2. přednáška ze stavební geodézie SGEA

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
- transformace souřadnic
- protínání zpět, volné stanovisko, geodetické sítě

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:

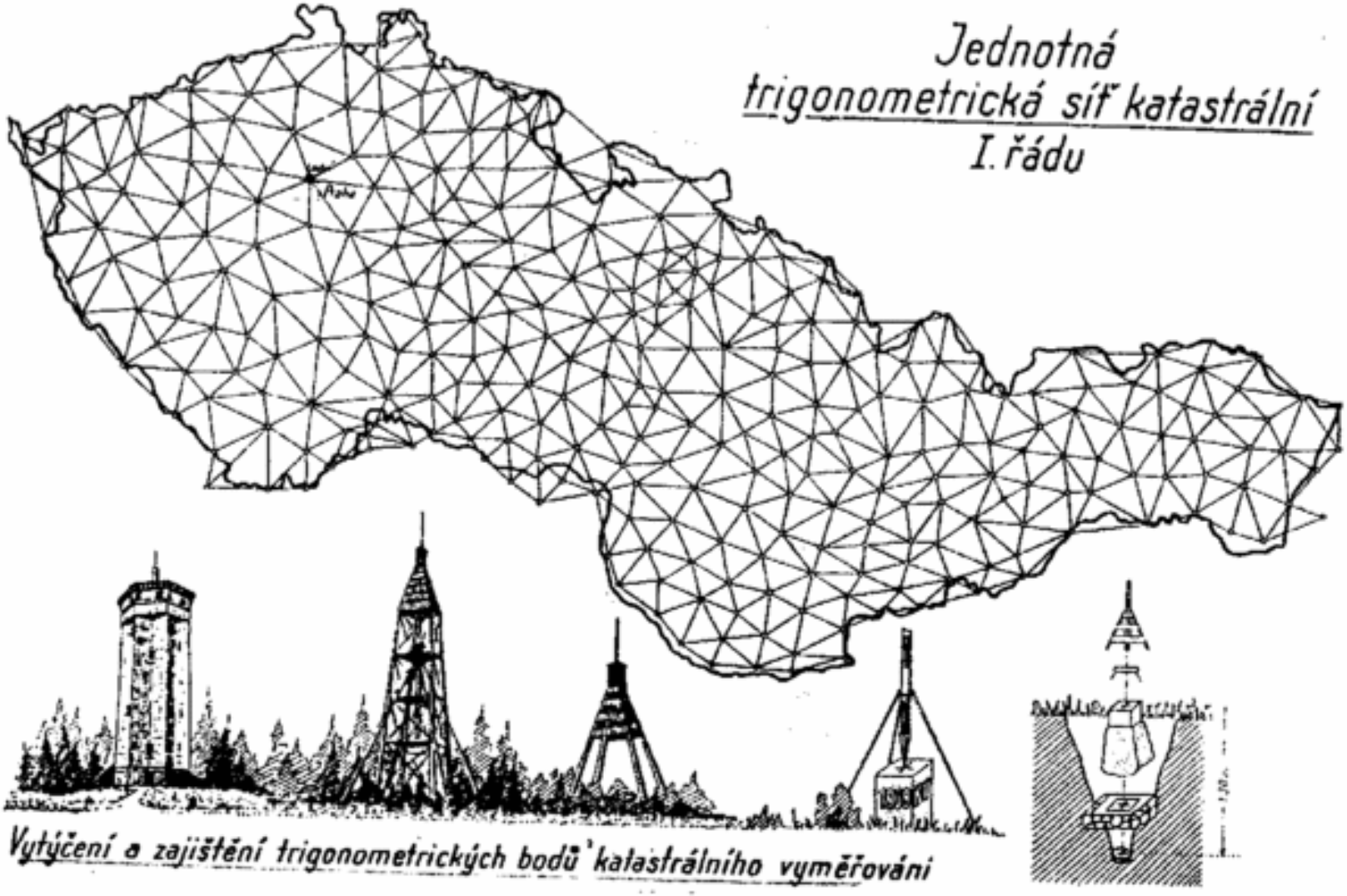
referenční sítě nultého řádu,
astronomicko-geodetické sítě (AGS),
České státní trigonometrické sítě (ČSTS),
geodynamické sítě.

ZPBP

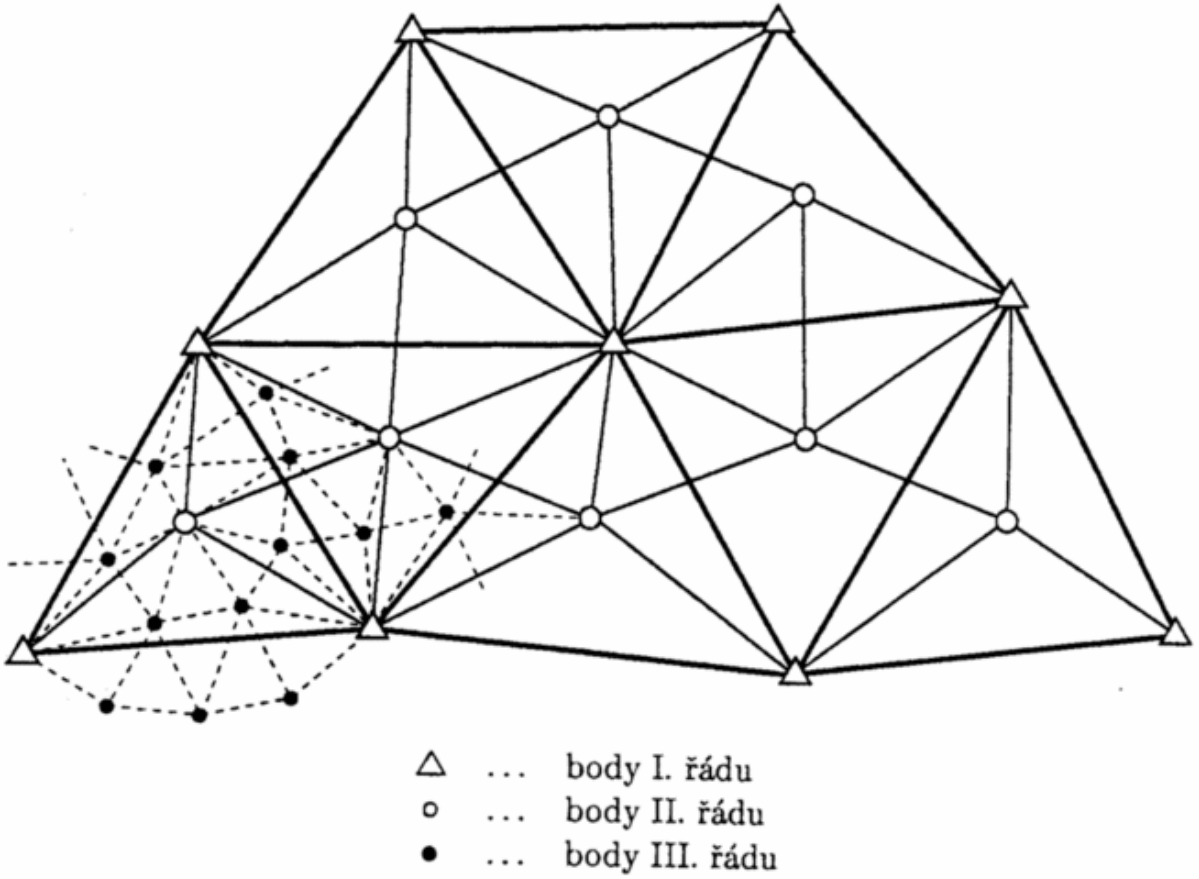
Bodová pole byla budována od roku 1918 jednotně v rámci tehdejší ČSR.
ČSTS byla dokončena v 50. letech minulého století. Síť se člení na 5 řádů, body nižšího řádu plošně zhušťují body řádu vyššího. Jde o princip
„**z velkého do malého**“. Hustota bodů V. řádu je 1 – 3 km.
Relativní polohová přesnost 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
Praha
Vytýčení a zajištění trigonometrických bodů katastrálního vyměřování

