

Geodézia v priemysle

Geodézia v priemysle

Alojz Kopáčik, Ján Erdélyi, Peter Kyrinovič, Imrich Lipták, Štefan Lukáč

Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu nesmie byť použitá na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľstva.

© prof. Ing. Alojz Kopáčik, PhD. – Ing. Ján Erdélyi, PhD. – Ing. Peter Kyrinovič, PhD.
Ing. Imrich Lipták, PhD. – Ing. Štefan Lukáč, PhD.

Recenzenti: prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc.
doc. Ing. Jaroslav Šíma CSc.

ISBN 978-80-227-4661-8

prof. Ing. Alojz Kopáčik, PhD. – Ing. Ján Erdélyi, PhD. – Ing. Peter Kyrinovič, PhD.
Ing. Imrich Lipták, PhD. – Ing. Štefan Lukáč, PhD.

GEODÉZIA V PRIEMYSLE

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve STU, Bratislava,
Vazovova 5, v roku 2016.

Edícia skrípt

Rozsah 207 strán, 146 obrázkov, 15 tabuliek, 16,513 AH, 1. vydanie,
vydané v elektronickej forme; umiestnenie na <http://www.svf.stuba.sk>

Schválila Edičná rada Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

85 – 242 – 2016

ISBN 978-80-227-4661-8

Obsah

Predslov	5
1 Špecifiká geodetických meraní v priemysle	7
1.1 Prostredie a jeho vplyv na realizáciu meraní	7
1.2 Bezpečnosť pri práci a jej vplyv na merania	12
1.3 Požiadavky na presnosť merania v strojárstve	14
2 Kvalitatívne aspekty merania v priemysle	17
2.1 Definície a súvisiaca terminológia	17
2.2 Kvalita merania v priemysle a jej posúdenie	21
2.3 Metrologické zabezpečenie meraní v priemysle a v geodézii	23
2.4 Overovanie a testovanie vybraných geodetických prístrojov	25
3 Geodetické siete priemyselných závodov a zariadení	28
3.1 Miestne geodetické siete priemyselných závodov	29
3.2 Geodetické mikrosiete v strojárstve	32
3.3 Meranie uhlov v mikrosieťach	35
3.4 Meranie dĺžok v mikrosieťach	36
3.5 Plánovanie presnosti v mikrosieťach	38
4 Meranie geometrických parametrov technologických zariadení	41
4.1 Klasifikácia metód	41
4.2 Priame meranie geometrických parametrov	42
4.3 Nepriame meranie geometrických parametrov	48
4.4 Meranie naklonenia technologických zariadení	51
5 Terestrické laserové skenovací systémy	62
5.1 Princíp terestrického laserového skenovania	62
5.1.1 Meranie dĺžok	64
5.1.2 Projekčné mechanizmy na vychyľovanie zväzku laserových lúčov	68
5.1.3 Kategorizácia terestrických laserových skenerov	70
5.2 Meranie pomocou terestrických laserových skenerov	71
5.2.1 Príprava na skenovanie	71
5.2.2 Skenovanie	73
5.3 Spracovanie údajov získaných terestrickým laserovým skenovaním	74
5.3.1 Adjustácia mračien bodov	74
5.3.2 Tvorba priestorových modelov	79
5.4 Presnosť a kalibrácia terestrických laserových skenerov	81
5.4.1 Zdroje chýb a ich matematické modely	81
5.4.2 Testovanie terestrických laserových skenerov	84
5.4.3 Kalibrácia terestrických laserových skenerov	85
5.5 Využitie TLS v stavebníctve a v priemysle	86

5.5.1	Určovanie priestorovej polohy kotevných vložiek opláštenia výškovej budovy	87
5.5.2	Určovanie priestorového tvaru obvodového plášťa výškovej budovy	89
5.5.3	Určenie posunov a pretvorení parabolickej železobetónovej strešnej konštrukcie	90
5.5.4	Určenie posunov a pretvorení železobetónových stien aktivačnej nádrže	92
5.5.5	Dokumentácia skutočného vyhotovenia potrubného systému výrobnej linky	94
6	Súradnicové meracie systémy	96
6.1	Kategorizácia súradnicových meracích strojov	96
6.2	Polárne súradnicové meracie stroje	99
6.3	Pravouhlé súradnicové meracie stroje	102
6.4	Snímacie systémy súradnicových meracích strojov	106
6.5	Presnosť súradnicových meracích strojov a metódy ich skúšania	109
7	Vytyčovanie a meranie geometrických parametrov žeriavových dráh a žeriavov	112
7.1	Základné pojmy a definície	112
7.2	Kategorizácia žeriavov a žeriavových dráh	113
7.3	Geometrické parametre žeriavových dráh a žeriavov	116
7.4	Metodika vytyčovania a merania geometrických parametrov žeriavových dráh a žeriavov	117
7.5	Spracovanie a analýza výsledkov meraní	128
7.6	Automatizácia merania žeriavových dráh	138
8	Vytyčovanie a meranie geometrických parametrov rotačných pecí	144
8.1	Podmienky správnej funkcie a chodu rotačnej pece	145
8.2	Geodetické činnosti pri výstavbe a montáži rotačných pecí	148
8.3	Geodetické činnosti pri kontrole a rektifikácii rotačných pecí	151
8.4	Výpočet rektifikačných hodnôt rotačnej pece	154
9	Geodetické činnosti pri plánovaní, výstavbe a prevádzke objektov jadrových elektrární	161
9.1	Hodnotenie a výber lokality na výstavbu jadrových elektrární	163
9.2	Výrobné objekty jadrových elektrární	166
9.3	Geodetické činnosti pri výstavbe jadrových elektrární	170
9.4	Geodetické činnosti pri prevádzke jadrových elektrární	173
9.5	Modernizácia a zvyšovanie bezpečnosti jadrových elektrární na Slovensku	179
10	Základná mapa závodu	180
10.1	Tvorba základnej mapy závodu	181
10.2	Údržba základnej mapy závodu	189
	Literatúra	190
	Právne a technické predpisy	196
	Prílohy	199

Predslov

Učebné texty predmetu Geodézia v priemysle sú určené študentom študijných programov druhého (inžinierskeho) stupňa štúdia, akreditovaného v študijnom odbore Geodézia a kartografia. Učebný text obsahuje problematiku výkonu geodetických činností vykonávaných v priemyselnom prostredí, metrologického zabezpečenia predmetných činností a s tým súvisiacu legislatívu v rozsahu určenom pre tento predmet v študijnom programe Geodézia a kartografia (2. stupeň) na Stavebnej fakulte STU v Bratislave. Osobitné témy sú geodetické činnosti súvisiace s výstavbou a prevádzkou objektov jadrových elektrární a meranie geometrických parametrov vybraných technologických zariadení – žeriavové dráhy, rotačné pece a turbogenerátory. Samostatná kapitola je venovaná terestrickým laserovým skenovacím systémom a súradnicovým meracím systémom.

Učebný text zodpovedá súčasnému vývoju vo vednom odbore Geodézia a kartografia a aktuálnemu stavu legislatívnych a technických predpisov v čase jeho vzniku. V texte je venovaná pozornosť aj vývojovým trendom najmä v oblasti automatizácie meraní. Vo všetkých oblastiach je diskutovaná problematika na úrovni aktuálneho poznania prístrojovej a technologickej bázy tak, aby táto reflektovala v praxi obvyklé efektívne technologické postupy.

Na spracovaní jednotlivých kapitol sa podieľali autori nasledujúcim spôsobom: prof. Alojz Kopáčík, PhD. kapitoly 1, 2, 6, 8, 10; Ing. Ján Erdélyi, PhD. kapitoly 5, 6; Ing. Peter Kyrinovič, PhD. kapitoly 3, 7; Ing. Imrich Lipták, PhD. kapitoly 4, 9, Ing. Štefan Lukáč kapitoly 1, 2, 8 a 9.

Autori ďakujú lektorom prof. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, CSc. a doc. Ing. Jaroslavovi Šímovi, CSc., ako aj členom katedry geodézie našej fakulty za trpezlivosť a súčinnosť pri písaní textov a za upozornenia na chyby, ktoré v textoch našli. Ďalej ďakujeme študentom Bc. Pavlovi Cmarkovi, Bc. Richardovi Hontimu a Bc. Martinovi Kasalovi za nakreslenie obrázkov a editovanie rukopisu. Bez ich pomoci by nevznikla táto učebná pomôcka.

Bratislava, október 2016

Autori

1 Špecifiká geodetických meraní v priemysle

Rozvojom strojárkej výroby, jej postupnou automatizáciou sa súbežne zvyšujú aj nároky na jej kvalitu. Zabezpečenie kvality akejkoľvek činnosti, a teda aj výroby je založené na schopnosti opakovaného výkonu série krokov (činností) s rovnakými fyzikálnymi a geometrickými parametrami. Kontrola týchto parametrov sa väčšinou opiera o výsledky kontrolných meraní, dokladujúcich správnosť nastavenia výrobných úkonov a zariadení, ich rozmerovú stálosť (stabilitu) počas výrobného procesu, ako aj dodržanie kvalitatívnych parametrov (požiadaviek) formulovaných pre výslednú produkciu (výrobok). Väčšina týchto kontrolných meraní využíva princípy známe v geodézii a je založená na geodetických metódach a postupoch.

Geodetické merania vykonávané v priemyselnom prostredí sú intenzívne ovplyvnené osobitnými podmienkami, ktoré charakterizujú prostredie v priemyselných závodoch, či prevádzkach. Tieto sa výrazným spôsobom líšia od podmienok, pri ktorých sú obvykle geodetické merania vykonávané. Prevládajú v nich javy, ktoré pôsobia na proces merania, merané veličiny a meracie prístroje systematicky, čo je potrebné zohľadniť pri meraní a spracovaní výsledkov merania. Zákonitosti týchto javov a ich poznanie však umožňuje vo veľkej miere ich účinok na výsledky merania eliminovať, resp. tento znížiť na akceptovateľnú mieru.

Pri kontrole kvality produkcie sa stretávame so širšou škálou parametrov ako v bežnej geodetickej praxi. K parametrom priamosť, vodorovnosť, zvislosť alebo pravouhlosť pribúdajú ďalšie súvisiace s geometrickým tvarom a usporiadaním objektov v priestore (odchýlky od roviny, valcovej, guľovej alebo inej sférickej plochy a pod.). Zvýšené nároky na presnosť, systematické vplyvy prostredia na merané veličiny a prístroje a osobitné požiadavky generujú potrebu neustáleho vývoja a zdokonaľovania meračských metód a postupov a používanie netradičných teoretických riešení pri vyhodnocovaní výsledkov meraní. Potrebu vývoja nových meračských postupov, na kontrolu geometrických parametrov strojárenských technologických zariadení a na kontrolu výrobkov, zvyrazňuje aj súčasný rozvoj moderných spôsobov výroby v strojárenstve.

1.1 Prostredie a jeho vplyv na realizáciu meraní

Prostredie v priemyselných závodoch je úplne odlišné od prostredia, v ktorom sa tradične vykonávajú geodetické práce. Rozdiel medzi meraním vo voľnej prírode a v priemyselných závodoch, prevádzkach, či objektoch spočíva predovšetkým:

- v rozdielnych vlastnostiach prostredia, v ktorom meračské práce prebiehajú,
- v rozmeroch objektov (sú oproti objektom vo voľnej prírode výrazne menšie),
- vo vyžadovanej presnosti (o jeden rád vyššia oproti meraniam vykonávaným v stavebníctve),
- v požiadavkách na bezpečnosť práce (prísnejšie pravidlá bezpečnosti pri práci).

Väčšina geodetických meraní v priemysle prebieha vo vnútri budov, v dielňach, prevádzkových halách a priestoroch, ktoré bezprostredne slúžia prevádzke. Nevyhovujúce svetelné podmienky, **šero** alebo **tma**, sťažujú optické merania. Vnútorne priestory majú obvykle osobitné, zvláštne klimatické podmienky determinované druhom výroby a činnosťami vykonávanými v daných priestoroch. Často sa vyskytuje **rôzna teplota** na rôznych miestach, v ktorých sú merania vykonávané. Tieto teplotné zmeny nespôsobuje spravidla len systém vykurovania a vetrania ale aj prítomnosť rôznych tepelných zdrojov v prevádzkach. Rozdielne teploty v jednotlivých miestach prevádzky spôsobujú **refrakciu** pri meraní uhlov, dĺžok a zvislíc. Vykurované miestnosti sú obvykle suché, ostatné (najmä podzemné) miestnosti vlhké, čo spôsobuje rozdielnu **vlhkosť** prostredia. Prechody medzi jednotlivými časťami prevádzok sú často otvorené, dôsledkom čoho je v týchto priestoroch **prievan**. Prúdenie vzduchu môže byť pre človeka, pohybujúceho sa v priestore merania nespozorovateľné, silne však znehodnocuje najmä výsledky optických a čiastočne aj mechanických meraní (napr. mechanické vytyčovanie zvislíc). **Chvenie** vyvolané prevádzkou technologických celkov spôsobuje chvenie meracích prístrojov, čoho následkom je menej presné meranie. Na realizovaných meraniach sa prejavujú aj následky **chvenia**, vzniknutého chodom mechanizmov (motorov) rôzneho druhu. Činnosť meračskej skupiny v takomto prostredí sťažuje aj **vysoká hladina zvuku (hľuku)**, ktorá je značná hlavne v blízkosti strojných zariadení, ako sú napríklad: turbogenerátory, parogenerátory a pod.

Uvedené javy neovplyvňujú len vlastné meranie v tomto prostredí, ale sa odrážajú aj na činnosti celej meračskej skupiny. Predmetné **rôznorodé podmienky spôsobujú chyby v meraní**, ktoré majú v určitom čase systematický charakter a môžu sa prejavovať až po viacnásobnom meraní, vykonanom pri rôznych podmienkach. Vykonanie opakovaných meraní v priemyselnej geodézii nie je vždy možné z dôvodu obmedzených prevádzkových podmienok (vymedzený čas na vykonanie meraní dĺžkou odstavkov alebo režimom prevádzky). V takýchto prípadoch je potrebné voliť pri meraní také postupy, ktoré čo najviac obmedzia vplyvy prostredia na samotné meranie, ako aj výsledky merania. Pri voľbe správneho postupu merania sa musí vychádzať zo skutočného poznania zákonitostí jednotlivých javov a hľadania času, resp. času merania, pri ktorom sa minimalizuje ich pôsobenie.

Svetelné podmienky v prevádzkach sú výrazne rozdielne. Menia sa od intenzívneho osvetlenia cez šero po úplnú tmu. So zmenou svetelných podmienok sa merač môže stretnúť v priebehu jedného merania niekoľkokrát a v relatívne krátkom časovom slede (prechod z jednej miestnosti do druhej, alebo prechod z vnútorných priestorov do vonkajšieho prostredia). Pri práci vo vnútri budov počas prevádzky zariadení je potrebné spravidla zabezpečiť osvetlenie meracieho prístroja, cieľových značiek, odrazových hranolov a lát. Väčšina moderných (elektronických) geodetických prístrojov je vybavená osvetlením na nočné meranie, problém môže nastať pri používaní klasických optických prístrojov, pri ktorých osvetlenie prístroja nebolo v minulosti bežnou súčasťou dodávky od výrobcu a bolo potrebné ho objednať osobitne. Vo väčšine prípadov tieto prístroje nemajú takéto osvetlenie a je preto potrebné použiť počas merania dodatočné externé zdroje osvetlenia (ručné baterky, prípravky s úsporným LED svetelným zdrojom). Pri týchto okolnostiach musí mať meračská skupina ďalšieho pomocníka, ktorý cieľové značky alebo laty osvetľuje.

Dobré osvetlenie musí zabezpečiť správne urovnanie krabicovej i nivelačnej libely, správne čítanie na (dobře osvetlenej) late a musí umožniť čítanie na optickom mikrometri. Na osvetlenie lát, cieľových značiek alebo odrazových hranolov sa obvyčajne využívajú ručné baterky, resp. reflektory s akumulátormi. Tieto nám umožňujú osvetliť iba časť laty, čo nie je postačujúce na vykonanie čítania s digitálnym nivelačným prístrojom (obvykle je potrebné zabezpečiť „viditeľnosť“ latového úseku v minimálnej dĺžke 0,3 m až 0,5 m). Na osvetlenie nivelačných lát už boli vyvinuté prípravky na báze LED pásov, ktoré umožňujú osvetlenie celej laty, resp. jej časti postačujúcej na realizáciu meraní s digitálnymi nivelačnými prístrojmi (Obr. 1.1). Osvetlenie je potrebné realizovať tak, aby svetlo odrazené od laty neosvetľovalo merača a neznemožňovalo mu správne zacielenie na latu.

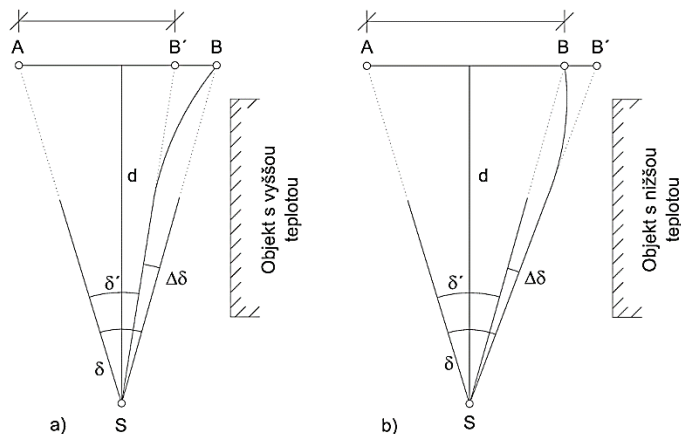


Obr. 1.1. Osvetlenie laty na báze LED pásov

Refrakciu spôsobujú rôzne teploty vrstiev vzduchu, ktorými prechádza zámerný lúč. Následkom odlišných teplôt jednotlivých vrstiev dochádza ku zmene hustoty vzduchu, v dôsledku ktorej sa mení indexu lomu vzduchu v jednotlivých vrstvách. Zámerný lúč potom neprechádza vrstvami priamo, ale sa zakrivuje do oblúka, ktorý nahradzujeme obvykle kružnicovým oblúkom s veľmi veľkým polomerom. Refrakcia spôsobuje chyby v meraní vodorovných uhlov a dĺžok (bočná refrakcia), v meraní zvislých uhlov, v meraní prevýšení niveláciou a pri vytyčovaní zvislíc optickými prevažovačmi.

Bočná refrakcia vzniká pri meraní vodorovných uhlov v prípadoch, keď zámerná priamka prechádza v blízkosti objektov, ktoré sú ohrievané buď slnečnými lúčmi (steny, stĺpy, skládky materiálov), alebo inými tepelnými zdrojmi (kotly, výmenníky tepla, parovody, teplovody, motory). Vplyv bočnej refrakcie možno znížiť odsadením zámeru od ohrievaného (ochladzovaného) objektu minimálne o 0,5 m. Pri meraniach vykonávaných v priemyselnom prostredí však tieto podmienky nemožno vždy dodržať.

Bočná refrakcia intenzívne ovplyvňuje aj meranie paralaktických uhlov pri meraní dĺžok základnicovou latou. Ak prechádza zámera na jednu z cieľových značiek základnicovej laty blízko niektorého objektu, ktorý je tepelným zdrojom alebo je zohriaty, zmení sa paralaktický uhol δ o chybu z refrakcie $\Delta\delta$ a meraná dĺžka bude buď kratšia alebo sa predĺži (Obr.1.2).



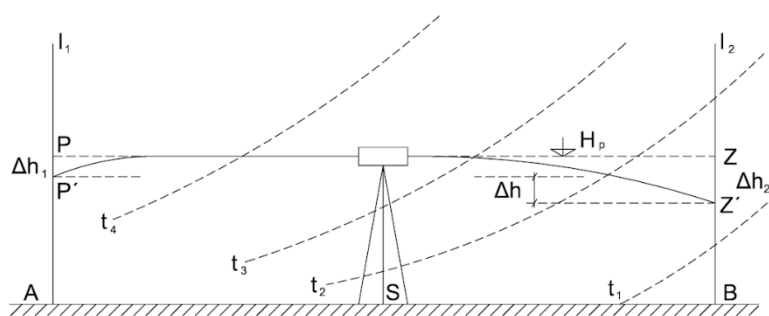
Obr. 1.2. Vplyv bočnej refrakcie na meranie uhlov a dĺžok v priemyselnom prostredí

Geometrickou niveláciou realizované výškové merania bývajú poznamenané, tzv. **diferenčnou nivelačnou refrakciou**, ktorej vplyv pôsobí na merania najmä pri prechode medzi priestormi s rozdielnou teplotou (napr. z voľného priestranstva do uzavretých priestorov). V uvedených prostrediach môžu byť značne rozdielne teplotné gradienty, ktoré spôsobujú rozdielne zakrivenie zámery nazad a zámery napred. Diferenčnú nivelačnú refrakciu Δh vypočítame z rozdielu refrakčných vplyvov pôsobiacich na zámeru nazad a napred podľa vzťahu (Obr. 1.3):

$$\Delta h = \Delta h_2 - \Delta h_1, \quad (1-1)$$

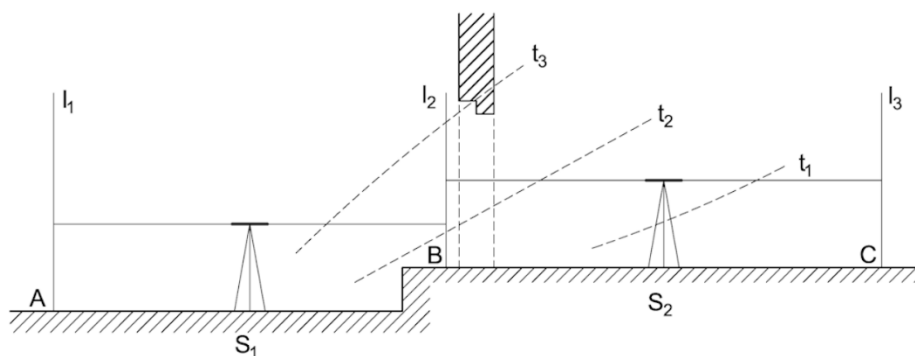
kde Δh_1 je chyba v určení latového úseku spôsobená refrakciou pri zámere nazad,

Δh_2 je chyba v určení latového úseku spôsobená refrakciou pri zámere napred.



Obr. 1.3. Vplyv diferencnej nivelačnej refrakcie na merané prevýšenie

Diferenčná refrakcia je nebezpečná systematická chyba, ktorá zostáva často „nespozorovaná“ a neprejaví sa v rozdieloch meraní tam a späť, ani v uzáveroch nivelačných ťahov, ak boli opakované merania realizované pri približne rovnakých podmienkach. Najčastejšie sa prejavuje v miestach prechodu z voľného priestranstva do uzavretých priestorov. Jej následkom čelíme výrazným skracovaním zámer v uvedených miestach a ďalej tým, že do miesta prechodu teplôt staviame vždy nivelačnú latu, nikdy nie nivelačný prístroj (Obr. 1.4).



Obr. 1.4. Správny spôsob postavenia nivelačného prístroja a lát pri prechode medzi priestormi s rozdielnou teplotou prostredia

Vplyv teploty prostredia sa prejavuje najmä pri meraní dĺžok meradlami (napr. oceľovým pásmom). Najčastejšou chybou je zanedbanie alebo nesprávne určenie teploty meradla, ktoré sa počas merania mení práve vplyvom prostredia. Odchýlka teploty meradla, alebo meranej súčasti od nominálnej hodnoty teploty sa obvykle prejavuje systematickou chybou vo výsledku merania, kým zmeny teploty v priebehu merania spôsobujú chyby, ktoré majú náhodný charakter. Chyba z vplyvu teploty prostredia rastie s meranou dĺžkou a pri rozmeroch meraného objektu väčších ako 100 m predstavuje väčšinou rozhodujúcu zložku chýb merania.

Systematická zložka chýb z teplotnej rozťažnosti sa odstraňuje (minimalizuje) meraním teploty meradla počas merania a nasledujúcim zavedením opráv z rozdielu medzi aktuálnou a nominálnou teplotou meradla. Nominálnou hodnotou teploty meradla sa rozumie teplota udávaná výrobcom meradla, pri ktorej bol určený rozmer meradla. Obvykle sa vyžaduje, aby bola pri tejto teplote vykonávaná komparácia a kalibrácia meradla. Oprava dĺžky zo zmeny teploty meradla sa v technickej praxi určuje podľa vzťahu:

$$\Delta d = d(t - t_0) \alpha, \quad (1-2)$$

kde d je meraná dĺžka (m),

t je teplota pásma pri meraní ($^{\circ}\text{C}$),

t_0 je teplota pásma pri komparácii ($^{\circ}\text{C}$),

α je koeficient rozťažnosti materiálu meradla (pre oceľ $\alpha = 11$ až $14 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Pre väčšinu praktických úloh postačí vedieť, že pri zmene teploty $\Delta t = (t - t_0)$ o $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sa zmení dĺžka 20 metrového oceľového pásma o 1,2 mm. Ak je potrebné určiť presnosť stanovenia teplotného rozdielu $\Delta t = (t - t_0)$, potom diferencovaním rovnice (1-2) a prechodom na stredné chyby (podľa zákona o hromadení stredných chýb) bude platiť:

$$\sigma_{\Delta d} = \frac{\sigma_d}{d} \alpha. \quad (1-3)$$

Pri veľmi presných meraniach sa chyby z teploty určujú veľmi náročne, pretože okrem veľkosti meraného rozmeru a tepelnej rozťažnosti meradla i jeho teploty závisia taktiež od

teploty a tepelnej rozťažnosti meraného objektu. Teplota objektov sa spravidla zisťuje (meria) pomocou kontaktných teplomerov alebo teplomerov pracujúcich na princípe termovízie.

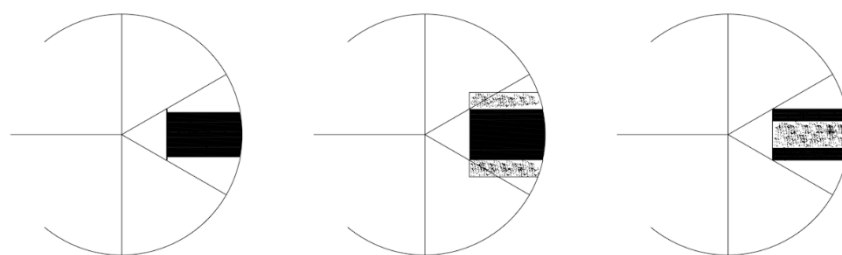
Osobitné postavenie medzi vplyvmi prostredia na meranie v priemysle má chvenie. **Chvenie** podlahy, či pôdy vzniká v miestach blízkyh pohybujuúcim sa dopravným prostriedkom. Ak prechádza počas merania okolo stanoviska nivelačného prístroja ťažké nákladné auto, je potrebné na chvíľu prerušiť meranie, pretože následkom otrasov sa rozochveje nivelačný prístroj a obraz laty sa v zornom poli rozkmitá. Tým je znemožnené zacielenie klina zámerného kríža na dielik nivelačnej laty, resp. vyhodnotenie latového úseku na kódových nivelačných latách.

Chvenie spôsobené pohybujuúcimi sa zdrojmi (dopravnými prostriedkami, žeriavmi) je dočasné a po ich prechode, resp. zániku možno pokračovať v meraní. Iná situácia nastane, ak je **zdroj chvenia statický** a nepretržite vyvoláva vibrácie. Chvenie tohto druhu vyvolávajú napríklad turbogenerátory, čerpadlá, napájacie agregáty, ventilátory, mlyny, kompresory a mnoho iných zariadení poháňaných elektromotorom, či naftovými motormi. Nivelácia v takomto prostredí je značne náročná a jej presnosť závisí od intenzity chvenia.

Pri nivelácii s libelovým prístrojom sa v takomto prostredí spolu s prístrojom rozkmitá nivelačná libela. Rozkmitanie sa prejavuje chvením bubliny v priečnom, niekedy aj v pozdĺžnom smere a jej kontúry sú roztrásené a menej zreteľné. Aj napriek tomu možno libelu dobre urovnať a tým aj merať.

Pri nivelácii s kompenzátorovým prístrojom vznikne nová situácia. Spolu so statívom sa v dôsledku rezonancie rozkmitá aj kompenzátor, čo sa prejaví kmitaním obrazu laty, resp. dielikov na late (Obr. 1.5). Toto kmitanie obrazu je pri kompenzátorovom prístroji mnohonásobne väčšie než pri libelovom nivelačnom prístroji. Vplyv chvenia možno znížiť:

- vyhľadáním takého miesta na podlahe objektu, kde sa chvenie prejavuje najmenej,
- postavením nivelačného prístroja čo najnižšie (nohy statívu široko rozovrieme),
- skrátením zámer,
- ľahkým priložením dlane na hlavu statívu, resp. na prístroj počas merania.



Obr. 1.5. Prejav chvenia na dielikoch nivelačnej laty (obraz v zornom poli nivelačného prístroja)

1.2 Bezpečnosť pri práci a jej vplyv na merania

Geodetické práce v priemysle sa spravidla vykonávajú v podmienkach nepretržitej prevádzky medzi rôznymi technologickými zariadeniami a strojmi. Merania sú často sťažené

pohybujúcimi sa koľajovými a inými vozidlami, žeriavmi prenášajúcimi bremená a pohybujúcimi sa technologickými celkami výrobných liniek. Ku skutočnostiam, takisto sťažujúcim merania, patria ďalej aj špecifické prevádzkové obmedzenia, ktoré neumožňujú vykonanie meraní podľa obvyklých zvyklostí a postupov (bezpečnostné riziká obmedzujúce pohyb meracieho personálu, obmedzené možnosti voľby stanovísk prístroja, časové obmedzenia a pod.). V takýchto podmienkach je dôležité a potrebné zachovávať, resp. dodržiavať bezpečnostné pravidlá, ktoré sú jednak všeobecného charakteru a jednak sú pre určitú prevádzku špecifické.

Vedúci meračskej skupiny je zodpovedný za ochranu zdravia a bezpečnosť pri práci sám za seba a navyše i za všetkých pracovníkov skupiny. Preto musí dbať na dodržiavanie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci, ako aj pokynov konkrétneho pracoviska (prevádzky) a s nimi oboznámiť podriadených pracovníkov.

Pri vstupe do priemyselného závodu je bezpodmienečne potrebné navštíviť bezpečnostného technika závodu, ktorý všetkých oboznámi a poučí o pravidlách na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci v závode. O priebehu **školenia**, či inštruktáže sa vyhotoví protokol, ktorý každý účastník podpíše.

V každom závode sa vyžaduje, aby pracovníci boli poučení a používali **bezpečnostné a ochranné pomôcky**. Hlavne treba dbať na vhodné oblečenie, pevnú obuv (nekĺzavú), reflexné prvky na oblečení a ochranné prilby. Ak je prostredie prašné, odporúča sa používanie respirátorov. Pri práci v tme musí mať každý pracovník vreckovú baterku, prípadne ochrannú prilbu so svetlom. Na niektorých pracoviskách musí byť meračská skupina vybavená príručnou lekárničkou. V chemických prevádzkach a vo výbušnom prostredí platia osobitné zásady a bezpečnostné opatrenia. Pri vstupe na pracoviská takéhoto charakteru sa vyžaduje absolvovanie osobitného bezpečnostného školenia a používanie ochranných pomôcok a odevu s antistatickou úpravou. Môže sa vyžadovať potvrdenie o používaných prístrojoch a pomôckach o tom, že sú vhodné na používanie vo výbušnom prostredí.

Na **práce vo výškach** musia mať pracovníci súhlas od svojho lekára a absolvované osobitné bezpečnostné školenie so špeciálnym obsahom. Pri práci vo výškach musia byť pracovníci, ktorí sa tam pohybujú, vybavení ochranným pásom, ktorým sa pripútavajú. Za ich bezpečnosť zodpovedá vedúci meračskej skupiny aj v prípade, ak on sám sa vo výškach nepohybuje.

V prostredí so **zvýšenou úrovňou hluku** je potrebné používať chrániče (tmiče) proti hluku, čo ale býva prekážkou pri dorozumievaní medzi meračom a zapisovateľom i na bezprostrednú vzdialenosť. Pri práci s laserom je potrebné používať ochranné okuliare a dbať na dodržiavanie špeciálnych predpisov.

Nebezpečie úrazov vo vnútri podnikov, závodov i prevádzkových budov **hrozí od vnútropodnikovej dopravy**. Hlavne v starších závodoch, ktoré trpia nedostatkom priestoru, je meranie z dôvodu dopravného ruchu veľmi sťažené, ak nie znemožnené. Táto okolnosť má značný vplyv na pracovný postup, na použité metódy merania a na voľbu meračských prístrojov. Prítom sa v predmetných prevádzkach nepohybujú len vozidlá cestnej dopravy,

nákladné a osobné autá, traktory, ale aj akumulátorové vozíky a vleky, pásové vozidlá, pojazdné i otočné žeriavy, drapáky a pod.

Sústavnú pozornosť je potrebné venovať **ochrane pred úrazmi elektrickým prúdom**. Pri vytyčovaní i kontrolnom meraní sa merač aj jeho pomocníci často musia pohybovať v priestoroch s elektrickými zariadeniami. V takýchto prípadoch je potrebné dbať na poučenie všetkých pracovníkov a ich oboznámenie s obmedzeniami, ochrannými pásmami jednotlivých zariadení a o bezprostrednom nebezpečenstve úrazu pri zásahu elektrickým prúdom.

Na základe vyššie uvedených skutočností a v závislosti od charakteru a stupňa ochrany konkrétneho priemyselného objektu je spravidla nevyhnutné absolvovať vopred **školenia** pracovníkov, ktorí budú vykonávať geodetické práce na objektoch konkrétneho priemyselného závodu. Spravidla ide o tieto školenia:

- školenia o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci,
- školenie pre práce vo výškach,
- radiačné školenie,
- psychologické testy.

Po absolvovaní uvedených školení a skúšok uchádzači získajú potvrdenie, alebo certifikát, ktorý ich oprávňuje na výkon prác v konkrétnom prostredí. Tieto certifikáty majú ohraničený čas platnosti, ktorý sa mnohokrát odvíja aj od toho, ako úspešne bola absolvovaná skúška. Vybrané školenia zamerané na špecifiká konkrétneho závodu alebo prevádzky majú platnosť len v danom závode alebo v prevádzke.

Nedodržovanie predpísaných bezpečnostných opatrení a nariadení, hlavne nenosenie predpísaných pracovných prostriedkov často vedie k zrušeniu zmluvy o dielo, resp. zmluvy na výkon konkrétnej geodetickej činnosti. Zhotoviteľ geodetických meraní sa zároveň vystavuje finančným, či iným formám postihu, ktoré môžu viesť až k opatreniam smerujúcim k zákazu vykonávaniu akýchkoľvek činností daného subjektu v závode.

1.3 Požiadavky na presnosť merania v strojárstve

Presnosť v strojárstve možno posudzovať z dvoch rôznych hľadísk. Z hľadiska presnosti vyžadovanej pri montáži a stavbe **strojov a zariadení** a hlavne ich pohyblivých súčastí alebo z hľadiska výroby a montáže **ocelových konštrukcií**.

Požiadavky na presnosť montáže strojov a zariadení sú veľmi vysoké a geodetickými metódami veľmi ťažko dosiahnuteľné. Touto stránkou presnosti sa zaoberá disciplína zvaná „lícovanie“. Každý stroj, resp. strojné zariadenie sa skladá zo súčiastok, ktorých geometrický tvar vyplýva z ich funkcie a ich vzťahov k susedným súčiastkam. Tento tvar je určený ich rozmermi. Súčiastky majú opracované alebo neopracované plochy, z ktorých niektoré sú voľné, t. j. nedotýkajú sa žiadnej inej plochy a niektoré sú združené, t. j. dotýkajú sa plôch susedných súčiastok. **Lícovanie** je všeobecné označenie presnosti obrábania a vzájomného vzťahu od seba závislých súčiastok, ktoré sú na seba uložené alebo sú spolu spojené.

Súčiastku predpísaných rozmerov nemožno vyrobiť s absolútnou presnosťou. Jej skutočná veľkosť (výrobný rozmer) sa bude od absolútne správnej veľkosti (základný rozmer), vždy nepatrne líšiť. Aby sa odchýlka základného rozmeru od výrobného rozmeru usmernila a obmedzila vzhľadom na funkciu a použitie danej súčiastky, zavádza sa pojem „tolerancia“.

Tolerancia je číselne vyjadrená dovolená „nekvalita“. Je to rozdiel medzi najväčším a najmenším dovoleným (krajným) rozmerom súčiastky. Ak je súčiastka dobrá, je jej skutočný (výrobný) rozmer v rozsahu tolerancie. Krajné (medzné) rozdiely sa spravidla udávajú číselnou veľkosťou odchýlok od predmetného (základného) rozmeru.

V medzinárodnej sústave noriem na tolerovanie a lícovanie sú určené krajné hodnoty lícovania prevzaté z francúzskeho návrhu. Do sústavy STN ich prijala naša republika v normách STN EN ISO 286-1 a STN EN ISO 8015. Táto sústava noriem bola vypracovaná pôvodne na lícovanie rozmerov do 500 mm, neskôr aj pre rozmery od 500 mm do 10 000 mm. Veľkosť základnej tolerancie sa stanovuje pomocou tolerančnej jednotky

$$I = 0,004 \cdot D + 2,1 (\mu\text{m}), \quad (1-4)$$

kde I je tolerančná jednotka (μm),

D je geometrický priemer príslušného rozsahu (mm).

Kvalitu (presnosť) výroby a montáže ocelových konštrukcií rieši norma STN EN 1090-2+A1 Zhotovovanie ocelových a hliníkových konštrukcií. Časť 2: Technické požiadavky na ocelové konštrukcie (Konsolidovaný text). Norma delí ocelové konštrukcie do štyroch tried zhotovenia. Označujú sa ako EXC1 až EXC4 (z angl. execution classes). Triedy zhotovenia sa môžu vzťahovať na celú konštrukciu alebo len na časť, prípadne detail konštrukcie. Konštrukcia môže zahŕňať niekoľko tried zhotovenia. Jednej, resp. skupine detailov je obvykle prisúdená rovnaká trieda zhotovenia. Ak nie je stanovená trieda zhotovenia, potom sa konštrukcia zaradí do triedy EXC2.

Najvýznamnejšie a najčastejšie sa vyskytujúce meranie v strojárstve je meranie dĺžok. Meranie dĺžkových rozmerov sa z hľadiska posudzovania presnosti rozmerov delí do štyroch skupín:

- 1. Meranie s presnosťou $\pm 0,001$ mm a väčšou.** Na dosiahnutie tejto presnosti sa používajú rôzne mechanické, častejšie optické, pneumatické, elektrické alebo kombinované prístroje. Najpresnejšie optické prístroje na meranie dĺžok sú interferenčné meracie prístroje.
- 2. Meranie s presnosťou $\pm 0,01$ mm.** Na dosiahnutie tejto presnosti sa používajú mikrometrické meracie prístroje, ktorými možno merať celý rozmer. Rovnakú presnosť majú aj číselníkové odchýlkomery (indikátorové hodinky). Tie patria do skupiny porovnávacích (komparačných) meracích prístrojov, lebo udávajú iba rozdiel nameranej veličiny od predom nastavenej hodnoty.
- 3. Meranie s presnosťou $\pm 0,1$ mm** sa realizuje posuvnými meradlami hĺbkomermi a výškomermi. Táto presnosť sa vyžaduje pri menej presných rozmeroch súčiastok.

4. **Meranie s presnosťou $\pm 0,5$ mm** je v strojárstve považované za meranie hrubé. Realizuje sa pomocou tyčových alebo pásových meradiel (pásiem) so stupnicou, delenou na mm alebo 0,5 mm.

Geodetické merania prichádzajú v úvahu pre výkony, resp. úlohy v 4. skupine, 3. skupine a niekedy aj v 2. skupine.

2 Kvalitatívne aspekty merania v priemysle

V súčasnosti je úroveň merania, meracích prístrojov a metodológie merania na vysokom stupni vývoja, práve v dôsledku intenzívneho výskumu v oblasti vývoja snímačov (senzorov) a meracích systémov. Oblasť priemyselného merania je integrálna súčasť tohto procesu, nevynímajúc geodetické merania vykonávané v priemyselnom prostredí. Kvalita merania je vo všeobecnosti spájaná s používaním moderných, kvalitných a overených meradiel (meracích systémov) v procese merania, aplikáciou optimálnych metód a vysokou presnosťou určenia výsledku. Dnes sa takisto považuje za samozrejmosť vysoká miera štandardizácie v oblasti merania, používanie jednotnej sústavy jednotiek takmer na celom svete a takmer jednotné (unifikované) používanie desatinnej sústavy. Cesta k tejto vysokej miere štandardizácie prostredia merania však bola náročná a nie vždy ľahká.

Historický vývoj v oblasti merania v minulosti intonoval najmä otázku definície a štandardizácie mier. Prvý krok na tejto ceste bolo prijatie dokumentu „**Magna charta libertatum**“ v r. 1215 v Anglicku, ktorým sa okrem iného zaviedla pre Anglicko jednotka dĺžky – **yard**. Významný míľnik smerujúci k dnešnej sústave jednotiek bolo jednak rozšírenie **desiatkovej číselnej sústavy** do Európy, ako aj zavedenie **desatinnej metrickej sústavy** na území dnešných štátov Francúzska, Holandska a Belgicka v roku 1795. Základom tejto sústavy sa stala jednotka **1 meter**, v tom čase definovaný ako 1/10 000 000 štvrtiny kvadrantu poludníka Zeme. Súčasne bola tým istým dokumentom zavedená jednotka hmotnosti **1 kg**, ako hmotnosť vody o objeme 1 dm³ pri jej najväčšej hustote, t. j. teplote pri 3,98 °C.

Inštitucionálnym zakotvením procesu postupnej štandardizácie a zavádzania jednotiek bolo podpísanie Metrickej konvencie 18 štátmi sveta (Argentína, Belgicko, Brazília, Dánsko, Francúzsko, Nemecko, Nórsko, Peru, Portugalsko, Rakúsko-Uhorsko, Rusko, Španielsko, Švajčiarsko, Taliansko, Turecko, USA a Venezuela), ktorou sa zriadil **Medzinárodný úrad pre váhy a miery (Bureau International des Poids et Mesures – BIPM)** so sídlom v Paríži. Jej vznik znamená nielen výrazný kvalitatívny posun v oblasti štandardizácie mier ale je prvá inštitúcia reprezentujúca metrologické činnosti na medzinárodnej úrovni.

2.1 Definície a súvisiaca terminológia

Meranie je proces, výsledkom ktorého je hodnota meranej veličiny. Existuje viacero užšie alebo širšie koncipovaných definícií pojmu meranie. Podľa spôsobu určenia meranej veličiny rozlišujeme medzi **priamymi a nepriamymi metódami merania**. Pri nepriamych metódach merania sa získava hodnota meranej veličiny meraním iných veličín, ktoré sú vo funkčnom vzťahu s meranou veličinou.

Metódy merania opisujú fyzikálne princípy merania príslušnej veličiny, ako aj metódy merania pri skúšaní, prípadne overovaní.

Metrológia je definovaná ako súbor činností a vedomostí, ktoré súvisia s meraním. Zahŕňa teoretické a praktické aspekty vzťahujúce sa na meranie bez ohľadu na ich úroveň

presnosti, ako aj vedný, prípadne technický odbor. Metrologia sa delí obvykle na **teoretickú** (teória merania), **legálnu** (súvisiacu s právnymi predpismi, normami a inými technickými predpismi metrologického charakteru) a **praktickú** (súvisiacu s problematikou bežných meraní v praxi). Takáto kategorizácia je konvenčná a slúži len na detailné rozlíšenie metrologickej problematiky. Metrologia je definovaná týmito základnými subjektami a činnosťami súvisiacimi s meraním:

- meracími jednotkami fyzikálnych a technických veličín,
- meradlami,
- metódami merania,
- subjektmi merania,
- meraním a stanovovaním základných fyzikálnych konštánt.

Subjektmi merania sú pracovníci pôsobiaci v oblasti metrologie, ktorí manipulujú s meradlami, vyhodnocujú výsledky meraní a priebežne zabezpečujú, prípadne si zvyšujú odbornú kvalifikáciu.

Veličina je vlastnosť javu, telesa alebo látky, ktorú možno kvalitatívne rozlíšiť a kvantitatívne určiť. Termín veličina sa môže vzťahovať na veličinu vo všeobecnom zmysle, alebo na špecifickú veličinu. Veličinami vo všeobecnom zmysle sú napríklad dĺžka, čas, hmotnosť, teplota, alebo elektrický odpor. Špecifické (konkrétne) veličiny sú – dĺžka určitej tyče, plošný obsah pozemku, teplota roztoku a pod.

Základná meracia jednotka je meracia jednotka základnej veličiny v danej sústave veličín. V každej koherentnej sústave jednotiek je len jedna základná jednotka pre každú základnú veličinu. Súbor siedmich meracích jednotiek (pre veličiny: dĺžka, hmotnosť, čas, elektrický prúd, termodynamická teplota, látkové množstvo a svietivosť) tvorí základ **Medzinárodnej sústavy jednotiek SI** (Système International d'Unités). Doplnkové veličiny sú radián a steradián. V súčasnosti platné definície základných jednotiek sústavy SI uvádza príloha č. 1-1. Meracie jednotky sú na Slovensku v súčasnosti stanovené štátnou normou a vychádzajú z medzinárodnej sústavy jednotiek SI.

Etalón je zhmotnená miera, merací prístroj, referenčný materiál, alebo merací systém určený na definovanie, realizovanie, uchovávanie alebo reprodukovanie jednotky, jednej alebo viacerých hodnôt veličiny. Súbor zhmotnených mier alebo meracích prístrojov, ktoré tvoria etalón, sa nazýva „skupinový“ etalón. Etalóny sa ďalej podrobnejšie klasifikujú podľa rôznych znakov: napr. etalón medzinárodný, štátny, primárny, pracovný a pod.

Nadväznosť je vlastnosť výsledku merania alebo hodnoty etalónu, ktoré majú vzťah k určeným referenčným etalónom – štátnym (národným) alebo medzinárodným etalónom, prostredníctvom nepretrhovaného reťazca porovnaní s určenými neistotami. Nepretrhovaný reťazec porovnaní (kalibrácie) sa nazýva reťazcom nadväznosti. Tento pojem sa často spresňuje prívlastkom „nadväzný“. Nadväznosť (a jej preukázanie) je dôležitý atribút správneho merania.

Pravá (skutočná) hodnota veličiny je hodnota zhodná s definíciou konkrétnej veličiny. Ide o hodnotu, ktorá by sa dala získať „dokonalým“ meraním. Zo svojej podstaty je nezistiteľná. Uvedená hodnota je prakticky nahraditeľná, tzv. „**konvenčnou hodnotou veličiny**“ alebo „**najpravdepodobnejšou hodnotou**“ (zaužívané v matematickej štatistike). Túto hodnotu možno získať meraním, pri ktorom sa zabezpečí maximálne možné vylúčenie systematických chýb v procese merania. Na určenie konvenčnej hodnoty veličiny sa často aplikuje princíp opakovaných meraní.

Meradlo je zariadenie určené na meranie samotné alebo v spojení s inými zariadeniami. Meradlo zahrňuje termíny „**materializovaná miera**“ a „**merací prístroj**“. Meradlo je napr. nivelačná lata, diaľkometer, teodolit, meracie pásmo, nie však nivelačný prístroj bez laty alebo palivomer v automobile. Meradlá sa obvykle delia na miery a meracie prístroje. Rozhodujúcimi činiteľmi presnosti každého merania sú **meracie stupnice prístrojov**, pretože prostredníctvom nich sa odvodzujú rozmery všetkých predmetov merania. Čím vyššie sú požiadavky na presnosť merania, tým dôkladnejšie treba poznať sprostredkujúce hodnoty, čítané na stupniciach použitých meradiel a tým spoľahlivejšie treba overovať tieto meradlá. Pri meradlách je dôležité zabezpečiť ich jednotnosť a presnosť, pričom sa vychádza z konštrukčných princípov meradiel a zo schém nadväznosti meradiel. Len tak možno zabezpečiť rovnakú presnosť (homogenitu) v celej škále meraní a len potom možno získané údaje spoľahlivo porovnávať, spájať a správne interpretovať.

Merací rozsah je rozsah, v ktorom meradlo poskytuje výsledok v rámci deklarovaných neistôt. Pri používaní prístrojovej techniky je potrebné mať na zreteli, že **rozlišovacia schopnosť prístrojov nezodpovedá ich skutočnej presnosti**. Pri dlhodobom používaní prístrojov a meradiel je potrebné pamätať na skutočnosť, že **rozmer (hodnota) reálneho meradla a meracieho zariadenia sa časom i podmienkami mení** a presnosť prístrojov udávaná výrobcami je takmer vždy vyššia ako skutočná (dosahovaná) presnosť.

Správnosť meradla je schopnosť meradla poskytovať hodnoty blízke skutočnej hodnote veličiny. Každé správne meradlo poskytuje výsledky, ktoré sú v rámci deklarovaných neistôt.

Chyba údajov meradla je rozdiel medzi údajom meradla a skutočnou hodnotou (konvenčnou hodnotou) meranej veličiny. Pri zhmotnenej miere zodpovedá údaj hodnote, ktorá je na nej vyznačená (nominálna hodnota). Chyba údajov meradla je jedna z najdôležitejších charakteristík meradla. Podľa tejto charakteristiky sa posudzuje meradlo pri skúške, resp. overení (pokiaľ ide o určené meradlo). Chyby údajov meradla sa určujú kalibráciou.

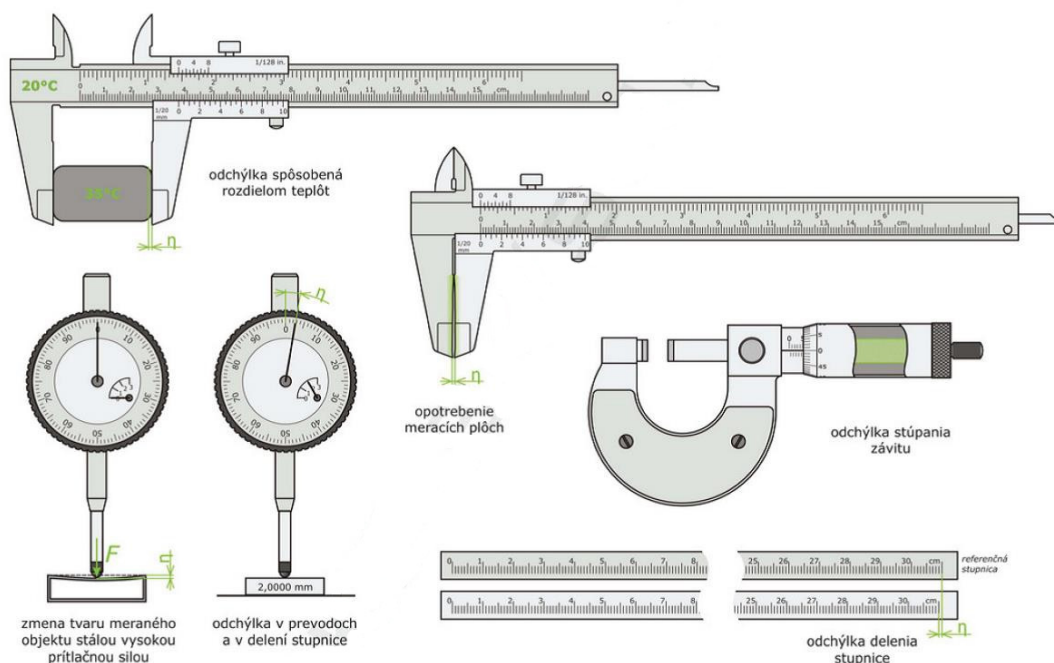
Overovanie je úkon, pri ktorom sa overí presnosť meradla. Overovanie porovnávaním je úkon, pri ktorom sa overuje daná presnosť meradla porovnávaním s meradlom o jeden rád presnejším. Neustále zvyšovanie úrovne mechanizácie, elektronizácie a automatizácie prístrojov a postupov merania smerujú jednak k zvyšovaniu produktivity práce, ale aj ku zvýšeniu kvality produkcie. V oblasti merania tento vývoj prináša postupné zvyšovanie presnosti a kvality výsledkov merania. Z dôvodu zabezpečenia jednotnosti, správnosti

a reprodukovateľnosti merania a jeho výsledku je potrebné vo zvýšenej miere dbať na **permanentné overovanie a kalibráciu meracích prístrojov a zariadení**.

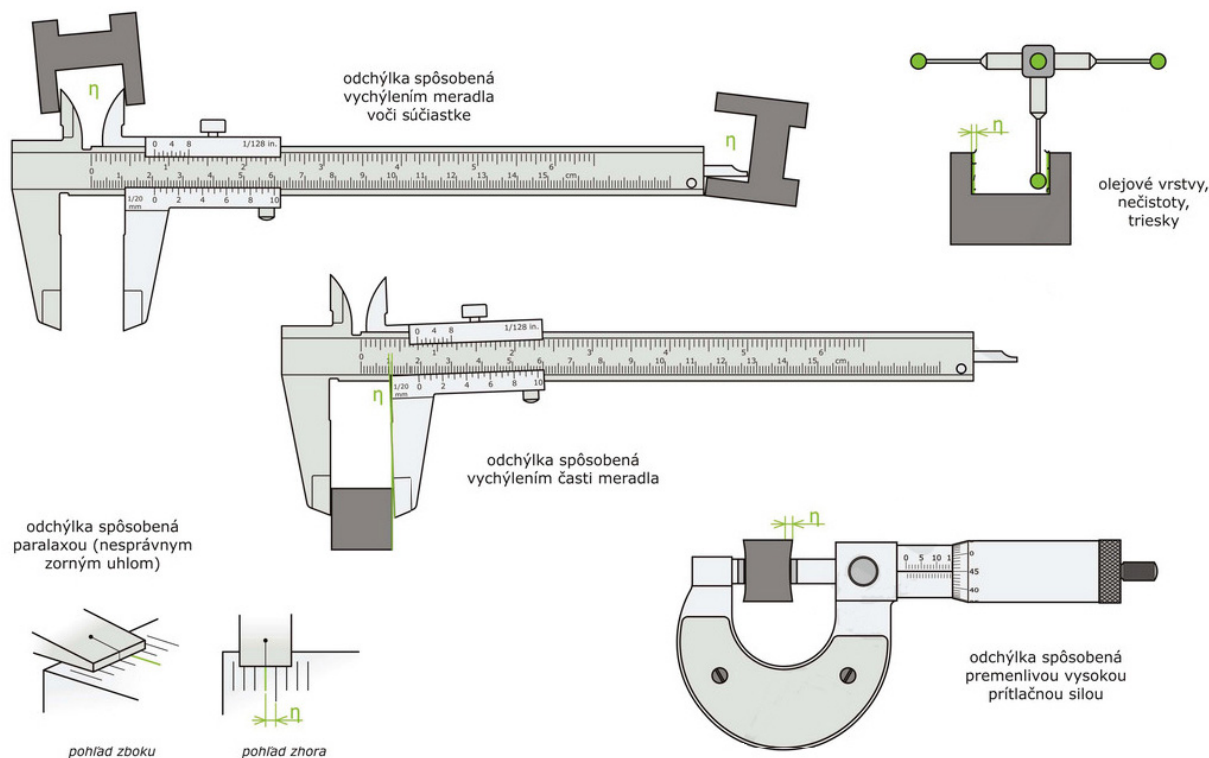
Kalibrácia (kalibrovanie) je súbor úkonov, ktoré pri definovaných podmienkach určujú vzťahy medzi hodnotami indikovanými meradlom alebo meracím systémom, alebo hodnotami reprezentovanými materializovanou mierou alebo referenčným materiálom a zodpovedajúcimi hodnotami veličín, ktoré sú realizované etalónmi. Kalibrácia je fundamentálna metrologická činnosť, je špecifický druhom merania s použitím etalónov. Výsledok kalibrácie dovoľuje buď vyznačiť hodnoty na meradle alebo určiť korekcie k indikáciám meradla. Kalibráciou možno určiť aj iné metrologické vlastnosti, ako je napr. efekt vplyvových veličín. Výsledok kalibrácie sa spravidla zaznamená v certifikáte o kalibrácii (kalibračnom liste). Bez použitia kalibrovaných meradiel nemožno zabezpečiť kvalitu vo výrobe, ani dôveryhodnosť výsledkov meraní. Z metodického hľadiska je dôležité mať k dispozícii postupy (metodiky) kalibrácie pre rozličné druhy pracovných meradiel.

Výsledok merania je hodnota prislúchajúca meranej veličine získaná meraním. Úplný údaj o výsledku merania zahrňuje aj informáciu o neistote merania. Výsledok merania musí vždy obsahovať údaj vo forme násobku číselnej hodnoty a jednotky merania a údaje neistôt. Bez údajov o neistote nie je výsledok merania úplný.

Chyba merania je rozdiel medzi hodnotou veličiny získanej meraním a skutočnou (konvenčnou) hodnotou veličiny. Podľa spôsobu prejavu sa chyby delia na **náhodné**, **systematické** a **hrubé** (omyly).



Obr. 2.1. Výskyt systematických chýb (Kaňuch, 2010)



Obr. 2.2. Výskyt náhodných chýb (Kačuch, 2010)

Neistota merania (neistota výsledku merania) je parameter priradený k výsledkom merania, ktorý charakterizuje rozptyl hodnôt, ktoré sa môžu zdôvodnene priradiť k meranej veličine. Týmto parametrom môže byť napr. výberová smerodajná odchýlka alebo šírka intervalu spoľahlivosti. Neistota merania vo všeobecnosti môže zahrňovať viacero zložiek – neistoty typu A a typu B). V doterajšej geodetickej praxi sa používal pre tento termín ekvivalent „stredná chyba“.

Korekcia je hodnota algebricky pridaná k nekorigovanému výsledku merania, ktorá kompenzuje systematickú chybu. Korekcia je základný údaj rezultujúci z procesu kalibrácie meradla. Rovná sa odhadu systematickej chyby s opačným znamienkom. Na základe korekcií možno eliminovať systematické chyby meradla a tým dosiahnuť správne výsledky merania. Grafické znázornenie korekcií sa nazýva **korekčná krivka**.

2.2 Kvalita merania v priemysle a jej posúdenie

Kvalita merania je rozhodujúci parameter merania realizovaný v priemyselnom prostredí. Oproti metodike zaužíwanej v geodézii, založenej na matematicko-štatistickom hodnotení kvality (presnosti) merania, v oblasti priemyslu je zaužívané hodnotiť kvalitu merania z pohľadu jeho spoľahlivosti. Podľa spôsobu realizácie merania a určenia kvality (presnosti) výsledku sú definované tieto kvalitatívne triedy:

- **trieda C** – najnižšej kvality, keď výsledok merania tvorí iba jedna hodnota bez akýchkoľvek ďalších informácií a doplňujúcich údajov charakterizujúcich jeho kvalitu, takéto meranie sa označuje ako informatívne meranie,

- **trieda B** – výsledok merania obsahuje aj údaj o kvalite (presnosti) merania vo forme krajných hodnôt intervalu, v ktorom sa nachádza skutočná hodnota meranej veličiny. Na určenie veľkosti intervalu sú používané údaje výrobcu, to znamená, že úroveň spoľahlivosti hodnôt vymedzujúcich interval je daná úrovňou „dôvery“ v údaje výrobcu,
- **trieda A** – výsledok merania obsahuje údaj o najpravdepodobnejšej hodnote meranej veličiny a intervalu, v ktorom sa skutočná hodnota veličiny nachádza, vymedzeného charakteristikami reprezentujúcimi štatistickú kvalitu (presnosť) merania.

Osobitná trieda kvality je **trieda AA**, v ktorej sa okrem postupov a podmienok triedy **A** vyžaduje aj poznanie skutočného stavu meradla na základe dokumentov (kalibračné listiny, certifikáty a pod.). Meranie by mala vykonávať kvalifikovaná osoba so skúsenosťami v oblasti merania a metrológie.

Pri meraniach vykonávaných v kvalitatívnych triedach **C** a **B** sa vychádza z predpokladu, že postačuje vykonanie jedného merania pri predchádzajúcej kontrole funkčnosti meradla, jeho všetkých súčastí a pri podmienke priebežného dodržiavania odporúčaní výrobcu počas merania. Merania vykonávané v triede **A** si vyžadujú okrem dodržania postupu a podmienok tried **C** a **B** aj opakovanie merania a určenie výsledku merania využitím matematicko-štatistických metód. Súčasť výsledku merania je charakteristika kvality (presnosti) výsledku merania, odvodená zo štatistického spracovania série opakovaných meraní.

Zaužívaný spôsob pri meraniach v priemysle je hodnotenie kvality merania vyjadrením **neistoty** v určení jeho výsledku. Podľa medzinárodných technických predpisov je neistota definovaná ako nezáporný parameter charakterizujúci rozptyl hodnôt veličiny, resp. ako interval, v ktorom leží správna hodnota (VIM3, STN ISO 3534). Takisto ako interval, ktorého hodnoty sa môžu oprávnenne prisúdiť k meranej veličine. Základná kvantitatívna charakteristika neistoty je štandardná (úplná) neistota

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \quad (2-1)$$

ktorá sa skladá z neistoty:

- **typu A** – získa sa aplikáciou matematicko-štatistických postupov, rastúcim počtom opakovaných meraní vykonaných za rovnakých podmienok ich hodnota klesá,
- **typu B** – získa sa identifikáciou a kvantifikáciou známych zdrojov chýb, obvykle sa pri tom aplikuje zákon o hromadení chýb.

Neistota typu **A** sa obvykle určí zo vzťahu

$$u_A = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}, \quad (2-2)$$

kde $s_{\bar{x}}$ je výberová smerodajná odchýlka série meraní,

s_x je výberová smerodajná odchýlka jednotlivého merania,

n je počet meraní vykonaných za nezmenených podmienok.

Pri určení neistoty typu **B** sa vychádza z identifikácie všetkých možných zdrojov chýb nezahrnutých v neistote typu **A**. Zahŕňajú sa tu informácie a špecifiká uvádzané výrobcom meradla, údaje z certifikačných dokumentov a listín, údaje získané z predchádzajúcich meraní danej veličiny a všeobecné znalosti a skúsenosti o správaní sa materiálov, použitých prístrojov a meradiel. Často sa však využíva aj zjednodušený postup výpočtu neistoty typu **B** využitím krajnej (dovolenej) chyby uvádzanej výrobcom ΔX_{max} v tvare

$$u_B = \frac{\Delta X_{max}}{\sqrt{3}}, \quad (2-3)$$

za predpokladu normálneho rozdelenia pravdepodobnosti.

2.3 Metrologické zabezpečenie meraní v priemysle a geodézii

Rozhodujúci krok pre inštitucionálne zakotvenie procesu štandardizácie a zavádzania základných meracích jednotiek v medzinárodnom meradle bolo zriadenie **Medzinárodného úradu pre váhy a miery (Bureau International des Poids et Mesures – BIPM)** so sídlom v Paríži (Obr. 2.3). Úrad sa stal prvou inštitúciou reprezentujúcou metrologické činnosti na medzinárodnej úrovni. Najvyšší orgán v oblasti medzinárodnej metrológie prijímajúci rozhodnutia zásadného významu je **Generálna konferencia** (valné zhromaždenie) členských štátov BIPM, ktorá sa koná každé štyri roky. Činnosť úradu v čase medzi zasadaniami Generálnej konferencie riadi **Medzinárodný výbor pre váhy a miery (Comité International des Poids et Mesures – CIPM)**.



Obr. 2.3. Logo BIPM (prevzaté z (BIPM, 2016))

Základné poslanie BIPM je koordinácia činností smerujúcich k tvorbe a údržbe jednotného medzinárodného systému merania s cieľom poskytovať presné a porovnateľné výsledky merania. Svoje poslanie BIPM napĺňa prostredníctvom budovania a rozvíjania technickej a organizačnej infraštruktúry pre Medzinárodnú sústavu jednotiek (SI) ako nevyhnutného základu pre preukázateľnosť a porovnateľnosť výsledkov meraní v celosvetovom meradle. Toto realizuje jednak aktivitami technického charakteru ako aj medzinárodnou koordinačnou činnosťou, medzi ktoré patrí:

- definovanie a údržba vhodných referenčných etalónov na realizáciu medzinárodných komparačných meraní najvyššej úrovne,
- koordinácia medzinárodných komparačných meraní využitím národných referenčných etalónov, napĺňanie úlohy koordinujúceho laboratória pre vybrané komparačné merania,
- realizácia vybraných kalibračných činností pre členské štáty,

- poskytovanie technickej a organizačnej podpory činnosti komisií BIPM,
- spájanie a koordinácia činnosti národných a medzinárodných organizácií a inštitúcií,
- poskytovanie informácií vydávaním publikácií, organizovaním seminárov a konferencií pre potreby vedeckej komunity, širšej odbornej verejnosti ako aj praxe v oblasti metrológie.

Napĺňaním poslednej aktivity je aj vydávanie medzinárodného metrologického slovníka, ktorého aktuálna verzia je dostupná pod označením VIM3 (JCGM 200, 2012).

Podmienky metrologického zabezpečenia i akreditácie metrologických laboratórií a činností na Slovensku stanovuje celá skupina legislatívnych dokumentov. Podľa Zákona NR SR č. 142/2000 Z. z. o metrológii a vykonávacích vyhláškach je potrebné zabezpečiť jednotnosť a správnosť merania, metrologickú kontrolu používaných meradiel, podmienky autorizácie a registrácie autorizovaných osôb, laboratórií a meradiel.

Ústredný orgán štátnej správy pre oblasť metrológie v SR je **Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo (ÚNMS) SR**. Jemu podriadené odborné a výkonné orgány štátnej správy sú:

1. **Slovenský metrologický ústav (SMÚ)**, ktorý zabezpečuje a uchováva štátne etalóny a referenčné materiály. Ako hlavný odborný garant vykonáva výskum a vývoj v oblasti metrológie.
2. **Slovenská legálna metrológia, n. o. (SLM)** je organizácia určená úradom na výkon metrologickej kontroly meradiel. Okrem výkonu štátnej metrologickej kontroly meradiel zabezpečuje aj overovanie určených meradiel.
3. **Slovenský metrologický inšpektorát** zabezpečuje štátny metrologický dozor nad meradlami a meraním.

Túto hlavnú skupinu výkonných orgánov dopĺňajú:

4. **Autorizované osoby**, ktoré sú autorizované úradom na výkon overovania určených meradiel alebo úradného merania.
5. **Kalibračné laboratóriá**, ktorými sú organizačné útvary vytvorené v rámci rôznych inštitúcií a organizácií za účelom kalibrácie meradiel. Môžu byť akreditované, nie sú však určené podľa zákona o metrológii na povinnú metrologickú kontrolu.

Z menovaných organizácií má najvýznamnejší dosah na uplatnenie metrologických zásad v praxi v oblasti používania meradiel a normálov, ako aj v oblasti merania SLM, zriadená dňom 1.1.1994 so sídlom v Banskej Bystrici, na základe Zriaďovacej listiny č. 366/93 podpísanej predsedom ÚNMS SR. Hlavná úloha SLM je plnenie funkcie hlavného výkonného orgánu štátnej správy v oblasti metrológie. Túto napĺňa:

- overovanie meradiel podliehajúcich povinnej metrologickej kontrole,
- kalibrácia etalónov a meradiel,
- úradné meranie, výkon služby osobnej dozimetrie,
- výkon odborných technických činností súvisiacich s akreditáciou a autorizáciou,
- školiaca a poradenská činnosť, vzdelávanie metrológov,

- vykonávanie metrologických expertíz pre prax,
- registrácia výrobcov a opravárov meradiel,
- uchovávanie sekundárnych etalónov fyzikálnych a technických jednotiek,
- posudzovanie zhody váh s neautomatickou činnosťou pri ich uvádzaní na trh,
- organizovanie medzilaboratórných porovnávacích meraní v oblasti kalibrácie meradiel,
- meranie a kontrola množstva výrobku v obale spotrebiteľsky balených výrobkov.

Ciele a úlohy metrologického zabezpečenia v oblasti **geodézie a kartografie** zahŕňa koncepčný materiál vypracovaný vždy na aktuálne obdobie ÚGKK SR pod názvom „Koncepcia rozvoja geodetických základov Slovenska“. Aktuálna verzia koncepcie ukladá:

1. zabezpečiť aktualizáciu príslušnej legislatívy,
2. vypracovať projekt rezortného metrologického pracoviska,
3. iniciovať spoluprácu s Úradom pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo SR a SvF STU v Bratislave v oblasti geodetických meradiel a testovacích základníc,
4. iniciovať medzinárodnú spoluprácu v oblasti metrologie, napr. spoločné využívanie základníc s Českou republikou a pod.,
5. zabezpečiť pravidelnú kalibráciu geodetických meracích prístrojov, zariadení a pomôcok v skúšobniach, resp. v akreditovaných laboratóriách,
6. zabezpečiť údržbu a modernizáciu testovacích geodetických základníc:
 - gravimetrická základnica Tatranská Lomnica (Štart) – Gánovce – Bardejov (Snina),
 - nivelačný testovací okruh Modra – Piesok,
 - gravimetrická mikrozákladnica Modra – Piesok (spolupráca s A, H, CZ základnicami),
 - zaoberať sa otázkou vybudovania novej dĺžkovej základnice s cieľom využitia aj pre účely testovania GNSS aparátúr.

V aktualizácii koncepcie geodetických základov sa pre oblasť metrologického zabezpečenia geodetických činností konštatuje, že úlohy v predmetnej oblasti „sú dlhodobo najmenej plnené“. Ako dôvod sa uvádza stále pretrvávajúca „absencia rezortného metrologického pracoviska, absencia metrologického poriadku a personálna absencia metrologického garanta.“ Pravidelná kalibrácia vybraných geodetických prístrojov a pomôcok sa zabezpečuje v Nemecku a v Českej republike. Podľa finančných možností rezortu sa zabezpečuje kalibrácia GNSS antén, gravimetrov a údržba nivelačnej a gravimetrickej základnice.

2.4 Overovanie a testovanie vybraných geodetických prístrojov

Zásadná odlišnosť geodetických prístrojov od väčšiny meracích prístrojov je ich mobilita. Táto výhoda sa z pohľadu zabezpečenia stability (nemennosti) ich kvalitatívnych parametrov (charakteristík) stáva nevýhodou. Geodetické prístroje sa zďaleka nepoužívajú v konštantných (nemenných) laboratórných podmienkach a ich častým prenosom sú vystavené nárazom, otrasom a vibráciám. Pri používaní sú geodetické prístroje takisto vystavené často sa meniacim fyzikálnym podmienkam, čo opäť spôsobuje zmeny v ich vlastnostiach, parametroch a charakteristikách. Overovanie parametrov geodetických prístrojov je preto dôležité nielen

z dôvodu dokumentácie ich aktuálneho stavu, ale má priamy vplyv na kvalitu výsledkov meraní vykonávaných týmito prístrojmi.

Pri overovacích skúškach ide o zisťovanie skutočných charakteristík overovaných prístrojov, o určovanie ich reálnej presnosti, a tým aj presnosti merania.

Geodetické prístroje podliehajú overovacím skúškam ešte v štádiu výroby. Tieto skúšky majú charakter sériových skúšok a majú posúdiť, či technické parametre prístrojov neprekročili výrobné odchýlky. Pri tomto type skúšok sa uprednostňuje ekonomické hľadisko a takto získané charakteristiky môžu mať preto pre užívateľa skôr orientačný význam. O to je dôležitejšie vykonávať overovanie parametrov prístrojov priebežne aj počas ich využívania v teréne. Výsledky priebežne vykonávaných overovacích skúšok majú veľký význam pre poznanie kvality, stability a vlastností používaných prístrojov a pri určení korekcií meraných hodnôt. Sú cennou informáciou pri vývoji nových meračských postupov a metód, pri príprave a realizácii meraní v osobitných podmienkach ako aj pri výskumných prácach.

Výsledkom overovania prístrojov je určenie aktuálnych hodnôt ich parametrov, ktoré charakterizujú momentálny stav prístroja. Odchýlky týchto parametrov od údajov uvádzaných výrobcom znamenajú potrebu rektifikácie prístroja alebo zavádzanie korekcií k hodnotám prístroja pri meraní. Aktuálne hodnoty parametrov prístroja, vrátane zhodnotenia jeho stavu, sú súčasťou protokolu o skúške alebo certifikačnej listiny (Príloha 1-2 až Príloha 1-4). V prípade potreby zavádzania korekcií k údajom prístroja je výsledkom skúšky funkčný vzťah umožňujúci výpočet korekcií pre konkrétnu hodnotu meranej veličiny, alebo tabuľka korekcií uvádzajúca korekcie dostatočnou podrobnosťou vzhľadom na rozlišovaciu schopnosť prístroja.

Vysokú mieru štandardizácie do oblasti overovania prináša séria medzinárodných noriem ISO 17123, z ktorých niektoré boli prevzaté do sústavy STN. Normy upravujú overovanie a skúšanie vybraných geodetických prístrojov:

- ISO 17123-1 Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 1: Theory.
- STN ISO 17123-2 Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 2: Nivelačné prístroje.
- STN ISO 17123-3 Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 3: Teodolity.
- STN ISO 17123-4 Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 4: Elektrooptické diaľkomery (meranie na odrazové hranoly).
- STN ISO 17123-5 Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 5: Univerzálne meracie stanice.
- STN ISO 17123-6 Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 6: Rotačné laserové prístroje.
- STN ISO 17123-7 Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 7: Optické prevažovacie prístroje.

- STN ISO 17123-8 Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 8: GNSS meracie systémy pracujúce kinematickou metódou v reálnom čase.
- ISO 17123-8 Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 9: Terrestrial laser scanners. (pripravovaná)

Predmetné normy obsahujú jednoduché postupy na realizáciu meraní, väčšinou nevyžadujúce zložité a nákladné laboratórne vybavenie. Prinášajú vždy aj metodiku spracovania a vyhodnotenia výsledkov meraní, vrátane ich interpretácie. Normy spracovala komisia TC172 Optika (SC6 Geodetické prístroje) medzinárodnej organizácie ISO.

3 Geodetické siete priemyselných závodov a zariadení

Výstavba rozsiahlejších investičných celkov s veľkým záberom územia a náročným technickým riešením si spravidla vyžaduje vybudovanie samostatných **miestnych geodetických sietí**, ktoré svojou hustotou a presnosťou prevyšujú vybudované štátne geodetické siete. Miestne geodetické siete sa budujú spravidla pre určitú vymedzenú oblasť, na vytýčenie, určenie posunov a pretvorení stavebných objektov alebo konštrukčne náročných inžinierskych diel (diaľnice, tunely, podzemné dopravné zariadenia, elektrárne, veľké priemyselné závody a technologické celky a pod.). Miestne geodetické siete sa vyznačujú vysokou tvarovou tuhosťou a homogenitou v celom svojom rozsahu.

Kritériá, podľa ktorých sa najčastejšie delia miestne geodetické siete, zohľadňujú hlavne účel, rozsah, tvar a hustotu siete a niekedy aj spôsob merania siete. Podľa **účelu** sa členia miestne geodetické siete na:

- mestské,
- líniových stavieb,
- zabezpečenie výstavby, montáže a prevádzky priemyselných a inžinierskych diel.

Podľa **tvaru** sa miestne geodetické siete delia na líniové a plošné. Líniové môžu byť tvorené priamkou, polygónovou štruktúrou, trojuholníkovým alebo štvoruholníkovým reťazcom. Plošné miestne geodetické siete sú tvorené trojuholníkovými alebo štvoruholníkovými štruktúrami, v osobitných prípadoch pravouholníkovými obrazcami.

Podľa **rozsahu** môžu mať miestne geodetické siete veľkosti:

- 5 km až 20 km,
- 0,5 km až 5 km,
- 5 m až 500 m.

Siete zaradené do poslednej kategórie sa nazývajú mikrosiete. Do tejto kategórie patria aj **strojárske mikrosiete**, ktoré svojim rozsahom a dĺžkou strán obvykle neprekračujú interval 5 m až 50 m. Strojárske mikrosiete sa používajú pri meraní, montáži, kontrole alebo rektifikácii strojných zariadení s vysokou presnosťou. Svojimi parametrami umožňujú:

- určovanie priestorových vzťahov strojných zariadení vo všeobecnej polohe,
- použitie analytických riešení v rôznych súradnicových sústavách,
- použitie vyrovnávacieho počtu, resp. teórie spracovania údajov na dosiahnutie optimálnych výsledkov.

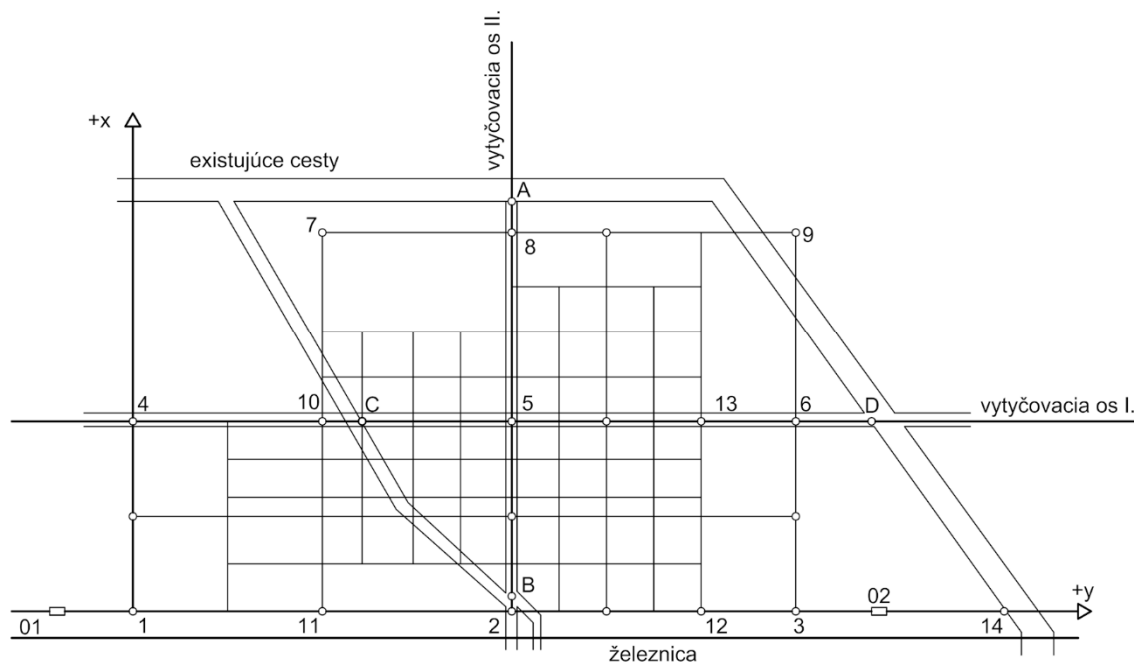
Pri dielenskej montáži rôznorodých technologických zariadení a strojárskejších konštrukcií sa spravidla zisťujú odchýlky príslušných konštrukčných dielcov, ktoré sa odosielajú na montáž ako samostatné celky. Overenie geometrického tvaru dielcov, resp. určenie odchýlok od projektovaného tvaru možno pomerne rýchlo a presne získať

geodetickým meraním priestorovej polohy charakteristických bodov konštrukcie. Takéto meranie vychádza obvykle zo strojárenskej mikrosiete.

3.1 Miestne geodetické siete priemyselných závodov

Miestne geodetické siete priemyselných závodov tvoria osobitnú skupinu geodetických sietí, ktoré sú budované na vytvorenie homogénneho a presného geodetického základu pre všetky činnosti súvisiace s výstavbou a prevádzkou priemyselných závodov, vrátane vytyčovania a kontrolného merania technologických zariadení v závode.

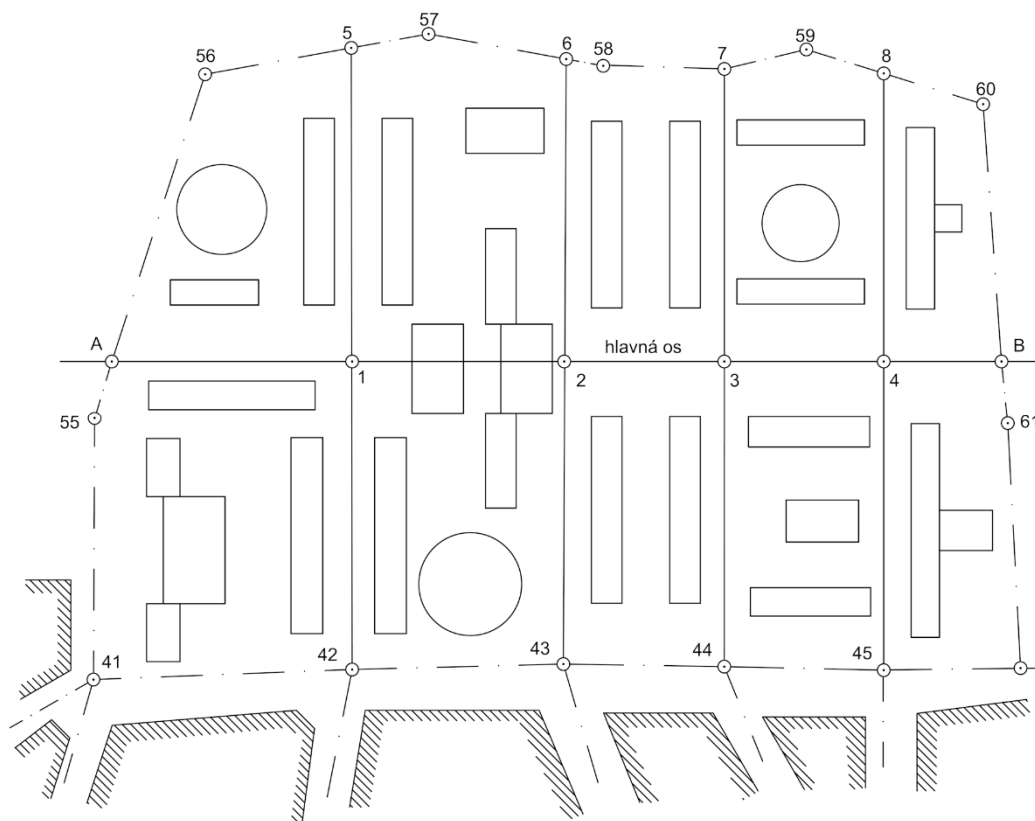
Rozsah geodetických sietí je determinovaný veľkosťou a rozlohou závodu a jeho príslužných, nadväzujúcich častí. V závislosti od druhu výroby a inštalovaných technologických zariadení geodetická sieť závodu pokrýva územie od 1 km² až 20 km². Na pokrytie takéhoto územia so vzájomnou vzdialenosťou susedných bodov v sieti nie väčšou ako 200 m, môže byť potrebný počet bodov viac ako 200. V prípade miestnych sietí závodov sa samostatne buduje časť polohová a výšková sieť.



