

3. URČOVANIE A DOPŇANIE BODOVÉHO POĽA NA ÚČELY MERANIA A VYTYČOVANIA V KATASTRI NEHNUTEĽNOSTÍ

Dôvody na meranie v katastri sú:

- a) obnova katastrálneho operátu a tvorba Základnej mapy Slovenskej republiky veľkej mierky,
- b) vyhotovovanie geometrických plánov,
- c) vytyčovanie hraníc pozemkov,
- d) revízia údajov katastra,
- e) meranie pri oprave údajov katastra,
- f) pozemkové úpravy (spracovanie podkladov a vytýčenie rozdeľovacieho plánu v teréne),
- g) meranie na účely tvorby registra obnovej evidencie pozemkov (ROEP).

Spoločným znakom technológií meraní v KN je zhustenie bodového poľa, použitie vhodnej metódy merania predmetov zmien a spôsob merania zmien.

Na účely merania pre kataster sa určuje nové podrobné polohové bodové pole (PPBP). Ak existuje v nedostatočnej hustote, alebo nepokrýva záujmové územie, dopĺňa sa ďalšími bodmi. Spravidla ani dostatočne husté PPBP nepostačuje na podrobné meranie zmien. Vtedy bodové pole ďalej nezhusťujeme, ale určia sa ďalšie dočasné meračské body nazvané „pomocné meračské body“.

Grafickým výsledkom meraní sú meračské náčrty, zmeny v katastrálnej mape, geometrické plány a vytyčovacie náčrty. Číselnými výsledkami sú súradnice bodov PPBP, súradnice pomocných meračských bodov (bodov meračských sietí) súradnice podrobných bodov a výmery parciel. Novému meraniu a meraniu zmien prechádza prešetrovanie a označenie lomových bodov hraníc pozemkov, ktoré sú predmetom katastra.

Výsledky geodetických činností sa využívajú na obnovu a aktualizáciu katastrálneho operátu (súboru geodetických informácií a súboru popisných informácií KN).

Geometrickým základom meraní v katastri nehnuteľností sú body základného polohového bodového poľa (body Štátnej trigonometrickej siete, body Štátnej priestorovej siete) a body podrobného polohového bodového poľa.

Na účely merania v katastri nehnuteľností existujúce základné a podrobné polohové bodové pole svojou hustotou spravidla nepostačuje a v priestore merania je potrebné ho zhustiť. Zriaďovanie, určovanie a vyhľadávanie bodov podrobného polohového bodového poľa (vrátane jeho zhustovania) upravuje Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach [11]. Presnosť nových bodov podrobného polohového bodového poľa vyjadrujeme vo vzťahu k najbližším bodom základného a podrobného polohového bodového poľa. Presnosť zhusteného bodového poľa charakterizuje základná stredná súradnicová chyba

$$\overline{m}_{xy} = \sqrt{0,5(\overline{m}_y^2 + \overline{m}_x^2)}, \quad (3.1)$$

ktorá je stanovená hodnotou (kritériá)

- a) pre body 1. triedy presnosti $\overline{m}_{xy} = 0,02 \text{ m}$,
- b) pre body 2. triedy presnosti $\overline{m}_{xy} = 0,04 \text{ m}$,
- c) pre body 3. triedy presnosti $\overline{m}_{xy} = 0,06 \text{ m}$.

Uvedené kritériá sa vzťahujú k najbližším bodom základného polohového bodového poľa. Krajné odchýlky sú stanovené 2,5 násobkom uvedených kritérií. Kritériá stanovuje STN 01 3410 Mapy veľkých mierok [17], STN 73 0415 Geodetické body [19] a Vyhláška 79/1996 Z.z. [24].

V záujme uchovania geodetických bodov sa pre ich dlhodobejšie využívanie vykonáva ich stabilizácia. Spôsoby stabilizácie pevných bodov podrobného polohového bodového poľa stanovujú technické normy [19] a [20]. Rozoznávame horizontálnu stabilizáciu (obr. 3.1) a vertikálnu stabilizáciu (obr. 3.2) geodetických bodov.

Trvalú stabilizáciu aplikujeme u bodov, ktoré je potrebné zachovať aj pre neskoršie meračské a vytyčovací práce. Horizontálnu trvalú stabilizáciu zaisťujeme kamennými meračskými znakmi o rozmeroch 0,15 x 0,15 x 0,75 m s krížikom na hornej ploche kamennej značky, zavrtávacím stabilizačným znakom s krížikom, zabetónovanou roxorovou tyčou a pod. V zastavaných územiach sa osvedčuje vertikálna stabilizácia bodu. Predstavuje ju zvislá hrana pevnej nehnuteľnosti v lokalizovanej výške (obr. 3.2). Vertikálne sa stabilizuje vždy skupina bodov (najmenej dva body) tak, aby body poskytl možnosti určenia pomocných meračských bodov, napr. metódou prechodného stanoviska (obr. 3.3), pretínaním z dĺžok (obr. 3.4), meračskou priamkou (obr. 3.5) a pod.

Str. 1

GEODETICKÉ ÚDAJE O PBPP

Bod 526	Bod zriadila: rok 1981			Y 436 442,75 m	
Trieda presnosti: 3	org. Geodézia, n. p., Ža			X 1 166 251,22 m	
Orientačný južník na bod	g	c	cc	Nadmorská výška (Bpv) 414,51 m	<p>Miestopisný náčrt</p>
Popis, spôsob stabilizácie a určenie bodu				Nárys alebo detail	
<p>Bod sa nachádza v zastavanom území. Stabilizovaný je kamennou meracou značkou. Nachádza sa pri betónovom stĺpe verejného osvetlenia. Súradnice sú určené pretínaním napred s vyrovnaním MNŠ. Výška bodu je určená TN.</p>					
					<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">s. č. 24</div>

Údaje o zhustenom podrobnom bodovom poli (obr. 3.1 a 3.2) obsahujú číslo bodu, kto zriadil bod zhustením, súradnice bodu, popis, spôsob stabilizácie a určenia bodu, miestopisný náčrt s prípadným detailom. Číslo bodov PPBP pridáva správa katastra, ako správca tohto bodového poľa. Pri meraní zmien geodet je povinný vyžiadať čísla bodov ešte pred začatím prác. Správa katastra pridáva geodetovi nasledujúce voľné čísla bodov v rámci katastrálneho územia. Pridelené čísla potvrdí v zázname podrobného merania zmien. Pri hromadnom určovaní napr. pri mapovaní, alebo ak sa bodové pole tvorí na účely mimo katastra, správa katastra čísla bodov pridá písomne osobitným listom.

Pred zhust'ovacími prácami rektifikujeme prístrojové vybavenie a pomôcky na meranie. Jedenkrát ročne testujeme diaľkomernú jednotku elektronického teodolitu na geodetickej základnici v Hlohovci.

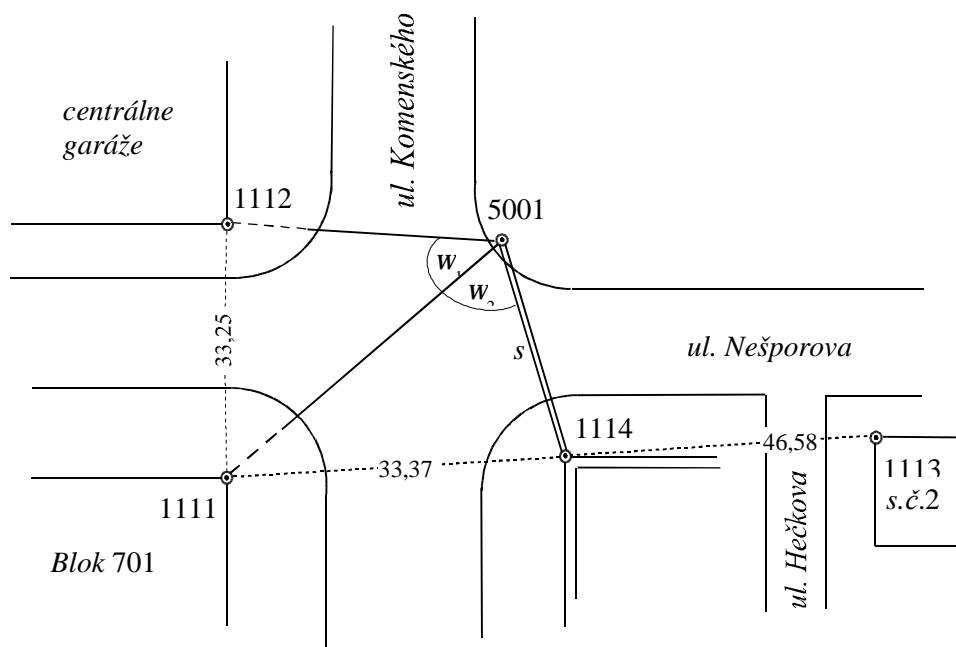
Kat. územie : Lopusné Pažite
Obec: Lopusné Pažite

Str. 2

GEODETICKÉ ÚDAJE O PBPP

Bod 525	Bod zriadila: rok 1981			Y	436 570,16 m	
Trieda presnosti: 3	org. Geodézia , n. p., Ža			X	1 166 188,12 m	
Orientačný južník na bod	g	c	cc	Nadmorská výška (Bpv)		Miestopisný náčrt
Popis, spôsob stabilizácie a určenie bodu				Nárys alebo detail		

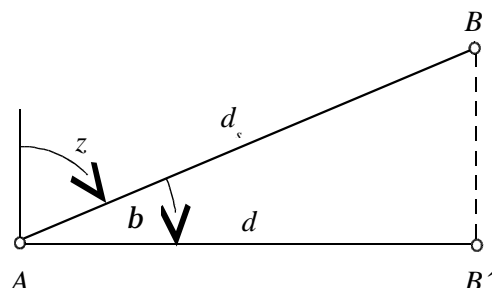
Obr. 3.2. Vertikálna stabilizácia bodu podrobného polohového bodového poľa



Obr. 3.3. Určenie pomocného meračského bodu metódou prechodného stanoviska

Pri meraní uhlov aplikujeme závislú centráciu prístroja a cieľových značiek. Uhly meriame v jednej až v dvoch skupinách. Pri meraní dĺžok elektronickým teodolitom účinok refrakcie na meranú dĺžku korigujeme zavedením atmosférických údajov o aktuálnom tlaku a teplote do prístroja. Odmerané šikmé dĺžky redukujeme na vodorovné podľa vzťahu (obr. 3.6)

$$d = d_s \cos b = d_s \sin z. \quad (3.2)$$



Obr. 3.6. Redukcia šikmej dĺžky na vodorovnú

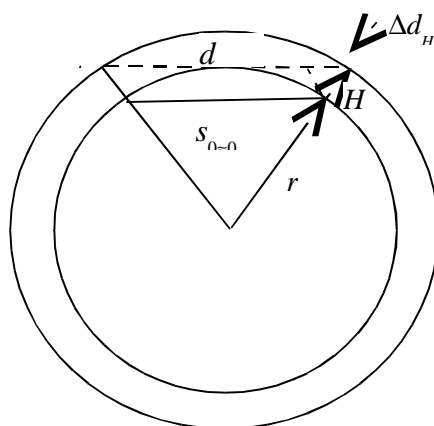
Vodorovnú dĺžku redukujeme na nulovú hladinovú plochu vzťahom (obr. 3.7)

$$s_0 = d \frac{r}{r + H} = d - \Delta d_H = d - d \frac{H}{r + H} \approx d \left(1 - \frac{H}{r} \right), \quad (3.3)$$

kde $r = 6380,7$ km je polomer Zeme, $\approx d$

H je stredná nadmorská výška,

Δd_H je oprava odmeranej dĺžky z nadmorskej výšky.