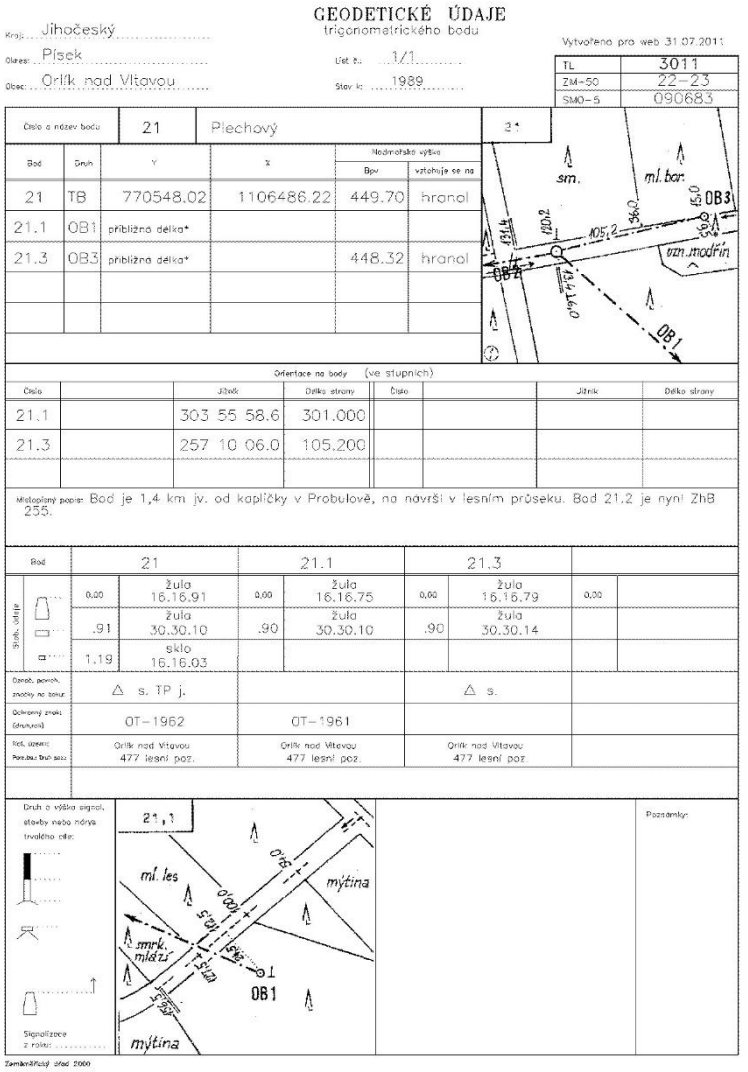
Postup budování polí



Dokumentace geodetického bodu

Geodetické údaje:

Ke každému GB se vyplňuje předepsaný formulář. U každého bodu si uživatel musí sám ověřit, zda se nezměnily.



GEODETICKÉ ÚDAJE
trigonometrického bodu

Kraj: Jihočeský
Okres: Písek
Obec: Orlík nad Vltavou
List č.: 1/1
Stav k: 1989

Vytvořeno pro web 31.07.2011

TL	3011
ZM-50	22-23
SMO-5	090683

Číslo a název bodu: 21 Plechový

Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška Bpv	vztahuje se na
21	TB	770548.02	1106486.22	449.70	hranol
21.1	OB1	přibližná délka*			
21.3	OB3	přibližná délka*		448.32	hranol

Orientace na body (ve stupních)

Číslo		Jižník	Délka strany	Číslo		Jižník	Délka strany
21.1		303 55 58.6	301.000				
21.3		257 10 06.0	105.200				

Místopisný popis: Bod je 1,4 km jv. od kapličky v Probulově, na návrší v lesním průseku. Bod 21.2 je nyní ZhB 255.

Bod	21		21.1		21.3			
Stab. údaje	0,00	žula 16.16.91	0,00	žula 16.16.75	0,00	žula 16.16.79	0,00	
	,91	žula 30.30.10	,90	žula 30.30.10	,90	žula 30.30.14		
	1,19	sklo 16.16.03						
Označ. povrch. značky na zemi	△ s. TP j.				△ s.			
Ochranný znak (druh,vzd.)	OT-1962		OT-1961					
Kat. území Poradové čísl. bodu	Orlík nad Vltavou 477 lesní poz.		Orlík nad Vltavou 477 lesní poz.		Orlík nad Vltavou 477 lesní poz.			

Druh a výška signál. stavby nebo nárys trvalého cíle:

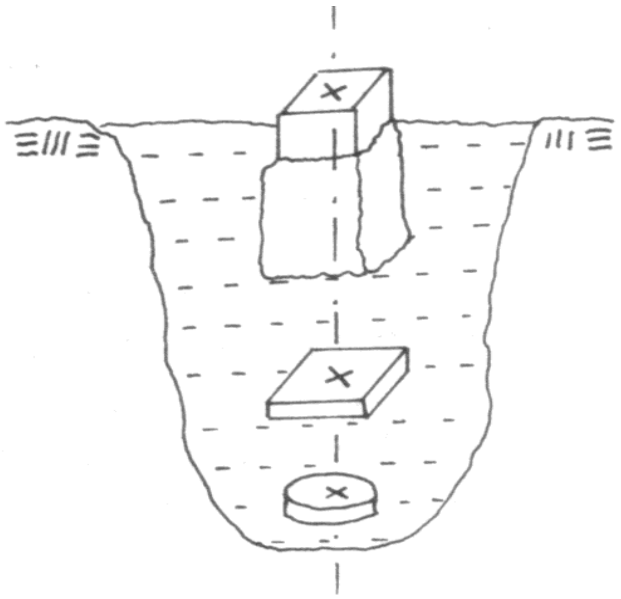
Signalizace z roku:

Poznámky:

Zeměměřický úřad 2000

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.

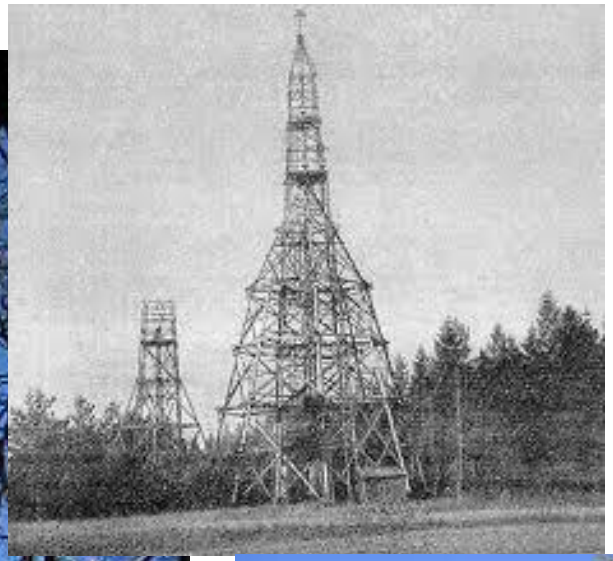
Dočasná:

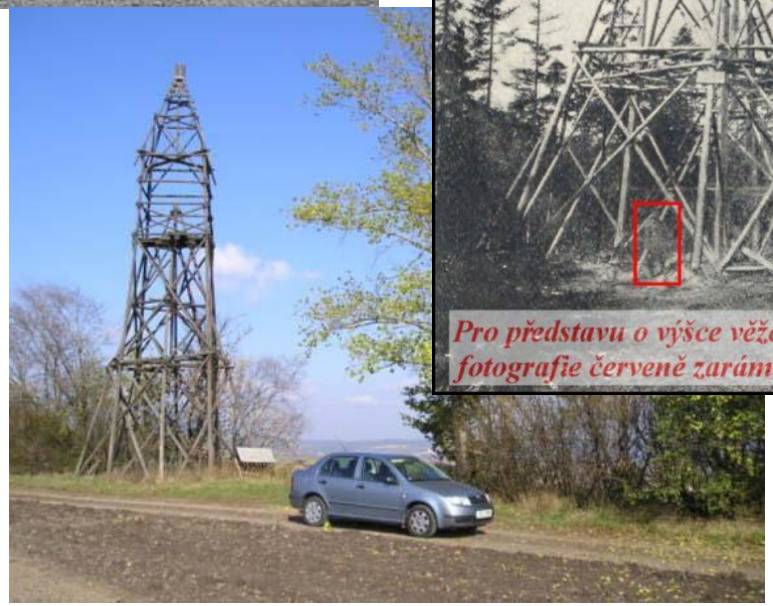
Výtyčky umístěné ve stojánku.

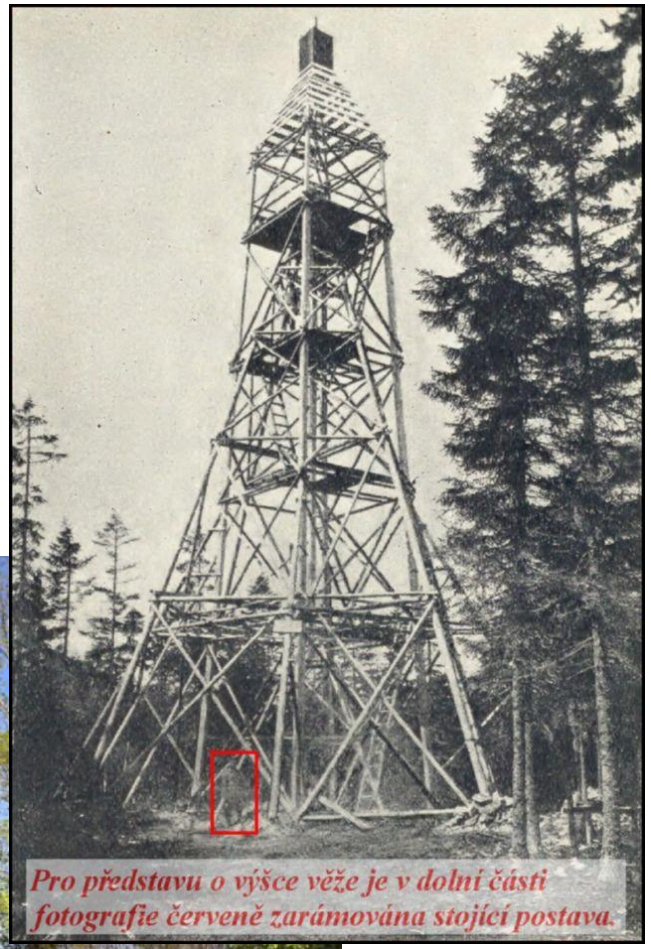
Stativy s terčem nebo odrazným hranolem.