Obr. 3.1. Geodetická sieť s pravouholníkovou štruktúrou

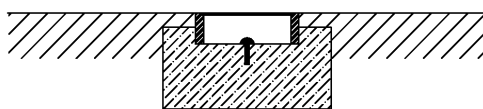
Tvar miestnej geodetickej siete pre **polohové merania** kopíruje tvar územia závodu. Štruktúra siete je podriadená požiadavke vysokej homogenity a presnosti siete a je preto obvykle tvorená trojuholníkovými alebo štvoruholníkovými obrazcami. V oblasti geodetických sietí priemyselných závodov sa v 60. rokoch minulého storočia na území Československa budovali miestne siete s pravouholníkovou štruktúrou (Obr. 3.1). Pri tomto druhu sietí už samotný tvar vnútorných obrazcov vytvára veľmi dobré predpoklady na dosiahnutie vysokej miery homogenity v sieti. Budovanie sietí s pravouholníkovou štruktúrou však bolo determinované najmä z dôvodu zvýšených požiadaviek na ich presnosť a zároveň absencie výkonných elektro-optických dĺžkomerov v čase ich budovania a vytyčovaním jednotlivých

objektov závodu na báze pravouhlých vytyčovacích prvkov. V prípade použitia polygónových štruktúr (na zhusťovanie už vybudovanej štruktúry alebo v okrajových častiach siete) sú tieto časti tvorené dostatočným počtom nadbytočných prvkov (Obr. 3.2).



Obr. 3.2. Doplnenie pravouholníkovej štruktúry po obode

Okrem vysokej miery homogenity sa k výhodám pravouholníkovej štruktúry radí jednoduchá a rýchla obnova bodov siete. K nevýhodám patrí časovo náročné vytyčovanie bodov siete pri budovaní, umiestnenie a stabilizácia bodov v strede križovania komunikácií, čo zvyšuje bezpečnostné riziko pre personál počas meraní. Body sa stabilizujú kľincovými značkami zabudovanými v spevnenom podloží komunikácie (v šachtách) a chránených poklopmi (Obr. 3.3).



Obr. 3.3. Stabilizácia bodu kľincovou značkou v šachte

V minulosti sa v závodoch využívali výlučne klasické (terestrické) metódy na meranie vstupných veličín. V súčasnosti dostupné prístrojové vybavenie umožňuje využitie širšej škály metód, ktorých aplikácia však môže byť limitovaná osobitnými podmienkami priemyselných závodov. Najmä využitie GNSS technológií bude limitované hustotou a priestorovou skladbou objektov, prítomnosťou veľkého množstva oceľových konštrukcií generujúcich odrazy.

Možnosť určenia dĺžok s vysokou relatívnou presnosťou umožňuje zvýšenie celkovej presnosti výsledných parametrov miestnej geodetickej siete. Technológie GNSS sú vhodné na definovanie vzájomného vzťahu miestnej geodetickej siete a bodov štátnych geodetických základov, nachádzajúcich sa v okolí závodu.

Referenčný systém (súradnicový systém) miestnych geodetických sietí v závodoch je odvodený obvykle od hlavných osí závodu, ktoré sú viazané na hlavné osi komunikácií alebo technologických celkov. Využíva sa posunutie osí referenčného systému do takej miery, aby celé územie závodu bolo v jednom kvadrante. Používa sa rovinný, pravotočivý (prípadne ľavotočivý) pravouhlý súradnicový systém často bez definovania polohy referenčnej roviny. Vzhľadom na rozsah územia a vyžadovanú presnosť meraní, však absencia tohto údaju nevytvára problémy pri geodetických činnostiach vykonávaných v rámci závodu. Musí sa však vyriešiť pri definovaní parametrov transformácie medzi miestnym a štátnym súradnicovým systémom.

Na výpočet súradníc bodov miestnej geodetickej siete závodu sa používajú zaužívané postupy matematickej štatistiky a teórie chýb. Meraním úplnej štruktúry siete sa doceli, že do výpočtu vstupuje veľký počet nadbytočných meraní a medzi meraniami sú definované silné väzby reflektujúce určujúce obrazce v sieti. Uvedené skutočnosti spolu s rovnakou kvalitou meraných veličín (rovnaká presnosť merania uhlov a dĺžok) sú garanciou vysokej miery kvality a homogenity parametrov siete. Takáto štruktúra vstupných údajov umožňuje aj dobrú kontrolu systematických vplyvov vo vstupných parametroch a ich účinnú elimináciu počas spracovania.

Vyžadovaná presnosť určenia polohy bodov miestnej geodetickej siete závodu sa odvíja od presnosti vytyčovania stavebných objektov, komunikácií a rozvodov v závode. Najvyššiu presnosť vyžaduje vytyčovanie koľajovej dopravy – železničné vlečky, zoradišťa, váhy a pod., ktorých návrhová rýchlosť však neprekračuje 20 km/h. Zvýšené nároky na presnosť vytýčenia objektov kladie skutočnosť, že medzi objektami priemyselného závodu je často budované mechanizované alebo dopravné spojenie. V takýchto prípadoch je limitujúci faktor pre presnosť vytýčenia namiesto tvaru vzájomná poloha objektov. Požiadavky na vysokú presnosť pri vytyčovaní a kontrolnom meraní technologických celkov riešia referenčné siete malých rozmerov, osobitne a samostatne budované vo vnútri jednotlivých objektov – strojárské mikrosiete (pozri kap. 3.2).

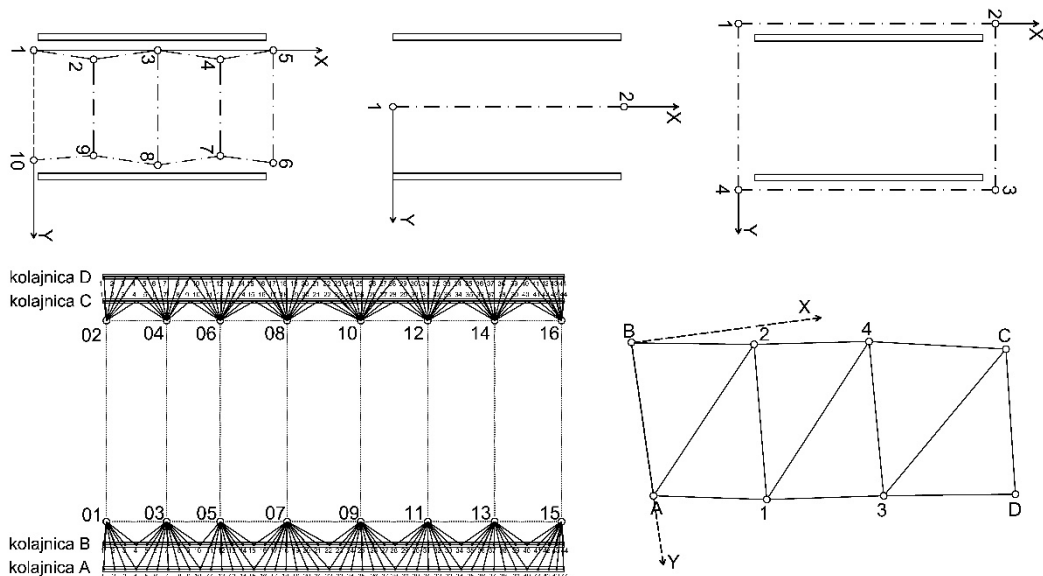
Body miestnych geodetických sietí na **výškové merania** sú väčšinou stabilizované čapovými nivelačnými značkami v základoch stavebných objektov. Voľba výškového referenčného systému závodu je často determinovaná obdobím vzniku závodu a tak sú dnes na území Slovenska stále závody a prevádzky používajúce výškový systém Jadranský. Prevýšenia medzi bodmi sú merané metódou geometrickej nivelácie v uzatvorených alebo vložených nivelačných ťahoch. Na vykonanie meraní v sieti bodov sa využíva prístrojové vybavenie a technologický postup pre veľmi presnú niveláciu. Výšky bodov sa určia aplikáciou metód a postupov matematickej štatistiky a teórie chýb. Štruktúra siete a veľký počet nadbytočných meraní umožňuje účinnú elimináciu systematických vplyvov a dosiahnutie vysokej presnosti výsledných parametrov.

3.2 Geodetické mikrosiete v strojárstve

Geodetické mikrosiete využívané v strojárstve tvoria základ na vytyčovanie technologických celkov a strojných zariadení (valcovacie stolice, rotačné pece, generátory, žeriavové dráhy, a pod.). Strojárske mikrosiete môžu súčasne plniť funkciu vzťahnej siete pri kontrole konštrukcií a zariadení po montáži, po generálnej oprave alebo po rektifikácii ich dielčích prvkov a častí alebo na dlhodobú kontrolu konštrukcie a zariadenia počas prevádzky z preventívnych a bezpečnostných dôvodov. Patria sem siete vysokej presnosti so stranami dĺžky 5 m až 50 m. Malý rozmer a súčasne vysoká vyžadovaná presnosť v určení parametrov siete prináša so sebou viacero špecifík, ktoré je potrebné pri meraní a určení parametrov siete zohľadniť.

Mikrosiete majú byť určené s vyžadovanou presnosťou čo sa týka rozmeru aj tvaru. Vyžadovanú presnosť v určení tvaru možno zabezpečiť prostredníctvom vysokej presnosti merania uhlov, presnosť rozmeru je však funkciou presnosti merania dĺžok v sieti, čo kladie výrazne vyššie nároky na prípravu a realizáciu merania. Z hľadiska presnosti možno mikrosiete deliť do štyroch tried, charakterizovaných strednou chybou merania dĺžok σ_s (Herda, 1968):

- 1. trieda ... 0,001 mm,
- 2. trieda ... 0,01 mm,
- 3. trieda ... 0,1 mm,
- 4. trieda ... 0,5 mm až 1,0 mm.



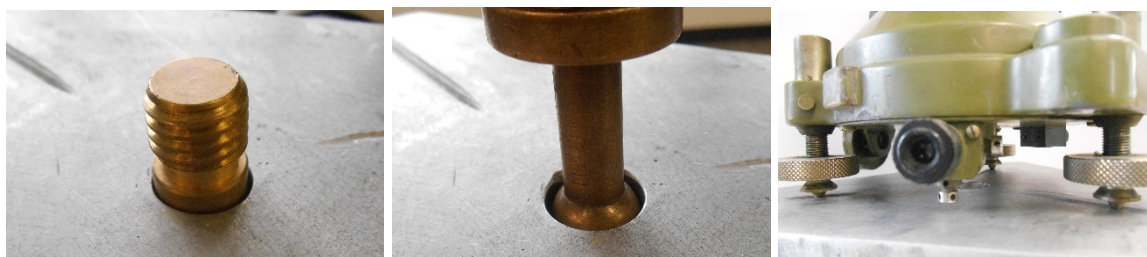
Obr. 3.4. Rôzna štruktúra geodetických mikrosietí

Pre geodetické merania prichádza do úvahy 4. niekedy 3. trieda presnosti. Táto vysoká presnosť si vyžaduje zvláštne opatrenia, hlavne na stabilizáciu bodov mikrosiete a nevyhnutnú závislú alebo nútenú centráciu prístrojov a cieľových značiek.

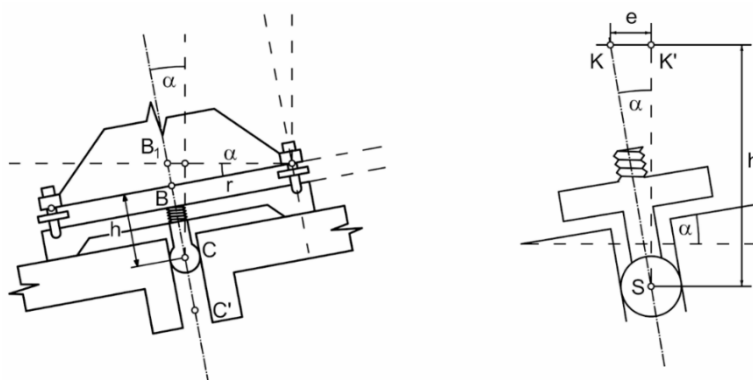
Tvar a konfigurácia mikrosiete sú viazané tvarom a dispozičnými parametrami meraného objektu, či strojárskeho zariadenia. Iný tvar a štruktúru budú mať siete pre vežovité objekty (reaktory, komíny, chladiace veže) ako objekty typu valcovacích a montážnych liniek a opäť iný tvar budú mať siete na meranie žeriavových dráh a podobne (Obr.3.4).

Veľmi vážny problém meraní v mikrosietiach je **centrácia prístroja a cieľovej značky**. Meranie v mikrosieťach s veľmi vysokými požiadavkami na presnosť nie je mysliteľné bez závislej alebo nútenej centrácie prístrojov a cieľových značiek. Závislá centrácia znamená, že sa pri meraní používajú statívy s centračnými podložkami, ktoré sa pred meraním dôsledne centrujú a urovnávajú a počas merania sa ich poloha nemení. Nútenou centráciou sa rozumie vybudovanie meračských pilierov na každom bode mikrosiete, ktoré sú v ich hornej časti opatrené centračnými platňami. Centračné platne sa vybavujú buď:

- otvorom pre centračnú (upevňovaciu) skrutku. (Obr. 3.5a).
- otvorom pre centračnú guľôčku (Obr. 3.5b). Pri použití centračnej guľôčky sa platňa vybaví ryhami na zamedzenie strhávania prístroja pri otáčaní.



Obr. 3.5. Centračné platne (a) otvorom pre centračnú skrutku, (b) s otvorom pre centračnú guľôčku, (c) ryhy pre urovnávacie skrutky



Obr. 3.6. Určenie excentricity spôsobenej sklonom centračnej platne

Centračná platňa musí byť do piliera zabudovaná vodorovne, aby sa mohla zvislá os valcového otvoru stotožniť so zvislou osou teodolitu. Ak sa platňu nepodarí zabudovať vodorovne, vznikne v postavení teodolitu a cieľa **excentricita**, ktorá je tým väčšia, čím je vyššie os ďalekohľadu alebo stred cieľovej značky nad centračnou platňou.




Pri sklone centračnej platne $\alpha = 10'$ a výške osi ďalekohľadu teodolitu nad stredom centračnej guľičky $h = 250 \text{ mm}$ je excentricita spôsobená sklonom platne $e = 0,73 \text{ mm}$, čo je pomerne veľká hodnota vzhľadom na stredné súradnicové chyby bodov mikrosiete. Meraním naklonenia centračnej platne a výpočtom korekcií možno znížiť vplyv excentricity na merania.

Vplyv excentricity cieľa možno znížiť používaním špeciálnych cieľových značiek vyvinutých pre strojárske merania (aplikácie), ktoré sa vyznačujú nižšou výškou nad stabilizáciou bodu a osobitným prípravkom na centráciu cieľovej značky (Obr. 3.6 a Tab 3.1).



Obr. 3.7. Cieľové značky pre strojárske aplikácie (prevzaté z (Leica Geosystems, 2015))

Tabuľka 3.1 Rôzna presnosť centrácie cieľových značiek (Leica Geosystems, 2009)

Typ hranola						
	GPH1P	GPR121	GPR1	Mini GMP101	GRZ122	GMP111
Zhotovenie	kovový	kovový	plastový	kovový	kovový	kovový
Presnosť centrácie	0,3 mm	1,0 mm	2,0 mm	1,0 mm	2,0 mm	2,0 mm

Pri opakovaných meraniach možno vplyv excentricity spôsobenej nevodorovným zabudovaním centračnej platne znížiť rovnakým postavením prístroja a cieľa na každom bode. Nato sa na každom bode označí niektorá poloha prístroja a cieľa tak, aby ich personál pri opakovanom meraní postavil (orientoval) vždy zhodne. V niektorých prípadoch sa vyžaduje aj stavenie prístroja do rovnakej výšky, čo sa docieli buď vyznačením konštantnej výšky (farbou alebo ryskou) na centračnej guľôčke (skrutke) alebo na jednej z urovňavacích skrutiek,

pričom sa prístroj alebo cieľ urovnáva len používaním druhej dvojice urovnávacích skrutiek. Posledný z opísaných spôsobov vyžaduje od obsluhujúceho personálu dostatočnú zručnosť. Excentricita bude mať pri každom meraní rovnakú veľkosť a orientáciu, čo sa pri opakovaných meraniach z výsledku vylúči ako systematický vplyv.

3.3 Meranie uhlov v mikrosieťach

Meranie uhlov patrí medzi významné zložky pri budovaní strojárskych mikrosietí. Je však potrebné prihliadať na niektoré zvláštnosti, ktoré túto činnosť zásadne odlišujú od merania geodetických sietí vo všeobecnosti. V prvom rade ide o to, že zámery v strojárskych mikrosieťach sú **veľmi krátke a sú rôznej dĺžky**. Súčasné UMS majú najmenšiu dĺžku zámery, keď ešte možno zaostriť na cieľ, tzv. **minimálnu zaostrovaciu vzdialenosť** asi 0,5 m (Leica TM6100A). Táto najmenšia dĺžka zámery je pre väčšinu úloh prijateľná. Napriek tomu, pre niektoré špeciálne úlohy je však príliš dlhá a mnohokrát sa vyžaduje jej zníženie na hodnotu 0,5 m. Výrobcovia teodolitov riešia skrátenie zámery prídavnými zariadeniami, čo je prijateľné riešenie.

Rôzne dĺžky zámer v strojárskych mikrosieťach vedú ku stálemu preostrovaniu ďalekohľadu pri cielení. Táto okolnosť spôsobuje, že pri zaostrovaní sa mení poloha zámernej osi ďalekohľadu, čo je spôsobené nedokonalosťou vodiacich líšt (koľajníc) zaostrovacej šošovky. Tejto skutočnosti sa nedá zabrániť, možno jeho vplyv na výsledky meraní len znížiť vhodným usporiadaním merania. Zásadne vykonávame meranie uhlov **v dvoch polohách**, alebo používame metodiku merania uhlov **v rádoch a skupinách**, prípadne **v laboratórnych jednotkách**.

Okrem uvedeného je potrebné dokonale poznať mieru plnenia **osových podmienok** používaných teodolitov a poznať skutočné hodnoty odchýlok osí od správnej polohy. Poznanie skutočných číselných hodnôt odchýlok osových vzťahov umožňuje dodatočné zavedenie opráv pri spracovaní výsledkov meraní. Na meranie v strojárskych mikrosieťach sa používajú vždy prístroje, pri ktorých sú známe odchýlky od správnej polohy jednotlivých osí. Tieto možno určiť buď overovacími meraniami alebo testami v teréne, resp. v laboratóriu.

Za hranicu **najvyššej dosiahnuteľnej presnosti** pri uhlovom meraní sa považuje stredná chyba meraného smeru σ_α 0,1 mgon až 0,3 mgon, ktorá na vzdialenosť 50 m spôsobí odchýlku v priečnom smere veľkosti 0,2 mm (Tab. 3.2). Dosiahnutie najpriaznivejšej strednej chyby meraného smeru závisí nesporne od metodiky merania. Všeobecne možno odporučiť meranie v skupinách alebo v laboratórnych jednotkách. Malo by byť samozrejmé, že sa používajú len overené teodolity a že sa uvážia vplyvy všetkých chýb na výsledky uhlového merania.

Keďže štruktúra mikrosietí je v prevažnej miere trojuholníková, resp. štvoruholníková, je nevyhnutné po skončení merania uhlov vykonať **kontrolu uzáverov a vyrovnanie uhlov** v týchto trojuholníkových a štvoruholníkových obrazcoch, resp. **zavedenie podmienok** do spracovania výsledkov meraní.

Tabuľka 3.2 Odchýlky v priečnom smere podľa presnosti merania smerov

Trieda teodolitu	Stredná chyba smeru [mgon]	Priečna odchýlka pri vzdialenosti		Pomerná chyba
		5 m [mm]	50 m [mm]	
sekundový	0,1 0,3	0,008 0,024	0,078 0,236	1 / 640 000 1 / 210 000

3.4 Meranie dĺžok v mikrosieťach

Vzhľadom na vyžadovanú presnosť určenia dĺžky a osobitné podmienky pri ktorých vykonávame merania, možno merať dĺžky v strojárskych mikrosieťach:

- komparovanými ocelovými pásmami s mm delením,
- invarovými drôťmi,
- paralaktickou metódou,
- elektrooptickými diaľkometermi ($\sigma_d = 0,5$ mm až 1,0 mm),
- interferometrami ($\sigma_d = 0,05$ mm až 0,10 mm),
- nepriamym spôsobom.

Pri nepriamom spôsobe sa hodnota určovanej dĺžky vypočíta pomocou uhlového merania z veľmi presnej krátkej základnice, ktorú môže tvoriť nivelačná alebo základnicová lata.

Meranie dĺžok pásmom v mikrosieťach vyžaduje, aby boli dôsledne dodržané všetky pravidlá geodézie, vyššej geodézie a inžinierskej geodézie na meranie dĺžok. Ďalej je potrebné používať na meranie pásmo a pomocné zariadenia, ktoré umožnia dosiahnutie presnosti 0,1 mm až 0,5 mm. Na meranie sa môže používať pásmo, ktoré vyhovuje sprísneným požiadavkám na kvalitu delenia pásma, ktoré je vyjadrené hodnotou odchýlky 0,6 mm/1 m na ľubovoľnom mieste stupnice. Ak nevyhovujú výrobné odchýlky predmetného pásma vyžadovanej presnosti merania, je potrebné pásmo komparovať a pri meraniach dĺžok zavádzať opravu z komparácie osobitne pre každý meter pásma. Okrem korekcie z nominálnej dĺžky pásma je potrebné uvažovať aj korekciu z teplotnej rozťažnosti pásma. Meranie teploty pásma musí zaručiť presnosť 0,2 °C. Koeficienty tepelnej rozťažnosti pre rôzne druhy materiálov sú tieto:

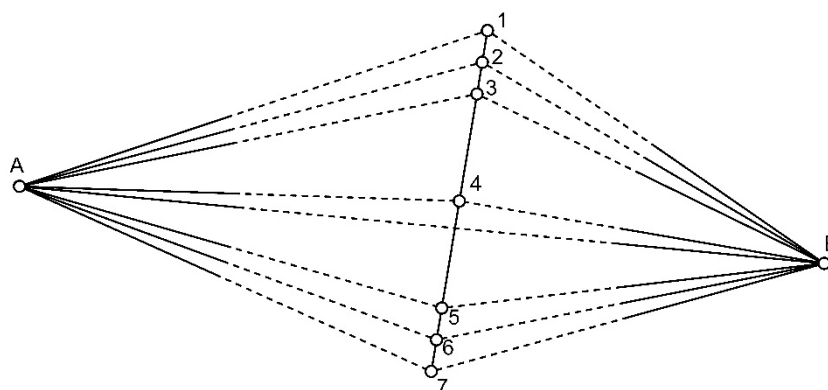
- oceľ $\alpha = (1,0 \text{ až } 1,2) \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,
- nehrdzavejúca oceľ $\alpha = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,
- invar $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

S vyššou presnosťou možno merať dĺžky **invarovými pásmami, resp.** drôťmi, ktoré sú vyrábané z invaru s delením po 100 mm. Každý dielik pásma je vyznačený kruhovým otvorom, do ktorého sa vkladá špeciálne nastavovateľné meradielko o dĺžke 100 mm, vybavené odčítacími mikroskopmi (napr. firmy FENNEL). Použitie odčítacích mikroskopov a napínaných

kladiék pri 20 m pásme umožňuje v laboratórnych podmienkach dosiahnuť strednú chybu dvojice merania 0,02 mm. Pri odčítaní pomocou lupy a napínaní pásma pomocou silomerov sa v priemyselnom prostredí dosiahne stredná chyba 0,1 mm.

Metodika **paralaktického merania dĺžok** je dobre známa. Pri krátkych stranách a osobitnej starostlivosti možno túto metódu použiť pre triedu presnosti 4. prípadne 3. Predpokladom úspešného využitia paralaktického merania dĺžok je, že budú paralaktické uhly merané so strednou chybou $\sigma_{\alpha} \leq 0,2$ mgon, pričom dĺžky meraných strán neprekročia hodnotu 20 m. Strany dlhšie ako 20 m je potrebné rozdeliť na viac úsekov kratších ako 20 m.

Pre paralaktické meranie dĺžok v priemyselnom prostredí a pri zvýšenej požiadavke na presnosť sa používa základnicová lata s viacerými cieľovými znakmi (Obr. 3.8). Použitie tohto typu laty umožňuje určiť meranú dĺžku s nadbytočným počtom meraní a súčasne s výpočtom dĺžky určiť jej excentricitu a uhol natočenia voči meranej dĺžke. Výhodou laty je aj vysoká stabilita vzdialeností medzi cieľovými znakmi z dvoch dôvodov – malej rozťažnosti materiálu, z ktorého je lata vyrobená a z dôvodu že lata nie je skladacia, nemá mechanický spoj, ktorý je zdrojom systematickej zmeny nominálnej dĺžky skladacích základnicových lát.



Obr. 3.8. Základnicová lata (Kopáčik, 1998)

Tabuľka 3.3. Priemyselné UMS a teodolity dostupné na trhu

Označenie	Výrobca	Presnosť meranej dĺžky	Presnosť meraného uhla
Sokkia NET05AX	Sokkia	0,5 mm + 1 ppm	0,15 mgon
Leica TDRA6000	Leica Geosystems	0,5 mm + 1 ppm	0,15 mgon
Leica TM6100A	Leica Geosystems	-	0,15 mgon

Ďalšia možnosť na priame meranie dĺžok je využitie **elektrooptických diaľkometerov** so strednou chybou meranej dĺžky ($\sigma_d = 0,5$ mm až 1,0 mm). Vzhľadom na špecifickú požiadavku je množina diaľkometerov poskytujúcich takúto presnosť merania dĺžky veľmi malá a sú samozrejme cenovo náročné (Tab. 3.3). Už samotní výrobcovia vo svojom portfóliu uvádzajú tento druh meracej techniky s prívlastkom priemyselná a ponúkajú k nej množstvo príslušenstva (prípravky na centráciu cieľových značiek, odrazových hranolov, špeciálne

odrazové fólie, a pod.), ktoré napomáha túto presnosť pri meraní v reálnych podmienkach dosiahnuť.

Tabuľka 3.4. Charakteristiky presnosti vybraných prenosných interferometrov (laser trackery)

Označenie	Výrobca	Presnosť meranej dĺžky	Presnosť meraného uhla
FARO Vantage	FARO	16 μm + 0,8 $\mu\text{m}/\text{m}$	20 μm + 5 $\mu\text{m}/\text{m}$
Leica AT960	Leica Geosystems	0,5 $\mu\text{m}/\text{m}$	15 μm + 6 $\mu\text{m}/\text{m}$
Radian API	Radian	10 μm	3,5 μm

V metrológii sa **prenosné interferometre** (Tab. 3.4) využívajú na overovanie a testovanie parametrov súradnicových meracích strojov a iných zariadení. Využitie interferometrov na priame meranie dĺžok je možné v prípade, že je vyriešené dostredenie interferometra aj odrazových hranolov dostatočnou kvalitou. Použitie interferometrov ponúka najvyššiu presnosť pri priamom meraní dĺžok, problémom však zostáva zabezpečenie stability fyzikálnych parametrov (teplota, vlhkosť a tlak) prostredia. Pri premenlivých fyzikálnych parametroch prostredia dochádza k zníženiu presnosti merania dĺžok až o jeden rád, stále však ostáva na úrovni 0,010 mm.

Nepriame meranie dĺžok spočíva v realizácii uhlového merania v určujúcom obrazci (obvykle Hansenov štvoruholník), v ktorom je jedna zo strán reprezentovaná známou dĺžkou s dostatočnou presnosťou. Na tento účel sa využívajú základnicové laty alebo vybrané úseky medzi dielikmi vodorovne položených nivelačných lát s invarovým pásom, ktorých nominálny rozmer je známy s presnosťou na úrovni 0,010 mm. Z dvojice možných konfigurácií sa častejšie využíva štvoruholník s približne rovnobežnými stranami. Pri presnosti meraných uhlov v obrazci na úrovni 0,1 mgon až 0,3 mgon možno dosiahnuť presnosť meranej dĺžky v sieti na úrovni 0,050 mm.

Pri aplikácii nepriameho merania dĺžok je potrebné pamätať na porušenie zásady „z veľkého do malého“, keď vo veľkej väčšine prípadov je meraná základnica kratšia ako sú strany mikrosiete. Systematickému vplyvu z neistoty dĺžky základnice na určovanú dĺžku, resp. rozmer siete možno predísť jednak dôkladným poznaním nominálnej dĺžky základnice použitej pri meraní (jej komparáciou, meraním teploty), ako aj určením dĺžky viacerých strán v mikrosieti, i keď je to prácnejšie.

3.5 Plánovanie presnosti v mikrosieťach

Ak sú mikrosiete používané na vytyčovanie a kontrolu rozmerov konštrukcie, je potrebné aby boli parametre siete určené aspoň s presnosťou vyžadovanou pre samotnú vytyčovanú konštrukciu. Na splnenie tejto požiadavky je obvykle potrebné merať čo najväčší možný počet strán a uhlov v sieti a parametre siete určiť vyrovnaním. V prípade, že sa sieť využíva len na kontrolu tvaru konštrukcie, ktorá je rozmerovo kontrolovaná samostatne, je postačujúce určiť parametre siete spôsobom garantujúcim jej správny tvar a dlhodobu tvarovú stálosť.

Pretože polohová presnosť bodov siete je aj v tej najnižšej triede presnosti veľmi veľká, musí byť pri plánovaní presnosti prihliadnuté na skutočnosti, ktoré sa pri bežných geodetických prácach vynechávajú (zanedbávajú).

Skutočnosť, ktorú je potrebné zvážiť je napríklad **zbiehavosť tiažnic** bodov siete. Táto zbiehavosť je síce veľmi malá, ale pri práci s presnosťou 3. triedy a pri dlhších vzdialenostiach je merateľná. Napríklad zbiehavosť ťažníc dvoch bodov vzdialených od seba o $d = 50$ m bude daná vzťahom:

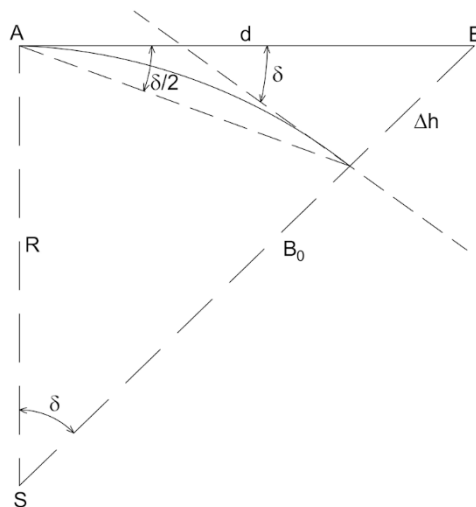
$$\delta = \frac{\zeta \cdot d}{R} = 1,6'' = 0,5 \text{ mgon} \quad (3-1)$$

kde R je stredný polomer Zeme $R = 6380$ km.

Rozdiel medzi zdanlivým horizontom a skutočným horizontom Δh sa určí zo vzťahu (Obr. 3.10):

$$\Delta h = d \cdot \text{tg} \frac{\delta}{2} \cong \frac{d^2}{2R} \quad (3-2)$$

Pre $d = 50$ m, $R = 6380$ km nadobúda Δh hodnotu 0,2 mm.



Obr. 3.10. Vplyv zdanlivého horizontu na merania

Na rozbor presnosti pred meraním sa využívajú postupy známe z matematickej štatistiky a teórie chýb. Vychádza sa z apriórnych charakteristík presnosti použitého prístrojového vybavenia. Napríklad pri použití teodolitu Zeiss Theo 010A, resp. B bude stredná chyba zo zacielenia $\sigma_c = 0,6$ mgon, odčítania $\sigma_o = 0,4$ mgon a urovnania kompenzátora $\sigma_i = 0,1$ mgon. Pri aplikácii závislej alebo nútenej centrácie prístrojov a cieľových značiek, vplyvy excentricity sa vyčíslia podľa vzťahov uvedených vyššie. Vychádzajúc zo stredných chýb sa určí počet opakovaní merania. Stredná chyba smeru meraného v „ n “ skupinách je daná vzťahom:

$$\sigma_{\alpha_{nsk}} = \sqrt{\frac{\sigma_c^2 + \sigma_o^2}{2n}}. \quad (3-3)$$

Stredná chyba zenitového uhla meraného v „n“ skupinách je daná vzťahom:

$$\sigma_{\zeta_{nsk}} = \sqrt{\frac{\sigma_c^2 + \sigma_o^2 + \sigma_i^2}{2n}}. \quad (3-4)$$

Veľkosť strednej chyby paralaktického uhla meraného v jednej polovičnej laboratórnej jednotke sa udáva hodnotou $\sigma_\delta = 0,4$ mgon. Stredná chyba dĺžky určenej paralakticky so základnicovou latou ($l = 2$ m) meraná v „n“ polovičných laboratórnych jednotkách je daná vzťahom:

$$\sigma_d = \frac{\sigma_\delta \cdot d^2}{l \cdot \zeta \cdot \sqrt{n}}. \quad (3-5)$$

Po vykonaní meraní v mikrosieti je potrebné skontrolovať, či meranie bolo uskutočnené s predpokladanou strednou chybou. Meranie smerov možno kontrolovať (pri väčšom počte skupín) výpočtom výberovej strednej chyby smeru na stanovisku

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{\sum v_\alpha v_\alpha}{n(n-1)(s-1)}}, \quad (3-6)$$

kde n je počet skupín, s je počet smerov. Ďalšou možnosťou je zostavenie všetkých trojuholníkových uzáverov, ktoré testujeme krajným uzáverom

$$U_{kr} = \sigma_{kr} t_\alpha \sqrt{s}, \quad \text{kde} \quad t_\alpha = 2 \quad (3-7)$$

Z uzáverov je možné potom vypočítať výberovú strednú chybu smeru (kde n je počet trojuholníkov).

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{\sum UU}{6n}}, \quad (3-8)$$

Zenitové uhly možno testovať pomocou uzáverov vypočítaných z prevýšení. Pre každý trojuholník (prípadne akýkoľvek uzavretý obrazec) vypočítame sa vypočíta výškový uzáver a k nemu krajný uzáver zo vzťahu:

$$U_h = d_{i,j} \cdot \cotg \zeta_{i,j}' + d_{j,k} \cdot \cotg \zeta_{j,k}' + d_{i,k} \cdot \cotg \zeta_{i,k}'. \quad (3-9)$$

4 Meranie geometrických parametrov technologických zariadení

Pri vytyčovaní a kontrolnom meraní geometrických parametrov rôznorodých technologických zariadení v priemyselnom prostredí nie je vždy možné využiť dostupnú geodetickú techniku, či už z dôvodu vysokej vyžadovanej presnosti alebo z dôvodu neprístupnosti meraných prvkov pre geodetickú techniku. V takýchto prípadoch je potom nevyhnutné použiť meraciu techniku, resp. pomôcky a prístroje, ktoré spĺňajú vyžadované kritériá presnosti obvykle na úrovni 0,01 mm až 0,001 mm. Sú to prevažne **mikrometrické, elektronické a optoelektronické prístroje, meracie zariadenia a meracie systémy**, vyvinuté špeciálne na kontrolu geometrických parametrov jednotlivých súčastí strojárskych technologických zariadení.

4.1 Klasifikácia metód

Metódy na meranie geometrických parametrov v priemysle (strojárstve) môžeme deliť podľa vzťahu meranej veličiny ku kontrolovaným geometrickým parametrom na:

- metódy priame,
- metódy nepriame.

Pri priamej metóde je hľadaný rozmer určený vhodným meradlom priamo, či už plnou hodnotou alebo odchýlkou od nejakej pevnej hodnoty, napr. meranie priemeru posuvným meradlom, mikrometrom a pod.

Pri nepriamej metóde je meradlom určený iný rozmer, ako je kontrolovaný rozmer, z ktorého sa potom hľadaný rozmer vypočíta. Nepriamym meraním je napr. určenie priemeru z dĺžky obvodu, alebo určenie priemeru z výšky vzopätia oblúka a dĺžky tetivy a pod.

Podľa spôsobu realizácie meraní, meranie geometrických parametrov môžeme deliť na:

- absolútne (základné),
- komparačné,
- substitučné,
- diferenčné,
- nulové.

Pri absolútnej metóde je plná hodnota veľkosti hľadaného rozmeru (veličiny) určená priamo z údajov meradla, napríklad odčítaním na stupnici posuvného meradla alebo pásma.

Pri komparačnej metóde je hľadaný rozmer (veličina) určený ako odchýlka od vopred nastaveného rozmeru (veličiny). Do tejto skupiny patria predovšetkým odchýlkomery, ktoré je potrebné vždy nastaviť na určitú hodnotu.

Pri substitučnej metóde je meraná veličina nahradená veličinou rovnakého druhu, známej hodnoty pri rovnakom údaji indikačného prístroja.

Diferenčná metóda spočíva v určení rozdielu medzi veličinou rovnakého druhu známej hodnoty, ktorá sa málo líši od hodnoty meranej.

Pri **nulovej metóde** sa hodnota meranej veličiny určí z rovnovážneho stavu spôsobeného jednou alebo viacerými veličinami o známych hodnotách, súvisiacich podľa známych vzťahov s meranou veličinou.

Podľa spôsobu **snímania meraného rozmeru** sa delia metódy merania na:

- kontaktné (dotykové),
- bezkontaktné (bezdotykové).

Pri kontaktnom meraní sa meradlo a meraná súčiastka dotýkajú. Do tejto skupiny patrí väčšina obvykle používaných metód.

Pri bezkontaktnom meraní sa meradlo nedotýka meranej súčiastky. To umožňuje merať v priebehu pracovného procesu, t. j. bez prerušenia prevádzky zariadenia (stroja). Sú to predovšetkým metódy elektrické alebo optické.

Každá z týchto metód má svoje výhody i nevýhody. Rôzna presnosť merania, kladie rôzne nároky na pracovníka, realizujúceho meranie a pod. Pri voľbe metódy je potrebné zvoliť **optimálnu metódu merania**, ktorá poskytne najlepšie výsledky z hľadiska presnosti a prevádzkových či obstarávacích nákladov. Na voľbu metódy merania majú rozhodujúci vplyv:

- druh a veľkosť meranej veličiny,
- časový priebeh meranej veličiny,
- požiadavky na presnosť,
- zaťažiteľnosť meraného objektu,
- opakovateľnosť meraní,
- úroveň rušivých vplyvov,
- dostupnosť a cena meracích prístrojov a zariadení.

4.2 Priame meranie geometrických parametrov

Jednotnosť merania sa pri meraní veľkých rozmerov v strojárstve zaisťuje sústavou etalónov. Hlavné dĺžkové etalóny pri priemyselných meraniach veľkých rozmerov sú základné etalóny. Na rozdiel od základného metra, kde menovitý rozmer je daný vzdialenosťou rysiek, vyznačených na prototypu, je rozmer základných etalónov daný vzdialenosťami presne obrobenej koncových plôch. Jednotlivé základné etalóny sú meradlá s nemenným (stabilným) rozmerom. Potrebné rozmery získavame zostavením niekoľkých etalónov vhodného rozmeru.

Základné etalóny určené na meranie veľkých rozmerov sa vyrábajú v niekoľkých alternatívach. Sú vyrobené z jedného kusu špeciálnej ocele, ktorá musí mať tieto vlastnosti:

- objemovú stálosť po kalení,
- tvrdosť a odolnosť proti opotrebovaniu,
- dobrú obrobitelnosť,

- dobrú príľnavosť,
- konštantný súčiniteľ teplotnej rozťažnosti,
- dobrú odolnosť proti korózii.

V praxi sa základné etalóny nultej, resp. prvej triedy presnosti používajú na kontrolu presných meracích strojov (s presnosťou odčítania 0,001 mm), základné etalóny druhej triedy presnosti na kontrolu a nastavenie presných nastavovacích zariadení a základné etalóny tretej a štvrtej triedy presnosti na ostatné účely. Základné etalóny sa vyrábajú v rôznych sadách, ktoré sa od seba líšia počtom kusov a výberom rozmerov v sade (Obr.4.1). Pri meraní veľkých dĺžok sa základné etalóny (meradlá) spájajú zvláštnymi spojkami. Na použitie týchto spojok pri meraní väčších dĺžok, sú vybavené otvormi na upevnenie týchto spojok.



Obr. 4.1. Pravouhlé základné etalóny – Johanssonove hranoly (Kechnie, 2005)

Podľa geometrických charakteristík meraných prvkov (rozmerov) sa používajú meradlá na meranie:

- vnútorných rozmerov,
- vonkajších rozmerov.

Medzi **meradlá na meranie vnútorných rozmerov** patria okrem základných etalónov odpichovadlá, strmeňové meradlá, posuvné meradlá (Obr. 4.2), laserinterferometre a pásma. Ak chceme dosiahnuť maximálnu presnosť merania veľkých vnútorných rozmerov v strojárstve, je potrebné dodržať správny technologický postup pri meraní. Aby sme mohli takýto postup stanoviť, je potrebné zvážiť všetky faktory, resp. činitele, ktoré na presnosť merania majú vplyv.



Obr. 4.2. Posuvné meradlo s verniárom

Rozhodujúcim činiteľom je **presné nastavenie meradla na požadovaný rozsah**. Meradlá je potrebné nastavovať veľmi starostlivo a pred každým meraním, pretože nikdy nemožno zaručiť, že sa skôr nastavený rozmer neporušil. Nastavenie alebo kontrola sa vykonáva na presných meracích strojoch alebo na iných nastavovacích zariadeniach. Ich presnosť je na meranie veľmi dôležitá. Preto sa takéto merania realizujú v klimatizovaných miestnostiach. Pri každom presnom meraní je potrebné odmerať teplotu meradla a meranej súčiastky a uviesť ich v protokole o meraní. Vhodné teplomery nato účelu sú spravidla tzv. **kontaktné teplomery**.

Najväčší vplyv na presnosť merania v strojárstve má **teplota**. Preto je potrebné presné merania realizovať podľa možností pri teplote 20 °C, aby nevznikali chyby z teplotnej rozťažnosti. Ak sú teploty meradla a súčiastky rôzne, vzniká chyba, ktorá je úmerná veľkosti rozdielu teplôt a strednému súčiniteľu teplotnej rozťažnosti materiálu a meradla. Aj vtedy, keď teplota meradla a súčiastky sú rovnaké, avšak iné ako 20 °C, vzniká pri rozdielnom materiáli meradla a súčiastky chyba z teploty, ktorá je úmerná odchýlke od teploty 20 °C a rozdielu súčiniteľa tepelnej rozťažnosti materiálu meradla a súčiastky.

Ak je meradlo aj súčiastka z ocele, možno počítať s rozdielom súčiniteľa teplotnej rozťažnosti max. 2×10^{-6} , to je asi s 1/6 stredného súčiniteľa rozťažnosti meradla a súčiastky v prípade, že teploty meradla a súčiastky nie sú rovnaké. Z toho vyplýva zásada, že pri meraní súčastí z ocele sa má používať oceľové meradlo a pri meraní súčiastok z iného materiálu meradlá toho istého materiálu. V opačnom prípade je potrebné chybu z teploty vypočítať a zaviesť príslušnú korekciu meraného rozmeru. Aby bola chyba z teploty čo najmenšia je potrebné priniesť meradlo na miesto merania skôr, aby sa teploty meradla a súčiastky vyrovnali. Vyrovnanie teplôt sa urýchli a spresní, ak sa položí meradlo priamo na meranú súčiastku, či zariadenie.

Najpoužívanejšie meradlá na meranie vnútorných rozmerov sú **odpichovadlá**. Vyznačujú sa tyčovitým telesom, zakončeným sférickými meracími plochami. Merajú sa nimi vnútorné rozmery súčiastok nielen valcového, ale aj iných geometrických tvarov, napr. štvorcového, eliptického tvaru. Sú ľahké a meranie s nimi je veľmi jednoduché. Odpichovadlá delíme:

- na odpichovadlá bez odčítacieho zariadenia (pevné, nastaviteľné),
- na odpichovadlá s odčítacím zariadením.

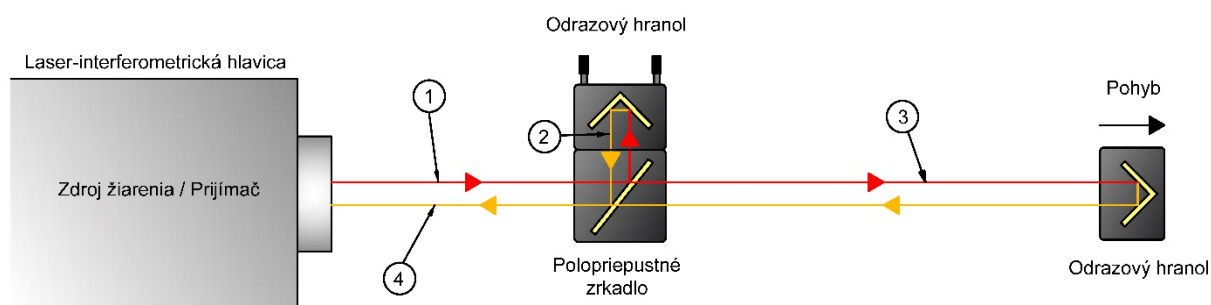
Odpichovadlá bez odčítacieho zariadenia možno v určitom rozsahu nastaviť na požadovaný rozmer a sú pevné. Musia sa však v pravidelných časových intervaloch kontrolovať, aby sa zabránilo chybám pri porušení nastaveného rozmeru. Rozmer odpichovadla sa nastavuje vysunutím alebo zasunutím vnútorných trubiek, zakončených kalenými sférickými meracími plochami, do základnej trubky, zakončenej vodiacimi puzdrami. Poloha výsuvných trubiek je zaistená dvojicou upínacích skrutiek. Nevýhodou tejto konštrukcie je možnosť ľahkého porušenia nastaveného rozmeru náhodným nárazom na meraciu dotykovú plochu.

Odpichovadlá s odčítacím zariadením patria k najpoužívanejším meradlám na meranie veľkých rozmerov. Tieto meradlá vyrába celá rada výrobcov. Takéto odpichovadlá sa skladajú z mikrometrickej hlavice dĺžky 100 mm až 125 mm a z jednotlivých nastavcov o rôznych dĺžkach 25 mm, 50 mm, 100 mm, 200 mm, ktoré umožňujú meranie ľubovoľného rozmeru v rozsahu 100 mm až 500 mm. Pomocou prídavných nastavcov dĺžky 300 mm až 500 mm sa rozsah merania takýmito odpichovadlami zväčší na 1300 mm. Určitá nevýhoda týchto zariadení je opotrebenie meracích plôch nastavcov pri častom zoskrutkovaní a tým porušení pôvodného rozmeru.

V technickej praxi sa veľmi často vyskytujú prípady, keď medzi vnútornými plochami, ktorých vzdialenosť máme odmerať sa vyskytuje nejaká prekážka. Napríklad na meranie rozmeru medzikruhovej drážky možno použiť odpichovadlo s **oblúkovým strmeňom**, ale iba v takom prípade, keď drážka je dostatočne široká a prekážka nepresahuje svojimi rozmermi otvor strmeňa. Takéto meradlo možno použiť v prípade, keď je potrebné odmerať priemer otvoru zariadenia, ktorého stredom prechádza hriadeľ.

Posuvné meradlá na meranie vnútorných rozmerov sa obvykle vyrábajú s rozsahom merania do 2000 mm a majú rovnakú konštrukciu ako posuvné meradlá pre rozmery do 500 mm. Na meranie väčších rozmerov si závody, vyrábajúce súčiastky veľkých rozmerov konštruujú špeciálne posuvné meradlá. Posuvné meradlá možno použiť na meranie rozmerov max. do 3500 mm. Pre väčšie rozmery sa posuvné meradlá pre svoju veľkú hmotnosť a veľké meracie sily nehodia.

Interferometre predstavujú kategóriu meradiel na priame meranie dĺžok s vysokou presnosťou. Princíp interferenčného merania dĺžok definoval ešte v roku 1880 Albert A. Michelson a spočíva vo vyhodnotení interferencie vyslaného a od objektu odrazeného signálu (Obr. 4.3).



Obr. 4.3. Princíp interferenčného merania dĺžok

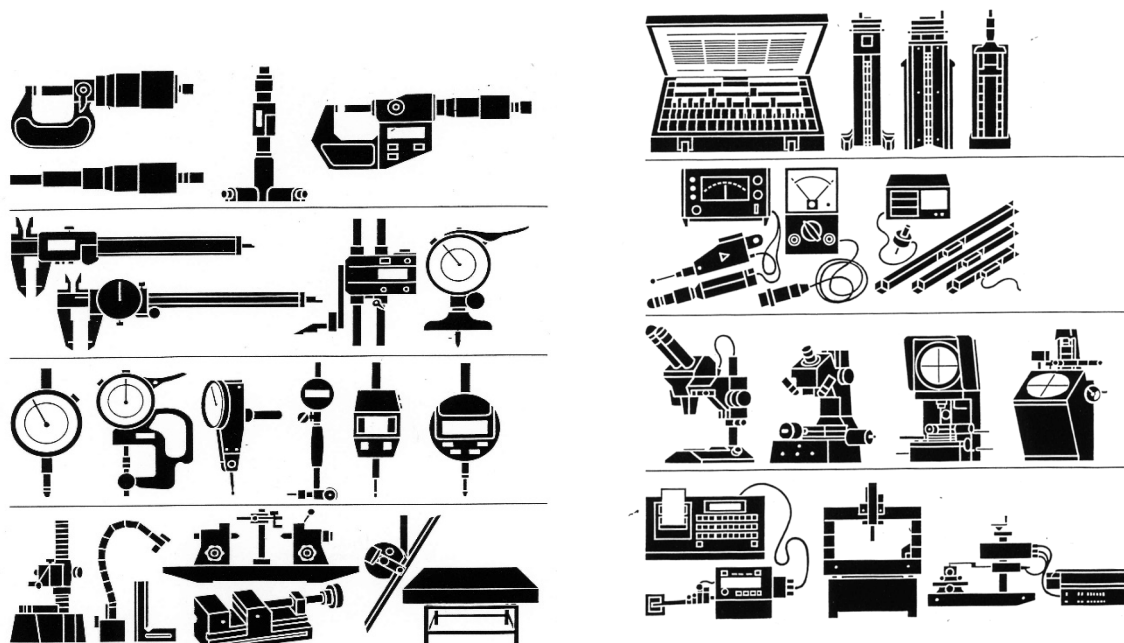
Vysielaný zväzok lúčov (1) je rozdelený polarizačným zariadením (polopriepustným zrkadlom) a odklonený na samostatné dráhy (2) a (3), na koncoch ktorých sa nachádzajú odrazové hranoly, z ktorých jeden je stály (nemenný) a druhý mení svoju polohu spolu s meranou dĺžkou. Odrazené zväzky lúčov (4) sú pred vstupom do detektora spojené a interferujú navzájom. V prípade, že interferujúce zväzky lúčov sú rovnakej fázy sú ich amplitúdy zosilnené v opačnom prípade sú navzájom rušené a vytvárajú tak optické obrazy so striedajúcimi sa svetlými a tmavými stopami (pruhmi). Zmenou polohy pohybujúceho sa odrazového hranola dochádza k vytváraniu rôznych (meniacich sa) optických interferenčných

obrazov, ktoré sú vyjadriteľné fázovým posunom dvojice prijatých signálov. Zmena polohy (meraná vzdialenosť) je funkciou vlnovej dĺžky zväzku svetelných lúčov λ a počtu svetelných stôp N

$$\Delta d = \frac{\lambda \cdot N}{2}. \quad (4-1)$$

Vzhľadom na vlastnosti používaných laserových zdrojov pri konštrukcii interferometrov, najmä krátkej vlnovej dĺžky $\lambda = 633 \text{ nm}$, je dosiahnuteľné rozlíšenie pri meraní dĺžky na úrovni 1 nm. Aktuálna hodnota vlnovej dĺžky zväzku lúčov sa mení v závislosti od aktuálnej hodnoty indexu refrakcie (lomu) vzduchu, ktorým prechádza. Nakoľko je táto zmena funkciou najmä teploty, tlaku a relatívnej vlhkosti vzduchu, je potrebné výsledky meranej dĺžky korigovať. Väčšina meracích prístrojov (systémov) takúto korekciu z atmosférických podmienok vykonáva automatizovane, buď meraním predmetných veličín alebo po ich zadaní do ovládacích softvérov pred vykonaním meraní. Hodnota korekcie môže dosiahnuť rádovo 10 nm až 20 nm v závislosti od meraných veličín a teda nie je možné ju zanedbať.

Meracie pásma sa v strojárstve používajú len na hrubšie merania (s presnosťou 1 mm, prípadne 0,1 mm) a to len oceľové pásma, ktorých stupnice sú komparované (kontrolované) a k nim existujú kalibračné listy s príslušnými korekciami. V strojárstve nie je prípustné používanie neoverených pásiem alebo pásiem z iného materiálu ako oceľ alebo invar.



Obr. 4.4. Meradlá na meranie vnútorných a vonkajších rozmerov

Medzi meradlá na meranie **vonkajších rozmerov** patria odpichovadlá, strmeňové meradlá a súradnicové meracie stroje (Obr. 4.4). Meradlá na merania vonkajších rozmerov sú väčšinou nastaviteľné na požadovaný rozmer v určitom rozsahu. Nastavujú sa mikrometrickým alebo indikátorovým odpichom príslušnej dĺžky priamo na pracovisku. Tento

kontrolný odpich sa nastavuje v meracom laboratóriu príslušného závodu alebo na inom kontrolnom pracovisku, a to na meracom zariadení alebo inom nastavovacom zariadení.

Meradlo nastavujeme podľa kontrolného odpichu tesne pred meraním, a to vždy v rovnakej polohe a rovnakom podopretí ako pri vlastnom meraní. Prevádzkové strmeňové meradlo sa nastavuje priamo na mieste merania. Po skončení merania sa nastavenie skontroluje. Meriame vždy niekoľkokrát a ako najpravdepodobnejšia hodnota sa berie aritmetický priemer meraných údajov. Podobne ako pri meraní vnútorných rozmerov sa musia aj pri meraní veľkých vonkajších rozmerov súčastí uvádzať v protokole aj údaje o teplote výrobkov, súčastí a meradiel.

Podľa tvaru strmeňa rozoznávame **strmeňové meradlá** s oblúkovým strmeňom (Obr. 4.5) a meradlá s priamym strmeňom (Obr. 4.6). Meradlá s oblúkovým strmeňom sa používajú hlavne na meranie vonkajších priemerov valcových telies a to najviac do rozmeru 2500 mm. Pre väčšie rozmery by bolo takéto meradlo príliš ťažké a náročne ovládateľné. Čím väčšie je strmeňové meradlo, tým náročnejšie je meranie, nakoľko je k meraniu nevyhnutné použiť až 3 pracovníkov. Meradlá s priamym strmeňom sú podstatne ľahšie a možno s nimi merať rozmery do 6000 mm. Ich použitie je však obmedzené na blízku oblasť čela výrobku, či súčasti v závislosti na dĺžke ramena.



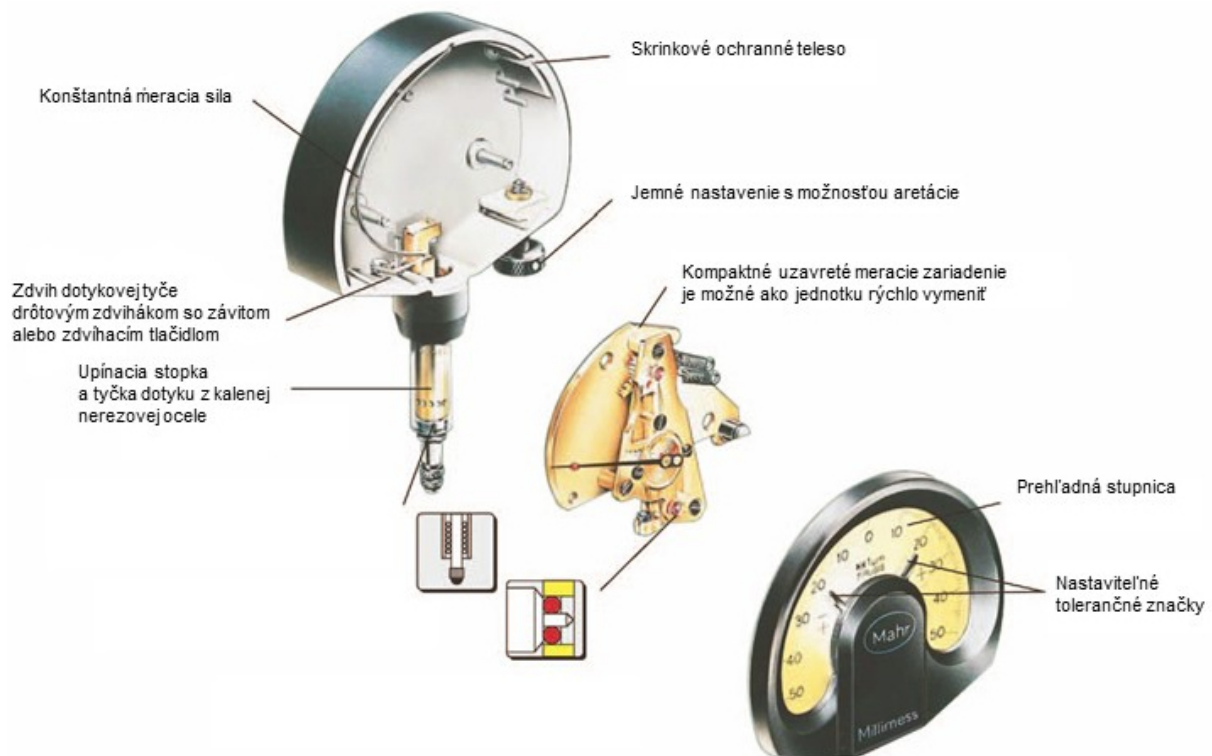
Obr. 4.5. Strmeňové meradlo s oblúkovým strmeňom



Obr. 4.6. Strmeňové meradlo s priamym strmeňom

Strmeňové meradlá môžu byť konštruované s odčítacím zariadením alebo bez neho. Strmeňové meradlá bez odčítacieho zariadenia môžu byť prestaviteľné i pevné. Odčítacie zariadenia pre strmeňové meradlá sú najčastejšie mikrometrické alebo indikátorové hlavice. Rozsah merania mikrometrickej hlavice je obvykle 25 mm, oproti tomu indikátorovej hlavice 10 mm, 25 mm výnimočne až 50 mm.

Veľkým nedostatkom meradiel s mikrometrickou hlaviceou je zmena ich rozmerov pri meraní, pretože sa ich strmeň značne deformuje pôsobením pomerne veľkej meracej sily. Tento nedostatok nemajú strmeňové meradlá s indikátorovou hlaviceou. Pri nastavovaní meradla na predmetný rozmer sa nastavuje odchýlkomer na nulu a pri meraní potom odčítame priamo odchýlku od predmetného rozmeru. **Číselníkový odchýlkomer** (indikátor) značne spresňuje a uľahčuje hľadanie správnej polohy meradla a zvyšuje presnosť merania, pretože zaručuje stálu meraciu silu (Obr. 4.7).



Obr. 4.7. Číselníkový odchýlkomer (Mahr, 2016)

Súradnicový merací stroj (CMM – Coordinate Measuring Machine) je zložitý merací systém, ktorý realizuje meranie v rovine alebo priestore v pravouhlej súradnicovej sústave s možnosťou plnej automatizácie procesu merania a vyhodnocovania. SMS nachádza široké uplatnenie vo výrobe zložitých tvarov strojárskych súčiastok a častí rôznych technologických zariadení, pri ktorých je kontrola geometrických parametrov klasickými metódami časovo náročná a mnohokrát aj málo presná. CMM slúžia na presné meranie geometrických parametrov strojárskych súčiastok. Vyrábajú sa v rôznych veľkostiach. Výsledkom merania súčiastky na súradnicovom meracom stroji môže byť 3D model súčiastky. Tematika CMM je osobitne spracovaná v kapitole č. 6.

4.3 Nepriame meranie geometrických parametrov

Metódy nepriameho merania geometrických parametrov sa uplatnia pri meraní súčiastok veľkých rozmerov, alebo pri určovaní rozmerov a priestorového usporiadania objektov, technologických zariadení a súčastí (napr. ak je potrebné určiť polomer neúplnej valcovej plochy, napríklad pri segmentoch). Pri nepriamom meraní sa nemeria priamo určovaná

veličina, ale sa vypočíta z iného rozmeru, veličiny (prípadne viacerých veličín), ktorej meranie je jednoduchšie a presnejšie než priame meranie hľadaného rozmeru.

Presnosť určenia hľadaného rozmeru závisí nielen na presnosti merania pomocného rozmeru (veličiny), ale i na presnosti zvolenej metódy. Všeobecne možno povedať, že čím je pomer meraného pomocného (sprostredkujúceho) rozmeru a hľadaného rozmeru väčší, tým vyššia je aj presnosť zvolenej metódy merania.

Podľa toho, z akého pomocného rozmeru sa hľadaný rozmer, či veličina vypočíta rozoznávame nasledovné **metódy nepriameho merania**:

- meranie od pomocných meracích základníc (základnicová lata, invarová lata vo vodorovnej polohe a pod.),
- meranie, resp. určovanie parametrov valcovitých objektov (z dĺžky obvodu, z dĺžky tetivy oblúka, z výšky úsečky oblúka, z dĺžky tetivy a uhla zovretého normálami, z dĺžky dotyčnice a uhla zovretého normálami a pod.),
- meranie meracími systémami skonštruovanými na základe rôznych fyzikálnych princípov.

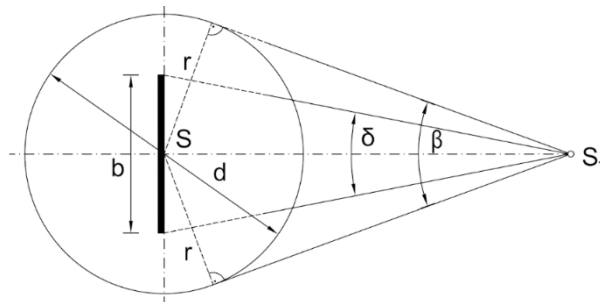
Meranie od pomocných meracích základníc je možné využiť napríklad na určenie priemerov valcových nádrží, resp. konštrukcií. Meranie je možné realizovať tak, že na stred obrábanej (určovanej) súčasti sa umiestni základnicová lata (Obr. 4.8). Obvyklým spôsobom sa určí hodnota paralaktického uhla δ a uhol dotyčníc β . Hľadaný priemer sa potom vypočíta zo vzťahu:

$$\frac{d}{2} = r = b \cdot \cotg \frac{\delta}{2} \cdot \sin \frac{\beta}{2}, \quad (4-2)$$

kde l je dĺžka základnicovej laty,

δ je paralaktický uhol,

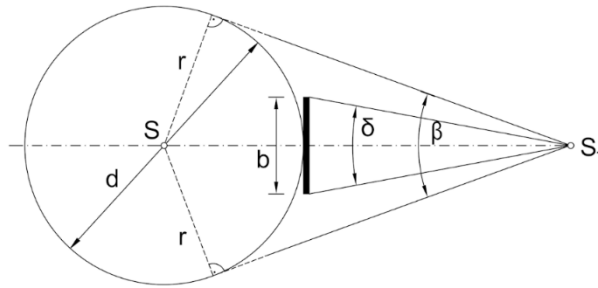
β je uhol zovretý dotyčnicami vedenými k valcovej ploche zo stanoviska prístroja.



Obr. 4.8. Určenie priemeru valca využitím základnicovej laty umiestnenej v strede

Výhoda uvedenej metódy je možnosť merať vonkajší priemer súčastí bez použitia žeriavov a bez zvýšených nárokov na počet pracovníkov. Meranie možno vykonať pri chode stroja (počas prevádzky), čím sa predchádza možnosti vzniku rôznych chýb a nie sú potrebné žiadne ďalšie prípravky na meranie. V prípade, že nie je možné umiestnenie základnicovej laty v strede súčiastky, aplikuje sa umiestnenie základnicovej laty v dotyčnici k meranému objektu (Obr. 4.9). Priemer meranej valcovej konštrukcie sa vypočíta zo vzťahu:

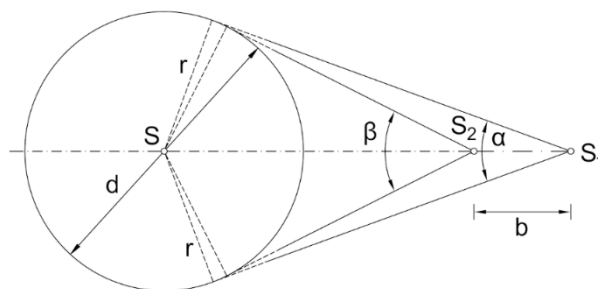
$$\frac{d}{2} = r = \frac{\frac{b}{2} \cdot \cotg \frac{\delta}{2} \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{1 - \sin \frac{\beta}{2}}, \quad (4-3)$$



Obr. 4.9. Určenie priemeru využitím základnicovej laty umiestnenej v dotyčnici

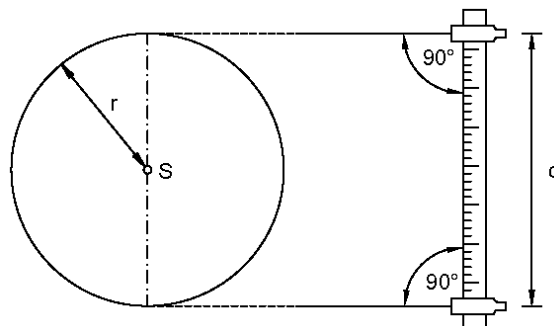
Ďalší spôsob určenia priemeru valcovej konštrukcie je meriame z dvoch stanovísk. Vzďialenosť b medzi stanoviskom S_1 a S_2 sa určí presným meraním dĺžok, uhly α a β sú merané na povrchové okraje (priamky) valca (Obr. 4.10). Potom pre priemer d bude platiť:

$$\frac{d}{2} = r = b \frac{\sin \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\beta}{2}}{\sin \frac{\beta}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (4-4)$$



Obr. 4.10. Určenie priemeru uhlovým meraním z dvoch stanovísk

Tretí spôsob určenia priemeru valcovej konštrukcie je založený na pevnej základnici, po ktorej sa posúva ďalekohľad so zámernou osou kolmou na základnicu (Obr. 4.11). Vzďialenosť medzi zámernou na ľavú a pravú stranu valca je hľadaný priemer d .



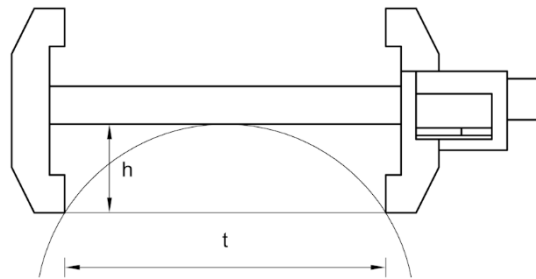
Obr. 4.11. Určenie priemeru meraním so základnicou s posuvným ďalekohľadom

Aplikácia tejto metódy vyžaduje osobitný prípravok na posúvanie ďalekohľadu s možnosťou čítania jeho polohy na základnici s vyžadovanou presnosťou. Nezanedbateľná je pritom aj rozmerová stálosť a stabilita posuvnej časti konštrukcie počas merania. Najpresnejšie výsledky zo všetkých troch uvedených postupov môžu byť dosiahnuté pri umiestnení základnicovej laty v strede valcovej konštrukcie.

Určovanie priemeru meraním dĺžky tetivy obvodu je zhodné so štvrtinovou metódou, používanou pri vytyčovaní oblúkov (kružnicových). Vychádza zo zámernej dĺžky tetivy t napr. posuvným meradlom a výškou vzopätia h (Obr. 4.12). Pre priemer d potom platí:

$$d = 2r = \frac{t^2}{4h} + h, \quad (4-5)$$

Táto metóda je vhodná najmä na určovanie vonkajších rozmerov valcových konštrukcií, obdobne ju však možno aplikovať aj na určenie vnútorných rozmerov valcových konštrukcií.



Obr. 4.12. Určovanie priemeru meraním dĺžky tetivy

Metóda opásaním predstavuje nepriame určenie priemeru valca meraním dĺžky obvodu valcovej konštrukcie. Dĺžku obvodu možno merať bežným alebo špeciálnym nato určeným meracím pásmom. Týmto spôsobom sa merajú priemery vonkajších valcových plôch s priemerom nad 2 000 mm. Pásmo musí byť pri meraní napnuté konštantnou silou. Aby meračské pásmo alebo pás dobre priliehali k povrchu valca, napínajú sa závažím o hmotnosti 5 až 10 kg podľa meranej dĺžky. Oba konce pásma sa vedú cez kladky a dĺžka sa číta v mieste, kde sa obe vetvy pásma stýkajú. Priemer meranej súčiastky sa potom vypočíta zo vzťahu:

$$d = 2r = \frac{O}{\pi}, \quad (4-6)$$

kde O je obvod meranej súčiastky. Pásmo, ktoré sú používané na meranie opásaním musia mať dĺžku väčšiu ako je meraný obvod meranej súčiastky (napr. pre $d = 10$ m je obvod kruhu $O = 31,416$ m).

4.4 Meranie naklonenia technologických zariadení

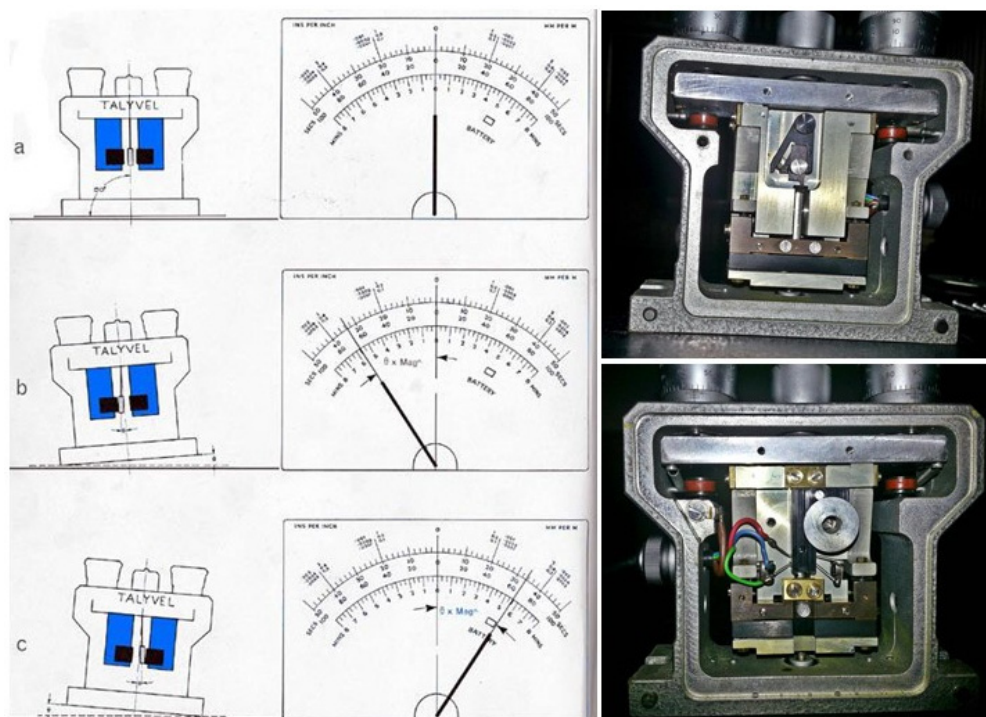
Metódy na meranie naklonenia technologických zariadení patria do skupiny veľmi dôležitých a žiadaných meraní. Meradlá, prístroje alebo meracie systémy využívané na tieto merania pracujú na princípe nepriameho merania naklonenia, ktoré je určené funkčným vzťahom medzi meranou veličinou a uhlom naklonenia. Meranou (sprostredkujúcou) veličinou je vo veľkej väčšine prípadov výchylka kyvadla alebo kvapaliny z rovnovážnej polohy meraná

snímačmi pracujúcimi na báze rôznych fyzikálnych princípov. Medzi najznámejšie a najčastejšie využívané meradlá a meracie systémy patria:

- snímače a prístroje na meranie naklonenia (náklonomery, elektronické libely),
- hydrostatické meracie systémy,
- pendametrické meracie systémy.

Elektronické náklonomery a libely sa využívajú najmä na meranie naklonenia súčiastok alebo súčastí technologických zariadení, hydrostatické a pendametrické systémy sú inštalované na meranie naklonenia veľkých technologických celkov (turbogenerátory, reaktory, priehradly a pod.).

Najčastejšie používaný funkčný princíp pri stavbe **snímačov na meranie naklonenia** je princíp kyvadla a meranie jeho výchylky od rovnovážneho stavu. Podľa fyzikálneho princípu transformácie výchylky kyvadla na elektrickú veličinu sa delia tieto snímače na kapacitné, indukčné, piezoelektrické a odporové. Najčastejšie sa využíva princíp indukčných snímačov, u ktorých je výchylka kyvadla transformovaná na napätie generované v dvojici cievok (princíp transformátora) – Obr. 4.13.



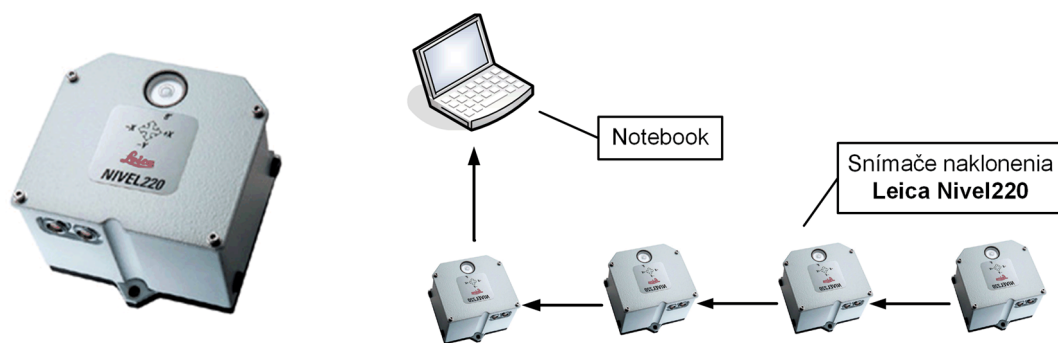
Obr. 4.13. Konštrukčné riešenie snímačov Talyvel (Talyvel, 2016)

Rozsah snímačov je limitovaný konštrukčnou vzdialenosťou dvojice cievok a linearitou funkčnej závislosti vstupného a výstupného signálu. Obvykle sa pohybuje na úrovni $\pm 2,5$ mm/m. Rozlišovacia schopnosť snímačov je relatívne vysoká a dosahuje hodnoty 0,001 mm/m. Vzhľadom na využitý fyzikálny princíp, snímače vyžadujú korekciu výstupných hodnôt z teploty (niekedy výrobcom riešené zabudovaným kompenzačným obvodom) a vykazujú mierny nulový drift na úrovni 0,020 mm/m po dobu 2 až 4 minút. Pri opakovaných meraniach je preto potrebné snímače nechať zapnuté aj medzi jednotlivými meraniami.



Obr. 4.14. Ukážky aktuálnych výrobkov TALYVEL 6 a LIBELA 2800 (Taylor Hobson, 2013) a (Kyrinovič et al., 2005)

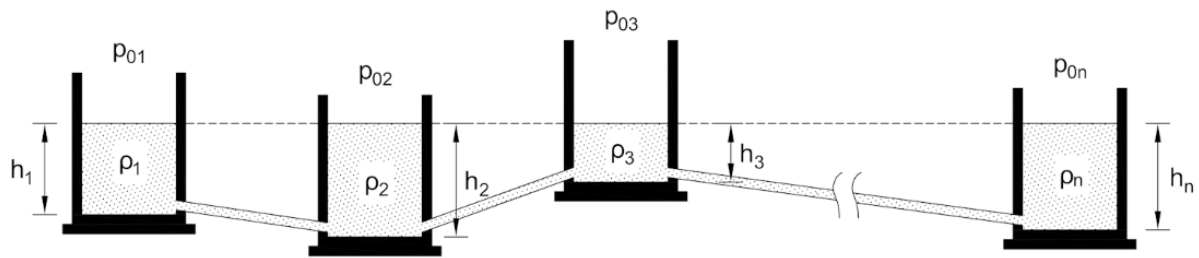
Princíp merania výchylky kvapaliny na báze CCD senzoru využívajú snímače zabudované v sérii snímačov naklonenia NIVEL210 až NIVEL230 od výrobcu Leica Geosystems (Obr. 4.15). Rozsah merania je voliteľný od 1,5 mm/m až 3,0 mm/m s rozlišovacou schopnosťou merania 0,001 mm/m. Presnosť merania charakterizuje výrobca rozdielne podľa aktuálne nastaveného rozsahu merania hodnotami medzi 0,005 mm/m až 0,047 mm/m. Snímač NIVEL220 možno zapojiť do série s ďalšími snímačmi toho istého výrobcu.



Obr. 4.15. Snímače naklonenia Leica NIVEL220

Snímače pracujúce na princípe merania výchylky kvapaliny sa najčastejšie využívajú pri konštrukcii a výrobe elektronických kompenzátorov a elektronických vodováh. Z hľadiska ich nižšej robustnosti sú obvykle zabudované do iných meracích prístrojov a pomôcok, resp. systémov. Presnosť týchto snímačov sa pohybuje na úrovni 0,01 mm/m, čo ich predurčuje na využitie skôr v oblasti stavebníctva.

Funkčný princíp **hydrostatických meracích systémov** je založený na známom fyzikálnom princípe spojených nádob, podľa ktorého sa hladina kvapaliny naplnenej do sústavy spojených nádob v rovnovážnom stave ustáli tak, že jej spojnica vytvára vodorovnú rovinu (Obr. 4.16).



Obr. 4.16. Funkčný princíp hydrostatických meracích systémov

Rovnovážny stav vyjadruje rovnica

$$p_{01} + \rho_1 \cdot h_1 \cdot g = p_{02} + \rho_2 \cdot h_2 \cdot g = \dots = p_{0n} + \rho_n \cdot h_n \cdot g \quad (4-7)$$

kde p_{0n} je atmosferický tlak,

ρ_n je hustota kvapaliny,

g je tiažové zrýchlenie,

h_n je výška stĺpca kvapaliny.

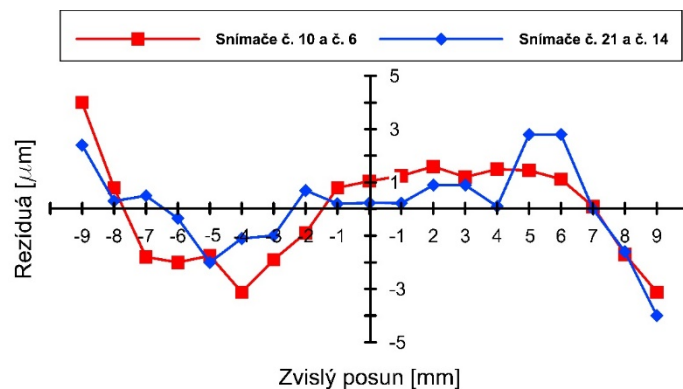
Na zabezpečenie rovnovážneho stavu je potrebné docieľiť aby hodnoty tlaku a hustoty kvapaliny boli rovnaké v každom bode merania a konštantné po celú dobu merania. Z uvedeného dôvodu sa konštruujú hydrostatické meracie systémy určené na veľmi presné merania, resp. na meranie naklonenia technologických celkov a objektov osobitného určenia (priemysel, energetika, výskum) ako uzatvorené. Hodnota tlaku sa v uzatvorených systémoch udržiava automatizovaným spôsobom na tento účel inštalovanými kompresormi. Ak odhliadneme od samovoľnej postupnej zmeny vlastností kvapaliny v systéme, sa jej hustota môže meniť len vo funkčnej závislosti od zmeny teploty. Z tohto dôvodu sú jednotlivé časti systému a spájajúce rúry inštalované na miestach s konštantnými teplotnými parametrami a zároveň súčasťou meracieho systému sú snímače teploty. Výsledky merania sú opravené o korekciu zo zmeny teploty počas merania podľa vzťahu

$$\Delta h = h_0 \cdot \gamma \cdot (t - t_0), \quad (4-8)$$

kde h_0 je výška hladiny pri teplote t_0 ,

γ je koeficient teplotnej rozťažnosti kvapaliny,

t je teplota kvapaliny.



Obr. 4.17. Príklad funkčnej závislosti korekcií z teploty

Hlavná úloha systému je určenie výšky hladiny v nádobe. Nato výrobcovia využívajú rôzne princípy a systémy:

- plavákový,
- elektromechanický,
- kapacitný,
- ultrazvukový,
- optický.

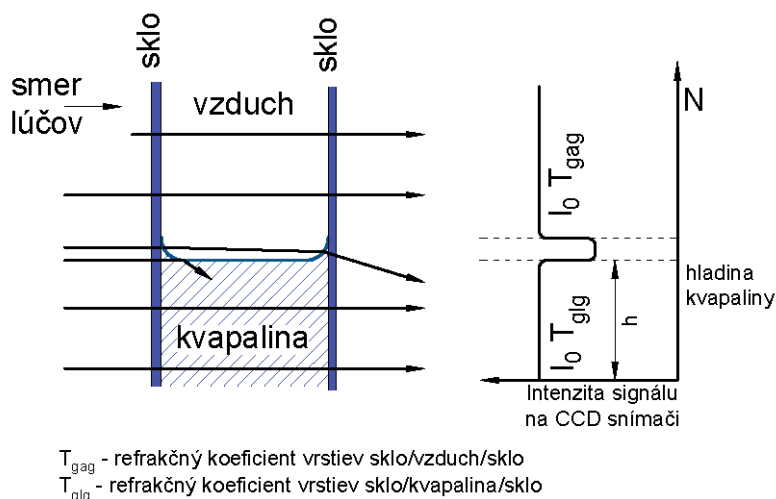
Pri plavákovom systéme je v každej nádobe umiestnený plavák spojený s citlivým prvkom indukčného, kapacitného alebo odporového senzoru. Pohyb hladiny je tak premietaný na pohyb citlivého prvku, ktorý je transformovaný na elektrický signál (napätie, náboj alebo odpor). Nevýhodou takéhoto riešenia je nižšia stabilita snímača spôsobená pohybom plaváku (plávaním) na hladine. Pri aplikácii vodiacich mechanizmov dochádza naopak ku treniu a neskoršej reakcii systému na zmenu hladiny kvapaliny.

Elektromechanický systém pozostáva z posuvného mechanizmu nesúceho ihlu, ktorá je vodivým spôsobom spojená s elektrickým pohonom posuvného mechanizmu. Ihla je postupne posúvaná smerom nadol, kým nedôjde k jej dotyku s hladinou kvapaliny. Pri dotyku ihly s hladinou je posuvný mechanizmus zastavený a je vykonaná registrácia dĺžky posunu. Z rozdielu dĺžok posunov registrovaných na jednotlivých meracích bodoch je vyhodnotené prevýšenie medzi meracími bodmi. Nevýhoda systému je relatívne zložitý mechanizmus posuvu a jeho pohonu. Takisto dochádza k oneskoreniu pri zastavení pohybu, čo spôsobuje systematickú chybu merania. Nie je zanedbateľná ani doba merania, ktorá je premenlivá v závislosti od meraného prevýšenia.