Obr. 3.7. Oprava dĺžky z nadmorskej výšky

Do výpočtu vstupujeme s dĺžkou, ktorá je opravená koeficientom dĺžkového skreslenia

$$s = k s_0. \quad (3.4)$$

Koeficient dĺžkového skreslenia k vypočítame zo vzťahu

$$k = 1 + m/100, \quad (3.5)$$

kde m je údaj dĺžkového skreslenia (v mm/100 m), ktorý vypočítame alebo prečítame z diagramu [1].

3.1 Trigonometrické metódy zhust'ovania (doplňania) podrobného polohového bodového poľa

Pri zhust'ovaní bodového poľa dbáme na to, aby odmerané prvky - uhly a dĺžky boli merané na centrickú polohu vzťažného bodu. Ak meriame na excentricky signalizovaný bod, odmerané uhly opravíme o centračný uhol [1].

K trigonometrickým metódam zhust'ovania bodového poľa zaraďujeme:

- pretínanie napred,
- kombinované pretínanie, ku ktorému zaraďujeme metódu prechodného stanoviska.

K zriedkavejším metódam zhust'ovania patrí:

- zhust'ovanie trojuholníkovými reťazcami.,
- pretínaním nazad.

Trigonometrické metódy zhust'ovania bodového poľa slúžia na určenie bodov v 1. až 3. triede presnosti. Trigonometricky určené body ďalej slúžia na ďalšie zhust'ovanie meračskej siete polygónmi. Aktuálna prax trigonometrické a polygónové metódy zhust'ovania účelne nahrádza metódami globálneho navigačného satelitného systému na určenie polohy (GPS a GLONAS). Keďže satelitné metódy nie je možné vždy a za každých okolností použiť, trigonometrické metódy zhust'ovania sú stále pre prax aktuálne.

Trigonometrické metódy zhust'ovania organizujeme tak, aby novourčený bod bol vypočítaný z vhodných nezávislých kombinácií trigonometrického riešenia.

3.1.1 Pretínanie napred

Metódy pretínania napred rozdeľujeme podľa odmeraných prvkov na [1], [2]:

- a) pretínanie napred uhlami,
- b) pretínanie napred dĺžkami,
- c) pretínanie napred odmeranými smermi,
- d) pretínanie napred smerníkmi,
- e) pretínanie napred stranou,
- f) pretínanie napred s vyrovnaním metódou najmenších štvorcov
 - z odmeraných smerníkov,
 - z odmeraných dĺžok,
 - z odmeraných smerníkov a dĺžok.

Pretínanie napred uhlami (obr. 3.8)

Pre všetky metódy pretínania napred máme dané súradnice vzťažných bodov $P_i(y_i, x_i)$, uhly w_i , kde $i = 1, 2, \dots, n$ a $n \geq 3$. Počítame súradnice bodu $P(y, x)$.

stredné chyby súradníc, z ktorých podľa rovnice (3.1) vypočítame empirickú strednú súradnicovú chybu. Podľa jej veľkosti a triedy presnosti bodov P_i vyhodnotíme triedu presnosti určeného bodu P .

Pre 95 % ($\alpha = 5\%$) spoľahlivosť dodržania kritéria príslušnej triedy presnosti volíme koeficient spoľahlivosti merania $t_\alpha = 2$. Potom vypočítaná empirická stredná súradnicová chyba pre jednotlivé triedy presnosti má mať hodnoty

1. trieda presnosti $m_{xy} = 0,01$ m,
2. trieda presnosti $m_{xy} = 0,02$ m,
3. trieda presnosti $m_{xy} = 0,03$ m.

(3.10)

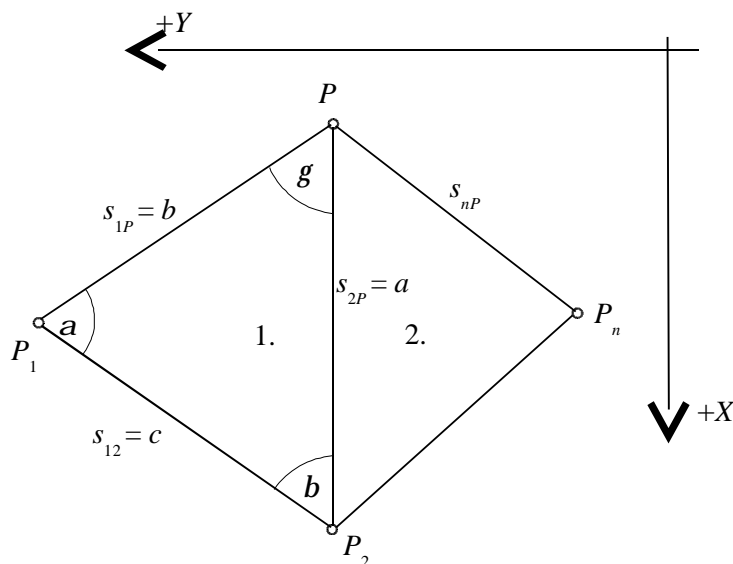
Na presnosť vyrovnaných súradníc bodu P okrem presnosti súradníc vzťahných bodov a odmeraných uhlov vplýva aj uhlová konfigurácia trojuholníka pretínania napred. Kombináciu riešenia s uhlom ω na určovanom bode v hodnotách

$$20^\circ > \omega > 180^\circ, \quad (3.11)$$

považujeme za nevhodnú a nezaraďujeme ju do vyrovnania.

Pretínanie napred dĺžkami (obr. 3.9)

Odmeranými prvkami sú dĺžky s_{1P} , s_{2P} a s_{nP} .



Obr. 3.9. Pretínanie napred dĺžkami

Vypočítame dĺžku s_{12} a aplikáciou kosínusovej vety vypočítame uhly $a(w_1 = 400 - a)$, $b(=w_2)$ a $g(=w)$

$$a = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}, \quad b = \arccos \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}, \quad g = \arccos \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}. \quad (3.12)$$

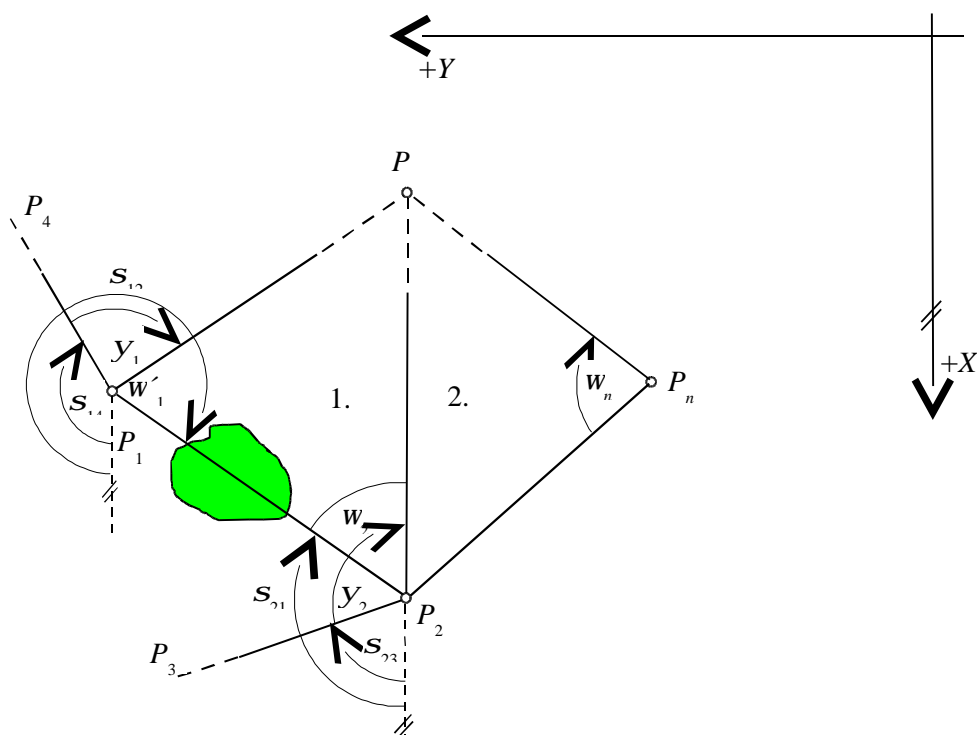
Výpočet uhlov prekontrolujeme vzťahom s podmienkou $a + b + g = 200^\circ$. Odmeranie nadbytočného prvku zrýchli výpočet a spresní určenie súradníc bodu P . V ďalšom postupe riešenia pretínania napred postupujeme rovnako ako pri pretínaní napred s odmeranými uhlami.

Pretínanie napred odmeranými smermi (obr. 3.10)

Prekážka napr. medzi bodmi P_1 a P_2 vedie k pretínaniu z odmeraných smerov, z ktorých odvodíme uhly w'_1 a w_2 . Na ich určenie podľa (obr. 3.10) meriame smery medzi bodmi P_4 , P a určíme uhol y_1 a na stanovisku P_2 medzi bodmi P_3 , P určíme y_2 atď.