Hrot měřického hřebu nebo tužky.

Měřické věže







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

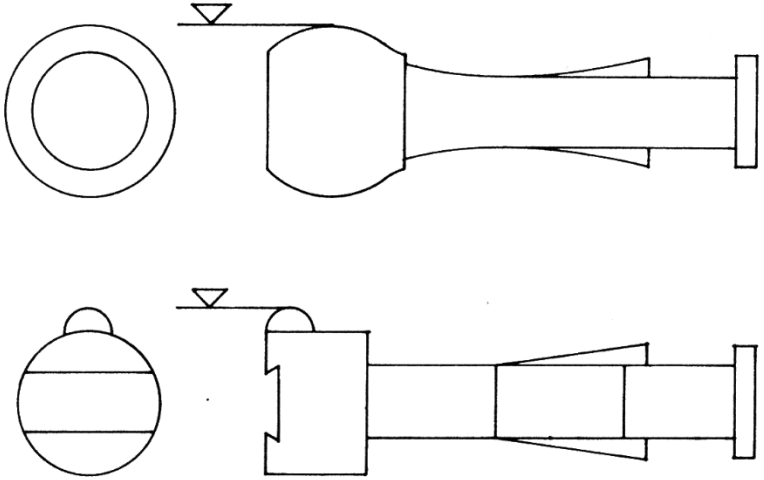
Využívají se vhodné přírodní útvary, které se případně přizpůsobí - např. u základních nivelačních bodů je vlastním bodem vybroušená ploška 15x15 cm na rostlé skále (nad bodem byl vybudován pomník výšky 2 m s dutinou, do které se po odkrytí horního kamene - jehlanu spouští nivelační lať). Použito především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

Stabilizace umělá

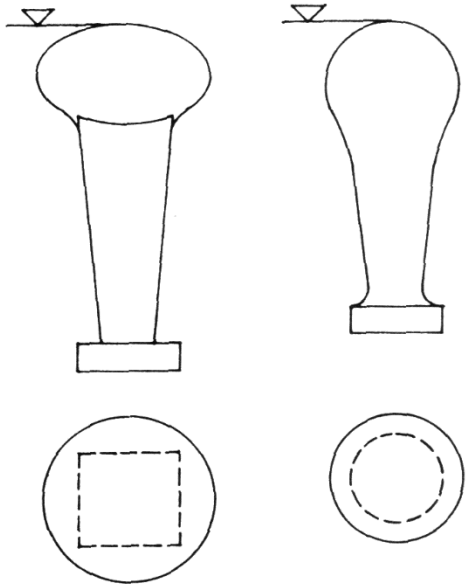
Značky ze zvláštních hmot – sklo, slitina mědi a niklu, litina (odolávají vlhkosti a kyselinám). Tyto značky jsou buď hřebové nebo čepové.

Stabilizace bodů

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

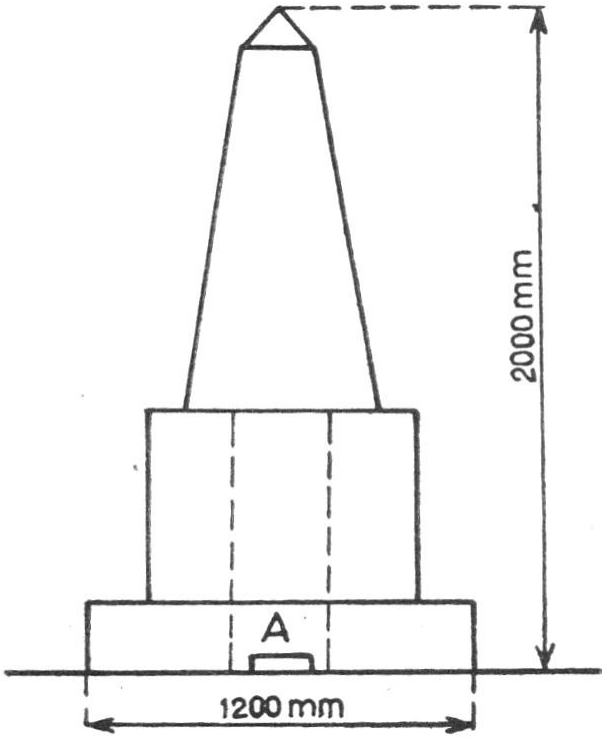


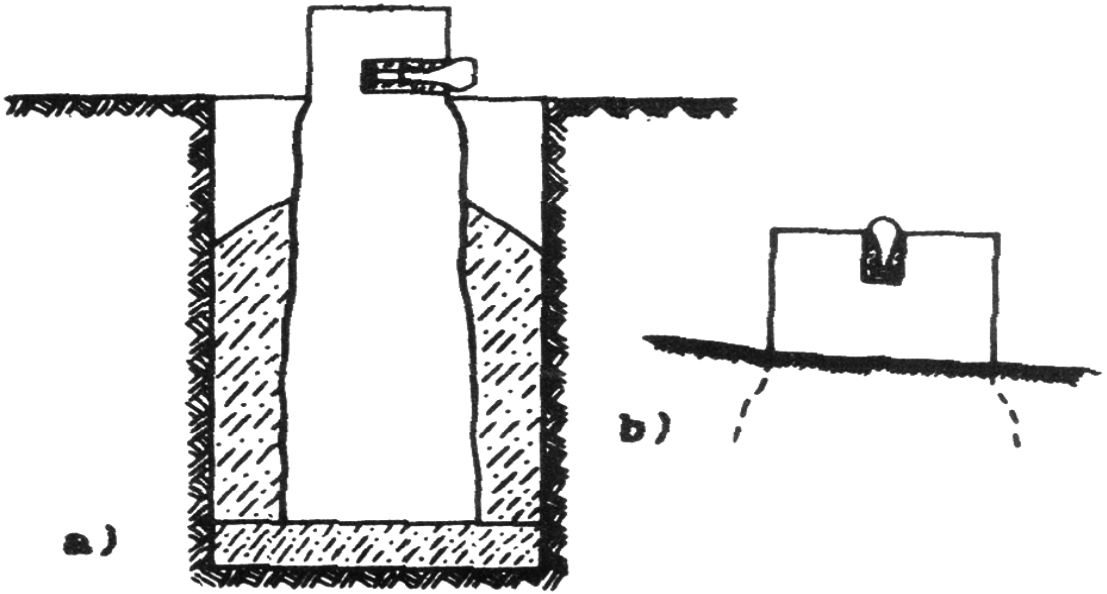
b) značky hřebové - osazují se shora



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
Europeam vocant erectum
MDCCCLXXXIX

Stabilizace bodů, nivelační údaje

- Nad značkou musí být volný prostor pro svislé postavení nivelační latě
- 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: Nde Třeboň - Veselí

Kraj:	Jihočeský	List mapy 1:50000	33 - 11
Okres:	Jindřich. Hradec		
Obec:	Třeboň	SMO - 5	Třeboň
Kat. úz.:	Třeboň		3 - 2

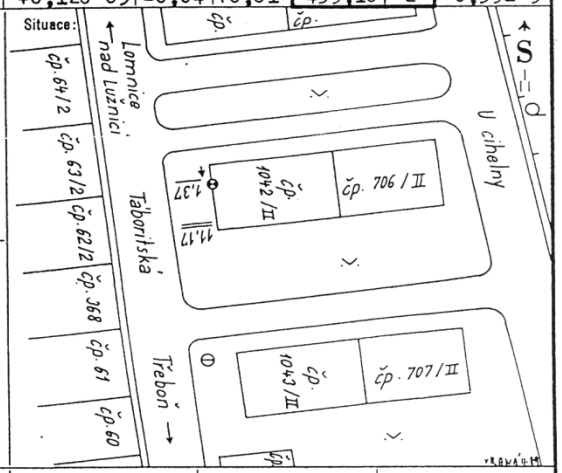
Předcházející bod: NZ_{14}-55.1	Délka oddílu	Vzdálenost od počátku pořadu	Nivelační převýšení	Tíhová redukce	Oprava z vyrovnání	Nadmořská výška balt - po vyrovnání	Převod do jadranu +
	km		m	mm		m	m
Nivelační bod: 0.1	0,210	0,210	+0,126 05	-0,04	+0,61	439,167 2	0,392 5

Situační popis:

Č. Třeboň II (Jindřichův Hradec),
dům čp.1042, 0,4 m nad zemí

Poznámky:

Situace:



Druh značky	Stupeň stability	Stabilizoval (ústav, jméno, datum)	Druh bodu	Výška z roku.....	Převýšení z roku.....
čepová VI a	3 / Druh stabilizace / N	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)			Kontroloval
	situaci	GKP, Kreps, 6.1988	
	zapis	Kleinová, 9.1.1990	24.4.1990

Záznam změn:

