k východu							
NÚ vyhotovil (ústav, jméno, datum)	situaci	GKP, Kreps, 6.1988		Kontroloval	<i>Do</i> 24.4.1990		
	zapis	Kleinová, 9.1.1990					
Záznam změn:							

Souřadnicové výpočty

Poloha bodů je dána pravoúhlými rovinnými souřadnicemi Y, X v daném souřadnicovém systému.

Všechny geodetické souřadnicové systémy jsou pravotočivé (osa +Y otočena o pravý úhel od osy +X po směru hodinových ručiček).

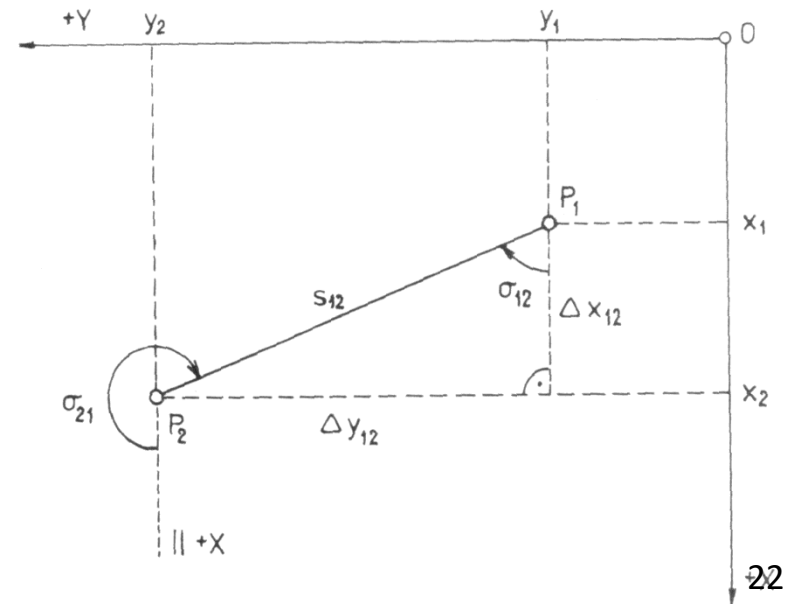
Souřadnicový rozdíl:

$$\Delta x_{12} = x_2 - x_1$$

$$\Delta y_{12} = y_2 - y_1$$

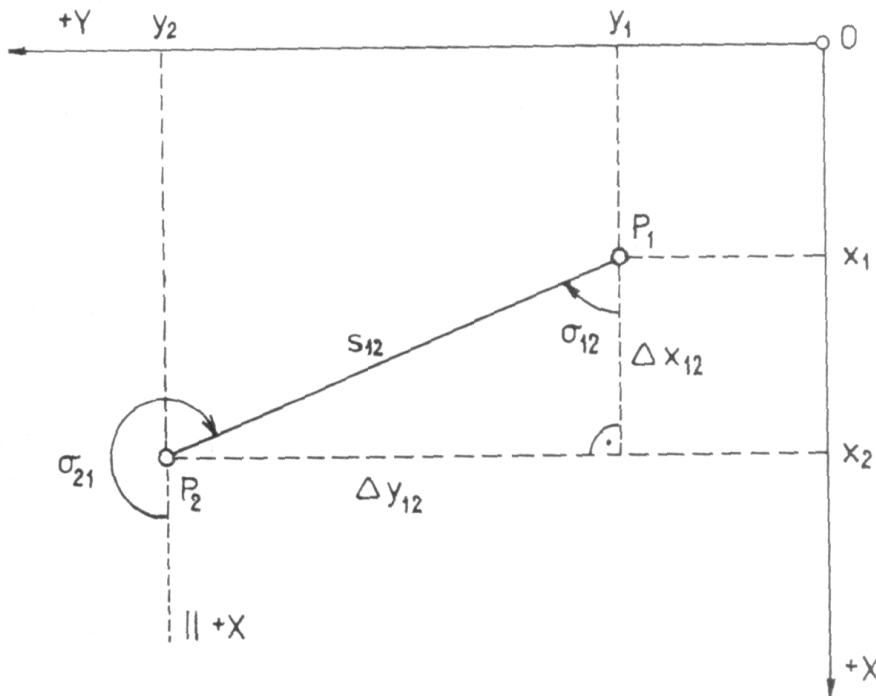
$$\Delta x_{21} = x_1 - x_2$$

$$\Delta y_{21} = y_1 - y_2$$



Délka

Vzdálenost dvou bodů, platí $s_{12}=s_{21}$.
Znaménko je vždy kladné.