Kapacitný spôsob určenia výšky hladiny v nádobe využíva fyzikálny princíp merania zmeny kapacity dielektrika. V nádobách sú inštalované dosky kondenzátora tak, aby boli čiastočne ponorené v kvapaline. Kapacita dielektrika v rovnovážnej polohe systému je súčtom kapacity častí kondenzátora ponorených (dielektrikum je kvapalina) a neponorených (dielektrikum je vzduch). Zmenou výšky hladiny kvapaliny dochádza ku zmene kapacity kondenzátorov na jednotlivých meracích miestach (nádobách), pričom táto zmena je vo funkčnom vzťahu so zmenou prevýšenia. Nevýhoda týchto systémov je malý rozsah a pozvoľné zmeny kapacity kondenzátorov spôsobené prebiehajúcimi chemickými reakciami.

Pri ultrazvukovom spôsobe merania výšky hladiny sa v každej nádobe umiestni ultrazvukový senzor merania dĺžky a je priamo meraná vzdialenosť od senzora po výšku hladiny. Nevýhoda tejto metódy je nižšia presnosť spôsobená zvlhčením hladiny a zmenou fyzikálnych vlastností povrchu kvapaliny, čo spôsobuje zmeny odrazu signálu a tým variácie v meranej vzdialenosti.

Optický spôsob merania zmeny hladiny kvapaliny je založený na priebežnom vyhodnotení polohy meniska (rozhrania kvapalina/vzduch) v každom časovom okamihu. Obraz meniska je snímaný CCD prvkom v podobe signálu intenzity svetla dopadajúceho na CCD prvok (Obr. 4.18). Predmetom vyhodnotenia je inflexný bod krivky zobrazujúcej zmenu intenzity svetelného signálu.

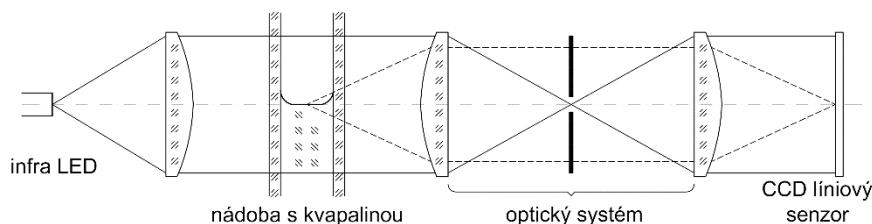


Obr. 4.18. Intenzita signálu prechádzajúceho rozhraním kvapaliny

Na docelenie čo najnižšieho skreslenia pri vytváraní obrazu rozhrania na CCD prvku je potrebné zabezpečiť rovnobežnosť svetelných lúčov prechádzajúcich meniskom. Nato je pred a za nádobou s kvapalinou umiestnená vhodná optická sústava (Obr. 4.19). Poloha inflexného bodu sa vypočíta zo vzťahu

$$I = b + \frac{a}{1 + \exp[(c - h) \cdot d]} \quad (4-9)$$

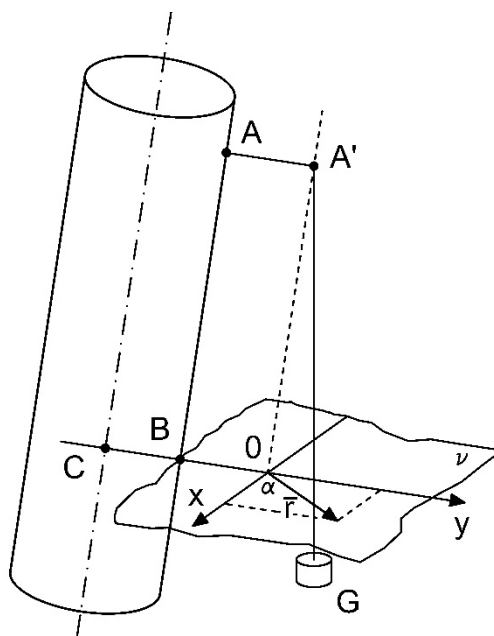
- kde I je intenzita osvetlenia,
 h je vertikálna súradnica inflexného bodu,
 a je rozdiel medzi minimálnou a maximálnou hodnoty intenzity,
 b je minimum intenzity osvetlenia,
 c je poloha inflexného bodu,
 d je strmosť krivky osvetlenia.



Obr. 4.19. Optická sústava zabezpečujúca rovnobežnosť zväzku lúčov osvetľujúcich kvapalinu

Rozsah merania hydrostatických meracích systémov je limitovaný veľkosťou nádoby – rádovo 100 mm až 150 mm. Rozlišovacia schopnosť určenia prevýšenia hladín v jednotlivých meracích bodoch závisí od použitej metódy a môže dosiahnuť hodnotu 1 μm . Presnosť merania prevýšenia je okrem rozlišovacej schopnosti limitovaná presnosťou určenia korekcií z rozdielu tlaku vzduchu a hustoty (teploty) kvapaliny v jednotlivých bodoch merania. Dosahuje hodnoty 0,005 mm až 0,010 mm.

Funkčný princíp **pendametrických meracích systémov** je založený na meraní výchylky závesu kyvadla v dvoch navzájom kolmých smeroch (Obr. 4.20).



Obr. 4.20. Princíp pendametrického snímača na merania naklonenia

Veľkosť výchylky je meraná vo vodorovnej rovine lineárnymi snímačmi. V závislosti od spôsobu transformácie lineárnej výchylky na elektrickú veličinu sú známe snímače:

- indukčné,
- kapacitné,
- odporové,
- optické.

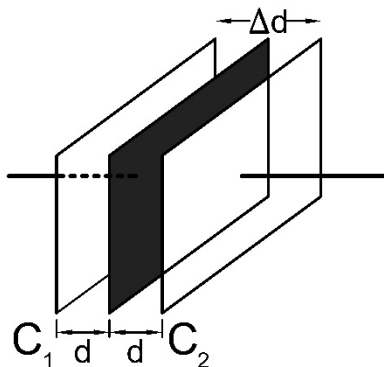
Pri použití prvých troch typoch snímačov na určenie výchylky závesu kyvadla je nevyhnutné merať teplotu okolia a korigovať výsledky merania z rozdielu teploty pri kalibrácii snímačov a teploty počas merania. Výrobcovia snímačov vychádzajú v ústrety užívateľom zabudovaním tzv. kompenzačných obvodov do riadiacej elektroniky snímačov, ktorá túto korekciu z rozdielu teplôt zohľadní vo výstupnom signáli.

V prípade indukčných snímačov je záves vedený medzi štvoricou cievok na výstupe ktorých jeho pohyb indukuje napätie. Rozsah indukčných snímačov je limitovaný vzdialenosťou cievok a obvykle sa pohybuje do 20 mm. V prípade použitia závesu dĺžky 1 m je rozsah merateľného naklonenia daná hodnotou 20 mm/m. Rozlišovacia schopnosť je obvykle charakterizovaná hodnotou 0,02 mm/m a presnosť merania na úrovni 0,1 mm/m.

Rádovo vyššiu presnosť merania možno dosiahnuť kapacitnými snímačmi, avšak za cenu limitovania rozsahu merania na 2 mm až 5 mm. Základný konštrukčný prvok kapacitných snímačov je kondenzátor, pričom sa využíva obvykle usporiadanie diferenciálneho zapojenia dvojice kondenzátorov so spoločnou pohyblivou strednou doskou (Obr. 4.21). Často sa používa dvojica kondenzátorov v diferenciálnom zapojení, čím sa dosiahne dvojnásobná citlivosť, zvýšená linearita transformačnej funkcie a čiastočná kompenzácia vplyvu

vonkajšieho rušenia. Záves kyvadla je spojený so strednou doskou kondenzátora, ktorej pohyb Δd vyvoláva zmenu kapacity ΔC diferenciálneho kondenzátora podľa vzťahu

$$C = C_1 + C_2, \quad \Delta C = C_1 - C_2, \quad \frac{\Delta C}{C} = - \frac{2\Delta d}{d^2 - \Delta d^2}. \quad (4-10)$$

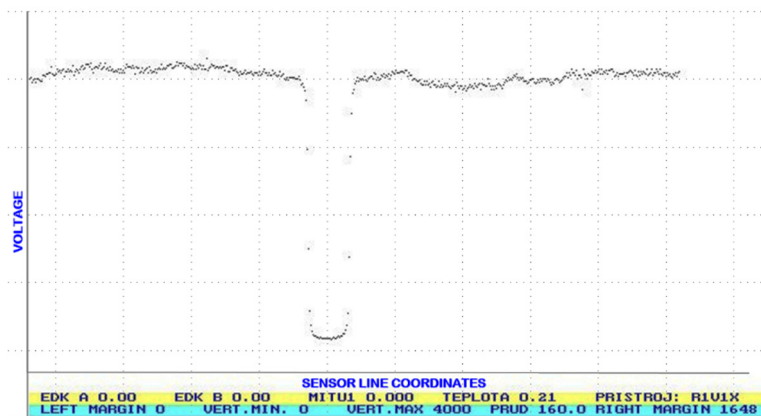


Obr. 4.21. Princíp diferenciálneho kondenzátora

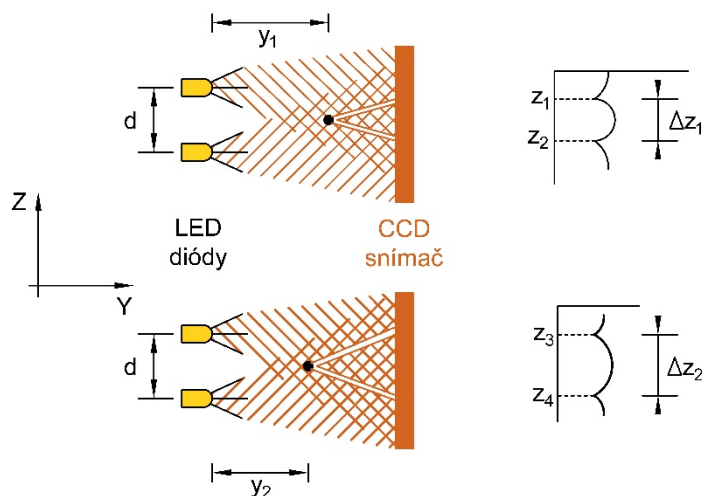
Na určenie výchylky závesu v oboch smeroch je potrebné použiť dvojicu kondenzátorov orientovaných navzájom kolmo. Presnosť určenia výchylky kapacitnými snímačmi môže dosiahnuť hodnotu 0,01 mm/m.

Najnižšiu presnosť a najväčší rozsah merania sa spája s využitím odporových lineárnych snímačov na určenie veľkosti výchylky závesu kyvadla. Pri tomto konštrukčnom riešení je záves kyvadla spojený s bežcom lineárneho rezistora, pohybom ktorého sa mení odpor v elektrickom obvode v ktorom je rezistor zapojený. Na určenie výchylky závesu v dvoch smeroch je potrebné použiť dvojicu rezistorov v navzájom kolmom usporiadaní.

Optické snímače sú najmenej citlivé na zmeny teploty počas merania. Princíp týchto snímačov je založený na snímaní obrazu závesu kyvadla na dvojici CCD snímačov, ktoré sú rovnomerne osvetlené. Záves kyvadla vytvára na zaznamenanom obraze tieň (miesta s nižšou intenzitou signálu), ktorého poloha je predmetom merania (Obr. 4.22). Poloha (súradnica) stredu signálu zodpovedajúca polohe závesu kyvadla sa určí buď ako aritmetický priemer súradnice dvojice inflexných bodov, alebo ako stred intervalu (úsečky) zodpovedajúcej šírke signálu. Šírka signálu je pritom funkcia hrúbky závesu a jeho vzdialenosti od zdroja svetla a CCD snímača. Použitím dvoch zdrojov svetla vzniká na jednom CCD snímača dvojica stôp (tieňov), ktorých vzájomná poloha nesie informáciu o polohe závesu kyvadla v oboch navzájom kolmých smeroch (Obr. 4.23). V takomto prípade nie je potrebné použitie dvojice CCD snímačov a ich exaktné usporiadanie do navzájom kolmého smeru.



Obr. 4.22. Intenzita signálu na CCD snímači



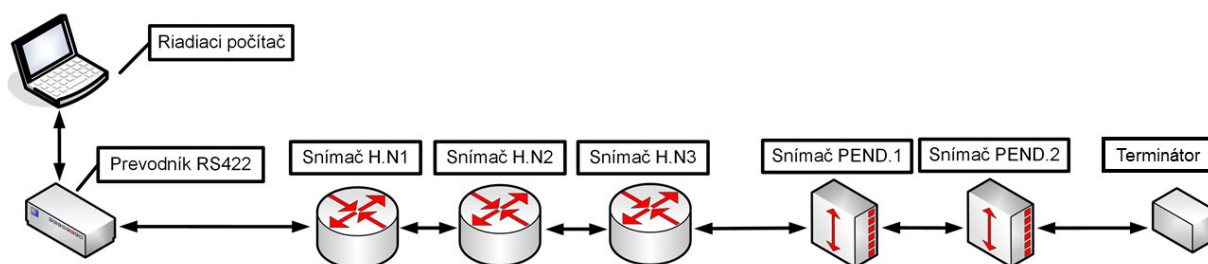
Obr. 4.23. Usporiadanie pri použití dvojice zdrojov svetla a jedného CCD prvku

Rozsah merania optických snímačov je funkcia veľkosti (rozmerov) použitých CCD prvkov a vzájomnej vzdialenosti zdroja svetla, závesu kyvadla a CCD prvkov. Vhodným usporiadaním možno dosiahnuť rozsah merania na úrovni 20 mm až 50 mm. Rozlišovacia schopnosť je funkciou geometrického usporiadania konštrukčných prvkov a rozlišovacej schopnosti použitých CCD prvkov. Obvykle možno dosiahnuť rozlišovaciu schopnosť na úrovni $0,1 \mu\text{m}$. Presnosť merania naklonenia možno charakterizovať hodnotou $1 \mu\text{m/m}$.

Hydrostatické a pendametrické meracie systémy s optickými snímačmi sa využívajú v **slovenskej jadrovej energetike** na monitorovanie predpísaných polohových parametrov jadrových reaktorov v AE Jaslovské Bohunice a AE Mochovce. Prispievajú k zvýšeniu prevádzkovej bezpečnosti a bezporuchovosti samotných jadroenergetických zariadení a zároveň predstavujú aj potenciálnu ochranu okolitého životného prostredia.

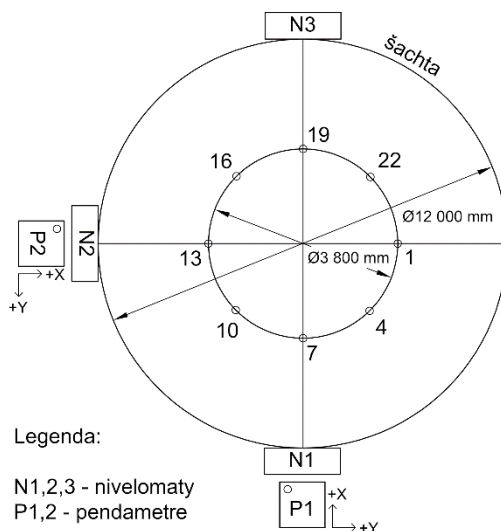
Prednosťou predmetných systémov na meranie naklonenia objektu reaktorov je prakticky kontinuálne monitorovanie prevádzkovej polohy týchto objektov, počítačové vyhodnotenie v reálnom čase, vizualizácia a archivácia meraných údajov. To umožňuje v atómových elektrárnach monitorovať naklonenie reaktorov i počas prevádzky, kým klasickými geodetickými metódami (napr. presnou niveláciou) je toto možné iba pri ich odstávke.

Merací systém pre AE J. Bohunice a AE Mochovce navrhli a realizovali pracovníci Ústavu merania Slovenskej akadémie vied. Hodnovernosť meraní realizovaných navrhnutým systémom je zabezpečená súčasným použitím dvoch navzájom funkčne nezávislých meracích systémov – hydrostatického a pendametrického meracieho systému. Systém pozostáva z trojice snímačov na hydrostatickú niveláciu H.N1 až H.N3 a dvojice pendametrických snímačov (Obr. 4.24) napojených na riadiaci počítač. Uvedený prístup umožnil číslicové spracovanie výstupných signálov všetkých snímačov v reálnom čase a prístup k meraným údajom cez lokálnu počítačovú sieť z ľubovoľného miesta elektrárne.



Obr. 4.24. Schéma meracieho systému na meranie naklonenia reaktora

Hydrostatický merací systém generuje iba relatívne prevýšenie a zmenu tohto prevýšenia medzi jednotlivými bodmi merania. Na výpočet naklonenia je potrebné vypočítať parametre roviny, ktorá je definovaná bodmi trojice snímačov a potom vypočítať naklonenie tejto roviny. Naklonenie sa určuje na základe prvkov normálového vektora roviny (odchýlka od zvislice). Tomuto je podriadené usporiadanie snímačov na objekte reaktora (Obr. 4.25).

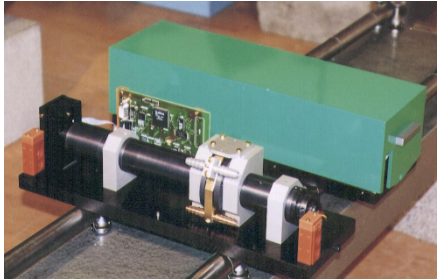
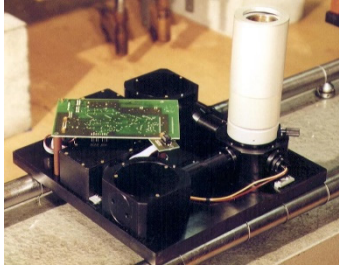


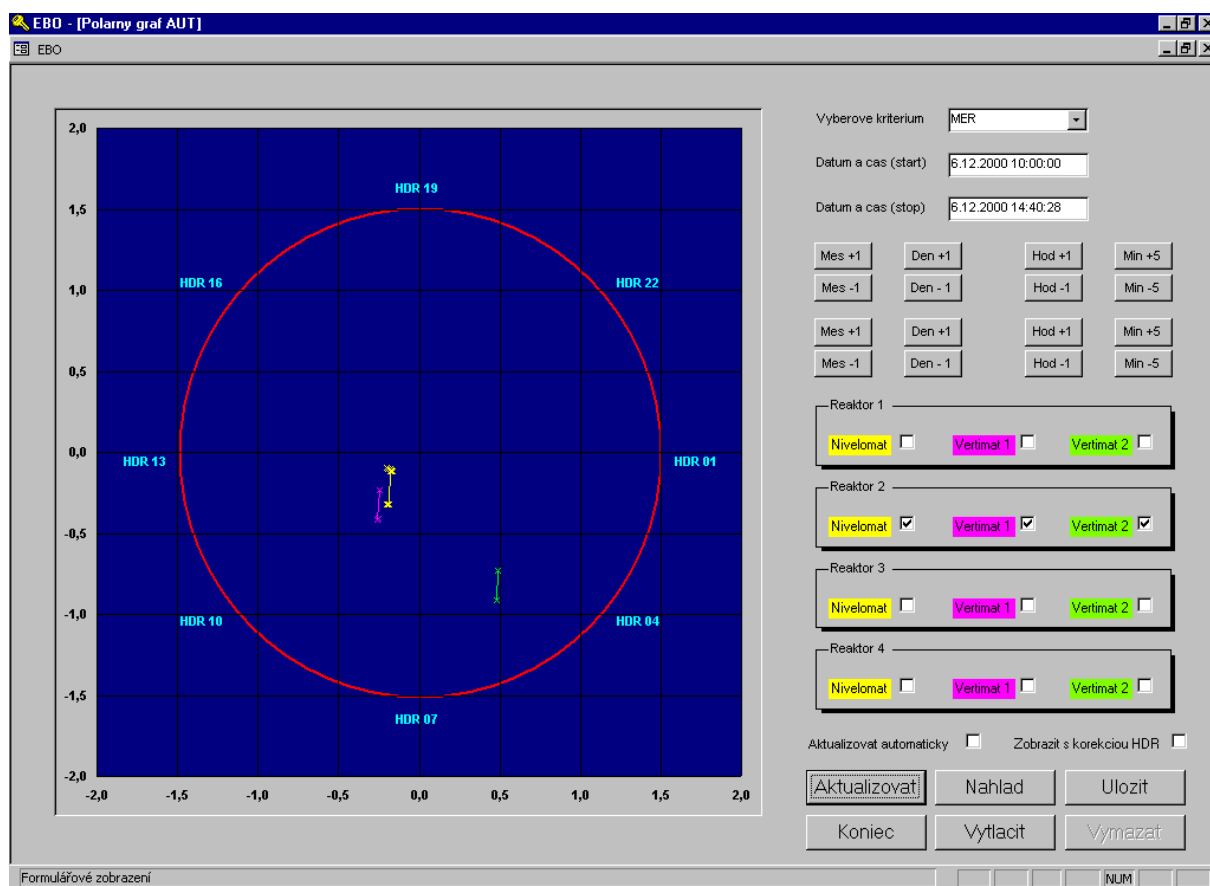
Obr. 4.25. Rozmiestnenie snímačov na objekte reaktora

Presnosť určenia naklonenia reaktora je funkciou presnosti merania jednotlivými snímačmi a ich vzájomného usporiadania (Tab. 4.1):

Riadiaci počítač s inštalovaným softvérom, môže riadiť proces merania a spracovania až 32 hydrostatických a 32 pendametrických snímačov. Aktuálnu informáciu o polohe reaktora zobrazuje nepretržite pre obsluhu elektrárne v číselnej a grafickej podobe (Obr. 4.26).

Tabuľka 4.1. Parametre hydrostatických a pendametrických snímačov

Parametre	Hydrostatické snímače	Pendametrické snímače
Obrázok		
Rozsah merania	10 mm	+/- 2 mm
Rozlišovacia schopnosť	1 μm	0,1 μm
Presnosť merania	10 μm	1 μm



Obr. 4.26. Číselné a grafické znázornenie aktuálnej polohy reaktora (Ondriš et al., 2005)

5 Terestrické laserové skenovacie systémy

Laserové skenovanie počas uplynulých troch dekád vývoja skenovacích systémov, sa stalo súčasťou geodetickej praxe. Technológia laserového skenovania je v súčasnosti jednou z najefektívnejších metód zberu priestorových údajov a tvorby 3D modelov. Umožňuje transformovať reálny objekt do podoby počítačového virtuálneho modelu. Nachádza čoraz väčšie uplatnenie v oblasti geodézie, stavebníctva, priemyslu, architektúry, archeológie a v ďalších príbuzných odboroch.

Výhodou terestrického laserového skenovania (TLS) oproti konvenčným geodetickým metódam je efektivita zberu priestorových údajov. TLS umožňuje dokumentovanie celého meraného objektu so všetkými konštrukčnými prvkami bez potreby definovania charakteristických bodov na povrchu meraného objektu. Rýchlosť skenovania súčasnými skenermi (až 1 miliónov bodov za sekundu) umožňuje výrazné skrátenie času potrebného na meranie, resp. zvýšenie množstva získaných informácií o meranom objekte. Väčšie množstvo údajov (rádovo niekoľko miliónov bodov) umožňuje tvorbu komplexných modelov, alebo dokumentáciu objektu vo forme detailného mračna bodov (nepravidelný raster meraných bodov, ležiacich na povrchu meraného objektu). Táto vlastnosť ďalej umožňuje zmeniť výstupy spracovania údajov získaných TLS bez potreby vykonania dodatočných meraní, pričom tieto sa vzťahujú k rovnakej epoche meranie, vyjadrujúcej určitý stav meraného objektu.

V nasledujúcich kapitolách je opísaný funkčný princíp terestrického laserového skenovania, testovanie a kalibrácia skenovacích systémov a základné princípy spracovania meraných údajov získaných TLS. V závere 5. kapitoly sú uvedené ukážky aplikácie TLS v stavebníctve a v priemysle.

5.1 Princíp terestrického laserového skenovania

TLS umožňuje bezkontaktné určovanie priestorových súradníc bodov ležiacich na povrchu meraného objektu. Výsledkom skenovania je nepravidelný raster, tzv. mračno bodov (z anglického Point Cloud), ktorý dokumentuje meraný objekt. Mračno bodov slúži ako podklad na tvorbu priestorového modelu meraného objektu alebo ako technický podklad na kontrolu geometrických parametrov, prípadne rozdielov pri určovaní posunov a pretvorení.

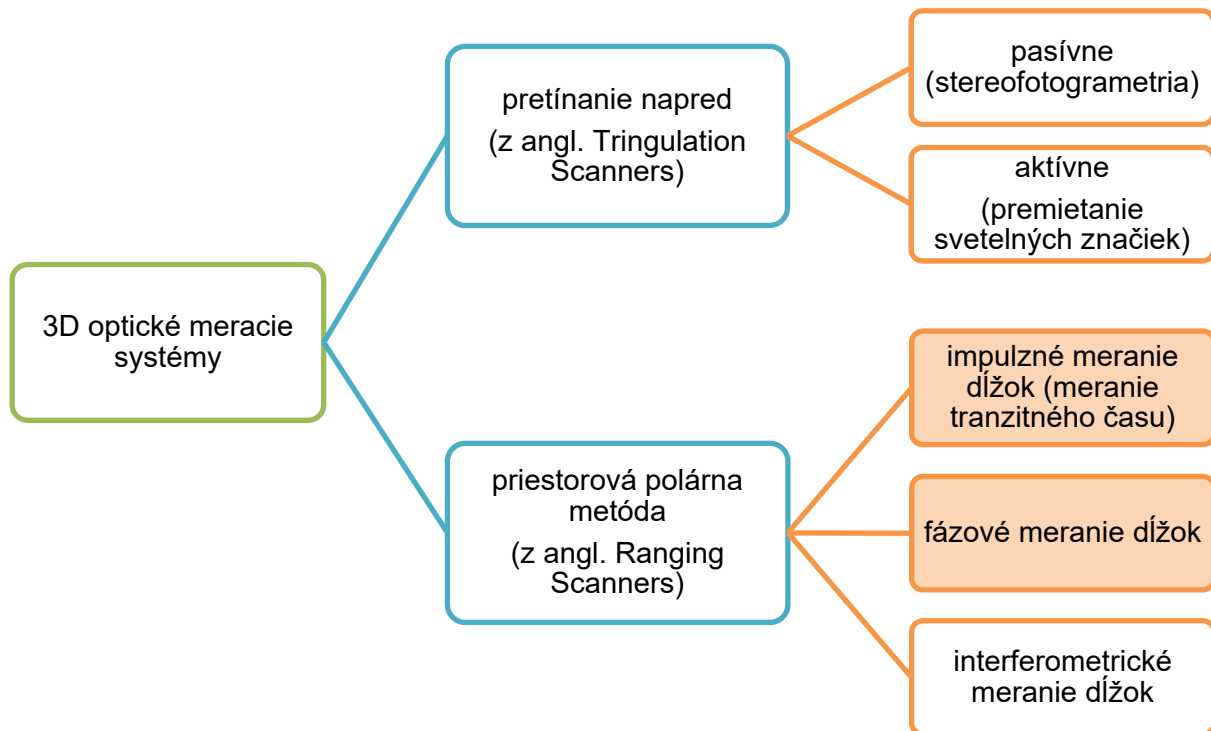
TLS patrí medzi neselektívne metódy merania, čo znamená, že merané body sú rozmiestnené neselektívne v rasti, definovanom pravidelnými uhlovými rozstupmi vo vodorovnom aj zvislom smere. Na rozdiel od konvenčných geodetických metód, súradnice charakteristických bodov získame modelovaním, resp. generalizáciou hlavných prvkov vytvorených 3D modelov, alebo výsledného mračna bodov (Obr. 5.1). Na efektívne využívanie TLS a údajov získaných laserovým skenovaním je potrebné poznať základné princípy fungovania týchto systémov. TLS ako každý merací systém má svoje fyzikálne, funkčné ako aj technologické obmedzenia, ktoré treba brať do úvahy pri návrhu merania ako aj pri

spracovaní meraných údajov. V opačnom prípade spomínané obmedzenia môžu znehodnotiť výsledky aj správne navrhnutého a vykonaného merania.



Obr. 5.1. Rozdiel medzi selektívnou (vľavo) a neselektívnou metódou (vpravo)

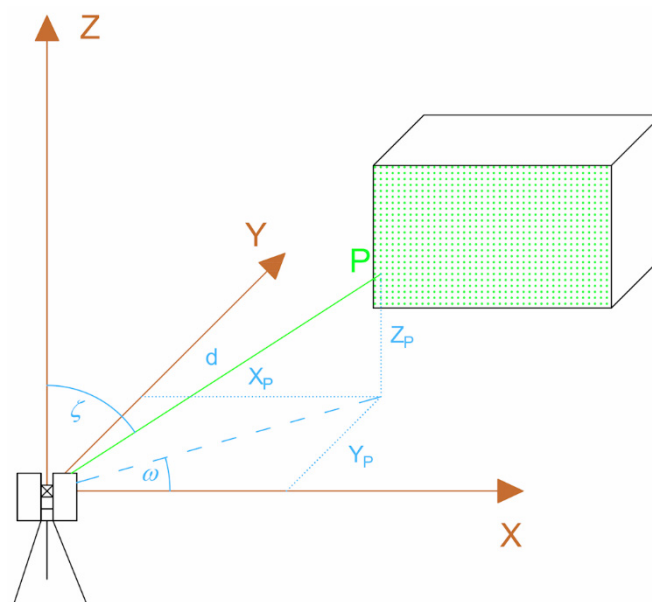
Optické 3D meracie techniky využívajú na určenie priestorovej polohy meraných bodov metódu pretínania napred alebo polárnu metódu, pričom využívajú vlastnosti šírenia elektromagnetického vlnenia prostredím. Systémy pracujúce na princípe pretínania napred môžu byť pasívne, založené na spracovaní stereoskopických snímok, alebo aktívne, používajúce premietanie rôznych svetelných značiek a textúr na povrch meraného objektu. V systémoch využívajúcich polárnu metódu sa meraná dĺžka určuje impulzným meraním (meraním tranzitného času), fázovým meraním alebo interferometricky (Vosselman et al., 2010). Klasifikácia 3D optických meracích systémov podľa princípu určenia priestorovej polohy meraných bodov je znázornené na Obr. 5.2.



Obr. 5.2. Klasifikácia 3D optických meracích systémov podľa princípu určenia polohy bodu

V systémoch využívajúcich priestorové pretínanie napred sa poloha meraného bodu určuje na základe spracovania obrazu pri známej geometrii senzorov skenovacieho systému (Luhmann, 2015). Vo väčšine prípadov ide o aktívne triangulačné skenery, kde na jednom konci základnice je umiestnený zdroj žiarenia premietajúci meračskú značku, alebo štruktúrované svetlo na povrch meraného objektu a na druhom konci je kamera (CCD, CMOS) snímajúca polohu premietanej značky. Vo väčšine prípadov na vytvorenie 3D modelu meraného objektu je potrebné signalizovať na povrchu meraného objektu vlicovacie body (na určenie prvkov vnútornej a vonkajšej orientácie). Triangulačné skenovacie systémy majú krátky dosah do 1,5 m a spravidla vyššiu presnosť na úrovni niekoľkých stotín milimetra.

V súčasnosti väčšina TLS s dosahom väčším ako 2 m pracuje na princípe priestorovej polárnej metódy. Priestorová poloha bodu sa pri týchto skenovacích systémoch počíta na základe meraného horizontálneho smeru (z vypočítaného horizontálneho uhla ω), zenitového uhla ζ a šikmej dĺžky d (Obr. 5.3).



Obr. 5.3. Určenie polohy bodu polárnou metódou

Poloha meraného bodu (ležiaci na povrchu meraného objektu) sa určuje podľa rovníc:

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d \cdot \cos \omega \cdot \sin \zeta \\ d \cdot \sin \omega \cdot \sin \zeta \\ d \cdot \cos \zeta \end{bmatrix} \quad (5-1)$$

5.1.1 Meranie dĺžok

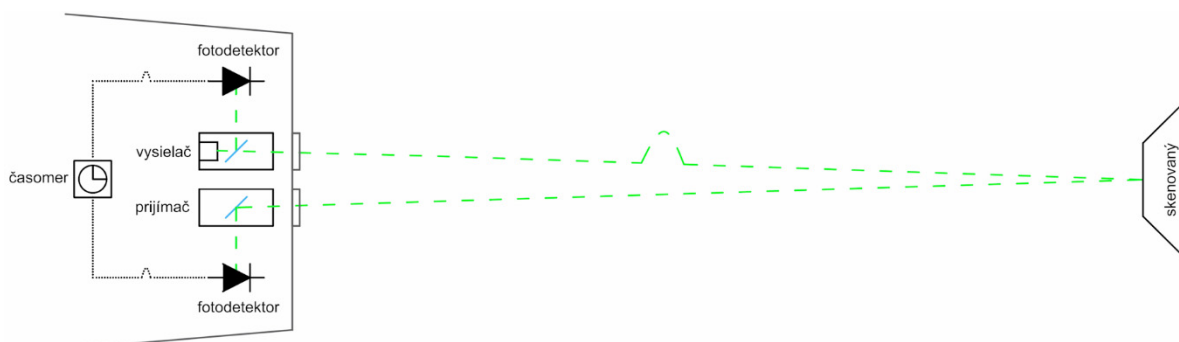
Meranie dĺžok v optických 3D meracích systémoch sa vykonáva elektronickým alebo optoelektronickým spôsobom. Optoelektronické určovanie dĺžky sa využíva v skeneroch pracujúcich na princípe priestorového pretínanie napred (optická triangulácia). Triangulačný laser pozostáva zo základnice, na ktorej koncoch sú umiestnené laser a CCD/CMOS snímač, ktorý zachytáva odrazený laserový lúč. V závislosti od vzdialenosti skenovaného objektu sa

mení poloha obrazu laserového lúča na fotodióde. Z polohy obrazu laserového lúča, z dĺžky základnice a paralaktického uhla možno vypočítať vzdialenosť objektu od dĺžkomera. Vzhľadom na to, že výpočet vychádza v porovnaní s meranou dĺžkou z krátkej základnice (vzdialenosť lasera od fotodiódy, resp. od polohy obrazu laserového lúča), jej dĺžka musí byť určená s vysokou presnosťou. Triangulačné lasery sú vhodné na meranie krátkych dĺžok, pretože narastaním meranej dĺžky narastá aj neistota určenia dĺžky.

Skenery pracujúce na princípe polárnej metódy využívajú na meranie dĺžky impulzné alebo fázové meranie. Hlavné časti elektromagnetických dĺžkomerov sú vysielateľ a prijímač. Elektromagnetické vlnenie vychádza z vysielateľa, odrazí sa od povrchu skenovaného objektu a vráti sa späť do prijímača.

Impulzné meranie dĺžok je založené na meraní tranzitného času, potrebného na prechod elektromagnetického impulzu (meracieho impulzu) z vysielateľa do prijímača (na prechod dvojnásobku meranej dĺžky). Vysielateľ dĺžkomera vyšle impulz, ktorý zároveň spustí meranie tranzitného času. Po odraze od skenovaného objektu prijímač zachytí merací impulz a zastaví meranie tranzitného času. Z meraného tranzitného času t a zo známej rýchlosti šírenia sa impulzu prostredím c sa určí meraná dĺžka podľa:

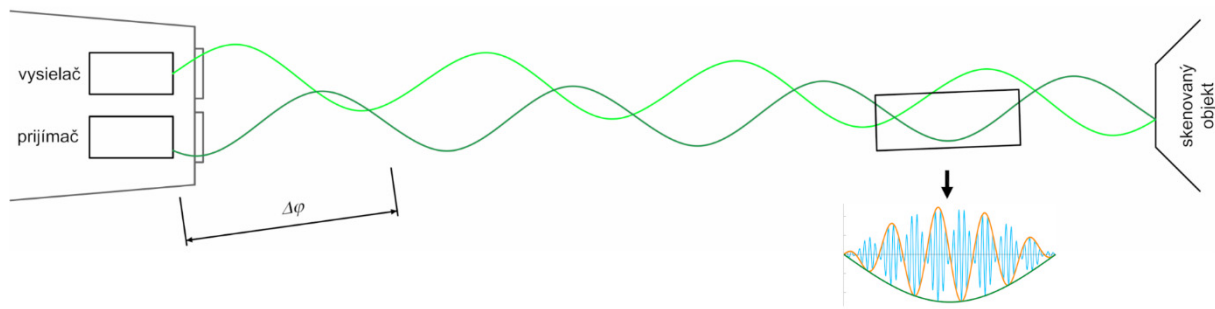
$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad (5-2)$$



Obr. 5.4. Princíp impulzného merania dĺžky

Fázové meranie dĺžok je založené na porovnávaní vyslaného a prijatého meracieho signálu. Ako merací signál sa používa modulované elektromagnetické vlnenie, ktoré môže byť amplitúdovo modulované (AM), alebo fázovo modulované (FM). Pri AM je meraný fázový rozdiel, ktorý vzniká medzi vyslaným a prijatým signálom. Vysielateľ vyšle modulované elektromagnetické vlnenie, to sa odrazí od objektu a vráti sa do prijímača, pričom medzi odrazenou a prijatou vlnou vzniká fázový rozdiel $\Delta\varphi$. Meraná dĺžka je určovaná z tohto fázového rozdielu a z počtu celých vln. AM slúži práve na riešenie problému určenia počtu celých vln (ambiguit). Pri známej frekvencii modulácie f_m môže byť meraná dĺžka počítaná podľa (Smith, 2015):

$$d = \frac{c}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{\Delta\varphi}{f_m} \quad (5-3)$$



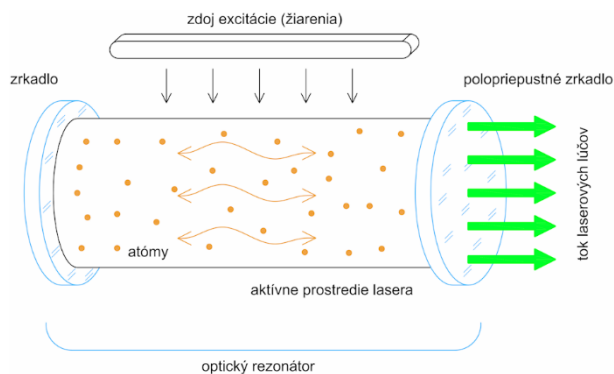
Obr. 5.5. Princíp fázového merania dĺžky

Na výsledky elektronického merania dĺžok majú vplyv atmosférické podmienky ako sú teplota, tlak a vlhkosť, prípadne chemické zloženie prostredia. Na elimináciu ich vplyvu je potrebné vykonať korekciu meranej dĺžky o vplyv atmosférických podmienok, tá sa vo väčšine prípadov vykonáva automatizovane v ovládacom softvéri dĺžkomera. Skenovacie systémy s dosahom nad 100 m umožňujú nastavenie atmosférických podmienok priamo v ovládacom softvéri skenera, resp. tieto sú merané pomocou snímačov zabudovaných v danom prístroji.

Najvhodnejší zdroj žiarenia elektromagnetických vln pre skenovacie systémy sú lasery. Laserové žiarenie je vo vysokej miere monochromatické a má úzku šírku spektrálnej línie oproti ostatným zdrojom žiarenia. Je koherentné, intenzívne a použitím optickej sústavy smerovo vysoko stabilné.

Z fyzikálneho hľadiska je laser zosilňovač elektromagnetického žiarenia. Fyzikálny princíp lasera je založený na indukovanej emisii žiarenia (fotónov) v aktívnom prostredí lasera. Pri stimulovanej emisii energetické prechody atómov látky sú v istom zmysle koordinované. Jeden fotón môže vyvolať prechody spojené s vyžiarením aj v ďalších atómoch. Stimulovane vyžiarený fotón má rovnakú nielen frekvenciu ako fotón, ktorý tento proces vyvolal, ale rovnakú aj fázu, polarizáciu a smer postupu (Baník et al., 2007). Pri laserových diódach sa tieto emitované fotóny pohybujú v optickom rezonátore, ktorý je tvorený paralelnými zrkadlami s vysokou reflektivitou. Pri prechode fotónu okolo excitovanej častice dochádza k stimulácii častice a vyžiareniu fotónu rovnakej vlnovej dĺžky s rovnakým smerom pohybu ako mal pôvodný fotón. Takto sa tok fotónov postupne zvyšuje a pri prechode toku jedným zo zrkadiel, ktoré je polopriepustné, alebo má malý otvor (eliminácia difrakcie je zabezpečená pridaným optickým systémom šošoviek), tieto fotóny vytvárajú veľmi intenzívny tok, koherentný a málo rozbiehavý monochromatický zväzok svetelných lúčov.

Lasery vo všeobecnosti môžeme rozdeliť na tri základné časti. Prvá časť je aktívne prostredie, ktoré obsahuje atómy schopné excitácie. Druhú časť tvorí zdroj energie, ktorý excitáciu častíc vyvoláva. Treťou časťou je optický rezonátor, ktorý zabezpečuje zosilnenie laserového žiarenia (Obr. 5.6). Vzdialenosť zrkadiel optického rezonátora má zodpovedať celistvému násobku polovice vlnovej dĺžky, aby sa vytvorilo intenzívne stojaté vlnenie. Namiesto rovinných zrkadiel sa pri rezonátoroch často používajú aj guľové zrkadlá s malým zakrivením (Baník et al., 2007).



Obr. 5.6. Základné časti pevnofázového lasera

Lasery sa podľa skupenstva aktívnej látky lasera delia na:

- pevnofázové (rubínový, polovodičový),
- plynové (hélium-neónový),
- kvapalinové.

Podľa režimu činnosti sa delia na:

- kontinuálne,
- impulzné.

Kontinuálne lasery žiaria sústavne a bez prerušovania, zatiaľ čo impulzné vytvárajú krátkodobé svetelné záblesky, ktoré podľa potreby a možností dajú s istou frekvenciou opakovať. Impulzný laser môže v priebehu trvania pulzu dodávať žiarenie vysokého výkonu, čo umožňuje vysokú koncentráciu svetelnej energie do malého priestoru v krátkom čase (Baník et al., 2007).

V súčasnosti sa v TLS využívajú polovodičové lasery. Aktívnym prostredím polovodičových laserov je polovodičový materiál, v ktorom aktívne časti sú elektróny v nerovnovážnom stave a diery (voľné nosiče náboja). Na rozdiel od ostatných laserov, žiarivý prechod v polovodiči existuje len medzi dovolenými energetickými pásmami. Hlavná prednosť polovodičových laserov je ich kompaktnosť, nízka spotreba elektrickej energie, vysoká účinnosť, malé rozmery, nízka citlivosť na zaobchádzanie, možnosť preladenia v širokom spektrálnom pásme a v závislosti od aktívneho prostredia lasera generovanie žiarenia rôznych vlnových dĺžok (532 nm až 815 nm). Na druhej strane ich nevýhoda je vyššia rozbiehavosť generovaného žiarenia a závislosť generovaného žiarenia od teploty polovodičového materiálu (Štroner et al., 2013).

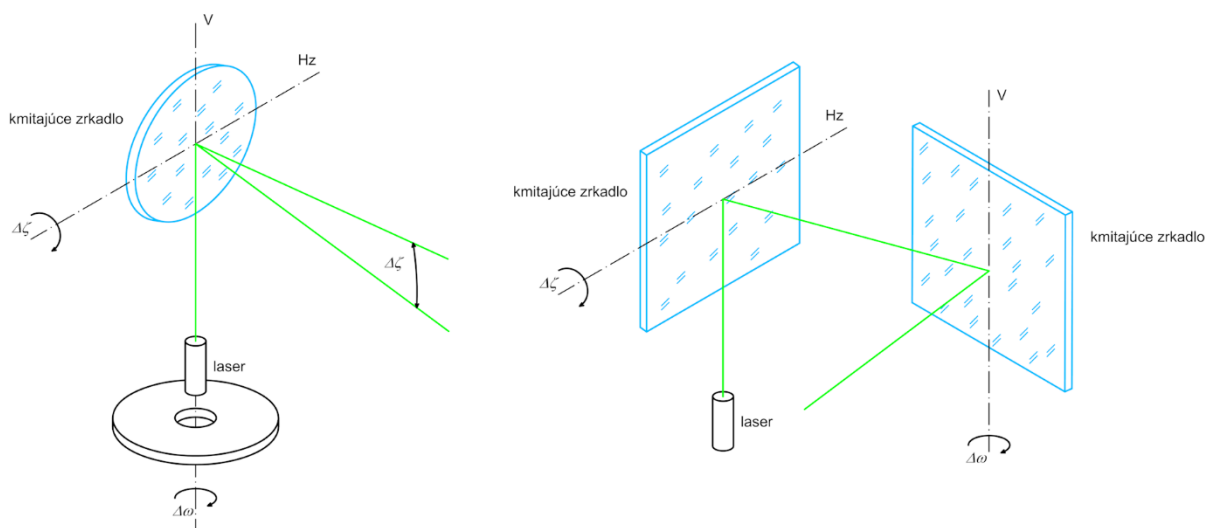
Dôležitá vlastnosť dĺžkometerov používaných v TLS je veľkosť laserovej stopy. Zväzok laserových lúčov vychádzajúcich z laserovej diódy je optickým systémom prístroja upravený tak, aby upravený zväzok bol čo najmenej rozbiehavý. Väčšina výrobcov TLS v technických parametroch prístrojov uvádza ohniskovú vzdialenosť optického systému ako aj veľkosť laserovej stopy na definovanú vzdialenosť. Určovaním geometrických charakteristík zväzku laserových lúčov sa podrobne zaoberá norma *STN EN ISO 11146-1 Lasery a laserové*

zariadenia. Skúšobné metódy na šírku laserového lúča, uhly rozbiehavosti a pomer šírenia zväzku. Časť 1: Stigmatický a jednoduchý astigmatický lúč (ISO 11146-1: 2005).

5.1.2 Projekčné mechanizmy na vychyľovanie zväzku laserových lúčov

Raster bodov na povrchu skenovaných objektov môže byť definovaný pre určitú vzdialenosť objektu od TLS rozstupom susedných bodov rastra v horizontálnom a vo vertikálnom smere, alebo uhlovými rozstupmi zenitového uhla $\Delta\zeta$ a vodorovného uhla $\Delta\omega$ medzi susednými bodmi rastra. Tento raster je definovaný v softvérovom prostredí daného skenovacieho systému. Na skenovanie objektu, teda na určenie priestorových súradníc bodov rastra, sa používajú rôzne princípy vychyľovania zväzku laserových lúčov.

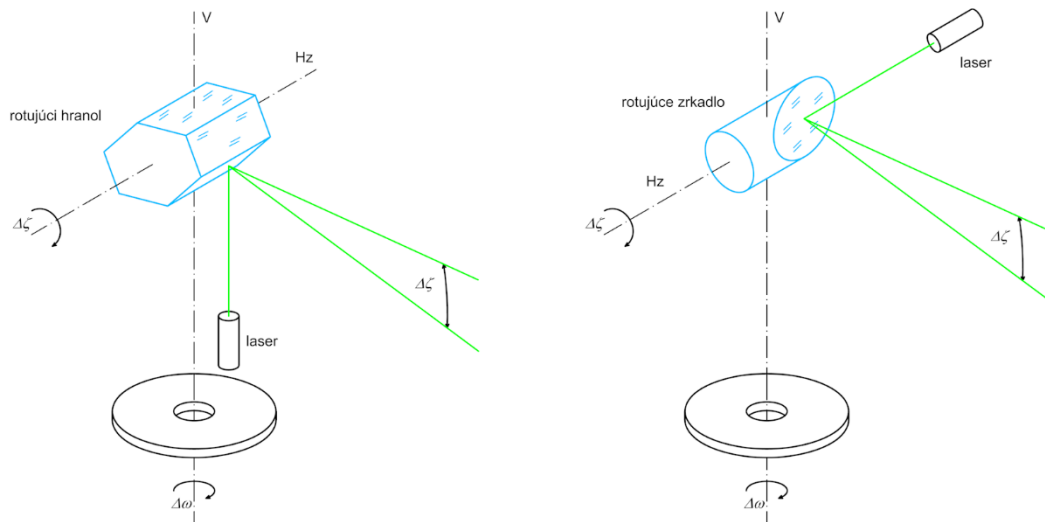
Jedna z možností vychyľovania zväzku laserových lúčov je vychyľovanie pomocou kmitajúceho zrkadla (z angl. Oscillating Mirror) (Obr. 5.7). Zväzok lúčov je vychyľovaný v rovine, ktorá pretína objekt približne vo zvislom profile (merané body ležia na zvislom profile). Kombináciou kmitajúceho zrkadla a rotácie prístroja okolo vertikálnej osi možno skenovať priestor okolo prístroja, ktorý je ohraničený len vo vertikálnom smere v závislosti od konštrukcie daného prístroja a samotného zrkadla. Uvedený spôsob vychyľovania laserového lúča sa používa najmä v hybridných skenovacích systémoch s obmedzeným zorným polom prístroja (pozri kapitola 5.2). Alternatívou je použitie dvoch kmitajúcich zrkadiel, pomocou ktorých je možné zväzok vychyľovať v dvoch smeroch a vytvoriť tak raster bodov na objekte. Tento spôsob vychyľovania sa používa najmä v kamerových skenovacích systémoch (pozri kapitola 5.2).



Obr. 5.7. Vychyľovanie zväzku laserových lúčov pomocou kmitajúceho zrkadla: kombinácia kmitajúceho zrkadla a rotácie prístroja okolo vertikálnej osi (vpravo), kombinácia dvoch kmitajúcich zrkadiel (vľavo)

Ďalšia možnosť vychyľovania zväzku laserových lúčov s vysokou rýchlosťou je riešenie pomocou rotujúceho odrazového hranola (Rotating Polygon). Odrazový hranol má tvar pravidelného n -uholníka, jeho normála prechádzajúca ťažiskom je os rotácie

(Štroner et al., 2013). Zväzok lúčov je vychyľovaný vo vertikálnom smere pomocou zrkadla a merané body tak vytvárajú zvislý profil na povrchu skenovaného objektu. Zorné pole vo vertikálnom smere je tak obmedzené len v minimálnej miere konštrukciou prístroja (nie je možné skenovať pod statívom, resp. podložkou prístroja). Vychyľovanie v horizontálnom smere je zabezpečené rotáciou skenera okolo vertikálnej osi. V súčasných panoramatických TLS (pozri kapitola 5.2) sa používa práve uvedený princíp projekčného mechanizmu, pričom rotujúci n-uholník je často nahradený rotujúcim zrkadlom (Obr. 5.8).



Obr. 5.8. Vychyľovanie zväzku laserových lúčov pomocou rotujúceho hranola (vľavo) a pomocou rotujúceho zrkadla (vpravo)

Na vychyľovanie zväzku laserových lúčov môžeme využiť aj zdroj rotujúci okolo dvoch na seba kolmých osí. Túto realizáciu predstavujú robotizované univerzálne meracie stanice s funkciou skenovania bodov. Rýchlosť skenovania je výrazne nižšia ako pri TLS a je obmedzená rýchlosťou servomotorov, resp. piezoelektrického pohonu prístroja, a tiež rýchlosťou merania dĺžok a registrácie meraných údajov.

Pri leteckých skeneroch sa často využíva šikmé rotujúce zrkadlo (Palmer Scan), kde os rotácie zrkadla a rovina odrazovej plochy nie sú na seba kolmé. Rotáciou takéhoto optického systému merané body na povrchu skenovaného objektu vytvárajú špirálu (Vosselman et al., 2010). Ďalším využívaným systémom na vychyľovanie zväzku laserových lúčov je vychyľovanie pomocou optických vlákien (Fibre Scanner). Rotujúce zrkadlo odráža laserový lúč do otvorov optických vlákien usporiadaných do kružnice. Plášť takto vytvoreného valca je rozvinutý do roviny tak, aby osi jednotlivých optických vlákien zvierali požadovaný uhol (uhol rozbiehavosti). Rozmetaný laserový lúč vytvára na skenovanom povrchu profil, pričom rozstupy medzi profilmi sú definované rýchlosťou pohybu nosiča (lietadla).

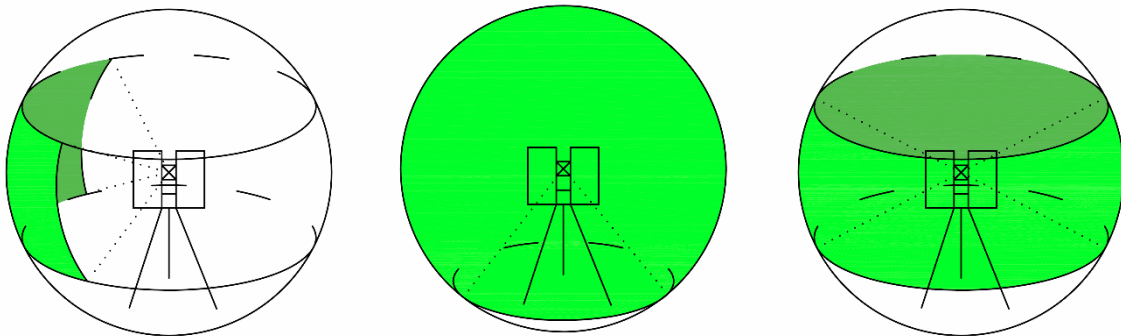
Fotogrametrické skenovacie systémy môžu využívať statický optický element. Tento optický element vytvára v priestore výrez zvislej svetelnej roviny. Skenovaný objekt rotuje okolo zvislej osi a obraz vzniknutého svetelného profilu (stopy) je zaznamenaný kamerou (CCD, resp. CMOS snímačom). Model predmetu vzniká spájaním obrazov jednotlivých stôp v počítačovom prostredí (Štroner et al., 2013).

5.1.3 Kategorizácia terestrických laserových skenerov

Skenovacie systémy možno kategorizovať podľa rôznych kritérií. Jedno z kritérií je umiestnenie skenera pri skenovaní. Ak je skener umiestnený na povrchu Zeme, hovoríme o terestrických systémoch. Terestrické systémy sa ďalej delia na statické a kinematické, v závislosti od toho či sú umiestnené stacionárne alebo na pohybujúcom sa nosiči (auto, drezina, vozík atď.). Skener môže byť umiestnený aj na lietajúcom nosiči (lietadlo, vrtuľník, bezpilotné lietadlo), v tom prípade ide o letecký skenovací systém.

Podľa princípu merania dĺžky sa TLS delia na impulzné a fázové (kapitola 5.1.1). Fázové meranie sa využíva pri skeneroch s krátkym dosahom, kým impulzné meranie dĺžky sa využíva pri skeneroch so stredným a dlhým dosahom.

Ďalšie kritérium je veľkosť zorného poľa a rozsah skenovania. Podľa toho skenery sa delia na kamerové, panoramatické a hybridné (Obr. 5.9). V kamerových skeneroch je zväzok laserových lúčov vychyľovaný (navedený na body rastra) pomocou kmitajúcich zrkadiel alebo hranolov (Obr. 5.7 vpravo), čo umožňuje vychyľovanie zväzku lúčov do relatívne malého zorného poľa. Panoramatické laserové skenery ako projekčné mechanizmy používajú rotujúce hranoly resp. rotujúce zrkadlá (Obr. 5.8). Zväzok lúčov je vychyľovaný vo vertikálnom smere len s minimálnym obmedzením (pod samotným prístrojom), pričom vychyľovanie v horizontálnom smere je zabezpečené rotáciou skenera okolo vertikálnej osi. Hybridný systém je kombináciou panoramatického a kamerového systému. Vo väčšine prípadov ide o skenery schopné skenovať 360° v horizontálnom smere s obmedzeným zorným poľom vo vertikálnom smere. Ako projekčný mechanizmus najčastejšie používajú kmitajúce zrkadlo v kombinácii s otáčaním okolo vertikálnej osi prístroja (Obr. 5.7. vľavo).



Obr. 5.9. Kategorizácia TLS podľa zorného poľa: kamerový (vľavo), panoramatický (v strede) a hybridný skener (vpravo)

Podľa dosahu sa TLS delia na systémy:

- s krátkym dosahom do 150 m,
- so stredným dosahom od 150 m do 450 m,
- s dlhým dosahom až niekoľko kilometrov.

Dosah skenovacích systémov (maximálna meraná dĺžka) uvádzaných výrobcami prístrojov závisí najmä od svetelných podmienok v priestore skenovania a od povrchových vlastností meraného objektu (farba, materiál, drsnosť). Väčšina výrobcov uvádza dosah pre

rôzne hodnoty reflektivity skenovaného povrchu, pričom maximálna hodnota môže byť uvedená pre 90 % reflektivitu alebo vyššiu. Takáto reflektivita môže byť dosiahnutá len pri povrchoch so špeciálnou povrchovou úpravou (reflexná fólia, reflexný náter a pod.), preto pri skenovaní objektov z materiálov ako je betón, drevo alebo kov je dosah týchto systémov spravidla nižší.

S narastajúcim dosahom skenovania spravidla klesá presnosť skenovacích systémov. Podľa presnosti možno skenery deliť v závislosti od ich dosahu na skenery:

- s presnosťou lepšou ako 1 mm (skenery s krátkym dosahom),
- s presnosťou 1 mm až 6 mm (skenery s krátkym a so stredným dosahom),
- s presnosťou horšou ako 6 mm až niekoľko centimetrov (skenery s dlhým dosahom).

Ďalšia dôležitá vlastnosť TLS je rýchlosť vyjadrená počtom meraných bodov za sekundu. Súčasne vyrábané TLS s krátkym a so stredným dosahom umožňujú meranie niekoľko 100 tis. bodov za sekundu (niektoré až 1 mil.). Skenery s veľkým dosahom majú spravidla nižšiu rýchlosť, ktorá v súčasnosti dosahuje niekoľko tisíc až desiatok tisíc bodov za sekundu.

5.2 Meranie pomocou terestrických laserových skenerov

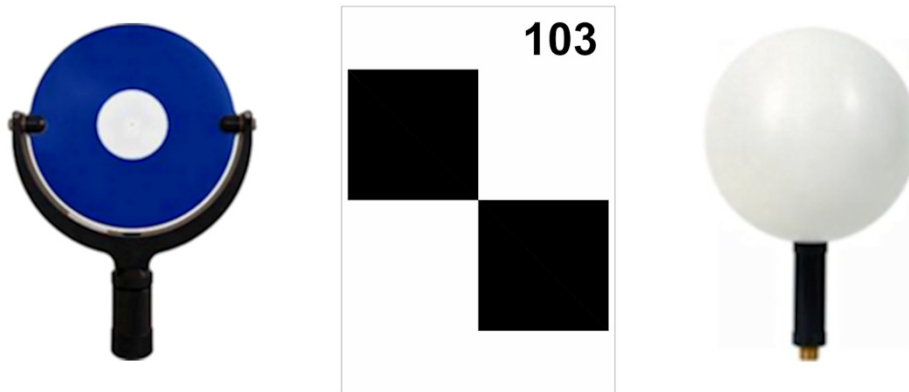
Postup získavania informácií a tvorby modelov pomocou TLS môžeme rozdeliť do troch hlavných krokov. Prvý krok je príprava na meranie. V rámci prípravy na meranie sa vykoná rekognoskácia meraného objektu, voľba stanovísk pre skenovanie, signalizácia a podľa potreby určenie súradníc vlicovacích bodov. Druhý krok je samotné skenovanie. Posledný krok je spracovanie údajov získaných TLS.

5.2.1 Príprava na skenovanie

V rámci rekognoskácie sa zisťuje povrch a tvar skenovaného objektu a jeho konštrukčných prvkov. Na základe získaných informácií o objekte, s prihliadnutím na typ a vlastnosti použitého skenera, ako napr. dosah, zorné pole a presnosť, sa naplánuje konfigurácia stanovísk skenera a vlicovacích bodov.

V prípade, že meraný objekt nie je možné naskenovať z jedného stanoviska prístroja, je nutné v priestore skenovania zvoliť vlicovacie body. Vlicovacie body slúžia na spájanie jednotlivých mračien do spoločného súradnicového systému. Môžu byť signalizované prirodzene priamo na meranom objekte (napr. ostré rohy, guľové tvary alebo ich časti) alebo umelo signalizované pomocou signalizačných značiek. Väčšina skenovacích systémov používa konkrétny typ cieľových značiek pre vlicovacie body, ktoré sú systémy schopné automatizovane vyhľadať a zamerať s vyššou presnosťou ako podrobné body. Môžu to byť rovinné značky, alebo guľové, resp. polguľové cieľové značky. Po naskenovaní guľových značiek, sa bodmi na povrchu týchto značiek preloží guľa a jej vypočítaný stred je použitý ako vlicovací bod. Iný typ značiek sú rovinné cieľové značky s reflexným povrchom, ktoré skenovací systém identifikuje podľa vysokej intenzity odrazeného meracieho signálu, alebo cieľové značky s vysokým kontrastom medzi jednotlivými časťami značky (tzv. šachovnicové

značky, z. angl. checkerboard target). Na Obr. 5.10 sú uvedené niektoré typy cieľových značiek používaných na signalizáciu vličovacích bodov – cieľová značka Leica HDS (vľavo), šachovnicová cieľová značka (v strede) a sférická cieľová značka (vpravo).



Obr. 5.10. Príklady cieľových značiek

V mnohých prípadoch je potrebné priestorový model meraných objektov vyhotoviť vo vopred definovanom súradnicovom systéme (miestny súradnicový systém meraného objektu alebo štátny súradnicový systém). Súradnice vybraných vličovacích bodov v týchto prípadoch musia byť určené v danom súradnicovom systéme pomocou konvenčných geodetických metód. Výsledky skenovania sú na základe týchto bodov transformované do definovaného súradnicového systému pomocou priestorovej zhodnostnej transformácie.

Vličovacie body musia byť stabilizované spôsobom, ktorý zabezpečí ich stabilitu počas celého merania. V prípade určovania posunov a pretvorení stavebných objektov, vybrané vličovacie body slúžia zároveň ako vzťažné body, preto okrem dodržania zásad budovania siete vzťažných bodov je potrebné zabezpečiť aj ich dostatočnú ochranu. Pri dočasnej stabilizácii vličovacích bodov sa najčastejšie používa ich stabilizácia pomocou magnetov (Obr. 5.11), prípadne statívov (keď sa nenachádza žiadny kovový materiál v priestore skenovania).



Obr. 5.11. Dočasná stabilizácia vličovacích bodov

Alternatívou sú cieľové značky lepené pomocou obojstrannej lepiacej pásky, resp. cieľové značky (najmä šachovnicové) vo forme samolepiacich papierov (vyžaduje rovný podklad). Najčastejšia forma trvalej stabilizácie vličovacích bodov je použitie kovových kotiev (Obr. 5.12).



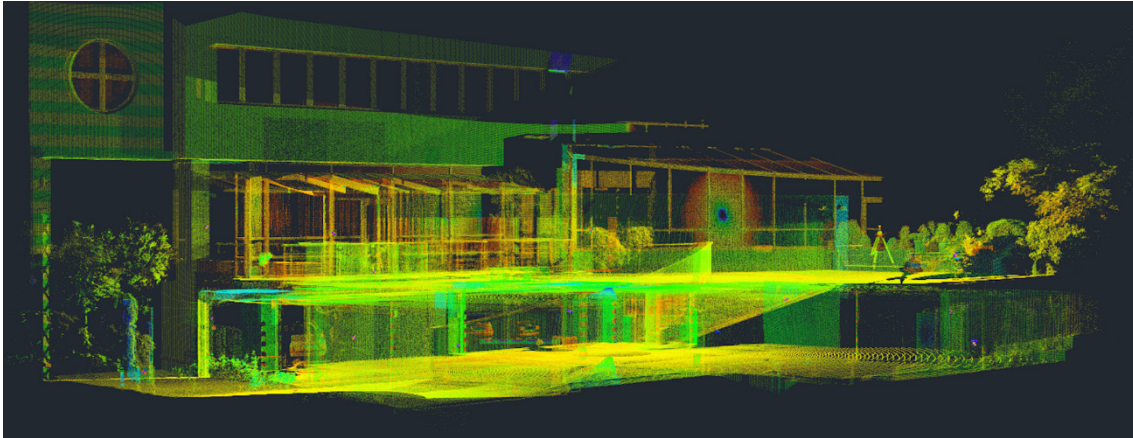
Obr. 5.12. Stabilizácia vlicovacích bodov vo forme samolepiaceho papiera (vľavo) a pomocou kovovej kotvy v betónovom podklade (vpravo)

5.2.2 Skenovanie

Pod pojmom skenovanie rozumieme proces určovania priestorových súradníc bodov, ležiacich na povrchu meraného objektu. Počas skenovania okrem priestorových súradníc bodov môžeme získať aj obrazové informácie o meranom objekte (digitálne snímky) pomocou digitálnych kamier, ktoré sú často súčasťou skenovacieho systému.

Samotný proces skenovania pozostáva z definovania parametrov skenovania a zo spustenia procesu merania. Parametre skenovania vymedzujú oblasť skenovania a hustotu bodov na povrchu skenovaného objektu. TLS vybavené digitálnou kamerou umožňujú vymedzenie oblasti skenovania na digitálnej snímke skenovaného priestoru v tvare sférického obdĺžnika. U väčšiny TLS oblasť skenovania môžeme vymedziť definovaním počiatočného a koncového vodorovného smeru a zenitového uhla. Ďalším parametrom je hustota skenovania. Od hustoty skenovania závisí podrobnosť merania a tým aj množstvo údajov získaných TLS. Hustotu môžeme nastaviť definovaním uhlového rozdielu medzi dvoma nasledujúcimi bodmi a dvoma nasledujúcimi profilmi, teda definovaním kroku horizontálneho a zvislého uhla $\Delta\omega$, $\Delta\zeta$, alebo definovaním rozmerov rastra v určitej vzdialenosti od skenera, napr. 3 mm x 3 mm na 50 m. V snahe o zjednodušenie ovládania skenerov niektorí výrobcovia obmedzili možnosť nastavenia parametrov skenovania na zadefinovanie oblasti a na výber z preddefinovaných možností hustoty skenovania. Hustota skenovania je v týchto systémoch najčastejšie definovaná počtom bodov na 360° (v horizontálnom a vo vertikálnom smere).

Po spustení merania skenovanie prebieha automatizovane bez nutnosti zasahovania merača do tohto procesu. Proces skenovania je riadený ovládacou jednotkou zabudovanou v prístroji alebo pomocou externého počítača. TLS určuje priestorové súradnice bodov a uloží ich na pamäťové médium prístroja, resp. riadiaceho počítača. Okrem súradníc bodov sa v procese merania získava aj informácia o intenzite odrazeného meracieho signálu. Ten sa odrazí od meraného objektu rôznou intenzitou v závislosti od fyzikálnych vlastností skenovaného povrchu (materiál, farba, drsnosť). Na základe intenzity odrazeného signálu možno k meraným bodom priradiť farbu (kapitola 5.3.1). Osobitný proces merania je určovanie polohy vlicovacích bodov. Väčšina TLS dokáže automatizovane určiť polohu preddefinovaného typu cieľových značiek po zadefinovaní ich približnej polohy (kapitola 5.2.1).



Obr. 5.13. Výsledok skenovania – mračno bodov

Výsledkom merania sú mračná bodov v súradnicových systémoch skenera na jednotlivých stanoviskách, prípadne obrazové informácie z internej digitálnej kamery TLS a údaje o intenzite odrazeného meracieho signálu. V niektorých prípadoch je vhodné doplniť údaje získané TLS o digitálne fotografie vyhotovené kvalitným externým digitálnym fotoaparátom. Takto získané snímky slúžia na dokumentáciu meraného objektu, sú ďalším zdrojom informácií pre spracovateľov a môžu sa použiť pri modelovaní, resp. vizualizácii výsledkov ako zdroj textúr (Štroner et al., 2013).

5.3 Spracovanie údajov získaných terestrickým laserovým skenovaním

Pod pojmom spracovanie údajov TLS najčastejšie rozumieme vyhotovenie priestorového modelu skenovaného objektu. V niektorých prípadoch výsledkom spracovania skenovania je upravené mračno bodov, ktoré dostatočne dokumentuje meraný objekt a umožní vykonanie jednoduchých meraní. V prípade určovania posunov a pretvorení, výsledkom spracovania skenovaných údajov je smer a veľkosť posunov časti mračna bodov objektu.

Spracovanie údajov získaných TLS môžeme rozdeliť na 2 nasledovné kroky:

- Adjustácia mračien bodov. Ide o finálnu úpravu mračien a prípravu výsledkov merania na spracovanie. Sem patria: transformácia mračien, odstránenie hrubých chýb, odstránenie nadbytočných bodov, filtrácia a redukcia údajov, priradenie farieb, konverzia do požadovanej dátovej štruktúry (formát výstupného súboru).
- Tvorba priestorových modelov. Vyhotovenie priestorového modelu meraného objektu alebo jeho časti, prípadne určovanie geometrických parametrov a posunov častí skenovaného objektu. Podľa požiadaviek spracovanie údajov môže zahŕňať aj tvorbu vizualizácie výsledkov (doplnenie textúr a tvorba animácií vytvoreného virtuálneho modelu).

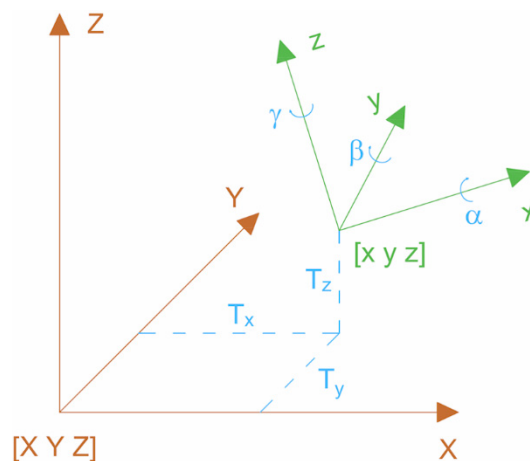
5.3.1 Adjustácia mračien bodov

Pred samotným spracovaním skenovaných údajov, treba vykonať niekoľko úprav mračna bodov. Predovšetkým ide o transformáciu mračien do jedného celku, odstránenie

chybných a nepotrebných údajov, odstránenie odrazov v priestore medzi skenovaným objektom a skenerom (ľudia, doprava, prach, dážď a pod.) a bodov nepotrebných na spracovanie (všetky body, ktoré priamo neležia na povrchu meraného objektu). Ďalej ide o filtráciu a redukciu údajov, teda o tlmenie šumu pre hladké povrchy, o decimovanie mračna bodov a o konverziu mračien do požadovaných dátových štruktúr (tvorba výstupov v požadovaných súborových formátoch).

Výsledkom merania sú mračná bodov, ktoré majú určené priestorové súradnice v rôznych súradnicových systémoch (v súradnicovom systéme prístroja na jednotlivých stanoviskách). Jeden z prvých krokov pri spracovaní meraných údajov je ich transformácia do spoločného súradnicového systému. Mračná možno transformovať do súradnicového systému prístroja na zvolenom stanovisku alebo do definovaného súradnicového systému, ktorým môže byť miestny súradnicový systém meraného objektu, alebo štátny súradnicový systém. Transformáciu možno vykonať na základe vlicovacích bodov (z angl. Target-based registration) pomocou priestorovej zhodnostnej transformácie. Ďalej možno mračná transformovať metódou minimálnych vzdialeností bodov v prekrytových oblastiach dvoch mračien (z angl. Iterative closest point method) a na základe jednoduchých geometrických primitívov získaných z mračna bodov (z angl. Feature-based registration) (Vosselman et al., 2010). Najpresnejšie výsledky transformácie možno dosiahnuť transformáciou na základe vlicovacích bodov, resp. jej kombináciou s transformáciou na základe prekrytov.

Pri priestorovej zhodnostnej transformácii sa určuje 6 prvkov transformačného kľúča, ktorými sú 3 translácie počiatku súradnicového systému T_x , T_y , T_z a 3 rotácie okolo jednotlivých osí súradnicového systému α , β , γ .



Obr. 5.14. Prvky transformačného kľúča priestorovej transformácie

Prvky transformačného kľúča pri priestorovej zhodnostnej transformácii môžu byť vypočítané riešením rovnice:

$$\mathbf{X} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{T}, \quad (5-4)$$

kde \mathbf{X} je vektor súradníc bodov vo výslednom súradnicovom systéme (do ktorej sa transformuje), \mathbf{x} je vektor súradníc bodov v transformovanom súradnicovom systéme (z ktorej sa transformuje), \mathbf{R} je ortogonálna rotačná matica, definujúca rotácie okolo osí súradnicového systému a \mathbf{T} je vektor translácií počiatku súradnicového systému pozdĺž jednotlivých osí (Obr. 5.14). Rotačnú maticu možno formulovať ako súčet troch matíc, definujúcich otočenia o uhly α , β , γ v tvare:

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_{x(\alpha)} \cdot \mathbf{R}_{y(\beta)} \cdot \mathbf{R}_{z(\gamma)}, \quad (5-5)$$

príčom rotácie sú definované ako:

$$\mathbf{R}_{x(\alpha)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{R}_{y(\beta)} = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix}, \quad (5-6)$$

$$\mathbf{R}_{z(\gamma)} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Na výpočet transformačného kľúča je potrebné poznať minimálne 6 súradníc 3 nekolineárnych bodov (neležiacich na jednej priamke). Pri praktických aplikáciách to znamená, že je potrebné poznať súradnice 3 vlicovacích bodov (celkom 9 súradníc), alebo 2 vlicovacích bodov a orientáciu jednej súradnicovej osi. Najčastejšie sa používa podmienka zvislosti osi Z, ktorá je definovaná kompenzátorom zabudovaným v prístroji. Rovnica (5-4) potom nadobudne tvar

$$\mathbf{X} = \mathbf{R}_{z(\gamma)} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{T}. \quad (5-7)$$

Táto možnosť transformácie však nie je vhodná na transformáciu mračien z pravotočivého súradnicového systému prístroja do ľavotočivého systému (S-JTSK).

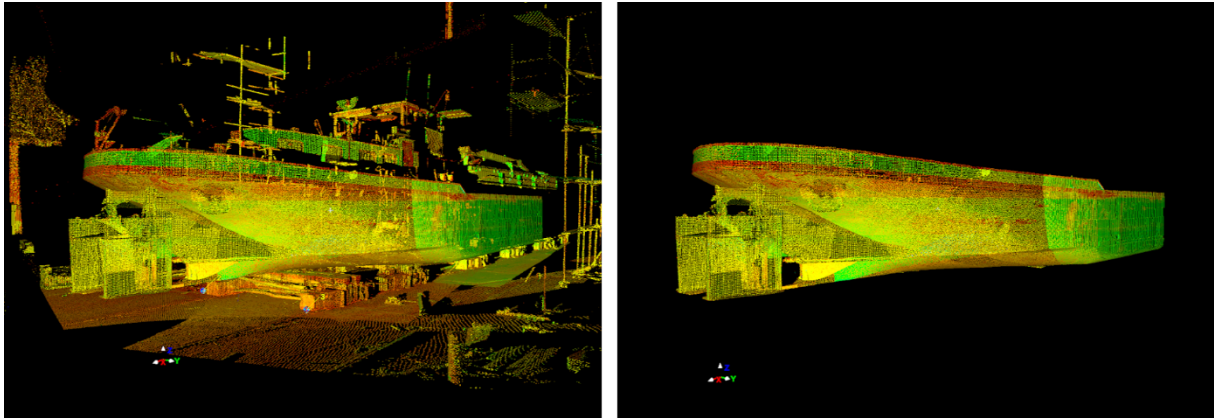
Základný predpoklad transformácie na základe prekrytových oblastí dvoch mračien je, že súčet štvorcov priestorových vzdialeností najbližších bodov medzi dvoma mračnami v týchto oblastiach je minimálny:

$$e^2 = \sum_i \|\mathbf{R} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{T} - \mathbf{X}\|^2 \rightarrow \min. \quad (5-8)$$

Na transformáciu mračien na základe prekrytov existuje niekoľko prístupov, ktoré sú bližšie opísané v (Vosselman et al., 2010), (Rusinkiewicz et al., 2001) a (Gruen et al., 2005).

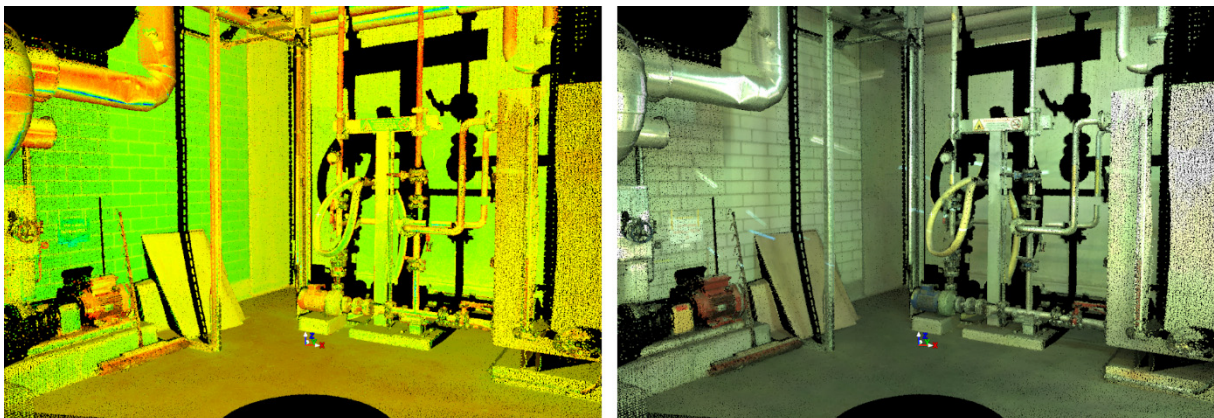
Po transformácií mračien do jedného celku, treba vykonať ďalšie úpravy. Tieto úpravy môžeme rozdeliť na odstránenie hrubých chýb, odstránenie nadbytočných bodov a na

priradovanie farieb k bodom mračna (Erdélyi, 2014). Pri skenovaní, v závislosti od podmienok skenovania, často sú skenované aj objekty, ktoré priamo nesúvisia so záujmovým objektom (Obr. 5.15). Tieto môžu byť objekty nachádzajúce sa v tesnej blízkosti, doprava (najmä ak sa objekt skenuje z väčšej vzdialenosti), ale môžu to byť aj ľudia, zvieratá (vtáky), prach či snehové vločky (prípadne dažďové kvapky).



Obr. 5.15. Výsledné mračno trupu lode po transformácii (vľavo) a mračno po odstránení nadbytočných bodov (vpravo)

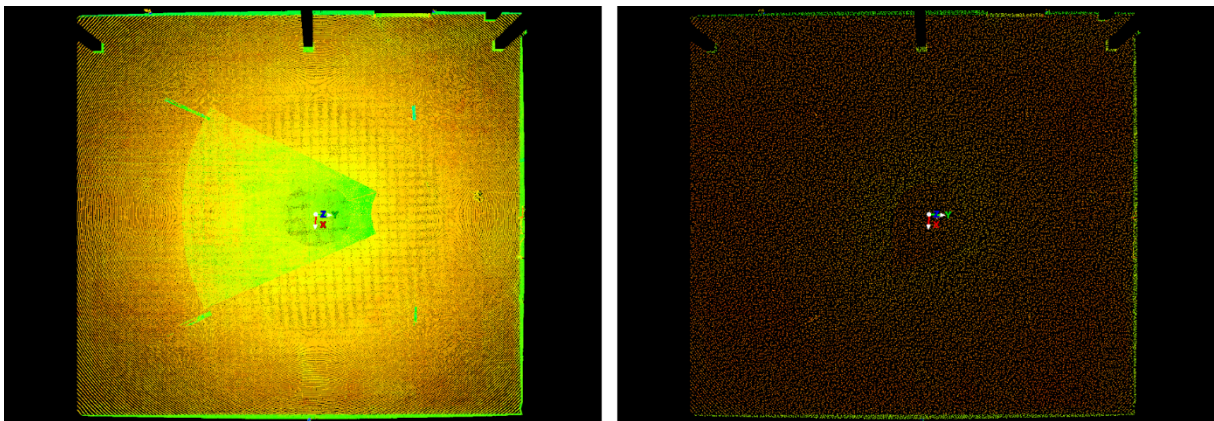
Farby môžeme priradiť na základe intenzity odrazeného meracieho signálu. Merací signál, v závislosti od fyzikálnych charakteristík skenovaného povrchu (farba, materiál, drsnosť) a svetelných podmienok v priestore skenovania, sa odrazí od meraného povrchu s rôznou intenzitou. Hodnota intenzity je vyjadrená číselne v škále od 0 (najnižšia) po 1 (najvyššia) a farebne je vyjadrená farebnou stupnicou najčastejšie od červenej (najnižšia intenzita) po zelenú farbu (najvyššia intenzita). K bodom mračna možno priradiť aj reálne farby na základe digitálnych fotografií, vyhotovených interným fotoaparátom skenera alebo externým digitálnym fotoaparátom (Obr. 5.16).



Obr. 5.16. Priradenie farby k bodom mračna na základe intenzity odrazeného signálu (vľavo) a na základe digitálnych fotografií (vpravo)

Priradenie farieb k bodom mračna umožní vznik priestorového vnemu. Pri monochromatickom zobrazení je pre spracovateľa veľmi náročné správne vnímať geometriu priestoru.

Hustota skenovania je definovaná v procese merania krokom horizontálneho a zvislého uhla (kapitola 5.2.2), čo znamená, že s narastajúcou vzdialenosťou skenovanej časti objektu od skenera hustota meraných bodov klesá. Výsledkom skenovania je preto mračno bodov s nehomogénnou hustotou (Obr. 5.17). Nehomogenitu mračna zvyšuje aj skutočnosť, že po transformácii jednotlivých mračien do jedného celku v prekrytových oblastiach je hustota bodov výrazne vyššia ako v iných častiach meraného objektu. Väčšie množstvo bodov znamená aj väčšiu databázu a zvýšené nároky na výpočtovú techniku použitú na spracovanie údajov. Počet bodov mračna možno znížiť decimovaním počtu bodov, pričom väčšina spracovateľských softvérov používa algoritmy umožňujúce „prerastovanie“ mračna na zvýšenie homogenity hustoty bodov.