Vypočítame smerníky s_{12} , s_{21} , s_{14} , s_{23} . Uhly w'_1 a w_2 sú

$$w'_1 = s_{12} - (s_{14} + y_1), \quad w_2 = (s_{23} + y_2) - s_{21}. \quad (3.13)$$



Obr. 3.10. Pretínanie napred odmeranými smermi

Pretínanie napred smerníkmi (obr. 3.11)

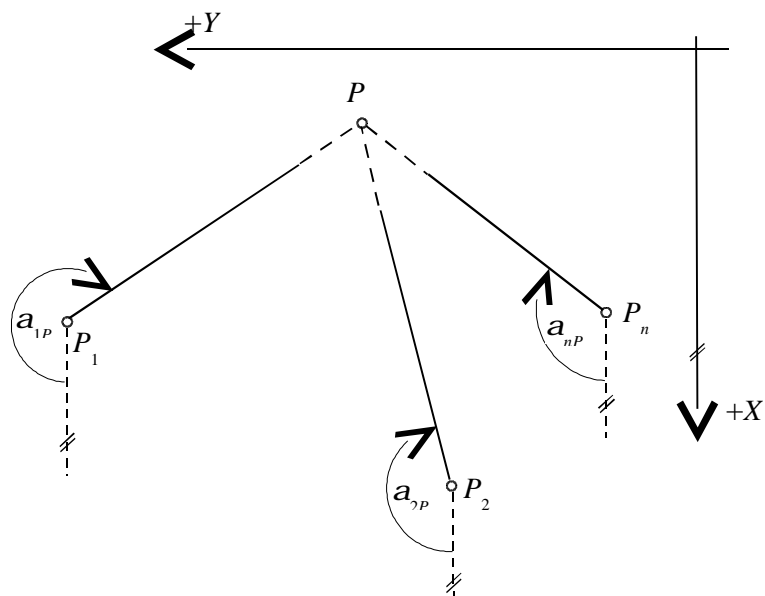
Ak okrem uhla w_1 na stanovisku P_1 (obr. 3.10) meriame uhly aj na ďalšie vzťahné body, orientáciou osnovy smerov [1] určíme odmeraný smerník a_{1P} a podobne aj ďalšie odmerané smerníky a_{2P} a a_{nP} (obr. 3.11).

V dvoch rovniciach

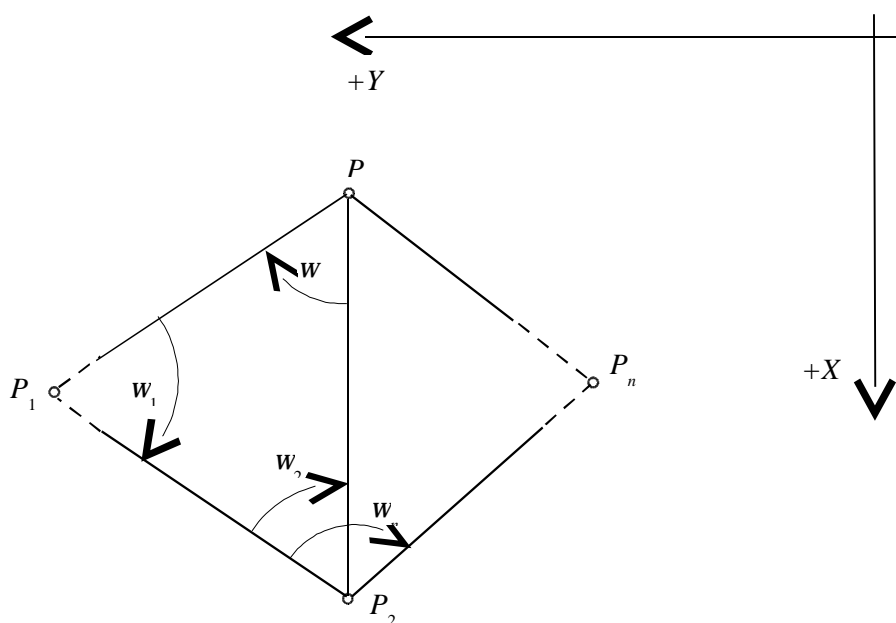
$$a_{1P} = \arctg \frac{y - y_1}{x - x_1} \quad \text{a} \quad a_{2P} = \arctg \frac{y - y_2}{x - x_2} \quad (3.14)$$

máme dve neznáme (y, x) , ktoré vyriešime vzťahmi [1]

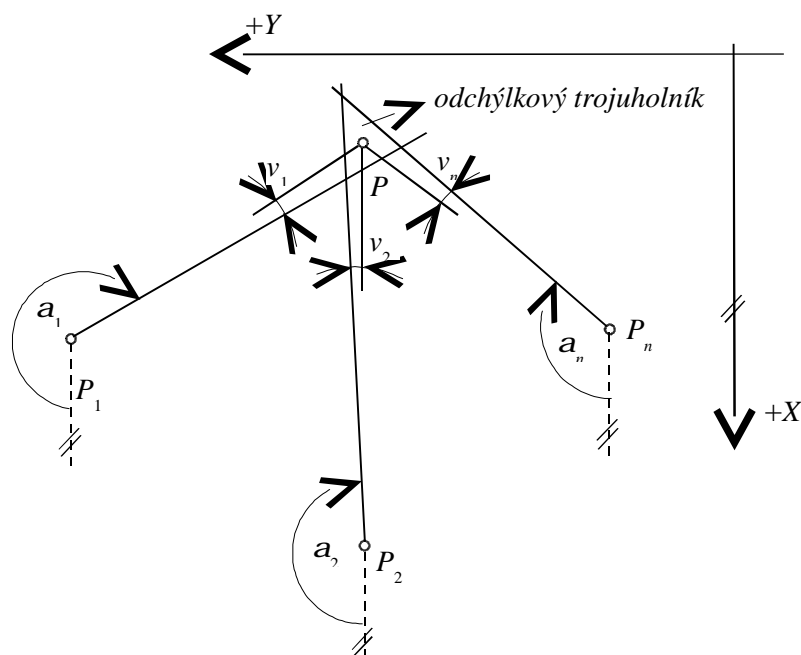
$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1) \operatorname{tg} a_{2P}}{\operatorname{tg} a_{1P} - \operatorname{tg} a_{2P}}, \quad x = x_1 + (y - y_1) \cotg a_{1P}. \quad (3.15)$$



Obr. 3.11. Pretínanie napred smerníkmi



Výpočet pretínania napred s vyrovnaním metódou najmenších štvorcov (MNS) (obr. 3.13) predstavuje určenie najpravdepodobnejších súradníc bodu P z odmeraných smerníkov (dĺžok, smerníkov a dĺžok) [1]. Prednosťou riešenia je



Obr. 3.13. Pretínanie napred s vyrovnaním MNŠ

- zavedenie váh k odmeraným smerníkom (dĺžkam, smerníkom a dĺžkam), čím uprednostníme presnejšie odmerané veličiny,
- produktom výpočtu je matica kofaktorov \mathbf{Q} , ktorej variancie a kovariancie využijeme na výpočet polohy a veľkosti strednej elipsy chýb,
- do vyrovnania môžeme zaviesť odmerané smerníky, odmerané dĺžky a aj spolu odmerané smerníky a dĺžky. Pritom nemusia byť odmerané všetky smerníky, resp. dĺžky. Dôležité je, aby bola splnená podmienka nadbytočnosti odmeraných prvkov,
- naraz môžeme spoločne vyrovnávať viac bodov.

Výpočet pretínania napred s vyrovnaním MNŠ si uvedieme pre spoločné vyrovnanie, odmeraných smerníkov a dĺžok. Zavedieme pretvorené rovnice opráv pre smerníky a dĺžky [1]

$$v_{si} = \frac{\cos j_i}{s_i} r^{cc} dy - \frac{\sin j_i}{s_i} r^{cc} dx + (j_i - a_i),$$

$$v_{si} = \sin j_i dy + \cos j_i dx + (s_{i0} - s_i), \quad (3.16)$$

kde j_i je približný smerník,

a_i je odmeraný smerník,

s_{0i} je približná dĺžka, ktorú vypočítame z približných súradníc bodu $P(y_0, x_0)$ a súradníc vzt'azných bodov P_i .

Ak máme iba odmerané smerníky, alebo iba odmerané dĺžky, príslušná rovnica opráv bude chýbať.

Váhové koeficienty vypočítame zo vzťahov

$$p_s = \frac{c}{m_s^2} = 1 \quad p_s = \frac{c}{(s_i m_s^{cc} / r^{cc})^2}. \quad (3.17)$$

Vektor neznámych

$$\mathbf{z} = \begin{pmatrix} dy \\ dx \end{pmatrix} = -(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}, \quad (3.18)$$

kde matica \mathbf{A} obsahuje koeficienty pri súradnicových prírastkoch dy a dx v rovnici (3.16) a vektor \mathbf{l} obsahuje rozdiely medzi približným a odmeraným smerníkom $(j_i - a_i)$ a približnou dĺžkou a odmeranou dĺžkou $(s_{0i} - s_i)$.

Presnosť vyrovnaných súradníc bodu $P(y, x)$ vyjadrujú stredné chyby

$$m_y = s_0 \sqrt{Q_{yy}}, \quad m_x = s_0 \sqrt{Q_{xx}}, \quad (3.19)$$

$$\text{kde } s_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n-2}}, \quad n \text{ je počet odmeraných prvkov (smerníkov a dĺžok),} \quad (3.20)$$

členy pod odmocninou v rovniciach (3.19) sa nachádzajú na diagonále matice kofaktorov \mathbf{Q}

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{N}^{-1} = \begin{pmatrix} Q_{yy} & Q_{yx} \\ Q_{xy} & Q_{xx} \end{pmatrix}. \quad (3.21)$$

Smer hlavnej polosi strednej elipsy chýb y a veľkostí polosi strednej elipsy chýb vypočítame zo vzťahov [1]

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} 2y &= \frac{2Q_{yx}}{Q_{xx} - Q_{yy}}, \\ a^2 &= \frac{1}{2} s_0^2 \left(Q_{yy} - Q_{xx} + \sqrt{(Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4(Q_{yx})^2} \right), \\ b^2 &= \frac{1}{2} s_0^2 \left(Q_{yy} - Q_{xx} - \sqrt{(Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4(Q_{yx})^2} \right). \end{aligned} \quad (3.22)$$

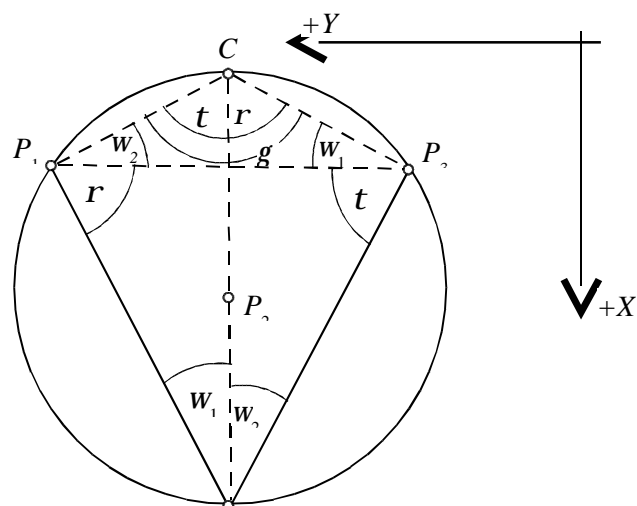
3.1.2 Pretínanie nazad

Zadanie zhustenia bodového poľa pretínaním nazad je charakterizované meraním uhlov na určovanom bode P , a to najmenej na tri vzťažné body (P_1, P_2, P_3) , (w_1, w_2) , (obr. 3.14).