$$s_{12} = \sqrt{\Delta x_{12}^2 + \Delta y_{12}^2},$$

$$s_{12} = \frac{\Delta y_{12}}{\sin \sigma_{12}},$$

$$s_{12} = \frac{\Delta x_{12}}{\cos \sigma_{12}}.$$

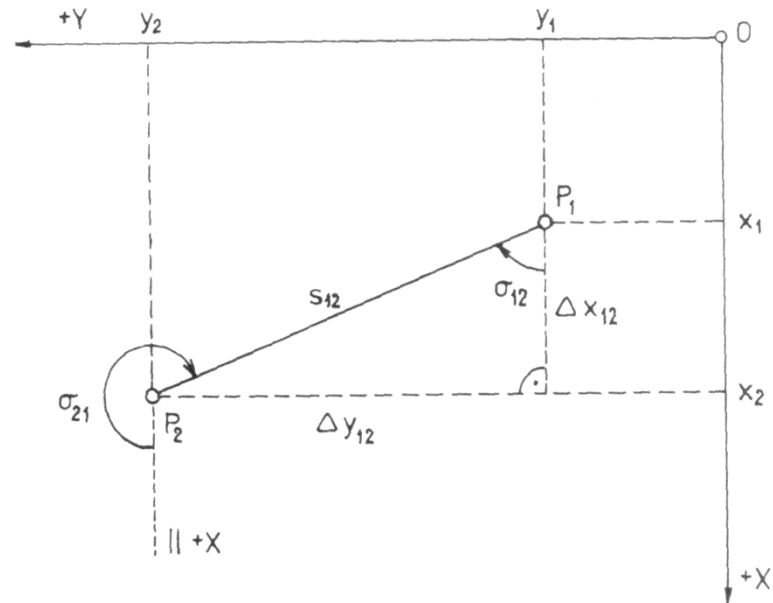
Směrník

Směrník je orientovaný úhel na výchozím bodě od rovnoběžky s osou +X ke spojnici bodů.

Z obrázku vyplývá:

$$\sigma_{12} = \sigma_{21} + 200 \text{ gon}$$

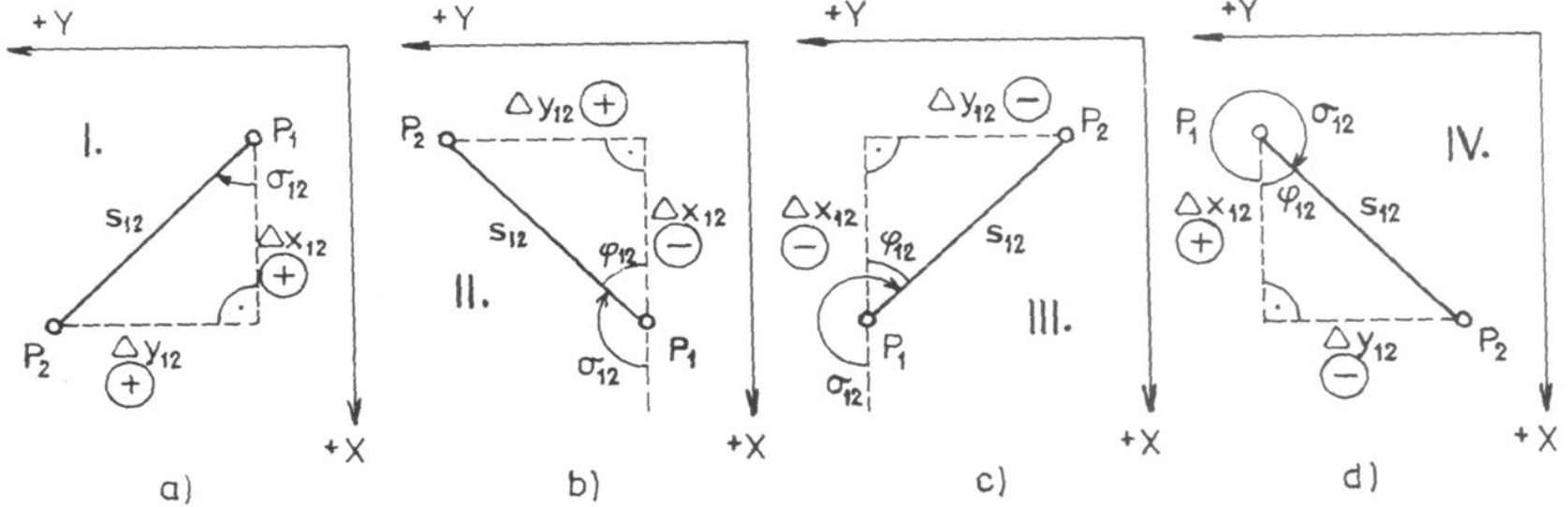
$$\tan \varphi_{12} = \left| \frac{\Delta y_{12}}{\Delta x_{12}} \right|$$



Úhel ϕ je třeba přepočítat do správného kvadrantu.