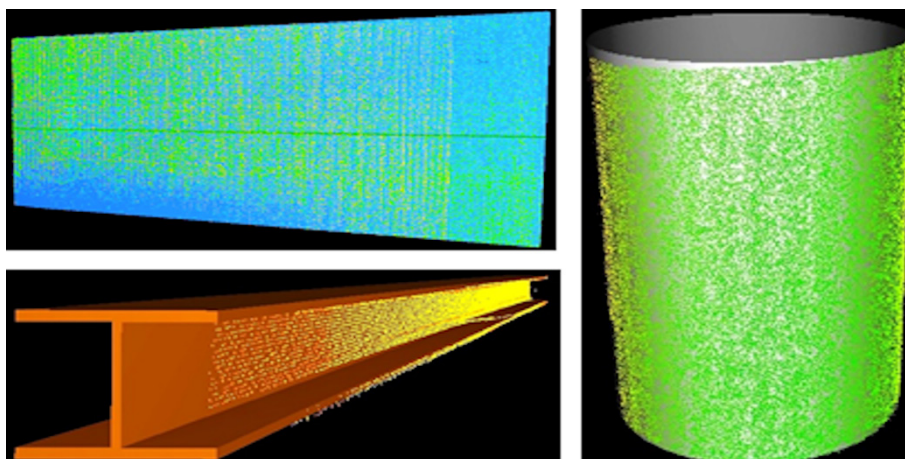
Obr. 5.17. Pôvodné mračno bodov priemyselnej podlahy (vľavo) a mračno so zníženou hustotou bodov (vpravo)

Mračno bodov po vykonaní vyššie uvedených úprav dokumentuje aktuálny stav meraného objektu bez nutnosti tvorby 3D modelu. Je to vlastne virtuálny model v bodovej reprezentácii. Databáza s mračnom bodov môže byť archivovaná a potom spracovávaná po častiach podľa potreby. Spracovanie a tvorba 3D modelov je vykonaná v špecializovaných softvéroch (vyvíjaných výrobcami skenovacích systémov). Väčšina súčasne dostupných verzií CAD softvérov má zabudované nástroje na prácu s veľkými databázami mračien bodov, v tomto prípade, 3D modely sú tvorené známymi funkciami a nástrojmi daného CAD softvéru. TLS od rôznych výrobcov ako aj samotné softvéry na spracovanie mračien používajú rôzne výstupové formáty. Posledný krok pri úprave mračien je preto konverzia do požadovanej dátovej štruktúry. Medzi najpoužívanejšie v ASCII textovom formáte patria: *.ptx (*Leica*), *.pts (*Leica*), *.csv, *.txt, *.xyz. V binárnom formáte sú najpoužívanejšie súborové formáty: *.clr (*Topcon*), *.cl3 (*Topcon*), *.fls (*Faro/Trimble*), *.fws (*Faro/Trimble*), *.ptg (*Leica*), *.zfs (*Zoller&Fröhlich*), *.rds (*Riegl*), *.rxp (*Riegl*), *.las (*American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*), *.e57 (*ASTM International*), *.rcs (*Autodesk*), *.rcp (*Autodesk*). Súbory v binárnom tvare majú vyššiu mieru kompresie dát, preto je výsledný súbor spravidla niekoľko násobne menší ako v prípade ASCII textových súborov.

5.3.2 Tvorba priestorových modelov

Spôsob spracovania a vyhodnocovania meraných údajov sa volí v závislosti od charakteru meraného objektu a od požadovaných výsledkov spracovania (výstupov). Na tvorbu 3D modelov možno použiť 3 rôzne spôsoby spracovania, resp. ich kombináciu, ktorými sú: aproximácia mračien bodov alebo ich častí geometrickými entitami (rovina, valec, kváder, sférická plocha a pod.), líniové vyhodnocovanie (tzv. drôtený model) a vyhodnocovanie pomocou povrchov (mesh). Podrobnosť a kvalita spracovania údajov získaných TLS závisí najmä od účelu vyhotovenia 3D modelu daného objektu. Často sa spracuje len kostra objektu vo vektorovej forme. Za výsledok spracovania sa dá považovať aj upravené mračno bodov, ktoré komplexne dokumentuje aktuálny stav meraného objektu. Upravené mračno umožňuje kontrolu geometrických parametrov (jednoduché merania) a meraním rozdielov medzi jednotlivými časťami mračna aj určovanie posunov a pretvorení meraných objektov.

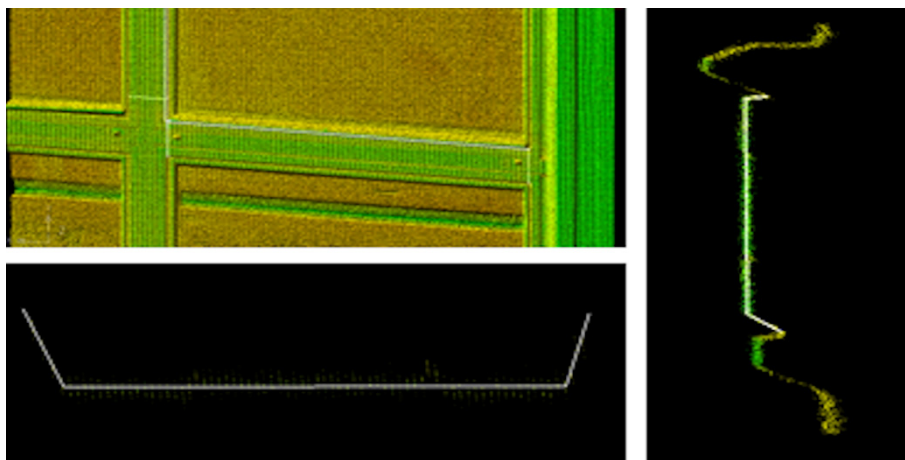
Pri aproximácii objektov geometrickými entitami sa mračnom alebo časťami mračna bodov prekladajú matematicky definované geometrické útvary. Napríklad stenu možno aproximovať rovinou, stĺpy a rúry valcom a podobne. Táto metóda spracovania sa používa najmä pri tvorbe modelu objektov, ktoré sú tvorené pravidelnými útvarmi, napr. stavebné, strojárske a priemyselné objekty. Na modelovanie častí mračna jednoduchými telesami sa používajú dve metódy aproximácie. Prvá je metóda algebraickej aproximácie, ktorá minimalizuje riešenie sústavy rovníc algebraických funkcií, definujúcich danú geometrickú entitu (napr. minimalizuje súčet štvorcov algebraických vzdialeností) (Fitzgibbon et al., 1999). Druhá možnosť je aproximácia metódou ortogónalnej regresie, ktorá minimalizuje kolmé vzdialenosti bodov mračna (súčet štvorcov kolmých vzdialeností) od regresného telesa (Christensen, 2011). Okrem jednoduchých geometrických primitívov, mračnom bodov môžeme preložiť aj komplexné, zložitejšie telesá a objekty (nosníky, ventily a pod.). Tieto sú súčasťou špecializovaných knižníc objektov spracovateľských softvérov.



Obr. 5.18. Aproximácia mračna bodov rovinou (vľavo hore) valcovou plochou (vpravo) a predefinovaným nosníkom (vľavo dole)

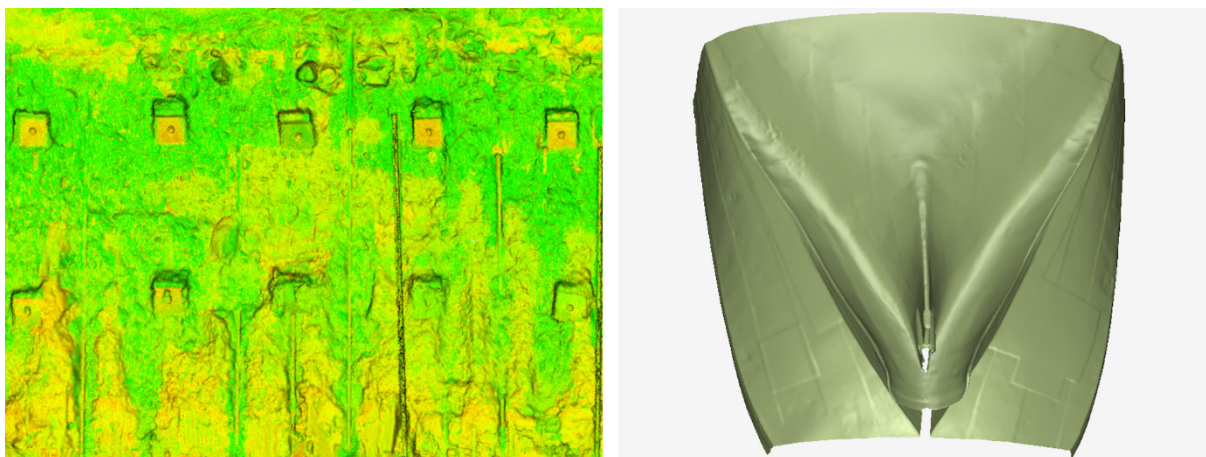
Jednoduchší spôsob spracovávania mračna bodov je tvorba tzv. drôteného modelu. Ide o aproximáciu časti mračna líniami. Hrany objektu sú vyjadrené úsečkami, kružnicami alebo

krivkami. Vzhľadom na to, že metóda TLS je neselektívna, je potrebné vhodným spôsobom definovať počiatok a koniec úsečiek, všeobecne tvar kriviek. Existujú dve metódy tvorby drôteného modelu. Pri prvej metóde charakteristické body hrán objektu sa získavajú z bodov naskenovaného mračna ležiacich najbližšie k týmto hranám. V praktickej aplikácii to znamená, že obrys objektu v reze je vytvorený spracovateľom podľa odhadu na základe mračna. Táto metóda je menej presná, pretože ide o subjektívny odhad spracovávateľa, v mnohých prípadoch však takáto presnosť postačuje na dokumentáciu stavebných objektov (niekoľko milimetrov až centimetre, podľa presnosti použitého prístroja). Pri vyššej požadovanej presnosti sa drôtený model vyhotovuje z rezov mračnom bodov pomocou regresných kriviek preloženými danou časťou mračna. Spájaním takto vzniknutých hrán dostaneme presný drôtený model skenovaného objektu (Štroner et al., 2013).



Obr. 5.19. Modelovanie pomocou línií (modelovanie hrán okenného rámu)

Na spracovanie výsledkov merania možno použiť aj metódu vyhodnocovania pomocou trojuholníkových sietí. Metóda je podobná metóde aproximácie mračna geometrickými entitami. Rozdiel je v tom, že mračno bodov je aproximované veľkým množstvom trojuholníkov, teda rovín, z ktorých každá je definovaná tromi bodmi mračna. Najčastejšie využívaná metóda je Delaunayova triangulácia, ktorá definuje podmienku, aby kružnica opísaná ktorémukoľvek trojuholníku neobsahovala žiadny bod mračna okrem tých, ktoré daný trojuholník definujú (Okabe et al., 1992). Delaunayova triangulácia vytvára trojuholníky s najväčším minimálnym vrcholovým uhlom, čím zabezpečuje aby trojuholníky boli čo najbližšie rovnostranným. V trojrozmernom priestore, na splnenie Delaunayovej podmienky, je potrebné aby guľa opísaná ktorémukoľvek trojuholníku neobsahovala žiadny ďalší bod okrem bodov daného trojuholníka (Guibas et al., 2009). Okrem trojuholníkových sietí možno na modelovanie povrchov použiť Spline povrchy, Bézierove plochy alebo NURBS (NonUniform Rational B-Spline). NURBS krivka je definovaná stupňom krivky, kontrolnými bodmi, ktoré majú rôznu váhu a uzlovými vektormi. NURBS krivky a plochy sú zovšeobecnením B-spline a Bézierových kriviek a plôch. Modelovanie použitím povrchov je podrobne opísané v (Botch et al., 2006) a (Botch et al., 2007).



Obr. 5.20. Trojuhelníková sieť mikropilotovej stabilizácie steny stavebnej jamy (vľavo) a NURBS model kormy lode (vpravo)

Vizualizácia je posledný krok spracovania meraných údajov. Úloha vizualizácie je priradenie farieb, materiálov a textúr z digitálnych snímok, prípadne osvetlenie priestorového modelu. Možno vytvoriť rôzne animácie doplnené komentármi a ďalšími potrebnými informáciami. Takto upravený model poskytuje informácie o modelovanom objekte, ktoré vytvárajú virtuálnu realitu veľmi blízku skutočnosti. Vizualizácia je činnosť bližšia k umeniu než technickej činnosti a slúži hlavne na prezentáciu výsledkov.

5.4 Presnosť a kalibrácia terestrických laserových skenerov

Pri konvenčných geodetických metódach presnosť je definovaná strednou polohovou, resp. strednou súradnicovou chybou meraného bodu. V prípade určovania priestorovej polohy bodov strednou priestorovou chybou meraného bodu. Apriórna presnosť polohy bodu, ako výsledku merania, je počítaná z charakteristík presnosti použitých prístrojov a z meraných veličín (šikmá dĺžka, vodorovný smer a zenitový uhol). Presnosť TLS možno vyjadriť pomocou charakteristík použitého skenera (apriórnych presností), ktoré udávajú výrobcovia prístrojov alebo empiricky, analýzou kvality priestorových modelov, ktoré sú výslednými produktmi laserového skenovania. V prípade charakteristík prístroja, tieto vyjadrujú apriórnu strednú priestorovú chybu, presnosť merania dĺžok a presnosť vytvorených modelov (rovinných plôch, príp. iných geometrických tvarov). V nasledujúcich kapitolách sú opísané zdroje systematických chýb pri meraní pomocou TLS, testovanie presnosti a kalibrácia TLS.

5.4.1 Zdroje chýb a ich matematické modely

Väčšina súčasných TLS pracuje na princípe priestorovej polárnej metódy (Obr. 5.3), preto pri výpočte apriórnej strednej priestorovej chyby bodu sa vychádza zo vzťahu (5-1). Aplikovaním zákona o šírení stredných chýb a využitím apriórnych stredných chýb meraných veličín, pre stredné chyby priestorových súradníc možno formulovať:

$$\begin{aligned}
\sigma_{X_P} &= \sqrt{(\cos \omega \cdot \sin \zeta)^2 \cdot \sigma_d^2 + (d \cdot (-\sin \omega) \cdot \sin \zeta)^2 \cdot \sigma_d^2 + (d \cdot \cos \omega \cdot \cos \zeta)^2 \cdot \sigma_\zeta^2} \\
\sigma_{Y_P} &= \sqrt{(\sin \omega \cdot \sin \zeta)^2 \cdot \sigma_d^2 + (d \cdot \cos \omega \cdot \sin \zeta)^2 \cdot \sigma_d^2 + (d \cdot \sin \omega \cdot \cos \zeta)^2 \cdot \sigma_\zeta^2} \\
\sigma_{Z_P} &= \sqrt{(\cos \zeta)^2 \cdot \sigma_d^2 + (d \cdot (-\sin \zeta))^2 \cdot \sigma_\zeta^2}
\end{aligned} \quad (5-9)$$

kde σ_{X_P} , σ_{Y_P} , σ_{Z_P} sú stredné chyby priestorových súradníc bodu P, σ_d je stredná chyba šikmej dĺžky, σ_ω a σ_ζ sú stredné chyby vodorovného a zenitového uhla. Pre strednú priestorovú chybu meraného bodu, charakterizujúcu neistotu v polohe meraného bodu vzhľadom na „projekčné centrum“ (počiatok súradnicového systému) prístroja, potom možno formulovať vzťah v tvare:

$$\sigma_{XYZ_P} = \sqrt{\sigma_{X_P}^2 + \sigma_{Y_P}^2 + \sigma_{Z_P}^2}. \quad (5-10)$$

Pomocou vyššie uvedených vzťahov možno vypočítať presnosť určenia polohy diskretných meraných bodov. Pre vyjadrenie presnosti výsledkov skenovania je potrebné testovať skenovacie systémy (softvér hardvér spolu) ako celok z pohľadu kvality výsledkov. Testovanie TLS je podrobnejšie popísané v kapitole 5.4.2.

Systematické chyby laserového skenovania sa delia na dve hlavné skupiny. Prvá skupina sú chyby, ktoré možno modelovať matematickými funkciami. Do tejto kategórie patria systematické chyby merania dĺžky, určenia vodorovného smeru a vertikálneho uhla. Druhá kategória sú systematické chyby, ktoré nemožno modelovať matematickými funkciami. Ich vplyv závisí od typu použitého prístroja a od fyzikálnych vlastností skenovaného povrchu. Tieto chyby spôsobujú vybočujúce merania v mračne bodov („falošné odrazy“ pri skenovaní hrán a blízkych objektov v zákryte), ich počet a veľkosť závisí od konkrétnych podmienok skenovania.

Matematický model korekcie dĺžok môže byť definovaný vzťahom (Vosselman et al., 2011):

$$\begin{aligned}
\Delta d &= A_0 + A_1 \cdot d + A_2 \cdot \cos \zeta \\
&+ \sum_{k=1}^n \left(A_{2k+1} \cdot \sin \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot d}{U_1} \right) + A_{2k+2} \cdot \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot d}{U_1} \right) \right)
\end{aligned} \quad (5-11)$$

Prvé dva koeficienty A_0 a A_1 vo vzťahu (5-11) sú adičný a násobný člen rovnice diaľkomera. Tretí koeficient A_2 vyjadruje vertikálny ofset osi lasera (zväzku laserových lúčov) od horizontálnej osi (točná os rotujúceho zrkadla, Obr. 5.8) (Lichti et al., 2005). Suma goniometrických členov vyjadruje cyklické chyby spôsobené vnútornou optickou alebo elektronickou interferenciou, pričom U_1 je polovica vlnovej dĺžky najkratšej modulačnej vlny meracieho signálu (kapitola 5.1 fázové meranie dĺžok). Najvýznamnejšie sú členy prvého a druhého rádu, pričom môžu byť uvažované aj členy vyšších rádov (Salo et al., 2008). V prípade impulzného merania dĺžok sa rovnica (5-11) zjednoduší na tvar:

$$\Delta d = A_0 + A_1 \cdot d + A_2 \cdot \cos \zeta. \quad (5-12)$$

V prípade, že uvedený vzťah nedostatočne opisuje chyby dĺžkomera, možno ho rozšíriť o ďalšie empirické koeficienty.

Matematický model korekcie horizontálnych smerov môže byť formulovaný v tvare (Vosselman et al., 2011):

$$\begin{aligned} \Delta\alpha = & B_1 \cdot \alpha + B_2 \cdot \sin \alpha + B_3 \cdot \cos \alpha + B_4 \cdot \sin 2\alpha + B_5 \cdot \cos 2\alpha \\ & + B_6 \cdot \csc \zeta + B_7 \cdot \cot \zeta + B_8 \cdot d^{-1} \\ & + \sum_{k=1}^n (B_{2k+7} \cdot \cos(k \cdot \zeta) + B_{2k+8} \cdot \sin(k \cdot \zeta)). \end{aligned} \quad (5-13)$$

Prvý koeficient B_1 vo vzťahu definuje chybu mierky stupnice horizontálneho kruhu (runová chyba pri optických teodolitoch), koeficienty B_2 a B_3 vyjadrujú excentricitu horizontálneho kruhu (Schneider et al., 2008). Ďalšie koeficienty B_4 a B_5 definujú chybu z nespĺnenia podmienky kolmosti roviny horizontálneho kruhu na vertikálnu os prístroja. Chyby z nespĺnenia podmienok kolmosti zámernej osi na horizontálnu os (kolimačná chyba) a kolmosti horizontálnej osi na vertikálnu os sú definované koeficientmi B_6 a B_7 . Excentricita zámernej osi vzhľadom na vertikálnu os je vyjadrená koeficientom B_8 , pričom jej vplyv je najvýraznejší pri krátkych dĺžkach. Posledný člen rovnice je súčet, ktorý modeluje kmitanie horizontálnej osi skenera (Harvey et al., 1992), (Lichti, 2007). V prípade potreby možno uvedený vzťah doplniť o ďalšie empirické členy.

Korekcia zenitových uhlov môže byť modelovaná vzťahom:

$$\begin{aligned} \Delta\zeta = & C_0 + C_1 \cdot \zeta + C_2 \cdot \cos \zeta + C_3 \cdot \cos 2\zeta + C_4 \cdot \sin 2\zeta + C_5 \cdot d^{-1} \\ & + C_6 \cdot \sin 3\alpha + C_7 \cdot \cos 3\alpha. \end{aligned} \quad (5-14)$$

Koeficient C_0 definuje indexovú chybu vertikálneho kruhu, pričom C_1 vyjadruje chybu mierky stupnice podobne ako pri vodorovných smeroch. Excentricita vertikálneho kruhu je vyjadrená koeficientom C_2 . Koeficienty C_3 a C_4 definujú chybu z nespĺnenia podmienky kolmosti roviny vertikálneho kruhu na horizontálnu os prístroja. Excentricita zámernej osi vzhľadom na horizontálnu os je vyjadrená koeficientom C_5 . Posledné dva koeficienty C_6 a C_7 definujú mechanické kmitanie vertikálnej osi prístroja, spôsobené nerovnomerným rozložením hmotnosti komponentov v prístroji (Kersten et al., 2005), (Lichti, 2007). Aj v tomto prípade možno doplniť rovnicu o ďalšie empirické koeficienty v prípade, ak uvedená rovnica nie je postačujúca na modelovanie systematickej chyby určenia zenitových (príp. výškových) uhlov.

Uvedené matematické modely nie je možné univerzálne použiť. Použitie jednotlivých koeficientov závisí od konkrétneho typu použitého skenera, od jeho konštrukčných vlastností a v neposlednom rade od kalibrácie vykonanej výrobcom (Vosselman et al., 2011).

5.4.2 Testovanie terestrických laserových skenerov

Pri spracovaní údajov získaných TLS výsledok spracovania (modelované objekty, povrchy, rezy a pod.) je vytvorený z veľkého počtu meraných bodov, s výnimkou, keď pri líniovom vyhodnocovaní, hrany objektu sú modelované z bodov ležiacich najbližšie k týmto hranám (bez aproximácie). Z uvedeného vyplýva, že reálna presnosť výsledkov modelovania bude vyššia ako stredná priestorová chyba meraných diskretných bodov mračna. Väčšina výrobcov TLS charakterizuje presnosť modelovania povrchov disperziou údajov, teda rozptylom meraných bodov okolo modelovanej plochy (šum).

Presnosť výsledného modelu možno vyjadriť aj kontrolou splnenia geometrických parametrov modelovaného objektu (rovnobežnosť plôch, vzdialenosť konštrukčných prvkov a pod.) Pre charakteristiku presnosti výsledkov skenovania je potrebné tiež posúdiť ako sa mení presnosť vytvoreného modelu v závislosti od vzdialenosti TLS od skenovaného objektu, priestorovej polohy modelovanej plochy vzhľadom na polohu TLS, oblasti zorného poľa TLS, ktorou je objekt skenovaný a hustoty mračna bodov (Zámečnicková, 2007). Problematikou určovania a overovania charakteristických parametrov TLS sa zaoberá množstvo prác publikovaných po celom svete. Väčšina týchto publikácií opisuje sériu testov, ktoré sú zamerané na testovanie presnosti merania dĺžok, presnosti merania uhlov, vplyvu odrazivosti skenovaného povrchu a uhla dopadu laserového lúča na skenovaný povrch, prístrojových chýb alebo geometrie skenovaného objektu.

Testovaniu dĺžkomerov laserových skenovacích systémov a presnosti určenia polohy vlíčovacích bodov sa podrobne venuje (Smítka, 2013). Autor vo svojej práci testuje závislosť strednej chyby meranej dĺžky od uhla dopadu zväzku laserových lúčov na povrch meraného objektu, závislosť strednej chyby od vzdialenosti meraného objektu od skenera a jej závislosť od času skenovania a použitého zdroja elektrickej energie. Pri testovaní presnosti určenia polohy vlíčovacích bodov, sériou testov sa určuje vnútorná presnosť určenia súradníc vlíčovacích bodov signalizovaných rôznymi typmi cieľových značiek, pričom na meranie bol použitý TLS Leica HDS3000. Vnútorná presnosť bola počítaná z piatich sérií meraní a pri použití výrobcom definovanej cieľovej značky (Leica HDS target) dosiahla hodnotu 0,4 mm. Súradnice vlíčovacích bodov ďalej boli porovnané so súradnicami získanými univerzálnou meracou stanicou. Stredná priestorová chyba bodu, signalizovaného výrobcom definovanou cieľovou značkou, bola 1,0 mm. Skúmaniu vplyvu tvaru, materiálu a farby skenovaného objektu na presnosť skenovania sa venujú práce (Křemen, 2008) a (Koska, 2009).

Testovanie rôznych typov TLS je podrobne opísané v (Zámečnicková, 2007). Monografia prináša komplexný technologický postup na testovanie TLS, ktoré je založené na poznaní vlastností objektov reálnej scény skenovanej TLS. Reálne objekty reprezentujú referenčné telesá rôznej geometrie. Ich geometrické parametre boli určené a kontrolované fotogrametrickou metódou. Na preskúmanie interakcií TLS a skenovanej reálnej boli použité štyri typy testovacích meraní, ktorými sa overovala vplyv meniacej sa priestorovej polohy referenčného telesa na geometriu modelu získaného TLS, vplyv meniacej sa vzdialenosti referenčného telesa od TLS na kvalitu získaného modelu, stabilita parametrov TLS v celom

rozsahu merania, priestorová poloha modelovaných bodov (charakteristických bodov testovacích telies) a ich vzájomná geometria v priestore.

Testovaniu presnosti TLS Leica ScanStation2 sa venuje (Erdélyi et al., 2010). Presnosť TLS je v práci hodnotená testovaním priestorových modelov ako výsledkov procesu skenovania a spracovania údajov. V práci sa porovnávajú geometrické parametre modelov testovacích telies, získaných metódou TLS a pomocou súradnicových meracích strojov. Analýza kvality výsledných 3D modelov bola vykonaná na základe porovnania dĺžok hrán a stredných chýb určenia regresných prvkov (rovina, valec) modelov. Aritmetický priemer absolútnych hodnôt rozdielu dĺžok hrán získaných TLS a SMS bol na úrovni 0,7 mm.

Výsledky vyššie uvedených testovaní skenovacích systémov tvoria teoretický základ pre návrh stanovísk a postupu skenovania počas prípravných prác. V bežnej geodetickej v praxi treba klásť osobitný dôraz na zabezpečenie vhodných podmienok merania (znížiť vzdialenosť skenera od meraného objektu) a na spracovanie meraných údajov (predovšetkým pri odstraňovaní bodov, ktoré neležia na povrchu meraného objektu, resp. z nízkou intenzitou odrazeného signálu). Testovaním TLS v teréne sa zaoberá pripravovaná 9. časť zo série noriem *STN ISO 17123 Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov*. Na základe postupov uvedených v norme bude možné vykonať čiastočné testovanie TLS používateľom, resp. v teréne.

5.4.3 Kalibrácia terestrických laserových skenerov

Kalibráciu skenovacích systémov je možné vykonať dvoma rozdielnymi prístupmi. Prvý prístup je kalibrácia jednotlivých komponentov TLS (dĺžkomer, vodorovný kruh, vertikálny kruh). Druhým prístupom je samokalibrácia celého systému ako celku.

Kalibráciu dĺžkometra TLS možno vykonať na dĺžkovej základnici na testovanie dĺžkometerov. Sériou meraní možno odhadnúť adičný a násobný člen rovnice diaľkometra. Problémom pri praktických aplikáciách je fakt, že niektoré skenery neumožňujú centráciu nad známym bodom, preto ich poloha nemôže byť jednoznačne definovaná na základnici. Ďalšia nevýhoda tohto prístupu je, že nie je možné identifikovať a modelovať cyklickú zložku systematickej chyby merania dĺžok (kapitola 5.4.1). Keďže TLS nemajú ďalekohľad, ktorým je možné zacieliť na vzdialený bod v dvoch polohách, nie je možné určiť osovú chybu prístroja pomocou štandardných postupov používaných pri kalibrácii geodetických prístrojov. Na stanovenie ich vplyvu a veľkosti sa používa samokalibrácia na základe merania v referenčnej sieti (Vosselman et al., 2011).

Systematické chyby môžu byť prítomné v TLS aj po presnej laboratórnej kalibrácii, vykonanej výrobcom. Kalibračné postupy vhodné pre samokalibráciu skenovacích systémov sú založené na meraní veľkého počtu redundantných údajov (viacnásobne skenovanie) z viacerých stanovísk prístroja s rozdielnou polohou a orientáciou. Hlavná výhoda samokalibrácie je, že nie sú pritom potrebné žiadne špecializované pomôcky a môže ich vykonať každý používateľ prístroja bez potreby zásahu do hardvéru skenera (Al-Manasir et al., 2014). Jediná podmienka je vybudovanie siete referenčných bodov, resp.

referenčných objektov (valcové, sférické plochy, roviny), ktorých poloha je skenovaná z viacerých stanovísk skenera. Najvhodnejšia konfigurácia je rozmiestnenie referenčných značiek v celom priestore okolo testovaného skenera (v každom kvadrante, na strope aj na podlahe). Hoci výstupom skenovania je mračno bodov definované pravouhlými súradnicami bodov x , y , z , meranými údajmi sú šikmá dĺžka d , horizontálny smer α a zenitový uhol ζ (resp. výškový uhol) (Chow et al., 2010). Určujúce rovnice meraných veličín pri meraní bodu i zo stanoviska j je vyjadrená vzťahmi:

$$\begin{aligned} d_{ij} &= \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2 + z_{ij}^2} + \Delta d, \\ \alpha_{ij} &= \arctan\left(\frac{y_{ij}}{x_{ij}}\right) + \Delta\alpha, \\ \zeta_{ij} &= \arctan\left(\frac{\sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2}}{z_{ij}}\right) + \Delta\zeta. \end{aligned} \tag{5-15}$$

Súradnice skenovaných bodov sú transformované do referenčného súradnicového systému pomocou vzťahu (5-4). Úlohou kalibrácie je potom vytvoriť matematické modely systematických chýb skenera a oprava meraných údajov o ich vplyv. Na modelovanie systematických chýb sa používajú vzťahy (5-11) až (5-14) tak, ako je to opísané v kapitole 5.4.1. Zo súradníc referenčných bodov (značiek) v referenčnom súradnicovom systéme (merané súradnice po transformácii) sa vypočítajú polárne súradnice d_{ij} , α_{ij} a ζ_{ij} pre každý bod i meraný zo stanoviska j a potom sú odhadnuté koeficienty rovníc opisujúcich systematické chyby Δd , $\Delta\alpha$ a $\Delta\zeta$. Niektoré príklady kalibrovania laserových skenerov sú opísané v (Vosselman et al., 2011), (Al-Manasir et al., 2015), (Chow et al., 2010), (Lichti et al., 2005) a (Lichti et al., 2007).

5.5 Využitie TLS v stavebníctve a v priemysle

Inovácia technologických postupov a použitých technologických zariadení v priemysle, nové trendy v spôsobe budovania stavebných objektov a požiadavky na finančnú nenáročnosť a časovú efektívnosť v ostatných rokoch kladú nové nároky na geodetov pôsobiacich v oblasti inžiniersko-priemyselnej geodézie. Vývoj prístrojovej techniky a jej neustála inovácia k splneniu týchto požiadaviek výrazne napomáha, preto v ostatných rokoch sa TLS stala bežnou súčasťou geodetickej praxe.

Nasledujúce kapitoly demonštrujú možnosť využitia TLS geodézie na vybraných aplikáciách. Prvé dve kapitoly 5.5.1 a 5.5.2 sa zaoberajú určovaním priestorovej polohy charakteristických bodov, resp. kotevných vložiek fasád dvoch výškových budov. Kapitoly 5.5.3 a 5.5.4 opisujú určovanie posunov a pretvorení železobetónovej strešnej konštrukcie a stien aktivačnej nádrže čistiare odpadových vôd. Posledná kapitola 5.5.5 prezentuje možnosti dokumentácie aktuálneho tvaru a polohy časti potrubného systému technologickej linky v chemickom závode. Skenovanie bolo vo všetkých prípadoch vykonané TLS Leica ScanStation2.

5.5.1 Určovanie priestorovej polohy kotevných vložiek opláštenia výškovej budovy

Budova Panorama City je situovaná na nábreží Dunaja v Bratislave, v bezprostrednej blízkosti Slovenského národného divadla a nákupného centra Eurovea. Budova s 34 nadzemnými podlažiami pozostáva z dvoch častí, ktoré vytvárajú polyfunkčný komplex. Prvú časť tvorí spodná stavba s jedným podzemným a štyrmi nadzemnými podlažiami. Zo spodnej stavby vyrastajú dve identické, štíhle veže, ktoré majú tvar rovnostranného trojuholníka s dĺžkou strany 51,34 m, celková výška stavby je 110,65 m. V rohoch každej veže a na jednotlivých stenách veže sú umiestnené balkóny. Oceľová konštrukcia zábradlia je upevnená na nosnú konštrukciu pomocou kotevných vložiek, ktoré sú stabilizované v priečeli železobetónovej dosky balkóna (Obr. 5.21). Jedna kotevná vložka je tvorená dvoma skrutkami M20 s vodorovným rozstupom skrutiek 260 mm. Skrutky sú navzájom spojené oceľovou platňou a zaliate v betóne. Kotevné vložky sú stabilizované párovo, v blokoch, v dvoch výškových úrovniach s projektovaným rozstupom 165 mm, pričom skrutky jedného bloku vytvárajú štvoruholník (Kyrinovič et al., 2015).



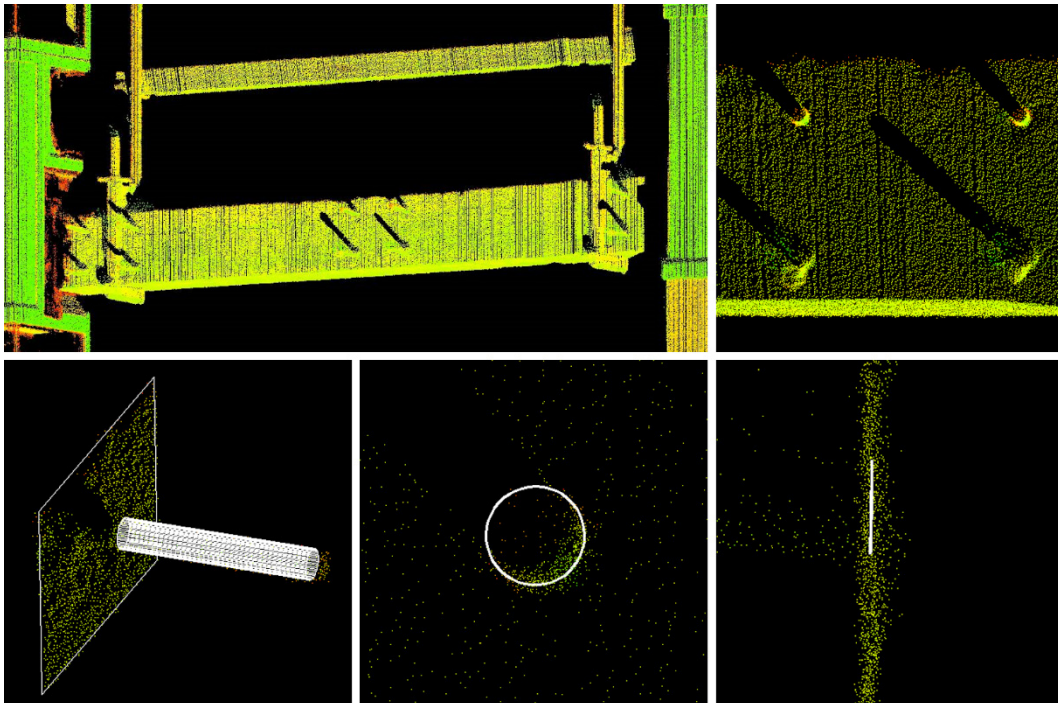
Obr. 5.21. Kotevné vložky na balkóne juhovýchodnej steny a konštrukcia zábradlia

Predmetom porealizačného merania bolo určenie priestorovej polohy kotevných skrutiek na balkónoch a zvislých stenách oboch veží v úrovni 5 NP až 32 NP. Terestrickým skenerom bol meraný priestorový tvar nosnej konštrukcie budovy v oblasti balkónov, vrátane časti elementov obvodového plášťa v blízkosti balkónov. Stanoviská skenera boli volené na streche spodnej budovy v úrovni 5. NP, na balkóne v úrovni 28. NP protiaľahlej veže a v úrovni terénu mimo budovu. Výsledkom merania bolo mračno bodov s minimálnou hustotou bodov 3 mm x 3 mm. Poloha stanovísk bola volená s ohľadom na meraný objekt tak, aby bola zabezpečená viditeľnosť na skrutky kotevných vložiek a súčasne na referenčné body situované v dolnom rohu spodnej hliníkovej lišty obvodového plášťa. Referenčné body slúžili

na transformáciu súradníc podrobných bodov kotevných vložiek do súradnicového systému elementov fasády.

Spracovanie meraných údajov bolo vykonané pomocou softvéru CloudWorx a AutoCAD a pozostávalo z:

- vytvorenia regresných rovín priečelia balkónov v mieste kotevných skrutiek a vybraných hliníkových lišt obvodového plášťa,
- vytvorenia regresných valcov z množiny bodov definujúcich reálnu polohu jednotlivých skrutiek kotevných vložiek,
- určenia priestorovej polohy podrobného bodu kotevnej skrutky ako priesečníka modelovanej regresnej roviny priečelia balkónu a osi regresného valca,
- určenia priestorovej polohy podrobného bodu na lište obvodového plášťa ako priesečníka zvislej a vodorovnej hrany hliníkovej lišty v ľavom, resp. pravom dolnom rohu.



Obr. 5.22. Mračno bodov priečelia balkóna (vľavo hore), skrutiek kotevnej vložky (vpravo hore), postup modelovania polohy kotevných skrutiek (dole)

Priemer regresných valcov preložených časťami mračna sa líšil od nominálneho priemeru (20 mm) maximálne 5 mm, čo bolo spôsobené nepresnosťou merania a šumom, spôsobeným veľkosťou laserovej stopy na vzdialenosť 110 m. Tento rozdiel spôsobil odchýlku od skutočnej polohy pozorovaného bodu maximálne 2,5 mm. Použitím modelovaných a projektom definovaných súradníc referenčných bodov podrobných bodov (dolných rohov spodnej hliníkovej lišty obvodového plášťa) boli súradnice podrobných bodov transformované do súradnicového systému fasádnych elementov (projektovej dokumentácie). Presnosť dosiahnutých výsledkov bola overená meraním relatívnej polohy skrutiek (vzdialenosti) medzi sebou na vybraných podlažiach. Relatívnou kontrolou bola zistená maximálna odchýlka pozorovaných bodov na úrovni 2 až 3 mm.

5.5.2 Určovanie priestorového tvaru obvodového plášťa výškovej budovy

Technológia terestrického laserového skenovania bola použitá na určenie priestorového tvaru obvodového plášťa výškovej budovy Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Technológia TLS bola zvolená kvôli vysokému počtu pozorovaných bodov a kvôli získaniu komplexného obrazu o skutočnom stave opláštenia počas prípravy projektovej dokumentácie na rekonštrukciu opláštenia budovy. Budova Stavebnej fakulty STU v Bratislave – blok C sa nachádza na Radlinského ulici č. 11. Pôdorys budovy má tvar obdĺžnika s rozmermi strán 46,600 m x 17,300 m a celková výška budovy je 76,800 m. Výšková budova pozostáva z 26 podlaží, z toho je 24 nadzemných a 2 podlažia sú podzemné (Obr. 5.23). Výška typického podlažia je 3 m. Nadzemné podlažia č. 1, 2, 3 a 24 majú atypickú výšku. Budova je založená na železobetónovej doske hrúbky 1,9 m. Základom konštrukcie sú krajné, resp. vnútorné zvislé nosné železobetónové steny s hrúbkou 0,4 m, resp. 0,3 m.

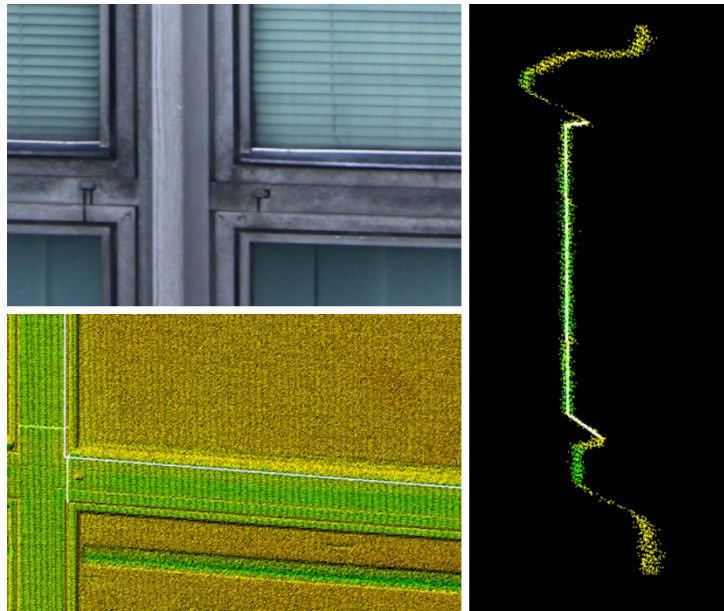


Obr. 5.23. Pôvodné opláštenie budovy Stavebnej fakulty STU v Bratislave – blok C severovýchodný (vľavo) a juhozápadný pohľad (vpravo)

Železobetónové stropné dosky majú hrúbku 0,22 m. Asymetricky, v rohoch budovy, sa nachádzajú dve schodiská a v strednej časti budovy sú štyri výťahové šachty. Výstavba budovy bola realizovaná v rokoch 1964 až 1974. Starý obvodový plášť budovy bol tvorený závesnou oceľovou konštrukciou. Z juhozápadnej a severovýchodnej strany pozostával z okenných rámov so sklenenou výplňou, trapézových plechov a hliníkových líšt. Zvyšné dve strany obvodového plášťa tvorili profilové plechy.

Obvodový plášť bol skenovaný zo siedmich stanovísk skenera. Dve stanoviská prístroja boli zvolené na streche budov Fakulty chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave – blok C a D. Štyri stanoviská boli situované na streche bloku B Stavebnej fakulty. Jedno stanovisko bolo v úrovni chodníka na Radlinského ulici. Sieť vlicovacích (vzťažných) bodov

pozostávala zo 14 bodov signalizovaných cieľovými značkami Leica HDS a čierno-bielymi „šachovnicovými“ cieľovými značkami. Vlicovacie body boli stabilizované na oknách fasády budovy Stavebnej fakulty a na konštrukcii opláštenia Fakulty chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave. Obvodový plášť bol skenovaný s minimálnou hustotou bodov 3 mm x 3 mm v celom rozsahu skenovania. Mračno bodov obvodového plášťa pozostáva z 1,02 miliardy bodov.



Obr. 5.24. Fotografia časti okenného rámu (vľavo hore), modelovaná poloha pozorovaného bodu v priesečníku hrán (vľavo dole), rez mračnom bodov (vpravo)

Výsledkom spracovania meraných údajov boli priestorové súradnice 493 pozorovaných bodov, získaných ako priesečníky modelovaných hrán zvislých a vodorovných rámov okien (Obr. 5.24). Hrany vznikali modelovaným priesečníkom vodorovnej, resp. zvislej roviny s mračnom bodov zvislých, resp. vodorovných okenných rámov (Erdélyi et al., 2010). Spracovanie bolo vykonané pomocou softvéru CloudWorx a AutoCAD. Výsledky spracovania poskytovali informácie o reálnom tvare a rozmere obvodového plášťa a slúžili ako podklad pri projektovaní blokov nového opláštenia budovy. V záverečnej fáze spracovania údajov boli určené odľahlosti pozorovaných bodov od zvislých rovín na oboch stranách obvodového plášťa a zvislé odchýlky pozorovaných bodov od vodorovnej roviny na každom nadzemnom podlaží. Presnosť určenia priestorovej polohy pozorovaných bodov bola určená relatívnou kontrolou vzájomnej polohy vybraných pozorovaných bodov a je charakterizovaná hodnotou 3 mm až 4 mm.

5.5.3 Určenie posunov a pretvorení parabolickej železobetónovej strešnej konštrukcie

Dodržaním určitých zásad a použitím vhodnej metodiky spracovania meraných údajov možno TLS použiť aj na určovanie posunov a pretvorení stavebných objektov. TLS bolo použité aj na určovanie pretvorení železobetónovej strešnej konštrukcie skladu v chemickom závode Duslo a.s., Šaľa. Monitorovaný objekt slúži ako sklad umelého hnojiva. Ide o železobetónovú konštrukciu s rozmermi 30 m x 170 m a s výškou 14 m. Na streche

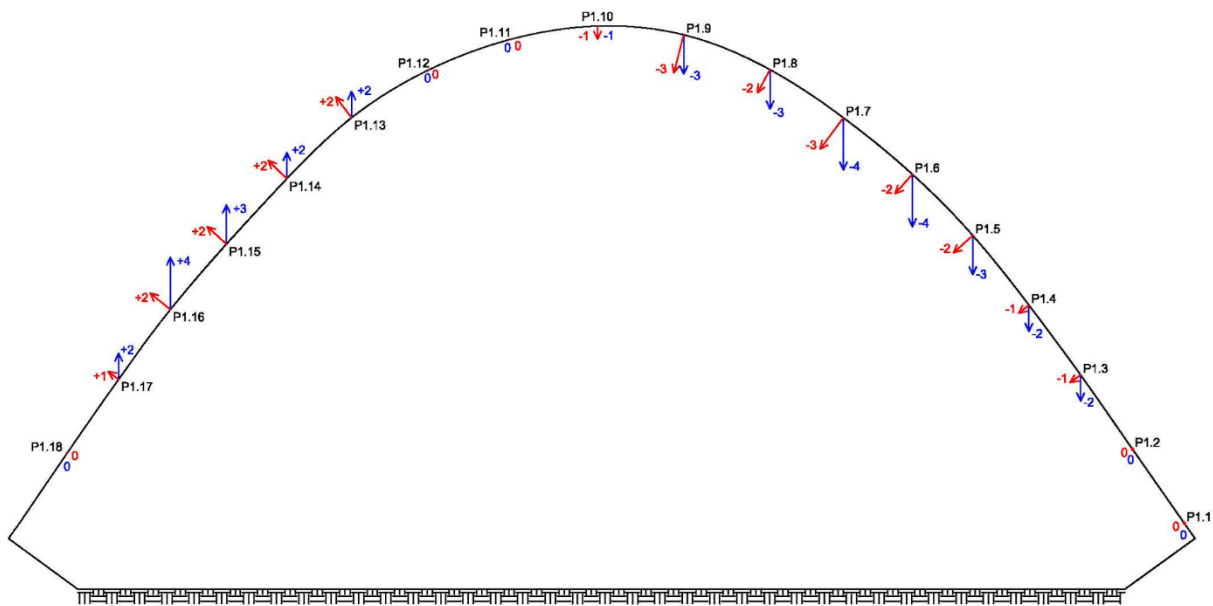
v strednej časti konštrukcie je situovaný dopravníkový pás pozdĺž celého objektu. Sklad je založený na základových pásoch (s rozmermi 3,7 m x 172,0 m x 1,5 m) a je delený na 5 dilatačných celkov.



Obr. 5.25. Konštrukcia skladu umelého hnojiva, Duslo a.s. Šaľa

Strecha meraného objektu je tvorená železobetónovou konštrukciou parabolického tvaru s parabolickými priečnymi trámami s osovou vzdialenosťou 4,8 m. Sklad bol postavený v roku 1960. Prevádzkové zaťaženie dopravníka a vplyv poveternostných podmienok spôsobili pretvorenie konštrukcie strechy počas desaťročí jeho prevádzky. Posun približne 150 mm je pozorovateľný aj voľným okom medzi 1. a 2. dilatačným celkom strechy. Vzhľadom na nejasné príčiny posunu, monitoring bol navrhnutý tak aby bolo možné nielen kvantifikovať pohyb spomínanej časti strešnej konštrukcie, ale aj možné posuny základových pásov. Merania sú vykonávané v pravidelných intervaloch (každý rok) od októbra 2013. Na určenie posunov a pretvorenia strechy bola použitá technológia TLS, pričom na určenie posunov základov bola použitá presná nivelácia. Približne 2 m široký pás konštrukcie pozdĺž dilatačnej škáry medzi 1. a 2. dilatačným celkom bol skenovaný s minimálnou hustotou bodov na povrchu meraného objektu 10 mm x 10 mm. Údaje získané skenovaním sú transformované do miestneho súradnicového systému v každej epoche merania použitím štvorice vzťažných bodov, stabilizovaných na okolitých objektoch. Vzťažné body sú signalizované cieľovými značkami typu Leica HDS.

Hlavná úloha spracovania údajov bolo modelovanie polohy pozorovaných bodov v jednotlivých epochách použitím malých regresných rovinných plôch (Erdélyi et al. 2014). Presnosť určenia výšok (z-ových súradníc) týchto bodov bola počítaná ako kvadratický priemer presnosti regresnej plochy a kvalitatívnej charakteristiky transformácie mračien, získanej z rozdielu výšok identických vličovacích bodov. Pozorované body boli situované na spodnej časti strechy na oboch stranách dilatácie každé 2 m. Zvislé posuny pozorovaných bodov boli vypočítané ako rozdiel výšok pozorovaných bodov medzi aktuálnou a základnou epochou merania.



Obr. 5.26. Posuny prvého dilatačného celku v prvej kontrolnej epoche

Vzhľadom na skutočnosť, že určovaním iba zvislých posun nie je možné vyjadriť správanie sa konštrukcie, tieto sú prepočítané na posuny kolmé na povrch strechy (v smere normál k regresným rovinným plochám) (Obr. 5.26). Určovanie zvislých a kolmých posunov ako aj stredných chýb je vykonávaný automatizovane použitím aplikácie Displacement_TLS, pracujúcej na základe Matlab® Runtime, ktorá bola vyvinutá na Katedre geodézie, Stavebnej fakulty STU v Bratislave (Erdélyi, 2015). Stredné chyby určených posunov vo všetkých doteraz realizovaných epochách dosahovali hodnoty 1,4 mm až 2,1 mm.

5.5.4 Určenie posunov a pretvorení železobetónových stien aktivačnej nádrže

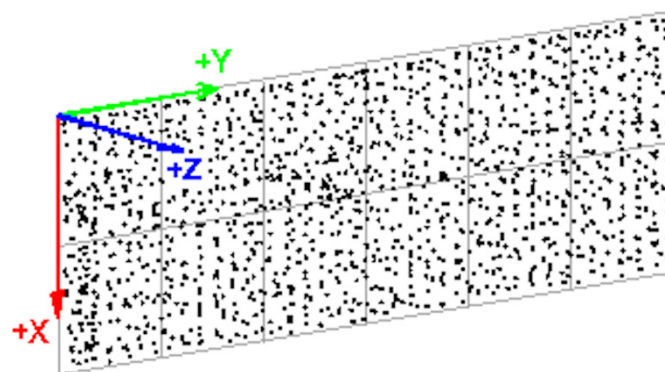
Nadzemná aktivačná nádrž č. 1 čistiarne odpadových vôd ČOV a.s. Slovenská Ľupča je tvorená železobetónovou konštrukciou obdĺžnikového tvaru, ktorá pozostáva z dvoch častí. Prvú časť tvorí konštrukcia pôvodnej aktivačnej nádrže s vnútornými rozmermi 27,0 m x 18,0 m x 3,4 m (výška) s výškou plnenia nádrže 2,2 m. Obvodové steny nádrže sú uložené na základových pásoch s hĺbkou 1,5 m pod pôvodný upravený terén. Druhú časť tvorí konštrukcia novej aktivačnej nádrže s výškou plnenia 6,9 m, ktorá je vybudovaná vo vnútri pôvodnej nádrže (Obr. 5.27). Nová aktivačná nádrž je rozdelená priečkami na denitrifikačnú a nitrifikačnú časť. Steny a dno pôvodnej aktivačnej nádrže slúžili ako debnenie pri budovaní novej nádrže. Po uvedení aktivačnej nádrže do prevádzky a jej naplnení došlo k porušeniu statiky nosnej konštrukcie. Na povrchu stien, ako aj v miestach spojov konštrukčných prvkov nádrže vznikli praskliny. Aktivačná nádrž bola potom vyprázdnená a statik nariadil vykonať mimoriadnu zaťažovaciu skúšku stien nádrže.



Obr. 5.27. Steny aktivačnej nádrže č. 1 ČOV

Pretvorenie stien aktivačnej nádrže počas zaťažovacej skúšky bolo merané technológiou TLS. Steny aktivačnej nádrže boli skenované zo 4 stanovísk prístroja s minimálnu hustotu bodov na povrchu meraného objektu 10 mm x 10 mm. Pretvorenia stien nádrže boli určované na základe rozdielu polohy bodov meraných v dvoch epochách. Základné meranie bolo realizované pri naplnenej nádrži a kontrolné meranie pri prázdnej nádrži. Sieť vzťažných bodov tvorilo 8 vlicovacích bodov, stabilizovaných rozpernými kotvami na objektoch v okolí aktivačnej nádrže a signalizovaných cieľovými značkami Leica HDS.

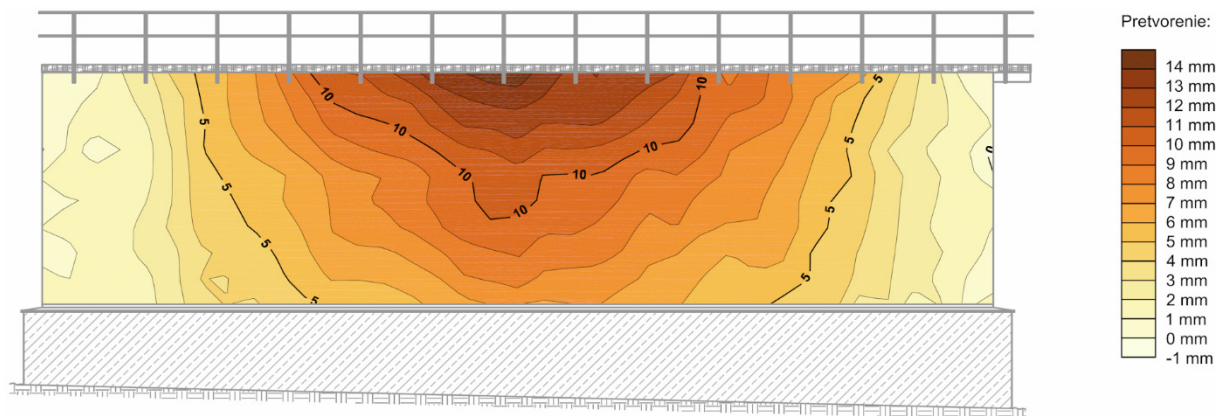
Pretvorenie aktivačnej nádrže bolo vyhodnotené samostatne pre každú stenu nádrže. Po transformácii mračien do miestneho súradnicového systému zo všetkých mračien boli odstránené body, ktoré neležali priamo na povrchu meraných stien nádrže (napr. steny pôvodnej nádrže, potrubia, zábradlie, bleskozvody a pod.). Potom z mračien bodov stien zo základného, ako aj kontrolného merania, boli vytvorené trojuholníkové siete, čím vzniklo 6 TIN modelov. Ako referenčná rovina pre tvorbu TIN modelu slúžila zvislá rovina prechádzajúca hornými rohmi danej steny aktivačnej nádrže (Obr. 5.28). Súradnicový systém TIN modelu bol definovaný pomocou dvojice bodov, ktoré boli vybrané vždy v horných rohoch modelovanej steny. Počiatok systému bol vložený do ľavého horného rohu. Systém bol umiestnený a orientovaný tak, aby os z bola kolmá na referenčnú vertikálnu rovinu prechádzajúcu zvolenými koncovými bodmi steny.



Obr. 5.28. Súradnicový systém mračna bodov na vytvorenie TIN modelu

Vytvorené TIN modely steny aktivačnej nádrže predstavujú skutočný povrch steny v základnom, resp. epochovom meraní. Tvorba TIN modelov bola vykonaná automatizovane

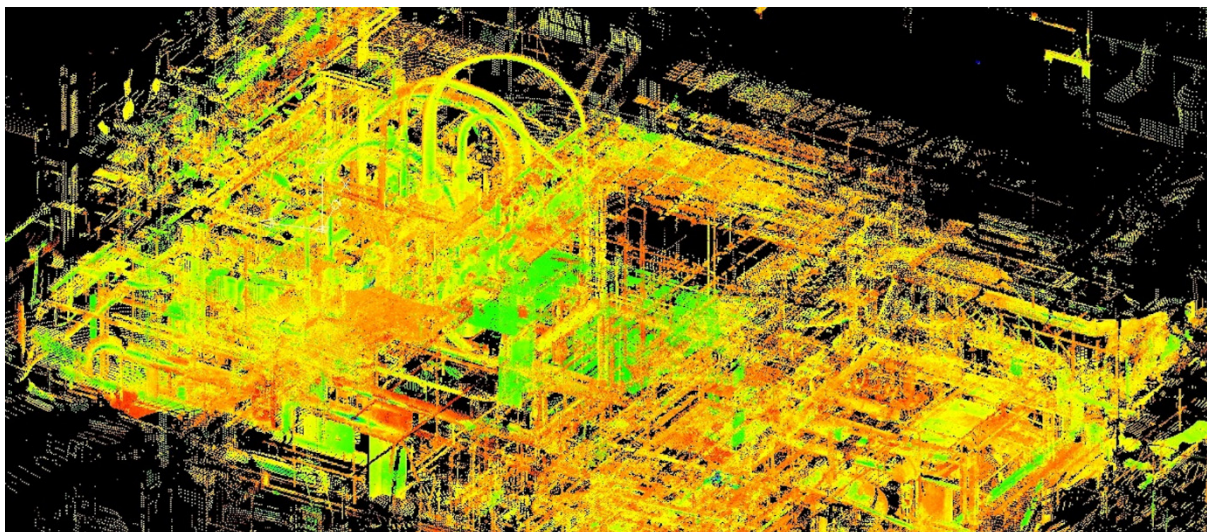
v softvéri Cyclone (Cyclone Model). Pretvorenie steny nádrže bolo určené ako rozdiel modelov v smere osi +z zo základného a kontrolného merania. Tento rozdiel bol meraný v rastri 50 mm x 50 mm v smere kolmom na referenčnú rovinu danej steny (zvislá rovina prechádzajúca hornými rohmi steny). Presnosť určenia pretvorenia v danom bode bola 2 mm až 3 mm. Pretvorenia stien boli graficky znázornené izočiarami pretvorení, doplnenými o hypsometrické znázornenie (Obr. 5.29). Grafické znázornenie pretvorení bolo vyhotovené v softvéri Surfer® spoločnosti Golden Software (Erdélyi et al., 2013).



Obr. 5.29. Pretvorenie čelnej steny aktívnej nádrže ČOV pri maximálnom zaťažení

5.5.5 Dokumentácia skutočného vyhotovenia potrubného systému výrobnjej linky

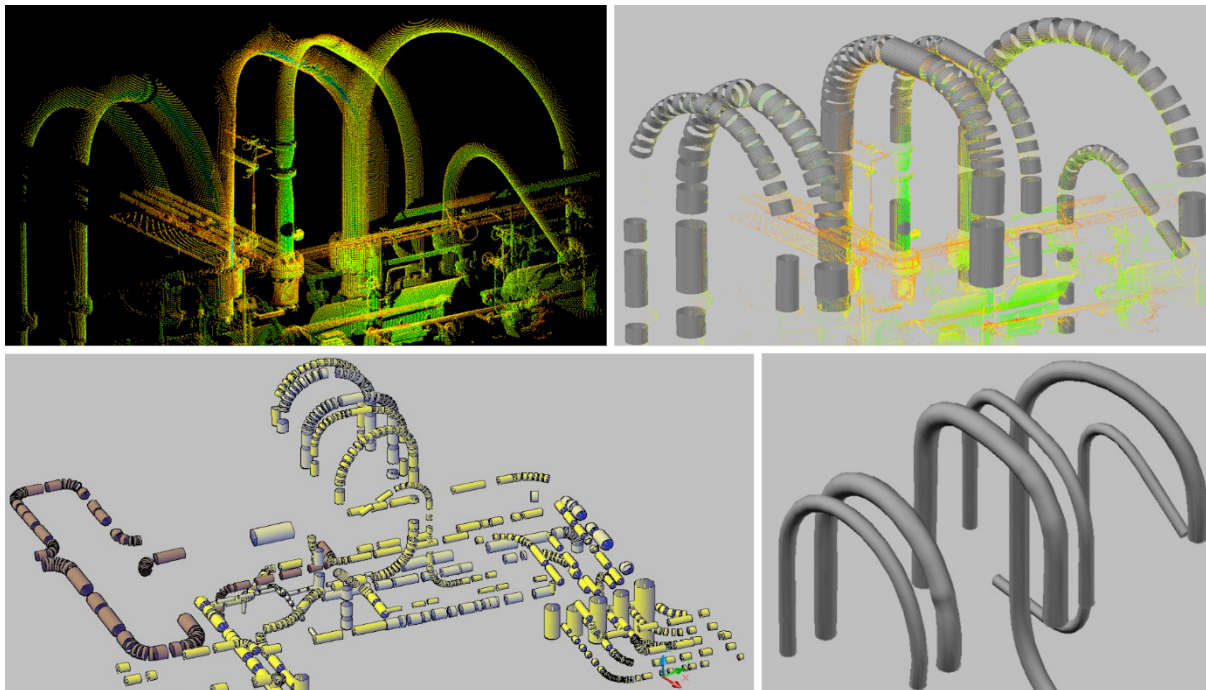
Technológia TLS bola úspešne aplikovaná pri určovaní priestorového tvaru potrubného systému výrobnjej linky v chemickom závode Duslo, a.s. Šaľa. Výsledkom skenovania bol 3D model potrubného systému, ktorý slúžil ako podklad na rekonštrukciu po havárii plynového reaktora. Na základe vytvoreného priestorového modelu už existujúceho potrubného systému, bol navrhnutý nový potrubný systém, resp. boli navrhnuté nové konzoly potrubí.



Obr. 5.30. Mračno bodov potrubného systému

Vzhľadom na priestorové obmedzenia v blízkosti potrubného systému (vysoká hustota konštrukčných prvkov, lešenie postavené pre účely rekonštrukcie) potrubný systém bol

skanovaný z 10 stanovísk prístroja s hustotou 10 mm x 10 mm/25 m. Sieť vlicovacích bodov bola tvorená 14 vlicovacími bodmi signalizovanými cieľovými značkami Leica HDS a čierno-bielymi „šachovnicovými“ cieľovými značkami. Výsledný priestorový model bol vytvorený modelovaním prstencov (valcových telies) pomocou softvéru CloudWorx a AutoCAD. Potom spojením jednotlivých prstencov vznikol 3D model potrubného systému. Presnosť určenia tvaru jednotlivých potrubí bola odvodená z ich definovanej geometrie (priemer potrubia). Jej hodnota bola vo všetkých prípadoch menej ako 3 mm.



Obr. 5.31. Postup tvorby priestorového modelu potrubného systému – detail mračna bodov (vľavo hore), detail modelovania prstencov (vpravo hore), prstencový model potrubného systému (vľavo dole), detail časti výsledného 3D modelu potrubného systému (vpravo dole)

6 Súradnicové meracie systémy

Vývoj výrobných procesov predovšetkým v strojárskom priemysle (automobilový, letecký, kozmický priemysel), ale aj v ostatných príbuzných priemyselných odvetviach kladie čoraz väčšie nároky na presnosť vyhotovenia výrobkov. Nevyhnutná súčasť zabezpečenia plynulého výrobného procesu je kontrola geometrických parametrov výrobkov (súčiastok) ako aj kontrola geometrických parametrov výrobných strojov a systémov metódami reverzného inžinierstva a priemyselnej metrológie.

Súradnicové meracie systémy umožňujú určenie priestorových súradníc charakteristických bodov, resp. bodov ležiacich na povrchu meraného objektu s presnosťou na úrovni niekoľkých mikrometrov (vo všeobecnosti s pomernou presnosťou lepšou ako 1 : 10 000). Priestorové súradnicové meracie systémy pozostávajú zo súradnicového meracieho stroja (CMM z angl. Coordinate Measuring Machine) a z riadiaceho počítača s ovládacím softvérom na meranie a na vyhodnocovanie výsledkov. Nevýhodou CMM, oproti konvenčným geodetickým metódam, je ich výrazne obmedzený rozsah merania (maximálne niekoľko desiatok metrov pri laser trackeroch). Metódy a spôsob určenia súradníc u väčšiny CMM sú založené na metódach známych z geodézie (polárna metóda, resp. meranie dĺžok v troch navzájom kolmých smeroch), preto odvetvie priemyselnej metrológie je príbuzné priemyselnej geodézii. Merania sú vykonávané v oboch prípadoch v rovnakom prostredí, rozdielom je maximálny rozmer meraného objektu a o niekoľko rádov vyššia presnosť výsledkov.

Súradnicové meracie stroje sú spravidla vyhotovené na mieru podľa požiadaviek konkrétnej prevádzky (zákazníka), resp. vyrábané v malých sériách. U väčšiny systémov sú jednotlivé komponenty systému sériovo vyrábané, ale výsledný systém ako celok je špecifický a spravidla určený na opakované vykonanie určitého typu meraní. V nasledujúcich kapitolách je opísaný funkčný princíp súradnicových meracích systémov, ich delenie podľa rôznych kritérií ako aj charakteristika zdrojov chýb pri určovaní súradníc pomocou CMM.

6.1 Kategorizácia súradnicových meracích strojov

Rozvojom súradnicovej meracej techniky dochádza zákonite aj k vzniku novej terminológie. Súradnicové meracie stroje podľa komplexnosti meracej zostavy možno kategorizovať na (Brezina, 1987):

- **súradnicový merací prístroj (SMP)** – meradlo, zhmotňujúce sústavu pravouhlých, polárnych, resp. valcových súradníc s dotykovým alebo bezdotykovým snímaním súradníc,
- **súradnicový merací stroj (CMM z angl. Coordinate Measuring Machine)** – SMP charakteristickej konštrukcie, ktorá sa vyznačuje mechanickým spojením dvoch (troch) pravouhlo usporiadaných priamkových vedení, spravidla mechanizovaním, resp. automatizovaním niektorej funkcie (napr. posunov) s dotykovým alebo bezdotykovým snímaním súradníc,

- **automatizovaný súradnicový merací stroj** – CMM vybavený riadiacim a vyhodnocovacím systémom (počítačom, mikroprocesorom), umožňujúcim realizovať automatizovaný cyklus merania súradníc a rozmerov na meranom objekte,
- **súradnicový merací robot** – CMM vybavený niektorými robotickými prvkami (manipulačné a transportné zariadenia, signalizácia prekročenia predpísaných tolerancií a pod.).

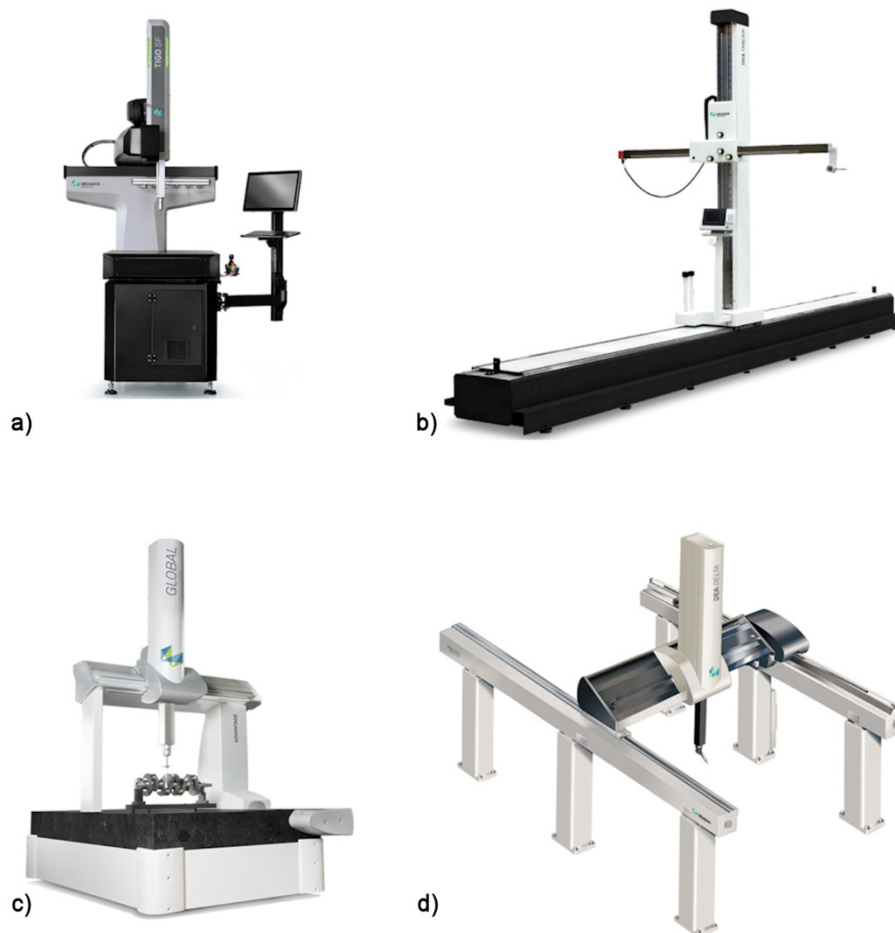
Väčšina autorov zaoberajúcich sa problematikou merania geometrických parametrov v strojárstve zahŕňa do oblasti súradnicových meracích prístrojov širšiu paletu prístrojov a zariadení, napríklad meracie mikroskopy a meracie projektory.

- **merací mikroskop** – je SMP umožňujúci meranie súradníc a rozmerov, spravidla v rovine, bezkontaktné (opticky). Sú vybavené meracím stolom (podložkou) s dvoma navzájom kolmými posuvmi (v smere XY), čítacím zariadením a najnovšie typy možno pripojiť na počítač a merané súradnice zaznamenať priamo na pamäťové médium počítača, resp. meranie riadiť pomocou počítača. Na určenie súradníc sa používajú inkrementálne snímače s rozlišovacou schopnosťou až 0,01 μm . Merací rozsah mikroskopov je obmedzený obvykle do 400 mm v smere osí X a Y.
- **súradnicové meracie projektory** – sú SMP s projekčným zariadením, ktoré umožňuje merať súradnice vybraných charakteristických bodov meraného objektu na zväčšenom obraze v rovine. Zväčšený obraz časti meraného objektu sa premietne na matnicu, kde sa porovnáva s transparentným výkresom, resp. súradnice sa merajú pomocou mikrometrických skrutiek meracieho stola. Merací rozsah a rozlišovacia schopnosť závisí od zväčšenia použitej optiky a je podobný rozsahu a rozlišovacej schopnosti meracích mikroskopov. Prepojením súradnicového meracieho projektoru s počítačom možno proces merania automatizovať.

CMM podľa metódy určenia súradníc meraného bodu možno deliť na:

- **polárne** – meracie ramená, ktoré majú pevnú dĺžku ramena a zabudované uhlomerné snímače v kĺboch meracieho ramena. Do kategórie polárnych CMM patria aj laser trackre. Pri laser trackeroch ide o systémy podobné univerzálnym meracím staniciam, pričom dĺžky sú merané interferometricky. Práve z dôvodu interferometrického merania dĺžok možno výsledné súradnice meraného bodu určiť o niekoľko rádov presnejšie (až 0,01 mm) ako pomocou univerzálnych meracích staníc.
- **pravouhlé** – CMM tvorené pevným rámom, umožňujúcim pohyb snímacej hlavice (dotykovej, bezdotykovej) v navzájom kolmých smeroch (1D až 3D).

Vývoj CMM do značnej miery vychádza zo skúseností získaných pri konštrukcii a výrobe súradnicových obrábacích strojov. Forma a konštrukcia CMM sa postupne vyvíjala snahou čo najlepšie splniť požiadavky odberateľov z rôznych priemyselných odvetví, preto tvar a konštrukcia CMM je prispôbená určitým špecifickým požiadavkám (Obr. 6.1).



Obr. 6.1. Kategorizácia pravouhlých CMM podľa usporiadania pevných a pohyblivých častí (Hexagon, 2016): a) stojanový, b) výložníkový, c) portálový a d) mostový

Na základe charakteristického rozlíšenia formy a usporiadania pevných a pohyblivých častí CMM, pravouhlé meracie stroje možno deliť podľa (Brezina, 1987) a (Kopáčik, 1998) na:

- **stojanový CMM** – využívajú sa najmä pri meraniach s vysokou vyžadovanou presnosťou. Vo väčšine prípadov ide o CMM s relatívne malým rozsahom merania (majú relatívne malý rozmer) a sú spravidla inštalované v laboratórnych podmienkach. Mnohé sú vybavené snímacím systémom na meranie polárnych, resp. valcových súradníc.
- **výložníkový CMM** – vyznačujú sa neúmerným usporiadaním, resp. niekoľkonásobne väčším rozsahom merania v smere osi „x“ ako v ostatných osiach. Ich merací rozsah môže byť relatívne veľký a sú inštalované spravidla vo výrobných podmienkach, väčšinou v automobilovom priemysle. Vyrábajú sa aj CMM s dvoma výložníkmi oproti sebe, označované ako zdvojené výložníkové typy.
- **portálový CMM** – vyznačujú sa vysokou tuhosťou konštrukcie. Portálové CMM možno ďalej deliť na CMM s pohyblivým alebo pevným portálom. CMM s pevným portálom majú pohyblivý merací stôl. V praxi sú najviac rozšírené CMM v pohyblivom portáli, pretože vďaka pevnému meraciemu stolu poskytujú veľkú upínaciu plochu s vysokou pevnosťou. Rozsah merania portálových CMM je spravidla do niekoľkých metrov. Môžu byť inštalované

v laboratórnych podmienkach pre potreby presného reverzného inžinierstva, alebo priamo vo výrobných podmienkach v rôznych odvetviach priemyselnej výroby.

- **mostové CMM** – boli vyvinuté ma meranie veľkých objektov. Majú veľký merací rozsah až niekoľko desiatok metrov. Na udržanie požadovanej presnosti merania je dôležitá vysoká tuhosť konštrukcie stroja, ktorá môže byť dosiahnutá mohutne dimenzovanými nosníkmi a stĺpmi. Mostové CMM sú vo väčšine prípadov inštalované vo výrobe v automobilovom a leteckom priemysle.

6.2 Polárne súradnicové meracie stroje

Vývoj polárnych CMM je v ostatných rokoch najrýchlejšie sa rozvíjajúcim odvetvím výroby súradnicových meracích systémov. Polárne CMM umožňujú presné určovanie súradníc na základe meraných polárnych súradníc (uhol, dĺžka). Sú to mobilné (prenášateľné) súradnicové meracie systémy, ktoré umožňujú kontrolu geometrických parametrov meraných objektov priamo vo výrobe. Využívajú sa pri kontrole objektov, ktorých premiestnenie na merací stôl pravouhlých CMM by bolo náročné, kvôli demontáži kontrolovanej súčiastky, resp. pri kontrole geometrických parametrov súčastí veľkých priemyselných objektov priamo vo výrobe (prevádzke). Kvôli jednoduchej manipulácii pri ich premiestňovaní sa používajú vo všetkých odvetviach priemyselnej výroby, od kontroly strojov cez automobilový priemysel až po letecký priemysel.

Polárne CMM z hľadiska funkčného princípu a konštrukcie samotného CMM sa delia na dve hlavné kategórie:

- meracie ramená,
- laser trackre.



Obr. 6.2. Meracie rameno (vľavo) a uhlomerne snímače zabudované v kĺbových mechanizmoch (vpravo) (Hexagon, 2015b)

Meracie ramená sú CMM pozostávajúce z niekoľkých ramien s pevnou dĺžkou navzájom prepojených kĺbovými mechanizmami, umožňujúce nezávislé otáčanie jednotlivých ramien. Dĺžka ramien je pevná (nemeria sa, je daná z výroby), určuje sa len uhol pootočenia jednotlivých ramien voči sebe pomocou uhlomerých snímačov zabudovaných v kĺboch meracieho ramena (Obr. 6.2) .

V súčasnosti sa vyrábajú meracie ramená rôznej dĺžky od 1 m až do 4,5 m. Dĺžkou ramena zákonite klesá presnosť CMM. Meracie ramená spravidla umožňujú použitie rôznych typov snímacích systémov. Použitím kontaktného snímacieho systému možno určovať súradnice vybraných bodov meraného objektu selektívne podľa voľby operátora s presnosťou až 0,02 mm. Pre potreby reverzného inžinierstva sa čoraz viac využívajú bezkontaktné snímacie systémy. Použitie meracieho ramena v kombinácii s laserovou skenovacou hlavicom umožňuje skenovať celý povrch meraného objektu s presnosťou až 0,05 mm. Výsledky v oboch prípadoch umožňujú okrem kontroly geometrických parametrov aj vyhotovenie presnej repliky (3D modelu) meraného objektu.

Laser trackre sú CMM pracujúce na princípe univerzálnych meracích staníc. Ide o meracie systémy, ktoré boli vyvinuté na presné meranie súradníc charakteristických bodov veľkých objektov. Určovanie smerov (uhlov) je zabezpečené rovnakými snímačmi ako pri v súčasnosti dostupných univerzálnych meracích staniciach najvyššej triedy presnosti (presnosť merania smerov až 0,15 mgon). Rozdiel od univerzálnych meracích staníc je v meraní dĺžok, ktoré sa vykonáva interferometricky. Dosah súčasných laser trackerov sa pohybuje na úrovni až 160 m pri použití špeciálnych odrazových hranolov. Neistota v určení polohy bodu spôsobená neistotou merania uhlov je $10 \mu\text{m} + 2,5 \mu\text{m/m}$ a spôsobená meraním dĺžok je $2 \mu\text{m} + 0,4 \mu\text{m/m}$.



Obr. 6.3. Laser tracker Leica Absolute Tracker AT 960 (vľavo) a kontaktné snímacie systémy B-Probe a T-Probe (vpravo) (Hexagon, 2015a)

Väčšina laser trackerov umožňuje použitie kontaktných aj bezkontaktných snímacích systémov. Kontaktné snímacie systémy umožňujú určovanie súradníc vybraných charakteristických bodov meraného objektu bez nutnosti použitia špecializovaných prípravkov na montáž odrazových hranolov. Operátor vyberá merané body dotykom hrotu snímacieho systému, pričom laser tracker určí ich polohu na základe meraných súradníc cieľových značiek umiestnených na snímacom systéme (podobne ako pri meraní neprístupného bodu v geodézii) (Obr. 6.3). Presnosť určenia polohy pri kombinácii laser trackera a kontaktného snímacieho systému je na úrovni niekoľkých stotín milimetra.

Okrem kontaktných snímacích systémov možno použiť aj bezkontaktné skenovacie hlavice (Obr. 6.4). Rýchlosť skenovania takýchto systémov je niekoľko 100 tisíc bodov za sekundu, pričom presnosť merania, výrobcami definovaná ako presnosť určenia skenovanej roviny je lepšia ako 0,1 mm.



Obr. 6.4. Skenovanie prednej masky auta pomocou skenovacej hlavice (Hexagon, 2015a)

Súčasný trend využitia laser trackerov je ich inštalácia priamo vo výrobe. Snímacie systémy (kontaktné alebo bezkontaktné) sú inštalované na ramená priemyselných robotov, ktoré cyklicky opakujú rovnaký úkon (opisujú rovnakú trajektóriu) (Obr. 6.4). Poloha snímacích systémov je meraná pomocou laser trackerov, čo umožňuje veľmi presné určovanie geometrických parametrov vyrobených súčiastok, pričom merací systém je súčasťou výrobnéj linky. Rýchlosť merania pomocou v súčasnosti dostupných laser trackerov (niekoľko tisíc meraní za sekundu) umožňuje ich využitie aj pri dynamických meraniach.

Súčasťou meracieho systému pri polárnych CMM je vždy aj riadiaci počítač so špecializovaným softvérom na riadenie procesu merania a vo väčšine prípadov aj na automatizované vyhodnocovanie meraní (tvorba povrchových modelov, rozdielových modelov, identifikácia a kvantifikácia odchýlok a pod.).

6.3 Pravouhlé súradnicové meracie stroje

Pravouhlé súradnicové meracie stroje v uplynulých desaťročiach prešli intenzívnym vývojom. V súčasnosti sú neoddeliteľnou súčasťou kontroly geometrických parametrov súčiastok najmä v strojárskom priemysle. Ide o stacionárne CMM, ktoré sú vo väčšine prípadov inštalované v laboratóriách, špecializovaných na veľmi presné meranie geometrických parametrov objektov. Kombináciou rôznych konštrukčných riešení (pozri kapitola 6.1) vznikajú aj CMM určené na určitý druh meraní. Tieto CMM vykonávajú svoju činnosť opakovane a sú inštalované priamo vo výrobe (v prevádzke) najmä v automobilovom a v leteckom priemysle, kde umožňujú automatizáciu kontroly vyrobených súčiastok.

Z konštrukčného hľadiska každý pravouhlý súradnicový merací stroj pozostáva z celkov označovaných ako (Kopáčik, 1998):

- mechanické prvky,
- pohyblivé prvky,
- meracie systémy,
- snímacie systémy,
- pohony,
- riadiace systémy.

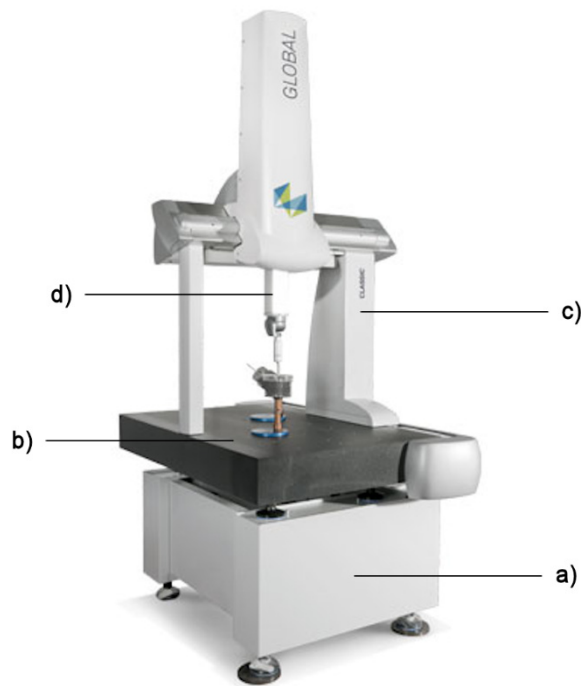
K **mechanickým prvkom** súradnicových meracích strojov patrí základňa, základová platňa (stôl), portál (most), pinola a vyvažovanie zariadenie (Obr. 6.5).

Základňa je v závislosti od typu CMM rám alebo stojan CMM. Nesie všetky ostatné pevné a pohyblivé prvky CMM. Musí mať vysokú tuhosť, kvôli zabezpečeniu rozmerovej stálosti samotného meracieho stroja aj pri dynamickom namáhaní počas merania. Rám súradnicového meracieho stroja vo väčšine prípadov je vybavený antivibračným zariadením na elimináciu vplyvu prostredia a nastaviteľnými nohami, ktoré umožňujú urovanie CMM (podobne ako urovnávacie skrutky pri geodetických prístrojoch).

Základová platňa (stôl) tvorí základ, na ktorý sú merané objekty prichytené počas merania. Konštrukcia stola musí zabezpečiť rozmerovú stálosť, vysokú pevnosť a tuhosť ako aj vysokú stabilitu (nesmie sa prehýbať ani pod záťažou veľkých bremien). Základovú platňu tvorí vo väčšine prípadov blok z prírodného kameňa (granit).

Portál alebo most sa pohybuje pozdĺž základne CMM na zabezpečenie merania súradníc v smere X a Y. Sú to časti CMM, ktoré nesú snímací systém. Konštrukcia portálu a mosta musí zabezpečiť tuhosť a rozmerovú stálosť meracieho systému.

Pinola je výsuvná časť (rameno) CMM kruhového alebo štvoruholníkového prierezu. Pinola môže byť umiestnená vo vertikálnej alebo v horizontálnej polohe. Vyrába sa z kovu a v niektorých prípadoch z prírodného kameňa alebo z uhlíkových vlákien (Krsek et al. 2002), (Palančár et al., 2007).