Spoločnú polohu bodu dostaneme vypočítaním súradníc najmenej z dvoch kombinácií pretínania nazad (podľa mojich skúseností až troch kombinácií pretínania nazad). Spoľahlivosť výsledku pretínania nazad významne znehodnocuje excentrická poloha signalizácie vzťažných bodov, ktoré eliminujeme centráciou osnovy smerov. Do výpočtu zaradujeme kombinácie vzťažných bodov s uhlami odmeranými na určovanom bode $w_i > 20^\circ$. Pretínanie nazad nepočítame z kombinácií, kde sa opakuje dvojica vzťažných bodov, napr. $P_1 P_2 P_3$, P_1, P_2, P_4 alebo P_2, P_3, P_4 .

Poznáme niekoľko metód výpočtu pretínania nazad, ktoré nazývame podľa autora postupu výpočtu:

- Pothenotova alebo Snelliova metóda riešená pomocným uhlom m [2],
- Collinsova metóda riešená pomocným Collinsovým bodom [2],
- Cassiniho riešenie založené na geometrickej konštrukcii kružníc, obvodových uhlov a tetív [1],
- pretínanie nazad s vyrovnaním MNŠ [1].



Obr. 3.14. Pretínanie na P s pomocným bodom C

Pretínanie nazad Collinsonovým bodom (obr. 3.14) predstavuje riešenie transformované na tri pretínania napred. Riešenie nie je exaktné. Nespoľahlivé riešenie dostaneme vtedy, ak body P , P_1 , P_2 a P_3 ležia v blízkosti kružnice.

Pri riešení využijeme vzťah o rovnosti obvodových uhlov nad spoločnou tetivou. Pomocný bod C sa nachádza na kružnici v predĺžení spojnice $P P_2$. Kružnica, ktorá obsahuje bod C je vytvorená bodmi $P_1 P_3 P$. Z trojuholníka $P_3 P_1 C$ pretínaním napred vypočítame súradnice bodu C a z trojuholníkov $P_1 C P$ a $C P_3 P$ vypočítame súradnice bodu P .

Z rozdielu smerníkov vypočítame uhly t , r , g

$$t = s_{C1} - s_{C2}, \quad r = s_{C2} - s_{C3}, \quad g = s_{C1} - s_{C3} = t + r \quad (3.23)$$

uhly t a r použijeme pri pretínaní napred na určenie súradníc bodu P podľa obr. 3.14. Polohu bodu P_2 vo vzťahu ku kružnici posudzujeme výpočtom vzdialenosti s_{2C} . Ak $s_{2C} > \frac{1}{10}\bar{s}$, kde \bar{s} je stredná vzdialenosť medzi vzťahnými bodmi a určovaným bodom P , riešenie pretínaním nazad Collinsonovým bodom považujeme za vyhovujúce.

Pretínanie nazad s vyrovnaním MNŠ [1]

Pretvorená rovnica opráv má tvar

$$y_i + y_0 + dz + v_i = j_i - \frac{\cos j_i}{s_{0i}} r^{cc} dy + \frac{\sin j_i}{s_{0i}} r^{cc} dx, \quad (3.24)$$

kde ψ_i sú odmerané smery,

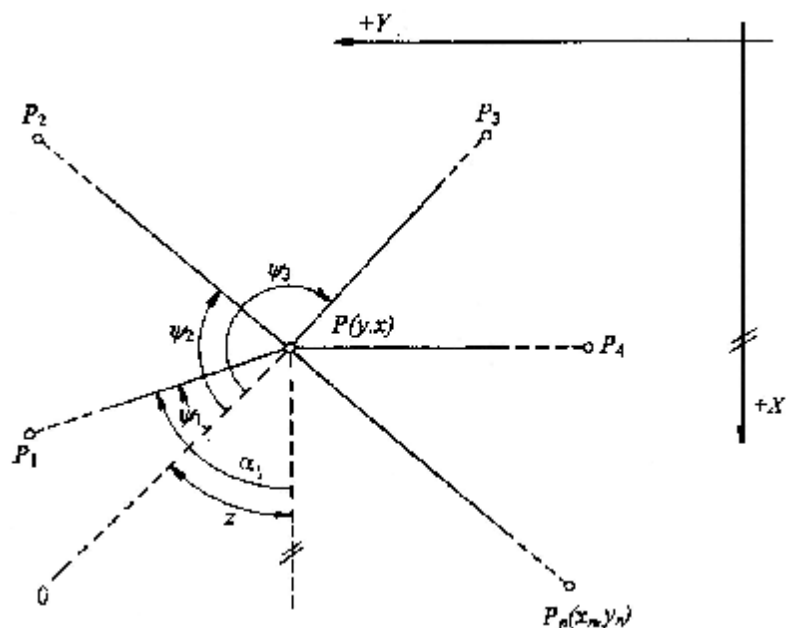
φ_i je približný smerník,

z_0 je približný orientačný posun, ktorý vypočítame zo vzťahu $z_0 = \frac{\sum j - \sum y}{n}$,

dz je korekcia orientačného posunu,

n je počet odmeraných smerov na vzťahné body,

a_i je odmeraný smerník, ktorý vypočítame z rovnice $a_i = y_i + z_0$.



Obr. 3.15. Pretínanie nazad s vyrovnáním MNŠ

Rovnice opráv po úprave majú tvar, keď $\mathbf{l}'_i = \mathbf{j}_i - \mathbf{a}_i$

$$v_i = -dz + a'_i dy + b'_i dx + \mathbf{l}'_i. \quad (3.25)$$

Rovnice (3.25) spočítame a vypočítame dz

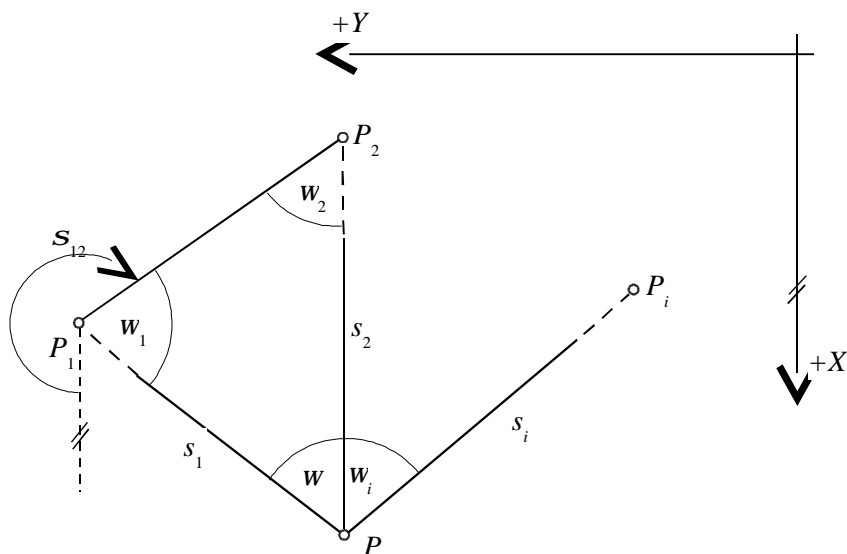
$$dz = \frac{\sum a'_i}{n} dy + \frac{\sum b'_i}{n} dx + \frac{\sum \mathbf{l}'_i}{n}. \quad (3.26)$$

Od rovnice (3.25) odpočítame rovnicu (3.26) a dostaneme

$$v_i = \left(a'_i - \frac{\sum a'_i}{n} \right) dy + \left(b'_i - \frac{\sum b'_i}{n} \right) dx + \mathbf{l}'_i - \frac{\sum \mathbf{l}'_i}{n} = a_i dy + b_i dx + \mathbf{l}_i. \quad (3.27)$$

Výpočet korekcií dy a dx k približným súradniciam $P(z_0, x_0)$ je rovnaký ako pri vyrovnaní pretínania napred MNŠ.

3.1.3 Výpočet súradníc prechodného stanoviska



Obr. 3.16. Prechodné stanovisko

Zhustenie bodového poľa prechodným stanoviskom (obr. 3.16) často aplikujeme pri skupine vertikálne stabilizovaných bodov. Prechodné stanovisko sa od pretínania nazad líši tým, že druhý odmeraný uhol (ω_n) je nahradený odmeranou dĺžkou napr. s_1 . Zadanie prechodného stanoviska obsahuje najmenej súradnice dvoch bodov $P_1(y_1, x_1)$, $P_2(y_2, x_2)$ uhol ω odmeraný medzi bodmi P_1 a P_2 a jednu dĺžku s (s_1 alebo s_2 obr. 3.16). Odmeranie ďalšej dĺžky predstavuje nadbytočné meranie, čo dovoľuje súradnice bodu $P(y, x)$, vypočítané z nadbytočných meraní vyrovnať. Pri zhutňovaní bodového poľa prechodným stanoviskom spravidla využívame všetky dostupné vzťahné body, na ktoré meriame uhly a dĺžky. Súradnice zhutňovaného bodu vtedy vyrovnávame MNŠ. Na zhutňovanie bodového poľa metódou prechodného stanoviska s vyrovnaním MNŠ sú niektoré elektronické teodolity vybavené meracími a výpočtovými programami. Napr. teodolit TC 1700 Leica je vybavený aplikačným programom na výpočet súradníc s vyrovnaním MNŠ maximálne až zo 7-ich vzťahných bodov, na ktoré meriame smery (uhly) a dĺžky.

Elementárne zadanie na určenie súradníc prechodného stanoviska obsahuje: súradnice bodov, $P_1(y_1, x_1)$, $P_2(y_2, x_2)$, uhol ω a napr. dĺžku s_1 . Vypočítame dĺžku s_{12} a smerník σ_{12} . Sínusovou vetou vypočítame uhol ω_2

$$w_2 = \arcsin\left(\sin w \frac{s_1}{s_{12}}\right), \quad (3.28)$$

a smerník σ_{1P}

$$S_{1P} = S_{12} + 200^g - (w + w_2) = S_{12} + w_1. \quad (3.29)$$

Súradnice bodu P sú

$$y_P = y_1 + s_1 \sin S_{1P}, \quad x_P = x_1 + s_1 \cos S_{1P}. \quad (3.30)$$

Na spoľahlivé určenie súradníc bodu P potrebujeme odmerať k základnému zadaniu navyše dĺžku s_2 , čo vedie tiež k úlohe pretínania napred z dĺžok.