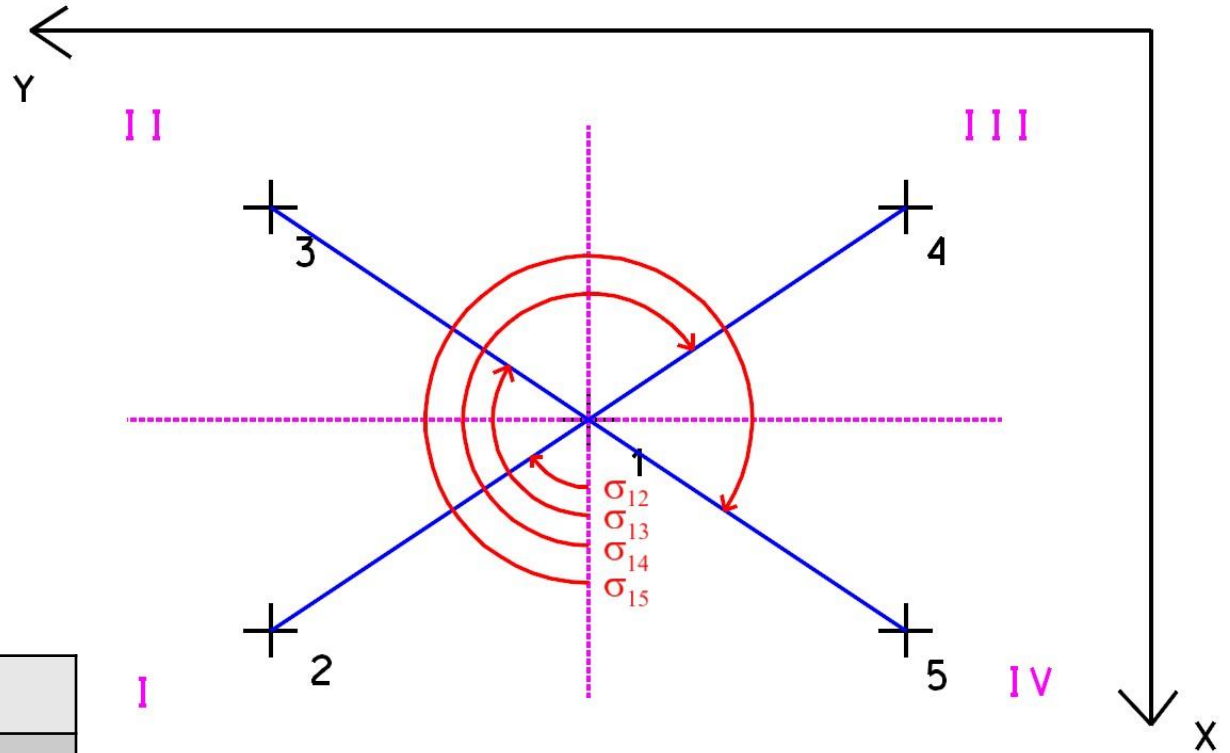
Směrník

Kvadranty:



Kvadrant	I	II	III	IV
Δy_{12}	+	+	-	-
Δx_{12}	+	-	-	+
	$\sigma_{12} = \varphi_{12}$	$\sigma_{12} = 200^{\circ} - \varphi_{12}$	$\sigma_{12} = 200^{\circ} + \varphi_{12}$	$\sigma_{12} = 400^{\circ} - \varphi_{12}$

Směrník - příklady



Č. bodu	Y [m]	X [m]
1	2000	7000
2	2300	7200
3	2300	6800
4	1700	6800
5	1700	7200

Směrník – příklady

$$\varphi_{12} = \arctan \frac{|\Delta Y_{12}|}{|\Delta X_{12}|} = \arctan \frac{|+300|}{|+200|} = 62,5666 \text{ gon}$$

$$\sigma_{12} = \varphi_{12} = 62,5666 \text{ gon}$$

$$\varphi_{13} = \arctan \frac{|\Delta Y_{13}|}{|\Delta X_{13}|} = \arctan \frac{|+300|}{|-200|} = 62,5666 \text{ gon}$$

$$\sigma_{13} = 200 \text{ gon} - \varphi_{13} = 137,4334 \text{ gon}$$

$$\varphi_{14} = \arctan \frac{|\Delta Y_{14}|}{|\Delta X_{14}|} = \arctan \frac{|-300|}{|-200|} = 62,5666 \text{ gon}$$

$$\sigma_{14} = 200 \text{ gon} + \varphi_{14} = 262,5666 \text{ gon}$$

$$\varphi_{15} = \arctan \frac{|\Delta Y_{15}|}{|\Delta X_{15}|} = \arctan \frac{|-300|}{|+200|} = 62,5666 \text{ gon}$$

$$\sigma_{15} = 400 \text{ gon} - \varphi_{15} = 337,4334 \text{ gon}$$

Polární metoda

Slouží k výpočtu souřadnic bodu P_3 , je-li měřeno:

délka strany d_{13} , vodorovný úhel ω .

Známo: $P_1[y_1, x_1]$, $P_2[y_2, x_2]$.