Obr.6.5. Mechanické prvky CMM (Hexagon, 2016):
 a) základňa, b) základňová platňa, c) portál, d) pinola

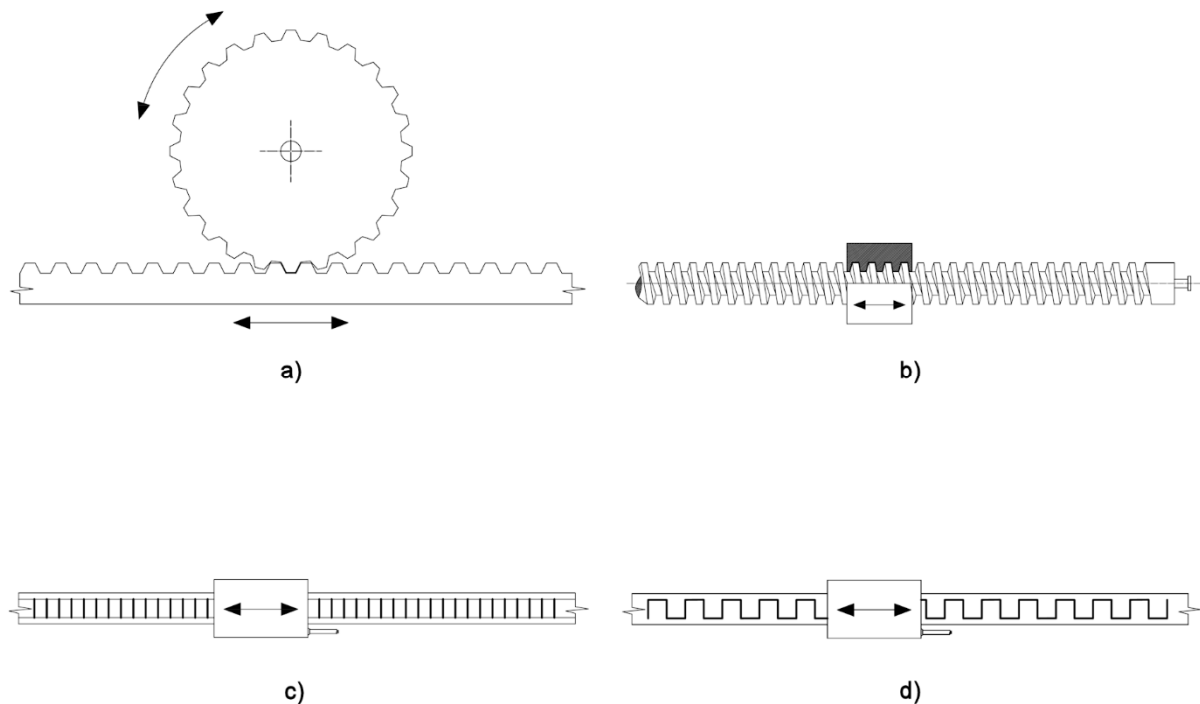
Pohyblivé prvky súradnicových meracích strojov sú uložené v ložiskách, vedených priamkovitými vodiacimi plochami. Veľmi kvalitné vedenia pohyblivých skupín sa dajú dosiahnuť lapovaním (vysokokvalitným leštením) prírodného kameňa a použitím aerostatického uloženia. V tomto prípade pohyblivé prvky CMM sú uložené na vzduchovom vankúši s hrúbkou niekoľkých mikrometrov, čím sú vyrovnané nerovnosti vodiacich plôch. Pri použití pohyblivých prvkov z kovu sa používajú valivé uloženie. Najjednoduchším riešením sú presné kladky, najčastejšie sa však používajú valivé guľkové hniezda, ktoré eliminujú vplyv nerovností vodiacich dráh, zároveň ich nosnosť umožňuje aj zaťaženie CMM veľkými bremenami. Pri CMM s nižším meracím rozsahom možno použiť aj klzné uloženie pohyblivých prvkov v kovových vodiacich plochách. Nevýhoda klzného uloženia je menšia rýchlosť pohybu CMM (kvôli veľkému odporu) a skutočnosť, že vodiace plochy si vyžadujú zvýšenú údržbu (pravidelné mazanie) (Brezina, 1987), (Kopáček, 1998).

Merací systém CMM (Obr. 6.6) pozostáva z dĺžkovej, resp. uhlovej miery a čítacieho zariadenia, ktoré indikuje dĺžku (resp. súradnicu) v analógovom, resp. číslicovom tvare. Ako dĺžkový merací systém sa v súradnicových meracích strojoch používa (Warnecke et al., 1984):

- ozubený hrebeň s pastorkom,
- závitový hriadel',
- lineárny induktosyn,
- inkrementálny snímač dĺžky,
- laserinterferometer.

Ozubený hrebeň s pastorkom a **závitový hriadel'** sú robustné meracie systémy odolné voči hrubšiemu zaobchádzaniu. Pri oboch systémoch sa meraná dĺžka určuje

nepriamo. Meria sa pootočením pastorka, resp. pootočením závitového hriadeľa, vo väčšine prípadov ako zlomok celej otáčky. Dĺžka (meraná súradnica) je počítaná z uhla pootočenia a z celého počtu otáčok pastorka, resp. závitového hriadeľa. Presnosť merania súradníc závisí od veľkosti ozubenia a presnosti merania pootočenia, pričom v súčasných CMM dosahuje hodnotu na úrovni 0,01 mm.



Obr. 6.6. Meracie systémy CMM: a) ozubený hrebeň s pastorkom, b) závitový hriadeľ, c) inkrementálny snímač dĺžky, d) lineárny induktosyn

Inkrementálny snímač dĺžky a lineárny induktosyn sú meracie systémy pracujúce na podobnom princípe. V oboch prípadoch základ meracieho systému tvoria lineárne stupnice, ktoré sú tvorené pásmi nainštalovanými v smere aktívnych osí CMM. V prvom prípade sú na pás nanesené dieliky (inkreменты) v druhom prípade je na pás nanesený meandrovo tvarovaný vodič. Snímacia hlavica určuje meranú dĺžku na základe počtu inkrementov (dielikov), meraných opticky alebo z počtu inkrementov meraných na základe indukovaného napätia. Presnosť určenia meranej súradnice je v oboch prípadoch na úrovni niekoľkých mikrometrov.

Interferometer je najpresnejší merací systém využívaný v súradnicových meracích strojoch. CMM využívajúce interferometrické určovanie súradníc dosahujú presnosť až na úrovni 0,01 μm . Kvôli vysokej obstarávacej cene a faktu, že merania musia byť vykonávané v laboratórnych podmienkach sú CMM využívajúce interferometre najmenej rozšírené.

Uhlové meracie systémy sú súčasťou deliacich stolov, ktoré tvoria často príslušenstvo k súradnicovým meracím strojom. Najčastejšie sú realizované inkrementálnymi snímačmi, alebo kruhovými induktosynmi s rozlíšením až 0,15 mgon. Ojedinele sa používa realizácia použitím axiálneho ozubenia (Brezina, 1987).

Časť súradnicových meracích strojov slúžiaca na určenie relatívnej polohy meraného bodu voči meraciemu stroju sa nazýva **snímací systém**. Snímacie systémy sa delia na (Kopáčík, 1998):

- kontaktné,
- bezkontaktné.

Snímacie systémy využívané v súradnicových meracích systémoch sú podrobne opísané v kapitole 6.4.

Pohony súradnicových meracích strojov sú realizované elektromotormi, resp. v niektorých prípadoch, najmä pri meracích mikroskopoch a súradnicových meracích projektoroch, pohon CMM môže byť manuálny. Väčšina CMM sa konštruje s motorickým pohonom na jednosmerný elektrický prúd, spojeným s tachodynamom a výkonovým členom s regulátorom, čo umožňuje tvorbu komplexných polohovacích servomechanizmov (Warnecke et al., 1984). V niektorých prípadoch je pohon CMM realizovaný krokovými motormi. Pohony sú obmedzené v smere každej osi CMM bezpečnostnými koncovými spínačmi. Pri ovládaní pohonov možno definovať rýchlosť (pohybuje sa od 1 $\mu\text{m/s}$ až do 1 m/s), resp. krokovanie ručne operátorom z ovládacieho panela pohybu CMM, v prípade automatizovaného merania je pohon riadený riadiacim počítačom CMM (Kopáčík, 1998).

Riadiaci systém súradnicových meracích strojov je komplexom číslicovo-analógových elektrických obvodov, ktoré riadia prostredníctvom pohonov všetky pohyby snímacieho systému. Príkazy je možné definovať manuálne cez ovládací pult CMM alebo prostredníctvom riadiaceho počítača. Podľa úrovne riadenia a napojenia počítača možno rozlíšiť štyri úrovne automatizácie procesu merania (Warnecke et al., 1984):

- manuálne navádzanie snímačej hlavy,
- manuálne navádzanie z ovládacieho pultu,
- riadenie počítačom, podľa vopred definovaného postupu,
- riadenie nadradeným počítačom (v prípade, že CMM je súčasťou výrobnéj linky).

Riadiace systémy súradnicových meracích strojov môžu pracovať v uzatvorenom alebo otvorenom reťazci riadenia. Systémy s riadením v uzatvorenom reťazci umožňujú generovanie všeobecne tvarovaných dráh pohybu snímačej hlavy s voliteľnými rýchlosťami. Systémy pracujúce s riadením v otvorenom reťazci umožňujú vykonávať výpočty už počas merania. Vývoj súradnicových meracích strojov, resp. robotov bol stimulovaný predovšetkým potrebou kontinuálneho merania obrobkov v integrovaných výrobných úsekoch a automatizovaných výrobných systémoch. Preto sú dnešné súradnicové meracie stroje vybavené pomerne veľkou operačnou rýchlosťou a možnosťou jednoduchého programovania.

Softvérové vybavenie riadiaceho počítača (riadiaci a vyhodnocovací softvér) je integrálna súčasť súradnicových meracích strojov, dodávaná výrobcami. Úroveň tohto vybavenia, jeho obsah a flexibilita sú významné faktory posudzovania aplikačných možností súradnicových meracích strojov. Softvéry dodávané výrobcami pokrývajú všetky typické

a väčšinu špeciálnych meracích úloh, vyskytujúcich sa pri meraní v strojárskom priemysle (Kopáčik, 1998).

Do kategórie pravouhlých súradnicových meracích strojov možno zaradiť aj moderné CNC (Computer Numerical Control) stroje (Obr. 6.7). Sú to stroje, ktoré boli vyvinuté na presné počítačom riadené obrábanie súčiastok a v súčasnosti sú integrálnou súčasťou primyslenej výroby. Konštrukcia CNC strojov je podobná konštrukcii CMM, pri použití snímacích systémov, namiesto obrábacích nástrojov, možno vykonávať merania podobne ako so CMM s presnosťou na úrovni 0,01 mm.



Obr. 6.7. Portálový obrábací CNC stroj (CNC-Step, 2016)

6.4 Snímacie systémy súradnicových meracích strojov

Určenie polohy bodu na objekte je hlavná úloha CMM. Celok (časť) CMM slúžiaci na určenie relatívnej polohy meraného bodu voči meraciemu stroju sa nazýva snímací systém. Snímacie systémy možno deliť na dve hlavné kategórie (Brezina, 1987), (Kopáčik 1998):

- kontaktné,
- bezkontaktné.

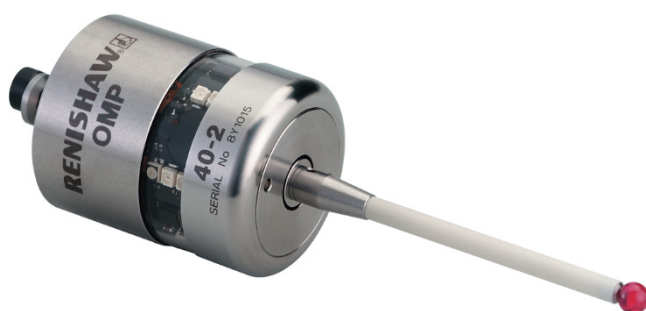
Snímacie systémy CMM pozostávajú z **hlavy snímacieho systému** a **snímača súradníc (sondy)**. **Hlava snímacieho systému** slúži na uchytenie meracích snímačov (kontaktných aj bezkontaktných). Ich úloha je zabezpečiť natáčanie snímača do požadovaného smeru okolo dvoch navzájom kolmých osí (horizontálnej a vertikálnej). Použitie hlavy umožňuje meranie súradníc prakticky ktoréhokoľvek bodu meranej súčiastky len pohybom pohyblivých prvkov CMM a otáčaním hlavy (360° okolo vertikálnej osi a až 230° okolo horizontálnej osi) (Obr. 6.8). Pri použití statických hláv, možno merať súradnice len v troch navzájom kolmých smeroch (XYZ), pričom na meranie súradníc vybraných bodov meranej súčiastky je často potrebné danú súčiastku otočiť, resp. meniť jej uloženie na pracovnom stole CMM.



Obr. 6.8. Hlava snímacieho systému s kontaktnou snímacou sondou (Renishaw, 2010)

Kontaktné snímacie systémy tvoria spínacie sondy. Najjednoduchšie kontaktné snímacie systémy sú tvorené telieskami upnutými do pinoly súradnicového meracieho stroja. Používajú sa telieska v tvare kužeľa, gule, valca a pod. Dôsledkom rôznej prítlačnej sily pri meraní vznikajú chyby pri určení polohy meraného bodu. Výrobcovia CMM uprednostňujú, tzv. elektrokontaktné alebo elektrické dotykové snímacie systémy (spínacie sondy). Presnosť snímacích systémov sa obvykle charakterizuje hodnotou opakovateľnosti v nastavení dotyku, ktorá sa pohybuje od 0,1 μm do 2,0 μm (Brezina, 1987).

Spínacie sondy pozostávajú zo samotného spínača, a snímacieho hrotu (Obr. 6.9). Po dotyku spínacieho hrotu spínač generuje signál, ktorý zastaví pohyb súradnicového meracieho stroja a merané súradnice sa zaznamenajú. Spínač a spínací hrot môžu byť vyhotovené ako jeden kompaktný celok snímacieho systému, alebo môžu byť oddelené od seba. V druhom prípade sú spínač a spínací hrot spojené magnetom. Takéto vyhotovenie snímacieho systému umožňuje automatizovanú výmenu spínacieho hrotu, čo umožňuje plnoautomatizované vykonanie rôznych meracích úloh bez nutnosti zásahu operátora. Samotný hrot snímacieho hrotu sa väčšinou vyrába zo syntetického rubínu (oxid hlinitý), z oxidu zirkoničitého a z nitridu kremičitého.



Obr. 6.9. Kontaktná spínacia sonda (Renishaw, 2013)

Špeciálny typ kontaktných snímacích systémov sú spínacie skenovacie sondy. Skenovacie sondy poskytujú riadiacemu počítaču kontinuálny záznam o vychýlení spínacieho hrotu. Hrot počas merania kopíruje povrch meraného objektu, pričom jeho trajektória je

zaznamenávaná riadiacim počítačom (povrch sa skenuje). Nový typ kontaktných snímacích systémov sú sondy na meranie drsnosti povrchu meraného objektu. Po dotyku s povrchom hrot sondy sa pohybuje po povrchu kontrolovaného objektu pozdĺž definovaného profilu, pričom sa merajú vychýlenia hrotu. Výsledkom merania je profil drsnosti povrchu vo forme čiarového grafu, ktorý znázorňuje drsnosť povrchu v reze (pozdĺž meraného profilu).

Medzi **bezkontaktné snímacie systémy** patria laserové skenovacie hlavice, priemyselné laserové hlavice na meranie dĺžky, kamerové snímacie systémy a špeciálne optické systémy na meranie súčiastok s vysoko kvalitnou povrchovou úpravou. Výhoda bezdotykových snímacích systémov je možnosť merania aj objektov s málo tuhým alebo nevodivým povrchom, resp. realizovať merania na pohybujúcich sa objektoch.

Laserové skenovacie hlavice podobne ako terestrické laserové skenery slúžia na neselektívne meranie geometrických tvarov meraného objektu (Obr. 6.4). Výhoda skenovacích hlavíc okrem bezkontaktného merania je rýchlosť skenovania súčasných hlavíc (až 200 tis. bodov za sekundu), čo umožňuje získanie veľkého množstva meraných údajov s vysokou presnosťou (niekoľko stotín milimetra). Laserové skenovacie hlavice sú často inštalované na ramená priemyselných robotov, pričom poloha skenovacej hlavice je určovaná pomocou laser trackera. Kombinácia polárnych CMM s robotickým ramenom umožňuje integrovať kontrolu súčiastok (aj väčších rozmerov) priamo do výrobných liniek.

Priemyselné laserové hlavice na meranie dĺžky pracujú na princípe laserovej trilaterácie, resp. triangulácie. Slúžia na určovanie dĺžok v smere jednej z osí CMM. Napríklad kombináciou laserového dĺžkomera umiestneného v smere osi Z CMM (CNC prístroja) možno skenovať povrch kontrolovanej súčiastky a potom vyhotoviť jej 3D model. Súradnica X a Y meraného bodu je definovaná pohybom CMM, súradnica Z je meraná dĺžkomerom. Takáto realizácia snímacieho systému sa najčastejšie využíva pri CNC obrábacích prístrojoch.



Obr. 6.10. Kamerový snímací systém (Renishaw, 2015)

Kamerové snímacie systémy pozostávajú z CCD snímača a LED osvetlenia meraného objektu (Obr. 6.10.). Umožňujú optické meranie objektov väčších rozmerov. Celé zorné pole, alebo len vybraná časť obrazového záznamu môže byť použitá v spracovateľskom softvéri (dodávanom výrobcom) na meranie požadovaného geometrického parametra. Kamerové snímacie systémy sa používajú pri meraní malých súčiastok, pri ktorých použitie kontaktného

spínacieho hrotu nie je možné. Ďalej sa používajú pri objektoch s málo tuhým povrchom, pri kontrole dosiek plošných spojov (Hexagon, 2016).

Optické systémy na meranie súčiastok s vysoko presnou povrchovou úpravou boli vyvinuté na veľmi presné meranie a diagnostiku povrchových vlastností kontrolovaných súčiastok, vrátane merania drsnosti povrchu a hrúbky povrchových vrstiev. Presnosť merania sa pohybuje v submikrometrovej oblasti, pričom merací rozsah je len niekoľko stotín milimetra.

6.5 Presnosť súradnicových meracích strojov a metódy ich skúšania

Zdokonaľovanie CMM a ich kvalitatívny vzrast ukázali, potrebu formulácie účinných pravidiel, podľa ktorých by bolo možné jednoznačne definovať presnosť CMM. Charakterizovať presnosť CMM možno viacerými spôsobmi (Brezina, 1987), (Kopáčik, 1998). Najjednoduchší spôsob je charakterizovať presnosť CMM jedinou hodnotou, napr. ako krajnú odchýlku CMM. Dokonalejšie vyjadrenie presnosti je založené na vyjadrení funkčnej závislosti medzi výslednou chybou (neistotou) CMM a veľkosťou meranej dĺžky (súradnice). Podľa tohto konceptu presnosť CMM je vyjadrená rovnicou (Brezina, 1987):

$$\sigma_s = a + b \cdot l^j . \quad (6-1)$$

Rovnica je podobná rovnici diaľkomera, kde σ_s je krajná odchýlka, ktorá pri vopred určených podmienkach nebude prekročená s pravdepodobnosťou 95 %. Člen a je konštanta vyjadrujúca vplyv náhodných chýb súradnicového meracieho stroja, b je konštanta vyjadrujúca vplyv nevylúčených systematických chýb súradnicového meracieho stroja, l je meraná dĺžka (meraný rozmer v smere jednej zo súradnicových osí CMM) a j je exponent, ktorý nadobúda hodnotu 1, resp. 0,5 v závislosti od podmienok a typu súradnicového meracieho stroja.

Vzťah (6-1) vyjadruje presnosť meranej dĺžky v smere niektorej z osí meracieho stroja. Vhodnejšia charakteristika presnosti je, ak vyjadríme presnosť priestorovej dĺžky (úsečka medzi dvoma bodmi v priestore). Takto vyjadrená presnosť súradnicového meracieho stroja sa nazýva globálna presnosť a charakteristiky použité na jej vyjadrenie sa nazývajú globálne charakteristiky presnosti. V praxi sa často vyskytujú úlohy, kde treba merať dĺžky definované na valcových, resp. guľových plochách. V takomto prípade sa presnosť vyjadruje individuálne pre každý druh úloh (tvoria sa chybové modely pre danú meraciu úlohu).

Presnosť súradnicových meracích strojov je vo veľkej miere ovplyvnená realizáciou pohyblivých prvkov a meracieho systému CMM. **Chyby meracieho systému** CMM sú zapríčinené hlavne nedokonalosťami pri výrobe stupníc (dĺžkových aj uhlových), pri ich montáži alebo chybami interpolačných zariadení. Pri pohybe CMM sa jeho pohyblivé časti nepohybujú v priestore po priamkach, ale po priestorových krivkách (ich dráha nie je priamočiara). Krivosť vodiacich plôch súradnicového meracieho stroja spôsobuje chyby v určení dĺžok (súradníc) v smere jednotlivých súradnicových osí. Tieto chyby vznikajú v dôsledku porušenia Abbeho princípu (meraný rozmer a stupnica musia ležať na priamke), v dôsledku porušenia podmienky vzájomnej kolmosti osí CMM a krútením jeho pohyblivých prvkov (Kopáčik, 1998).

Chyby snímacieho systému súradnicového meracieho stroja sú spôsobené jednak nedokonalosťou vlastného snímacieho systému ako aj odchýlkami tvaru snímacích prvkov a ich pretvorením pri kontakte s meraným objektom. Pri bezkontaktných snímacích systémoch sú chyby spôsobené hlavne chybou laserového dĺžkomera. Pri kamerových systémoch chybou optiky (zväčšenie, distorzia a pod.) podobne ako pri kamerách používaných vo fotogrametrii.

Rôznorodé chybové vplyvy a odchýlky od ideálnych geometrických podmienok v konštrukcii CMM spôsobujú, že ich presnosť je vo všeobecnosti v pracovnom priestore CMM premenlivá (charakteristiky presnosti stroja sa časom menia) a len v obmedzenej miere polohovo determinovateľná. Presnosť CMM sa určuje na základe výsledkov testov a skúšok. Metódy a postupy na skúšanie CMM možno deliť do dvoch základných skupín (Brezina, 1987):

- skúšanie analytickými metódami (skúšanie jednotlivých komponentov CMM),
- skúšanie globálnymi metódami (pomocou etalónov a testovacích telies).

Iná kategorizácia metód skúšania súradnicových meracích strojov je založená na ich obsahovej náplni. Na základe toho možno skúšanie CMM deliť na:

- skúšanie orientačné,
- skúšanie skrátene,
- skúšanie úplné (komplexné).

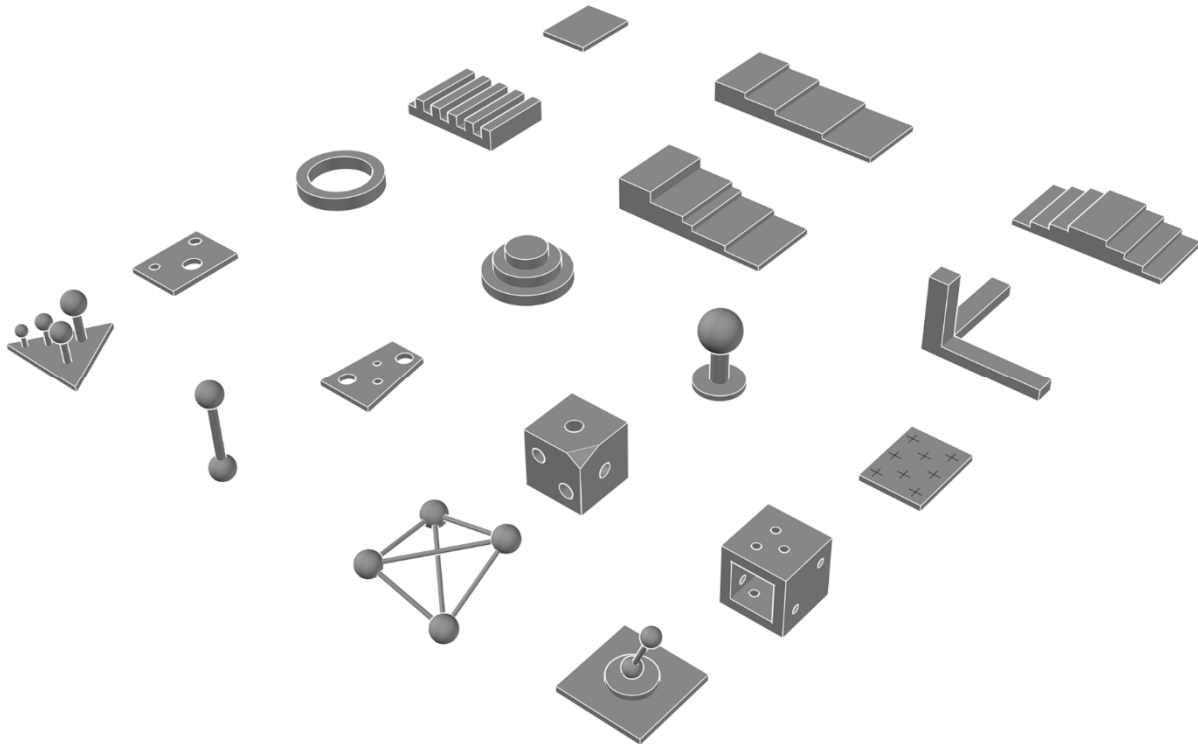
Analytické metódy skúšania súradnicových meracích strojov vyžadujú dodržanie týchto zásad (Brezina, 1987):

- skúšaný CMM musí byť inštalovaný v teplotne stabilizovanom prostredí (zmena maximálne 0,5 až 1 °C/hodinu) so súčasným meraním hodnôt relatívnej vlhkosti, vibrácií, rýchlosti prúdenia vzduchu a pod.,
- súradnicový merací stroj musí obsluhovať operátor,
- počiatok súradnicového systému CMM musí byť reprodukovateľný v dlhom časovom období,
- použité meradlá musia byť úradne overené a aspoň o tretinu dekadického rádu presnejšie, než je vyžadovaná presnosť určenia geometrických parametrov jednotlivých komponentov CMM,
- rozsah skúšok musí byť určený vopred podľa príslušného metrologického predpisu (normy, ktorá sa na daný typ prístroja vzťahuje),
- výsledky skúšok jednotlivých častí musia byť doplnené aj príslušnými údajmi o ich presnosti.

Pre analytické metódy skúšania CMM sa používajú hlavne dĺžkové a uhlové meradlá prenosného typu, ktoré sú doplnené pomôckami umožňujúcimi vykonať racionálne všetky potrebné skúšobné úkony. Medzi najčastejšie používané meradlá patria laserinterferometre, autokolimačné a zámerné ďalekohľady, elektronické libely a sklonomery, deliace stoly, čiarkové dĺžkové miery a optické polygóny. Pri kontrole CNC strojov alebo CMM nižšej presnosti možno na kontrolu použiť aj laser trackre.

Globálne metódy skúšania súradnicových meracích strojov nevyžadujú prísne dodržiavanie zásad uvedených pre metódy analytické. Pri globálnom skúšaní sa nezískajú konkrétne a polohovo determinované hodnoty chýb, ale len globálne údaje o presnosti. Hlavná prednosť globálneho skúšania súradnicových meracích strojov je jednoduchosť a napojenie na obvykle riešené úlohy. Pri použití globálnych metód skúšania sa spravidla aplikujú zhmotnené miery (dĺžkové a uhlové), geometrické tvary, testovacie telesá, ktoré sa podľa určitých pravidiel umiestňujú v pracovnom priestore súradnicového meracieho stroja (Kopáčik, 1998).

Etalón na skúšanie súradnicových meracích strojov je tuhé teleso, ktoré nepodlieha pružným pretvoreniam a ktoré je schopné zachovávať svoje rozmery a tvar bez významných (merateľných) zmien v dlhom časovom intervale. Skúšobné etalóny sa preto vyrábajú z materiálov ako je nástrojová oceľ, invar, tavený kremeň, prírodný kameň a pod. Etalóny pozostávajú zväčša z komplexu priestorovo usporiadaných jednoduchých geometrických prvkov a ich vzájomných kombinácií (Obr. 6.11).



Obr. 6.11. Etalóny a testovacie telesá na globálne skúšanie CMM (Brezina, 1987)

Snaha výrobcov aj užívateľov CMM o zjednotenie posudzovania parametrov presnosti CMM viedla k spracovaniu smerníc, ktoré majú špecifikovať všetky rozhodujúce údaje o súradnicových meracích strojoch a spôsobe ich skúšania. Skúšaním CMM sa zoberá séria noriem *STN EN ISO 10360 Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM), časť 1 až 9.*

7 Vytyčovanie a meranie geometrických parametrov žeriavových dráh a žeriavov

Žeriavy sú zariadenia na zdvíhanie a prekladanie nákladov, ktoré sa pohybujú zvyčajne po koľajnicových pásoch žeriavovej dráhy. V priemysle ako aj v stavebníctve sú dôležitým pracovným prostriedkom. Následkom vysokého zaťaženia podliehajú značnému opotrebovaniu. V prípade nadmerného opotrebovania koľajnicových pásov alebo samotného žeriavu dochádza k vyradeniu žeriavu z prevádzky a tým k ekonomickým stratám. Aby sa predišlo neželanému opotrebovaniu, resp. odstaveniu žeriavu z prevádzky, je nutné počas prevádzky v pravidelných intervaloch vykonávať merania na zistenie geometrických parametrov žeriavovej dráhy a žeriavu. Počas výstavby žeriavovej dráhy sú predmetom geodetických činností vytyčovacie práce a kontrolné merania.

Realizácia kontrolných meraní si z technických a bezpečnostných dôvodov vyžaduje odstavenie žeriavu z prevádzky. Čas, počas ktorého musí byť žeriav mimo prevádzky, závisí od typu žeriavovej dráhy, veľkosti geometrických parametrov, požadovanej presnosti a prístrojového vybavenia. Svoju úlohu z hľadiska náročnosti tu zohráva aj otázka bezpečnosti, ktorej musí meračská skupina venovať zvýšenú pozornosť. Vzhľadom na rozsah a náročnosť meraní ide spravidla o niekoľko hodín.

Požiadavky na presnosť meraných prvkov vyžadujú zdokonaľovanie meračských postupov a metód. Klasické postupy merania metódou zámernej priamky a geometrickej nivelácie sa v súčasnosti nahrádzajú priestorovou polárnou metódou s prístrojovým vybavením, základ ktorého tvorí univerzálna meracia stanica vyššej presnosti. Uvedený postup určenia parametrov žeriavovej dráhy čiastočne skraca dobu merania, avšak aj naďalej vyžaduje odstavenie žeriavu z prevádzky a pohyb meračského personálu na žeriavovej dráhe. Náročnosť meračských prác a zvýšené bezpečnostné riziko viedli už v minulosti k snahe čiastočne alebo úplne automatizovať práce na žeriavových dráhach. Záver kapitoly prináša prehľad technológií umožňujúcich vykonanie meraní na žeriavových dráhach bez potreby vstupu meračského personálu na koľajnicové pásy.

7.1 Základné pojmy a definície

Žeriav je definovaný ako stroj na cyklickú činnosť, ktorý je určený na zdvíhanie alebo premiestňovanie bremien (STN ISO 4306-1).

Žeriavová dráha je nosná konštrukcia určená na pojazd žeriavu, kladkostroja alebo žeriavového vozíka (mačky). Žeriavová dráha pozostáva (Ferjenčík et al., 1982):

- z nosníkov, vrátane nárazníkov, priečných stužovadiel, výstužných nosníkov, koľajnicových pásov a spojovacích súčastí,
- z podpier nosníkov žeriavovej dráhy (stĺpy, brzdne stužovadlá) a základov,
- z doplnkových konštrukcií (lávky, zábradlia, výstupy, trolejové vedenie).

Vetva žeriavovej dráhy predstavuje súvislú časť dráhy, po ktorej sa pohybuje jedna strana žeriavu, kladkostroj alebo mačka.

Pole žeriavovej dráhy je časť vetvy žeriavovej dráhy medzi dvoma susednými podperami. Pole môže byť krajné, vnútorné alebo dilatačné, pričom krajné pole môže mať prečnievajúce konce cez podperný stĺp.

Rozpätie poľa žeriavovej dráhy je definované vodorovnou vzdialenosťou zvislých osí susedných podpíer.

Rozchod žeriavovej dráhy je vodorovná vzdialenosť pozdĺžnych osí dvoch k sebe prislúchajúcich nosníkov alebo koľajnicových pásov žeriavovej dráhy. Pre väčšinu žeriavov sa rozchod dráhy volí násobkom 300 mm a v odôvodnených prípadoch, kde nemožno tento rozmer dodržať sa volí rozchod násobkom 100 mm.

Výška žeriavovej dráhy predstavuje prevýšenie medzi hornou hranou (temenom) koľajnicového pásu a základnej roviny, definovanej vzťažným výškovým bodom.

Dĺžka žeriavovej dráhy je vzdialenosť medzi čelami nárazníkov nachádzajúcich sa na koncoch žeriavovej dráhy.

Koľajnicový pás je styčný prvok medzi žeriavom a nosníkom žeriavovej dráhy. Je to najexponovanejšia časť žeriavovej dráhy, pretože je bezprostredne namáhaná zvislými tlakmi kolies a vodorovnými pozdĺžnymi a bočnými silami. Rozmer a tvar koľajnicového pásu sa volí podľa tlaku kolies, pojazdovej rýchlosti a tvaru kolies.

Os koľajnicového pásu je spojnice stredových bodov (stredníc) koľajnicového pásu, definovaných v úrovni temena koľajnicového pásu.

Nárazník žeriavovej dráhy je pevná súčasť žeriavovej dráhy, ktorá zamedzí prejazdu žeriavu cez krajnú prípustnú medzu, čím zabráni havárii žeriavu.

Pojzdová rýchlosť je definovaná ako rýchlosť žeriavu za ustáleného pohybu na vodorovnej dráhe s bremenom zodpovedajúcim maximálnej hmotnosti pri rýchlosti vetra 3 m/s meraného vo výške 10 m.

7.2 Kategorizácia žeriavov a žeriavových dráh

Žeriavy umožňujú presun bremena vo vymedzenom priestore a to tak vo vodorovnom, ako aj zvislom smere. Na základe **prevádzkových činiteľov**, ktorými sú počet pracovných cyklov, pomerné zaťaženie a dynamické účinky, rozdeľujeme žeriavy do štyroch skupín (STN 27 0101):

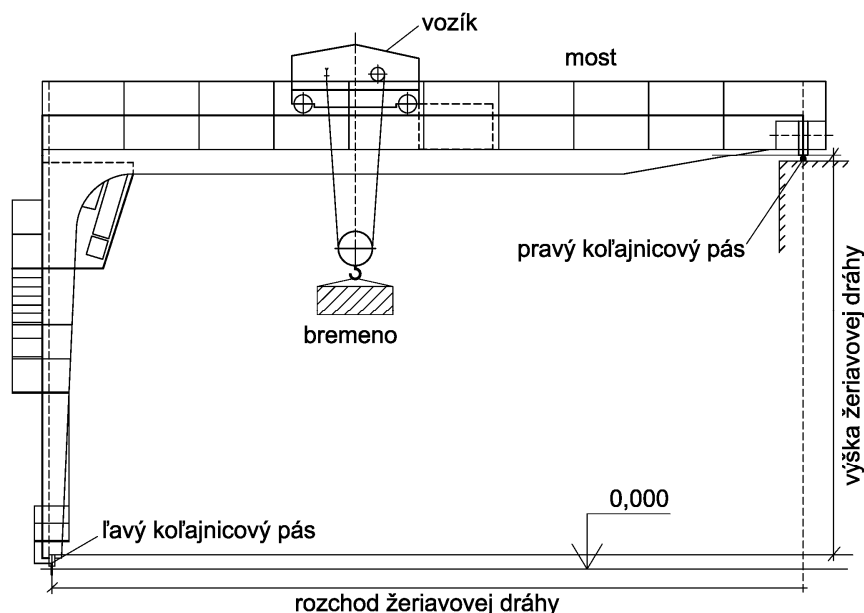
- skupina I. – žeriavy pre ľahkú prevádzku,
- skupina II. – žeriavy pre strednú prevádzku,
- skupina III. – žeriavy pre ťažkú prevádzku,
- skupina IV. – žeriavy pre veľmi ťažkú prevádzku.

Podľa **nosnej konštrukcie**, ktorá udáva spravidla celkový tvar, rozoznávame žeriavy (Dražan et al., 1968, Remta et al., 1974 a Remta et al., 1975):

- mostové,
- portálové a poloportálové,
- konzolové,
- vežové a stĺpové,
- cestné,
- špeciálne žeriavy.

Mostové žeriavy tvoria najrozšírenejšiu a najčastejšie sa vyskytujúcu skupinu žeriavov v priemyselných závodoch halách. Konštrukcia mostových žeriavov sa skladá z mosta (nosná konštrukcia) pohybujúceho sa po vyvýšenej žeriavovej dráhe s dvoma vetvami (koľajnicovými pásmi) a pojazdného ústrojenstva vrátane pojazdových kolies. Po moste sa pohybuje žeriavový vozík (mačka), ktorý nesie zdvíhacie zariadenie a bremeno.

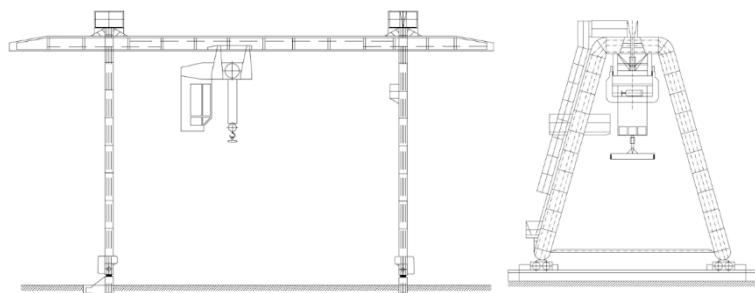
Nosnú konštrukciu **portálových žeriavov** tvorí portál, ktorý pozostáva zo žeriavového mosta a dvoch podpier (nôh) s pojazdným ústrojenstvom umiestneným v úrovni pojazdu žeriavu (Obr. 7.1 a 7.2). Most môže byť bez prevísajúcich koncov, prípadne s jedným, výnimočne dvoma prevísajúcimi koncami. Schopnosť prenášať zaťaženie v ľubovoľnom smere umožňujú podpory portálu, z ktorých jedna je pevná a druhá voľná (kyvná). Úloha kyvnej podpory je eliminovať bočné dynamické účinky žeriavového mosta pri práci s bremenom. Na druhej strane tuhosť mosta portálových žeriavov s rozpätím do 15 m umožňuje konštruovať obe podpory ako pevné (Remta et al., 1975).



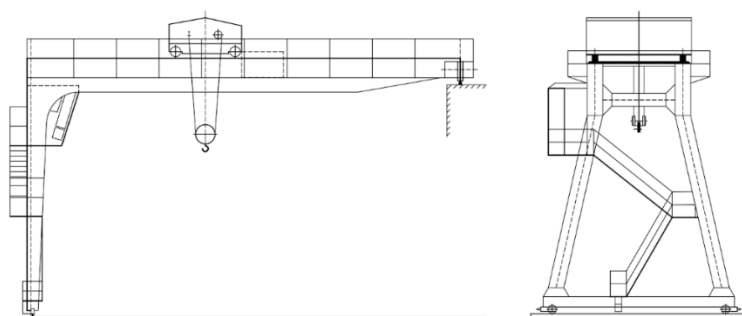
Obr. 7.1. Portálový žeriav s pojazdným vozíkom

Poloportálové žeriavy tvoria špecifickú časť portálových žeriavov, ktorých most sa na jednej strane bezprostredne dotýka žeriavovej dráhy a na druhej strane je dotyk zabezpečovaný pomocou podpier (Obr. 7.3). Jedna vetva žeriavovej dráhy sa nachádza

vo zvýšenej úrovni, najčastejšie vo výške mostového žeriavu. Vetva žeriavovej dráhy je umiestnená na nosnej konštrukcii budovy alebo na samonosnom opornom múre.

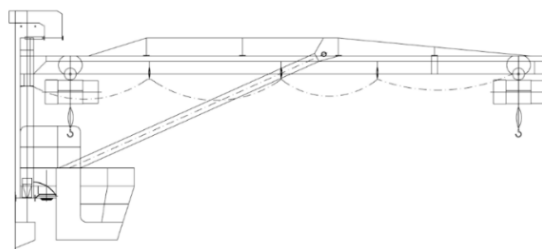


Obr. 7.2. Portálový žeriav s dvoma prevísajúcimi koncami (Dražan et al., 1968)



Obr. 7.3. Poloportálový žeriav (Dražan et al., 1968)

Konzolové žeriavy sa pohybujú spravidla pod mostovými žeriavmi pozdĺž jednej alebo oboch stien haly po žeriavovej dráhe, ktorá je upevnená k nosnej konštrukcii haly (Obr. 7.4). Zvislé zaťaženie prenášajú poháňacie kolesá na jednej vetve žeriavovej dráhy. Stabilitu žeriavu (klopiaci moment) zaisťujú nosníky, umiestnené nad a pod rovinou žeriavovej dráhy, o ktoré sa opierajú horizontálne, prípadne vertikálne kladky. Konštrukcia konzolového žeriavu pozostáva zo zvislého rámu žeriavu a ramena.



Obr. 7.4. Konzolový žeriav s pevným ramenom (Dražan et.al, 1968)

Zvislú konštrukciu **stĺpového žeriavu** vytvára pomerne krátky jednoduchý prút (stĺp) a v prípade **vežového žeriavu** vysoká vežová prihradová konštrukcia. Vežové žeriavy sa veľmi často označujú ako stavebné.

Žeriavové dráhy v prípade mostových, portálových, polo-portálových a vežových pozajzdnych žeriavov pozostávajú z dvoch vetiev, ktorých vzájomná poloha je determinovaná

typom a konštrukciou žeriavu. Žeriavové dráhy môžu mať charakter trvalých dráh pre mostové, portálové, poloportálové a konzolové žeriavy alebo dočasných dráh pre vežové, stĺpové a portálové žeriavy na stavenisku.

Podľa **konštrukcie žeriavových dráh sa** tieto členia na dráhy (Ferjenčík et al., 1982):

- na pevnom podklade (najčastejšie betónový podklad),
- pre podvesné alebo závesné žeriavy,
- pre mostové a poloportálové žeriavy – s nosnou konštrukciou prenášajúcou zvislé a vodorovné zaťaženie do podpier situovaných v určitých vzdialenostiach,
- pre konzolové žeriavy,
- so samostatnou konštrukciou – obvykle dráhy umiestnené mimo budov.

7.3 Geometrické parametre žeriavových dráh a žeriavov

Nasledujúce časti kapitoly sú venované opisu geometrických parametrov žeriavových dráh najčastejšie sa vyskytujúcich žeriavov (mostové, portálové, poloportálové), pohybujúcich sa na pevnom podklade alebo na vlastnej konštrukcii. Žeriavy vežové, stĺpové alebo závesné musia spĺňať osobitné geometrické podmienky.

Pojem geometrické parametre žeriavových dráh v sebe zahŕňa parametre opisujúce smerový a výškový priebeh koľajnicových pásov a ich rozchod (MN č. 984 311/83). Predmetom merania (kontroly) sú ďalej vzájomné vzťahy koľajnicových pásov a koncových nárazníkov, točných osí kolies žeriavu, ako aj geometrické vzťahy medzi koľajnicovými pásmi nachádzajúcimi sa na moste, resp. portáli žeriavu, po ktorých sa pohybuje žeriavový vozík.

Smerový priebeh koľajnicových pásov žeriavovej dráhy je definovaný smerovými odchýlkami pozdĺžnej strednice (osi) koľajnicových pásov od vzťažnej priamky (spravidla zámernej priamky ako časti vzťažnej sústavy) v stanovených priečných rezoch. Zároveň sa určuje bočný nesúlad koľajnicových pásov na stykoch.

Výškový priebeh koľajnicových pásov je charakterizovaný výškovými (zvislými) odchýlkami jazdných plôch koľajnicových pásov od vzťažnej vodorovnej roviny a vzájomným prevýšením týchto plôch v stanovených priečných rezoch. Vzťažnou vodorovnou rovinou je spravidla projektovaná úroveň jazdných plôch koľajnicových pásov, prípadne rovina, vedená najvyšším bodom jazdných plôch oboch koľajnicových pásov.

Správne vybudovaná, resp. rektifikovaná žeriavová dráha musí spĺňať nasledujúce **základné geometrické podmienky** (STN 73 5130 alebo Michalčák et al.1990):

- pozdĺžne osi koľajnicových pásov sú navzájom rovnobežné,
- jazdné plochy koľajnicových pásov sú v rovnakej výške,
- rozchod koľajnicových pásov je zhodný s osovou vzdialenosťou kolies žeriavu,
- spojnice čiel nárazníkov je kolmá na pozdĺžnu os koľajnicových pásov,
- pozdĺžna os koľajnicových pásov je kolmá na točnú os kolies žeriavu.

Ďalšie podmienky definujú vzájomnú geometriu žeriavovej dráhy a kolies (súkolí) žeriavu, resp. koľajnicových pásov žeriavového vozíka:

- osi nosníkov mosta (portálu) sú kolmé na pozdĺžnu os koľajnicových pásov žeriavovej dráhy,
- pozdĺžna os súkolia mosta (portálu) je rovnobežná s pozdĺžnou osou koľajnicových pásov žeriavovej dráhy,
- pozdĺžne osi koľajnicových pásov žeriavovej dráhy a vozíka sú navzájom kolmé,
- pozdĺžne osi koľajnicových pásov vozíka sú navzájom rovnobežné,
- rozchod koľajnicových pásov je zhodný s osovou vzdialenosťou kolies vozíka,
- spojnice čiel nárazníkov vozíka je kolmá na pozdĺžnu os koľajnicových pásov vozíka,
- jazdné plochy koľajnicových pásov vozíka sú v rovnakej výške.

7.4 Metodika vytyčovania a merania geometrických parametrov žeriavových dráh a žeriavov

Podľa vyhlášky Vyhláška MPSVR SR č. 508/2009 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci s technickými zariadeniami tlakovými, zdvíhacími, elektrickými a plynovými a ktorou sa ustanovujú technické zariadenia, sa považujú za vyhradené technické zariadenia. Tieto podmienky určujú bezpečnostno-technické požiadavky a sprievodná technická dokumentácia. Vykonávanie predpísaných prehliadok a skúšok zabezpečí organizácia, ktorá má zariadenia v prevádzke. Vyhláška v §9 stanovuje jednotlivé fázy výstavby a prevádzky technických zariadení, v ktorých je povinnosť vykonať kontrolu zariadenia. Realizácia geodetických meraní na zistenie geometrických parametrov žeriavovej dráhy je súčasťou montážnej skúšky.

Žeriavy, ako strojné zariadenia pohybujúce sa na koľajnicových pásoch generujú už pri výstavbe a montáži zvýšené požiadavky na kvalitu (presnosť) vykonávaných meraní. Pri výkone geodetických činností súvisiacich s výstavbou a montážou žeriavových dráh a žeriavov sa používajú presné metódy a postupy vytyčovania a merania obvykle využívané v inžinierskej geodézii, čo vyplýva z krajných (stavebných, vytyčovacích) odchýlok definovaných projektom alebo technickými predpismi (normami). Koľajnicové pásy žeriavových dráh bývajú spravidla umiestnené na železobetónových alebo oceľových nosníkoch, spočívajúcich na konzolách železobetónových alebo oceľových stĺpov. Podľa druhu konštrukcie sa postup prác pri montáži žeriavovej dráhy líši, resp. sa prispôsobí požiadavkám zhotoviteľa stavebných a montážnych prác.

Z hľadiska **polohového vytýčenia**, či osadenia žeriavovej dráhy ide o tieto čiastkové úlohy:

- vyhotovenie vytyčovacieho výkresu,
- vytýčenie osí pätiiek stĺpov (hlavných polohových čiar),
- stavba pätiiek stĺpov (debnenie, betonáž),
- opätovné vytýčenie osí stĺpov na pätky,

- stavba (montáž) stĺpov, t. j. osadenie prefabrikovaných alebo monolitických stĺpov do vytýčených osí, vytýčenie zvislice,
- osadenie železobetónových nosníkov alebo podkladových ocelových dosiek na konzoly stĺpov,
- vytýčenie osí koľajníc na nosníkoch alebo konzolách,
- montáž koľajnicových pásov žeriavovej dráhy, resp. ocelových nosníkov s koľajnicami,
- kontrola osadenia koľajnicových pásov žeriavovej dráhy,
- dokumentácia skutočného vyhotovenia žeriavovej dráhy,
- odovzdanie do prevádzky.

Z hľadiska **výškového vytýčenia**, či osadenia žeriavovej dráhy sa spravidla vyžaduje splnenie týchto čiastkových úloh:

- určenie výšok pätiiek stĺpov,
- určenie výšok konzol na stĺpoch,
- výšková kontrola osadenia nosníkov,
- výšková kontrola osadenia koľajníc,
- vytýčenie, resp. vyznačenie výšok koľajnicových pásov v predpísaných rezoch,
- vytýčenie a vyznačenie vodorovnej roviny pre montáž koľajnicových pásov na jednej z konzol (napr. na začiatku žeriavovej dráhy, vytyčuje sa nad projektovanou výškou hlavy koľajnice),
- nezávislé kontrolné vytýčenie vodorovnej roviny na inej konzole (napr. na konci žeriavovej dráhy),
- určenie výšky vzťažného výškového bodu osadeného približne vo výške žeriavovej dráhy.

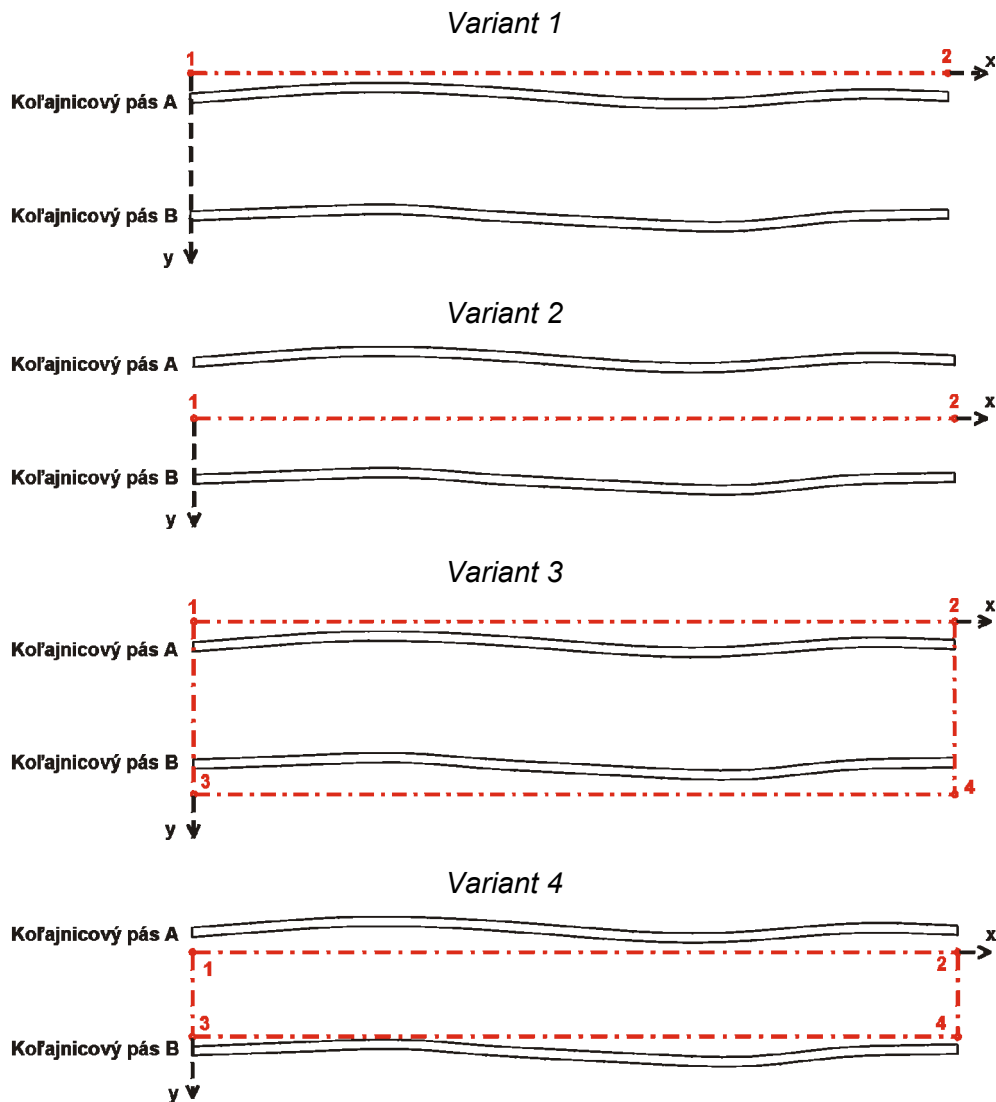
Kontrolné meranie geometrických parametrov žeriavovej dráhy sa realizuje spravidla na podnet, resp. objednávku prevádzkovateľa žeriavovej dráhy, prípadne na základe požiadaviek inšpektorátu bezpečnosti práce. Priestorové vzťahy žeriavových dráh sa určujú spravidla na (Lukáč, 2003):

- kontrolu dodržiavania predpísaných krajných odchýlok podľa predmetných noriem,
- získanie podkladov na zisťovanie príčin porúch žeriavovej dráhy, resp. žeriavu,
- získanie podkladov na rekonštrukciu žeriavovej dráhy,
- získanie podkladov na rektifikáciu žeriavovej dráhy.

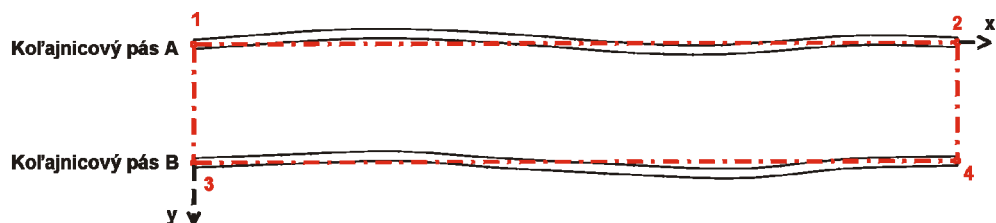
Od začiatku kontrolných meraní sa pozornosť geodetov sústredila na návrh metódy a metodiky merania žeriavových dráh, ktorá by umožnila získať dostatočné informácie o stave žeriavovej dráhy s vyžadovanou presnosťou. Meranie geometrických parametrov žeriavových dráh a žeriavov pozostáva z (Michalčák *et al.*, 1990 a Lukáč, 2003):

- návrhu vzťažnej sústavy, jej merania a vyhodnotenia,
- merania smerového priebehu koľajnicových pásov a rozchodu žeriavovej dráhy,
- merania výškového priebehu koľajnicových pásov,
- merania geometrických parametrov žeriavov.

Vzťažná sústava vytvára základnú kostru na spoľahlivé určenie geometrických parametrov žeriavovej dráhy a čiastočne aj žeriavu. Pri voľbe vzťažnej sústavy je nutné zvažovať viacero aspektov, medzi ktoré patrí najmä typ a dĺžka žeriavovej dráhy, prístrojové vybavenie a vyžadovaná presnosť. Najčastejšie využívaná konfigurácia je meračská (zámerná) priamka, resp. sústava (dvojica) meračských priamok (Obr. 7.5 a 7.6).



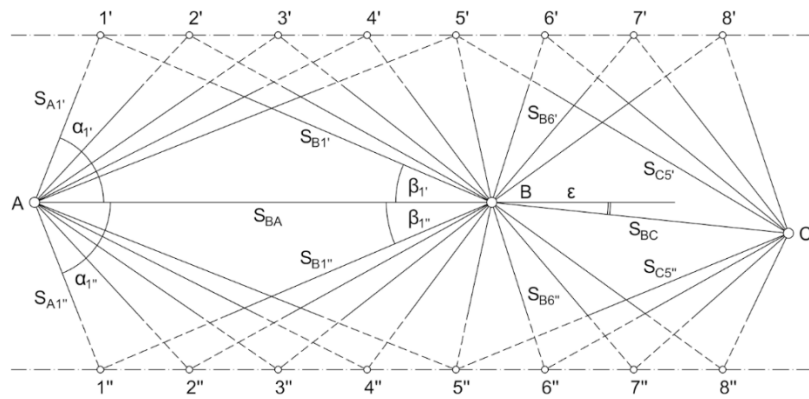
Obr. 7.5. Zámerná priamka ako odsadená rovnobežka so spojnicou koncových bodov



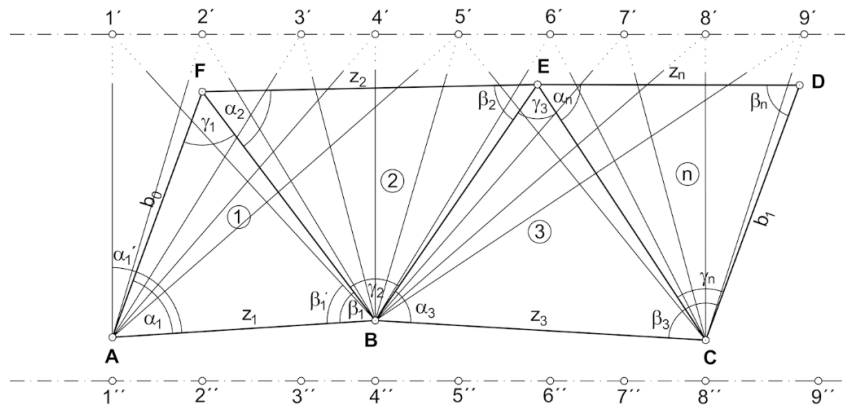
Obr. 7.6. Zámerná priamka ako spojnica koncových bodov

Najmä pri meraní dlhých žeriavových dráh, resp. dráh s veľkým rozchodom sa využíva polygón (Obr. 7.7), resp. trojuholníkový alebo štvoruholníkový reťazec (Obr. 7.8 a 7.9). Voľba vzťažnej sústavy, jej tvaru a umiestnenia vzhľadom na kofajnicové pásy žeriavovej dráhy je

silne determinované priestorovými možnosťami žeriavovej dráhy, jej umiestnenia v hale, na konzolách a prevádzkových a iných obmedzení.

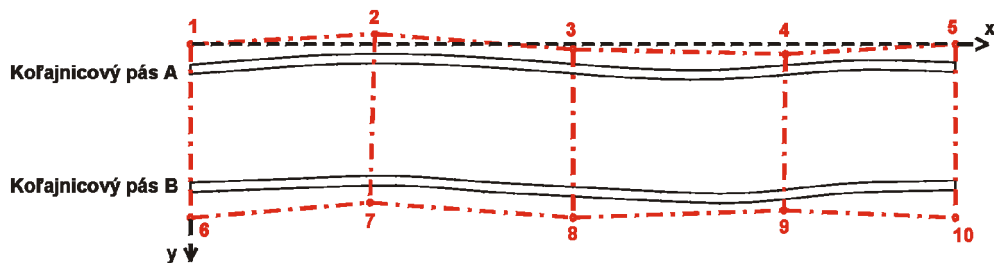


Obr. 7.7. Vzťažná sústava v tvare polygónu

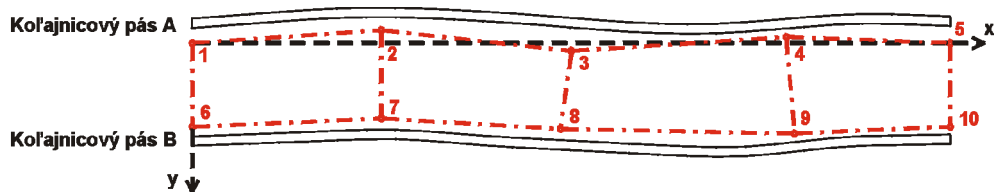


Obr. 7.8. Trojuholníkový reťazec vo všeobecnej polohe

Variant 1



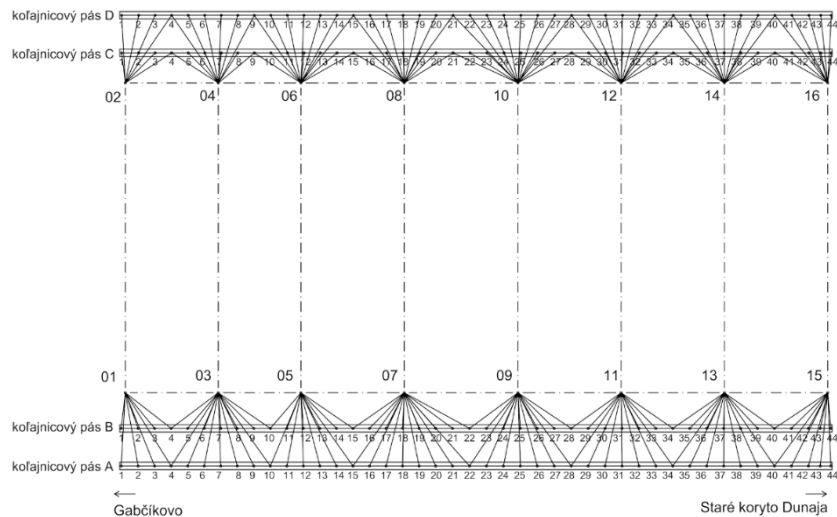
Variant 2



Obr. 7.9. Štvoruholníkový reťazec vo všeobecnej polohe

Vzťažná sústava vo forme mikrosiete tvaru štvoruholníkového reťazca bola použitá pri určovaní geometrických parametrov pozemnej žeriavovej dráhy v objekte vodnej elektrárne Gabčíkovo (Rojkovičová, 2001). Žeriavová dráha pozostáva z dvoch vetiev, z ktorých každá

je tvorená dvojicou koľajnicových pásov. Štvoruholníkový reťazec bol navrhnutý z dôvodu atypickej dĺžky dráhy 418,150 m (Obr.7.10). Stanoviská mikrosiete boli umiestnené z vnútornej strany koľajníc ŽD vo vzájomnej vzdialenosti približne 50 m. Z celkového počtu 16 vzťažných bodov bolo 8 využitých pre jednu vetvu (dvojkoľajnicu) a 8 pre druhú vetvu žeriavovej dráhy. Sieť vzťažných bodov bola vyrovnaná MNS – 2. lineárny model merania. Priemerná stredná polohová chyba bodov vzťažnej siete dosiahla hodnotu 1,2 mm. Polohová presnosť pozorovaných bodov, vypočítaná len pre body určené z dvoch bodov vzťažnej siete (prekrytové body) je 1,8 mm.



Obr. 7.10. Konfigurácia bodov vzťažnej sústavy – mikrosiete (Rojkovičová, 2001)

Meraniu smerového a výškového priebehu predchádza rozmeranie koľajnicového pásu – **vytýčenie a vyznačenie pozorovaných bodov** strednice koľajnicových pásov poliacimi nožnicami a jamkovačom (Obr. 7.11). Vzdialenosť pozorovaných bodov na koľajnicových pásoch je volená v závislosti od typu a konštrukcie žeriavovej dráhy s prihliadnutím na príslušné technické normy. Pozorované body sa vytyčujú v stanovených priečných rezoch komparovaným oceľovým pásmom s milimetrovým delením. V prípade mostového žeriavu sa poloha pozorovaných bodov volí v miestach podpier (kolmý priemet zvislej osi podpory na koľajnicový pás) a v strede medzi podperami.



Obr. 7.11. Poliace nožnice na koľajnicovom pásu

Prístroj upevňujeme a centrujeme buď pomocou špeciálnej podložky (Obr. 7.12) priamo na koľajnicový pás alebo mimo koľajnicový pás na statív, resp. pilierovú podložku (Obr. 7.13).

Splnenie geometrických parametrov žeriovovej dráhy sa vyhodnocuje samostatne v smere vodorovnom (smerový priebeh koľajnicového pásu) a zvislom (výškový priebeh koľajnicového pásu). Na určenie smerového priebehu koľajnicového pásu je potrebné určiť vodorovné odľahlosti vyznačených stredníc koľajnicového pásu od vzťažnej (zámernej) priamky. Na určenie výškového priebehu koľajnicových pásov je potrebné určiť prevýšenie medzi temenom (hlavou) koľajnicového pásu vo vyznačených miestach a vzťažnou vodorovnou rovinou. Merania potrebné na získanie vyššie uvedených hodnôt sa vykonávajú obvykle samostatne metódou zámernej priamky a geometrickej nivelácie. Modernizáciou meracej techniky a zvyšovaním jej kvality (presnosti) sa na meranie žeriovových dráh postupne zavádza používanie polárnej metódy, pri ktorej sa poloha vyznačených stredníc určuje univerzálnou meracou stanicou súčasne vo vodorovnom aj v zvislom smere.



Obr. 7.12. Upevnenie prístroja na špeciálnej podložke



Obr. 7.13. Upevnenie prístroja na pilierovej podložke

Pri meraní žeriavovej dráhy sa žeriov odsunie a zaistí voči pohybu na konci žeriavovej dráhy. Žeriov blokuje určitú časť žeriavovej dráhy (určitý počet pozorovaných bodov), ktorej meranie sa vykoná po ukončení meraní na oboch vetvách a presunutí žeriovu na začiatok žeriavovej dráhy. V prípade, že je vzťažná priamka volená v spojnici stredníc koľajnicových pásov je potrebné túto vytýčiť v miestach neprekrývaných žeriovom odstaveným na začiatku alebo konci dráhy. V prípade využívania odsadenej vzťažnej priamky alebo vzťažnej priamky vo všeobecnej polohe je potrebné mať na zreteli jej dostatočné odsadenie od koľajnicových pásov.

Meranie **smerového priebehu koľajnicových pásov** sa začína meraním na riadiacej vetve – označenej ako vetva „A“. Po upevnení a centrovaní prístroja nad počiatočným bodom vzťažnej priamky a jeho orientovaní na koncový bod vzťažnej priamky sa prikróčí k určovaniu odľahlostí na pozorovaných bodoch. Na pozorované body v jednotlivých rezoch sa prikladá vodorovné meradlo s milimetrovou stupnicou a v zornom poli ďalekohľadu prístroja sa priamo čítajú vodorovné odchýlky od zvislej roviny vytýčenej zámernou osou prístroja (Obr. 7.14). V prípade zámer prevyšujúcich 50 m sa na určenie vodorovných odľahlostí používa posuvné meradlo s cieľovou značkou v tvare trojuholníka (Obr. 7.15). Figurant posúva cieľovú značku do zámernej roviny a priamo číta na meradle vodorovnú odľahlosť medzi polohou cieľovej značky a strednice koľajnicového pásu. Po ukončení merania na riadiacej vetve sa pokračuje meraním vedľajšej vetvy – vetvy „B“.



Obr. 7.14. Použitie vodorovného meradla



Obr. 7.15. Použitie posuvného meradla s cieľovou značkou

Súčasťou merania smerového priebehu koľajnicových pásov je meranie **rozchodu žeriavovej dráhy**, ktoré sa vykonáva v krajných polohách a minimálne v strede žeriavovej dráhy. Na meranie rozchodu sa používa komparované oceľové pásmo a do výpočtu sa zavádzajú opravy z komparácie (nominálnej dĺžky pásma), z teploty a z priehybu pásma. Pásmo sa pri meraní napína nominálnou silou, čo sa kontroluje silomerom. Na meranie rozchodu možno použiť ručné bezhranolové diaľkomery, napr. Leica DISTO, ktorých presnosť však nemusí byť v každom prípade dostatočujúca.

Ďalšia časť určenia smerových parametrov žeriavovej dráhy je určenie **vzájomnej polohy čiel nárazníkov** a kontrola kolmosti ich spojnice. Táto sa uskutočňuje priemetom čela každého nárazníka na koľajnicový pás a určením ich vzdialenosti od koncového bodu zámernej priamky meranej v pozdĺžnom smere. Meranie sa vykoná vo výške hlavy koľajnicového pásu, rovnobežne so vzťažnou priamkou príslušnej vetvy.

Zámerná priamka prechádza tesne nad úrovňou alebo v blízkosti koľajnicového pásu, prípadne v blízkosti nosnej konštrukcie a stien objektu. Prechodom zámerného lúča vzduchovými vrstvami rôznej teploty, dochádza vplyvom zmeny hustoty vzduchu ku zmene indexu lomu vzduchu. Zámerný lúč nepredchádza vrstvami priamo, ale je zakrivený do oblúka. Tento jav, označovaný ako refrakcia, spôsobuje chyby pri meraní. **Zníženie vplyvu refrakcie** sa dosiahne skrátením dĺžky zámer. Koľajnicový pás sa obvykle rozdelí na dva úseky a meranie sa vykoná z koncových bodov vzťažnej priamky približne len do polovice dĺžky koľajnicového pásu. Spojenie oboch úsekov sa vykoná súčasným meraním odľahlostí minimálne dvojice pozorovaných bodov z oboch stanovísk.

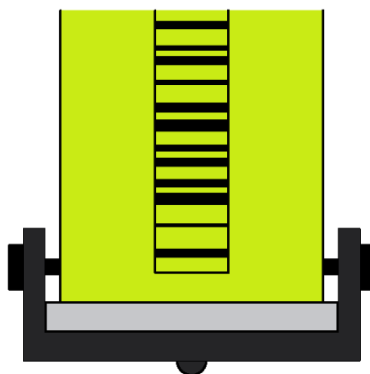
Výškový priebeh koľajnicových pásov je definovaný výškovými odchýlkami jazdných plôch koľajnic od vzťažnej vodorovnej roviny, ako aj výškovými rozdielmi týchto plôch v stanovených priečných rezoch. Vzťažnou vodorovnou rovinou je spravidla projektovaná úroveň jazdných plôch koľajnic, prípadne rovina, idúca najvyšším bodom jazdných plôch koľajnic. Zvislé odchýlky jazdných plôch koľajnic v meraných bodoch a sklon jednotlivých úsekov (polí) sa počítajú z rozdielu relatívnych výšok pozorovaných bodov a vzťažnej roviny.

Na meranie výškového priebehu koľajnicových pásov sa využíva metóda geometrickej nivelácie. Niveláčny prístroj sa upevňuje buď pomocou upínacieho zariadenia priamo na koľajnicový pás, na pilierovú podložku alebo na statív. Stanovisko prístroja sa obvykle volí v strede žeriavovej dráhy na vetve s ľahšou dostupnosťou. Na pozorované body sa postupne prikladá zvisle nivelačná lata (Obr. 7.16) alebo meradlo s milimetrovým delením a s príloženou kruhovou libelou. Na päťu nivelačných lát je potrebné pripevniť prípravok s výčnelkom na jednoznačné osadenie nivelačnej lavy na temeno koľajnicového pásu v mieste merania (Obr. 7.17). Dĺžka meraného úseku je obmedzená maximálnou dĺžkou zámeru pri nivelácii. Pri rozdelení žeriavovej dráhy na viac úsekov treba zabezpečiť dostatočný „prekryt“ na vzájomné prepojenie meraní. Maximálna dĺžka zámeru pri nivelácii je daná kvalitatívnymi vlastnosťami použitého prístroja, ako aj miestnymi pomermi na žeriavovej dráhe (prašnosť, vibrácia vzduchu, chvenie stanoviska prístroja a pod.).

Výšky pozorovaných bodov môžu byť určené v relatívnom alebo absolútnom výškovom systéme. Počiatok relatívneho výškového systému sa volí v jednom z pozorovaných bodov, z bodov vzťažnej sústavy alebo vo výške horizontu nivelačného prístroja na prvom stanovisku. Pripojenie meraní na výškový systém závodu, resp. štátny výškový systém (ŠNS) umožňuje sledovať stabilitu nosnej konštrukcie žeriavovej dráhy z dlhodobého hľadiska.



Obr. 7.16. Meranie výškového priebehu koľajnicových pásov geometrickou niveláciou



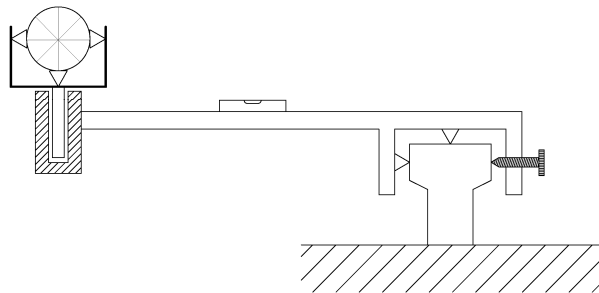
Obr. 7.17. Špeciálny prípravok osadený na päte nivelačnej laty

Vývojom univerzálnych meracích staníc sa stala aktuálna problematika určovania geometrických parametrov žeriavových dráh **priestorovou polárnou metódou**. Princíp metódy pozostáva z určenia priestorovej polohy bodu na koľajnicovom páse pomocou univerzálnej meracej stanice vyššej presnosti a odrazového hranola. Na uvedený druh práce sú vhodné prístroje, ktorých stredná chyba merania vodorovného a zenitového uhla je charakterizovaná hodnotou 5 mgon a stredná chyba určenia vzdialenosti 1 až 3 mm (Hánek et al., 1993). Charakteristiky presnosti použitých prístrojov je nutné pred meraním overiť podľa metodiky uvádzanej v medzinárodných normách na testovanie univerzálnych meracích staníc (STN ISO 17123-3, STN ISO 17123-4 a STN ISO 17123-5).

Výhoda metódy je možnosť relatívne voľného výberu stanoviska prístroja, ktoré sa volí aj pri nadzemných dráhach na zemi, približne v strede pozdĺžnej osi žeriavovej dráhy. Počet a umiestnenie stanovísk závisí najmä na dĺžke dráhy. Dosah meračskej súpravy s vyhovujúcou presnosťou je približne 80 m až 90 m (Hánek et al., 2000). Pri použití viacerých

stanovísk sa realizácia meraní v jednej súradnicovej sústave zabezpečí meraním na identické body a ďalšou transformáciou súradníc, určených na jednotlivých stanoviskách do jednej súradnicovej sústavy. Vzájomné prepojenie stanovísk sa môže vykonať aj meraním na totožné orientačné body. Stabilita prístroja sa overuje meraním smeru a dĺžky na orientačné body vždy na začiatku a konci merania každej vetvy žeriavovej dráhy.

Poloha bodu v strede koľajnicového pásu sa určuje meraním na minihranol postavený priamo na pozorovanom bode alebo na odrazový hranol, ktorý je odsadený dovnútra dráhy (v priečnom smere smerom k prístroju) pomocou špeciálneho prípravku (Obr. 7.18). Prípravok sa prikladá zhora na pojazdnú hranu koľajnice a pomocou upínacej skrutky sa pritlačí k vnútornej hrane koľajnice. Urovnvanie prípravku a tým aj hranola do vodorovnej polohy sa zabezpečuje pomocou kruhovej libely, ktorá je umiestnená priamo na prípravku. Použitie minihranola alebo hranola na špeciálnom prípravku je podmienené viditeľnosťou hranola a závisí od strmosti zámer a nosnej konštrukcie žeriavovej dráhy. Praktické skúsenosti preukázali, že chyba z nesprávneho osadenia prípravku na koľajnicový pás nepresiahne hodnotu 0,2 mm.



Obr. 7.18. Prípravok na odsadenie odrazového hranola (Hánek et al.,1993)

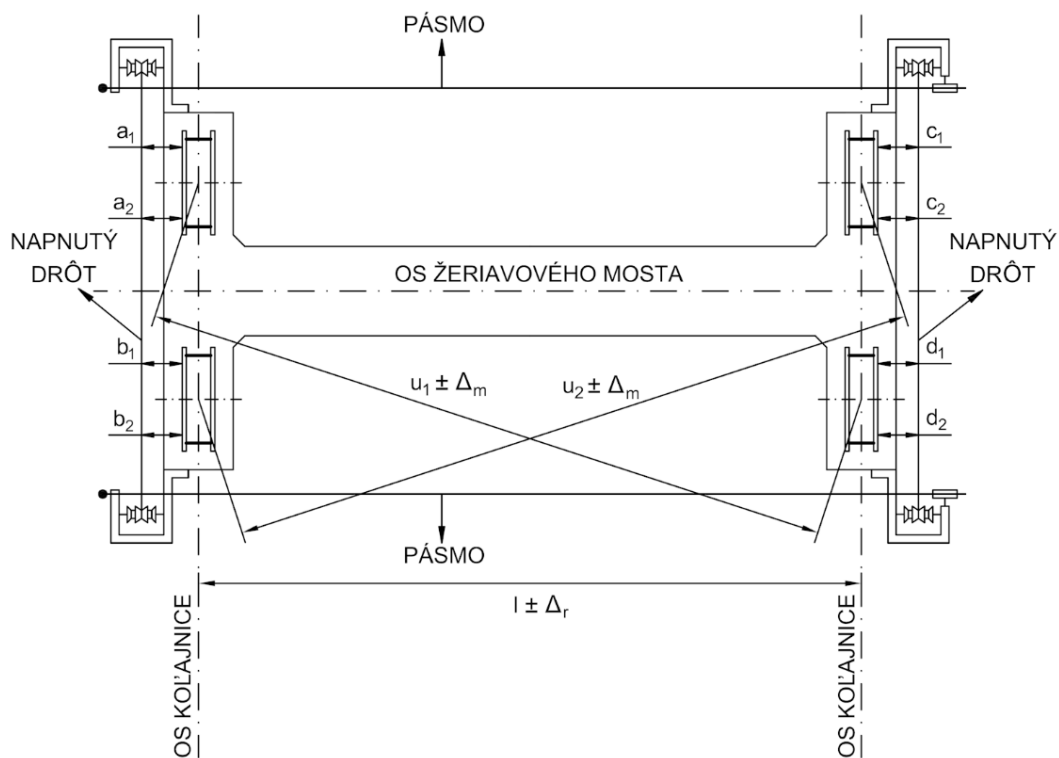
V prípade merania pozemnej žeriavovej dráhy je poloha koľajnicového pásu nižšie ako poloha prístroja (výška horizontu prístroja). Z toho dôvodu nie je potrebné na zabezpečenie viditeľnosti odrazového hranola používať špeciálne prípravky na odsadenie mimo os koľajnice a postačuje signalizácia priamo minihranolom (Obr. 7.19).



Obr. 7.19. Použitie odrazového hranola na meranie smerového priebehu koľajnicových pásov

Na základe súboru meraní na 18 žeriavových dráhach s priemernou dĺžkou 111 m bolo preukázané, že pri rozchode dráhy do 10 m a maximálnej dĺžky zámery do 80 m sú hodnoty odchýlok v rámci STN 73 5130. Pri žeriavových dráhach s rozchodom väčším ako 10 m sa hodnota maximálnej dĺžky zámery, pri dodržaní normou stanovených odchýlok, môže predĺžiť až na 90 m (Hánek et al., 2000).

Počas výstavby a najmä počas prevádzky žeriavových dráh je potrebné systematicky overovať nielen základné geometrické parametre koľajníc žeriavovej dráhy, ale aj **geometrické parametre žeriavov** (mostových, portálových alebo poloportálových). Predovšetkým pri dlhých žeriavových dráhach s veľkým rozchodom a veľkou nosnosťou je meranie smerových a výškových parametrov žeriavu nevyhnutné. Pri ideálnom pohybe žeriavu musia byť splnené podmienky definujúce vzájomný vzťah žeriavu a koľajníc žeriavovej dráhy uvedené v kapitole 7.3. Okrem uvedených základných geometrických podmienok sa na pohyblivých častiach žeriavov overujú ďalšie, najmä dĺžkové parametre (Obr.7.20).



Obr. 7.20. Meranie geometrických parametrov súkolia žeriavov

Pri kontrolných meraniach geometrických parametrov žeriavov sa používajú teodolity, nivelačné prístroje, oceľové pásma, prípadne ďalšie mechanické a strojárske pomôcky, prispôbené na konkrétne podmienky žeriavu. Zanedbanie kontroly geometrických parametrov žeriavov môže viesť opätovnej rýchlej deformácii koľajnícových pásov a ich nadmernému opotrebovaniu. Meraniu geometrických parametrov žeriavov je treba preto venovať taktiež náležitú pozornosť.

7.5 Spracovanie a analýza výsledkov meraní

Cieľom kontrolných meraní vykonávaných na žeriavových dráhach je kontrola plnenia geometrických podmienok na správne fungovanie žeriavovej dráhy a žeriavu – určenie parametrov **charakterizujúcich aktuálny stav** žeriavovej dráhy a žeriavu. Žeriavová dráha musí spĺňať projektovaný priestorový tvar, definovaný smerovým a výškovým priebehom ako aj rozchodom koľajnicových pásov. Prípustné rozdiely od projektovaného tvaru a rozchodu sú vyjadrené krajnými odchýlkami, ktorých splnenie je nutnou podmienkou na prevádzkovanie žeriavovej dráhy. Žeriavovú dráhu nespĺňajúcu predmetné podmienky nie je možné prevádzkovať, je nevyhnutné vykonať jej úpravu – **rektifikáciu**. Súčasťou spracovania výsledkov meraní sa tak stáva aj výpočet rektifikačných hodnôt, t. j. hodnôt o ktoré je potrebné zmeniť polohu koľajnicového pásu v bode merania, aby sa dosiahol stav vyhovujúci základným geometrickým podmienkam. V rámci spracovania výsledkov meraní sa postupne vypočítajú:

- parametre (súradnice) bodov vzťažnej siete,
- parametre pozorovaných bodov na koľajnicových pásoch,
- parametre žeriavu,
- hodnoty na smerovú rektifikáciu a úpravu rozchodu,
- hodnoty na výškovú rektifikáciu.

Vzťažné sústavy žeriavových dráh svojim tvarom a štruktúrou patria z geodetického hľadiska medzi jednoduché a bežne používané obrazce. Ich meranie a výpočet patrí medzi štandardné úlohy a nie je potrebné ich na tomto mieste podrobne rozoberať. Samotné meranie tkvie v meraní všetkých prvkov konfigurácie postupmi zabezpečujúcimi vyžadovanú kvalitu. Na odhad jej parametrov sa obvykle použije metóda najmenších štvorcov.

Spôsob určenia **smerových a výškových parametrov** pozorovaných bodov závisí od metodiky merania žeriavovej dráhy (zámerná priamka, polárna metóda). Výsledkom týchto meraní sú vodorovné a zvislé odchýlky pozorovaných bodov na koľajnicových pásoch od vzťažných priamok alebo rovín. Presnosť určenia týchto odchýlok závisí od vyžadovanej presnosti kontroly splnenia geometrických podmienok. Tieto sú formulované technickými predpismi (normami) v podobe krajných odchýlok v závislosti na prevádzkovom zaťažení a rozmeroch (dĺžka, rozchod) žeriavovej dráhy a žeriavu (nosnosť).

Norma **STN 73 5130 Žeriavové dráhy** kategorizuje žeriavové dráhy a krajné odchýlky podľa očakávaných zmien geometrického tvaru dráhy do troch skupín. Prvú skupinu tvoria dráhy, pri ktorých sa nepredpokladá zmena ich geometrického tvaru počas prevádzky. Žeriavové dráhy, pri ktorých sa predpokladá malá zmena geometrického tvaru norma zaraďuje do druhej skupiny. Poslednú tretiu skupinu tvoria žeriavové dráhy s potenciálnym predpokladom väčších zmien, pričom zaradenie žeriavovej dráhy do jednej z uvedených skupín určí projektant. Krajné odchýlky pre jednotlivé skupiny sú:

- Skupina I: priečna odchýlka ± 15 mm,
výšková odchýlka ± 10 mm,
pozdĺžna odchýlka ± 5 mm,

Skupina II: priečna odchýlka ± 30 mm,
výšková odchýlka $+ 30$ mm až -10 mm,
pozdĺžna odchýlka ± 5 mm,

Skupina III: veľkosť krajných odchýlok sa definuje individuálne podľa v závislosti od typu žeriavovej dráhy, resp. podmienok v ktorých je vybudovaná.