-1-

Geodézie č. 3.68-1971 Vytiskla Kartografie, n. p., Praha

Souřadnicové výpočty

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

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

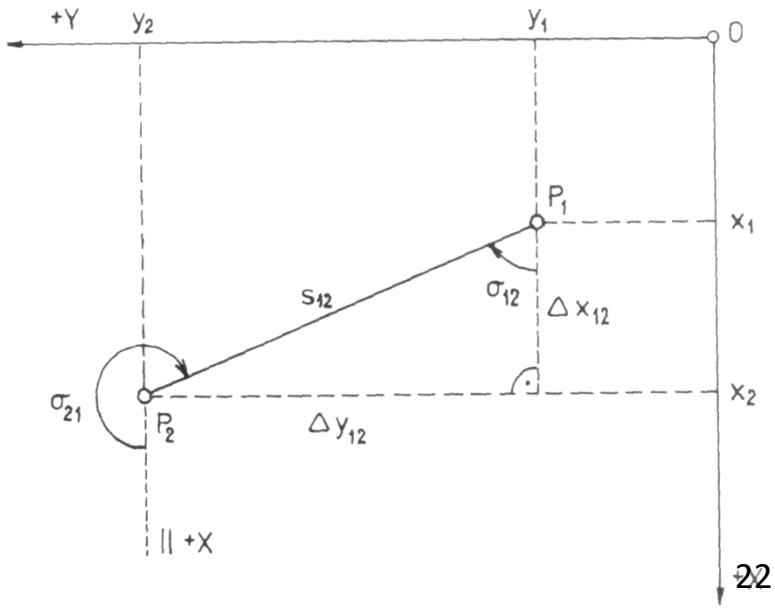
Souřadnicový rozdíl:

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

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

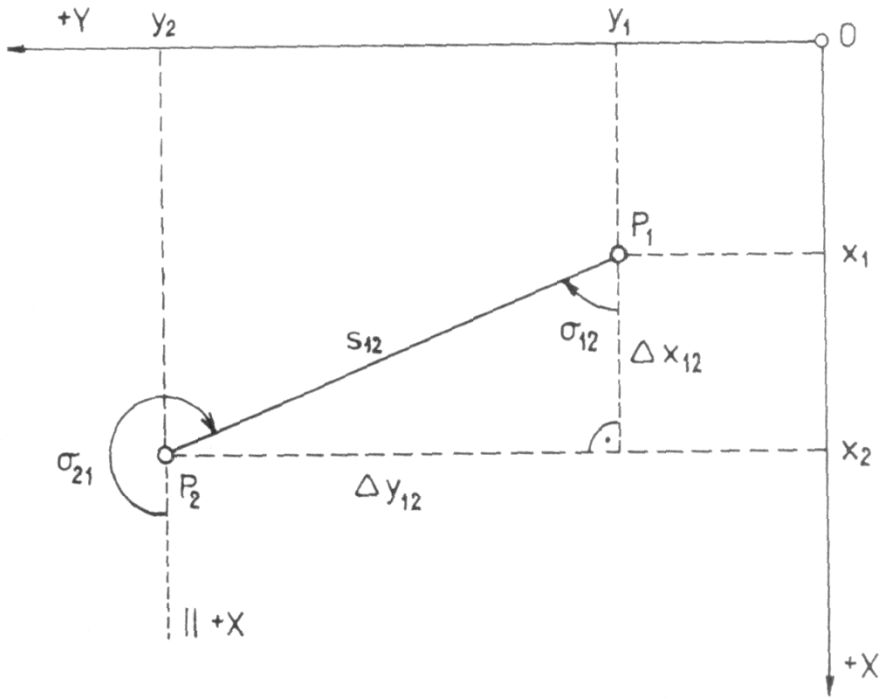
$\Delta x_{21} = x_1 - x_2$

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



Délka

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



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

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

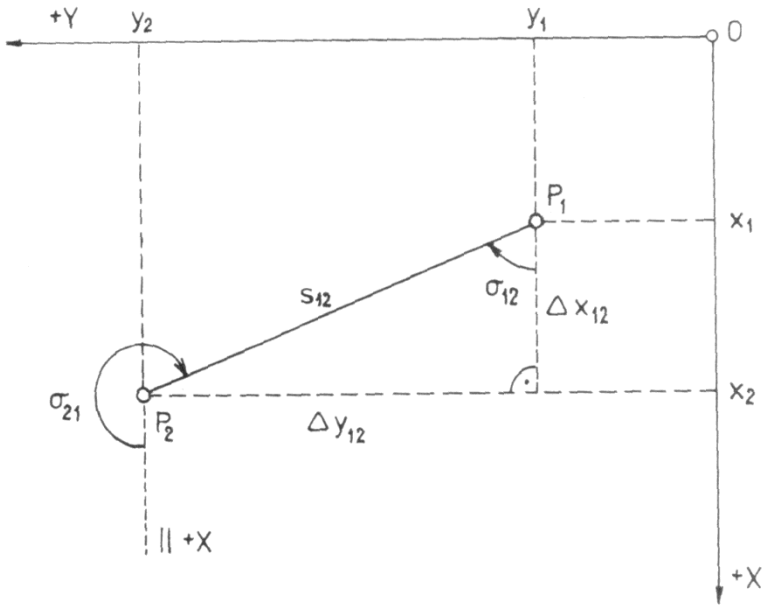
$$s_{12} = \frac{\Delta x_{12}}{\cos \sigma_{12}}.$$

Směrník

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

Z obrázku vyplývá:

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

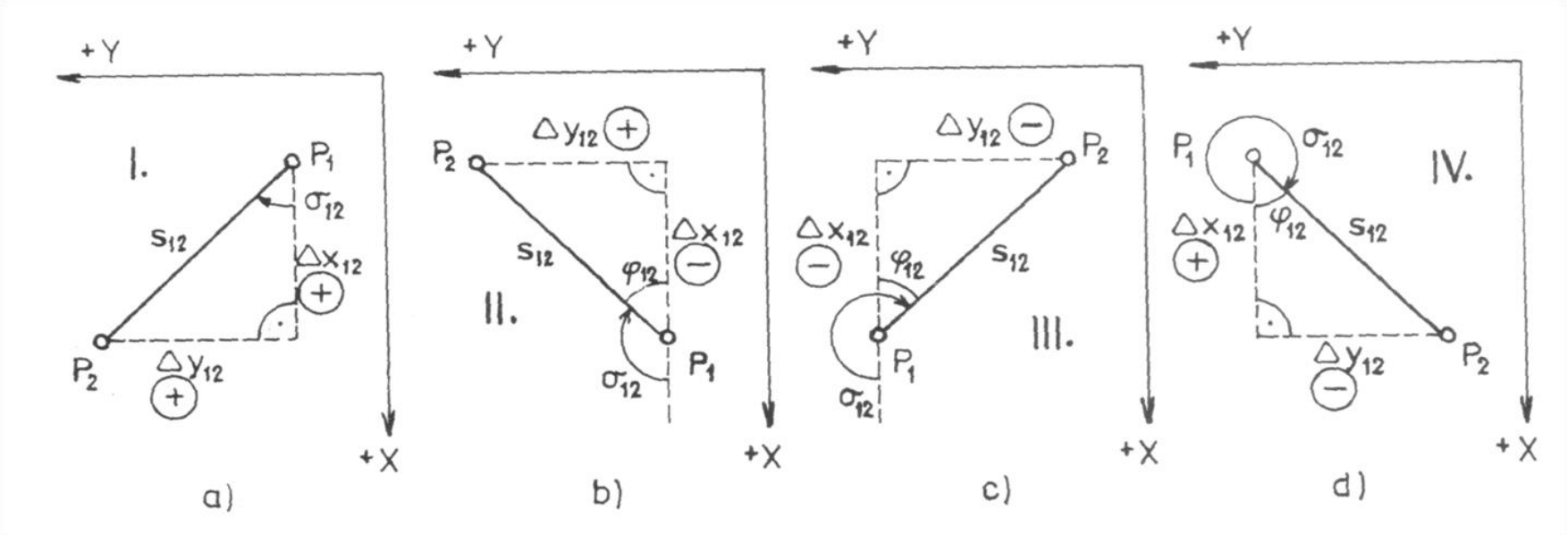


$$\tan \varphi_{12} = \left| \frac{\Delta y_{12}}{\Delta x_{12}} \right|$$

Úhel ϕ je třeba přepočítat do správného kvadrantu.