Postup výpočtu:

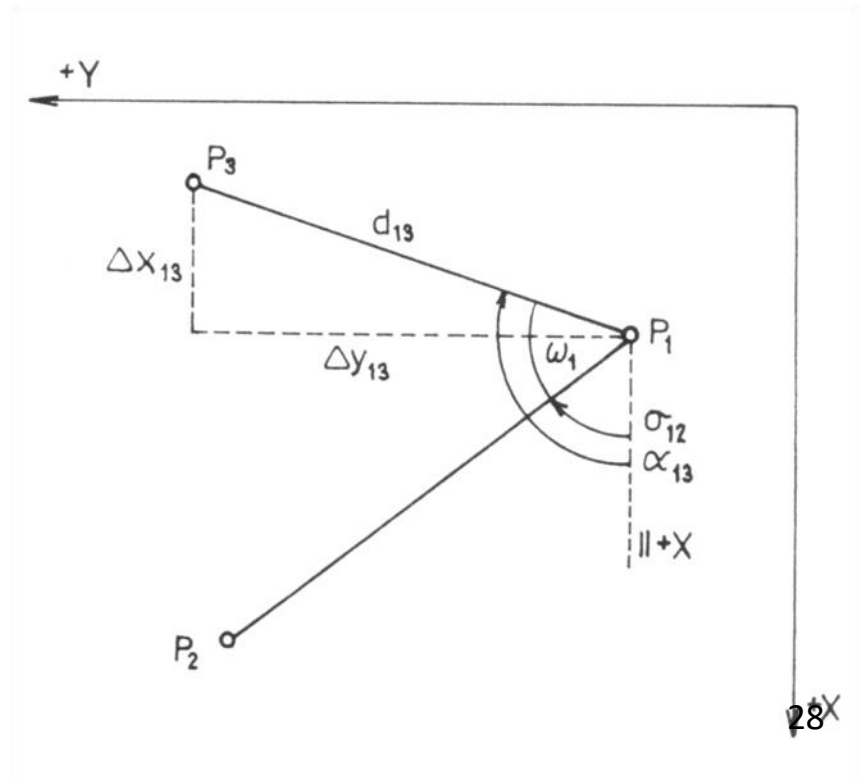
$$\alpha_{13} = \sigma_{12} + \omega$$

$$\Delta y_{13} = d_{13} \cdot \sin \alpha_{13}$$

$$\Delta x_{13} = d_{13} \cdot \cos \alpha_{13}$$

$$y_3 = y_1 + \Delta y_{13} = y_1 + d_{13} \cdot \sin \alpha_{13}$$

$$x_3 = x_1 + \Delta x_{13} = x_1 + d_{13} \cdot \cos \alpha_{13}$$



Protínání vpřed z úhlů

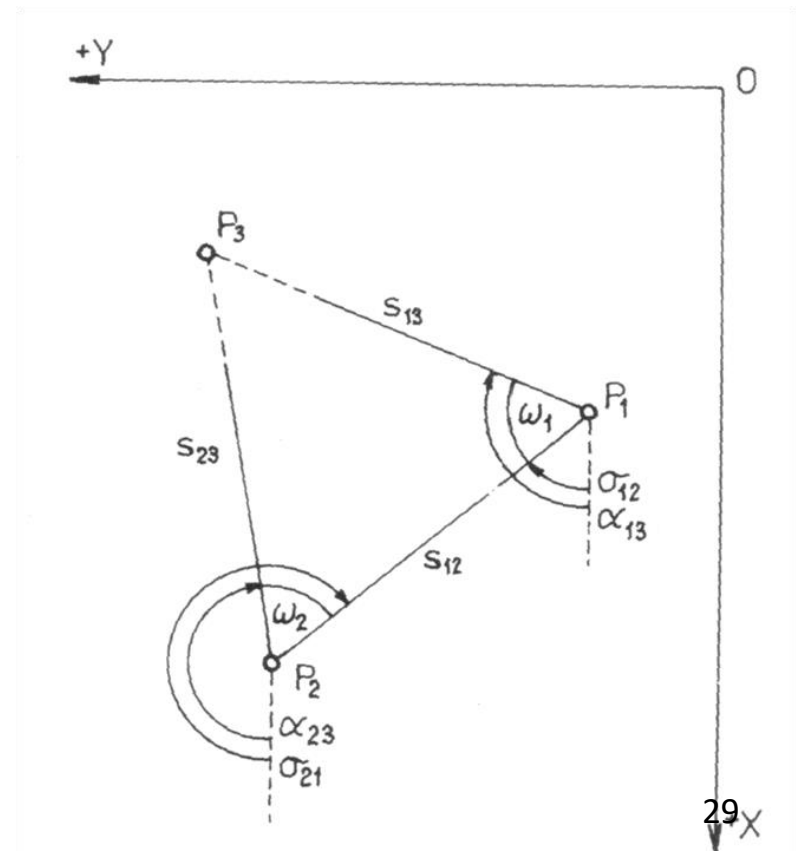
Slouží k výpočtu souřadnic bodu P₃, je-li měřeno:
vodorovné úhly ω_1, ω_2 .
Známo: P₁[y₁,x₁], P₂[y₂,x₂].

$$s_{12} = \sqrt{\Delta x_{12}^2 + \Delta y_{12}^2}$$

$$s_{13} = s_{12} \cdot \frac{\sin(\omega_2)}{\sin(\omega_1 + \omega_2)}$$

$$s_{23} = s_{12} \cdot \frac{\sin(\omega_1)}{\sin(\omega_1 + \omega_2)}$$

Dále polární metoda, pro kontrolu se bod P₃ počítá z obou stanovisek.