Osobitnú skupinu žeriavových dráh tvoria dočasné žeriavové dráhy. Do tejto skupiny patria pozemné a vyvýšené žeriavové dráhy stĺpových, vežových a portálových žeriavov, ktoré sa budujú a prevádzkujú pri zhotovovaní (výstavbe) stavebných objektov a majú preto dočasný charakter. Norma **STN 27 2435 Žeriavové dráhy dočasné** stanovuje krajné odchýlky pre rozchod, priamosť a prevýšenie koľajnicových pásov dráhy ako aj odchýlky kolmosti osi žeriavovej dráhy od spojnice nárazníkov (body 45 až 52).

Na posúdenie kvality žeriavových dráh sa v praxi často využívajú aj ustanovenia noriem na zhotovovanie ocelových konštrukcií. Norma **STN 73 2601 Zhotovovanie ocelových konštrukcií** stanovuje osobitne povinnosť systematickej kontroly geometrických parametrov žeriavových dráh. Ocelové konštrukcie, ktoré sú zhotovované podľa tejto normy sa zaraďujú do troch výrobných skupín podľa funkcie, výrobných, montážnych a prevádzkových podmienok.

Výrobnú skupinu A tvoria nosné ocelové konštrukcie, ktorých tvar a funkcia vyžadujú zvýšenú kvalitu výroby a presnosť v zmontovanom stave. Do tejto skupiny patria aj žeriavové dráhy. Smerové a výškové pomery konštrukcií skupiny A sa kontrolujú raz za rok. V prípade, ak stojí konštrukcia na poddolovanom území je nutné kontrolné merania vykonávať častejšie podľa priebehu sadania.

Výrobnú skupinu B tvoria nosné ocelové konštrukcie, ktoré nie sú zaradené do výrobnjej skupiny A. Do výrobnjej skupiny C patria podružné a doplnkové konštrukcie zhotovované pre konštrukcie výrobných skupín A a B.

Hodnoty krajných odchýlok žeriavových dráh uvádza **STN 73 2611 Odchýlky rozmerov a tvarov ocelových konštrukcií** a to v tabuľke č.19 a 20. Hodnoty odchýlok sú stanovené v závislosti od dĺžky a rozchodu žeriavovej dráhy:

- odchýlky strednice koľajnicového pásu od projektovanej osi vo vodorovnom smere:
 - 10 mm ak je dĺžka žeriavovej dráhy ≤ 100 m,
 - 20 mm ak je dĺžka žeriavovej dráhy > 100 m,
- prevýšenie pojazdných plôch koľajnicových pásov v priečnom reze môže byť najviac 5 mm alebo $5 \text{ mm} + H$ (H je projektované prevýšenie koľajnicových pásov u poloportálových žeriavových dráh),
- sklon pojazdnej plochy koľajnicového pásu v pozdĺžnom smere od vodorovnej roviny:
 - ± 5 mm ak je dĺžka žeriavovej dráhy ≤ 100 m,
 - ± 10 mm ak je dĺžka žeriavovej dráhy od 100 do 200 m,
 - ± 20 mm ak je dĺžka žeriavovej dráhy > 200 m,

- odchýlka rozchodu žeriavovej dráhy od projektovanej hodnoty:
 - ± 5 mm ak je rozchod ≤ 20 m,
 - $\pm 0,00025 R$ ak je rozchod > 20 m (R rozchod žeriavovej dráhy).
- rozdiel vzdialenosti čiel nárazníkov od roviny kolmej na pozdĺžnu os žeriavovej dráhy môže byť najviac 10 mm.

Okrem vyššie uvedených noriem možno stav žeriavových dráh hodnotiť podľa kritérií určených v ďalších technických predpisoch (normách):

- a) **STN EN 1090-1+A1, STN EN 1090-2+A1 a STN EN 1993-6**, ktoré nahradili pôvodné STN normy s platnosťou od 01. 04. 2010,
- b) **ISO 12 488-1**, v ktorej sú uvedené krajné hodnoty pre žeriavové dráhy delené do tried podľa vyťaženia, t. j. ročne „najazdených“ kilometrov.

Podľa aktuálneho metodického usmernenia na meranie žeriavových dráh sa má splnenie krajných odchýlok posudzovať podľa predpisu platného a aplikovaného na konkrétnu žeriavovú dráhu (jej projekt) v čase uvedenia žeriavovej dráhy do prevádzky. Pri žeriavových dráhach uvedených do prevádzky pred rokom 2010 sa môže prevádzkovateľ rozhodnúť, či chce na posúdenie splnenia geometrických podmienok použiť normy STN EN 1090 (Tab. 7.1) a STN EN 1993 (Tab. 7.2). Použitie normy ISO je na území SR dobrovoľné.

Norma **STN EN 1993-6 Eurokód 3. Navrhovanie oceľových konštrukcií. Časť 6: Žeriavové dráhy** v kapitole 7.2 a potom v tabuľkách 7.1 a 7.2 stanovuje krajné hodnoty odchýlok pre žeriavové dráhy vo zvislom a vodorovnom smere. Na rozdiel od existujúcich a platných STN noriem, európska norma stanovuje krajné odchýlky parametra pomernou chybou, pomerom hodnoty parametra konštrukcie žeriavovej dráhy a konštanty (Tab. 7.2).

Metodický návod ÚGKK SR č. 984 312/1983 na určovanie priestorových vzťahov žeriavových dráh určoval metodiku merania na určenie geometrických parametrov žeriavových dráh. Metodický návod bol zrušený a v súčasnosti sa používajú na stanovenie krajných odchýlok len vyššie citované normy.

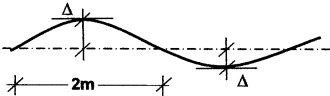
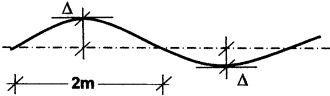
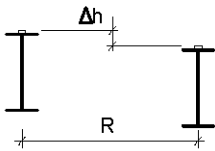
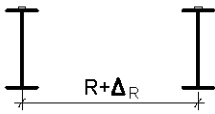
Žeriavovú dráhu nespĺňajúcu základné geometrické podmienky nie je možné prevádzkovať, je nevyhnutné vykonať jej úpravu – rektifikáciu. Rektifikačné hodnoty, o ktoré je potrebné zmeniť polohu koľajnicového pásu v príslušnom bode, sa určia zvlášť pre smerové a výškové vedenie. Rektifikačné hodnoty **smerovej rektifikácie** žeriavovej dráhy možno získať:

- grafickým spôsobom,
- analyticko-grafickým spôsobom,
- analytickým spôsobom.

Prvé dva spôsoby určenia rektifikačných hodnôt sa v súčasnosti už nepoužívajú. Vychádzajú z grafického zobrazenia oboch zámerných priamok a vodorovných odchýlok spolu s redukovaným rozchodom. Na základe obmedzujúcich podmienok, ktoré dovoľujú najväčšie posuny, sa určia pásy, v ktorých možno posúvať pozdĺžne osi. Pri uvedených spôsoboch

nemúsi byť dodržaná podmienka rovnobežnosti koľajníc dráhy (Lukáč et al., 1986). Analytický spôsob riešenia je síce matematicky zložitejší a časovo náročnejší na výpočet, avšak poskytuje exaktné a jednoznačné riešenie. Čiastočnou nevýhodou daného postupu spracovania je, že pri výpočte hodnôt metódou najmenších štvorcov môže nastať výraznejšie stočenie pozdĺžnych osí koľajnicových pásov vzhľadom na nosnú konštrukciu.

Tabuľka 7.1. Posúdenie splnenia geometrických podmienok podľa STN EN 1090

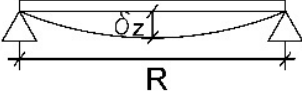
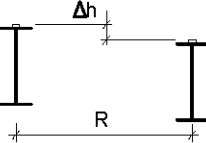
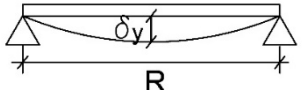

Kritérium	Parameter	Krajná odchýlka Trieda 2	Hodnoty nevyhovujúce kritériu [mm]
Smerové pomery	vo vzťahu k požadovanej polohe - priamke	$p = \pm 5 \text{ mm}$	A11=+6,3 A3=-9,2 A1=-5,6 B9=+5,6
Miestne zakrivenie koľajnice 	zakrivenie na meranú dĺžku 2 m	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	A2=-1,1
Výškové pomery	vo vzťahu k požadovanej úrovni	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	všetky v dovolenej tolerancii
Výška žeriavového nosníka na rozpätí L	vo vzťahu k požadovanej úrovni	$\Delta = \pm L/1\ 000$ ale $ \Delta \geq 10 \text{ mm}$	všetky v dovolenej tolerancii
Výška temena koľajnice 	zmena na meranej dĺžke 2 m	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	všetky v dovolenej tolerancii
Prevýšenie koľajníc v protiahlych bodoch dráhy 	odchýlka vo výške pre $R \leq 10 \text{ m}$ pre $R > 10 \text{ m}$	$\Delta_h = \pm 10 \text{ mm}$ $\Delta_h = \pm R/1\ 000$	všetky v dovolenej tolerancii
Rozchod žeriavovej dráhy 	odchýlka rozchodu pre $R \leq 16 \text{ m}$ pre $R > 16 \text{ m}$	$\Delta_R = \pm 5 \text{ mm}$ $\Delta_R = \pm 5 + [R - 16]/4 \text{ mm}$	A3-B3 = -7,1 A2-B2 = +5,7

Pri použití jednej zámernej priamky (spoločný súradnicový systém pre obe vetvy) možno jednoducho aplikovať metódu najmenších štvorcov – podmienku minimálnej hodnoty súčtu

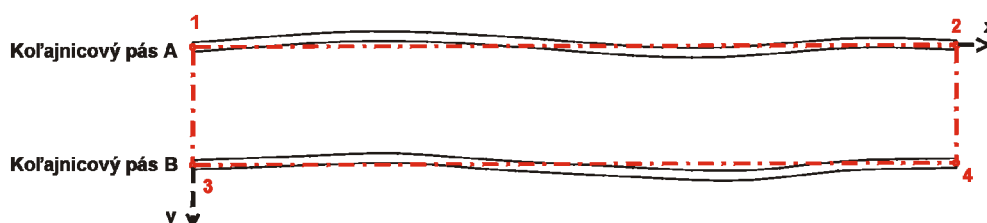
štvorcov opráv. Protiľahlé body na vetvách majú rovnaké staničenie a druhú súradnicu na vetve „B“ zväčšenú o aktuálny rozchod v danom reze.

Druhý spôsob vychádza z použitia dvoch zámerných priamok, z ktorých každá ma definovaný vlastný súradnicový systém. Vzájomné prepojenie súradnicových systémov sa uskutoční na základe vodorovných uhlov ω a dĺžok d medzi koncovými bodmi sústavy (Obr. 7.21). Súradnice bodov vzťažnej sústavy 1 až 4 sa vypočítajú z meraných uhlov a vodorovných dĺžok metódou najmenších štvorcov pomocou 2. lineárneho modelu merania (nepriame meranie vektorového parametra). Začiatok miestneho pravouhlého súradnicového systému sa vloží do vzťažného bodu 1 a orientáciu osi x do bodu 2. Zo súradníc vzťažných bodov 1, 2 a 3, 4 sa vypočítajú smerníky zámerných priamok.

Tabuľka 7.2 Posúdenie splnenia geometrických podmienok podľa STN EN 1993

Kritérium	Schematické znázornenie
Vertikálna odchýlka $\delta_z \leq L / 600$ avšak $\delta_z \leq 25 \text{ mm}$	
Prevýšenie koľajníc v protiľahlých bodoch dráhy $\Delta h \leq R / 600$	
Horizontálna odchýlka $\delta_y \leq L / 600$	
Rozchod žeriavovej dráhy vrátane teplotných zmien konštrukcie $\Delta R \leq 10 \text{ mm}$	

Parameter L je vzdialenosť dvoch zvislých podpier vodorovného nosníka dráhy v metroch.



Obr. 7.21. Vzťažná sústava určená strednicami koľajnicových pásov v koncových rezoch

Vzdialenosť vzťažného a pozorovaného bodu predstavuje staničenie pozorovaného bodu a vodorovná odchýlka jeho kolmicu od zámernej priamky. Metódou pravouhlých súradníc pri známej hodnote smerníka zámernej priamky a hodnote staničenia a kolmice sa vypočítajú pravouhlé súradnice pozorovaných bodov v miestnom súradnicovom systéme podľa vzťahov

$$\begin{aligned} y_i &= y_1 + st_i \cdot \sin \alpha_{12} + k_i \cdot \sin(\alpha_{12} \pm 100^g), \\ x_i &= x_1 + st_i \cdot \cos \alpha_{12} + k_i \cdot \sin(\alpha_{12} \pm 100^g), \end{aligned} \quad (7-1)$$

kde y_1 a x_1 sú pravouhlé súradnice vzťažného bodu 1,

st je staničenie pozorovaného bodu od vzťažného bodu 1,

k je kolmica – vodorovná odchýlka meraná na pozorovanom bode,

α_{12} je smerník spojnice vzťažných bodov 1 a 2 (zámernej priamky).

Obdobný postup výpočtu pravouhlých súradníc pozorovaných bodov sa aplikujeme aj na druhú vetvu žeriavovej dráhy, pričom sa vychádza zo vzťažných bodov a smerníka druhej zámernej priamky. Súradnice pozorovaných bodov určené polárnou metódou sa vypočítajú podľa všeobecne známych vzťahov

$$\begin{aligned} y_i &= y_1 + d_{1i} \cdot \sin \alpha_{1i}, \\ x_i &= x_1 + d_{1i} \cdot \cos \alpha_{1i}, \end{aligned} \quad (7-2)$$

kde y_1 a x_1 sú pravouhlé súradnice vzťažného bodu 1,

d_{1i} je vodorovná dĺžka pozorovaného bodu od vzťažného bodu 1,

α_{1i} je smerník zo vzťažného na pozorovaný bod.

Z pravouhlých súradníc pozorovaných bodov sa vypočítajú rozchody R_i v jednotlivých priečných rezoch žeriavovej dráhy a porovnajú sa s priamo meranými hodnotami rozchodu. Zároveň sa vypočíta stredná hodnota rozchodu žeriavovej dráhy podľa vzťahu

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (7-3)$$

kde R_i je rozchod žeriavovej dráhy v príslušnom priečnom reze,

n je počet priečných rezov.

Vytýčením polohy vzťažného bodu na koľajnicovom páse vetvy B sa docieli, že pozorované body jedného priečného rezu žeriavovej dráhy budú mať rovnakú hodnotu staničenia (súradnice x) na oboch koľajnicových pásoch.

Koľajnicové pásy žeriavovej dráhy po rektifikácii musia **spĺňať podmienku priamočiarosti a rovnobežnosti**. Splnenie týchto podmienok sa docieli tým, že sa určí jednoznačná funkčná závislosť medzi súradnicovými systémami oboch koľajnicových pásov. Na výpočet smerových rektifikačných hodnôt sa využije regresná analýza.

Pri neznámej funkčnej závislosti sa volí funkčný vzťah v tvare polynómu vyššieho stupňa

$$Y_i = \theta_0 + \theta_1 x_i + \theta_2 x_i^2 + \dots + \theta_p x_i^p + \varepsilon_i \quad (7-4)$$

kde θ_0 až θ_p sú koeficienty polynómu,

x sú merané hodnoty,

p je stupeň polynómu

ε je náhodná chyba merania.

V prípade žeriavových dráh musia mať koľajnicové pásy po rektifikácii tvar priamky (lineárna funkčná závislosť), takže celý výpočet sa obmedzí na odhad koeficientov $\hat{\theta}_0$ a $\hat{\theta}_1$, pri odhade ktorých sa aplikuje Gaussova-Markovova veta vyjadrujúca podmienku minima súčtu štvorcov chýb (opráv)

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2 = \min. \quad (7-5)$$

uvedené kritérium má jednoduché a pritom explicitné riešenie. Vektorová funkcia vyjadrujúca lineárny funkčný vzťah medzi meranými a neznámymi parametrami má tvar (Anděl, 1998)

$$\mathbf{Y} = \mathbf{A}\boldsymbol{\theta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (7-6)$$

pričom musí platiť

$$E[\mathbf{Y}] = \mathbf{A}\boldsymbol{\theta}, \quad E[\boldsymbol{\varepsilon}] = 0, \quad \boldsymbol{\Sigma}_Y = \boldsymbol{\Sigma}_\varepsilon = \sigma^2 \mathbf{I},$$

hodnosť matice $R[\mathbf{Y}] = k, n > k$,

kde n je počet meraných parametrov,

k je počet neznámych parametrov – regresných koeficientov (v našom prípade $k = 2$),

$\mathbf{Y} = (y_1 \ \dots \ y_n)^T$ je n -rozmerný náhodný vektor modelujúci meranie,

\mathbf{A} je $n \times k$ -rozmerná matica plánu, ktorej prvky závisia od zvolenej regresnej funkcie,

$\boldsymbol{\theta} = (\theta_1 \ \dots \ \theta_k)^T$ je k -rozmerný vektor neznámych parametrov,

$\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_1 \ \dots \ \varepsilon_n)^T$ je n -rozmerný náhodný vektor, modelujúci náhodnú chybu merania,

σ^2 je rozptyl meraní,

\mathbf{I} je $n \times n$ rozmerná jednotková matica.

Uvedené formulácie platia za predpokladu, že merania boli vykonané s rovnakou presnosťou, nie sú zaťažené systematickými chybami a chyby merania vektora \mathbf{Y} sú nekorelované. Vektor neznámych parametrov $\hat{\boldsymbol{\theta}}$, obsahujúci neznáme $\hat{\theta}_0$ a $\hat{\theta}_1$ (posunutie a smernicu regresnej priamky) sa vypočíta podľa vzťahu

$$\hat{\Theta} = \begin{bmatrix} \hat{\Theta}_0 \\ \hat{\Theta}_1 \end{bmatrix} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{Y}, \quad (7-7)$$

pričom

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{pmatrix}.$$

Pre kovariančnú maticu vektora neznámych parametrov, za predpokladu, že merania boli vykonané s rovnakou presnosťou, platí

$$\Sigma_{\hat{\Theta}} = \sigma_0^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1}, \quad (7-8)$$

kde σ_0^2 je reziduálny (výberový) rozptyl

$$\sigma_0^2 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i v_i}{n - k}. \quad (7-9)$$

Z príslušnej kovariančnej matice $\Sigma_{\hat{\Theta}}$ sa vypočítajú charakteristiky presnosti neznámych parametrov

$$\hat{\sigma}_{\Theta_i} = \sqrt{\Sigma_{\hat{\Theta}_{i,i}}}. \quad (7-10)$$

Vektor rezíduí (odchýlok pozorovaných „meraných“ hodnôt od regresnej priamky) sa vyjadří podľa vzťahu

$$\hat{\mathbf{v}} = \mathbf{Y} - \hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{Y} - \mathbf{A} \hat{\Theta}. \quad (7-11)$$

Z kovariančnej matice rezíduí

$$\Sigma_{\hat{\mathbf{v}}} = \sigma^2 [\mathbf{I} - \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T] = \sigma^2 \mathbf{I} - \mathbf{A} \Sigma_{\hat{\Theta}} \mathbf{A}^T \quad (7-12)$$

sa vypočítajú stredné chyby rezíduí

$$\hat{\sigma}_{v_i} = \sqrt{\Sigma_{\hat{\mathbf{v}}_{i,i}}}, \quad (7-13)$$

Výsledná rovnica regresnej priamky má potom tvar

$$\hat{Y}_i = \hat{\Theta}_0 + \hat{\Theta}_1 x_i, \quad (7-14)$$

Opodstatnenosť regresných koeficientov vo funkcii sa overí na základe testu hypotézy. Nulová hypotéza H_0 sa formuluje v podobe, že koeficienty určovanej funkcie sa rovnajú nule. V tom prípade koeficient nevlýva významne na daný model funkcie a možno ho zanedbať. Testovacia štatistika

$$t_i = \frac{\hat{\theta}_i}{\hat{\sigma}_{\theta_i}} \quad (7-15)$$

sa porovná s kritickou hodnotou $t_{n-k}(\alpha)$ Studentovho rozdelenia pravdepodobnosti s $n - k$ stupňami voľnosti na hladine významnosti α . V prípade, že platí nerovnosť

$$|t_i| \geq t_{n-k}(\alpha) \quad (7-16)$$

hypotéza H_0 sa zamietá a koeficient $\hat{\theta}_i$ sa vo funkcii ponechá.

Úlohu možno veľmi jednoducho riešiť pomocou programu MS Excel alebo MathCad, ktoré obsahujú funkcie na odhad koeficientov lineárnej regresie bez nutnosti vytvárania vektorov a matic a ich vzájomného násobenia. V ďalšej časti je uvedený príklad výpočtu rektifikačných hodnôt smerových parametrov žeriavovej dráhy v programe MS Excel.

Pravouhlé súradnice pozorovaných bodov sa vypočítajú podľa vzťahu (7.1), resp. (7.2). Vzťažné body definujúce polohu zámerných priamok sú totožné so strednicou koľajnicových pásov v prvom a poslednom reze (body A1, A13, B1 a B13 – obr. 7.21). Súradnice bodov sa zoradia podľa narastajúcej hodnoty x-ovej súradnice, ako je uvedené v Tabuľke 7.3.

Tabuľke 7.3 Súradnice meraných bodov na koľajnicových pásoch

	Č. bodu	x [m]	y [m]
Koľajnicový pás A	A1	0,000	0,000
	A2	6,000	-0,017
	A3	12,000	-0,006
	↓		
	A13	144,000	0,000
Koľajnicový pás B	B1	0,000	20,003
	B2	6,000	19,980
	B3	12,000	19,971
	↓		
	B13	144,000	20,003

Pomocou príkazu INTERCEPT(x, y) sa vypočíta koeficient $\hat{\theta}_0$ (posunutie) a pomocou príkazu SLOPE(x, y) koeficient $\hat{\theta}_1$ (smernica) jednej spoločnej regresnej priamky pre oba koľajnicové pásy:

$$\begin{aligned}\hat{\theta}_0 &= \text{INTERCEPT}(x, y) & \hat{\theta}_0 &= 9,978 \text{ m} \\ \hat{\theta}_1 &= \text{SLOPE}(x, y) & \hat{\theta}_1 &= 0,00008\end{aligned}\quad (7-17)$$

Hodnota koeficienta $\hat{\theta}_1$ (smernica) definuje uhol stočenia φ vyrovnávacej priamky vzhľadom na súradnicový systém

$$\hat{\theta}_1 = \text{arctg}(\varphi). \quad (7-18)$$

Ak by sa riešila úloha samostatne pre každý koľajnicový pás, hodnota súčtu štvorcov rektifikačných opráv bude síce minimálna, avšak koľajnicové pásy nebudú rovnobežné. Regresná priamka koľajnicového pásu A sa určí tak, že od koeficientu $\hat{\theta}_0$ odpočítame polovica nominálneho rozchodu žeriavovej dráhy – v tomto prípade 10,000 m. Regresná priamka koľajnicového pásu B sa získa pripočítaním polovice nominálneho rozchodu ku koeficientu $\hat{\theta}_0$. Výsledné rovnice majú potom tvar

$$\begin{aligned}\text{Koľajnicový pás „A“} & \quad y = 0,00008 \cdot x - 0,022 \text{ [m]} \\ \text{Koľajnicový pás „B“} & \quad y = 0,00008 \cdot x + 19,978 \text{ [m]}\end{aligned}$$

Rozdiel medzi vyrovnanou a meranou hodnotou y-ovej súradnice predstavuje rektifikačnú opravu pozorovaného bodu. Vyrovnané hodnoty y-ových súradníc pozorovaných bodov sa získajú dosadením x-ových hodnôt do výsledných funkčných vzťahov. Znamienko rektifikačnej opravy udáva smer posunu koľajnicového pásu v mieste pozorovaného bodu. Smerová rektifikácia sa vykonáva v prípade, ak hodnota opravy prekračuje normou stanovenú hodnotu pre daný typ žeriavovej dráhy. Stredná hodnota rozchodu vypočítaná podľa vzťahu (7-3) je 20,004 m.

Výpočet hodnôt pre **výškovú rektifikáciu** je podstatne jednoduchší a pozostáva z výpočtu rozdielov medzi výškou pozorovaného bodu koľajnicového pásu v jednotlivých rezoch a výškou relatívne najvyššieho bodu na koľajnicovom páse, ktorým sa preloží vzťažná rovina H_{\max}

$$v_{H_i} = H_{\max} - H_i. \quad (7-19)$$

Výškové odchýlky jazdných plôch koľajnicových pásov v pozorovaných bodoch sa počítajú v milimetroch a zároveň sa určí sklon jednotlivých úsekov (polí) v percentách. V prípade žeriavovej dráhy s rovnakou výškou oboch koľajnicových pásov sa najvyšší bod určí zo súboru výšok oboch koľajnicových pásov. Výšková rektifikácia sa vykonáva podkladaním ocelových podloží rôznej hrúbky pod koľajnicový pás.

Nakoľko rektifikácia žeriavovej dráhy nie je záležitosť len geodetov, ale podieľajú sa na nej aj pracovníci iných odvetví, je nutné poskytovať jednoznačnú interpretáciu výsledkov (Lukáč et al., 1991). Na základe skúsenosti a poznatkov sú navrhnuté pravidlá grafickej interpretácie meraných geometrických parametrov, ktoré pozostávajú zo zobrazenia rozchodu

v jednotlivých rezoch, smerových a výškových pomerov na oboch koľajnicových pásoch, naklonenie a nerovnoběžnosť dráhy. Parametre charakterizujúce existujúci stav žeriavovej dráhy (smerové a výškové odchýlky koľajnicových pásov, sklon, priamočiarosť a rozchod) sa znázorňujú čiernou farbou a rektifikačná priamka a hodnoty rektifikačných opráv červenou farbou (Príloha 3).

7.6 Automatizácia merania žeriavových dráh

V minulosti sa meranie geometrických parametrov žeriavových dráh realizovalo takmer výlučne pomocou optických prístrojov (teodolit, nivelačný prístroj). Zariadenia a prístroje na báze laserových prístrojov a elektronických snímačov sa sériovo nevyrábajú, avšak existujú prototypy a návrhy meracích prístrojov a pomôcok ktoré vznikali v rámci výskumu a vývoja v jednotlivých organizáciách. Zariadenia neboli z konštrukčného hľadiska zložité a náročné na obsluhu a umožnili eliminovať alebo minimalizovať pohyb pracovníkov, vykonávajúcich kontrolné meranie na žeriavovej dráhe.

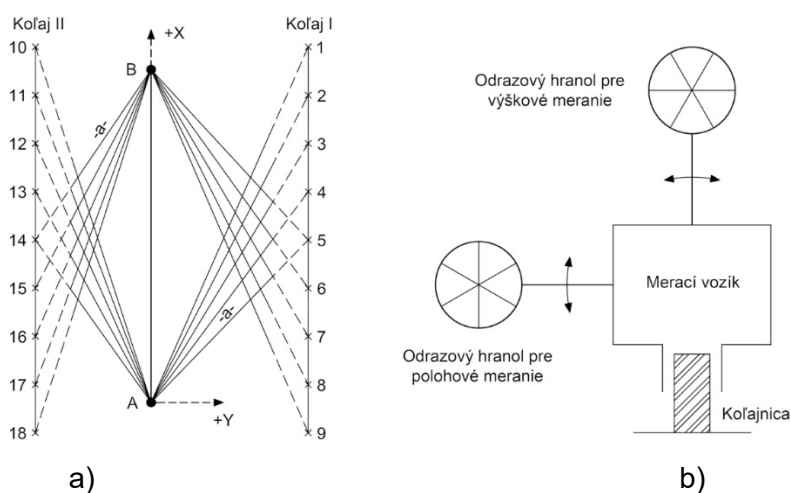
V rámci bývalého Československa bol v roku 1985 vo Výskumnom ústave geodetickom, topografickom a kartografickom v Zdíboch v rámci riešenia výskumnej úlohy skonštruovaný a odskúšaný prototyp **meracieho vozíka** s motorizovaným pohonom a diaľkovým ovládaním (Lechner, 1986). Merací vozík sa pohybuje po koľajnicovom páse, pričom nulový index stupnice na meranie smerových odchýlok je centrován na stred koľajnicového pásu na princípe koľajnicových nožníc. Súčasťou vozíka je vertikálna stupnica na meranie výškových odchýlok. Meranie sa vykonáva nezávisle štyrikrát pri pohybe vozíka smerom k teodolitu a potom naspäť. Presnosť nastavenia vozíka na príslušné staničenie je vyjadrená hodnotou 50 mm. Uvedeným postupom sa určuje len smerový a výškový priebeh koľajnicového pásu. Rozchod koľajnicových pásov v stanovených priečných rezoch sa určuje priamym meraním pomocou oceľového pásma. Aplikácia motorizovaného posunu priečnej a zvislej stupnice teda neodstránila potrebu vstupu na žeriavovú dráhu pri meraní rozchodu koľajníc.

Postup určenia geometrických parametrov žeriavovej dráhy priestorovou polárnou metódou s využitím motorizovaného vozíka s dvoma odrazovými hranolmi uvádza Arnold (Arnold, 1989). Stanovisko, prípadne stanoviská univerzálnych meracích staníc sú volené obdobne ako v prípade klasického merania priestorovou polárnou metódou (Obr. 7.22a). Motorizovaný, diaľkovo ovládaný vozík nesie dva odrazové hranoly, ktoré sú umiestnené tak, aby sa maximálne eliminovala chyba naklonenia vozíka na určenie priestorovej polohy bodu (Obr. 7.22b).

Priestorová poloha bodu na koľajnicovom páse sa získa diferencovane (na dvakrát) na základe merania na oba odrazové hranoly, pričom poloha pozorovaného bodu sa počíta z meraných údajov na odrazový hranol pre polohové meranie a výška bodu sa určí meraním na odrazový hranol pre výškové meranie. Meranie sa vykonáva len v prvej polohe ďalekohľadu a to pri pohybe vozíka smerom k prístroju a potom od prístroja. Výhoda uvedeného meracieho zariadenia je, že žeriavová dráha sa nemusí rozmeriavať a vyznačovať na nej polohu pozorovaných bodov.

V roku 2000 spoločnosť Demag Crane & Components navrhla a otestovala automatizované zariadenie – **laserový merací systém** (LMS) Demag Surveying-Service na meranie geometrických parametrov koľajnicového pásu (Demag Crane & Components, 2000). Laserový merací systém pozostáva z laserového systému, meracieho vozíka, rádiodemou a počítača.

Laserový systém predstavuje statickú časť meracieho systému a pozostáva z lasera, generujúceho žiarenie s vlnovou dĺžkou z oblasti viditeľného spektra, akumulátora a spínacieho zariadenia s rádiodemom. Laserový generátor je uložený na skrinke s akumulátorom na upevňovacom mechanizme (Obr. 7.23). Celý systém sa upevňuje na jednom konci koľajnicového pásu pomocou upínacieho zariadenia s centráciou na stred koľajnice. Zapnutie a vypnutie lasera sa realizuje spínacím zariadením, ktoré je ovládané na diaľku prostredníctvom rádiodemou.



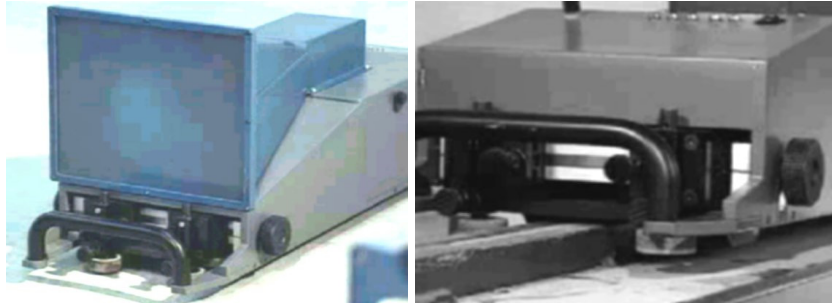
Obr. 7.22. a) Konfigurácia siete vzťažných a pozorovaných bodov b) merací vozík s dvoma odrazovými hranolmi (Arnold, 1989)



Obr. 7.23. Laserový systém (Demag Crane & Components, 2000)

Hlavnú časť automatizovaného meracieho zariadenia predstavuje motorizovaný merací vozík s veľkoplošným digitálnym CCD snímačom, snímačom dráhy, vyhodnocovacou jednotkou (A/D prevodníkom), elektromotorom, akumulátorom a rádiodemom (Obr. 7.24).

Vozík tvorí kinematickú časť meracieho zariadenia a pohybuje sa po koľajnicovom páse žeriavovej dráhy. Upevnenie, stabilitu a pohyb vozíka zabezpečuje nosná konštrukcia s dvoma párami vodorovných koliesok na oboch koncoch vozíka a dvoma zvislými kolieskami, z ktorých jedno zabezpečuje pohyb vozíka.



Obr. 7.24. Merací vozík (prevzaté z Demag Crane & Components, 2000)

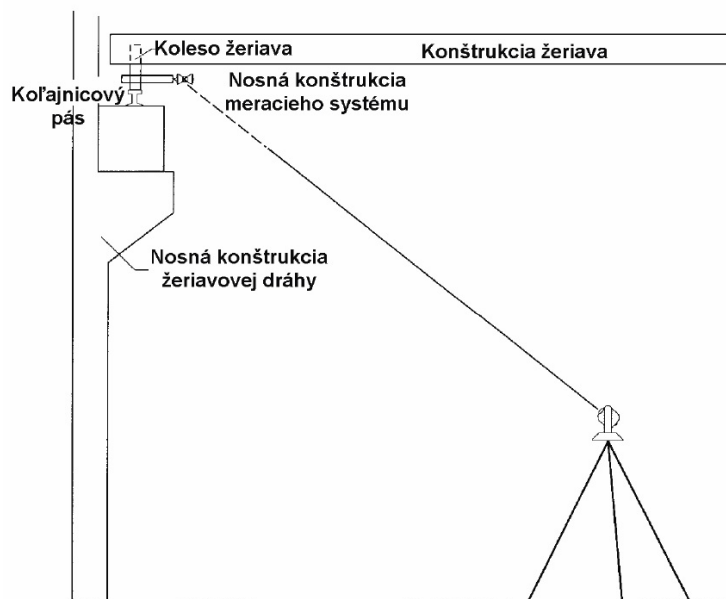
Nosná konštrukcia spolu s vodorovnými a zvislými kolieskami je konštruovaná tak, aby umožňovala variabilné nastavenie rozchodu koliesok, ako aj zmenu vertikálnej vzdialenosti vodorovných koliesok vzhľadom na zvislé kolieska. Požiadavka na variabilnosť upevnenia je podmienená rôznorodosťou šírky a tvaru koľajnicových pásov, ktoré sa používajú pri výrobe žeriavových dráh. Nastavenie rozchodu koliesok a líšt je navrhnuté tak, aby os vozíka bola totožná so strednicou koľajnicového pásu. Pohyb vozíka zabezpečuje prostredníctvom poháňacieho vertikálneho kolieska elektromotor, napájaný akumulátorom. Uvedenie do pohybu, zastavenie, prípadne regulácia pojazdných rýchlostí vozíka sa realizuje riadiacim programom z prenosného počítača pomocou rádiomodemu. **Prenosný počítač** s inštalovaným programom zabezpečuje ovládanie jednotlivých častí meracieho systému a zároveň registruje a vyhodnocuje merané údaje. **Rádiomodem** slúži na bezdrôtový prenos signálu z počítača do ovládacej jednotky elektromotora, spínacieho zariadenia laserového generátora a predovšetkým na prenos meraných údajov z A/D prevodníka.

Postup spracovania meraných údajov vychádza z princípu zámernej priamky, ktorú realizuje laserový lúč. Zmena polohy vozíka na koľajnicovom páse v pozdĺžnom smere je registrovaná snímačom dráhy. Zmena polohy v priečnom a zvislom smere sa vyhodnocuje na základe zmeny polohy stopy laserového lúča na veľkoplošnom CCD snímači.

Automatizovaný merací systém na báze polárnej metódy bol vyvinutý aj na Katedre geodézie STU v Bratislave. Merací systém pozostáva z rámu so skupinou snímačov a odrazových hranolov, ktorý je osadený a pevne spojený s mostom, resp. portálom žeriavu (Obr. 7.25). Poloha rámu v priestore je určovaná priestorovou polárnou metódou kontinuálne, pri použití robotizovanej univerzálnej meracej stanice (Obr. 7.26).



Obr. 7.25. Rám so snímačmi a odrazovými hranolmi upevnený na mostovom žeriave (Kyrinovič, 2011)



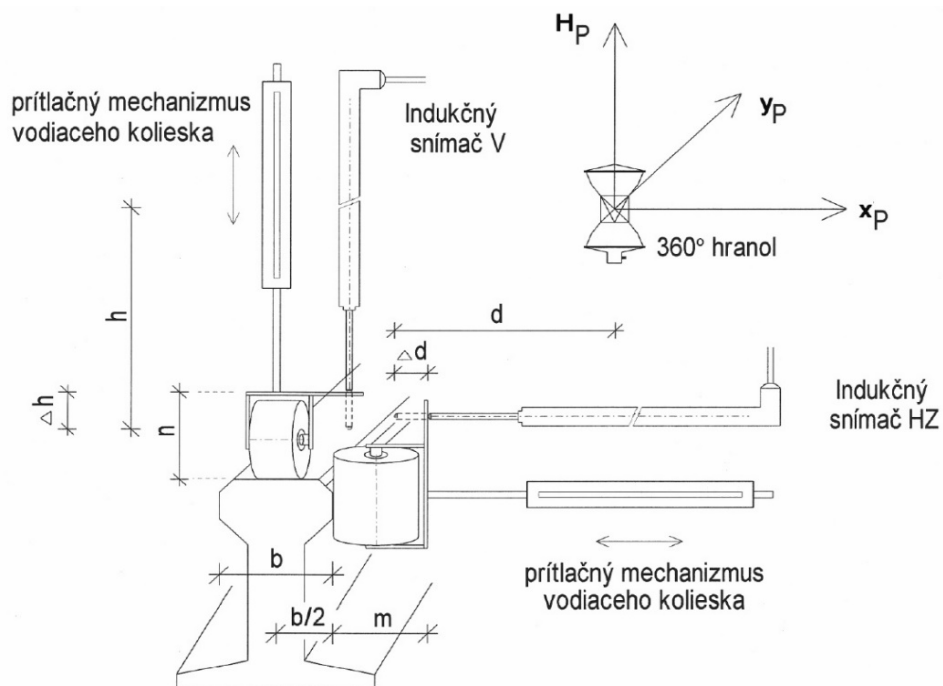
Obr. 7.26. Princíp určenia polohy rámu robotizovanou univerzálnou meracou stanicou (Kyrinovič, 2011)

Rám je upevnený na moste žeriavu v polohe umožňujúcej dotyk vodiacich kolies z vonkajšej a hornej strany koľajnicového pásu (Obr. 7.27) cez sústavu prítlačných mechanizmov. Parametre d a h boli určené kalibráciou systému. Ostatné sú určené konštrukciou nosného rámu a prítlačných mechanizmov, ktorých rozmery sú dané výrobou. Inštalované snímače určujú relatívnu polohu strednice koľajnicového pásu voči odrazovým hranolom. Synchronizovaný záznam ich výstupného signálu umožňuje určiť polohu strednice

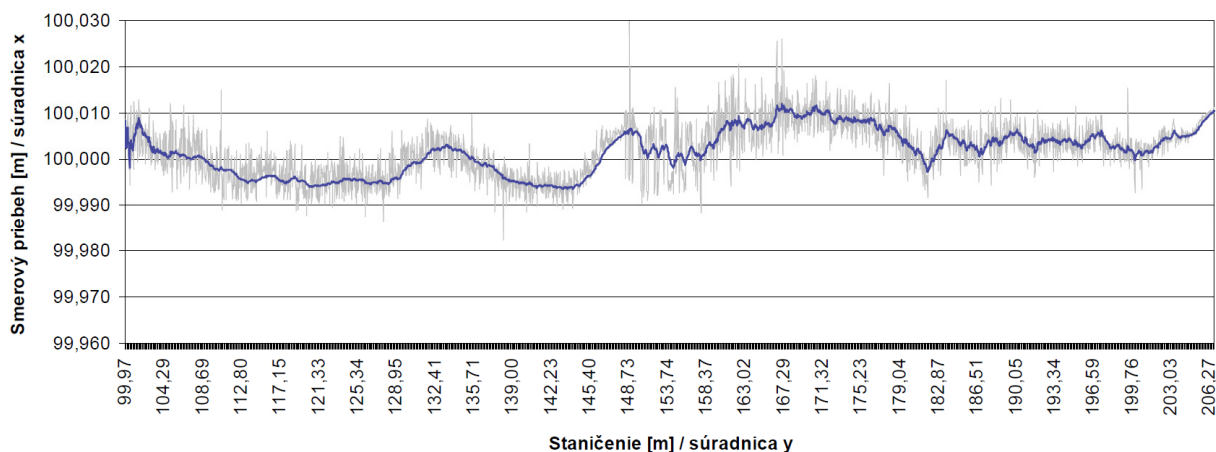
koľajnice v okamihu, keď sú súčasne registrované polárne prvky na univerzálnej stanici. Kombináciu meraných hodnôt univerzálnej stanice a snímačov na ráme možno určiť polohu strednice koľajnicového pásu s krokom, ktorý je limitovaný maximálnou frekvenciou záznamu polárnych prvkov univerzálnou stanicou.

Oproti klasického spôsobu merania je poloha strednice koľajnicového pásu určená s hustotou približne 3 mm až 5 mm. Výsledkom je záznam cca 2700 pozorovaných bodov na každej vetve cca 100,000 m dlhej žeriavovej dráhe. Merané hodnoty vykazujú miestami až 10 mm rozptyl vo vodorovnom aj v zvislom smere. Zníženie variácií vo výstupnom signáli sa docieli filtráciou. Pri aplikácii predmetného meracieho systému sa na filtráciu meraných hodnôt využíva Kalmanov filter (Obr. 7.28).

Aposteriórne charakteristiky presnosti výsledných súradníc pozorovaných bodov na koľajnicových pásoch, určené vzhľadom na vzťažnú sústavu, dosahovali pri overovacích meraniach na žeriavových dráhach v strojovni VD Gabčíkovo hodnoty 2 mm až 3 mm. Pri porovnaní klasického spôsobu merania žeriavovej dráhy s aplikáciou automatizovaného meracieho systému sa rozdiely pohybovali v rozmedzí od -6 mm po +10 mm v smere priečnom a v rozmedzí od -1 mm do +5 mm v smere zvislom. Stredné hodnoty rozdielov sú +4 mm, resp. +2 mm.



Obr. 7.27. Princíp určenia polohy pozorovaného bodu na koľajnicovom páse (Kyrinovič, 2011)



Obr. 7.28. Smerové vedenie koľajnicového pásu pred (sivá farba) a po Kalmanovej filtrácii (čierna farba) (Kyrinovič, 2011)

Rám so snímačmi a odrazovým hranolom je upevnený na moste žeriavu a je teda počas merania unášaný nad koľajnicovým pásom samotným posúvajúcim sa žeriavom. Toto umožňuje úplne eliminovať pohyb meračov na žeriavovej dráhe, čím predmetný prototyp výrazne prispieva k zvýšeniu bezpečnosti personálu pri výkone meraní. Na druhej strane pohybujúci sa mostový žeriav počas merania je v rozpore s aktuálnou metodikou merania žeriavových dráh, ktorá predpokladá že žeriav je počas merania na konci žeriavovej dráhy, v zaistenej polohe a bez prúdu. Pohybujúci sa mostový žeriav zároveň zaťažuje koľajnicový pás svojou hmotnosťou a vynára sa teda otázka, či jeho pohyb spôsobuje dynamické (dočasné) pretvorenia tvaru koľajnicového pásu. Ak áno, je potrebné ich určiť a vziať do úvahy pri analýze výsledkov merania a záverečnom posudzovaní žeriavovej dráhy. Pri overovaní meracieho systému boli preto vykonané merania žeriavovej dráhy s pohybujúcim sa mostom (žeriavom) a bez jeho pohybu. Výsledky ukazujú na minimálny (takmer žiadny) vplyv pohybu žeriavu na smerové odchýlky, keď rozdiely dosiahli hodnoty +/-2 mm. Vo zvislom smere je vplyv znateľný, dosahuje hodnoty od 0 mm do -4 mm, pričom boli hodnoty na úrovni -3 mm až -4 mm identifikované v menšom počte prípadov ako 30 %. Na ostatných bodoch tieto odchýlky nadobúdali hodnoty od 0 mm do -2 mm, čo je v rámci neistoty merania (Kyrinovič, 2011) i keď nie je možné zanedbať systematický posun smerom nadol. Dosiahnuté výsledky však napriek uvedenej skutočnosti ďaleko presahujú výhody meracieho systému najmä z hľadiska zvýšenej bezpečnosti meračského personálu.

8 Vytyčovanie a meranie geometrických parametrov rotačných pecí

Rotačná pec je technologické zariadenie s uzavretým a od okolitého priestoru tepelne izolovaným pracovným priestorom, v ktorom sa uskutočňuje presun tepla od vsádzky po výpad. Rotačné pece sa používajú prevažne na sušenie, praženie, hrudkovanie, spekanie sypkých surovín, na pálenie vápna, bauxitu, síry a pod.

Sypká surovina prechádza mierne skloneným (pri niektorých typoch vodorovným) otáčajúcim sa a žiaruvzdorne vymurovaným valcovým plášťom pece (z oceľového plechu), ktorý je uložený prstencami na niekoľkých nosných, resp. radiálnych kladkách (Obr. 8.1).



Obr. 8.1. Pohľad na trojicu rotačných pecí v prevádzke (SMZ, 2016)

Suroviny sú vkladané do pece podávacím zariadením umiestnením na hornom konci pece, tzv. **vsádzke** a postupným otáčaním a premiešavaním sú posúvané k spaľovaciemu priestoru na dolnom konci pece, tzv. **výpadu**. Do nižšieho konca rotačnej pece vyúsťuje horák, ktorý vykuruje pec až na 1300 °C. Zohriate plyny postupujú proti postupujúcemu materiálu, ktorému odovzdávajú teplo. Rotačné pece sa otáčajú rovnomerne rýchlosťou 1 až 1,5 otáčok za minútu. V prípade potreby možno rotačné pece otáčať na tzv. pomalý náhon, t. j. jedno otočenie za približne 4 minúty. Otáčanie pece zabezpečuje elektromotor s pastorkom poháňajúcim ozubený prstenec. Rozmery rotačných pecí môžu dosahovať hodnoty:

- priemer plášťa od 2,2 m až 4,5 m,
- dĺžka pece od 40 m až 200 m,

- priemery radiálnych kladiek od 1,0 do 1,4 m;
- sklon od 2 % do 6 %.

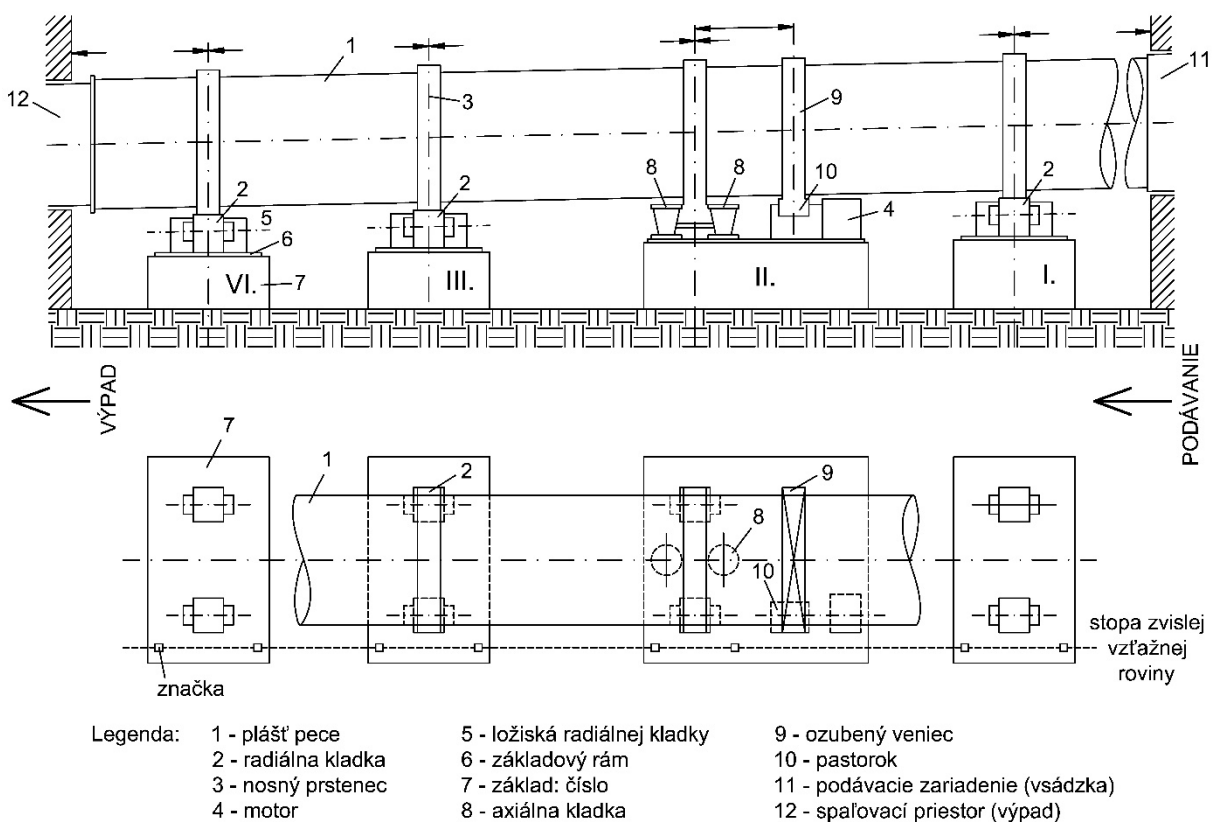
Podľa tvaru a konštrukcie sa rotačné pece triedia na pece:

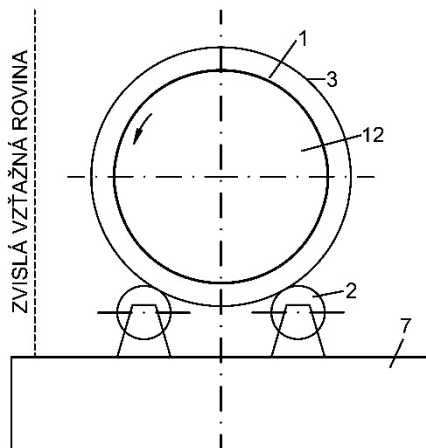
- s valcovým bubnom o rovnakom priemere v celom priereze,
- s jedným rozšíreným poliacim pásmom,
- s dvomi rozšírenými pásmami (sušiacim a páliacim).

8.1 Podmienky správnej funkcie a chodu rotačnej pece

Otáčanie plášťa sprostredkujú **nosné prstence** z oceleliatiny. Plášť sa otáča pôsobením motora. **Radiálne kladky** sú uložené v ložiskách. Ložiská kladiek sú uložené na základových rámoch z oceleliatiny, ktoré sú osadené na betónových základoch. Poloha radiálnych kladiek sa dá meniť vo vodorovnom smere pomocou dvoch **rektifikačných skrutiek**, ktoré pôsobia kolmo na os kladky. Sklon kladiek sa dá vo výnimočných prípadoch meniť podkladaním oceľových podložiek pod konštrukciu kladky.

Polohu plášťa v pozdĺžnom smere zabezpečujú **axiálne kladky**, ktoré sú umiestnené zvyčajne na základovom ráme so zariadením otáčajúcim rotačnú pec (pohon). Hlavné časti pohonu z hľadiska priestorových vzťahov tvoria **ozubený veniec** umiestnený na plášti a pastorok, ktoré sú vo vzájomnom zábere.



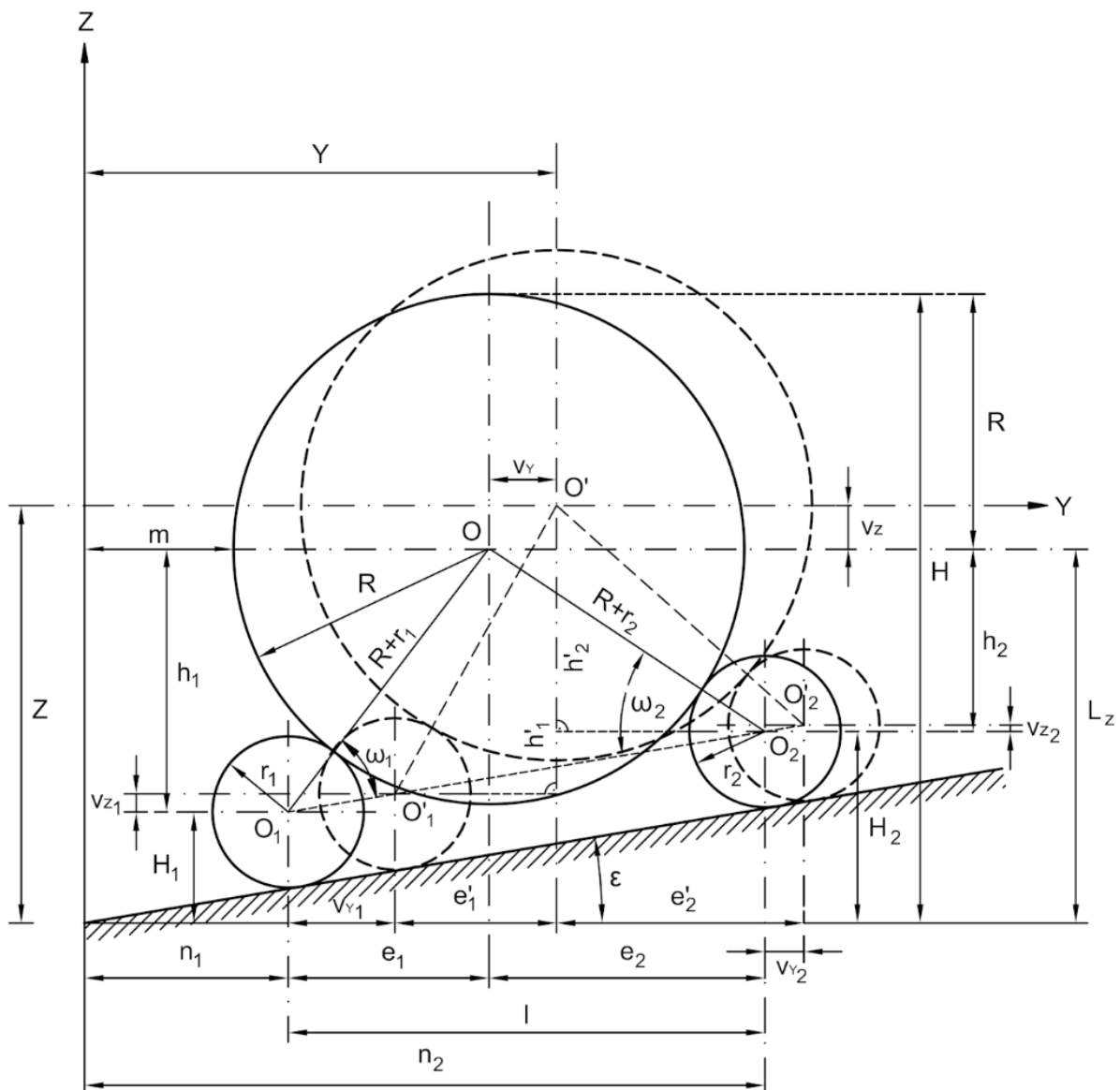


Obr. 8.2. Usporiadanie konštrukčných prvkov rotačnej pece

Dĺžka a priemer plášťa rotačnej pece sa počas prevádzky (teplota plášťa pece dosahuje až 350 °C) oproti studenému stavu (odstávka) zväčšuje následkom tepelnej rozťažnosti. **Nosné prstence** a plášť sa v dôsledku váhy výmurovky a váhy vsadeného sypkého materiálu deformujú – celková hmotnosť pece dĺžky 60 m je približne 730 t. Predĺžením plášťa sa mení poloha nosných prstencov na radiálnych kladkách, ozubený veniec sa posunie po pastorku a mení sa **vôľa medzi vnútorným priemerom nosných prstencov a plášťom**. V dôsledku **zvislých posunov základov** sa mení aj poloha radiálnych kladiek a nastáva nerovnomerné opotrebovanie, čo spôsobuje **deformovanie tvaru plášťa** a poruchy v prevádzke.

Predpokladom správnej funkcie a chodu rotačnej pece a zabezpečenia minimálneho namáhania jednotlivých častí, čo najmenšieho opotrebovania prstencov a kladiek je dodržiavanie týchto geometrických podmienok (Obr. 8.2 a 8.3) (Krumphanzl a Michalčák, 1975):

- a) pozdĺžna os plášťa a osi nosných prstencov majú byť počas prevádzky v jednej priamke daného sklonu (tzv. teoretická os rotačnej pece),
- b) zvislá rovina preložená pozdĺžnou osou plášťa má obsahovať spojnicu stredov základových rámov radiálnych (nosných) kladiek,
- c) osi radiálnych kladiek majú byť rovnobežné a symetrické s pozdĺžnou osou plášťa,
- d) váha rotačnej pece má byť rovnomerne rozložená na radiálne kladky,
- e) medzi axiálnymi kladkami a bočnými stenami prstenca má byť správna konštrukčná vôľa s ohľadom na tepelnú kompenzáciu v pozdĺžnom smere,
- f) radiálna vôľa medzi ozubením pastorka a venca má byť taká, aby zabezpečovala správny záber zubov (1/4 až 1/6 modulu ozubenia),
- g) natočenie jedného (obvykle druhého v poradí) páru radiálnych kladiek má zabezpečiť, aby sa pec pri otáčaní plynule pohybovala medzi axiálnymi kladkami a neskĺzavala v smere sklonu.



Obr. 8.3. Vzájomný vzťah meraných a určovaných veličín rotačnej pece znázornený v priechom reze

Splnenie uvedených podmienok sa overuje a kontroluje spravidla geodetickými metódami vždy:

- pri výstavbe a montáži novej rotačnej pece, resp. jej generálnej oprave,
- pri stredných a bežných opravách pece (počas odstávky),
- pri kontrolnom meraní priestorovej polohy rotačnej pece (počas prevádzky, t. j. za tepla).

Na základe zistených hodnôt priestorovej polohy sa potom určia rektifikačné hodnoty opráv pre nastavenie rotačnej pece do takého stavu, aby bol zabezpečený optimálny súlad uvedených podmienok. Pri zisťovaní priestorovej polohy rotačnej pece počas prevádzky sa realizuje, **tzv. meranie priestorovej deformácie plášťa**, t. j. oválnosť plášťa.

8.2 Geodetické činnosti pri výstavbe a montáži rotačných pecí

Na zabezpečenie rýchleho a presného priebehu meraní je potrebné venovať dostatočnú pozornosť príprave a koordinácii všetkých geodetických činností. Podstatnou súčasťou dohody, či zmluvy s objednávateľom prác je stanovenie presného časového **harmonogramu** meračských prác a to pri jednorazovej objednávke i pri periodickom meraní. Harmonogram sa zostavuje a odsúhlasuje na základe vzájomnej dohody s **hlavným mechanikom** rotačnej pece. Pri vykonávaní dlhodobých periodických kontrol sa harmonogram zostavuje na obdobie jedného roka. Pri príprave merania je podstatné dôsledne využiť celú projektovú dokumentáciu pece a venovať adekvátnu pozornosť **prípravným prácam**, ktoré pozostávajú najmä:

- z prieskumu meraného objektu,
- z kontroly východiskových podkladov a štúdia dokumentácie rotačnej pece,
- z prípravy prístrojového vybavenia, pomôcok a prostredia merania,
- zo zabezpečenia podmienok na bezpečnosť a ochranu zdravia.

Objednávateľ po dohode s vedúcim meračskej skupiny zabezpečí **očistenie stanovísk** prístrojov, **pozorovaných bodov** na konštrukcii rotačnej pece, na základoch i mimo nich. Ďalej zabezpečí očistenie a odmastenie vaní a povrchu kladiek, nosných prstencov a venca a odkrytie ložísk radiálnych kladiek.

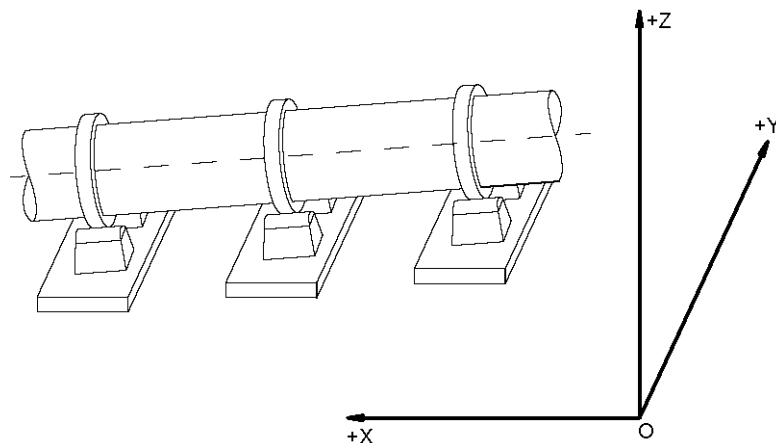
U objednávateľa sa dopredu zabezpečí výroba **špeciálnych pomôcok**, ktoré nie sú bežne používané a ktoré sú konštruované a závislé od konkrétneho typu rotačnej pece. Sú to predovšetkým stojany (s meniteľnou výškou) na určenie výšky radiálnych kladiek, skrutky s centrovacími štítkami na určenie osí a pod. Uvedené pomôcky tvoria príslušenstvo rotačnej pece a bývajú uložené, či uschované priamo u prevádzkovateľa rotačnej pece.

Na zabezpečenie bezpečnosti pri práci a na predchádzanie eventuálnym úrazom pri práci je potrebné:

- pred začatím meračských prác oznámiť hlavnému mechanikovi rotačnej pece, harmonogram realizácie meraní,
- pred začatím meračských prác napnúť nad stredom pece vo výške približne 1 m lano, na ktoré musia pracovníci pri vstupe na rotačnú pec pripnúť svoje ochranné pásy (musí mať každý pracovník),
- na zamedzenie vdychovania zdravotne škodlivého prachu musia pracovníci používať respirátory, ktorými si chránia ústa a nos, respirátory plnia funkciu filtrov.

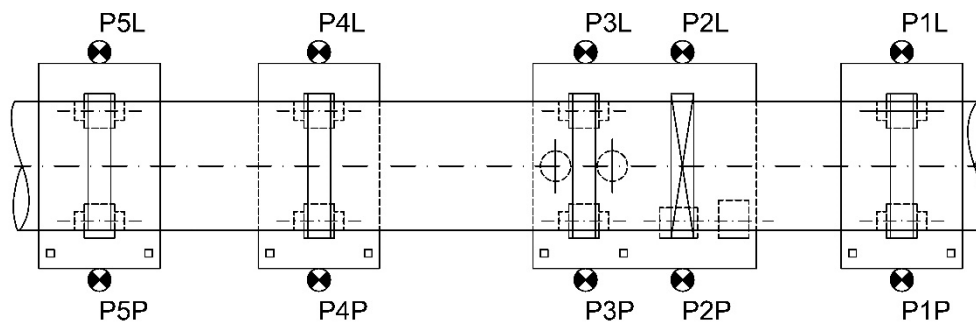
Na meranie priestorových vzťahov rotačnej pece je potrebné zvoliť **miestnu priestorovú súradnicovú sústavu**, ktorá sa obvykle volí ako pravouhlá s osou X vo vodorovnej polohe, rovnobežnou s pozdĺžnou osou rotačnej pece a s osou Z smerujúcou zvislo (Obr. 8.4). Voľbou osi X v odsadenej polohe, stotožnenou so vzťažnou rovinou používanou pri vytyčovaní kladiek, sa pri kontrolných meraniach veľmi jednoducho interpretujú krajné odchýlky vo vodorovnom smere a ich prekročenie. Sú známe prípady voľby vzťažnej sústavy vo všeobecnej polohe. Sklon súradnicovej sústavy spôsobí nutnosť prepočtu meraných prevýšení na súradnice Z , čo

komplikuje interpretáciu výsledkov. Body definujúce polohu vzťažnej sústavy (roviny) sa trvale stabilizujú v základoch (v blízkosti) rotačnej pece.



Obr. 8.4. Voľba miestnej priestorovej sústavy rotačnej pece

Výškové merania sa vzťahuje na vodorovnú (vzťažnú, porovnávaciu) rovinu definovanú približne v strede rotačnej pece, redukciou na celé decimetre) – lokálny (miestny) horizont. V prípade, že v blízkosti rotačnej pece existuje bod nivelačnej siete pripoja sa výškové merania po overení na tento bod. Výškovú sieť rotačnej pece tvoria výškové značky, osadené na okolitých budovách v blízkosti podávania (vsádzky) a výpadu ako aj výškové značky, osadené v základoch rotačnej pece, obvykle v blízkosti značiek, označujúcich stopu zvislej vzťažnej roviny (Obr. 8.5).



Obr. 8.5. Osadenie výškových značiek v základoch rotačnej pece

Pri výstavbe a montáži novej rotačnej pece sa odporúča už pri zhotovovaní základov osadiť na ich hornú plochu doštičky z nehrdzavejúceho materiálu na vyznačenie zvislého priemetu osi pece a stopy zvislej vzťažnej roviny, odsadením rovnobežne od pozdĺžnej osi rotačnej pece o vhodnú vzdialenosť. Zvislý priemet pozdĺžnej osi rotačnej pece sa vytýči podľa projektovej dokumentácie a vyznačí otvorom na doštičkách. Odsadenie vzťažnej roviny sa volí tak, aby bolo po montáži možné:

- merať vodorovné odľahlosti od tejto roviny k pozorovaným bodom rotačnej pece v úrovni stredy hriadeľov radiálnych kladiek a v úrovni základných rámov,

- na každom základe trvale zaistiť stopu vzťažnej roviny na doštičkách v predĺžení hrán základných rámov,
- vhodne voliť stanoviská prístrojov.

Pri výstavbe novej rotačnej pece sa geodetické činnosti začínajú **vytýčením základov**. Vytýčenie základov sa realizuje v zmysle platnej projektovej dokumentácie, ktorú spravidla poskytne objednávateľ prác a technických noriem STN ISO 4463-1 a STN ISO 4463-3 (v dokumentácii existujúcich rotačných pecí môžu byť uvedené pôvodné normy STN 73 0420 a STN 73 0421). Postup vytýčenia sa konzultuje s odberateľom a vytýčené body sa protokolárne odovzdajú. Vytýčené hodnoty jednotlivých parametrov sa uvádzajú priamo vo vytyčovacom výkrese, ktorý tvorí prílohu protokolu o vytýčení základov rotačnej pece.

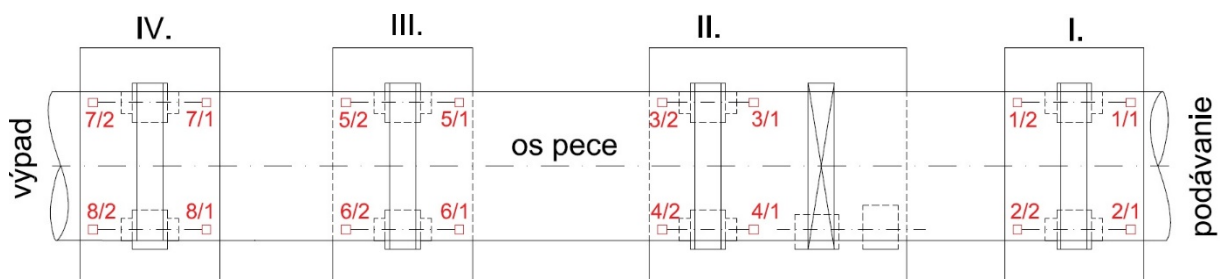
Po vytýčení základov nasleduje vytýčenie polohy nosných kladiek rotačnej pece. Poloha kladiek je viazaná na pozdĺžnu os rotačnej pece (Obr. 8.6). Vytýčenie ich polohy sa vykoná pomocou odsadenej vzťažnej roviny rotačnej pece. Pred vytýčením polohy kladiek sa vyznačí poloha oceľových doštičiek na základoch rotačnej pece, aby bolo možné tieto zabetónovať (Obr. 8.7). Po zabetónovaní doštičiek (rozmerov približne 100 mm x 200 mm a hrubých 2 až 3 mm) sa vytýči a vyznačí na doštičkách jamkami (jamkovačom) poloha nosných kladiek.

Vytýčenie sa vykoná v dvoch krokoch:

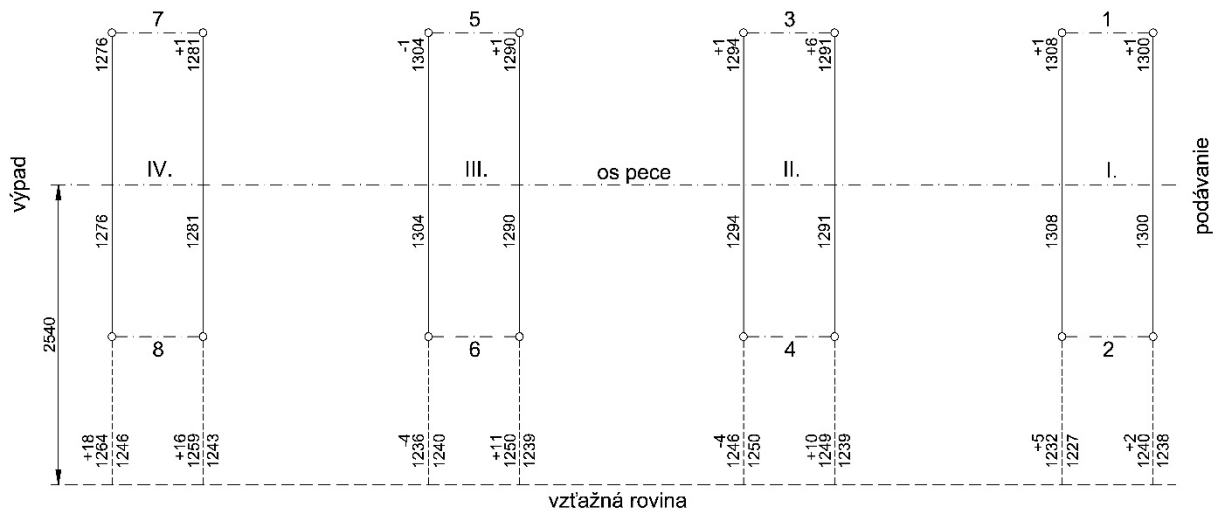
- smerové vytýčenie osí kladiek,
- vytýčenie vzdialeností medzi kladkami.

Na vytýčenie vzdialeností medzi kladkami sa používa výlučne komparované pásmo so zohľadnením všetkých opráv, prípadne iná presnosťou vyhovujúca metóda. Presnosť vytýčenia sa posudzuje podľa krajných odchýlok, ktoré sú stanovené hodnotami:

- vytýčenie smeru medzi susednými základmi $u_v = 2$ mm,
- vytýčenie dĺžky do 25 m, $u_v = 3$ mm,
- vytýčenie dĺžky do 50 m, $u_v = 5$ mm,
- vytýčenie dĺžky nad 50 m $u_v = d \cdot 1/10\ 000$ (d je vytyčovaná dĺžka v m).



Obr. 8.6. Schéma vytýčených doštičiek na základoch rotačnej pece



Obr. 8.7. Číselné a grafické znázornenie polohy osí nosných kladiek

Na výškové vytyčovanie sa výhradne používa metóda geometrickej nivelácie s komparovanými latami s invarovým pásom alebo meradlami. Výšky osí nosných kladiek sú v projekte definované vzťahmi v určujúcom trojuholníku rotačnej pece alebo vzhľadom na vzťažnú vodorovnú rovinu. Krajná odchýlka vo vytyčení prevýšenia je daná hodnotou 1 mm.

Vytyčovacie práce vždy končia záznamom v stavebnom denníku, ktorého nutnou prílohou je **protokol o vytyčení**. Protokol o vytyčení obsahuje obvyklé údaje o predmete vytyčovania, podkladoch, vytyčovacích odchýlkach a spôsobe vyznačenia vytyčených bodov v teréne a pod. Na vytyčenie základov rotačnej pece sa použijú zaužívané spôsoby základných úloh polohového a výškového vytyčovania. Presnosť vytyčenia posudzujeme podľa vytyčovacích odchýlok definovaných projektom alebo normou, resp. vypočítaných zo stavebných odchýlok uvedených v projekte.

8.3 Geodetické činnosti pri kontrole a rektifikácii rotačných pecí

Kontrolným meraním sa zisťuje, či jednotlivé časti rotačnej pece spĺňajú podmienky uvedené vyššie. Na základe meraných hodnôt sa zisťuje, či pozdĺžna os rotačnej pece charakterizovaná spojnicou vrcholov určujúcich trojuholníkov v miestach prstencov je priama a v predpísanom sklone. Súčasne sa zisťuje, či osi nosných kladiek sú rovnobežné s pozdĺžnou osou rotačnej pece. Tejto podmienke sa vynímajú nosné kladky na základovom bloku, ktorý nesie aj axiálne kladky. Osi týchto nosných kladiek majú vykazovať predpísanú zbiehavosť. Súbor meraní vykonávaných s cieľom kontroly geometrických parametrov rotačnej pece je možné zoskupiť do troch skupín – polohové, výškové a doplnkové merania. Predmetom **polohových meraní** je:

- určenie polohy osi rotačnej pece a vzťažnej roviny rovnobežnej s osou rotačnej pece,
- určenie osi radiálnych kladiek,
- meranie vzdialenosti osí radiálnych kladiek od vzťažnej roviny,
- meranie šikmých vzdialeností v smere sklonu pece,
- meranie polohy axiálnych kladiek.

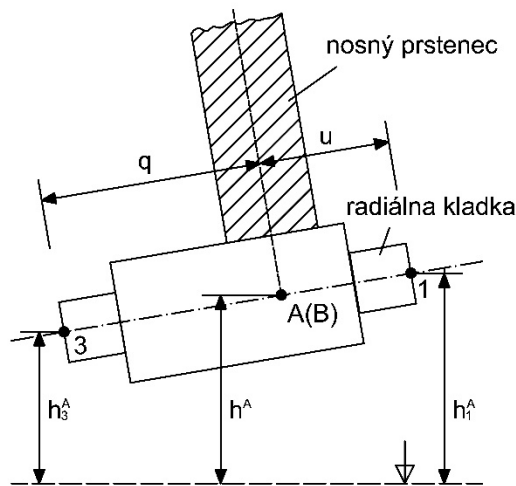
Predmetom **výškových meraní** je určenie:

- relatívnych výšok a posunov bodov osadených na základoch,
- relatívnych výšok a posunov rohov základových rámov,
- relatívnych výšok a posunov radiálnych kladiek.

Na vykonanie **doplňujúcich meraní** sa používajú špeciálne prípravky a strojárske meradlá. Predmetom doplňujúcich meraní je:

- kontrolné meranie polomeru nosných prstencov a radiálnych kladiek,
- meranie obvodu kladiek opásaním,
- meranie priemeru kladiek posuvným meradlom,
- meranie vôle zubov ozubeného venca a pastorka,
- kontrolné meranie vôle medzi prstencami a plášťom.

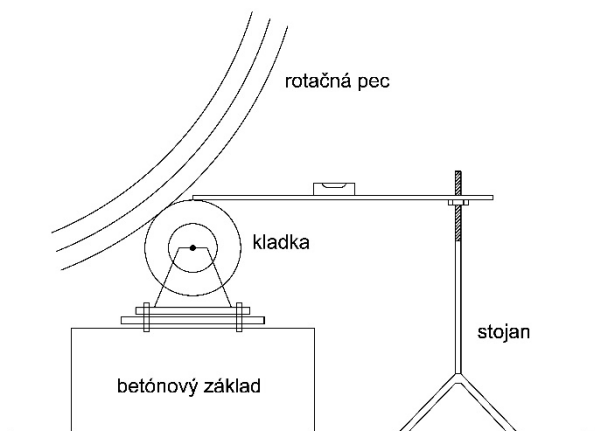
Pri realizácii kontrolných meraní sa začína určením **polohy osí radiálnych kladiek**. Nato sa do otvorov po sústružení upevnia papierové tzv. centračné štítky. Plynulým otáčaním kladky a pridržením ceruzky sa na štítku vytvorí kružnica. Opakovaním postupu s pridržením ceruzky v inom bode vzniká kružnica s iným polomerom. Skonstruované stredy oboch kružníc musia byť totožné s krajinou odchýlkou 0,5 mm a predstavujú stred (polohu osi) nosnej kladky. Poloha osi nosnej kladky sa určí na dolnom aj hornom konci kladky – body č. 1 a 3 (Obr. 8.8). Poloha vrcholu (bod A) určujúceho trojuholníka sa určí výpočtom v závislosti na vzájomnej polohe kladky a prstenca.



Obr. 8.8. Určenie osi nosných kladiek a polohy vrcholu určujúceho trojuholníka

Meranie pokračuje **určením tvaru a opotrebovania nosných kladiek**. Polomer kladky sa určí meraním jej obvodu opásaním. Na určenie tvaru kladky sa využíva špeciálny prípravok, ktorý umožňuje určenie relatívnej výšky vodorovnej dotykovej roviny (Obr. 8.9). Prípravok pozostáva zo stojanu s možnosťou jemného posunu vo zvislom smere, strojárskeho pravítka a strojárskej libely. V prípade správneho (nedeformovaného) tvaru kladky sa výška dotykovej roviny pri jej otáčaní nemení. Prevýšenie možno určiť v závislosti od stúpania závitú a citlivosti

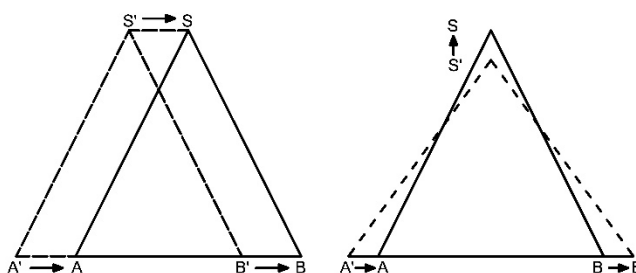
libely s krajinou odchýlkou $u_h = 0,1$ mm. Priemer (polomer) kladky sa určí jeho meraním vo viacerých smeroch (minimálne v kvadrantoch) posuvným meradlom s krajinou odchýlkou $u_r = 0,1$ mm.



Obr. 8.9. Určenie tvaru nosných kladiek

Vzdialenosti nosných kladiek od vzťažnej roviny sa určia meraním dĺžok pásmom podľa schémy na Obr. 8.6. Všetky dĺžkové merania sa realizujú dvojicou meraní s krajinou odchýlkou $u_d = 1$ mm. **Sadanie, resp. naklonenie základov** rotačnej pece, spolu s nosnými kladkami sa určí geometrickou niveláciou s krajinou odchýlkou meraného prevýšenia $u_h = 0,5$ mm.

Splnenie podmienok správnej funkcie rotačnej pece sa kontroluje v miestach prstencov a nosných kladiek. Rozhodujúci je tvar jednotlivých určujúcich trojuholníkov, ktoré majú byť rovnoramenné, so základňou spájajúcou stredy kladiek vo vodorovnej polohe. V prípade zistenia odchýlok od predpísaného (projektovaného) tvaru sa výpočtom určia **rektifikačné hodnoty** pre obe nosné kladky. Posunom kladiek v smere vodorovnom a zvislom pomocou rektifikačných skrutiek sa docieli správna poloha vrcholov trojuholníka a tým aj jeho správny tvar (Obr. 8.10).



Obr. 8.10. Posun a zmena tvaru určujúceho trojuholníka

Výpočet posunov musí zohľadňovať vzájomnú polohu ozubeného venca a pastorku. V prípade zmeny polohy ozubeného venca rektifikáciou je potrebné zabezpečiť **dostatočnú vôľu pri odvaľovaní pastorku** a ozubeného venca. Docieli sa to určitým nadvýšením stredy

ozubeného venca nad spojnicou stredov nosných vencov. Výška (poloha) stredu ozubeného venca sa tak stáva limitujúcou pre polohu pozdĺžnej osi rotačnej pece po rektifikácii.

8.4 Výpočet rektifikačných hodnôt rotačnej pece

Vyššie opísané merania a postupy sa realizujú s cieľom určiť a realizovať správnu polohu vrcholov určujúcich trojuholníkov a tým aj pozdĺžnej osi rotačnej pece a nosných kladiek. Na základe už uvedených extrémnych prevádzkových podmienok je potrebné uviesť, že nie je možné doceliť projektovaný (správny) stav v jednom kroku. Obvykle sa po výpočte rektifikačných hodnôt, tieto konzultujú s hlavným technologom, resp. vedúcim montáže alebo generálnej opravy. Až po posúdení vypočítaných hodnôt sa rozhoduje spoločne o ďalšom postupe, resp. o vykonaní čiastočnej rektifikácie alebo rektifikácie v plnom rozsahu. Predbežné výsledky obsahujú – sklon radiálnych kladiek, výšky dotyku kladiek s prstencom, polohu pozdĺžnej osi rotačnej pece v mieste jednotlivých prstencov a predbežné hodnoty posunov.

Pri určovaní rektifikačných hodnôt je potrebné riešiť pomerne zložitý charakter geometrických väzieb nosných kladiek so samotným telesom rotačnej pece. Matematický model na určenie skutočných aj projektovaných hodnôt jednotlivých uzlov rotačnej pece vychádza zo vzájomných vzťahov meraných a určovaných veličín znázornených na Obr. 8.3. Ak sa os rotačnej pece nachádza v bode O a osi nosných kladiek v bodoch O_1 a O_2 , priamočiarosť pozdĺžnej osi rotačnej pece sa zabezpečí rektifikáciou polohy nosných (radiálnych) kladiek na základových pätkách, t. j. polohy bodov O_1 a O_2 . Merané veličiny sú určené v mieste každého prstenca vzhľadom na definovanú vzťažnú sústavu rotačnej pece (Tab. 8.1).