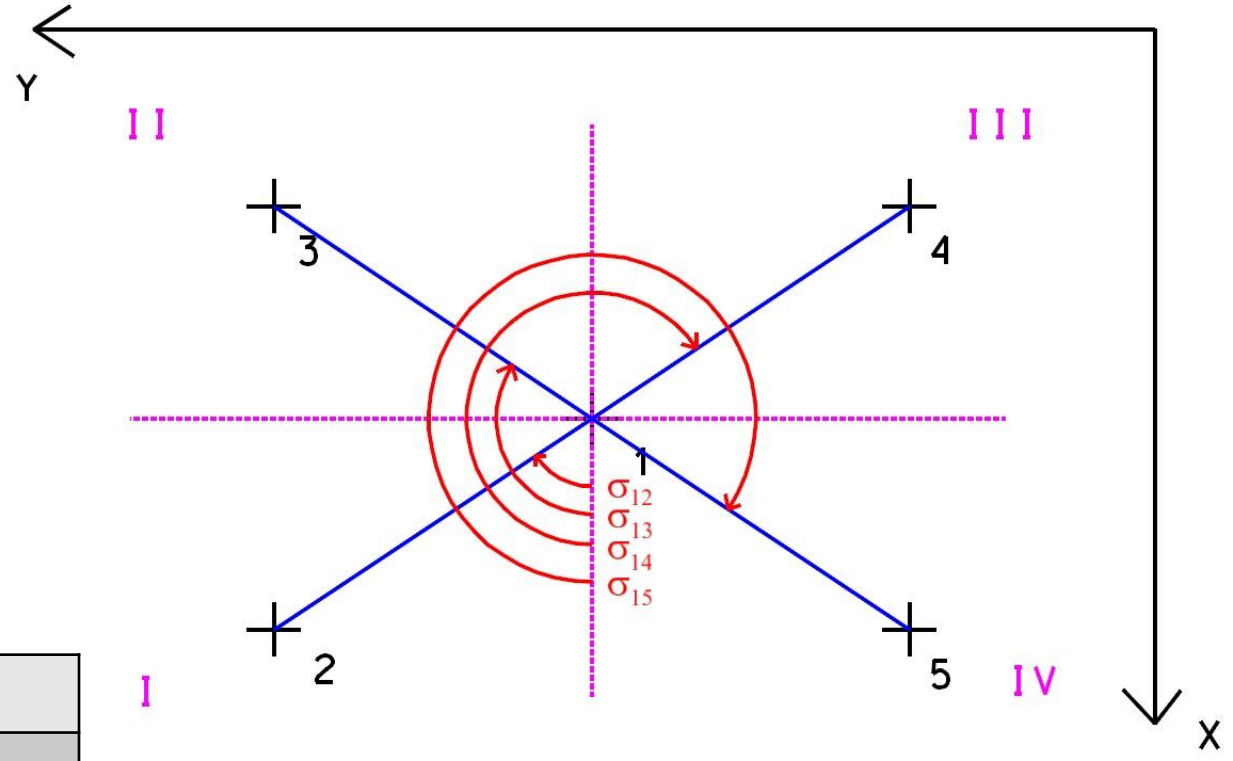
Směrník

Kvadranty:



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

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

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

$$\varphi_{13} = \arctan\frac{|\Delta Y_{13}|}{|\Delta X_{13}|} = \arctan\frac{|+300|}{|-200|} = 62,5666\,gon \qquad \sigma_{13} = 200\,gon - \varphi_{13} = 137,4334\,gon$$

$$\varphi_{14} = \arctan\frac{|\Delta Y_{14}|}{|\Delta X_{14}|} = \arctan\frac{|-300|}{|-200|} = 62,5666\,gon \qquad \sigma_{14} = 200\,gon + \varphi_{14} = 262,5666\,gon$$

$$\varphi_{15} = \arctan\frac{|\Delta Y_{15}|}{|\Delta X_{15}|} = \arctan\frac{|-300|}{|+200|} = 62,5666\,gon \qquad \sigma_{15} = 400\,gon - \varphi_{15} = 337,4334\,gon$$

Polární metoda

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

délka strany d_{13}, vodorovný úhel ω.

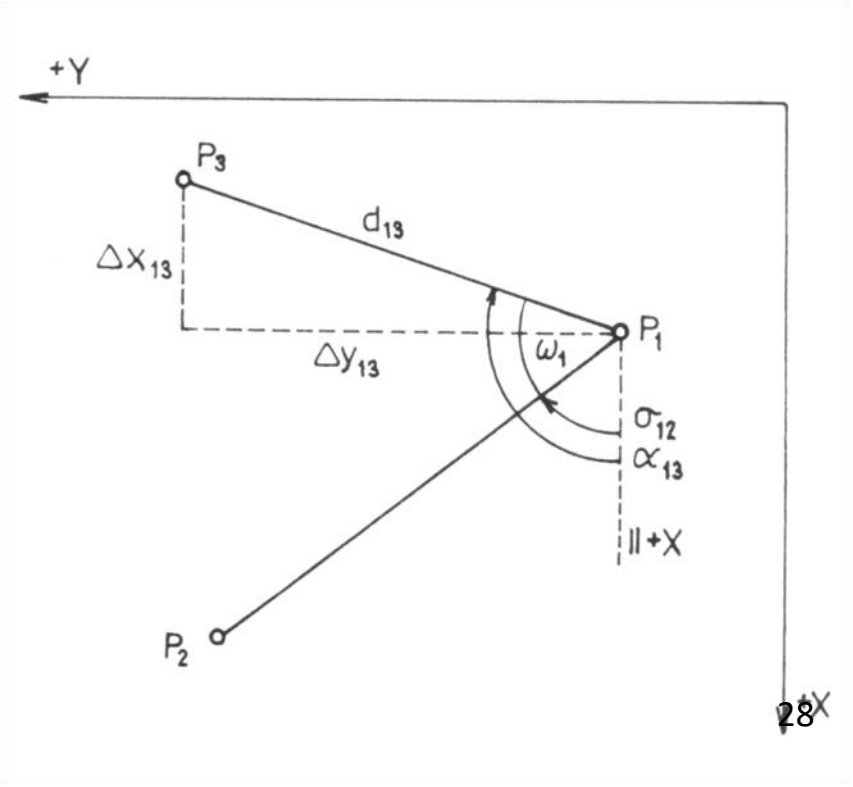
Známo: $P_1[y_1,x_1]$, $P_2[y_2,x_2]$.

Postup výpočtu:

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

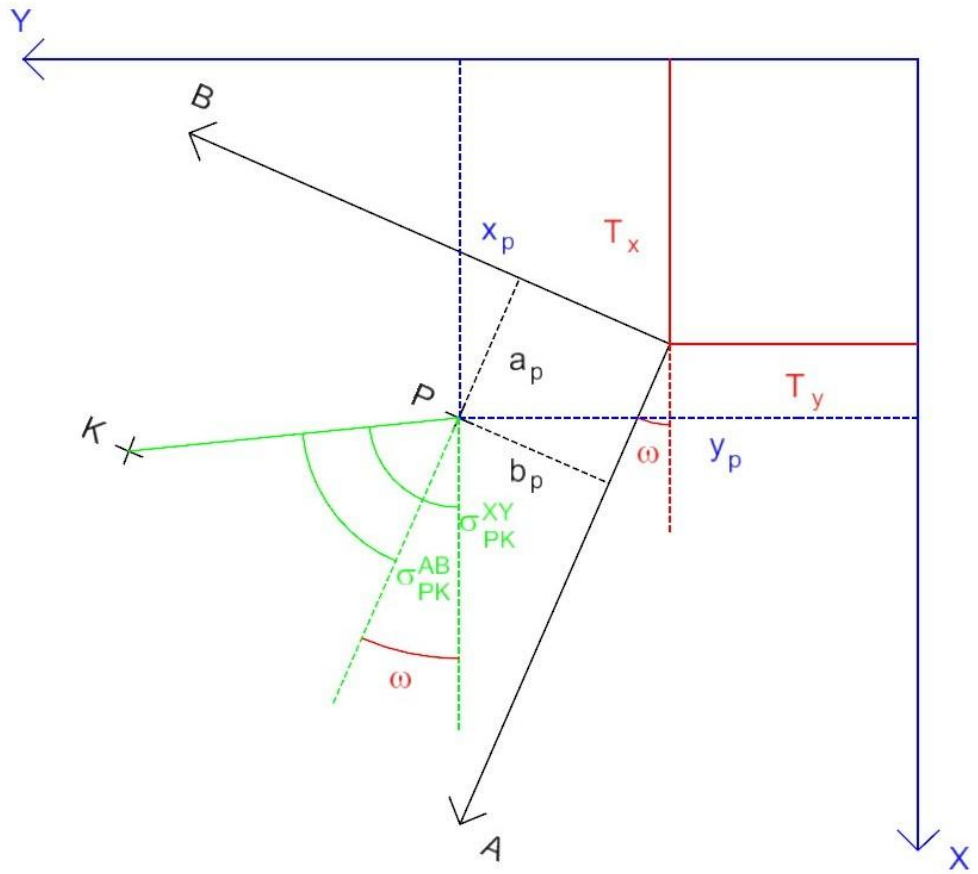
$$\Delta y_{13} = d_{13} \cdot \sin \alpha_{13}$$
$$\Delta x_{13} = d_{13} \cdot \cos \alpha_{13}$$

$$y_3 = y_1 + \Delta y_{13} = y_1 + d_{13} \cdot \sin \alpha_{13}$$
$$x_3 = x_1 + \Delta x_{13} = x_1 + d_{13} \cdot \cos \alpha_{13}$$



Transformace souřadnic (lineární).