Protínání vpřed z délek

Slouží k výpočtu souřadnic bodu P₃, je-li měřeno:

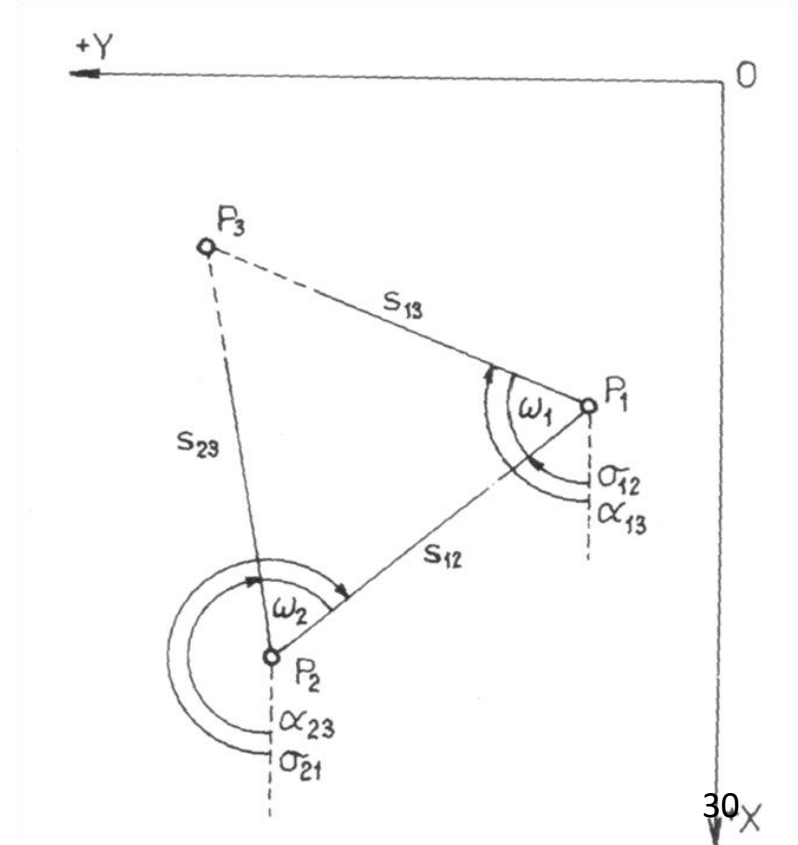
Vodorovné délky d₁, d₂.

Známo: P₁[y₁, x₁], P₂[y₂, x₂].

$$\cos(\omega_1) = \frac{s_{13}^2 + s_{12}^2 - s_{23}^2}{2 \cdot s_{13} \cdot s_{12}}$$

$$\cos(\omega_2) = \frac{s_{23}^2 + s_{12}^2 - s_{13}^2}{2 \cdot s_{23} \cdot s_{12}}$$

Dále polární metoda, pro kontrolu se bod P₃ počítá z obou stanovisek.



Protínání zpět

Z úhlů:

Slouží k výpočtu souřadnic bodu (P_4), jsou-li na určovaném bodě měřeny vodorovné úhly ω_1 ω_2 mezi třemi body (P_1, P_2, P_3). Jsou známy souřadnice bodů P_1, P_2, P_3 .

Volné stanovisko:

Slouží k výpočtu souřadnic bodu (S), jsou-li na určovaném bodě měřeny vodorovné úhly a délky na minimálně dva body P_i (minimum jsou dvě délky a jeden úhel). Jsou známy souřadnice bodů P_i .

Složité výpočet, řeší se vyrovnáním podle MNČ.