O konfigurácii obrazca prechodného stanoviska platí to isté ako pri pretínaní napred.

3.1.4 Zhutňovanie bodového poľa reťazcami

Použitie trojuholníkových a štvoruholníkových reťazcov na zhutňovanie bodového poľa pre účely KN nie je možné vylúčiť. Predstavujú jednu z možností budovania vytyčovacích sietí skôr v aplikáciách inžinierskej geodézie. Problematika zhutňovania bodového poľa reťazcami a varianty výpočtového spracovania odmeraných veličín s vyrovnaním nájdeme v literatúre [1].

3.2. Zhutňovanie bodového poľa polygónmi

Zhutňovanie bodového poľa polygónmi pre účely merania a vytyčovania v KN predstavujú druhú etapu zhutňovania, ktorá nadväzuje na trigonometrické metódy zhutňovania, resp. využíva aktuálne polohové bodové pole. S jednotlivými bodmi polohového bodového poľa zriedkakedy vystačíme. Používame ich ako oporné body, medzi ktoré vkladáme, pripájame a orientujeme polygóny. Polygónmi vytvárame geometrickú sieť bodov, na ktorú pripájame podrobné meranie, alebo z ktorej vytyčujeme.

Spoľahlivosť odmeraných uhlov a dĺžok v polygóne kontrolujeme odmeraním nadbytočných prvkov, ktoré umožňujú vyhodnotiť splnenie geometrických podmienok polygónu pred vyrovnaním.

Pri rekognoskácii územia dbáme na optimálny geometrický tvar polygónu. Polygóny zakladáme po najkratšej spojnici medzi vzťahnými bodmi. Dĺžky strán volíme v rozsahu 60 m až 200 m. Pomer

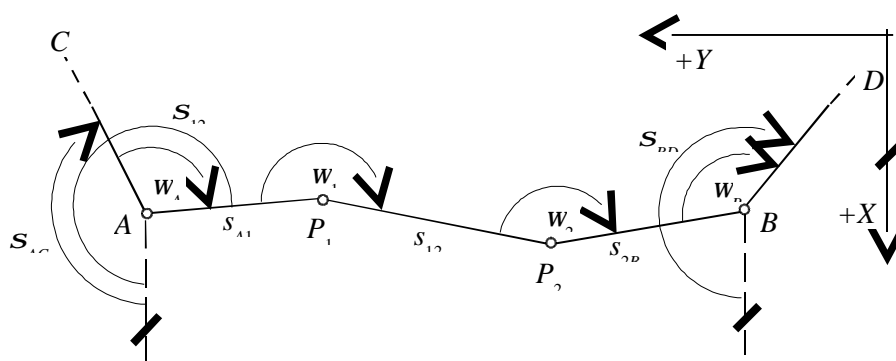
susedných strán by nemal klesnúť pod pomer 1:3. Optimálne dĺžky polygónov sú v rozsahu do 2 km súčtu strán. Uhly v polygóne meriame v jednej skupine.

Na zhutšťovanie bodového poľa polygónmi sa uplatňujú

- obojstranne pripojené a orientované polygóny,
- jednostranne pripojené a orientované polygóny,
- vložené polygóny,
- uzavreté polygóny,
- zauzlené polygóny.

3.2.1 Obojstranne pripojený a orientovaný polygón

Je zadaný súradnicami počiatočného $A(y_A, x_A)$ a koncového bodu $B(y_B, x_B)$ polygónu. Orientáciu polygónu zaisťujú body $C(y_C, x_C)$ a $D(y_D, x_D)$, ktoré môžu nahradiť smerníky σ_{AC}, σ_{BD} . Spravidla smerníky máme k dispozícii, ak sme na pripojovacích bodoch A a B vykonali orientáciu na viac ako jeden bod. Vtedy smerníky získavame orientáciou osnovy smerov [1]. V polygóne máme odmerané uhly ω_i a dĺžky $s_i, i = 1, 2, \dots, n$.



Obr. 3.18. Obojstranne pripojený a orientovaný polygón

Spôľahlivosť odmeraných uhlov kontrolujeme uhlovým uzáverom

$$O_w = (s_{BD} - s_{AC}) - \left(\sum w - (n-1)200^g \right)$$

a jeho porovnaním s kritériom $\Delta\omega$, ktorého hodnotu nájdeme v tabuľke pre polygónové body zhutšťované v 3. triede presnosti [2], str. 146, podľa druhu polygónov a jeho geometrických parametrov.

Ak platí $|O_w| < \Delta\omega$, vypočítame vyrovnané smerníky pripojením opráv k odmeraným uhlom

$v_w = \frac{O_w}{n}$, ktoré použijeme na výpočet nevyrovnaných súradnicových prírastkov $\Delta y', \Delta x'$, n predstavuje počet vrcholov polygónu. Súradnicové uzávery vypočítame zo vzťahov

$$O_y = y_B - y_A - \sum \Delta y', \quad O_x = x_B - x_A - \sum \Delta x'. \quad (3.34)$$

Keď polohový uzáver

$$O_p = \sqrt{O_y^2 + O_x^2} < \Delta p, \text{ vyrovnáme súradnicové prírastky } \Delta y', \Delta x'. \text{ Kritérium } \Delta p \text{ nájdeme v [2].}$$

Opravy k nevyrovnaným súradnicovým prírastkom vypočítame podľa vzťahov

$$v_{y(i-1),i} = \frac{O_y}{\sum |\Delta y'|} |\Delta y'_{(i-1),i}|, \quad v_{x(i-1),i} = \frac{O_x}{\sum |\Delta x'|} |\Delta x'_{(i-1),i}|. \quad (3.35)$$

Vyrovnané súradnice bodov polygónu získame postupným výpočtom z bodu A , cez body P_i až po bod B podľa schémy

$$\begin{aligned} y_i &= y_{i-1} + s_{(i-1),i} \sin S_{(i-1),i} + v_{y(i-1),i}, \\ x_i &= x_{i-1} + s_{(i-1),i} \cos S_{(i-1),i} + v_{x(i-1),i}. \end{aligned} \quad (3.36)$$

kde $i = (A, 1, 2, \dots, B)$.

Pripojenie polygónu na neprístupný bod A , ktorý je napríklad vertikálne stabilizovaný, vyžaduje doplnkové meranie na určenie pripojovacieho uhla ω_A a dĺžky s_{A1} (obr. 3.18).

Bod polygónu P_1 stabilizujeme tak, aby z neho bolo vidieť na vzťažný súradnicovo určený bod $C(y_C, x_C)$. Vhodne zvolíme polohu bodu P_0 . Odmeriame dĺžku s_{10} a uhly $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ a ε_3 (obr. 3.19).

Vypočítame dĺžky s_{A1} a s_{AC} zo vzťahov

$$s_{A1} = s_{10} \frac{\sin \varepsilon_3}{\sin(\varepsilon_2 + \varepsilon_3)}, \quad s_{AC} = \sqrt{(y_C - y_A)^2 + (x_C - x_A)^2}. \quad (3.37)$$

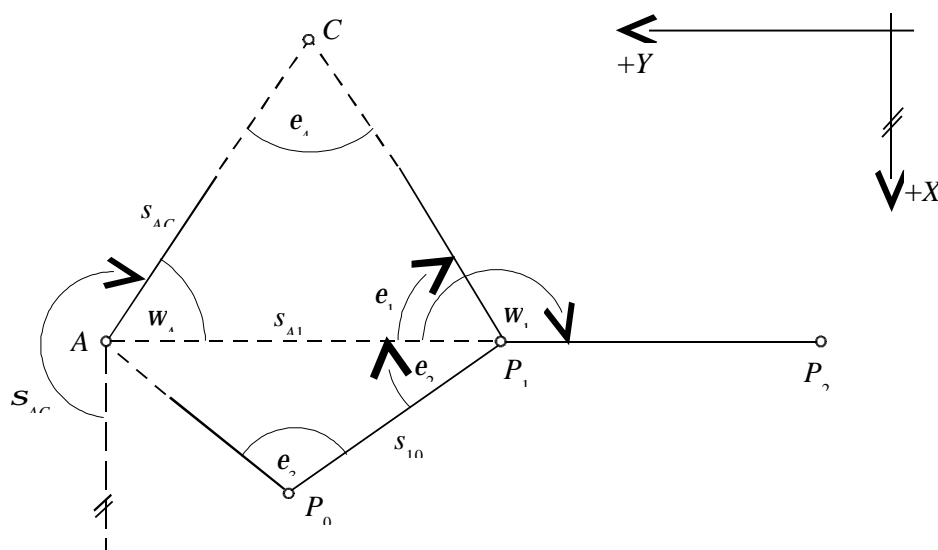
Vypočítame uhol ε_4 , ktorý použijeme na výpočet uhla ω_A

$$\varepsilon_4 = \arcsin \left(\sin \varepsilon_1 \frac{s_{A1}}{s_{AC}} \right), \quad (3.38)$$

$$w_A = 200 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_4). \quad (3.39)$$

Určenie dĺžky s_{A1} a uhla ω_A je vhodné prekontrolovať opakovaním merania z inej polohy bodu P'_0 .