Posunutí + otočení + (změna měřítka)



A,B - původní soustava
X,Y – cílová soustava

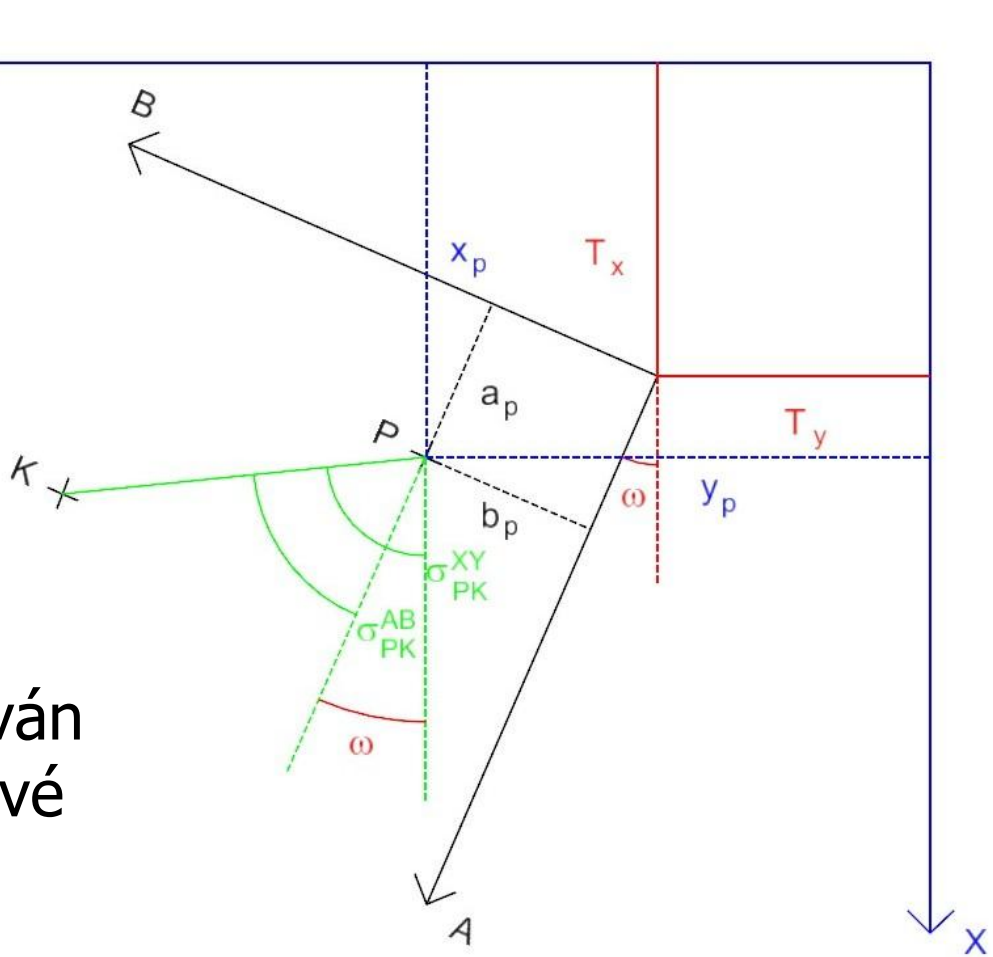
Posunutí o T_X, T_Y

Otočení o úhel ω

(Změna měřítka m)

Nutno znát alespoň dva body v obou soustavách.

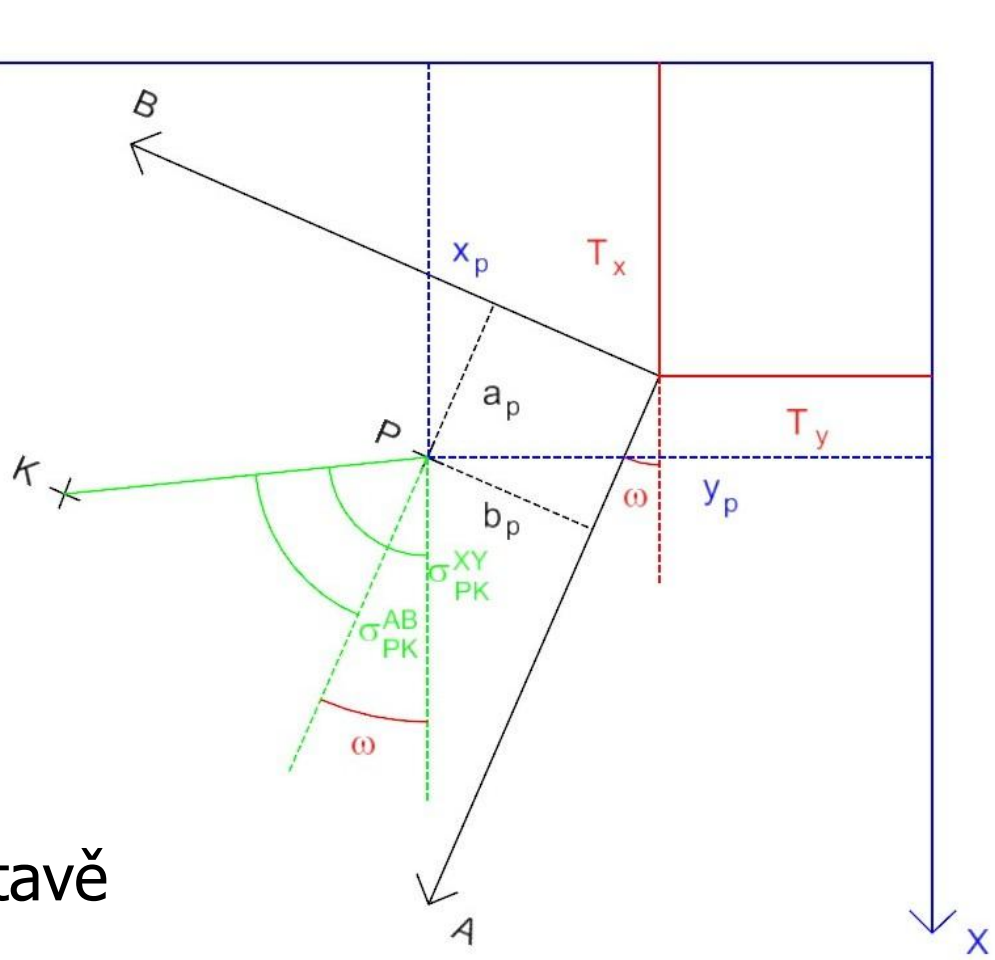
Transformace souřadnic - otočení



Úhel stočení **ω** je definován jako směrník osy A v cílové soustavě.

$$\omega = \sigma_{PK}^{XY} - \sigma_{PK}^{AB}$$

Transformace souřadnic - posun



Posun je definován jako souřadnice v cílové soustavě T_X, T_Y počátku původní soustavy.