Geodetické sítě

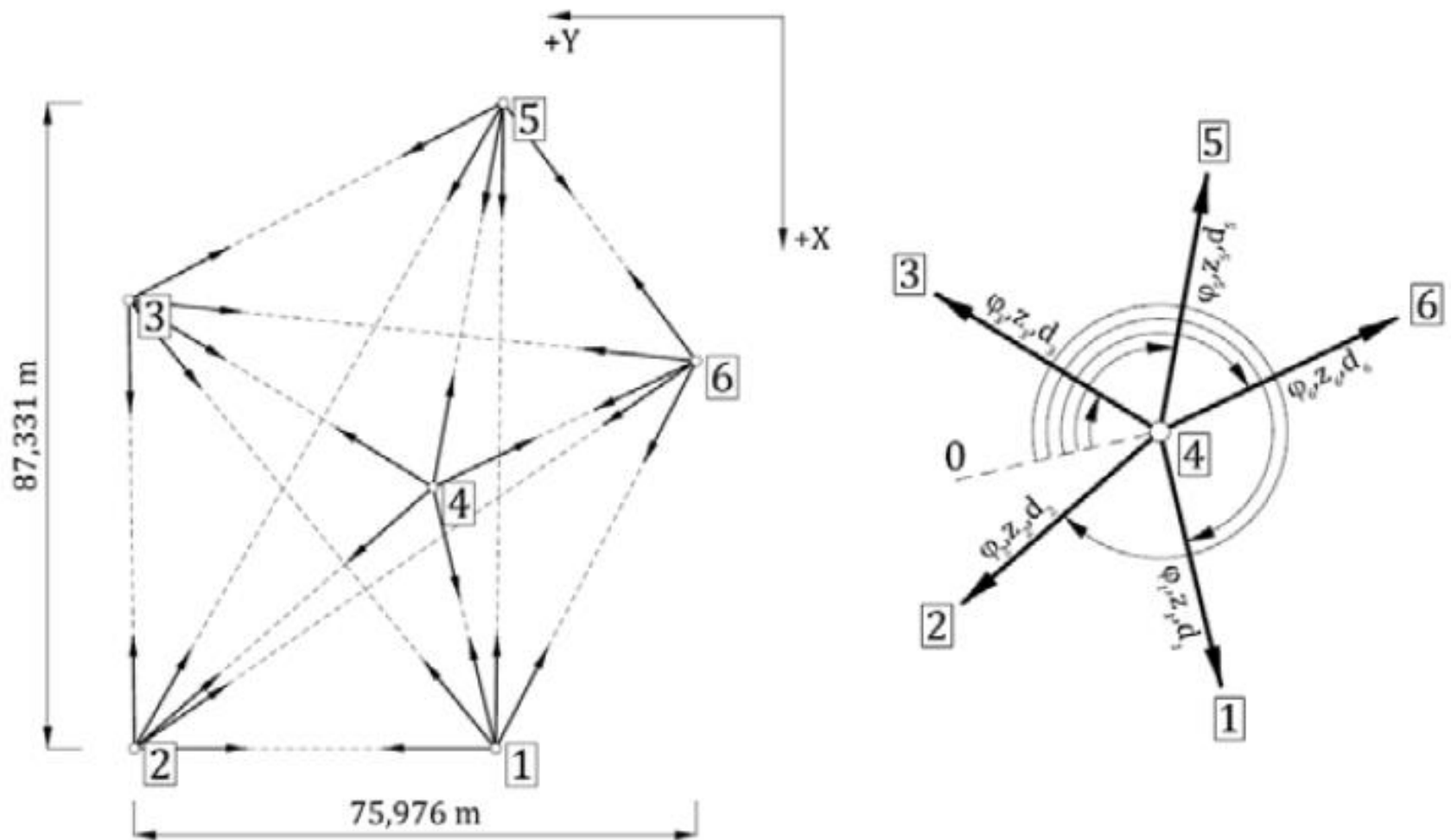
Slouží k určení souřadnic bodů sítě.

Na jednotlivých bodech jsou měřeny různé veličiny (vodorovné směry, vodorovné úhly, zenitové úhly a délky) na další body sítě.

Nadbytečný počet měření.

Složité výpočty, řeší se vyrovnáním podle MNČ, různé způsoby.

Geodetická síť, volné stanoviště



Polygonové pořady

Slouží k současnému určení souřadnic více bodů. Měří se délky všech stran a levostranné vrcholové úhly na všech polygonových bodech.

Polygonový pořad – lomená čára spojující měřické body.

Polygonové body – vrcholy lomené čáry.

Polygonové strany – spojnice sousedních polygonových bodů.

Úkolem je určit souřadnice Y, X polygonových bodů.

Podmínkou použití je vzájemná viditelnost mezi sousedními body.