Tabuľka 8.1 Merané geometrické parametre rotačnej pece

Merané geometrické parametre rotačnej pece								
vo vodorovnej rovine (XY)			vo zvislých rezoch (v rovine YZ)					
č.	X [mm]	m [mm]	R [mm]	$r1$ [mm]	$r2$ [mm]	H [mm]	ΔH [mm]	l [mm]
5	0	1 253	1 672	597	596	18 395	13	2 346,5
4	15 414	1 255	1 670	578	587	18 965	10	2 279,5
3	27 909	1 249	1 662	586	593	19 455	0	2 313,0
2	40 882	1 255	1 660	582	594	19 952	3	2 307,0
1	54 941	1 248	1 657	582	596	20 781	10	2 267,5

Vysvetlivky:

- č. je číslo základovej pätky, resp. číslo rezu,
- X je staničenie rezov,
- m je odchýlky prstenca od zámernej priamky,
- R je polomer prstenca pece,

r_1 je polomer ľavej kladky,
 r_2 je polomer pravej kladky,
 H je výška vrcholu prstenca pece v jednotlivých rezoch,
 ΔH je prevýšenie osi pravej kladky nad osou ľavej kladky,
 l je vzdialenosť medzi osami kladiek.

Skutočný priebeh, resp. polohu rotačnej pece a nosných kladiek v príslušnom profile sa v takom prípade získa meraním, resp. výpočtom hodnôt m , n_1 , $n_2 = n_1 + l$ (Obr. 8.3). Výškové pomery rotačnej pece charakterizujú hodnoty H , H_1 , H_2 vrcholu pece a osí ľavej i pravej kladky (namiesto výšok H_1 a H_2 možno merať prevýšenie $\Delta H = H_2 - H_1$).

Vektor rektifikačných hodnôt \mathbf{V}_Y a \mathbf{V}_Z sa určí

$$\mathbf{V}_Y = \mathbf{Y} - \mathbf{L}_Y, \quad \text{kde} \quad \mathbf{L}_Y = \mathbf{m} - \mathbf{R}, \quad (8-1)$$

$$\mathbf{V}_Z = \mathbf{Z} - \mathbf{L}_Z, \quad \text{kde} \quad \mathbf{L}_Z = \mathbf{H} - \mathbf{R}, \quad (8-2)$$

kde \mathbf{Y} a \mathbf{Z} sú vektory obsahujúce súradnice bodov pozdĺžnej osi rotačnej pece v smere priečnom a zvislom,

\mathbf{R} je vektor obsahujúci polomery prstencov rotačnej pece,

\mathbf{m} je vektor obsahujúci vzdialenosti (odľahlosti) prstencov rotačnej pece od vzťažnej roviny,

\mathbf{H} je vektor obsahujúci výšky vrcholu prstencov rotačnej pece.

Pri kladných hodnotách rektifikačných hodnôt sa os pece posúva súčasne vpravo a nahor, pri záporných hodnotách sa os pece posúva vľavo a nadol.

Ak je každý pozorovaný bod prstenca pece určený staničením, t. j. súradnicou X_i , potom súradnice stredov rotačnej pece možno vypočítať

$$\mathbf{Y} = \alpha \mathbf{Y} + \beta \mathbf{Y}_n, \quad \text{kde} \quad \alpha = 1 - \beta, \quad \beta = X / Z_n, \quad (8-3)$$

$$\mathbf{Z} = \alpha \mathbf{Z} + \beta \mathbf{Z}_n, \quad (8-4)$$

rektifikačné prvky osi rotačnej pece budú:

$$\mathbf{V}_Y = \alpha \mathbf{Y} + \beta \mathbf{Y}_n - \mathbf{L}_Y, \quad (8-5)$$

$$\mathbf{V}_Z = \alpha \mathbf{Z} + \beta \mathbf{Z}_n - \mathbf{L}_Z. \quad (8-6)$$

Rektifikačné hodnoty nosných kladiek (ľavých „1“, pravých „2“) sa určia takto:

$$\mathbf{v}_{Y1} = \mathbf{V}_Y - (\mathbf{e}'_1 - \mathbf{e}_1), \quad (8-7)$$

$$\mathbf{v}_{Y2} = \mathbf{V}_Y - (\mathbf{e}'_2 - \mathbf{e}_2), \quad (8-8)$$

$$\mathbf{v}_{Z1} = \mathbf{V}_Z - (\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}'_1), \quad (8-9)$$

$$\mathbf{v}_{Z2} = \mathbf{V}_Z - (\mathbf{h}_2 - \mathbf{h}'_2), \quad (8-10)$$

kde \mathbf{e} , \mathbf{e}' sú priemety skutočných a projektovaných hodnôt súčtov $(\mathbf{R} + \mathbf{r})$ do vodorovnej roviny),

\mathbf{r} je vektor obsahujúci polomery kladiek.

Uhly určujúceho trojuholníka ω_1 a ω_2 a uhol ε charakterizujúci prevýšenie medzi nosnými kladkami pre jednotlivé prstence sa vypočítajú

$$\omega_1 = \arccos \frac{\mathbf{l} \cdot \mathbf{l}^T + (\mathbf{R} + \mathbf{r}_1)(\mathbf{R} + \mathbf{r}_1)^T - (\mathbf{R} + \mathbf{r}_2)(\mathbf{R} + \mathbf{r}_2)^T}{2 \cdot \mathbf{l}(\mathbf{R} + \mathbf{r}_1)(\mathbf{R} + \mathbf{r}_1)^T},$$

$$\omega_2 = \arccos \frac{\mathbf{l} \cdot \mathbf{l}^T + (\mathbf{R} + \mathbf{r}_2)(\mathbf{R} + \mathbf{r}_2)^T - (\mathbf{R} + \mathbf{r}_1)(\mathbf{R} + \mathbf{r}_1)^T}{2 \cdot \mathbf{l}(\mathbf{R} + \mathbf{r}_2)(\mathbf{R} + \mathbf{r}_2)^T},$$
(8-11)

$$\varepsilon = \arcsin \frac{\Delta H}{l}.$$
(8-12)

Vodorovné a zvislé vzdialenosti medzi osami rotačnej pece a nosných kladiek určíme zo vzťahov:

$$\mathbf{e}_1 = (\mathbf{R} + \mathbf{r}_1) \cos (\omega_1 + \varepsilon),$$

$$\mathbf{e}_2 = (\mathbf{R} + \mathbf{r}_2) \cos (\omega_2 + \varepsilon),$$
(8-13)

$$\mathbf{h}_1 = (\mathbf{R} + \mathbf{r}_1) \sin (\omega_1 + \varepsilon),$$

$$\mathbf{h}_2 = (\mathbf{R} + \mathbf{r}_2) \sin (\omega_2 + \varepsilon),$$
(8-14)

$$\mathbf{e}'_1 = (\mathbf{R} + \mathbf{r}_1) \sin 30^\circ = (\mathbf{h}_1 - \mathbf{V}_{z1}) \cdot \operatorname{tg} 30^\circ, \quad \mathbf{V}_{z1} = (\mathbf{h}_1 + \mathbf{V}_z - \mathbf{h}'_1),$$

$$\mathbf{e}'_2 = (\mathbf{R} + \mathbf{r}_2) \sin 30^\circ = (\mathbf{h}_2 - \mathbf{V}_{z2}) \cdot \operatorname{tg} 30^\circ, \quad \mathbf{V}_{z2} = (\mathbf{h}_2 + \mathbf{V}_z - \mathbf{h}'_2),$$
(8-15)

$$\mathbf{h}'_1 = (\mathbf{R} + \mathbf{r}_1) \cos 30^\circ,$$

$$\mathbf{h}'_2 = (\mathbf{R} + \mathbf{r}_2) \cos 30^\circ.$$
(8-16)

Ak je medzi kladkou a prstencom medzera (vôľa), potom veličiny charakterizujúce skutočnú polohu osi rotačnej pece sa určujú zo súčtov $(\mathbf{R} + \mathbf{r} + \mathbf{t})$.

Určenie vzdialeností sa kontroluje podľa vzťahov

$$\mathbf{e}_1 = (\mathbf{m} + \mathbf{R}) - \mathbf{n}_1,$$
(8-17)

$$\mathbf{e}_2 = (\mathbf{n}_1 + \mathbf{l}) - (\mathbf{m} + \mathbf{R}),$$

$$\mathbf{h}_1 = (\mathbf{H} - \mathbf{R}) - \mathbf{H}_1,$$
(8-18)

$$\mathbf{h}_2 = (\mathbf{H} - \mathbf{R}) - \mathbf{H}_2,$$

Dosadením do vzťahov (8-7) až (8-10) sa získa úplné vyjadrenie rektifikačných hodnôt nosných kladiek

$$\mathbf{v}_{Y1} = \mathbf{V}_Y - (\mathbf{e}'_1 - \mathbf{e}_1) = \alpha \cdot \mathbf{Y} + \beta \cdot Y_n - \mathbf{L}_Y - (\mathbf{e}'_1 - \mathbf{e}_1) =$$

$$\alpha \cdot \mathbf{Y} + \beta \cdot Y_n - \mathbf{L}_Y - (\mathbf{h}'_1 - \mathbf{V}_Z) \cdot \operatorname{tg} 30^\circ + \mathbf{e}_1 = \quad (8-19)$$

$$\alpha \cdot \mathbf{Y} + \beta \cdot Y_n + \mathbf{e}_1 - \alpha \cdot \operatorname{tg} 30^\circ \cdot Z_1 + \beta \cdot \operatorname{tg} 30^\circ \cdot Z_n + \operatorname{tg} 30^\circ \cdot (Z_1 - \mathbf{h}_1) -$$

$$- \operatorname{tg} 30^\circ (\mathbf{h}_1 + \mathbf{V}_Z - (\mathbf{R} + \mathbf{r}_1) \cos 30^\circ),$$

$$\mathbf{v}_{Y2} = \alpha \cdot \mathbf{Y} + \beta \cdot Y_n + \mathbf{e}_2 - \alpha \cdot \operatorname{tg} 30^\circ \cdot Z_1 + \beta \cdot \operatorname{tg} 30^\circ \cdot Z_n +$$

$$+ \operatorname{tg} 30^\circ (Z_1 - \mathbf{h}_2) - \operatorname{tg} 30^\circ \cdot (\mathbf{h}_2 + \mathbf{V}_Z - (\mathbf{R} + \mathbf{r}_2) \cdot \cos 30^\circ). \quad (8-20)$$

Obdobným spôsobom možno odvodiť rektifikačné hodnoty \mathbf{v}_{Z1} a \mathbf{v}_{Z2} . Z dôvodu šetrenia nákladov na rektifikáciu rotačnej pece sa vyžaduje určenie optimálnej polohy osi rotačnej pece. V takomto prípade sa rektifikačné hodnoty bodov pozdĺžnej osi rotačnej pece určia minimalizáciou vzťahu

$$W = \operatorname{Tr} (\mathbf{V}_Y - \mathbf{V}_Z) (\mathbf{V}_Y - \mathbf{V}_Z)^T = \min . \quad (8-21)$$

Jeho riešením podľa metódy najmenších štvorcov a týmto označením

$$\operatorname{Tr} \alpha \alpha^T = a, \quad \operatorname{Tr} \beta \beta^T = b, \quad \operatorname{Tr} \alpha \beta^T = c, \quad D = a \cdot b - c^2,$$

$$\operatorname{Tr} \alpha \mathbf{L}_Y^T = A_1, \quad \operatorname{Tr} \beta \mathbf{L}_Y^T = A_2, \quad \operatorname{Tr} \alpha \mathbf{L}_Z^T = C_1, \quad \operatorname{Tr} \beta \mathbf{L}_Z^T = C_2, \quad (8-22)$$

sa určia hodnoty rektifikačných hodnôt v prvom a poslednom reze (prstenci)

$$Y_1 = \frac{1}{D} (bA_1 - cA_2), \quad Y_n = \frac{1}{D} (aA_2 - cA_1),$$

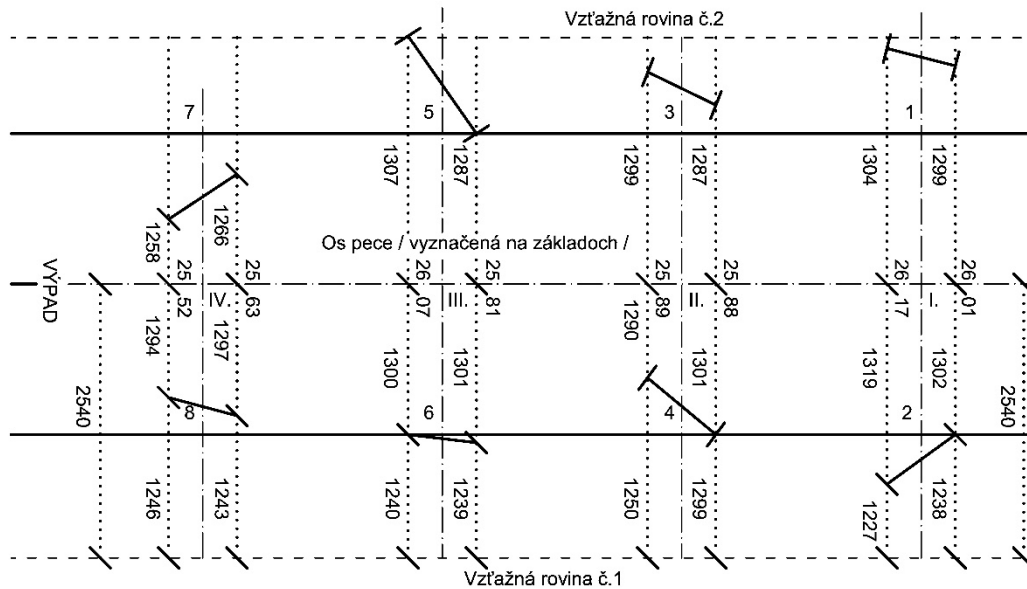
$$Z_1 = \frac{1}{D} (bC_1 - cC_2), \quad Z_n = \frac{1}{D} (aC_2 - cC_1). \quad (8-23)$$

Rektifikačné hodnoty osi rotačnej pece v ďalších rezoch (prstencoch) a nosných kladiek sa určia využitím vzťahov (8-3) až (8-16).

Skúsenosti z problematiky merania a rektifikácie rotačných pecí zhrnuli autori do podoby interného predpisu v (Herda, 1969), podľa ktorého **výsledný elaborát** obsahuje technickú správu, merané a vypočítané hodnoty, dokladovanie kvality merania uvedením krajných odchýlok a ich dodržaním. Nedeliteľná súčasť textovej a číselnej dokumentácie je grafická časť s znázornením:

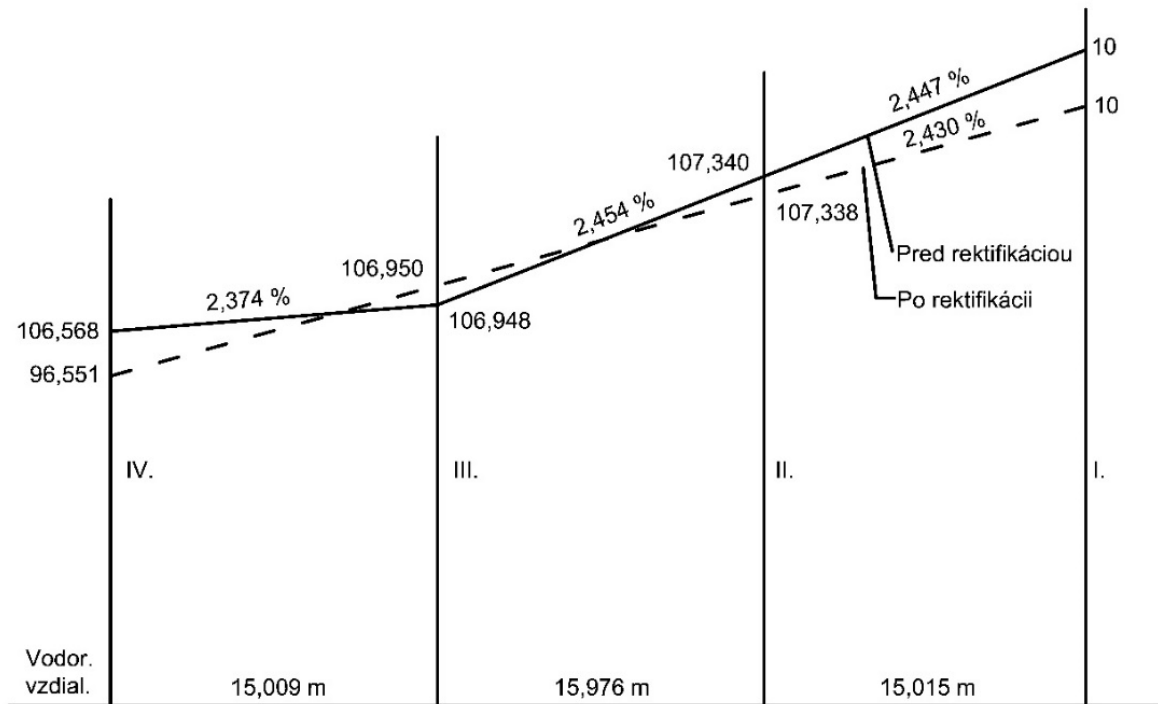
- vzťažnej sústavy, pôdorysu rotačnej pece, schémy rozmiestnenia prstencov a kladiek,
- polohy pozdĺžnej osi a osí nosných kladiek vzhľadom na zvislú vzťažnú rovinu (Obr. 8.11),
- výškového priebehu pozdĺžnej osi a výšky osí nosných kladiek,
- meraných a počítaných prvkov rotačnej pece v priečnom reze, tzv. stredový trojuholník,

- výslednej rektifikovanej polohy nosných kladiek,
- deformácií osi rotačnej pece v pozdĺžnom smere (Obr. 8.12),
- záznamu o meraní radiálnych deformácií plášťa s kruhovými diagramami (pokiaľ sú požadované) (Obr. 8.13),
- prehľadných tabuliek meraných a vypočítaných hodnôt.



Obr. 8.11. Poloha osi rotačnej pece a nosných kladiek

SPÁD ROTAČNEJ PECE



VÝPOČET PARAMETROV PRE ZMENU SPÁDU ROTAČNEJ PECE

Číslo prstenca	Vodorovné vzdialenosti	Priemerná relat. výška prstenca	Upravená relat. výška na spád 2,430 %	Δh		Rozdiel Δh
				skutočná	v spáde 2,430 %	
I.		107,732	107,727			0,000
II.	16,015	107,340	107,338	392	389	-0,003
	15,975			392	388	
III.	16,009	106,948	106,950	380	389	-0,004
IV.		106,558	106,561			+0,009

Obr. 8.12. Pretvorenie osi rotačnej pece v pozdĺžnom smere

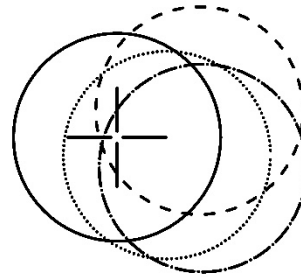
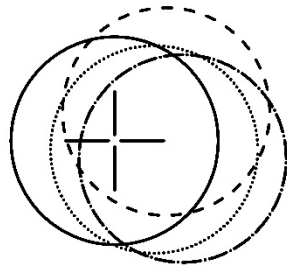
d = 1360 mm
h = 1620 mm

PRSTENEC

3. ZÁKLAD

PLÁŠŤ

d = 1690 mm
h = 1860 mm



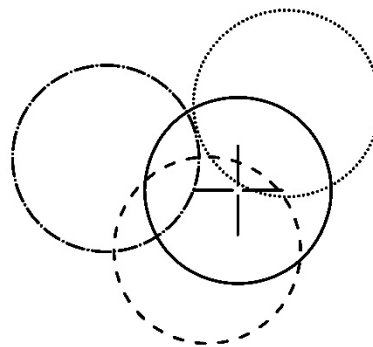
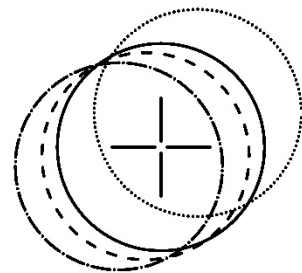
d = 1301 mm
h = 1760 mm

PRSTENEC

4. ZÁKLAD

PLÁŠŤ

d = 1649 mm
h = 2124 mm



Obr. 8.13 Pretvorenie plášťa rotačnej pece a kruhové diagramy v pričnom reze v miestach prstencov

9 Geodetické činnosti pri plánovaní, výstavbe a prevádzke objektov jadrových elektrární

Až donedávna bol rýchly rozvoj svetovej ekonomiky založený väčšinou na využívaní fosílnych palív – uhlia, zemného plynu a ropy. Tieto zdroje kryli až 85 percent svetovej energetickej potreby. Ich zásoby však nie sú nekonečné, naopak, značná časť je už vyčerpaná. Energia vodných tokov je vo vyspelejších štátoch sveta tiež zväčša už využitá, jej rezervy nie sú veľké. A tak zákonite vzniká otázka, ktoré energetické zdroje sú dostatočne mohutné a možno ich v krátkom čase využiť tak, aby nahradili najmä ubúdajúce zásoby ropy.

Je to predovšetkým uhlie a jadrová energia. Pokiaľ však ide o uhlie, jeho zvýšená spotreba v súčasnej forme by znamenala veľké riziko pre životné prostredie s možnými globálnymi klimatickými dôsledkami. Napríklad typická uhoľná elektrárňa s výkonom 380 megawattov vypustí do ovzdušia priemerne 75 ton kysličníka síry, 16 ton kysličníka dusíka, 5 ton popolčeka, stovky ton kysličníka uhlíka. Rozptyl rádioizotopov z popola prevyšuje niekde až štvornásobné limity prípustné pre jadrové elektrárne porovnateľného výkonu. Z toho dôvodu prináša východisko na riešenie energetického problému zo strednodobého i dlhodobého hľadiska práve **jadrová energetika**. Najskôr to bolo na báze tepelných a rýchlych reaktorov, neskôr na základe termojadrových reaktorov. Navyše, jadrová energia pomôže efektívnejšie využívať aj samotné uhlie bez ohrozovania kvality životného prostredia tým, že umožní jeho premenu na ekologicky čistejšie syntetické kvapalné a plyné palivá a tým aj prakticky úplné odstránenie škodlivých exhalácií.

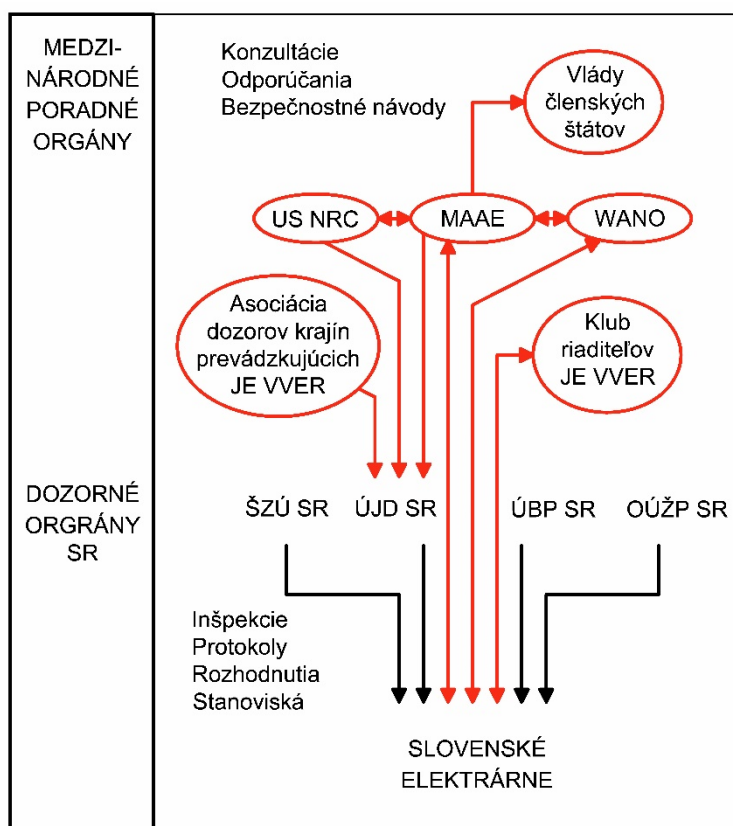
Prvý projekt jadrového reaktora predložil profesor F. J. Curie v r. 1939, v roku 1942 bol pod vedením profesora E. Fermiho v Chicagu skonštruovaný prvý jadrový reaktor s výkonom 200 W v laboratórnych podmienkach. Na výrobu elektriny sa jadrový reaktor prvý raz využil 20. decembra 1951 vo výskumnej stanici EBR-I pri meste Arco v štáte Idaho v USA. Zariadenie založené na rýchlom množivom reaktore dodávalo spočiatku výkon okolo 100 kW. Prvý jadrový reaktor na priemyselné využitie začal pracovať v roku 1954 v Obninsku pri Moskve a je dodnes v činnosti s výkonom 5 MW. Dynamiku rozvoja v oblasti jadrovej energetiky za uplynulých tridsať rokov najlepšie dokumentuje skutočnosť, že koncom roku 1984 bolo vo svete v prevádzke približne 350 jadrových elektrární, v roku 2008 to bolo 439 a ďalších 32 bolo vo výstavbe. Z toho väčšia časť pracuje v štyroch najväčších jadrových mocností sveta v USA (104), vo Francúzsku (58), v Japonsku (50) a v Rusku (33). Podľa dokumentov Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (MAAE) najdôležitejším a najvýznamnejším cieľovým programom rozvoja vyspelých krajín bude aj v budúcnosti na celom svete výstavba jadrových elektrární.

Jadrové elektrárne ako mimoriadne náročné investičné celky si vyžadujú mimoriadnu starostlivosť aj zo strany geodetov, jednak pred začatím stavby, počas nej, ako i v celom období činnosti energetického diela. Vyplýva to z požiadaviek na stabilitu týchto celkov, ktorých základné objekty a vybrané geometrické prvky si musia zachovávať presne

vodorovnú, resp. zvislú polohu. Porušenie týchto priestorových vzťahov, resp. prekročenie stanovených krajných odchýlok môže viesť k vážnym prevádzkovým ťažkostiam a poruchám (Tab. 9.1). Snaha zvýšiť spoľahlivosť jadrových elektrární viedla k tomu, že finančné náklady na výstavbu jadrových elektrární enormne stúpajú – za posledných 10 rokov bol zaznamenaný viac ako 2,5-násobný rast nákladov na výrobu 1 kWh. Jadrovú bezpečnosť prevádzky jadrových elektrární zaisťujú národné dozorné orgány a viaceré medzinárodné poradné orgány a inštitúcie (Obr. 9.1).

Tabuľka 9.1 Pravdepodobnosti porúch stavebných objektov

Por. č.	Druh objektu	Skutočné pravdepodobnosti porúch
1	jadrové elektrárne	$10^{-2} - 6 \cdot 10^{-2}$
2	priehrady a zemné hrádze	$5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-2}$
3	mosty a inžinierske siete	$2 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-2}$
4	priemyselné stavby (haly a funkčné objekty)	$1 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$
5	funkčné objekty pozemných stavieb	$1 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$
6	obytné budovy	$5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$
7	elektrické vedenia a pod.	$1 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-5}$



Obr. 9.1. Zabezpečenie jadrovej bezpečnosti národnými dozornými a medzinárodnými poradnými inštitúciami

Celosvetovo sa dnes v odborných kruhoch uprednostňuje názov jadrová elektrárňa pred atómová elektrárňa. Dôvody sú jednak v tom, že v takejto elektrárni nedochádza k štiepeniu celého atómu ale len jeho jadra a jednak, že termín „atómový“ často vyvoláva medzi bežným obyvateľstvom asociácie s atómovou bombou. Na Slovensku nesú jadrové elektrárne v názve stále slovo „atómová“.

Na Slovensku sú v prevádzke dve atómové elektrárne (AE v Jaslovských Bohuniciach a AE v Mochovciach), v ktorých sú v komerčnej prevádzke 4 tlakovodné reaktory typu VVER 440 s celkovým výkonom 1872 MW, ktorých výhody spočívajú najmä v jednoduchosti, kompaktnosti a spoľahlivosti. Spolu atómové elektrárne tvorili 65 % celkovej výroby Slovenských elektrární za rok 2010 (Slovenské elektrárne, 2011). V roku 2010 vyrobili spolu 14 574 GWh elektrickej energie, čo je 52,6 % celkovej výroby na Slovensku. V roku 2025 sa počíta s výrobou 22 426 GWh ročne (SEPS, 2012).

Výstavba rozsiahlych investičných celkov s náročným technickým riešením, akým sú jadrové elektrárne si vyžaduje komplexnejší prístup ako pri ostatných súboroch stavieb. Komplexný prístup ku problematike výstavby a prevádzky jadrových elektrární predpokladá integráciu poznatkov z viacerých disciplín aj z hľadiska geodézie. Zatiaľ čo doteraz postačili pre stavebníctvo poznatky inžinierskej geodézie, pre výstavbu a prevádzku jadrových elektrární sú potrebné aj poznatky vyššej geodézie, družicovej geodézie, geofyziky, fotogrametrie, matematickej štatistiky, prognostiky, atď. Náročnosť geodetických prác sa prejavuje najmä v oblasti inžiniersko-priemyselnej geodézie, pri riešení úloh a aplikácií v špecifických podmienkach priemyselného prostredia, vo veľmi vysokej vyžadovanej presnosti merania, ale aj v sťažených podmienkach počas merania, ako aj nutnosťou dodržiavania pravidiel bezpečnosti práce a používania osobných ochranných prostriedkov.

9.1 Hodnotenie a výber lokality na výstavbu jadrových elektrární

Výber lokality na výstavbu jadrovej elektrárne je podmienený viacerými hľadiskami. Z hľadiska využitia produkovanej energie je žiaduce, aby tieto energetické diela boli umiestnené v blízkosti väčších priemyselných alebo obytných centier, čo umožňuje širšie energetické a hospodárske využitie. Na druhej strane nesmú byť veľké investičné celky umiestňované na miestach s úrodnou, poľnohospodársky obrábanou a výnosnou pôdou. Z tých istých dôvodov ich nemožno budovať v kvalitných lesných komplexoch alebo oblastiach štátom chránených rezervácií. Zabezpečenie prevádzky budúcej elektrárne si vyžaduje plynulú dodávku potrebného množstva vody atď.

Pri výbere lokality budúcej elektrárne sa popri čisto geologických rozboroch, ktorých výkon býva úlohou geologickej služby štátu vo veľkej miere využívajú aj poznatky a údaje o súčasnej dynamike zemského povrchu na území štátu. Nevhodné sú napr. lokality s intenzívnou seizmickou činnosťou a väčšími tektonickými pohybmi, pretože v týchto prípadoch by zabezpečenie stability zariadení bolo príliš nákladné, prípadne i nemožné. Celkom neprípustné je umiestnenie jadrovej elektrárne na pohybovo aktívnom zlome (tektonickej línii). Tieto hľadiská tvoria súbor kritérií, ktoré v procese plánovania a priori

vylučujú alebo pripúšťajú možnosť uvažovať o určitom mieste ako možnej lokalite vhodnej na výstavbu.

Všetky tieto analýzy a prieskumné práce tvoria podklad na tvorbu rámcového plánu umiestnenia jadrových elektrární do jednotlivých oblastí na celom území štátu. V každej oblasti sa navrhne vždy niekoľko variantných lokalít, ktoré umožňujú užší výber umiestnenia vlastného budúceho staveniska (Obr. 9.2). Tento **rámcový plán umiestnenia variantných lokalít výstavby** sa stáva podkladom na rozvinutie podrobného výskumu, medzi iným aj recentných pohybov zemskej kôry, resp. tektonickej stability každej z vybraných lokalít.

Hlavný zmysel a cieľ výskumu recentných pohybov zemskej kôry v priestoroch predpokladanej výstavby jadrovej elektrárne je posúdenie tektonickej stability týchto oblastí, zemskeho povrchu v danej oblasti tak, aby sa samotné energetické dielo mohlo už počas výstavby zabezpečiť pred prípadnými pohybmi. Recentné pohyby zemskej kôry nesúvisia s kvalitou základovej pôdy, ktorá je predmetom záujmu a výskumu inžinierskej geodézie, ale sa viaže na pohyby čisto tektonického pôvodu.

Dlhodobé, pozvoľné tektonické pohyby sú v podstate pokračovaním horotvorných pochodov predchádzajúcich geologických vývojových etáp našej planéty a súvisia s tým, že naša Zem je vystavená neustálym dynamickým zmenám. Jej súčasný tvar a povrch nie je ustálený, ale je momentálny výsledok fyzikálnych procesov, ktoré prebiehali miliardy rokov, trvajú i dnes a budú naďalej pretrvávať.

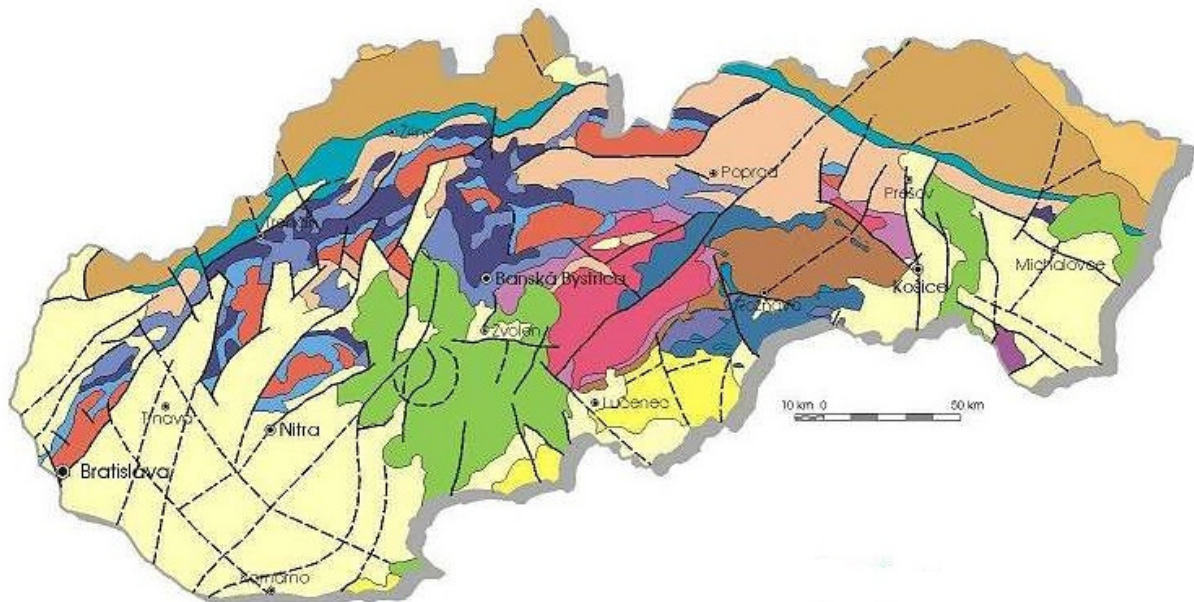


Obr. 9.2. Vybrané lokality na výstavbu jadrových elektrární v Európe (VÚJE, 2016)

Popri vlastných dlhodobých tektonických pohyboch sú predmetom štúdia i vlastnosti jednotlivých lokalít a ich širokého okolia i z hľadiska seizmicity, resp. ich citlivosti na seizmické otrasy šíriace sa z blízkych a vzdalenejších ohnísk zemetrasenia. V tomto smere už výskum

vykonávaný geodetickými metódami úzko súvisí s regionálnym i lokálnym seizmickým výskumom.

Na rámcove stanovených lokalitách sa popri geologickom a geofyzikálnom prieskume vykonávajú i náročné geodetické práce. Na rozdiel od požiadaviek na prácu tohto druhu na iné účely (napr. na vedecké v súvislosti s prípravou mapy recentných vertikálnych pohybov zemskej kôry) je výskum tektonických vlastností lokalít výstavby jadrových elektrární časovo obmedzený (Obr. 9.3). Tektonické pohyby prebiehajú totiž pozvoľne, nezávisle od ľudských faktorov a jeho potrieb a v zmenách polohy geodetických bodov sa môžu prejaviť až po uplynutí určitého času. Skrátene celkového časového intervalu vymedzeného na výskumné práce si preto vyžaduje zvýšenie presnosti merania do tej miery, aby bolo možné zachytiť i malé hodnoty tektonického pohybu. V priebehu výskumu sa stáva, že z dôvodov prevahy iných, tzv. vylučujúcich kritérií alebo i pre preukázateľnú existenciu výrazných tektonických pohybov sa ďalšie výskumné práce na lokalite zastavia. V takom prípade sa stanoví nová lokalita.



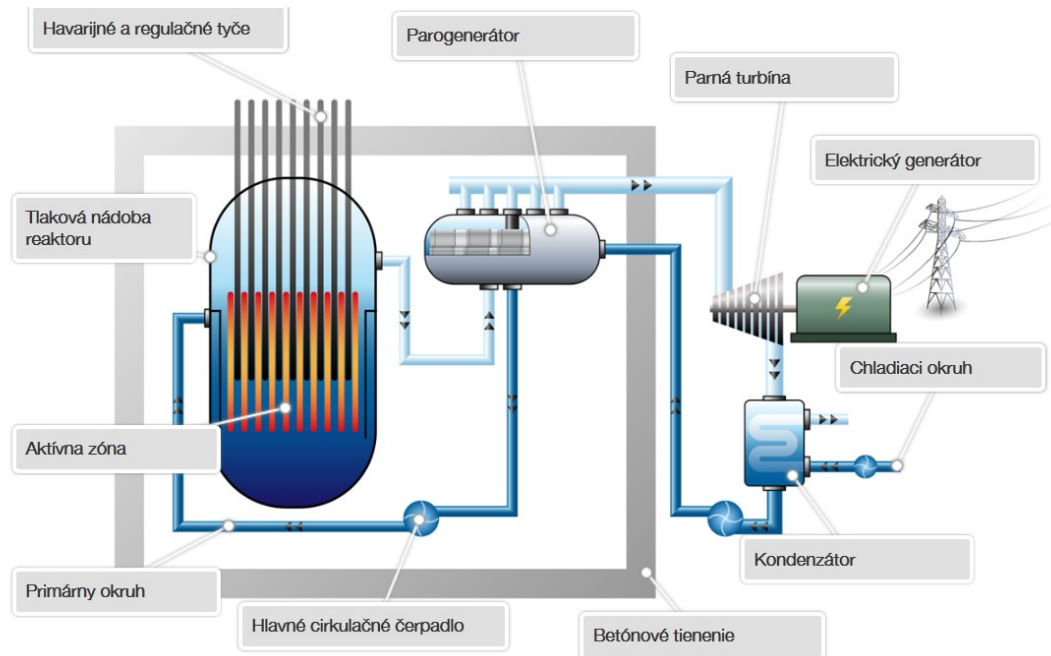
Obr. 9.3. Tektonická mapa Slovenska (Maglay et al., 1999)

V záujme dosiahnutia dostatočnej hodnovernosti výsledkov výskumu však je, aby sa s potrebnými meračskými prácami začalo čo najskôr, najmä z dôvodu predĺženia časového intervalu medzi prvými meraniami a rozhodovacím a schvaľovacím konaním o lokalite. To však kladie vysoké nároky na operatívnosť plánovania všetkých výskumných a teda aj geodetických prác a na budovanie účelových geodetických sietí.

Charakter výskumných meraní kladie zvýšené nároky na kvalitu stabilizácie geodetických bodov pri súčasnej operatívnosti ich osadenia. Kvalita stabilizácie musí preto zaručovať vylúčenie prípadného vplyvu sezónneho kolísania, spôsobeného vplyvom vlhkosti pôdy, kolísaním úrovne podzemných vôd, povrchových svahových pohybov a pod. Rozsah geodetických prác na lokalitách je pomerne značný, a preto ich okrem špecializovaných pracovísk sčasti vykonávajú aj kvalifikované meračské skupiny z rezortu geodézie.

9.2 Výrobné objekty jadrových elektrární

Funkčný princíp jadrových reaktorov je založený na výrobe tepelnej energie v reaktore a jej prenosu **primárnym okruhom** z reaktora do parných generátorov (Obr. 9.4). Primárny okruh tvorí reaktor, systém kompenzácie tlaku a šesť paralelne pracujúcich slučiek.



Obr. 9.4. Schéma usporiadania objektov reaktora typu VVER 440 (Bromová et al., 2013)

Reaktor je zdroj tepla na výrobu elektrickej energie. Reaktor typu VVER 440 pracuje na báze tepelných neutrónov, je chladený a moderovaný chemicky upravenou demineralizovanou vodou pod tlakom. Zariadenie reaktora tvorí teleso tlakovej nádoby reaktora, horný blok, šachta, dno šachty, kôš aktívnej zóny, blok ochranných rúr, palivové kazety pripojené prostredníctvom spojovacích tyčí k pohonom umiestneným v puzdrách horného bloku na vežu reaktora. Reaktor je umiestnený v betónovej šachte. Jeho vonkajšie tienenie vytvára vodná biologická ochrana v oceľovej nádrži, ktorá obklopuje nádobu reaktora v časti aktívnej zóny a v ostatných častiach ťažký betón so špecifickou hmotnosťou $3,6 \text{ t/m}^3$.

Vo vnútri nádoby je umiestnená **aktívna zóna**, vytvorená špeciálnou konštrukciou v tvare koša z nehrdzavejúcej ocele. V aktívnej zóne sú v jednotlivých hniezdach umiestnené palivové kazety. Palivom je mierne obohatený oxid uraníčitý vo forme tabliet, ktoré sú hermeticky uzatvorené v obale palivového prútika. Prútiky sú zmontované do palivových kaziet. Voda preteká kanálikmi v palivových kazetách a odvádza teplo, ktoré vzniká pri štiepnej reakcii. Voda z reaktora vystupuje s teplotou asi $297 \text{ }^\circ\text{C}$ a prechádza horúcou vetvou primárneho potrubia do tepelného výmenníka – parogenerátora.



Obr. 9.5. Pohľad do reaktorovej sály na vrchnú časť reaktora

Systém **regulácie reaktora** je založený na použití (zasúvaní/vysúvaní) sústavy riadiacich tyčí. Tento systém je doplnený systémom chemickej regulácie kyselinou bóritou. Stupňom koncentrácie kyseliny v chladiči sa docieľuje kompenzovanie pomalých zmien reaktivity (vyhorenie paliva), vyrovnávanie priestorového rozloženia neutrónového toku a plánované odstavenie reaktora. Pracovná kampaň reaktora je 10 až 12 mesiacov. Počas plánovaného odstavenia reaktora (jedenkrát do roka) sa pomocou zavážacieho stroja pod ochrannou vrstvou vody (tínenie) vymieňa jedna tretina palivových článkov a vykonávajú sa generálne opravy jednotlivých zariadení primárneho a sekundárneho okruhu.

Parogenerátory sú tepelnými výmenníkmi medzi primárnym a sekundárnym okruhom. Na primárnej strane parogenerátora cirkuluje v rúrkach teplotné médium – voda. Na sekundárnej strane vzniká nasýtená para, ktorá sa vedie do turbogenerátorov. Parogenerátor je odparovací, s vodorovným zväzkom rúrok, ktoré sú umiestnené vo vodorovnom kotlovom telese. V strednej časti telesa sú umiestnené dva kolektory primárneho okruhu – horúci pre vstup a studený pre výstup chladiča. V každom parogenerátore je 5536 teplovýmenných rúrok a každý parogenerátor má navyše 25 % rezervu teplovýmennej plochy. Hlavné cirkulačné čerpadlá zabezpečujú cirkuláciu teplotného média v primárnom okruhu. Sú skonštruované ako vertikálne bezupchávkové odstredivé čerpadlá so zabudovanými asynchrónnymi elektromotormi.

Na zabezpečenie prevádzky reaktora a primárneho okruhu sú inštalované **pomocné okruhy**:

- systém kompenzácie objemu vytvára tlak teplotného média primárneho okruhu a jeho stabilizáciu na stanovených parametroch prevádzkových režimov.
- systém čistenia vôd primárneho okruhu kontinuálne prečisťuje aktívne vody,

- systém dopĺňovania primárneho okruhu a regulácie kyselinou bóritou kompenzuje organizované úniky cirkulujúceho chladiva a reguluje koncentráciu kyseliny bóritej,

K pomocným systémom a zariadeniam primárneho okruhu patria:

- systém lokalizácie a likvidácie havarijných stavov, ktorý tvoria sprchový systém v hermetických boxoch, vysokotlakové dávkovanie kyseliny bóritej do primárneho okruhu a pretlakové klapky,
- zariadenie na výmenu paliva (na všetky operácie spojené s prijatím, skladovaním a výmenou čerstvého a vyhoreného paliva),
- spracovanie a uloženie tuhých a kvapalných rádioaktívnych odpadov (na ich dlhodobé skladovanie),
- ventilačný komín a špeciálna vzduchotechnika (na výmenu vzduchu z aktívnych priestorov).

Sekundárny okruh je tá časť HVB, ktorá zabezpečuje premenu tlakovej a tepelnej energie, obsiahnutej v pare z parných generátorov, na energiu elektrickú, ďalej na postupné nahrievanie, resp. dochladzovanie primárneho okruhu pri nábehu, štandardnom a prechodovom režime, resp. odstavení bloku.

Strojnotechnologické zariadenie sekundárneho okruhu jadrovej elektrárne sa v podstate nelíši od zariadenia používaného v klasických tepelných elektrárnach. Patrí sem parné potrubie, regulačné a uzatváracie armatúry, parné turbíny, kondenzátory, všetky druhy čerpadiel, zariadenia na úpravu napájacej vody, výmenníky, separátory pary, prepúšťacie stanice do kondenzátora, nízkotlaková a vysokotlaková regulácia a systém dochladzovania primárneho okruhu, ochrany a regulácia.

Ku každému reaktorovému bloku patria dva **turbogenerátory** s jednotkovým výkonom 220 MW. Turbína je kondenzačná, zložená z jedného vysokotlakového a dvoch nízkotlakových telies, konštruovaná na sýtu paru. Na spoločnom hriadeli s turbínou je generátor, budič a pomocný budič a generátor vlastnej spotreby. Turbína má 8 neregulovaných odberov. Na odbery pary z turbín sú napojené systémy regeneratívneho ohrievania napájacej vody parogenerátorov a zásobovania výmenníkovej stanice teplom.

Hlavný generátor je trojfázový s priamym a okružným kombinovaným chladením statora a rotora. Okrem hlavného generátora je na spoločnej osi s turbínou inštalovaný generátor vlastnej spotreby na napájanie hlavných cirkulačných čerpadiel primárneho okruhu s výkonom 6 MW spolu s budiacimi agregátmi. K príslušenstvu turbogenerátorov patria:

- prepúšťacie stanice,
- priečne povrchové kondenzátory,
- systém chladenia kondenzátorov,
- pomocné príslušenstvo.



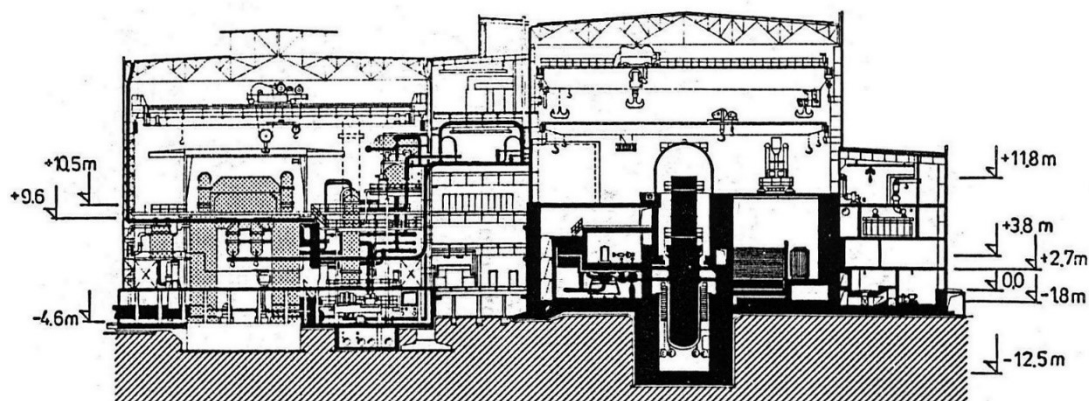
Obr. 9.6. Pohľad na štvoricu turbogenerátorov v strojovni HVB

Podstatná časť **elektrotechnických zariadení** a káblových rozvodov, systémov merania, regulácie a riadenia elektrárne je umiestnená v hlavnom výrobnom objekte. Schéma napájania vlastnej spotreby zohľadňuje zvýšené požiadavky na spoľahlivosť napájania elektrospotrebičov a pohonov, ktoré sú podľa kritérií na čas straty napätia rozdelené do troch kategórií. Núdzové a rezervné napájanie vlastnej spotreby sa zabezpečuje z dobiehajúcich turbogenerátorov, vonkajších liniek 110 kV, 220 kV a vlastnej diesel-generátorovej stanice.

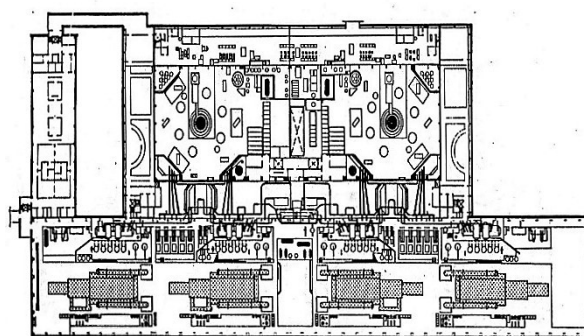
Elektrárň sa **riadi z dvoch blokových dozorní**, kde sú sústredené zariadenia na ovládanie, reguláciu, meranie, na ochranu a automatiku riadeného zariadenia a na signalizáciu porúch. Pracovná zmena, ktorú tvorí vedúci bloku, operátori primárneho a sekundárneho okruhu a manipulant elektro kontroluje správnu činnosť regulátorov automatík a v prípade potreby (skúšky zariadení, opravy) alebo mimoriadnych situácií môže zariadenie diaľkovo ovládať. **Centrálny technologický informačný systém** trvale sleduje a zaznamenáva do pamäte počítačov niekoľko tisíc údajov a informácií, ktoré poskytuje vysokokvalifikovanej obsluhu pre optimálne riadenie jadrovej elektrárne.

Medzi ďalšie systémy a objekty elektrárne patrí čerpacia stanica chladiacej, úžitkovej a požiarnej vody, chladiace veže s prirodzeným ťahom, chemická úpravňa vody, kompresorová a chladiaca stanica, plynové hospodárstvo, pomocná kotolňa, olejové hospodárstvo, čistiaca stanica odpadových vôd, diesel-generátorová stanica.

Jednotlivé objekty primárneho a sekundárneho okruhu sú lokalizované v navzájom konštrukčne a stavebno-technicky prepojených budovách (stavebných objektoch) **hlavného výrobného bloku** (Obr. 9.7 a 9.8). Vzájomné usporiadanie technologických celkov v budovách kladie zvýšené nároky na ich vytyčovanie, realizáciu a stabilitu.



Obr. 9.7. Priechy rez hlavným výrobným blokom



Obr. 9.8. Pôdorys hlavného výrobného bloku

9.3 Geodetické činnosti pri výstavbe jadrových elektrární

Na etapu geodetického merania tektonickej stability lokalít jadrových elektrární nadväzuje po definitívnom výbere najvhodnejšej lokality vlastná realizácia stavby, pri ktorej sa v značnom rozsahu a s vysokými požiadavkami na presnosť uplatňujú postupy a metódy inžinierskej geodézie. Geodetické práce na zabezpečenie výstavby jadrových elektrární možno rozdeliť na tieto hlavné skupiny:

- prípravné práce,
- budovanie geodetických vytyčovacích sietí,
- odovzdanie staveniska,
- vytyčenie priestorovej polohy jednotlivých objektov,
- podrobné vytyčovanie,
- kontrolné merania,
- dokumentácia skutočného vyhotovenia stavby,
- majetkovoprávne vysporiadanie dokončených stavieb.

Vo fáze **prípravy výstavby** je potrebné zabezpečiť aktualizované mapové podklady všetkých stavenísk pre projektovú prípravu. Všetky tieto práce by mali prebiehať koordinovane na základe dohôd geodetov investora a projektanta tak, aby nedochádzalo k duplicitě prác a aby sa vždy dosiahla vyžadovaná presnosť podkladov.

Pri vyhotovovaní mapových podkladov je potrebné dôsledne dbať na riadnu stabilizáciu bodových polí na každej lokalite. Tieto body slúžia nielen na vyhotovenie mapových podkladov, ale aj na vyhotovenie geometrických plánov pred zahájením výstavby a vytyčenie obvodu staveniska. Na menších lokalitách nahradzujú vytyčovaciu sieť a slúžia na vyhotovenie dokumentácie skutočného vyhotovenia stavby i záverečných geometrických plánov dokončenej výstavby. Na základe mapových podkladov sa spracovávajú evidenčné údaje a výpisy bonity pôdy, vypočítajú straty poľnohospodárskej produkcie, vydávajú územné rozhodnutia a vyhotovujú geometrické plány na majetkovoprávne vysporiadanie stavenísk, ktoré sú veľmi dôležité pre vyňatie z poľnohospodárskeho a lesného pôdneho fondu.

Geodetické práce na hlavnom stavenisku jadrovej elektrárne sa obyčajne vykonávajú v **miestnej (lokálnej) geodetickej sieti**. Tým sa zjednodušia projekčné práce i samotné vytyčovanie objektov. Pri budovaní miestnej geodetickej siete pre potreby jadrovej elektrárne sa vyžaduje, aby geodetická sieť bola určená s vysokou presnosťou, pričom sa do popredia dostáva otázka zníženia ekonomických požiadaviek, nákladov vyložených na stabilizáciu, signalizáciu bodov, na zameranie siete a v neposlednej miere nákladov na meranie a údržbu siete. Počas budovania a neskôr i prevádzky objektov sa kontrolné merania geodetických sietí často opakujú, pričom požiadavky na presnosť určovaných parametrov siete ostávajú väčšinou nezmenené. Pri návrhu a meraní geodetických sietí jadrových elektrární sa aplikujú optimalizačné procedúry.

Na evidenciu nehnuteľností a tvorbu štátneho mapového fondu je potrebné určiť súradnice charakteristických bodov objektov elektrárne v záväznom celoštátnom súradnicovom systéme. Z tohto dôvodu je potrebné určiť spôsob transformácie súradníc a stanoviť metodologický postup na určenie parametrov transformačných rovníc, ktorý je potrebné po celý čas výstavby a prevádzky elektrárne dodržiavať.

Stabilitu bodov siete garantuje najmä spôsob stabilizácie a výber miesta. Výber miesta jednotlivých bodov siete sa riadi jednak potrebou zabezpečiť plynulý výkon geodetických prác počas výstavby a prevádzky elektrárne, ako aj geologickými podmienkami lokality určenými podrobným geologickým prieskumom. Spôsob stabilizácie musí zabezpečiť na jednej strane opakovateľnosť centrácie prístrojov a cieľových značiek s presnosťou o jeden rád vyššou ako je vyžadovaná presnosť určenia polohy bodu, na strane druhej dlhodobú stabilitu jeho polohy. Prvá z uvedených požiadaviek sa napĺňa centračnými prvkami trvale zabudovanými v každom bode siete. Druhá z požiadaviek sa napĺňa voľbou vhodnej hĺbky a tvaru stabilizácie každého bodu. Stabilita celej siete sa pravidelne kontroluje realizáciou epochových meraní, ktoré sa riadia metodológiou vypracovanou pre základné meranie geodetickej siete.

Vytyčovanie priestorovej polohy objektov elektrárne zabezpečuje geodet stavebníka (investora – Ministerstvo hospodárstva SR). Veľký dôraz sa kladie na vzájomný vzťah jednotlivých objektov, akákoľvek nepresnosť sa prejaví komplikáciami pri vytyčovaní a montáži technologických zariadení, ktoré sú navzájom prepojené.

Podrobné vytyčovanie zaisťujú spravidla geodeti zhotoviteľa s tým, že pri zvlášť významných konštrukciách sa vykonáva nezávislá kontrola geodetmi investora. Najväčšia

pozornosť je zameraná na objekty hlavného výrobného bloku, t. j. reaktorovňu, strojovňu s turbogenerátormi a na objekty technologicky súvisiace s objektami hlavného výrobného bloku. Osobitnú skupinu vytyčovacích prác tvorí podrobné vytýčenie vnútorného opláštenia a konštrukcie šachty lokalizácie havárie (ŠLH), ktorú tvorí dvojité zvarované ocelové plášť vyplnený betónom. Vnútorná konštrukcia pozostáva s nerezových stropov uložených na konzolách privarených na vnútorný plášť v určených miestach. Vyžadovaná presnosť pri realizácii ocelového opláštenia veže je formulovaná:

- krajnou odchýlkou od projektovaného tvaru (rozmeru) vnútorného opláštenia a konštrukcie 5 mm,
- strednou chybou vytýčenia polohy konzol 1 mm,
- krajnou chybou vo zvislosti vnútorného opláštenia 2 mm/30 m.

Vychádzajúc z vyššie uvedených hodnôt je potrebné vytyčovacie práce vo vnútri barbotážnej veže vykonávať so strednou chybou 1 mm.

Úspešné zvládnutie vytyčovacích prác spojených s výstavbou jadrovej elektrárne, vytvárajúcej svojou atypickou konštrukciou, rozmermi a spôsobom montáže mimoriadne obtiažne podmienky, vyžaduje pružné prispôsobovanie metodiky vytyčovania konkrétnym podmienkam a situáciám.

Význam a dôležitosť stavby jadrových elektrární i snaha o zaistenie maximálnej bezpečnosti a funkčnej spoľahlivosti ich objektov, ako integrujúceho činiteľa významne ovplyvňujúceho takmer všetky zložky komplexnej štruktúry elektrárne, sa premieta aj do geodetických **kontrolných meraní**. Hlavná pozornosť je opäť venovaná objektom hlavného výrobného bloku, hlavne jeho výškovej stabilite. Na výškové sledovanie niekoľkých desiatok objektov jadrovej elektrárne, na ktorých býva rozmiestnených vyše tisíc pozorovaných bodov sa používa metóda veľmi presnej nivelácie, počas prevádzky v spojení s hydrostatickou niveláciou a pendometrickou metódou. Meranie sadania objektov má veľký význam najmä preto, že počas výstavby sú základy objektov postupne zaťažované pribúdajúcou hmotou samotnej stavby ale aj technológiou. Postupná konsolidácia základovej pôdy a celého objektu je dôležitá najmä pre prevádzku elektrárne, počas ktorej by už k sadaniu nemalo dochádzať vôbec alebo v minimálnej miere.

Ďalšia skupina, okrem tradičných kontrolných meraní vykonávaných počas realizácie stavebných prác, je skupina kontrolných meraní vykonávaných na kontrolu geometrického tvaru vybraných častí stavebných objektov najmä v miestach budúcej montáže a osadenia technologických zariadení – žeriavových dráh, turbín, generátorov, potrubných celkov, čerpadiel a pod.

Osobitnú skupinu kontrolných meraní tvoria merania vykonávané pri zaťažovacích alebo prevádzkových skúškach technologických celkov a zariadení pred ich odovzdaním do prevádzky. Takéto merania sa obvykle vykonávajú pri napíňaní nádrží, potrubných systémov, spúšťaní agregátov alebo pri tlakových skúškach rôznych celkov. Do tejto skupiny patria merania spojené s kontrolou geometrického tvaru a rozmerov ŠLH a merania vykonávané

počas tlakových skúšok ŠLH, ktorá svojimi rozmermi a požiadavkami na presnosť meraní vyžaduje osobitný prístup a metodiku merania.

Z vykonávacej Vyhlášky ÚGKK SR č. 75/2011 Z. z. k Zákonu č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii, v znení neskorších predpisov vyplývajú povinnosti zhotoviteľa vyhotoviť **dokumentáciu skutočného vyhotovenia stavby**. Skutočný stav je potrebné dokumentovať na všetkých staveniskách, hlavne priebeh inžinierskych sietí, ktorých je na stavbe tohto druhu veľké množstvo. Priebežne sa zakresľujú všetky dokončené objekty do originálov mapových listov, ktoré sa vyhotovujú v mierke 1 : 500 a sú založené na každom stavenisku. Výsledky tejto dokumentácie sa využívajú aj pri spracovaní geometrických plánov dokončených objektov. Zápis objektov do katastra nehnuteľností sa pripraví v súčinnosti s právnym oddelením elektrárne.

9.4 Geodetické činnosti pri prevádzke jadrových elektrární

Otázka prevádzkovej (funkčnej) spoľahlivosti a bezpečnosti stavebných objektov sa dostáva v ostatných rokoch stále viac a viac do popredia, osobitne pri jadrových elektrárnach. Reálna spoločenská potreba zvýšiť bezpečnosť jadrových elektrární viedla k tomu, že sa okrem meraní preukazujúcich stabilitu objektov elektrárne vykonávajú aj merania poskytujúce informácie o prevádzkových procesoch, o účinku a vplyve prostredia, v ktorom sa objekty prevádzkujú. Zvýšené nároky kladené na realizáciu meraní sa prejavili nielen v ich množstve a variabilite, ale aj v kvalite (presnosti).

Príčina **zvýšených nárokov na realizáciu kontrolných meraní** je skutočnosť, že sa z dôvodu ochrany poľnohospodárskeho pôdneho fondu a ochrany životného prostredia jadrové elektrárne navrhujú a budujú na menej cenných pozemkoch s horšími geologickými, hydrogeologickými a základovými podmienkami. Budujú sa objekty neobvyklých konštrukcií a rozmerov alebo objekty, pri ktorých hlavné zariadenia (napr. turbogenerátory – TG) sú uložené na osobitných základových konštrukciách. Meraním posunov a pretvorení objektov elektrárne sa získavajú informácie, ktoré tvoria podklad na:

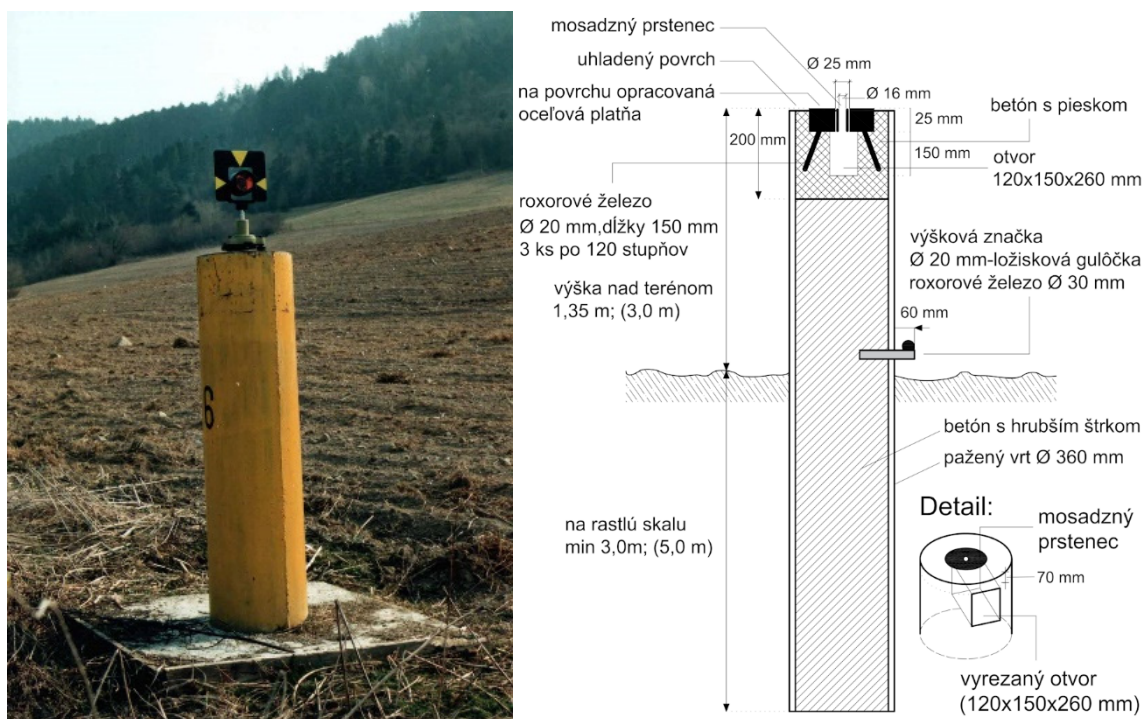
- overenie stability objektov, konštrukcií a technologických celkov,
- porovnávanie skutočných a predpokladaných (teoretických) hodnôt deformácií,
- overovanie kvality realizovaného postupu a technológie stavby,
- prognózu vývoja posunov a pretvorení,
- overovanie vplyvu prostredia, zaťaženia a prevádzky na stabilitu, funkčnú spoľahlivosť a bezpečnosť objektov.

Cieľom porovnávania skutočných a teoretických hodnôt je identifikácia rozporov medzi projektom, výpočtom a skutočnosťou. Výrazné rozpory signalizujú buď chyby v samotných konštrukciách, v predpokladoch alebo nedostatkoch v meraniach. Na základe výsledkov meraní sa realizujú potrebné opatrenia na včasné odstránenie nedostatkov.

Predmetom merania posunov a pretvorení sú predovšetkým objekty hlavného výrobného bloku (najmä základy turbogenerátorov a reaktora), chladiacich veží, objektov špeciálnych prevádzok, bezpečnostných objektov, ventilačných komínov a základy ďalších

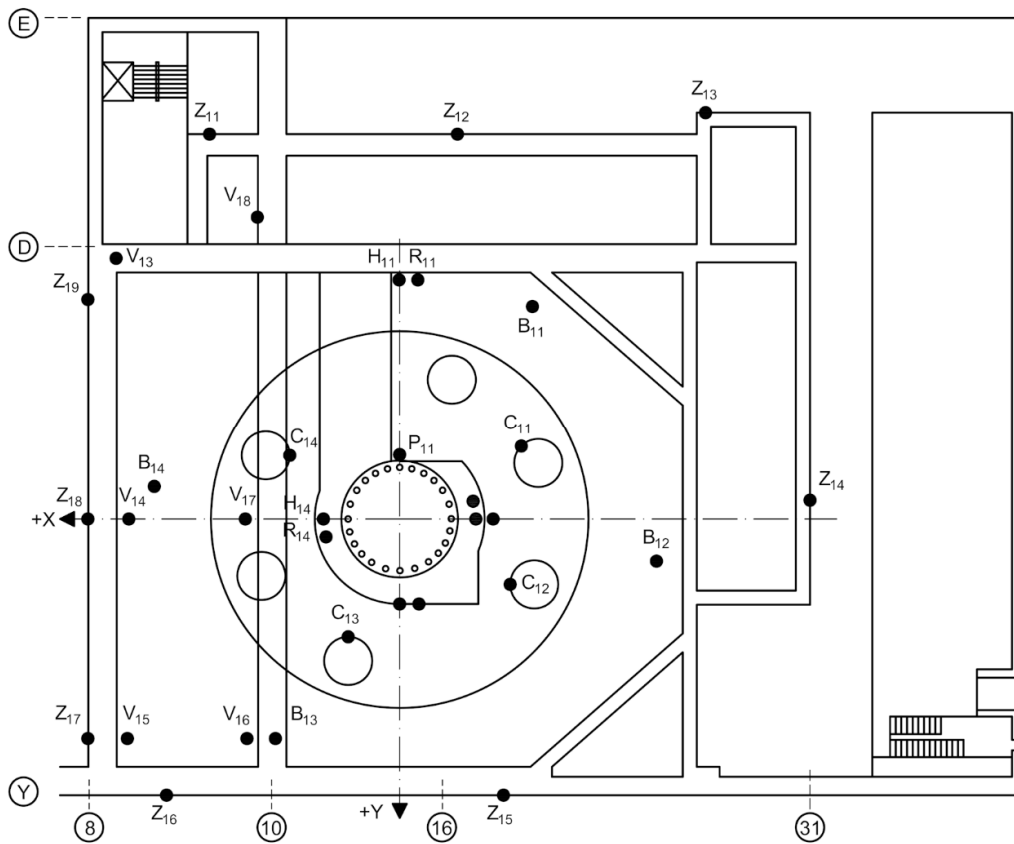
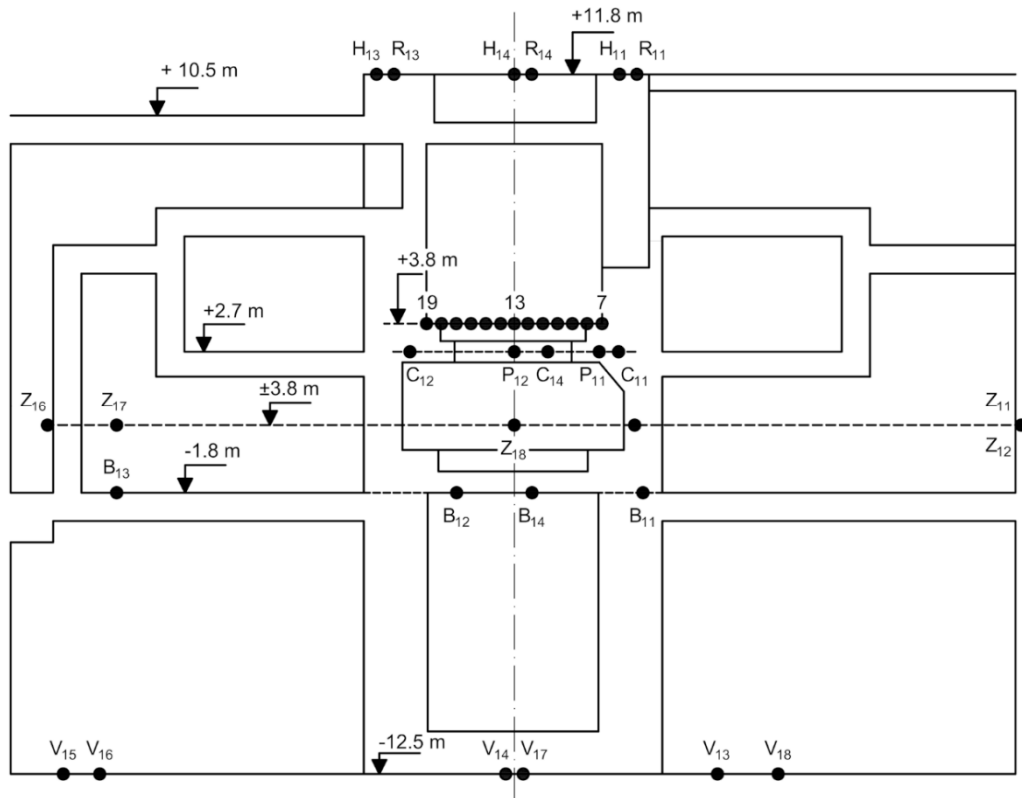
objektov, prípadne technologických zariadení, pri ktorých je vzhľadom na nepriaznivé základové a prevádzkové podmienky predpokladaný nerovnomerný priebeh posunov a pretvorení. Pre každý objekt, alebo jeho časť je potrebné vypracovať samostatne **projekt na meranie posunov a pretvorení**. Spoločný projekt na meranie posunov a pretvorení sa vypracuje pre objekty jednej stavby, ak sa vyžaduje súčasné vykonávanie meraní na všetkých objektoch predmetnej stavby.

Veľkú pozornosť je potrebné venovať **stabilizácii vzťažných a pozorovaných bodov**, resp. vybudovaniu nevyhnutných meračských zariadení. Do sústavy vzťažných bodov možno zahrnúť body miestnej geodetickej siete, ak svojím umiestnením a stabilitou vyhovujú požiadavkám. Vzťažné body sa obyčajne budujú a stabilizujú hĺbkovou stabilizáciou – technológiou pažených vrtov (Obr. 9.9). Hĺbka pažených vrtov siaha obvykle až na rastlú skalu, v prípade nesúdržného podložia a variujúcej hladiny podzemnej vody až do hĺbky niekoľkých desiatok metrov. Na hlave takto vybudovaných pilierov sa osadí zariadenie na nútenú centráciu a z boku čapová značka.



Obr. 9.9. Hĺbková stabilizácia bodu paženým vrtom

Pozorované body na objektoch sú stabilizované klasickými alebo špeciálnymi značkami, ktoré umožňujú realizáciu meraní adekvátnymi metódami uvedenými v projekte. Značky pozorovaných bodov sa zhotovujú z antikoroźného materiálu a voči poškodeniu sú chránené krytom, resp. poklopom. Pozorované body objektov elektrární môžu byť umiestnené vo viacerých úrovniach – podľa druhu objektu a inštalovaných technologických zariadení (Obr. 9.10).



Obr. 9.10. Rozmiestnenie pozorovaných bodov na objekte reaktora v reze a pôdoryse

Na meranie posunov a pretvorení objektov jadrových elektrární sa vo všeobecnosti využívajú **metódy** známe a obvykle používané na meranie posunov a pretvorení. Je však potrebné pri ich aplikácii mať na zreteli zvýšené požiadavky na presnosť výsledkov meraní a na osobitné podmienky, pri ktorých sa tieto merania vykonávajú. Najčastejšie využívané metódy na realizáciu epochových kontrolných meraní sú:

- veľmi presná nivelácia,
- polárna metóda,
- trigonometrická metóda,
- metóda zámernej priamky,
- vybrané fotogrametrické metódy,
- laserové skenovanie.

Osobitnú kategóriu tvoria kontinuálne dlhodobé merania, na realizáciu ktorých sa využívajú inštalované autonómne fungujúce meracie systémy využívajúce princíp:

- hydrostatickej nivelácie,
- pendametrie.

Predmetom kontrolných meraní sú objekty hlavného výrobného bloku v členení na objekty primárneho a sekundárneho okruhu a vybrané objekty nachádzajúce sa mimo hlavný výrobný blok (vonkajšie objekty). Skupinu kontrolných meraní primárneho okruhu tvoria merania:

- zvislých posunov budovy reaktorov,
- naklonenia reaktorov – metódou veľmi presnej nivelácie, hydrostatickou niveláciou a pendametriou,
- zvislých posunov turbogenerátorov a pridružených čerpadiel,
- geometrických parametrov ŠLH,
- geometrických parametrov žeriavových dráh a žeriavov.

Skupinu kontrolných meraní sekundárneho okruhu tvoria merania:

- zvislých posunov základov budovy strojovne,
- zvislých posunov turbogenerátorov – v úrovni spodnej základovej dosky a stípv (-5,0 m), hornej základovej dosky (nesúcej technologické zariadenie v úrovni +9,5 m) a v úrovni samotného technologického zariadenia (cca +10,5 m),
- geometrických parametrov žeriavových dráh a žeriavov.

Skupinu kontrolných meraní vonkajších stavebných objektov a zariadení tvoria merania:

- zvislých posunov chladiacich veží,
- zvislých posunov a naklonenia ventilačných komínov,
- zvislých posunov dieselgenerátorovej stanice,
- zvislých posunov medziskladu vyhoretého paliva,
- zvislých posunov budovy aktívnych pomocných prevádzok,
- zvislých posunov čerpacej stanice a vodojemov,
- geometrických parametrov žeriavových dráh a žeriavov.

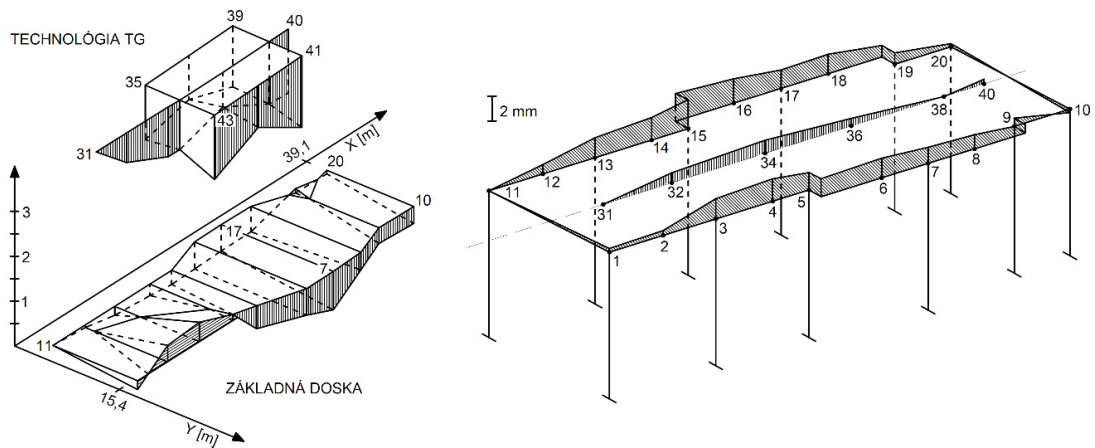
Harmonogram kontrolných meraní je rozdielny, podmienený prevádzkovými a bezpečnostnými požiadavkami elektrárne, resp. geologickými podmienkami základovej pôdy pod jednotlivými objektami elektrárne. Kontrolné meranie reaktorov metódou hydrostatickej nivelácie a pendometrie prebieha kontinuálne. Meranie zvislých posunov najdôležitejších zariadení primárneho a sekundárneho okruhu sa realizuje spravidla dvakrát ročne počas prevádzky a jedenkrát počas odstávky. Geometrické parametre ŠLH sa kontrolujú počas výstavby a zaťažovacích skúšok. Interval kontroly geometrických parametrov žeriavových dráh a žeriavov závisí od ich prevádzkového zaťaženia a prevádzkových možností realizácie meraní.

Popri vyššie uvedených meraniach sa súbežne vykonávajú merania na monitorovanie prevádzkových podmienok a faktorov ovplyvňujúcich samotné merania (teplota, vlhkosť a pod.). Tieto merania sú obvykle vykonávané v režime nezávislom od geodetických meraní (podľa požiadaviek prevádzky alebo realizátorov iných meraní) v pravidelných niekoľko hodinových intervaloch, resp. periódou 24 hodín. Pre potreby geodetických meraní sa zo zostavy vyberú aktuálne hodnoty patriace časovému intervalu pred a po realizácii geodetických meraní. V osobitne prípadoch možno vykonať meranie týchto parametrov v presne stanovenom čase podľa požiadavky realizátora geodetických meraní. Do tejto skupiny meraní patria:

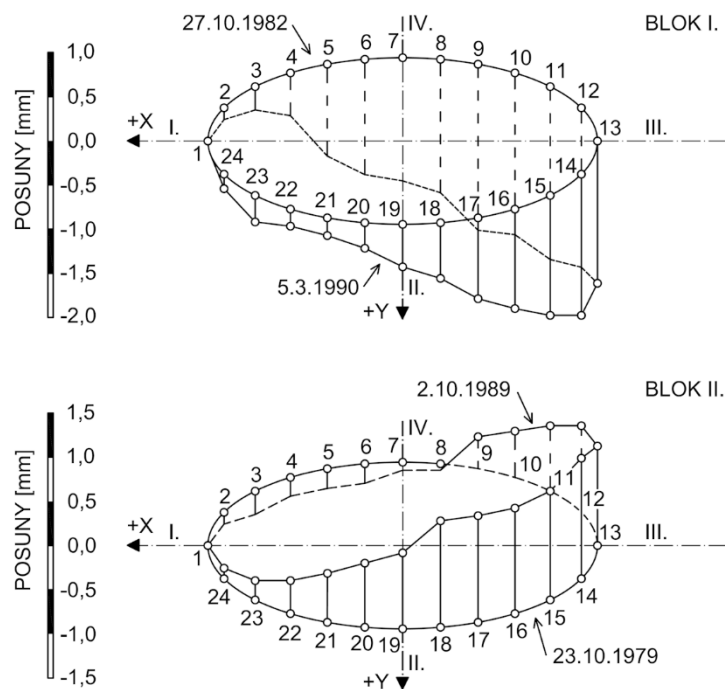
- meranie teploty technologických zariadení, stavebných konštrukcií, pozorovaných bodov a ovzdušia,
- meranie vlhkosti ovzdušia a základovej pôdy,
- meranie výšky hladiny podzemnej vody,
- monitoring prevádzkových podmienok (výkon, otáčky, vibrácie zariadenia, predĺženie, pretvorenie konštrukčných prvkov zariadení a pod.).

Závažnosť problematiky **spracovania a vyhodnotenia výsledkov meraní** v jadrových elektrárnach podčiarkuje najmä otázka ich bezpečnosti. Vzhľadom na vysokú presnosť meraní a vyžadovanú spoľahlivosť výsledkov a ich interpretácie je nevyhnutné v tomto procese zohľadniť všetky faktory ovplyvňujúce výsledky meraní. Na základe skúseností a poznatkov je potrebné venovať osobitnú pozornosť spracovaniu výsledkov merania siete vzťahných bodov v prípadoch umiestnenia vzťahných bodov priamo na objekte alebo v rámci zóny pôsobenia zaťaženia, resp. síl spôsobujúcich pretvorenie. Stabilitu vzťahných bodov je vhodné kontrolovať metódou kongruentného testu opakovaných meraní alebo inými postupmi vychádzajúcimi z matematicko-štatistických testov.

Rozhodnutie o posune pozorovaného bodu je potrebné zásadne prijať na základe aplikácie vhodných matematicko-štatistických testov a opierajúcich sa o výberové charakteristiky získané meraním. Obvykle dlhá séria opakovaných meraní umožňuje aplikáciu týchto testov na vyššej úrovni spoľahlivosti ako pri bežných aplikáciách v inžinierskej geodézii. Na druhej strane vysoká presnosť meraní znižuje rozdiel medzi hodnotou strednej chyby merania a veľkosťou posunu (Obr. 9.11 a 9.12). Táto skutočnosť kladie zvýšené nároky na spoľahlivosť rozhodovacieho procesu (algoritmu) aplikovaného na výsledky merania.



Obr. 9.11. Grafické znázornenie posunov pozorovaných bodov hornej základovej dosky a technologickej časti turbogenerátora



Obr. 9.12. Grafické znázornenie posunov pozorovaných bodov deliacej roviny reaktora

Význam poznania očakávaného správania sa jednotlivých objektov jadrovej elektrárne je z hľadiska jej bezpečnosti kritický. Z uvedeného dôvodu sa vyžaduje okrem bežnej analýzy a interpretácie výsledkov aj poskytnutie informácie o budúcom správaní sa objektov. Nato sa na základe poznania fyzikálnych vlastností základovej pôdy, stavebnej konštrukcie objektu, jej statického a prevádzkového zaťaženia vytvárajú modely popisujúce budúce správanie sa objektu. Výsledky geodetických meraní posunov a pretvorenia objektov tu potom plnia úlohu verifikácie spracovaných modelov a zároveň prispievajú ku spresneniu parametrov modelu, čím prispievajú k zvýšeniu jeho vierohodnosti. Aplikáciou metodiky viacfaktorovej korelačnej analýzy je možné na základe geodetických meraní určiť a parametrizovať funkčný vzťah medzi veličinami charakterizujúcimi fyzikálne prostredie, samotný objekt a jeho pretvorenie.

9.5 Modernizácia a zvyšovanie bezpečnosti jadrových elektrární na Slovensku

Jadrová elektráreň V1 bola uvedená do prevádzky v roku 1978. Uskutočnilo sa na nej viac ako 1000 technických úprav. Proces zvyšovania jadrovej bezpečnosti tejto elektrárne bol formulovaný do celkov. V rokoch 1991-1993 sa zrealizovala malá rekonštrukcia. Neskôr vykonaný „Basic engineering“ poskytol komplexnú analýzu stavu elektrárne s vytypovaním systémov, ktoré treba ďalej upraviť.

Rozsiahly program postupnej rekonštrukcie v rokoch 1996 až 2000 uzavrel dôležitú etapu v histórii našej najstaršej jadrovej elektrárne. Ukončením rekonštrukčných prác v roku 2000 dosiahla JE V1 medzinárodne akceptovateľnú úroveň bezpečnosti. Jadrová elektráreň V1 sa stala pilotnou a najbezpečnejšou jadrovou elektrárnou typu VVER 440 - V230. Zrealizovaním postupnej rekonštrukcie sa dokázala modernizovateľnosť jadrových elektrární s týmto typom reaktorov na požadovanú bezpečnostnú úroveň.