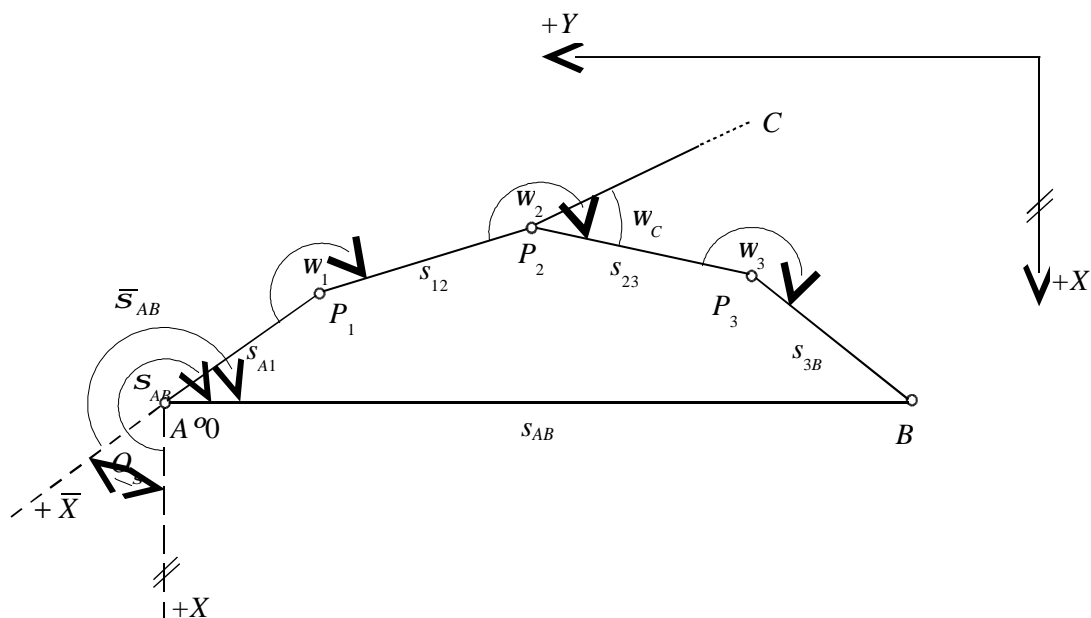
Úlohu pripojenia polygónu na neprístupný bod aplikujeme aj vtedy, keď na bode A nevieme zaistiť orientáciu na vzťažný bod C , ktorú nahradíme ak je to možné odmeraním uhla ε_1 na 1. bode polygónu (P_1) a ďalej aplikujeme postup merania ako pri pripojení polygónu na neprístupný bod. Uhol w_A vypočítame podľa vzťahov (3.38) a (3.39).



Obr. 3.19. Pripojenie polygónu na neprístupný bod

3.2.2 Vložený polygón

Polygón bez orientácie (bez merania na vzťažné body C, D alebo smerníkov σ_{AC} , σ_{BD}) je vložený polygón (obr. 3.20). Je možné ho použiť na zhutnenie bodového poľa v 3. triede presnosti. Podmienkou jeho použitia je určenie kontrolnej orientácie aspoň na jednom (lepšie na dvoch) medziľahlých polygónových bodoch. Krajná odchýlka medzi uhlom orientácie ω_C vypočítaným z vyrovnaných súradníc bodu polygónu a bodom C(y_C, x_C) a odmeraným uhlom w'_C je $80''$.



Obr. 3.20. Vložený polygón

Chýbajúce pripojovacie uhly ω_A , ω_B a smerníky σ_{AC} , σ_{BD} neumožňujú vypočítať uhlový uzáver O_ω a vyrovnať odmerané uhly. Súradnice polygónu vypočítame v miestnom súradnicovom systéme a transformujeme na vzťažné body A, B. Napr. súradnicový systém vložíme do bodu A($\bar{y}_A = 0, \bar{x}_A = 0$) a zvolíme smer kladnej osi \bar{X} na polpriamke $\overrightarrow{P_1A}$. Smerník strany s_{A1} je potom $\bar{s}_{A1} = 200^g$, z ktorého pomocou uhlov ω_i $i = 1, 2, \dots, n$, vypočítame ostatné smerníky strán.

Súradnice bodu \bar{B} v miestnom súradnicovom systéme sú

$$\bar{y}_B = \sum \Delta \bar{y} \quad \bar{x}_B = \sum \Delta \bar{x} \quad (3.40)$$

Uhol orientácie polygónu v systéme S-JTSK vypočítame z rozdielu smerníkov

$$O_s = s_{AB} - \bar{s}_{AB}, \quad (3.41)$$

keď

$$\bar{s}_{AB} = \arctg \frac{\sum \Delta \bar{y}}{\sum \Delta \bar{x}} = \arctg \frac{\bar{y}_B}{\bar{x}_B}. \quad (3.42)$$

O uhlovú hodnotu O_σ upravíme všetky smerníky \bar{s} ($s_{A1} = \bar{s}_{A1} + O_s$, $s_{12} = \bar{s}_{12} + O_s$, atď.). Rozdiel v dĺžkach predstavuje polohový uzáver

$$O_p = s_{AB} - \bar{s}_{AB}, \quad (3.43)$$

ktorý porovnáme s krajným polohovým uzáverom Δp (tab. 6.5 [2]). Keď $|O_p| < \Delta p$ vypočítame súradnicové rozdiely a z nich súradnicové uzávery O_y a O_x , ktoré úmerne rozdelíme k veľkostiam

jednotlivých súradnicových rozdielov. Napokon musí platiť $|w_c - w'_c| \leq 80^{\text{cc}}$, keď $w'_c = s_{23} - s_{2C}$ (obr. 3.20).

3.2.3 Uzavretý polygón

V smeroch ulíc zastavaných území môžu polygóny vytvárať uzavreté polygóny. Uzavretý polygón (obr. 3.21) sa vyrovnáva a počíta ako obojstranne pripojený a orientovaný polygón, ktorý začína a končí na pripojovacom bode A . Kontrolu orientácie polygónu zaisťujeme meraním orientačných uhlov na dva vzťažné body (C, D).

Uhlový uzáver vypočítame podľa podmienky o súčte uhlov v mnohouholníku

$$O_w = (n - 2)200^{\text{g}} - \sum w, \quad (3.44)$$

alebo pre súčet uhlov odmeraných po obode uzavretého polygónu

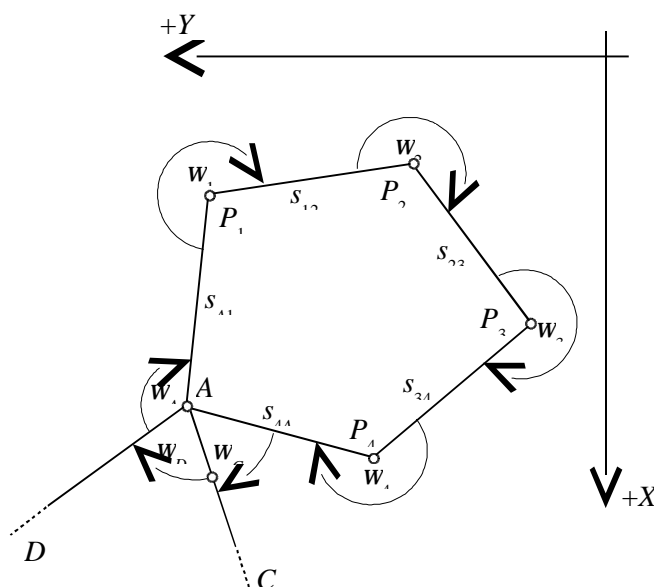
$$O_w = (n + 2)200^{\text{g}} - \sum w. \quad (3.45)$$

Ak je splnená podmienka $|O_w| < \Delta\omega$ vyrovnáme uhly a vypočítame všetky súradnicové rozdiely, ktorých súčet predstavuje súradnicové uzávery

$$O_y = -\sum \Delta y \quad \text{a} \quad O_x = -\sum \Delta x. \quad (3.46)$$

Ak platí $O_p = \sqrt{O_y^2 + O_x^2} < \Delta p$, vyrovnáme a vypočítame súradnice bodov uzavretého polygónu.

;

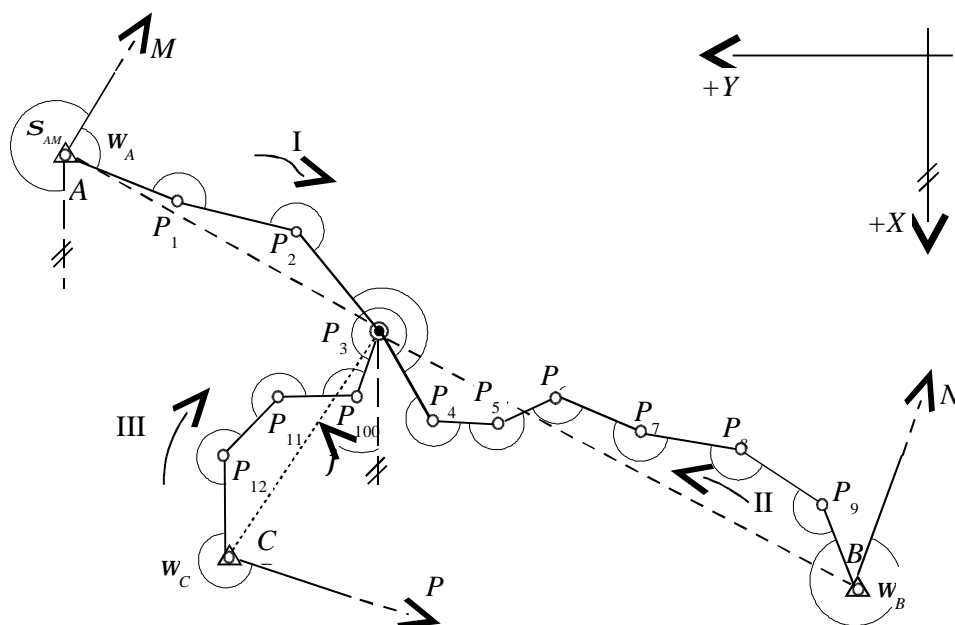


Obr. 3.21. Uzavretý polygón

Pri výpočte súradníc uzavretého polygónu súradnicové uzávery (3.46) neposkytujú kontrolu rozmeru uzavretého obrazca. Priaznivé súradnicové uzávery docielime i pri použití diaľkometerov (meradiel), ktoré sú zaťažené systematickými chybami pri meraní dĺžok. Preto pri meraní uzavretých polygónov venujeme pozornosť eliminácii vplyvu systematických chýb v odmeraných dĺžkach.

3.2.4 Zauzlený polygón

Rozvetvené polygóny označujeme ako zauzlené polygóny. Inštrukcia [11] názov zauzlený polygón neuvádza. Zmysel založenia takéhoto polygónu je, aby sme vyrovnaním zauzleného polygónu docielili rovnakú triedu presnosti bodov vo všetkých jeho vetvách. Bod rozvetvenia polygónu nazývame uzlový bod. Zauzlené polygóny vytvárame aj umelo. Ak je polygón príliš dlhý alebo polygón významne odbočuje z priameho smeru (má singulárny bod), z jedného z bodov polygónu alebo singulárneho bodu vedieme pripojovací polygón na najbližší bod bodového poľa a tak vytvárame zauzlený polygón. Zauzlené polygóny zakladáme v zastavaných územiach v smeroch uličných pásov.



Obr. 3.22. Zauzlený polygón

Na obr. 3.22 je zauzlený polygón o troch vetvách: *I.* $A \dots P_3$, *II.* $B \dots P_3$ a *III.* $C \dots P_3$.