Polygonové pořady - rozdělení

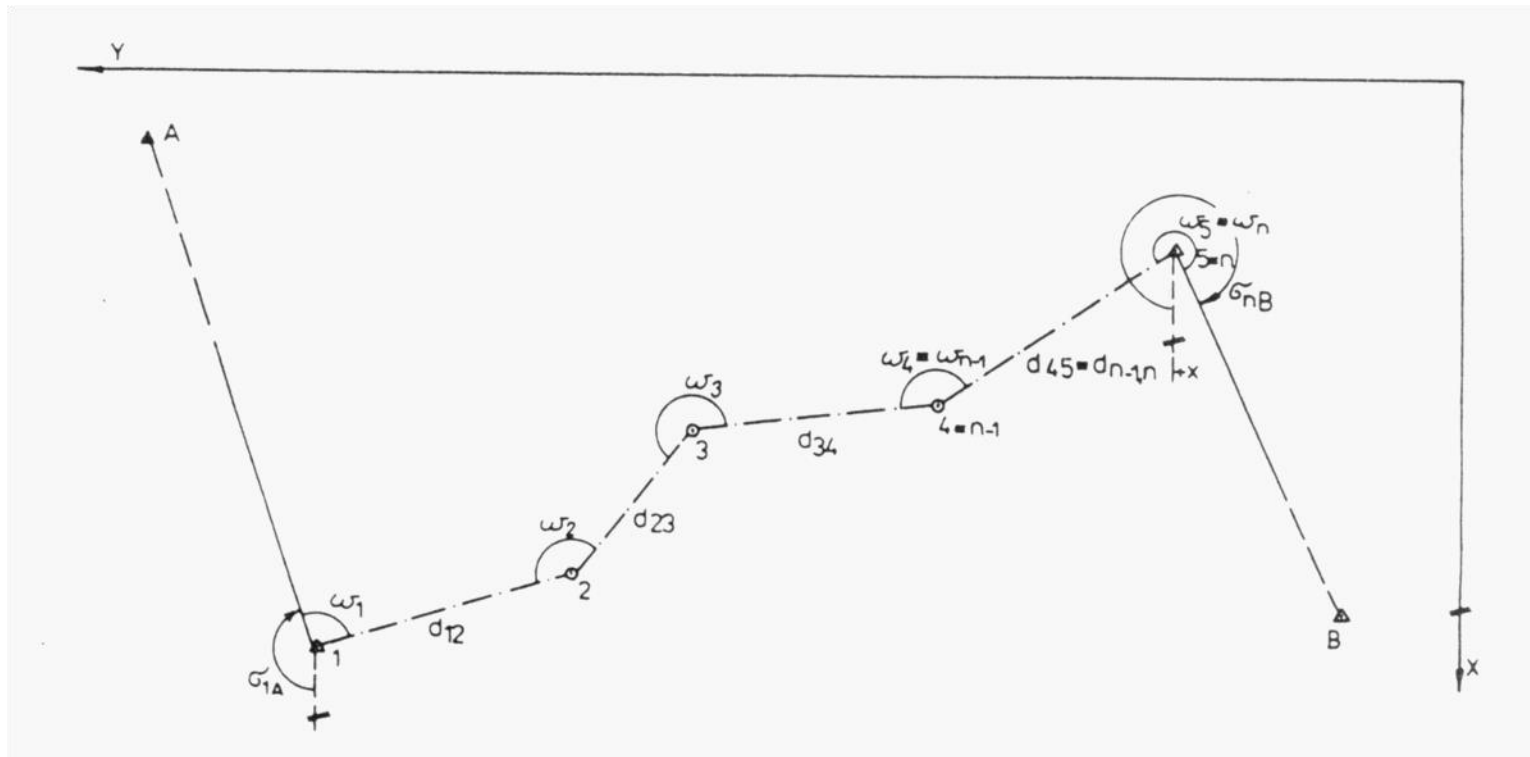
- Připojené: jsou připojeny k měřickým bodům o známých souřadnicích (oboustranně, jednostranně).
- Nepřipojené: nejsou připojeny k měřickým bodům o známých souřadnicích.
- Otevřený: začíná a končí na různých bodech.
- Uzavřený: začíná a končí na tomtéž bodě.
- Orientace pořadu: změření vodorovného úhlu na počátečním (koncovém) bodě.

Oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad

Známo: Y,X bodů A, B, 1, n.

Měřeno: $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$; $d_{12}, d_{23}, \dots, d_{n-1,n}$.

Určuje se: Y,X bodů 2, 3, ... n-1.



Postup výpočtu

Přibližný výpočet souřadnic s odděleným vyrovnáním úhlů a souřadnicových rozdílů.

- 1) Výpočet směrníků na orientační body.
- 2) Úhlové vyrovnání.
- 3) Výpočet směrníků v polygonu.
- 4) Výpočet souřadnicových rozdílů.
- 5) Souřadnicové uzávěry.
- 6) Výpočet opravených souřadnicových rozdílů.
- 7) Výpočet souřadnic polygonových bodů.

1) Výpočet směrníků na orientační body

$$\tan \varphi_{1A} = \frac{|\Delta y_{1A}|}{|\Delta x_{1A}|} \qquad \tan \varphi_{nB} = \frac{|\Delta y_{nB}|}{|\Delta x_{nB}|}$$

dále se podle tabulky určí σ_{1A} , σ_{nB} .

2) Úhlové vyrovnání

$$O_{\omega} = \sigma_{nB} - \left(\sigma_{1A} + \sum_{i=1}^n \omega_i - (n-1) \cdot 200 \text{ gon} \right)$$

n ... počet bodů polygonového pořadu

Podmínka pro úhlové vyrovnání:

$$|O_{\omega}| \leq u_{M\omega}$$

$$u_{M\omega} = 0,01 \text{ gon} \cdot \sqrt{n+3}$$

Rozdělení úhlové odchylky úměrně počtu vrcholů:

$$\delta_{\omega} = \frac{O_{\omega}}{n}$$

$$\omega'_i = \omega_i + \delta_{\omega}$$

3) Výpočet směrniců v polygonu

$$\alpha_{12} = \sigma_{1A} + \omega'_1$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{12} + \omega'_2 \pm 200 \text{ gon}$$

$$\alpha_{n-1,n} = \alpha_{n-2,n-1} + \omega'_{n-1} \pm 200 \text{ gon}$$

$$\alpha_{nB} = \alpha_{n-1,n} + \omega'_n \pm 200 \text{ gon} = \sigma_{nB} \quad \text{Kontrola!}$$

4) Výpočet souřadnicových rozdílů

$$\Delta y_{12} = d_{12} \cdot \sin \alpha_{12}$$

$$\Delta x_{12} = d_{12} \cdot \cos \alpha_{12}$$

...

$$\Delta y_{n-1,n} = d_{n-1,n} \cdot \sin \alpha_{n-1,n}$$

$$\Delta x_{n-1,n} = d_{n-1,n} \cdot \cos \alpha_{n-1,n}$$

5) Souřadnicové uzávěry

Souřadnicové uzávěry:

$$O_y = \Delta y_{1n} - \sum \Delta y_{ij} \qquad O_x = \Delta x_{1n} - \sum \Delta x_{ij}$$