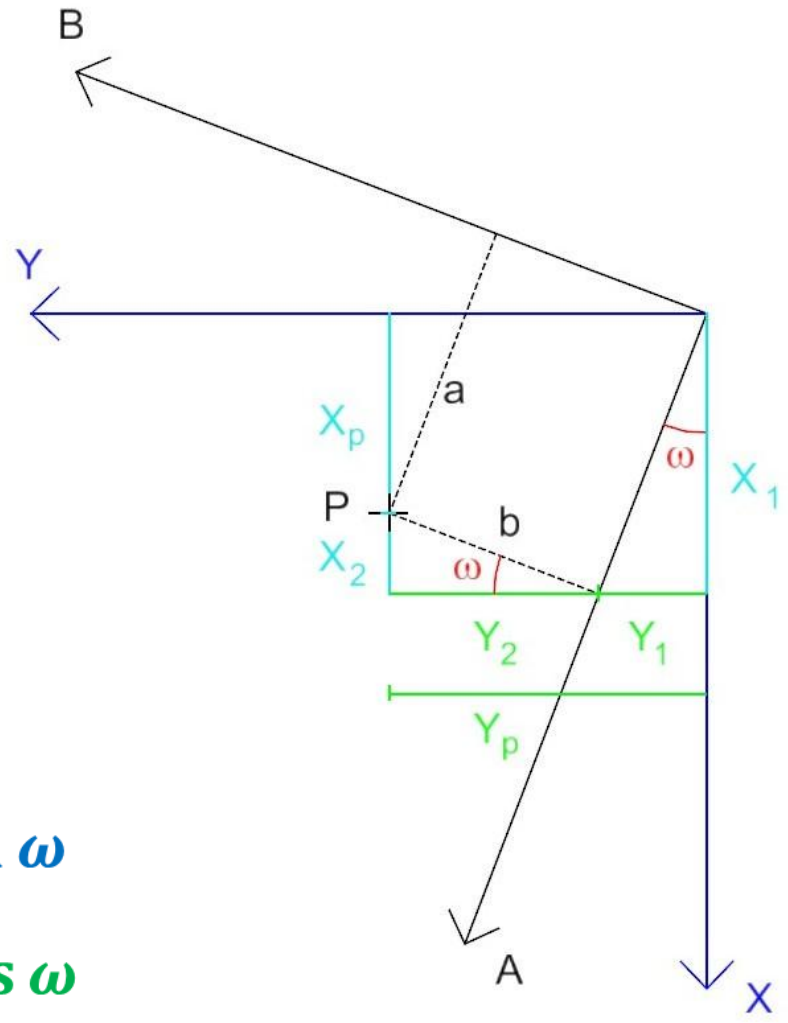
Transformace souřadnic – pouze otočení

$$\frac{x_1}{a} = \cos\omega \Rightarrow x_1 = a \cdot \cos\omega$$

$$\frac{x_2}{b} = \sin\omega \Rightarrow x_2 = b \cdot \sin\omega$$

$$\frac{y_1}{a} = \sin\omega \Rightarrow y_1 = a \cdot \sin\omega$$

$$\frac{y_2}{b} = \cos\omega \Rightarrow y_2 = b \cdot \cos\omega$$



$$\boldsymbol{x_P = x_1 - x_2 = a \cdot \cos\omega - b \cdot \sin\omega}$$

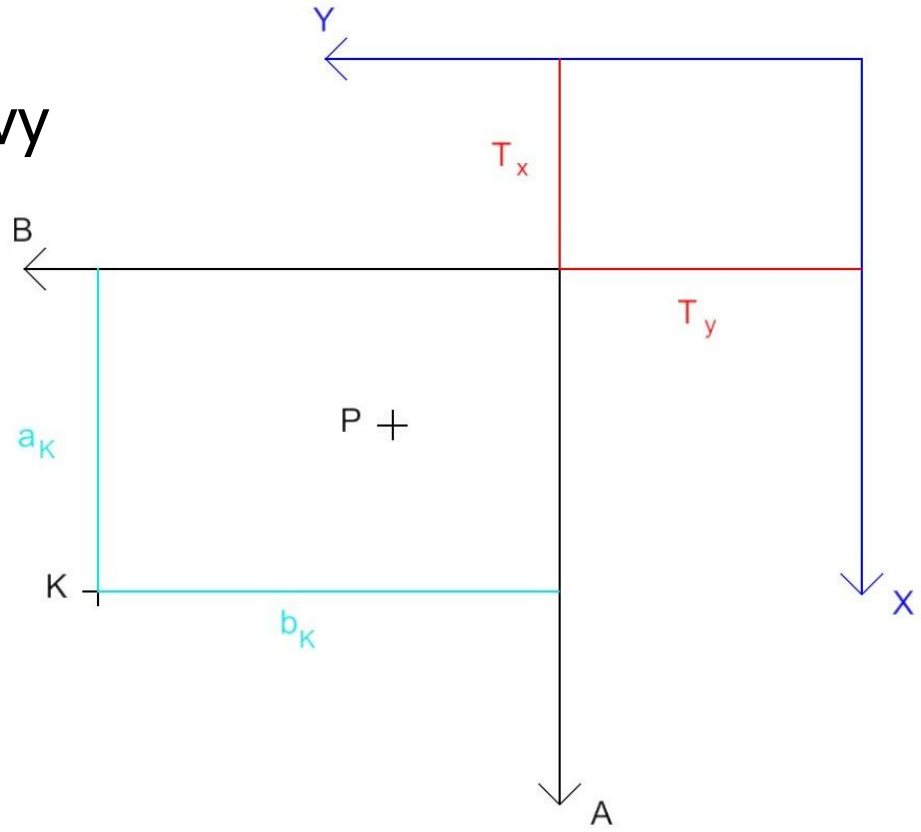
$$\boldsymbol{y_P = y_1 + y_2 = a \cdot \sin\omega + b \cdot \cos\omega}$$

Transformace souřadnic – pouze posunutí

Obecně přes souřadnice počátku původní soustavy v cílové soustavě:

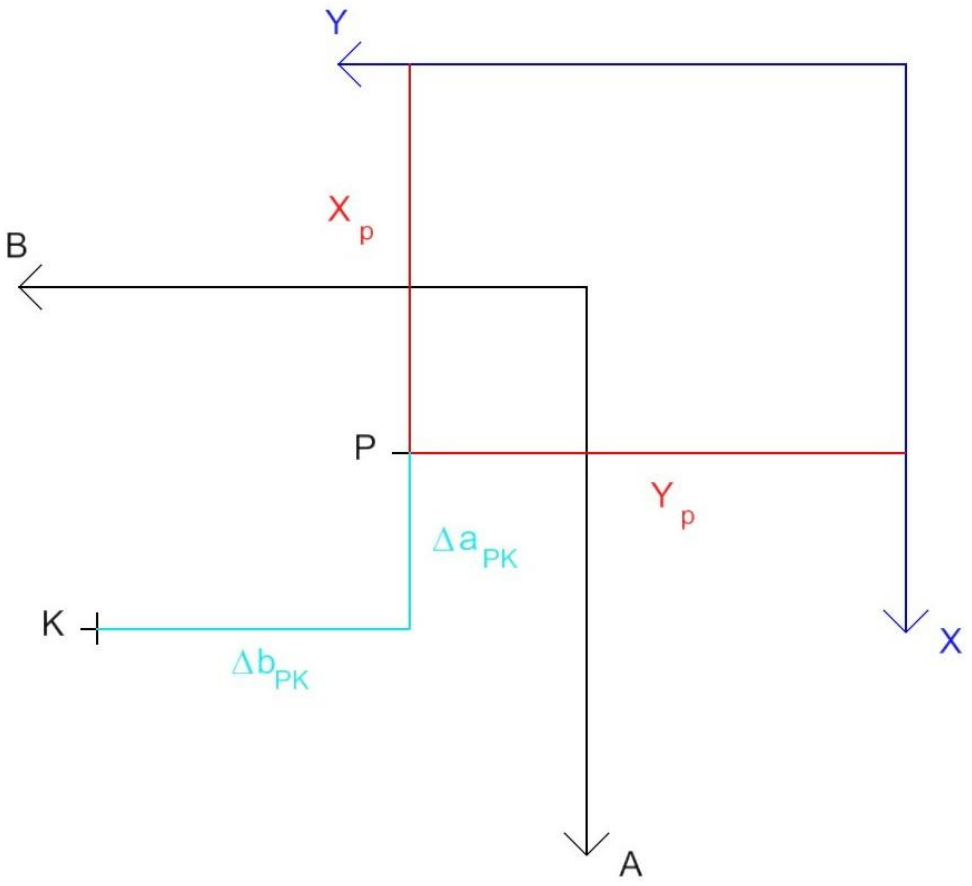
$$X_K = T_x + a_K$$

$$Y_K = T_y + b_K$$



Transformace souřadnic – pouze posunutí

Protože počátek soustavy není obvykle známý, je možné počítat od bodu známého v obou soustavách:



$$X_K = X_P + \Delta X_{PK}$$

$$Y_K = Y_P + \Delta Y_{PK}$$

$$\Delta X_{PK} = \Delta a_{PK} \qquad \Delta Y_{PK} = \Delta b_{PK}$$

Transformace souřadnic – meřítko

Změna měřítka je dána podílem vzdáleností identických bodů P, K.
Určíme vzdálenost bodů P, K v obou soustavách ze souřadnic.
Poměr je dán jako vzdálenost v cílové soustavě ke vzdálenosti v původní soustavě.

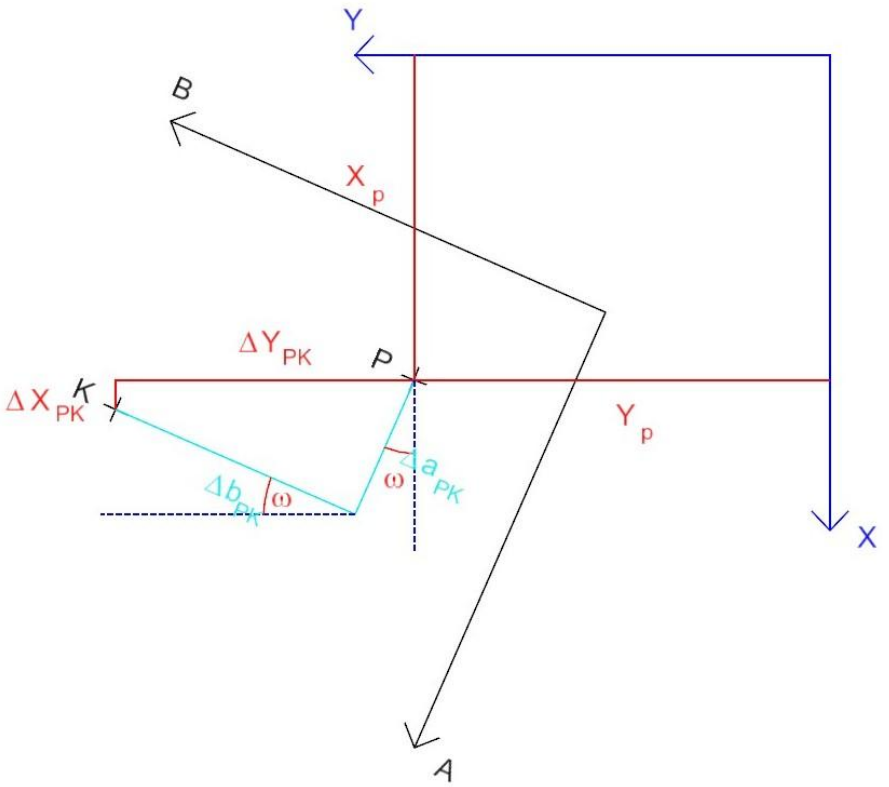
$$m = \frac{d_{PK}^{XY}}{d_{PK}^{AB}},$$

$$d_{PK}^{XY} = \sqrt{\Delta x_{PK}^2 + \Delta y_{PK}^2}$$

$$d_{PK}^{AB} = \sqrt{\Delta a_{PK}^2 + \Delta b_{PK}^2}$$

Transformace souřadnic – otočení a posunutí

Výpočet bodu K ze známého bodu P v obou soustavách:



$$X_K = X_P + \Delta X_{PK} = X_P + \Delta a_{PK} \cdot \cos\omega - \Delta b_{PK} \cdot \sin\omega$$

$$Y_K = Y_P + \Delta Y_{PK} = Y_P + \Delta a_{PK} \cdot \sin\omega + \Delta b_{PK} \cdot \cos\omega$$