Vyrovnanie a výpočet zauzleného polygónu začneme vyrovnaním smerníkov. Zvolíme stranu (spravidla najdlhšiu), ktorá vychádza z uzlového bodu. Na obr. 3.22 je to napr.strana s_{34} , ktorej vyrovnaný smerník vypočítame zo vzťahu

$$s_{34} = \frac{p_I s_{34}^I + p_{II} s_{34}^{II} + p_{III} s_{34}^{III}}{p_I + p_{II} + p_{III}}, \quad (3.47)$$

kde

$$\begin{aligned} s_{34}^I &= s_{AM} + \sum w^I - i^I 200, & i^I &= 4, \\ s_{34}^{II} &= s_{BN} + \sum w^{II} - i^{II} 200, & i^{II} &= 8, \\ s_{34}^{III} &= s_{CP} + \sum w^{III} - i^{III} 200, & i^{III} &= 5. \end{aligned} \quad (3.48)$$

$$p_I = \frac{c}{n_I} = \frac{c}{4}, \quad p_{II} = \frac{c}{n_{II}} = \frac{c}{8}, \quad p_{III} = \frac{c}{n_{III}} = \frac{c}{5}, \quad (\text{napr. } c = 10), \quad (3.49)$$

n je počet odmeraných uhlov.

Uhlové uzávery vypočítame zo vzťahov

$$O_w^I = s_{34} - s_{34}^I, \quad O_w^{II} = s_{34} - s_{34}^{II}, \quad O_w^{III} = s_{34} - s_{34}^{III}. \quad (3.50)$$

Keď uhlové uzávery $|O_w| < \Delta\omega$, opravíme uhly, vypočítame vyrovnané smerníky a vypočítame predbežné súradnice uzlového bodu z každej vetvy polygónu.

Vyrovnané súradnice uzlového bodu vypočítame zo vzťahov

$$y_3 = \frac{p_{yI} y_3^I + p_{yII} y_3^{II} + p_{yIII} y_3^{III}}{p_{yI} + p_{yII} + p_{yIII}}, \quad x_3 = \frac{p_{xI} x_3^I + p_{xII} x_3^{II} + p_{xIII} x_3^{III}}{p_{xI} + p_{xII} + p_{xIII}}, \quad (3.51)$$

kde

$$\begin{aligned} y_3^I &= y_A + \sum \Delta y^I, & x_3^I &= x_A + \sum \Delta x^I, \\ y_3^{II} &= y_B + \sum \Delta y^{II}, & x_3^{II} &= x_B + \sum \Delta x^{II}, \\ y_3^{III} &= y_C + \sum \Delta y^{III}, & x_3^{III} &= x_C + \sum \Delta x^{III}, \end{aligned} \quad (3.52)$$

$$p_y = \frac{C}{\sum s(1 + \sin^2 j)}, \quad p_x = \frac{C}{\sum s(1 + \cos^2 j)}, \quad (3.53)$$

φ je smerník príslušnej vetvy $\varphi_{3A}, \varphi_{3B}, \varphi_{3C}$,

$\sum s$ je súčet dĺžok v príslušnej vetve zauzleného polygónu,

C je vhodne zvolená konštanta, (napr. podľa bývalých predpisov $C = 5000$).

Po vyrovnaní uzlového bodu vypočítame súradnicové uzávery a polohové uzávery

$$\begin{aligned} O_y^I &= y_3 - y_3^I, & O_x^I &= x_3 - x_3^I, \\ O_y^{II} &= y_3 - y_3^{II}, & O_x^{II} &= x_3 - x_3^{II}, \\ O_y^{III} &= y_3 - y_3^{III}, & O_x^{III} &= x_3 - x_3^{III}. \end{aligned} \quad (3.54)$$

Ak polohové uzávery $O_p < \Delta p$, vyrovnáme súradnicové prírastky a vypočítame vyrovnané súradnice bodov zauzleného polygónu.

3.2.5 Jednostranne pripojený polygón

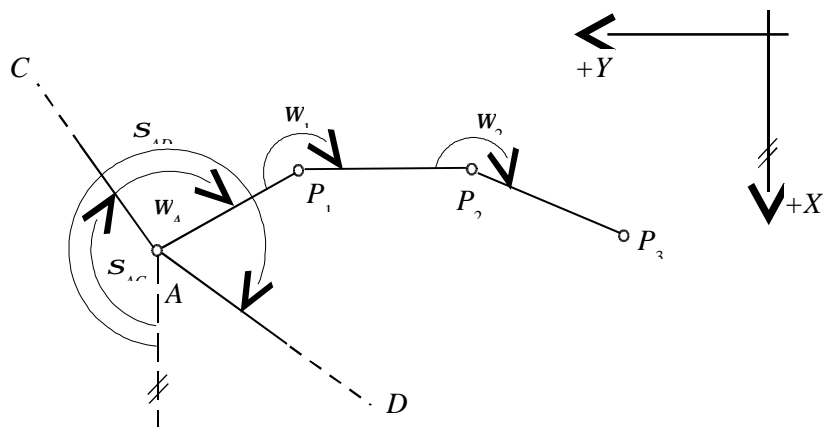
Jednostranne pripojeným polygónom zhustujeme bodové pole v 3. triede presnosti (obr. 3.23). Súradnice bodov sú určené bez kontroly, nemajú vyrovnané uhly ani dĺžky. Taktiež sa neuplatňuje kritérium uhlového a polohového uzáveru.

Jednostranne pripojený a orientovaný polygón má obmedzenia:

- môže mať maximálne 3 strany,
- súčet strán $\sum s < 600$ m.

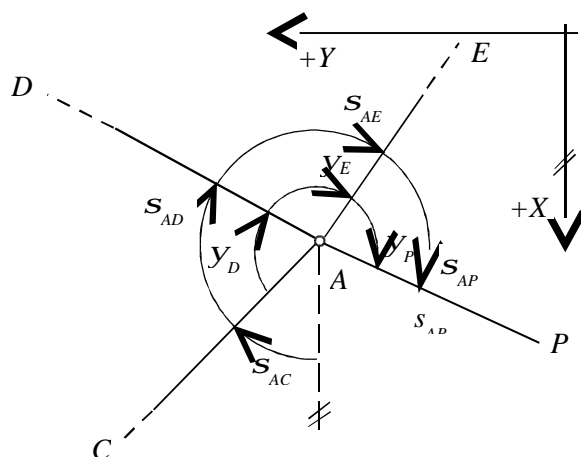
Odporúča sa orientovať polygón na viac vzťahných bodov.

Obmedzenia vyplývajú z podmienky, aby pozdĺžna a priečna odchýlka v koncovom bode bola približne rovnaká a neprekročila hodnotu kritéria 3. triedy presnosti vo vzťahu k pripojovaciemu bodu.



Obr. 3.23. Jednostranne pripojený polygón

Ak jednostranne pripojený a orientovaný polygón má iba jednu dĺžku o ktorej platí $s < 600$ m, ide o zhustenie bodového poľa polárnou metódou (rajónom).



Obr. 3.24. Zhustenie bodového poľa polárnou metódou (rajónom)

Smerník na určovaný bod P vypočítame zo smerníkov na vzťažné body (C, D, E , obr. 3.24) o odmeranej osnove smerov (ψ_D, ψ_E, ψ_P).

$$s_{AP}^I = s_{AC} + y_P,$$

$$s_{AP}^{II} = s_{AD} + y_P - y_D,$$

$$s_{AP}^{III} = s_{AE} + y_P - y_E,$$

$$s_{AP} = \frac{s_{AP}^I + s_{AP}^{II} + s_{AP}^{III}}{3}. \quad (3.55)$$

3.3 Zhustenie bodového poľa rajónom

Metódu zhustenia bodového poľa rajónmi vhodne aplikujeme na určovanie vertikálne stabilizovaných bodov podrobného polohového bodového poľa. Vertikálne stabilizované body volíme na rohoch stavieb (obr. 3.2) alebo na pevných objektoch. Určujeme ich z excentrických bodov, zpravidla z polygónu.

V priebehu podrobného merania polohopisu rajónmi účelne zhŕšťujeme bodové pole pomocnými meračskými bodmi, z ktorých dopĺňame polohopisné meranie.

3.4 Zhŕšťovanie bodového poľa satelitnými metódami

Geodetická prax čoraz vo väčšej miere využíva signály Globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS) na zhŕšťovanie bodového poľa a na vybrané geodetické činnosti v oblasti katastra nehnuteľností. Väčšina meraní sa vykonáva v lokálnych realizáciách systému WGS-84, ktorý na presné geodetické práce nie je vhodný.

Podporu na bežné využívanie globálneho systému na určovanie polohy (GPS) na zhŕšťovanie a na podrobné meranie predstavuje štátna priestorová sieť (ŠPS). Dôvod na vybudovanie nových geodetických základov, ktoré predstavuje ŠPS bol v tom, že štátna trigonometrická sieť (ŠTS) svojou presnosťou prestáva vyhovovať aktuálnemu prístrojovému vybaveniu na terestrické a satelitné merania, ktorými docieľujeme presnejšie výsledky geodetických meraní ako je presnosť základného bodového poľa ŠTS, na ktorú ich pripájame. Znamená to, že výsledky presných meraní (terestrických i satelitných) znehodnocujeme vložením do ŠTS. Nová ŠPS (zatiaľ ešte nie je uvoľnená pre prax) túto disparitciu presnosti odstraňuje.

Body ŠPS sú referenčné (vzťažné body) pre geodetické práce na našom území. Sú určené tiež v Európskom referenčnom systéme 89 (ETRS89), definujú jednoznačný vzťah medzi ETRS89 a S-JTSK. Preto nie je potrebné pracovať v lokálnych systémoch. Všetky satelitné merania je možné vykonávať v systéme ETRS89 a pomocou záväzných transformačných vzťahov previesť do S-JTSK.

Zhŕšťovanie bodového poľa metódami GPS je založené na princípe relatívnosti (diferenciálne metódy merania). Presnosť určenia polohy jedným prijímačom je rádovo v metroch. Keď určíme naraz polohu dvoch bodov dvoma prijímačmi, absolútna presnosť oboch bodov bude v metroch ale ich vzájomná (relatívna) presnosť bude v milimetroch. Princíp merania metódami GPS je v určovaní vektorov, ktoré sú medzi dvoma prijímačmi. Jeden prijímač (referenčný) je postavený stacionárne na súradnicovo známom bode ŠTS (ŠPS, bode PPBP), druhým prijímačom (pohyblivým) postupne prijímame signály zo satelitov na súradnicovo známych bodoch (najmenej na ďalších dvoch bodoch, ak určujeme iba polohu a ďalších troch bodoch ak určujeme polohu a výšky bodov) a na novourčovaných bodoch bodového poľa. Transformáciu prijatých signálov na vektory počítame pomocou softvéru po dokončení merania.