Polohový uzávěr:

$$O_p = \sqrt{O_x^2 + O_y^2}$$

$$u_{Mp} = 0,01 \cdot \sqrt{\sum d} + 0,10$$

$$|O_p| \leq u_{Mp}$$

6) Výpočet opravených souřadnicových rozdílů (úměrně souřadnicovým rozdílům)

$$\delta_{\Delta y_i} = \frac{O_y}{\sum |\Delta y|} \cdot |\Delta y_i|$$

$$\delta_{\Delta x_i} = \frac{O_x}{\sum |\Delta x|} \cdot |\Delta x_i|$$

Opravené souřadnicové rozdílly:

$$\Delta y' = \Delta y_i + \delta_{\Delta y_i}$$

$$\Delta x' = \Delta x_i + \delta_{\Delta x_i}$$

Kontrola!

$$\sum \Delta y' = \Delta y_{1n}$$

$$\sum \Delta x' = \Delta x_{1n}$$

7) Výpočet souřadnic

$$y_1 = \textit{dáno}$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y'_{12}$$

...

$$y_n = y_{n-1} + \Delta y'_{n-1,n}$$

$$x_1 = \textit{dáno}$$

$$x_2 = x_1 + \Delta x'_{12}$$

...

$$x_n = x_{n-1} + \Delta x'_{n-1,n}$$

Kontrola!

$$y_n = \textit{dáno}$$

$$x_n = \textit{dáno}$$

Uzavřený polygonový pořad

Známo : Y,X bodů A (orientace), P_1 .

Měřeno : $\omega_1, \omega_2 \dots \omega_n$; $d_{12}, d_{23} \dots d_{n-1,n}$.

Určuje se : Y,X bodů P_2, P_3, \dots, P_{n-1}

Úhlový uzávěr: pro
vnitřní úhly

$$O_\omega = (n - 2) \cdot 200 - \sum \omega_i$$

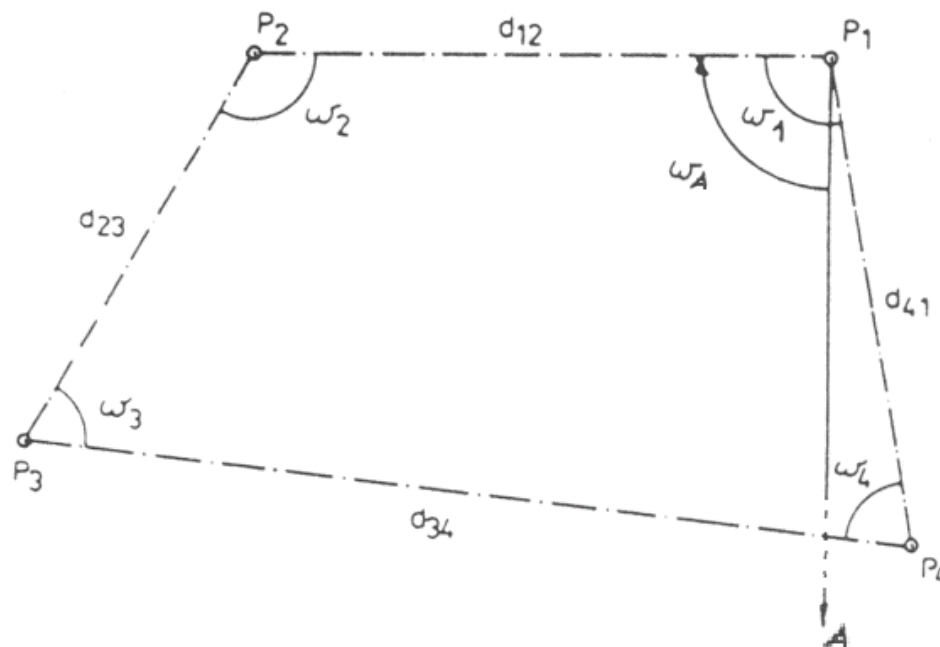
pro vnější úhly

$$O_\omega = (n + 2) \cdot 200 - \sum \omega_i$$

Musí platit :

$$\sum \Delta x = \sum \Delta y = 0.$$

Další výpočet je analogický s předchozím.



Uzavřený polygonový pořad – lokální soustava

Voleno : Y,X (např. bodu P_1), souřadnicový systém.

Měřeno : $\omega_1, \omega_2 \dots \omega_n$; $d_{12}, d_{23} \dots d_{n-1,n}$.

Určuje se : Y,X bodů P_2, P_3, \dots, P_{n-1}

Úhlový uzávěr: pro
vnitřní úhly

$$O_{\omega} = (n - 2) \cdot 200 - \sum \omega_i$$

pro vnější úhly

$$O_{\omega} = (n + 2) \cdot 200 - \sum \omega_i$$

Musí platit :

$$\sum \Delta x = \sum \Delta y = 0.$$

Další výpočet je analogický s předchozím.