Transformace souřadnic – výpočet bez vyrovnání

1. Nejméně 2 body ve dvou soustavách (tzv. identické) - $P_1(x_1, y_1; a_1, b_1)$, $P_2(x_2, y_2; a_2, b_2)$; souřadnice dalších bodů $P_3(a_3, b_3)$, $P_4(a_4, b_4)$, ….
2. Redukce všech bodů o P_1 v obou soustavách ($x_{ir} = x_i – x_1$, …; $a_{ir} = a_i – a_1$, …).
3. Výpočet směrníků (P_1, P_2) v obou soustavách, jejich rozdíl je úhel otočení ω.
4. Výpočet $x = a_r . \cos(\omega) – b_r . \sin(\omega) + T_x$ ($T_x = x_1$, $T_y = y_1$)
5. Výpočet $y = b_r . \cos(\omega) + a_r . \sin(\omega) + T_y$

Změna měřítka:

$x = m.(a_r . \cos(\omega) – b_r . \sin(\omega)) + T_x$
$y = m.(b_r . \cos(\omega) + a_r . \sin(\omega)) + T_y$

(Řešení bez redukce na více identických bodů – MNČ.)

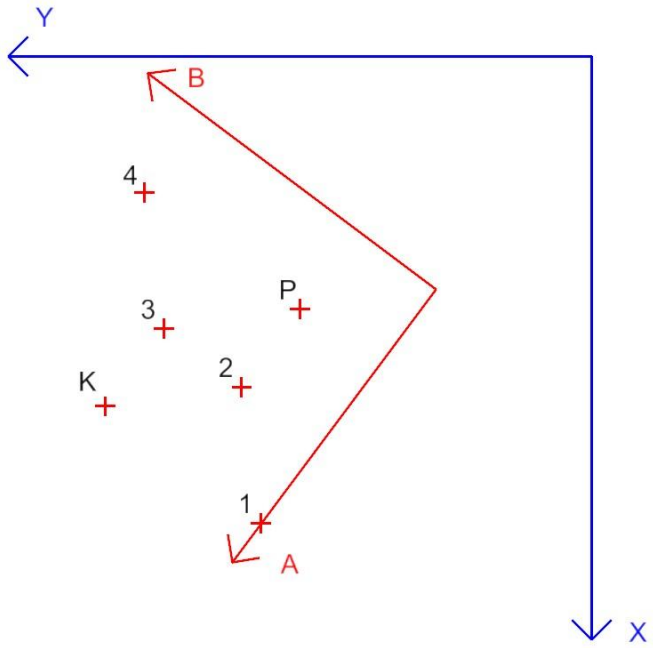
Transformace souřadnic – příklad

Místní soustava:

	A/m	B/m
P	5	5
K	15	10
1	15	0
2	10	5
3	10	10
4	5	15

Cílová soustava:

	X/m	Y/m
P	13	15
K	18	25
1	?	?
2	?	?
3	?	?
4	?	?



Transformace souřadnic – příklad

Místní soustava:

	A/m	B/m
P	5	5
K	15	10
1	15	0
2	10	5
3	10	10
4	5	15

Redukce o souř. bodu P v místní soustavě:

	A/m	B/m
K	10	5
1	10	-5
2	5	0
3	5	5
4	0	10

Směrník PK: 29,5167 gon

Úhel otočení w = 40.9666 gon

Cílová soustava:

	X/m	Y/m
P	13	15
K	18	25
1	?	?
2	?	?
3	?	?
4	?	?

Redukce o souř. bodu P v cílové soustavě:

	X/m	Y/m
P	0	0
K	5	10

Směrník PK: 70,4833 gon

Transformace souřadnic – příklad

Transformace bodů 1 až 4:
ω = 40,9666 gon;
Tx = Px = 13 m
Ty = Py = 15 m

Cílová soustava:

	x/m	y/m
4001	13	15
4002	18	25
1	24	17
2	17	18
3	14	22
4	7	23

KONTROLA!

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.

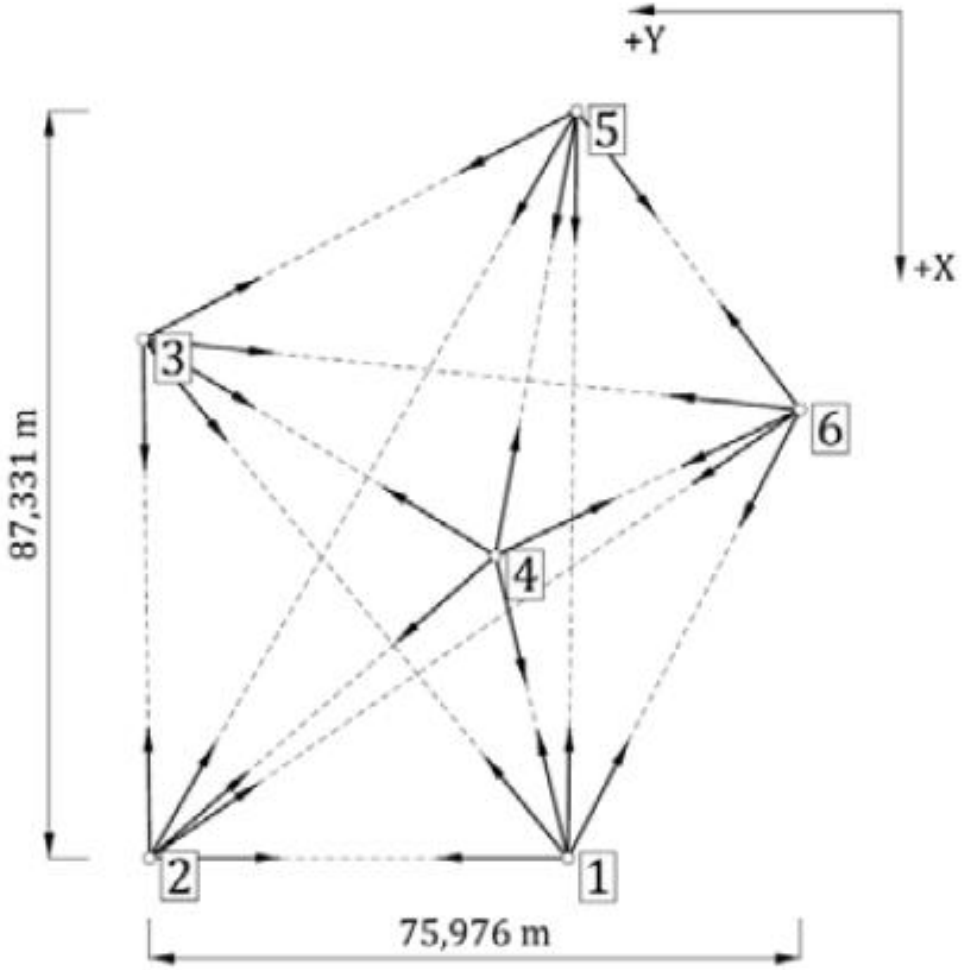
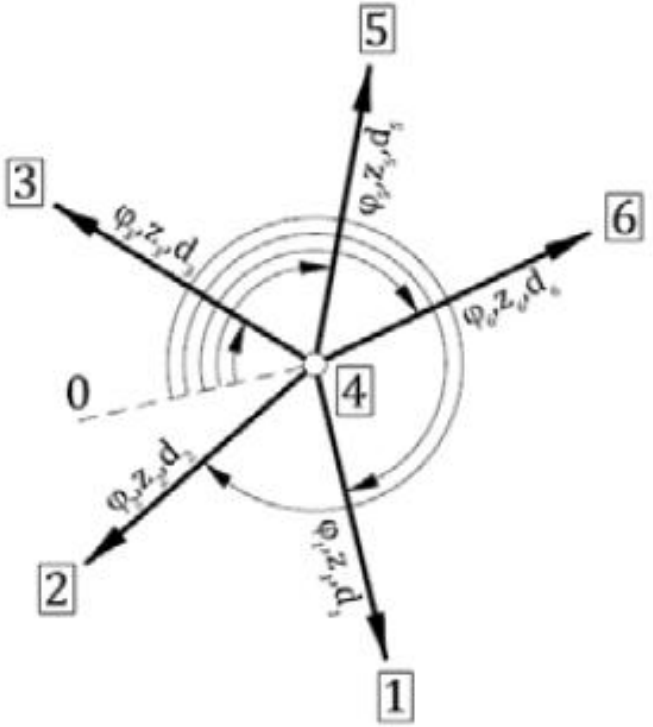
Složitý výpočet, řeší se vyrovnáním podle MNČ.

Geodetické sítě

Slouží k určení souřadnic bodů měřické sítě.

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

Nadbytečný počet měření.

Složitý výpočet, řeší se vyrovnáním podle MNČ, různé způsoby.

Geodetická síť, volné stanovisko