Významným prínosom vo využívaní satelitných meraní predstavuje národná pozemná infraštruktúra Slovenskej priestorovej observačnej služby (SKPOS) GNSS [7]. SKPOS má 21 permanentných staníc merania, ktoré pokrývajú územie Slovenska s určitým prekrytom efektívneho dosahu merania. Služba výrazne ovplyvňuje určenie presnej polohy a tvaru objektov merania v záväznom súradnicovom systéme. Výsledkom využívania SKPOS už budú platné súradnice. Koncový užívateľ služby bude meračské práce zaisťovať jedným (pohyblivým) prijímačom. SKPOS je možné využívať na meranie a vytyčovanie s vyhodnotením prijatých signálov po meraní, ako aj v reálnom čase s príslušnou výbavou na takýto druh meraní.

Aktuálne prístrojové vybavenie na príjem signálov Globálneho navigačného satelitného systému je vybavené na súbežný príjem signálov GNSS: GPS, GLONASS a perspektívne aj Galileo a je schopné využívať služby SKPOS.

Zlepšenie podmienok na geodetické merania predstavujú hybridné prístroje, ktoré vytvára spojenie ET s prijímačom GNSS (napr. Leica TPS 1200 + Smart Station). Do budúcnosti je možné predpokladať, že v aktuálnom poňatí zhŕšťovanie bodového poľa terestrickými metódami bude utlmené. V čase podrobného merania ET, satelitným prijímačom sa určí poloha stanoviska. Pri vhodných meračských podmienkach súčasným družicovým a terestrickým meraním bude možné splniť i náročné geodetické úlohy pre vybrané geodetické činnosti, ako aj pre KN.

Dá sa ale predpokladať, že vždy budú existovať SKPOS nepokryté miesta, na ktorých sa naďalej budú vykonávať terestrické merania.

Voľba metód zhŕšťovania bodového poľa metódami GPS závisí od prístrojového vybavenia, vyžadovanej presnosti merania a aktuálnych podmienok na meranie. V zásade sa používajú diferenciálne metódy merania [9]:

- metóda statická, na dosiahnutie presnosti v polohe 5 až 10 mm jedno meranie trvá 20 až 60 minút,
- rýchla statická metóda, čas merania pri počte prijímaných signálov z 5-ich družíc je 5 – 8 minút,
- metóda Stop and Go vyžaduje počas celého merania pohybujúcou sa aparátúrou prijímať signály aspoň na štyroch rovnakých satelitoch ako prijíma referenčná aparátúra,
- meranie v reálnom čase (RTK GPS), poskytuje vyhodnotenie merania vo forme súradníc prakticky bezprostredne po meraní. Presnosť určenia polohy bodu je 10 – 30 mm.

Presnosť určenia polohy bodov metódou GPS závisí od konfigurácie satelitov v čase merania a na metóde merania. V mieste merania sa vyžaduje, aby 15° nad horizontom neboli žiadne prekážky medzi satelitom a prijímačom. Metódy GPS sú vhodné na zhŕšťovanie bodového poľa aj na meranie v katastri nehnuteľností, kde sa začínajú uplatňovať. Podrobnosti o prístrojovom vybavení, metódach merania, spracovania registrovaných satelitných signálov do výslednej formy súradníc v S-JTSK nájdeme v [9].

3.5 Transformácia súradníc

Transformácia súradníc nie je metóda, ktorou zhŕšťujeme bodové pole. Je jedným z možných prostriedkov, ktorým vypočítame súradnice bodov. Transformácia sa používa pri výpočte súradníc vloženého polygónu, pri meraní metódou GNSS, vtedy súradnice zo systému WGS-84 transformujeme do systému S-JTSK. Transformácia súradníc sa tiež využíva pri aplikácii podrobného merania ortogonálnou metódou na voľnej meračskej priamke a pri iných geodetických úlohách..

Najčastejšie sú používané transformácie [1]:

- podobnostná transformácia, zaistí posun a rotáciu transformovaného bodového poľa [2],
- Helmertova transformácia, predstavuje kombináciu posunu, rotácie a rovnačky zmeny mierky v smere osí Y , X . Aplikuje sa vyrovnaním metódou najmenších štvorcov vtedy, ak máme počet identických bodov $n > 3$ v oboch systémoch, t. j. vo vzťažnom systéme do ktorého transformujeme a v transformačnom systéme, ktorý transformujeme,
- afinná transformácia má rôznu zmenu mierky v smere osí Y a X . Uplatňuje sa napr. pri transformácii bodov z rastrového súradnicového systému do S-JTSK pri vektorizácii analógových máp. Použitie afinnej transformácie nemá opodstatnenie pri prácach v základnom a podrobnom polohovom bodovom poli.

Transformujme súradnice zo súradnicového systému \bar{Y} , \bar{X} do súradnicového systému Y , X . Máme dané súradnice identických bodov v oboch systémoch $P_i(\bar{y}_i, \bar{x}_i)$ a $P_i(y_i, x_i)$. Bodové pole v systéme \bar{Y} , \bar{X} pootočíme o uhol ω (je to uhol medzi kladnými osami X a \bar{X} oboch systémov) a posunieme do systému Y , X o hodnoty y_0 , x_0 . Súradnice identických bodov v oboch systémoch $P_i(y_i, x_i)$ a $P_i(\bar{y}_i, \bar{x}_i)$ použijeme na výpočet transformačných koeficientov y_0 , x_0 , $\cos w$, $\sin w$ v rovniciach (obr. 3.25)

$$\begin{aligned} y &= y_0 + \bar{y} \cos w - \bar{x} \sin w, \\ x &= x_0 + \bar{y} \sin w + \bar{x} \cos w. \end{aligned} \quad (3.56)$$

Na výpočet transformačných koeficientov v rovniciach (3.56) potrebujeme poznať najmenej dva identické body. Ďalšie body v systéme \bar{Y} , \bar{X} $P_j(\bar{y}_j, \bar{x}_j)$ transformujeme rovnicami (3.56) už s vypočítanými transformačnými koeficientami.

V maticovom zápise majú rovnice (3.56) tvar

$$\mathbf{p}_{(2,1)} = \mathbf{t}_{(2,1)} + q\mathbf{R}_{(2,2)}\mathbf{z}_{(2,1)}, \quad (3.57)$$

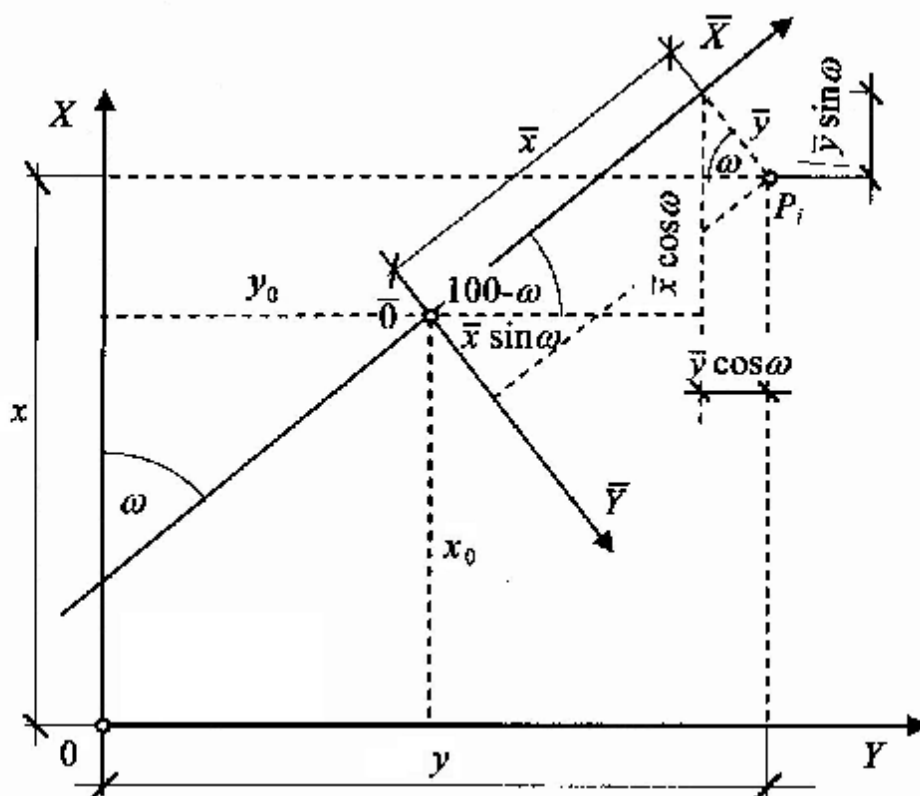
kde

$$\mathbf{p}_{(2,1)} = \begin{pmatrix} y \\ x \end{pmatrix}, \quad \mathbf{t}_{(2,1)} = \begin{pmatrix} y_0 \\ x_0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{R}_{(2,2)} = \begin{pmatrix} \cos w & \sin w \\ \sin w & \cos w \end{pmatrix}, \quad \mathbf{z}_{(2,1)} = \begin{pmatrix} \bar{y} \\ \bar{x} \end{pmatrix} \quad (3.58)$$

q je skalár,

ak $q = 1$ ide o rozmerovú zhodnosť siete bodov v oboch systémoch,

$q \neq 1$ ide o podobnosť. Sieť bodov sa mierkovo upravuje.



Obr. 3.25. Podobnostná transformácia

V aplikácii podobnostnej transformácie, ak použijeme nezmenenú mierku $q = 1$ v transformovanom súradnicovom systéme uhol pootočenia w a mierkové číslo vypočítame z rovníc

$$w = S - \bar{S}, \text{ kde } S = \arctg \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad \bar{S} = \arctg \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}, \quad (3.59)$$

$$q^2 = \frac{s^2}{\bar{s}^2} = \frac{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}{(\bar{y}_2 - \bar{y}_1)^2 + (\bar{x}_2 - \bar{x}_1)^2}.$$

V prípade, že mierka $\mathbf{q}^T = (q_y \ q_x)$ bude predstavovať vektor o zmenách mierky v smere osi Y a X potrebujeme poznať súradnice troch identických bodov v oboch systémoch. Vtedy ide o afinnú transformáciu. Nadbytočný počet identických bodov v oboch systémoch dovoľuje aplikovať transformáciu s vyrovnaním najmenších štvorcov.