Elektráreň V1 preukázala schopnosť zariadenia pracovať so západnými systémami, ktoré boli počas rekonštrukcie nainštalované. Najlepší príklad je činnosť inštalovaného najmodernejšieho digitálneho systému „Teleperm XS“, pracujúceho v riadení a ochranách reaktora. Všetky medzinárodné hodnotenia oceňujú, že bezpečnosť jadrovej elektrárne V1 sa výrazným spôsobom zvýšila. Tento fakt vyplynul aj zo záverov hodnotiacej misie Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (MAAE) i zo správy Asociácie západoeurópskych jadrových dozorcov (WENRA) z r. 2000. Súčasná úroveň jadrovej bezpečnosti a prevádzky JE V1 je v súlade s požiadavkami medzinárodných štandardov.

Jadrová elektráreň V2 bola uvedená do prevádzky v roku 1985. Program modernizácie a zvyšovania bezpečnosti blokov jadrovej elektrárne V2 zahŕňa výsledky činností, ktoré boli vykonané v uplynulých rokoch a definuje všetky významné akcie, vedúce k zvyšovaniu jadrovej bezpečnosti, dosiahnutiu pravdepodobných cieľov podľa odporúčaní MAAE, spoľahlivosti a hospodárnosti prevádzky počas ich projektovej životnosti a vytvorenie podmienok na predĺženie životnosti.

Bezpečnostný koncept na modernizáciu a zvyšovanie bezpečnosti jadrovej elektrárne V2 bol rozdelený na dve časti – bezpečnostný koncept a samotnú realizáciu modernizácie jadrovej elektrárne V2, plánovanú na tri etapy – do roku 2004, 2006 a 2008. Modernizácia zahŕňala päťdesiat hlavných úloh. Medzi najdôležitejšie úlohy modernizácie patrili seizmické z odolnenie vybraných zariadení primárneho okruhu, z odolnenie vnútorného zariadenia ŠLH, technické vylepšenie pre havarijné systémy atď. Obe elektrárne v J. Bohuniciach a Mochovciach prešli záťažovými testami, ktorým bolo vystavených všetkých 143 európskych reaktorov. Európska komisia nariadila toto testovanie po havárii elektrárne vo Fukušime. Záťažové testy preverili odolnosť reaktorov v prípade nehody, zemetrasenia, povodní a ďalších mimoriadnych udalostí.

10 Základná mapa závodu

Geodetické podklady tvoria významnú časť vstupných informácií jednak pri projektovaní, tak aj pri prevádzke priemyselných objektov. Dôležitý zdroj informácií sú pritom mapové podklady využívané v investičnom procese doplnené o špecifický obsah vlastný priemyselným závodom a zariadeniam. Pri tvorbe týchto podkladov sa vychádza zo štátneho mapového diela veľkej mierky, ktoré súvislo zobrazuje územie so základným všeobecne využiteľným obsahom vyhotoveným podľa jednotných zásad. Vydavateľom štátneho mapového diela je orgán štátnej správy, ktorý pri jeho tvorbe vychádza z aktuálnych údajov informačného systému geodézie, kartografie a katastra. Pre potreby zabezpečenia investičného procesu a prevádzky priemyselných závodov sa využíva najmä základné štátne mapové dielo vytvorené v mierke 1 : 5000 a väčšej, označované ako základná mapa veľkej mierky (ZMVM).

Základné mapy veľkých mierok vyhotovujú organizácie riadené ÚGKK SR podľa STN 01 3410 a STN 01 3411. Tematické mapy veľkých mierok sa vyhotovujú podľa smernice 984 230 S/84 na vyhotovovanie účelových máp a ďalších rezortných predpisov a nariadení. Základné mapy veľkej mierky sa vyhotovujú v piatich triedach presnosti v závislosti od mierky a metódy merania (Tab. 10.1).

Tabuľka 10.1 Odporúčané mierky máp podľa tried presnosti mapovania

Trieda presnosti mapy	Presnosť mapovania [m]		Mierka mapy
	Podrobný polohový bod	Podrobný výškový bod	
1	0,04	0,03	1 : 200 (500)
2	0,08	0,07	1 : 500 (1000)
3	0,14	0,12	1 : 1000 (500; 2000)
4	0,26	0,18	1 : 2000 (1000; 5000)
5	0,50	0,35	1 : 5000 (2000)

Tematické štátne mapové dielo sa tvorí z aktuálnych údajov informačného systému geodézie, kartografie a katastra pridaním tematického obsahu. Tematické štátne mapové dielo je kartografické dielo súvislo zobrazujúce územie s tematickým obsahom prírodných, sociálno-ekonomických a technických objektov, javov alebo vzťahov vyhotovené podľa jednotných zásad, spravidla na podklade základného štátneho mapového diela, ktorého vydavateľom je orgán štátnej správy. Tematické mapy sa podľa účelu delia na mapy slúžiace na:

- projektovanie a urbanizmus,
- vyhotovovanie územno-plánovacej dokumentácie,
- prevádzku organizácií a inštitúcií,
- pozemkové úpravy,
- lesnícke a vodohospodárske účely,
- dokumentáciu pamiatkových objektov,

- prevádzku inžinierskych sietí a vedení,
- projektovanie a prevádzku dopravných stavieb,
- projektovanie a prevádzku podzemných priestorov,
- geologický a hydrologický prieskum,
- ďalšie.

Medzi tematické mapové diela (účelové mapy) veľkej mierky patria napríklad technická mapa mesta, základná mapa letiska, základná mapa diaľnice, jednotná železničná mapa, základná mapa závodu, základná banská mapa a pod.

10.1 Tvorba základnej mapy závodu

Základná mapa závodu je účelová mapa veľkej mierky vyhotovená podľa vybraných technických predpisov (Vyhláška ÚGKK SR č. 300/2009 Z. z. v znení neskorších predpisov), (Metodický návod ZMZ, 1983), (STN 01 3410). Podrobne zobrazuje objekty a technické zariadenia v závode a v jeho v záujmovom území (okolí), nachádzajúce sa na povrchu, pod povrchom a nad ním. Vyhotovuje sa s cieľom napomáhať výkonu činností súvisiacich s plánovaním, projekčnou činnosťou a prevádzkou závodu. Je dielom základného významu napomáhajúce vedeniu podrobnej evidencie a inventarizácie budov, inžinierskych sietí a technologických zariadení v závode.

Základná mapa závodu slúži ako podklad na vyhotovenie ďalších diel a dokumentov využívaných pri prevádzke závodu – vlečkový plán, požiarne plány, plány na riešenie mimoriadnych udalostí a iné. Je nevyhnutným podkladom na mapovanie, evidenciu nehnuteľností a vyhotovenie geometrických plánov v závode.

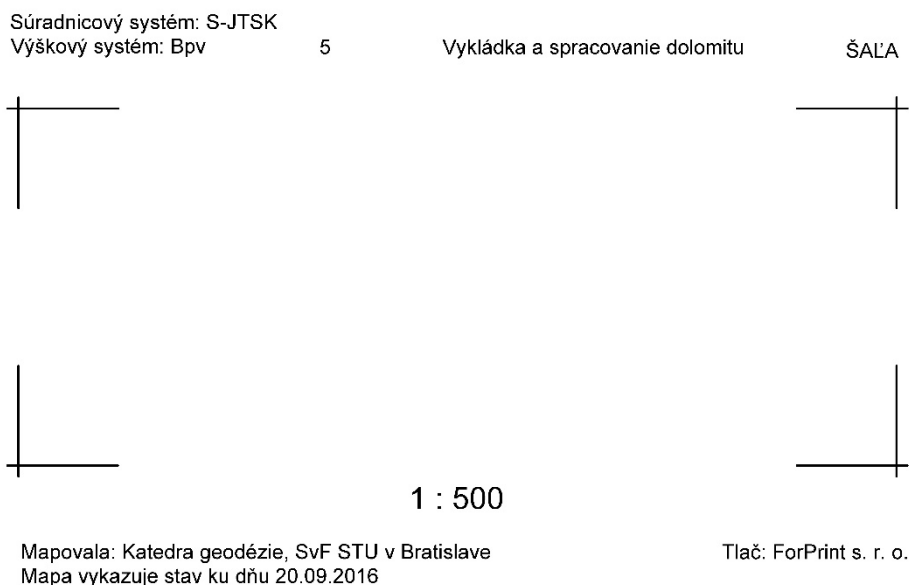
Základná mapa závodu sa vyhotovuje na podklade základnej mapy veľkej mierky, resp. technicko-hospodárskej mapy s doplnením ďalších predmetov a detailov získaných priamym meraním. V prípade, že nie je z predmetného územia k dispozícii základná mapa veľkej mierky, vyhotoví sa základná mapa závodu priamym meraním v druhej, resp. tretej triede presnosti.

Vyhotovuje sa v záväzných **referenčných systémoch** (najčastejšie v súradnicovom systéme S-JTSK a vo výškovom systéme Bpv). Výnimku tvoria závody, ktoré majú vlastný miestny súradnicový systém, prípadne výškový systém z minulosti (niektoré závody dodnes používajú výškový systém Jadranský). Výnimky v používaní referenčných systémov udeľuje ÚGKK SR.

Základná mierka na vyhotovenie základnej mapy závodu je mierka 1 : 500. Podľa hustoty predmetov merania sa môžu voliť mierky menšie alebo väčšie (1 : 1000, 1 : 250 alebo 1 : 200). Pri voľbe mierky mapy je treba zväziť podrobnosť zobrazenia polohopisu a prehľadnosť výslednej kresby. **Rozmery a klad mapových listov** základnej mapy závodu vychádza z kladu máp veľkých mierok. Posunutie mapového listu je dovolené v prípadoch, v ktorých sa posunutím docieli zobrazenie územia závodu na jednom mapovom liste. Mapový list možno posunúť o celé hektometre v smere oboch súradnicových osí. Rozmer mapového

listu musí byť nezmenený aj pri jeho posunutí. Mimo rámové údaje obsahujú názov závodu, mapy, referenčné systémy, názov vyhotoviteľa, dátum zberu údajov a mierku (Obr. 10.1).

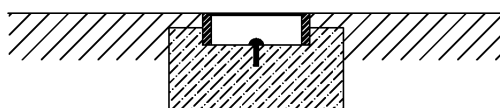
ZÁKLADNÁ MAPA ZÁVODU



Obr. 10.1. Mimo rámové údaje mapového listu

Obsah základnej mapy závodu tvorí polohopis, výškopis, body polohového a výškového bodového poľa a popis. Základná mapa závodu obsahuje všetky objekty obvykle zobrazované pri tvorbe základnej mapy veľkej mierky. Okrem toho obsahuje ďalšie objekty tvoriace nevyhnutnú súčasť prevádzky závodu (napr. dopravné zariadenia, žeriové dráhy, komíny, vedenia, potrubné siete a mnohé ďalšie).

Polohopis základnej mapy závodu tvoria správne, katastrálne, vlastnícke a užívateľské hranice, hranice druhu pozemkov, prírodných, pamiatkových a iných chránených oblastí, ďalej stavebné objekty, zariadenia či už trvalého alebo dočasného charakteru, ktoré majú pre chod závodu rozhodujúci význam (výrobné objekty, dielne, sklady, garáže, dopravné objekty, chodníky a pod.). Podkladom na tvorbu základnej mapy závodu je bodové pole, ktoré sa pre účely mapovania primerane zhusťuje a spresňuje. Zvyšuje sa aj počet platných číslíc, tak pri registrácii meraných veličín (dĺžok) ako aj pri výpočtoch súradníc na tri. Body polohového bodového poľa sa stabilizujú trvalo osadenými značkami na spevnených plochách alebo komunikáciách v úrovni hornej konštrukčnej vrstvy komunikácie. Je vhodné body osádzať pod úroveň vozovky, chránené poklopom (Obr. 10.2).



Obr. 10.2. Stabilizácia bodu pod úrovňou vozovky (spevnenej plochy)

Pri budovách sa vyznačujú vstupy, či vjazdy, počet podzemných a nadzemných podlaží a nadmorská výška prvého nadzemného podlažia. Osobitnú časť polohopisu tvoria objekty

a zariadenia špeciálneho určenia, napr. rotačné pece, vysoké pece, plynojemy, vodojemy, chladiace veže a pod. Obrisy budov sa zvýrazňujú sivou farbou alebo sa celý objekt zvýrazní sivou farbou.

Rozsiahlu časť polohopisu tvoria dopravné objekty, pri ktorých sa vyznačujú osi koľají, vlečiek, lanových dráh, dopravníkových pásov, mostov, lávok, rôznych prejazdov, podjazdov, nadjazdov, nadchodov, tunelov a podchodov. Vyznačujú sa obrubníky, chodníky, ostrovčeky ale aj stožiare osvetlenia, signalizácie (semafory, majáky) a pod. Pri koľajovej doprave sú predmetom merania a zobrazenia výhybky (miesto odbočenia, začiatok a koniec), návestia, nárazníky, ako aj ďalšie zariadenia slúžiace na plynulú prevádzku dráh a pod.

Osobitná pozornosť sa venuje objektom v podzemí a podzemným vedeniam. Ich priebeh sa zakresľuje na základe podkladov od správcov týchto vedení a protokolárneho potvrdenia ich priebehu správcom. Správca vedenia je povinný potvrdiť rozmery, druh a materiál vedenia, ako aj médium, ktoré vedenie prenáša. Vyhľadávanie vedení rôznymi hľadačmi má slúžiť len na doplnenie chýbajúcej informácie. Neistota v určení polohy a hĺbky vedenia sa vyznačí v mape čiarkovanou čiarou. Pri veľkej hustote vedení, resp. pri ich uložení v kolektoroch sa vyznačí priebeh jedného z vedení a opíšu sa všetky vedenia nachádzajúce sa v kolektore. Predmetom merania sú aj vedenia, ktoré sú aktuálne vyradené z prevádzky, čo sa vyznačí v mape.

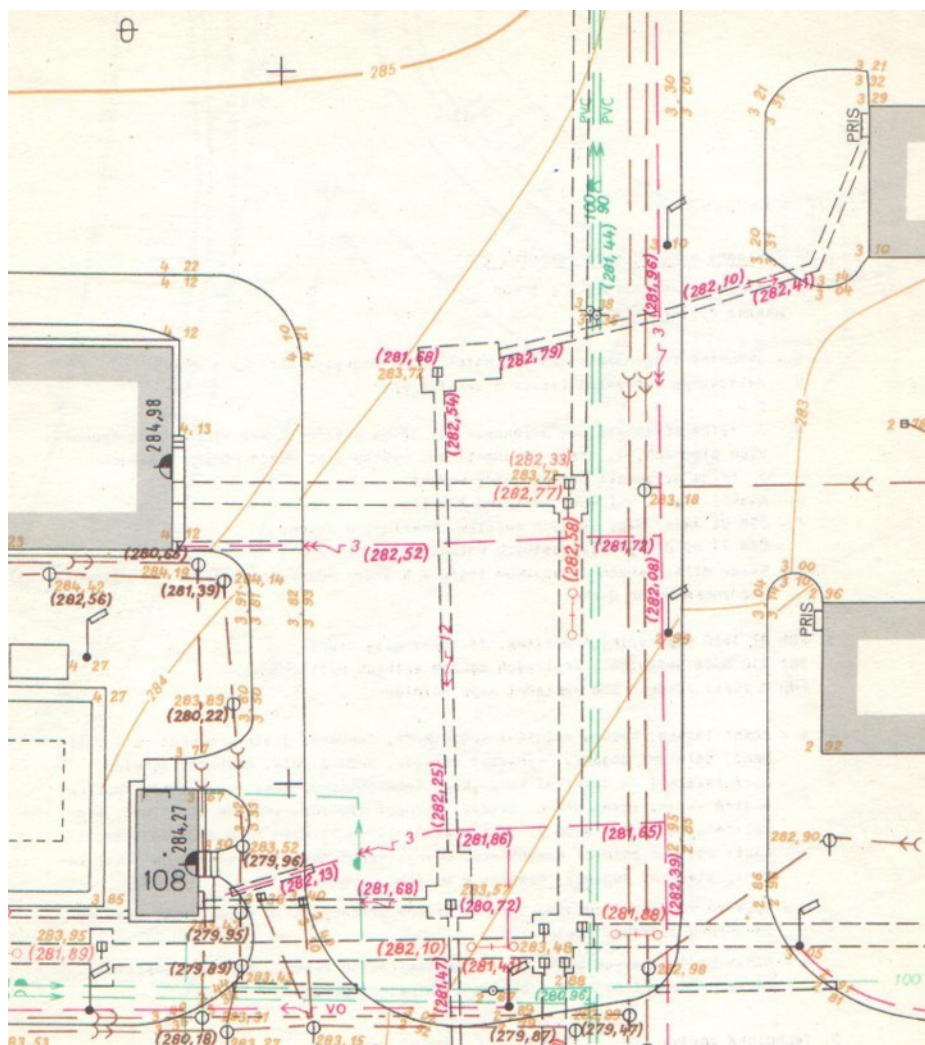
Výškopis sa vyznačuje kótami, vrstevnicami a šrafami. Podkladom na tvorbu výškopisu je výškové bodové pole, ktorého body sa stabilizujú čapovými značkami v základoch budov. Vzďialenosť medzi bodmi miestnej výškovej siete by nemala prekročiť hodnotu 200 m. Výškové bodové pole závodu sa pripojí na viacerých miestach na body ŠNS.

Kótami sa vyznačujú výšky bodov na spevnených povrchoch, pri vstupoch do budov, na poklopoch a pod. Výšky bodov na spevnených povrchoch sa uvádzajú v metroch na dve desatinné miesta (Obr. 10.3).

Tvorba základnej mapy závodu sa realizuje podľa **projektu**, ktorý okrem údajov uvedených v osobitnom predpise určuje:

- obvod záujmového priestoru tvorby základnej mapy závodu,
- spôsob stabilizácie a číslovania novo zriaďovaného podrobného bodového poľa v súlade s technickou normou,
- ďalšie doplňujúce opatrenia (zabezpečenie vstupov do závodu pre členov meračskej skupiny a pod.).

Zhotoviteľ základnej mapy závodu ďalej zadováži predchádzajúce časti geodetických prác, využiteľné na tvorbu základnej mapy závodu (meračské náčrty, výpočty použitých meračských sietí, meračské originály, odtlačky a pod.), geodetické údaje a prehľady bodov základného a podrobného polohového bodového poľa, nivelačné údaje bodov ŠNS a súvisiace prehľady, mapový podklad na zakreslenie obvodu záujmového priestoru, prehľad geometrického základu mapovania, prehľad kladu meračských náčrtov, prehľad postupu prác a pod.



Obr. 10.3. Ukážka časti základnej mapy závodu

V závode si zhotoviteľ základnej mapy závodu zadováži všetky podklady a informácie) o existencii, priebehu a technických parametroch podzemných a nadzemných vedení, resp. inžinierskych sietí. Informuje sa o využiteľnosti predchádzajúcich geodetických prác, uložených v archíve závodu a v dokumentáciách archívoch iných organizácií a správcov inžinierskych sietí. Zároveň požiadava odberateľa o zabezpečenie potrebných podkladov.

Vyhotovenie základnej mapy závodu v digitálnej podobe neupravujú žiadne technické predpisy. Obsah digitálnej základnej mapy závodu sa usporiada do vrstiev a súborov v programovom prostredí umožňujúcom tvorbu línií, značiek a objektov podľa existujúcich predpisov.

Pri **rekognoskácii** sa upresní postup prác stanovený projektom. Zhodnotia sa predovšetkým skutočnosti, ktoré majú význam pre organizáciu pracovných postupov, voľbu meračských metód s ohľadom na základné metódy stanovené projektom, vyšetrovanie priebehu podzemných inžinierskych sietí a bezpečnosť práce. Zároveň sa posúdi využiteľnosť podkladov získaných z dokumentácií a archívov jednotlivých organizácií, súlad skutočností s predmetnými získanými podkladmi, charakter zástavby (hustota, veľkosť a členenie

objektov), členitosť terénu z hľadiska prístupnosti, intenzita dopravnej premávky, plánovaná spotreba času a nákladov.

Na základe uzavretej zmluvy o dielo a vymedzenia záujmového priestoru sa vykoná identifikácia obvodu záujmového priestoru tvorby základnej mapy závodu. Nejasnosti sa vyšetriť a usporiadajú za účasti zástupcu odberateľa. Po zhodnotení výsledkov rekognoskácie lokality v teréne sa s prihliadnutím na požadovanú presnosť prác, ako aj spôsobu spracovania a hospodárnosti prác, upresní:

- spôsob doplnenia podrobného bodového poľa,
- prípadná kombinácia stanovenej základnej mapovacej metódy s metódami doplnujúcimi.

Na meranie prvkov polohopisu sa najčastejšie využíva **polárna metóda**. V minulosti prevládala metóda pravouhlých súradníc a metóda konštrukčných omerných mier. V niektorých prípadoch sa vhodne aplikovali metódy pretínania napred a vybrané metódy fotogrametrie. V súčasnosti sa javí ako veľmi efektívny nástroj na zber údajov technológia terestrického laserového skenovania. Vzhľadom na zložitosť a členitosť objektov priemyselného závodu je vhodné uvedené metódy pri meraní kombinovať. Podrobné body polohopisu sa určujú v 2. triede presnosti mapovania.

Na meranie prvkov výškopisu sa najčastejšie využíva **metóda technickej a plošnej nivelácie**. Polárnu metódu možno využiť na meranie podrobných bodov nespevnených povrchov. Výšky podrobných bodov na spevnenom povrchu a výšky vybraných bodov objektov sa určia v 1. triede presnosti mapovania, výšky bodov na nespevnenom povrchu v 3. triede presnosti mapovania.

Predmetom merania sú stavebné objekty a zariadenia, dopravné objekty a zariadenia, potrubné a elektrické vedenia, vodohospodárske objekty a zariadenia, podzemné objekty a podzemné priestory, zeleň a nespevnené plochy.

Pri meraní **budov** sa určí prienik ich obvodových stien s terénom, predmetom merania sú vchody a vjazdy do budov, priechody, schodiská, výstupky väčšie ako 0,1 m až do úrovne druhého nadzemného podlažia. Pri vchodoch a vjazdoch je predmetom merania svetlá šírka a výška. Priamym meraním sa určia výšky prvého nadzemného podlažia, prahov pri vstupe, relatívne výšky nakladacích rámp vzhľadom ku komunikácii.

Pri **portálových konštrukciách** je potrebné merať betónové pätky jednotlivých podpier konštrukcie (v prieniku s terénom), osi podpier, ktoré sa vyznačia krížikom, ako aj výstužnú konštrukciu. Plne vymurovaná časť **stavieb na pilieroch a stĺpoch** sa nachádza nad zemou a terén pretínajú iba nosné piliere alebo stĺpy. Preto pri týchto stavbách je predmetom merania iba nosná časť a teda vlastný nadzemný objekt. Zariadenia, prípadne potrubia medzi objektom a zemou patria svojim charakterom do vnútorného technologického vybavenia, a preto nie sú predmetom merania pri meraní stavebnej konštrukcie objektu.

Pri meraní **technologických zariadení** (rotačné pece, plynojemy, chemické reaktory, vysoké pece a pod.) sú predmetom merania základy, hlavné osi, polomery (priemery), prírodné potrubia a iné charakteristické prvky. Vzhľadom na zložitosť konštrukcií je potrebné pri meraní tieto čiastočne generalizovať.

Predmetom merania objektov **čistiacich staníc, chladiacich veží a nádrží** je okrem základov a charakteristických prvkov nádrží aj výška dna a miesta zaústenia prítokov a odtokov.

Predmetom merania sú ďalej oporné múry, ploty, čerpacie stanice pohonných hmôt vrátane výdajných stojanov mimo objektov, premostenia medzi budovami, mostové váhy, telefónne búdky, výťahové šachty a továrenské komíny, vykladacie rampy a schodišťa mimo budov. Ak sú komíny neprístupné, ich stred a polomer sa určí nepriamym spôsobom. Určí sa aj nadmorská výška vrchu komína.

Pri **pozemných komunikáciách** je potrebné merať vozovku cestnej komunikácie, chodníky, krajnice, priekopy, deliace pásy, nástupné ostrovčeky, lavičky, mosty, cestné a železničné tunely, železničné prechody, nadjazdy, podjazdy, podchody, priepusty oporné múry, stožiare trolejového vedenia a semaforey.

Predmetom merania sú ďalej **železničné koľaje** a všetky prevádzkovotechnické zariadenia zabezpečujúce plynulú prevádzku a bezpečnosť na železnici – výhybky, sklonovníky, námedzníky, železničné dopravné značky, staničníky, rampy, montážne koľaje, oporné múry, obvod a stred mostných konštrukcií, koľajové váhy, zarážadlá, točne, výkoľajky, závory a pod. Pri výhybkách sa určí počiatok, bod odbočenia, koniec hlavného smeru a koniec odbočenia. Pri križovatkovej výhybke je potrebné merať tiež jej stred. Výškovo je potrebné určiť výšku hlavy koľajnice (hlavne pri vjazdoch do budov, v miestach križovania koľají alebo križovania s vozovkou a pod), v oblúkoch je potrebné určiť výšku hlavy vnútornej neprevýšenej koľajnice

Pri žeriavoch a **žeriavových dráhach** mimo budov (vonkajších) je potrebné merať jednotlivé podpery a osi podvozkových koľajníc. Pri žeriavoch je potrebné určiť najväčšiu dĺžku výložníka a nosnosť pre túto dĺžku. Nevyhnutné je určiť výšku hlavy koľajníc dráhy.

Pri dopravníkoch je potrebné určiť ich os a šírku, ako aj označiť smer pohybu pracovnej časti, rozlíšiť umiestnenie (pozemné, podzemné a nadzemné). Cievky a valčeky posunovacieho zariadenia pri dopravníkoch je potrebné určiť v ich osiach. Pri budovách je potrebné určovať tiež výšky premostení medzi nimi, výšky prevísajúcich konštrukcií aj výška dna podjazdov.

Pri meraní **podzemných objektov** je potrebné merať zariadenia vystupujúce na povrch. Pokiaľ nie je obrys objektov zrejмый, vyznačí sa v hrubých rysoch podľa stavebných výkresov a dokumentácie. Túto skutočnosť je však potrebné uviesť v technickej správe.

Pri **vodných tokoch** a vodohospodárskych plochách je potrebné merať brehovú čiaru, obrys vodnej nádrže, plavebné komory, náhony, hate, stavidlá, prahy, korytá, prepážky, prepádové hrany, sklzy, záchytné objekty, vodočty, limnigrafy, studne, staničníky a pod. Výškovo je potrebné určiť výšku dna koryta vodného toku a výšku hladiny vody v nádrži s dátumom merania.

Priebeh **elektrických vedení a prevádzkových potrubí** sa vyjadruje polohou ich osí. Súčasne sú predmetom merania zariadenia ako elektrické rozvodné skrine, spínacie stanice,

transformátory, meniarne atď. Druhy jednotlivých vedení sa rozlišujú podľa technickej normy. Pri nadzemných vedeniach sa merajú stredy stožiarov (stĺpov) a nástenné konzoly, svietidlá, vonkajšie hodiny a rozhlasové reproduktory. Ak sú betónové pätky stožiarov viditeľné v teréne a ich rozmery umožňujú zobrazenie v mierke mapy, meria sa ich pôdorys. Pri podzemných vedeniach sa merajú všetky vedenia, ktorých existencia bola zistená spracovateľom pri vyšetovaní. Priebeh vedenia je potrebné určiť polohopisným meraním dostatočného počtu charakteristických bodov vedenia. Pri viditeľných zariadeniach podzemných vedení (vstupné šachty, hydranty a pod.) je potrebné merať ich stredy. Pri potrubných vedeniach je potrebné určiť priemer potrubia, pri kanalizáciách treba rozlíšiť tvar stoky.

Pri kolektoroch je potrebné merať vnútornú stranu stien a miesta odbočenia jednotlivých vedení. Ak nie je možné zobraziť steny kolektora v mierke mapy, meria sa iba os kolektora. Zakaždým je však potrebné merať priečne rezy v charakteristických miestach kolektora. Na priečných rezoch sa vyznačí poloha vedení, ktoré kolektorom prechádzajú.

Ak sa vyskytuje viac vedení vedľa seba, je potrebné merať os každého z nich. Ak nie je možné v mierke mapy zobraziť všetky vedenia, potom je potrebné merať iba osi krajných vedení. V prípade, že mierka mapy neumožňuje zobrazenie krajných osí vedení, určí sa ich spoločná os. Ak sú vedenia nad sebou, určí sa ich os, počet a druhy vedení. Ak záujmovým územím prechádza vedenie podliehajúce utajeniu, musí byť táto skutočnosť potvrdená odberateľom. Postup pri určovaní priebehu podzemných vedení je podrobne rozobraný v osobitnom predpise.

Nadmorské výšky pri kanalizáciách, kolektoroch, potrubných a káblových kanáloch a tvárnícových tratiach sa určujú vždy vo vstupných šachtách alebo káblových komorách (pri kanalizácii výška dna v strede šachty, pokiaľ je dno v spádovej rovine, inak výšky vtoku a výtoku).

Predmetom merania **zelene** sú jednotlivé stromy, ktoré netvoria súčasť parkovacích úprav o priemere kmeňa 0,15 m a väčšom. Pri týchto stromoch a porastoch sa určuje aj priemer koruny. Rozlíšenie porastu sa určuje na základe technickej normy.

Výsledky vyšetovania a merania sa zaznamenávajú okrem registračných zariadení aj do **meračských náčrtov**. Spôsob záznamu zodpovedá použitej metóde podrobného merania a spôsobu spracovania ZMZ. Základné náležitosti meračských náčrtov stanovuje technická norma. Pri tvorbe ZMZ sa podľa množstva zobrazovaných skutočností a podľa metódy podrobného merania upresní, aké druhy meračských náčrtov budú založené (samostatné náčrty pre polohopis, výškopis, podzemné vedenia, pomocné náčrty a pod.). Všetky druhy náčrtov sa označia číslom a názvom závodu a doplnia sa označením účelu. Označenie účelu sa napíše pod označenie náčrtu rovnakým typom písma.

Formálne náležitosti meračských náčrtov sú stanovené osobitným predpisom. Vedenie náčrtov a ich adjustácia pri automatizovanom a čiastočne automatizovanom spracovaní vykonávame podľa postupov uvedených v osobitných predpisoch. Pri neautomatizovanom spracovaní sa v náčrtoch zaznamenávajú a adjustujú všetky číselné údaje, ktoré nie sú uvedené v zápisníkoch (napr. konštrukčné údaje pri použití ortogonálnej metódy, omerné

miery a pod.). **Rámové náčrty** sa označujú číslom podľa delenia príslušného mapového listu podľa technickej normy, **blokové náčrty** sa číslujú priebežne číslami 1 až 999.

Súčasť výsledného elaborátu je vždy technická správa, ktorá okrem základných údajov má obsahovať spôsob určenia priebehu podzemných vedení, spôsob merania a zobrazenia podzemných objektov a posúdenie presnosti využitých podkladov. Priebeh meračských a spracovateľských prác sa dokumentuje v sprievodnom zázname v súlade s osobitným predpisom. Jeho formu a obsah stanovuje osobitný predpis (MN na tvorbu ZMVM). Výsledný elaborát tvoria:

1. Sprievodné časti operátu

- Technická správa
- Sprievodný záznam
- Záznamy o kontrole
- Projekt ZMZ
- Ohlasovací list geodetických prác
- Návrtná dokumentácia odberateľa
- Číselné a grafické podklady z prípravných prác
- Zápisy o prevzatí, dodacie listy, potvrdenky, zápisy o priebehu podzemných vedení

2. Zoznamy súradníc a grafické prehľady

- Zoznamy súradníc a výšok
- Geodetické údaje
- Niveláčny údaje
- Prehľadný náčrt bodového poľa

3. Zápisníky

4. Náčrty

- Prehľad meračských náčrtov
- Meračské náčrty

5. Geodetické výpočty

6. Meračské originály

7. Kartografické originály

8. Tlačové podklady

9. Iné výsledky geodetických prác

Jednotlivé časti elaborátu sa vyhotovujú vo formáte A4 alebo sa do tohto formátu skladajú (okrem častí 4, 5 a 7). Vkladajú sa do hlavných častí a tieto sa vkladajú do obalov doplnených podpisom a pečiatkou autorizovaného geodeta a kartografa. Na vnútorných stranách obalov je potrebné umiestniť zoznam jednotlivých častí (uvedie sa názov časti, počet kusov, počet listov). Po dokončení prác odovzdá spracovateľ časti elaborátu určené pri ohlásení prác príslušnému územnému orgánu geodézie a kartografie v zmysle Zákona č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov.

10.2 Údržba základnej mapy závodu

V priemyselných závodoch a objektoch sú opravy, rekonštrukcie a prestavby veľmi časté. Z uvedeného dôvodu je aktuálnosť obsahu základnej mapy závodu značne obmedzená, ak sa tento pravidelne nedopĺňa. Predmetom údržby sú najmä zmeny polohopisu, výškopisu a zmeny inžinierskych sietí. Podkladom na vyšetrenie zmien sú údaje o prevádzke závodu, jeho investičného oddelenia a čiastočne zhotoviteľov stavebných prác. Zmeny sa zisťujú a vyšetrujú pravidelnou pochôdzkou závodu, najmä častí v ktorých dochádza k investičnej činnosti, rekonštrukciám či už objektov alebo technologických zariadení.

Zmeny sa dokumentujú priamym meraním rovnakou metódou a rovnakou presnosťou, akou boli merané dotknuté objekty pri vyhotovovaní základnej mapy závodu. Zmeny sa vyznačujú do kópií pôvodných meračských náčrtov. V prípade rozsiahlych zmien sa vyhotovujú nové náčrty. V minulosti sa zmeny v tlačových origináloch vykonali retušou alebo preškrtnutím, v súčasnosti sa v príslušnej vrstve vyhotoví nová kresba.

Každá zmena v elaboráte základnej mapy závodu musí byť zaznamenaná písomne s časovou stopou. Pri vyhotovovaní elaborátu v digitálnej forme je vhodné zachovať pôvodné súbory a súbory s novým obsahom uložiť pod novým označením (uviesť verziu, resp. dátum vyhotovenia).

Literatúra

- AL-MANASIR, K. – LICJTI D.D. 2015. Self-Calibration of a Leica HDS7000 Scanner. In *FIG Working Week 2015 : Technical programme and proceedings. Sofia, Bulgaria, 17. - 21. 5. 2015*. Copenhagen : International Federation of Surveyors, 2015. ISBN 978-87-92853-35-6. 12 p.
- ANDĚL, J. 2007. *Statistické metody*. 4.vyd. Praha : Matfyzpress, 2007. 299 s. ISBN 978-80-7378-003-6.
- ARNOLD, R. 1989. Eine neue Technologie für Kranbahnkontrollmessungen. In *Vermessungstechnik*. 1989, pp. 52-55.
- BANÍK, I. – BANÍK, R. – BANÍK M. 2007. *Fyzika a elektronika*. Bratislava : STU Bratislava, 2007. 508 s. ISBN 978-80-227-2625.
- BOTCH, M. – PAULY, M. – ROSSL, C. – BISCHOFF, S. – KOBELT, L. 2006. Geometric modeling based on triangle meshes. In *ACM SIGGRAPH 2006 Courses*. ACM : New York, 2006. ISBN 1-59593-364-6. 148 p.
- BOTCH, M. – PAULY, M. – KOBELT, L. – ALLIEZ, P. – LÉVY, B. – BISCHOFF, S. – ROSSL, C. 2008. Geometric modeling based on polygonal meshes. In *ACM SIGGRAPH 2007 Courses*. ACM : New York. ISBN 978-1-4503-1823-5. 188 p.
- BREZINA, I. 1987. *Súradnicové meracie stroje a ich skúšanie*. Praha : Vydavateľství úřadu pro normalizaci a měření, 1987. 151 s.
- BROMOVÁ, E. – VARGONČÍK, D. – SOVADINA, M. 2013. *Jadrová energia a jadrová energetika*. Simopt, s.r.o., 2013. ISBN 978-80-87851-06-7
- CHOW J.C.K. – LICHTI D.D. – TESKEY W.F. 2010. Self-calibration of the Trimble GS200 terrestrial laser scanner. In *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Newcastle : ISPRS, 2010. pp. 161-166.
- CHRISTENSEN, R. 2011. *Plane Answers to Complex Questions – The Theory of Linear Models*. Springer : New York, 2011. 517 p. ISBN 978-1-4419-9815-6.
- CNC-STEP. 2016. *T-Rex 1224 CNC Milling Machine*. [online]. Geldern : CNC Step, 2016. [cit. 2016-09-20] Dostupné na internete: <<https://www.cnc-step.de/en/t-rex-1224-cnc-milling-machine-1200x2400mm/>>
- DEMAG CRANE & COMPONENTS GMBH. Demag Surveying-Service. More safety, increased availability, lower costs. [CD ROM].
- DRAŽAN, F. – KRUPKA, L. 1968. *Jeřáby. Technický průvodce. Svazek 13*. Praha : SNTL, 1968. s. 255-267. ISBN 04-227-68.
- ERDÉLYI, J. et al. 2010. Analýza kvality 3D modelov vytvorených z údajov získaných terestrickými laserovými skenermi. In *Geodézia, kartografi a geografické informačné systémy*

- 2010: VI. Vedecko-odborná konferencia s medzinárodnou účasťou. Demänovská dolina. 7.-9.9.2010. Košice : FBERG TUKE, 2010, ISBN 978-80-553-0468-7, nestr.
- ERDÉLYI, J. – KYRINOVIČ, P. 2010. Určenie priestorového tvaru obvodového plášťa výškovej budovy technológiou terestrického laserového skenovania. In *Aktuální problémy inženýrské geodézie 2010 : Seminář*, 2010, s.19-27. ISBN 978-80-02-02220-6.
- ERDÉLYI, J – KYRINOVIČ, P. – LIPTÁK, I. 2013. Diagnostika aktivačnej nádrže ČOV technológiou TLS. In *Slovenský geodet a kartograf*. Roč. 18, č. 2 (2013). pp. 10-13. ISSN 1335-4019.
- ERDÉLYI, J. – KOPÁČIK, A. – ILKOVIČOVÁ, Ľ. – LIPTÁK, I. – KAJÁNEK, P. 2014. Deformation Monitoring of a Parabolic Roof Structure using TLS. In *INGEO 2014 : Proceedings of the 6th International Conference on Engineering Surveying*. 1. vyd. Praha : Czech Technical University, 2014, pp. 75-80. ISBN 978-80-01-05469-7.
- ERDÉLYI, J. 2015 Automated point clouds processing for deformation monitoring. In *Geoinformatics*. Vol. 14, No. 2 (2015), pp. 47-54. ISSN 1802-2669.
- FERJENČÍK, P. – SCHUN, J. – DUTKO, P. 1982. *Kovové konštrukcie II., 1. časť*. Bratislava : Edičné stredisko SVŠT, 1982. s. 152-241.
- FITZGIBBON, A. et al. 1999. Direct Least Square Fitting of Ellipses. In *Pattern Analysis and Machine Intelligence*. ISSN 0162-8828, 1999. vol. 21, no. 5.,
- FRINDRICHOVÁ, M. 2014. *Koncepcia rozvoja geodetických základov ÚGKK SR na roky 2011-2015. Aktualizácia : Koncepcia*. Bratislava : ÚGKK SR, 2014. 7 s.
- GRUEN, A. – AKCA, D. 2005. Least squares 3D surface and curve matching. In *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. ISSN 0924-2716, 2005, vol. 59, no. 3, p. 151–174.
- GUIBAS, L. et al. 2009. Primitives for the manipulation of general subdivision and the computation of Voronoi. In *ACM Transactions on Graphics*. ISSN 0730-0301, 2009, vol. 4, no. 2, p. 74-123.
- HARVEY, B.R. – RÜEGGER, J.M. 1992. Theodolite observations and least squares. In *Australian Surveyor*. ISSN 0005-0326, 1992, vol. 37, no. 2, pp. 120-128.
- HÁNEK, P. – BURŠÍKOVÁ, O. 1993. Měření jeřábových drah totálními stanicemi. In *Geodetický a kartografický obzor*. ISSN 1805-7446, roč. 39/81, č. 1, s. 8-11.
- HÁNEK, P. – JIRÁSKOVÁ, J. 2000. Znovu o měření jeřábových drah totálními stanicemi. In *Geodetický a kartografický obzor*. ISSN 1805-7446, roč. 46/88, č. 2/2000, s. 21-25.
- HERDA, M. 1968. *Hlavní směry využití geodetických metod k měření rozměru, tvaru a plochy velkých strojních součástí* : Dílčí výzkumní zpráva č. 295. Praha : VÚGTK Praha, 1968.
- HERDA, M. – PŘYKRIL, S. 1969. *Geodetická práce při montáži, kontrole a rektifikaci rotačních pecí* : Technologický postup. Praha : ČÚGK. s. 36.

- HEXAGON. 2015. *Leica Absolute Tracker AT 960. Product brochure*. [online]. Heerbrugg : Hexagon, 2015. 16 p. [cit. 20-09-2016] Dostupné na internete: <http://www.hexagonmi.com/de-AT/products/laser-tracker-systems/leica-absolute-tracker-at960>
- HEXAGON. 2015. *Romer Absolute Arm. Overview brochure*. [online]. Heerbrugg : Hexagon, 2015. 2 p. [cit. 20-09-2016] Dostupné na internete: <http://www.hexagonmi.com/de-AT/products/portable-measuring-arms/romer-gridlok>
- HEXAGON. 2016. *Global Line. Versatile Coordinate Measuring Machines*. [online]. Stockholm : Hexagon, 2016. 16 p. [cit 2016-10-10] Dostupné na internete: <http://www.hexagonmi.com/de-AT/products/coordinate-measuring-machines/bridge-cmms/global-classic>.
- JCGM 200. 2012. *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*. [online]. 3rd edition. Sevres : BIPM, 2012. [cit. 2016-07-15]. Dostupné na: <http://www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html>
- KAŤUCH, P. 2010. *Metrológia v strojárstve. Laboratórne úlohy – teoretická časť*. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2010. 71 s. ISBN 978-80-553-0543-1.
- KECHNIE, G. 2005. *Gauge Block Accessory*. [online]. 1 p. [cit. 2016.07.15] Dostupné na internete: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=102989>.
- KERSTEN, T.P. – STERNBERG, H. – MECHELKE, K. 2005. Investigation into the accuracy behaviour of the terrestrial laser scanning system Mensi GS100. In *Proceedings of Optical 3-D Measurement Techniques VII, 3-5 October 2005, Vienna, Austria*. ISBN 3-9501492-2-8, pp. 122-131.
- KOPÁČIK, A. 1998. *Meracie systémy v inžinierskej geodézii*. 1. vydanie. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 1998. 183 s. ISBN 80-227-1036-9.
- KOSKA, B. 2009. *Optoelektronické metódy 3D zamerení povrchů předmětů*. Dizertačná práca. Praha : ČVUT Praha 2009. 182 s.
- KRSEK, A. – HERBERT OSANNA, P. – KURIC, I. – PROSTREDNÍK, D. 2002. *Strojárska metrológia a riadenie kvality*. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2002. s. 234-241. ISBN 80-227-1789-4
- KRUMPHANZL, V. – MICHALČÁK, O. 1975. *Inženýrská geodézie II*. Praha : Kartografie, n. p. s. 270-280.
- KŘEMEN, T. 2008. *Moderní 3D skenovací systémy* : Dizertačná práca. Praha: ČVUT Praha, 2008.
- KYRINOVIČ, P. – KOPÁČIK, A. 2005. Monitorovanie stavebného objektu snímačmi naklonenia. In *Acta Montanistica Slovaca*. ISSN 1335-1788, 2005, roč. 10, č. 2, s. 140-150.
- KYRINOVIČ, P. 2011. *Automatizované meranie geometrických parametrov žeriavových dráh*. *Edícia vedeckých prác*. STU Bratislava, Stavebná fakulta, 2011, 145 s. ISBN 978-80-227-3563-6.

KYRINOVIČ, P. et al. 2015. Porealizačné zameranie kotevných prvkov opláštenia výškovej budovy. In *Geodézie ve stavebnictví a průmyslu 2015*. Praha : Český svaz geodetů a kartografů o.s., 2015, ISBN 978-80-02-02600-6, s. 67-76.

LEICA GEOSYSTEMS. 2009. Surveying Reflectors – White Paper. Characteristics and Influences. Heerbrug : Leica Geosystems, 2009. 13 p.

LEICA GEOSYSTEMS. 2015. Leica Geosystems Metrology Products Catalog Version 1.3. [online]. Heerbrug : Leica Geosystems, 2015. [cit. 2016.09.20]. Dostupné na internete: http://metrology.leica-geosystems.com/downloads123/m1/metrology/general/brochures/Leica%20Geosystems%20Metrology%20Products_catalog_en.pdf

LECHNER, J. 1986. Měření geometrických parametrů jeřábových dráh při použití měřicího vozíku s dálkovým ovládním. In *Geodetický a kartografický obzor*. ISSN 1805-7446, roč. 32/74, č. 5/1986, s. 117-122.

LICHTI, D. D. – FRANKE, J. 2005. Self-calibration of the iQsun 880 laser scanner. In *Proceedings of Optical 3-D Measurement Techniques VII, 3-5 October 2005, Vienna, Austria*. ISBN 3-9501492-2-8, pp. 122-131.

LICHTI, D. D. 2007. Modelling, calibration and analysis of an AM-CW terrestrial laser scanner. In *ISPRS Joournal of Phottogrammetry and Remote Sensing*, ISSN 0924-2716, 2007, vol. 61, no. 5, pp. 307-324.

LUHMANN, T. 2006. *Close Range Photogrammetry*. Scotland, UK : Whittles Publishing, 510 s. ISBN 1-870325-50-8.

LUKÁČ, Š. – KOPÁČIK, A. 1986. Analytické určovanie smerových parametrov žeriavových dráh. In *Geodetický a kartografický obzor*. ISSN 1805-7446, roč. 32/74, č. 6/1986, s. 143-148.

LUKÁČ, Š. – JUZWA, K. 1991. Aktuálne problémy geodetického merania žeriavových dráh. In *40 rokov Katedry geodézie SvF STU v Bratislave. Zošit 16*. Bratislava : SVŠT. s. 105-117.

LUKÁČ, Š. 2003. Kontrola geometrických parametrov žeriavových dráh. In *Činnosti a úlohy autorizovaných geodetov a kartografov*. 2. vyd. Bratislava : Komora geodetov a kartografov, 2003. ISBN 80-227-1857-2, s.179-196.

LUKÁČ, Š. 2015. *Geodézia v priemysle. Učebné texty*. Bratislava : STU v Bratislave, 2015.

MAHR. 2016. *Millimess. Mechanické přesné indikátorové úchylkoměry*. [online]. 5 p. [cit. 2016.07.15]. Dostupné na internete: <http://web.tuke.sk/smetrologia/pdf/indikatory_mahr.pdf>

MAGLAY, J. – HALOUZKA, R. – BAŇACKÝ, V. – PRISTAŠ, J. – JANOČKO, J. 1999. *Neotektonická mapa Slovenska v mierke 1 : 500 000*. MŽP SR a GSSR, Bratislava.

MÁJOVSKÁ, H. 2011. *Koncepcia rozvoja geodetických základov ÚGKK SR na roky 2011-2015* : Koncepcia. Bratislava : ÚGKK SR, 2011. 16 s.

MICHALČÁK, O. et al. 1990. *Inžinierska geodézia II*. Bratislava : Vydavateľstvo Alfa, 1990, s.153-157. ISBN 80-05-00678-0.

- MICHALČÁK, O. *et al.* 1998. *Inžinierska geodézia. Vybrané inžiniersko-geodetické metódy*. 2. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 1995, s.102-119. ISBN 80-227-0731-7.
- MOJŽIŠ, M. 2011. *Priemyselné meranie*. [online]. Košice : Technická univerzita v Košiciach, [cit. 2016.07.15]. 79 s.. Dostupné na internete: <http://kteem.fei.tuke.sk/dokumenty/PM.pdf>. ISBN 978-80-553-0683-4.
- OKABE, A – BOOTS, B – SUGIHARA K. 1992. *Spatial tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*. New York - Wiley, 1992. ISBN 0471986356.
- ONDRIŠ, Ľ. – RUSINA, V. – BUZÁŠI, J. – TRUTZ, M. – PASKALA, M. – LUKÁČ, Š. - ŠKRABÁLEK, M. 2005. Tilting at pressure vessels. In *Nuclear engineering international*. ISSN 0029-5507, 2005, Vol. 50, No. 609, pp.14-17.
- REMTA, F. 1974. *Jeřáby. 1. díl*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1974, s. 337-490. ISBN 04-216-74.
- REMTA, F. 1975. *Jeřáby. 2. díl*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1975, s. 103-245, 543-550. ISBN 04-235-75.
- RENISHAW. 2010. *Renishaw PH20. Product brochure*. Gloucestershire : Renishaw, 2010. 4 p. [cit. 2016-10-05] Dostupné na internete: <http://www.renishaw.com/media/pdf/en/5e4e97eae27247d9ac3ca075f32b2c32.pdf>
- RENISHAW. 2013. *Renishaw OMP 40-2. Product brochure*. Gloucestershire : Renishaw, 2013. 6 p. [cit. 2016-10-05] Dostupné na internete: <http://www.renishaw.com/media/pdf/en/caf903a006f04fb3893c81bca6f4fa15.pdf>.
- RENISHAW. 2015. *Renishaw REVO 2 and RSP2 probes. Product brochure*. Gloucestershire : Renishaw, 2015. 2 p. [cit. 2016-10-05] Dostupné na internete: <<https://www.renishaw.com/cmmsupport/knowledgebase/en/revo-2--33018>>.
- ROJKOVIČOVÁ, M. 2001. *Meranie a vyhodnotenie geometrických parametrov atypickej žeriavovej dráhy* : Diplomová práca. Bratislava : Stavebná fakulta STU, 2001.
- RUSINKIEWICZ, S. – LEVOV, M. 2001. Efficient variants of the ICP algorithm. In Proceedings Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling 28th May 2001. Quebec : IEEE, 2001. ISBN 0-7695-0984-3, pp. 145 – 152.
- SALO, P. – JOKINEN, O. – KUKKO A. 2008. On the calibration of the distance measuring component of a terrestrial laser scanner. In *International Archives of the Photogrammetry, remote Sensing and Spatioal Information Sciences*, ISPRS : Vienna. ISSN 1682-1750. pp. 1067-1071.
- SCHNEIDER, D. – SCHWALBE, E. 2008. Integrated processing of terrestrial laser scanner data and fisheye-camera image data. In *International Archives of the Photogrammetry, remote Sensing and Spatioal Information Sciences*, ISPRS : Vienna. ISSN 1682-1750. pp. 1037-1043.

- SEPS. 2012. *Program rozvoja SEPS, a.s. na roky 2013 - 2022* [online]. Bratislava : Slovenská elektrizačná prenosová sústava. 2012. [cit. 2012-03-15]. Dostupné na internete: http://sepsas.sk/seps/Dokumenty/ProgRozvoj/2012/02/PR2022_verejnost_v2.pdf
- SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE. 2011. *Správa o činnosti Atómovej elektrárne Mochovce a Bohunice V2 2010* [online]. Bratislava : Slovenské elektrárne, 2011. 55 s.
- SMITH, M. W. 2015. *Direct acquisition of elevation data: Terrestrial Laser Scanning In Geomorphological Techniques*. London : British Society for Geomorphology, 2015. ISSN 2047-0371, 14 p.
- SMÍTKA, V. 2013. *Přesnost 3D skenovacích technológií v geodézii a možnosti jejího zvyšování* : Dizertačná práca. Praha : ČVUT Praha, 2013. 160 s.
- SMZ JELŠAVA. 2016. *SMZ Jelšava. Prezentačné materiály*. [online]. Jelšava : SMZ, 2016. [cit. 2016.10.01] Dostupné na internete: <<http://www.smzjelsava.sk/sk/vyroba>>
- ŠTRONER, M. et al. 2013. *3D skenovací systémy*. Praha : ČVUT v Praze, 2013. 396 s. ISBN 978-80-01-05371-3.
- TAYLOR HOBSON. 2013. Talyvel 6 and clinometers. [online]. 4 p. [cit. 2016.10.01] Dostupné na internete: <http://www.taylor-hobson.com/uploads/downloads/products/Talyvel_6_Lowres_EN_Overview.pdf>
- TALYVEL. 2016. Talyvel. [online]. 1 p. [cit. 2016.10.01] Dostupné na internete: <https://en.wikiversity.org/wiki/Talyvel>
- WARNECKE, H.J. – DUTSCHKE, W. 1984. *Fertigungsmesstechnik. Handbuch für Industrie und Wissenschaft*. Berlin : Springer Verlag, 1984. 812 s. ISBN 978-3-642-51753-2.
- VOSELMAN, G. – MAAS, H. G. 2010. *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Dunbeath : Whittles Publishing, 2010. 318 s. ISBN 978-1904445-87-6.
- ZÁMEČNÍKOVÁ, M. 2007. *Testovanie terestrických laserových systémov*. Bratislava : STU v Bratislave, 2007. 178 s. ISBN 978-80-227-2699-3.

Právne a technické predpisy

Zákon č. 142/2000 Z. z. o metrológii v znení neskorších predpisov.

Zákon č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov.

Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 400/1999 Z. z., ktorým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách na ostatné určené výrobky.

Vyhláška č. 74/1996 Z. z. na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci, bezpečnosti tlakových, zdvíhacích, elektrických a plynových technických zariadení a o odbornej spôsobilosti.

Vyhláška č. 75/2011 Z. z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky č. 300/2009 Z.z., ktorou sa vykonáva zákon Národnej rady Slovenskej republiky č. 215/1995 Z.z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov.

Vyhláška č. 162/2011 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole v znení neskorších predpisov.

Vyhláška č. 206/2000 Z. z. o zákonných meracích jednotkách v znení neskorších predpisov.

Vyhláška č. 300/2009 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon Národnej rady Slovenskej republiky č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov.

Metodický návod č. MN 987312/1983 na určovanie priestorových vzťahov žeriavových dráh. SÚGK, Bratislava 1983. (zrušený).

Metodický návod na tvorbu Základnej mapy závodu (1985).

Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach (984 120 I/82).

Smernica o účelových mapách veľkých mierok (984 230 S/84).

ISO 12488-1:2012, Cranes - Tolerances for wheels and travel and traversing tracks - Part 1: General.

ISO 17123-1:2014, Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 1: Theory.

STN EN ISO 286-1:2010, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Sústava pravidiel ISO na tolerovanie dĺžkových rozmerov. Časť 1: Základné ustanovenia na tolerancie, odchýlky a uloženia (ISO 286-1: 2010).

STN EN ISO 286-2:2010 Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Sústava pravidiel ISO na tolerovanie dĺžkových rozmerov. Časť 2: Tabuľky tolerančných tried a medzných odchýlok pre diery a hriadele (ISO 286-2: 2010).

STN EN ISO 8015:2012, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Základy. Koncepty, princípy a pravidlá (ISO 8015: 2011).

STN EN ISO 10360-1:2002, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 1: Slovník (ISO 10360-1: 2000).

STN EN ISO 10360-2:2010, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 2: CMM používané na meranie dĺžkových rozmerov (ISO 10360-2: 2009).

STN EN ISO 10360-3:2002, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 3: CMM, ktorých štvrtou osou je os otáčania stola (ISO 10360-3: 2000).

STN EN ISO 10360-4:2002, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 4: CMM používané v režime merania skenovaním (ISO 10360-4: 2000).

STN EN ISO 10360-5:2011, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 5: CMM používajúce snímacie systémy s jedným a viacnásobným dotykcom (ISO 10360-5: 2010).

STN EN ISO 10360-6:2003, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 6: Odhad chýb vo výpočte Gaussových pridružených prvkov (ISO 10360-6: 2001).

STN EN ISO 10360-7:2011, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 7: CMM vybavené obrazovými snímacími systémami (ISO 10360-7: 2011).

STN EN ISO 10360-8:2014, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 8: CMM vybavené optickými senzormi vzdialenosti (ISO 10360-8: 2013).

STN EN ISO 10360-9:2014, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM). Časť 9: Súradnicové meracie stroje s viacsonďovými systémami (ISO 10360-9: 2013).

STN EN ISO 11146-1:2005, Lasery a laserové zariadenia. Skúšobné metódy na šírku laserového lúča, uhly rozbiehavosti a pomer šírenia zväzku. Časť 1: Stigmatický a jednoduchý astigmatický lúč (ISO 11146-1: 2005).

STN EN 1090-1+A1:2012, Zhotovovanie oceľových a hliníkových konštrukcií. Časť 1: Požiadavky na posudzovanie zhody konštrukčných dielcov (Konsolidovaný text).

STN EN 1090-2+A1:2012, Zhotovovanie oceľových a hliníkových konštrukcií. Časť 2: Technické požiadavky na oceľové konštrukcie (Konsolidovaný text).

STN EN 1090-3:2010. Zhotovovanie oceľových a hliníkových konštrukcií. Časť 3: Technické požiadavky na hliníkové konštrukcie.

STN EN 1993-6:2010, Eurokód 3. Navrhovanie oceľových konštrukcií. Časť 6: Žeriavové dráhy.

STN ISO 3534-1:2008, Štatistika. Slovník a značky. Časť 1: Všeobecné štatistické termíny a termíny používané v teórii pravdepodobnosti.

STN ISO 3534-2:2009, Štatistika. Slovník a značky. Časť 2: Aplikovaná štatistika.

STN ISO 3534-3:2003, Štatistika. Slovník a značky. Časť 3: Navrhovanie experimentov.

STN ISO 4306-1:2010, Žeriavy. Slovník. Časť 1: Všeobecne.

STN ISO 4463-1:2002, Metódy merania v stavebníctve. Vytyčovanie a meranie. Časť 1: Plánovanie, organizácia, postupy merania a preberacie podmienky.

STN ISO 4463-3:2002, Metódy merania v stavebníctve. Vytyčovanie a meranie. Časť 3: Zoznam geodetických činností.

STN ISO 17123-2:2010, Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 2: Nivelačné prístroje.

STN ISO 17123-3:2010, Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 3: Teodolity.

STN ISO 17123-4:2013, Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 4: Elektrooptické diaľkomery (meranie na odrazové hranoly).

STN ISO 17123-5:2013, Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 5: Univerzálne meracie stanice.

STN ISO 17123-6:2013, Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 6: Rotačné laserové prístroje.

STN ISO 17123-7:2010, Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 7: Optické prevažovacie prístroje.

STN ISO 17123-8:2010, Optika a optické prístroje. Postupy na skúšanie geodetických prístrojov. Časť 8: GNSS meracie systémy pracujúce kinematickou metódou v reálnom čase.

STN 01 3410:1990, Mapy veľkých mierok. Základné a účelové mapy.

STN 01 3411:1989, Mapy veľkých mierok. Kreslenie a značky.

STN 01 3462:1984, Výkresy inžinierskych stavieb. Výkresy vodovodu.

STN 01 3463:1984, Výkresy inžinierskych stavieb. Výkresy kanalizácie.

STN 27 0101:1960, Žeriavy. Navrhovanie oceľových konštrukcií žeriavov.

STN 27 2435:1970, Žeriavové dráhy dočasné.

STN 73 0415:2011, Geodetické body.

STN 73 0420:1986, Presnosť vytyčovania stavebných objektov. Základné ustanovenia. (zrušená)

STN 73 0421:1986, Presnosť vytyčovania stavebných objektov s priestorovou skladbou. (zrušená)

STN 73 2601:1988, Zhotovovanie oceľových konštrukcií. (zrušená)

STN 73 2611:1978, Odchýlky rozmerov a tvarov oceľových konštrukcií. (zrušená)

STN 73 5130:1986, Žeriavové dráhy. (zrušená)

Prílohy

- Príloha 1-1 Základné a doplnkové fyzikálne veličiny
- Príloha 1-2 Kalibračný list nivelačného prístroja
- Príloha 1-3 Kalibračný certifikát invarovej nivelačnej laty
- Príloha 1-4 Protokol z komparácie invarovej nivelačnej laty
- Príloha 2-1 Smerové a výškové pomery portálovej žeriavovej dráhy
- Príloha 2-2 Situácia rozmiestnenia pozorovaných bodov na portálovej žeriavovej dráhe

1. Základné veličiny

Platné definície základných fyzikálnych jednotiek SI:

1 meter je dĺžka dráhy, ktorú prejde svetlo vo vákuu za $1/299\,792\,458$ sekundy.

1 kilogram je hmotnosť medzinárodného prototypu kilogramu (Platinovo-irídiový valec o priemere a výške 39 mm).

1 sekunda je $9\,192\,631\,770$ násobok dĺžky periódy žiarenia, ktoré vzniká pri prechode medzi dvoma jemnými úrovňami stavu atómu nuklidu Cézia 133 v pokojnom stave pri teplote 0 Kelvinov.

1 ampér je intenzita elektrického prúdu, ktorý pri stálom prietoku dvoma rovnobežnými, priamymi vodičmi zanedbateľného kruhového prierezu, uloženými vo vákuu 1 meter od seba vyvolá medzi nimi silu $2 \cdot 10^{-7}$ N na 1 m ich spoločnej dĺžky.

1 kelvin je $1/273,16$ -tá časť termodynamickéj teploty trojného bodu vody.

1 kandela je svietivosť zdroja, ktorý v danom smere vysiela monochromatické žiarenie s frekvenciou $540 \cdot 10^{12}$ Hz, a ktorého žiarivosť v tomto smere je $1/683$ Wattu na steradián.

1 mol je množstvo látky systému, ktorý obsahuje práve toľko elementárnych jedincov, koľko je atómov v 0,012 kg uhlíka C 12.

2. Odvodené veličiny

Doplnkové veličiny SI sú:

1 radián je rovinný uhol, pri ktorom je dĺžka oblúka rovná jeho polomeru.

1 steradián je priestorový uhol, pri ktorom je plocha guľového výseku sa rovná kvadrátu jej polomeru.


ING. JOSEF MAXA - GEODETICKÁ TECHNIKA
Praskova 11, 746 01 Opava, telefon i fax 553710451
Autorizovaný servis firem Trimble (Carl Zeiss), Nedo a Quante Baulaser

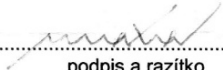
Registrován u Českého metrologického institutu - oblastního inspektorátu Opava
podle § 19 zákona o metrologii č. 505/1990 Sb. Registrační osvědčení č. **941-70/96**.

KALIBRAČNÍ LIST
č. 086/2006

Zadavatel:	
Měřicí přístroj:	pracovní měřidlo nestanovené - nivelační přístroj Trimble typu DiNi 12T
Výrobní číslo:	700504 , m.e.č.
Metodika kalibrace:	technologický postup doporučený v normě ISO 17123-2 , metodika vyjadřování nejistot dle dokumentu EA 4/02 .
Podmínky při kalibraci:	jasno, oblačno teplota 24,7 a 21,7°C, tlak 973 a 972mbar, vlhkost vzduchu 32 a 31%
Výsledné hodnoty:	- rozšířená nejistota měření pro 1 km dvojité nivelace $u = \pm 0,46$ mm , Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.
Závěr:	Uvedený přístroj vyhovuje pro přesnou nivelaci a je plně funkční. Technické parametry přístroje odpovídají hodnotám uvedeným výrobcem.
Poznámka:	---
Doba platnosti:	dle interního metrologického řádu uživatele
Použitý etalon:	pracovní etalon Zeiss Ni 004 v.č. 132026 (kalibrační list č. 818-KL-I662-03 vystavil 16.4.2003 ČMI LABORATOŘE PRIMÁRNÍ METROLOGIE)
Datum vystavení:	24.7.2006
Kalibraci provedl:	Ing. Josef Maxa

Kalibrační list může být reprodukován jen úplný. Jakékoliv změny údajů jsou vyhrazeny zhotoviteli.
Naměřené údaje se vztahují ke dni a místu, ve kterém byla kalibrace provedena.

 **Ing. Josef Maxa**
GEODETICKÁ TECHNIKA
Praskova 11, 746 01 Opava, ČR

.....

podpis a razítko

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE, STAVEBNÁ FAKULTA
 GEODETICKO-METROLOGICKÉ LABORATÓRIUM
 Katedry geodetických základov, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

KALIBRAČNÝ CERTIFIKÁT

č.: 11/98

nadviazaný na Slovenský metrologický ústav v Bratislave

Predmet kalibrácie : Invarová nivelačná lata 1,8 m
 Výrobca meradla : ZEISS, Nemecko
 Typ meradla : Lata na presnú a veľmi presnú niveláciu
 Výrobné číslo (označenie) : 531 80
 Objednávateľ : LIPG
 Zaradenie meradla :
 Dátum vydania kalibračného certifikátu : 26.3.1998
 Počet strán kalibračného certifikátu : 1
 Rozmedzie teplôt pri kalibrácii : 19,8 - 20,2 °C

Latový dielik	Korekcia [μm]	Latový dielik	Korekcia [μm]
2	0,0	62	0,0
4	-2,5	64	-0,8
6	-2,1	66	-10,9
8	-16,2	68	-29,2
10	-7,1	70	-26,7
12	-19,1	72	-31,9
14	-24,6	74	-26,6
16	-25,8	76	-41,0
18	-29,5	78	-41,7
20	-45,4	80	-36,1
22	-39,4	82	-35,2
24	-51,1	84	-41,0
26	-47,2	86	-58,0
28	-57,4	88	-77,2
30	-59,5	90	-75,7
32	-59,4	92	-76,8
34	-56,4	94	-74,3

Výsledky merania:

Stredný latový meter určený lineárnou regresiou: 1. stupnica -41,8 μm
 2. stupnica -47,1 μm

Priemerný rozmer latového metra: -44,5 μm

Neistota merania (k=2): 7 μm

Kalibroval: Ing. Míriam Kuchtová

Kuchtová

Kalibračný list môže byť zverejnený a kopírovaný len kompletne. Katedra geodetických základov
 Stavebnej fakulty STU
 Radlinského 11
 813 68 Bratislava

Calibration Certificate

Invar rod (type, No.):

LD13 68326

No. of graduations measured:

5 - 270

Contract:

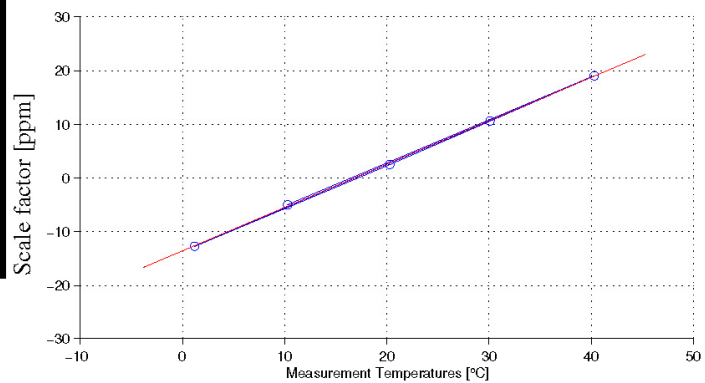
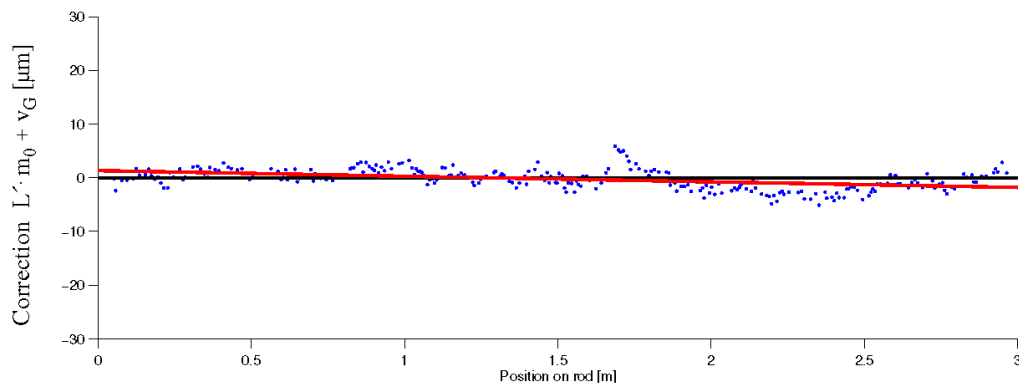
15-367-2038472

Date :

07.12.15


Determination of the coefficient of expansion
Horizontal calibration position

Measurement cycle: 30 → 0 → 20 → 40 → 10 [°C]


Coefficient of expansion:
 $\alpha_T = 0.81 \pm 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \quad (k=1)$
Determination of the scale factor
Vertical calibration position, middle 16 mm of scale

Scale factor:
 $m_0 = -1.04 \pm 1.15 \text{ ppm} \text{ at } T_0 = 19.8 \text{ }^\circ\text{C} \quad (k=1)$
Length adjustment from the vertical calibration (position of use)

$$L = l^0 + L'[1 + (m_0 + \alpha_T(T - T_0)) \cdot 10^{-6}] + v_G$$

$$l^0 = +0.003 \pm 0.007 \text{ mm}$$

$$v_G = +0.001 \text{ mm} \quad (k=1)$$

$$l^0 = l_K^0 + v_K$$

 L [m] = observed rod length

 v_G [m] = graduation correction

$$l_K^0 = +0.001 \pm 0.007 \text{ mm}$$

$$v_K = +0.002 \text{ mm}$$

 T [°C] = temperature

 l^0 [m] = index correction (l_K^0 [m] = index correction of reference bar, v_K [m] = reference bar correction)

Technical specialist:

Munich,

07.12.2015

Laboratory director:

Institute director:



Geodätisches Prüflabor am Lehrstuhl für Geodäsie der TU München
Arcisstraße 21, 80290 München, Tel.: 089/289-22850, Fax: 089/289-23967

Calibration Certificate

Number of Invar rod : 68326

Date : 07.12.15

Type of rod : LD13

Contract : 15-367-2038472

Positions of graduations measured : 5 - 270 (counting bar number from bottom)

Determination of the Scale Factor

Measurement Direction up

Mean temp.: 19.8 °C Mean press.: 972.5 hPa

Scale factor : -1.23 ppm \pm 1.15 ppmAverage deviation of measurements : 1.76 μ m

Measurement Direction down

Mean temp.: 19.8 °C Mean press.: 972.3 hPa

Scale factor : -0.85 ppm \pm 1.15 ppmAverage deviation of measurements : 1.82 μ m

Both directions averaged

Mean temp.: 19.8 °C Mean press.: 972.4 hPa

Scale factor : -1.04 ppm \pm 1.15 ppmAverage deviation of measurements : 1.67 μ m

The scale factor is calculated using the middle 16 mm of the visible bar code. If the visible width is smaller than that amount, the whole visible width is used.

Determination of the Index Correction

Measurement Direction up

Correction : 0.002 mm \pm 0.010 mm

Measurement Direction down

Correction : 0.001 mm \pm 0.009 mm

Both directions averaged

Correction : 0.001 mm \pm 0.007 mm

Reference bar correction

Correction : 0.002 mm

The index correction is based on the lower edge of graduation bar No.70.000 [mm] Therefore this edge must theoretically have no scale factor correction. Because the scale factor is calculated using the graduation bar centers, a small correction for that reference bar will appear if its gauge is not exact.

Calibration Certificate

Number of Invar rod : 68326

Date : 07.12.15

Type of rod : LD13

Contract : 15-367-2038472

Positions of graduations measured : 5 - 270 (counting bar number from bottom)

Correction of Graduations

Correction of graduation bar centers is shown in [μm]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0						-0.2	-2.4	0.1	-0.4	-0.4
10	-0.1	1.8	0.6	0.7	1.8	0.5	-0.1	0.4	-0.7	-1.7
20	1.3	-1.6	1.2	0.3	1.9	-0.1	0.4	2.3	2.5	2.0
30	1.0	0.5	2.3	1.9	1.4	1.7	3.1	2.4	2.2	1.9
40	2.2	0.2	0.7	1.3	1.3	1.3	2.3	1.8	0.3	1.3
50	2.1	0.3	1.1	2.2	-0.1	0.6	0.8	0.9	0.9	2.2
60	0.1	1.5	1.4	0.6	0.8	0.4	0.8	0.2	0.9	1.1
70	1.2	2.5	2.7	2.7	3.5	3.8	1.9	3.7	3.0	2.6
80	2.3	3.3	1.9	2.9	2.3	3.9	2.7	3.6	3.8	4.2
90	2.9	1.7	2.7	2.3	2.2	2.1	1.5	-0.2	0.7	0.9
100	0.1	0.7	1.1	3.1	3.0	1.6	1.7	3.6	1.6	2.1
110	1.7	0.4	-0.2	0.3	1.0	1.5	1.3	2.3	2.5	1.7
120	2.1	1.8	0.8	0.5	-0.5	0.5	1.2	1.7	0.3	2.7
130	3.0	4.4	1.8	1.1	2.5	0.6	1.7	0.6	0.6	2.4
140	1.9	-0.3	-1.1	0.6	0.6	-1.1	1.0	0.3	0.1	1.9
150	1.3	1.9	1.2	-0.3	0.7	1.6	2.6	3.4	7.6	7.0
160	6.5	6.8	5.8	4.8	3.3	4.4	3.5	3.1	2.3	3.1
170	3.4	3.0	2.9	2.9	0.6	1.0	-0.5	0.4	0.4	0.7
180	-0.5	1.2	-0.3	0.2	-1.7	0.7	-0.8	0.3	-1.0	1.0
190	-0.8	-0.3	0.2	-0.0	0.4	0.9	0.2	-0.3	1.9	0.3
200	-0.8	-1.0	-1.3	-2.6	-1.0	-2.1	-0.5	-0.2	-0.8	-0.4
210	-0.4	-0.1	-1.5	-1.6	-0.5	-2.7	-0.2	-1.3	-1.2	-1.8
220	-0.4	-1.2	-1.2	0.4	0.5	0.8	0.8	0.2	-1.5	-0.7
230	-0.1	0.5	0.1	1.6	1.6	1.6	3.2	3.1	1.6	1.6
240	1.3	0.9	1.9	2.4	1.8	1.0	3.6	2.2	0.9	1.3
250	1.7	1.9	0.5	-0.1	1.3	1.2	0.8	1.3	3.6	3.0
260	3.5	2.2	2.2	3.3	3.0	3.3	4.0	4.7	4.1	5.9
270	3.9									

SMEROVÉ A VÝŠKOVÉ POMERY

PORTÁLOVÁ ŽERIAVOVÁ DRÁHA
názov závodu, objekt č., označenie prevádzky

SMEROVÉ POMERY

Vodorovné odchýlky od osi
koľajnicového pásu [mm]

KOĽAJNICOVÝ PÁS A

Rektifikačné opravy [mm]

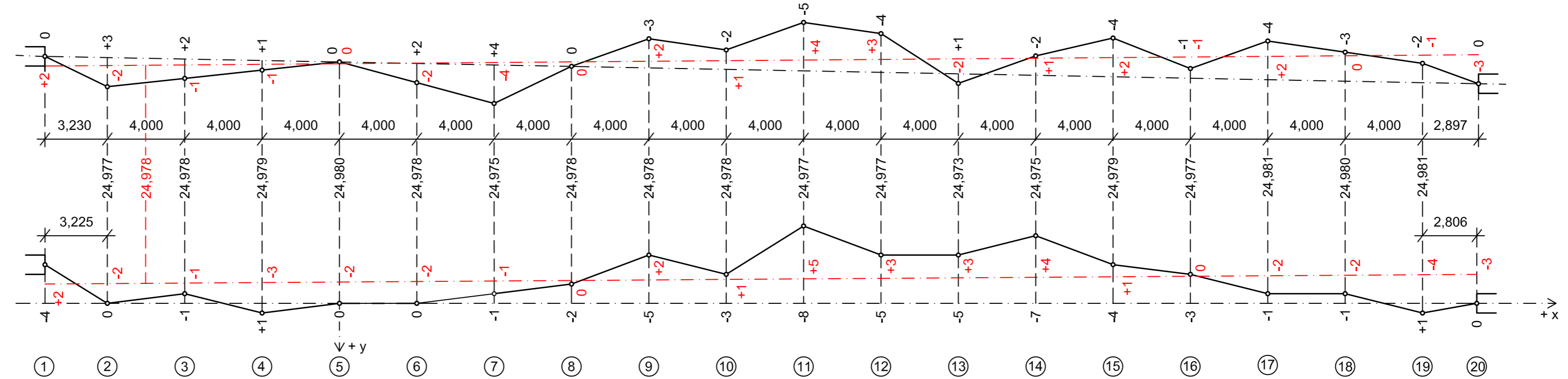
Rozchod koľajnicových pásov [m]

Rektifikačné opravy [mm]

KOĽAJNICOVÝ PÁS B

Vodorovné odchýlky od osi
koľajnicového pásu [mm]

Číslo rezu



VÝŠKOVÉ POMERY

Výškové odchýlky
od porovnávacej roviny [mm]

KOĽAJNICOVÝ PÁS A

Zmeny výšok ‰
[mm]

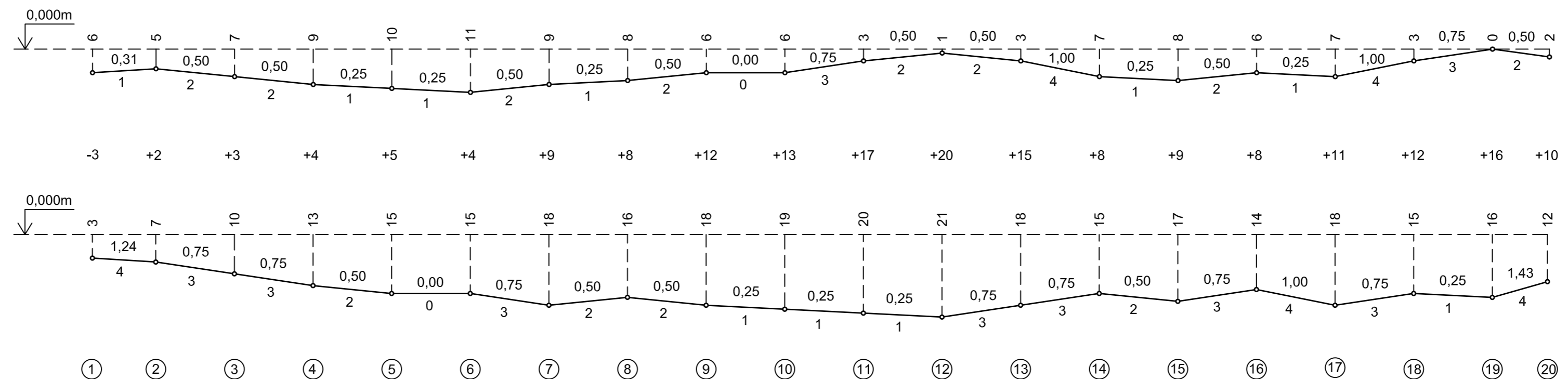
Prevýšenie koľajnice A oproti B [mm]

Výškové odchýlky
od porovnávacej roviny [mm]

KOĽAJNICOVÝ PÁS B

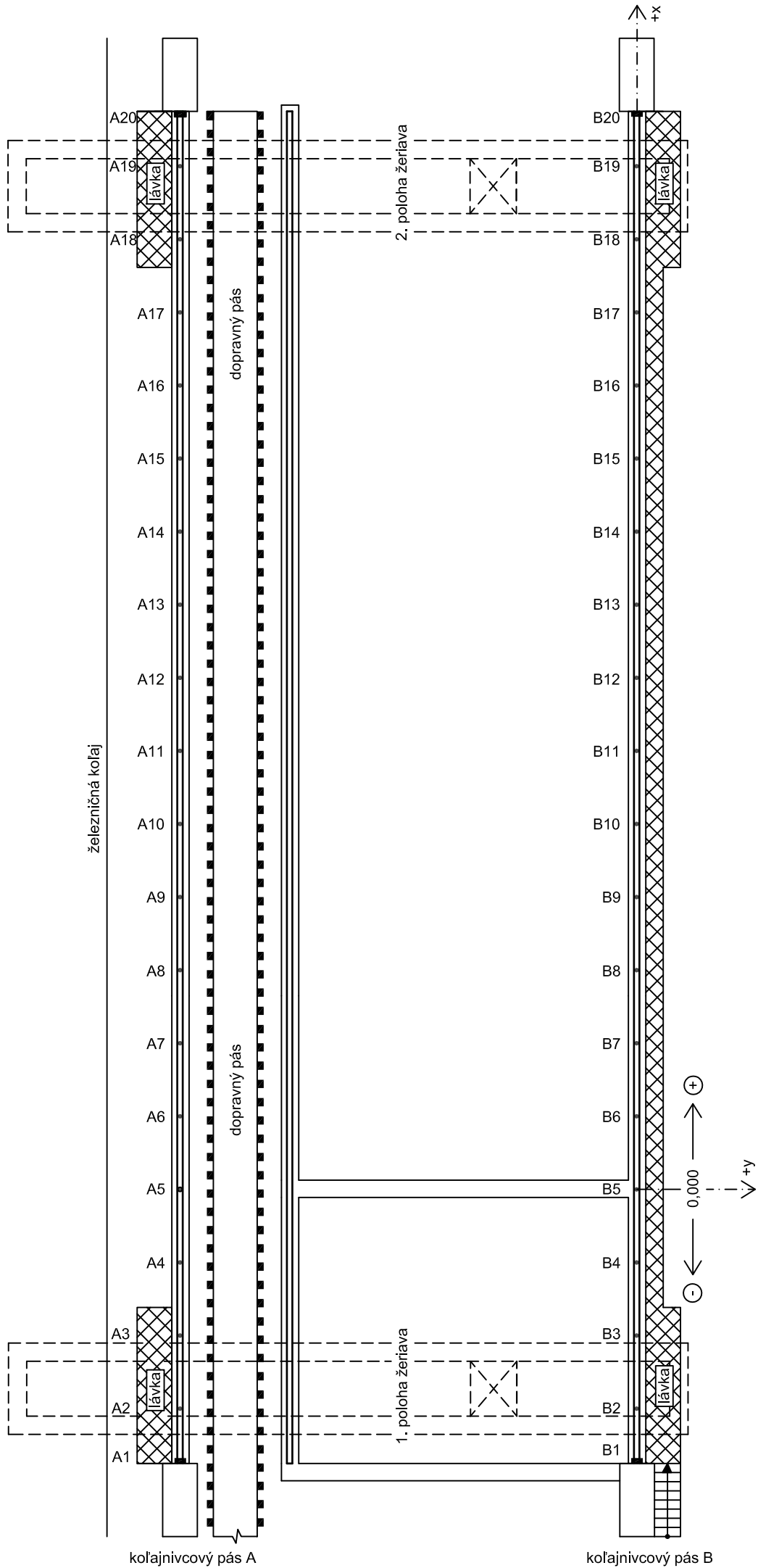
Zmeny výšok ‰
[mm]

Číslo rezu



SITUÁCIA ROZMIESTNENIA POZOROVANÝCH BODOV

PORTÁLOVÁ ŽERIAVOVÁ DRÁHA
 názov závodu, objekt č., označenie prevádzky



koľajnicový pás A

koľajnicový pás B