

Koncept novej kalibračnej základnice pre elektronické diaľkomery v Slovenskej republike

Ing. Miriam Papčová, PhD.,
Výskumný ústav geodézie a kartografie v Bratislave,
Ing. Branislav Droščák, PhD.,
Geodetický a kartografický ústav Bratislava,
Ing. Miroslav Mališ,
Úrad geodézie, kartografie a katastra SR,
Ing. Jaroslav Šifra,
GEOASPEKT, s. r. o.

Abstrakt

Elektronické diaľkomery (EDM) sa kalibrujú na základnici s lineárne usporiadanými a s trvale stabilizovanými bodmi, ktoré ležia v bežne používanom rozsahu meraných dĺžok. Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky v spolupráci s Geodetickým a kartografickým ústavom Bratislava a Výskumným ústavom geodézie a kartografie v Bratislave naplánovali vybudovanie novej základnice na Slovensku, pretože kalibračná základnica v Hlohovci je dlhodobo nevyhovujúca na kalibračné účely. Tento príspevok opisuje lokalitu pre situovanie novej základnice, vysvetľuje vstupné parametre a výpočet dizajnu základnice a uvádza spôsob stabilizácie bodov.

The Concept of the New Calibration Baseline for Electronic Distance Meters in Slovak Republic

Abstract

Electronic distance meters (EDM) are calibrated using a baseline with linearly arranged and permanently monumented points which lie within the usually used range of measured distances. Geodesy, Cartography and Cadastre Authority of the Slovak Republic with Geodetic and Cartographic Institute Bratislava and Research Institute of Geodesy and Cartography in Bratislava decided to build up a new calibration baseline in Slovakia, because the calibration baseline in Hlohovec is no longer suitable for calibration purposes. This paper describes the location for the new baseline, explains the input parameter and the calculation of the baseline's design and shows the way of point's monumentation.

Keywords: distance meter, calibration, design, monumentation, location

1. Úvod

Geodetické merania vyžadujúce vysokú presnosť je nevyhnutné vykonávať s geodetickými prístrojmi, ktoré sú kalibrované v pravidelných časových intervaloch. Kalibrácia dĺžkomernej časti univerzálnych meracích staníc – EDM sa vykonáva podľa známeho postupu na kalibračnej základnici.

V Slovenskej republike (SR) sa na kalibráciu EDM využívala jediná základnica v Hlohovci, ktorá bola vybudovaná v rokoch 1978-1979. Hoci základnicu tvorilo sedem pilierov s celkovou dĺžkou 2 550 m [1], na kalibráciu EDM sa bežne využívalo len päť pilierov v rozsahu 960 m. Posledné meranie na základnici bolo vykonané v roku 2009. Odvtedy je základnica nevyužívaná, pretože prestala vyhovovať požiadavkám na výkon kalibrácie EDM. Slovenskí geodeti týmto stratili možnosť kalibrácie svojich EDM v SR. Podľa vykonaného prieskumu [2] riešia absenciu kalibračnej základnice v SR kalibráciou EDM v Česku alebo v Maďarsku, prípadne si dávajú svoje EDM otestovať u predajcov geodetickej techniky.

Zámerom Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (ÚGKK SR) v spolupráci s Geodetickým a kartografickým ústavom Bratislava (GKÚ) a Výskumným ústavom geodézie a kartografie v Bratislave (VÚGK) je absenciu kalibračnej základnice pre EDM v SR čo najskôr zvrátiť a dať do prevádzky novú kalibračnú základnicu, a tým zabezpečiť slovenským geodetom chýbajúcu službu. Za týmto účelom ÚGKK SR poveril VÚGK a GKÚ vybudovaním novej základnice.

V článku je predstavený návrh novej kalibračnej základnice pre EDM na základe aktuálneho stavu tejto problematiky, ktorý je zhrnutý v [3], [4].

Článok je členený nasledovne: V druhej časti sú zopakované ciele kalibrácie EDM. V tretej časti je opísaná lokalita, v ktorej sa bude základnica nachádzať, a taktiež je táto lokalita posúdená vzhľadom na známe kritériá. V štvrtej časti je najprv vysvetlený všeobecný výpočet dizajnu základnice a následne zdôvodnený a vypočítaný dizajn novej základnice. Návrh stabilizácie bodov základnice je opísaný v piatej časti.

2. Kalibrácia EDM

Kalibrácia je podľa [5], [6] definovaná ako určenie vzťahu medzi hodnotami meracieho systému (meranými hodnotami) a skutočnou (správnou/referenčnou) hodnotou meranej veličiny. Skutočné hodnoty spravidla poskytujú porovnávacie normály alebo kalibračné zariadenia, pričom je potrebné preukázať ich nadväznosť na národné štandardy. Výsledkom kalibrácie môže byť kalibračná konštanta, kalibračné faktory (násobky) alebo tiež kalibračné funkcie, ktoré opisujú vzťah medzi meranými veličinami a skutočnými hodnotami čo možno najsprávnejšie.

Pri kalibrácii EDM na základnici sa porovnávajú dĺžky merané pomocou EDM a dĺžky určené referenčným meraním s (spravidla rádovo) vyššou presnosťou a s metrologickou nadväznosťou na definíciu metra podľa medziná-

rodnej sústavy jednotiek SI. Výsledkom kalibrácie je korekčná rovnica dĺžky meranej EDM k , ktorá je vyjadrená vzťahom:

$$k = k_0 + d \cdot k_m, \quad (1)$$

kde:

d – meraná dĺžka EDM opravená o atmosférickú korekciu,
 k_0 – konštantná časť korekcie nulového bodu (adičná konštanta),

k_m – korekcia mierky (násobná konštanta, mierkový faktor), ktorá zahŕňa korekciu frekvencie a dĺžkovo závislú časť korekcie nulového bodu.

Úlohou kalibrácie EDM je určenie parametrov k_0 a k_m korekčnej rovnice (1) a ich smerodajných odchýlok s_{k_0} a s_{k_m} . Dôležité upozornenia k určovaným parametrom uvádza, napr. [7] nasledovne:

- adičná konštanta k_0 platí pre kombináciu prístroj a reflektor a koreluje s cyklickou fázovou chybou, ktorú je potrebné vopred určiť laboratórne,
- na určenie mierky k_m je potrebné poznať referenčné dĺžky základnice. Korekcia mierky (násobná konštanta) koreluje s parametrami meteorologickej korekcie a s cyklickou fázovou chybou.

Je zrejmé, že odhad oboch parametrov ovplyvňuje cyklická fázová chyba. Keďže v SR nemáme k dispozícii zariadenie na jej určenie, merané dĺžky v procese spracovania o ňu nebudú korigované. Podľa [8] platí, že u dnešných EDM dosahuje táto chyba len malú amplitúdu (cca 0,1 mm), preto sa bude jej vplyv pri kalibrácii EDM zanedbávať.

3. Lokalita novej základnice

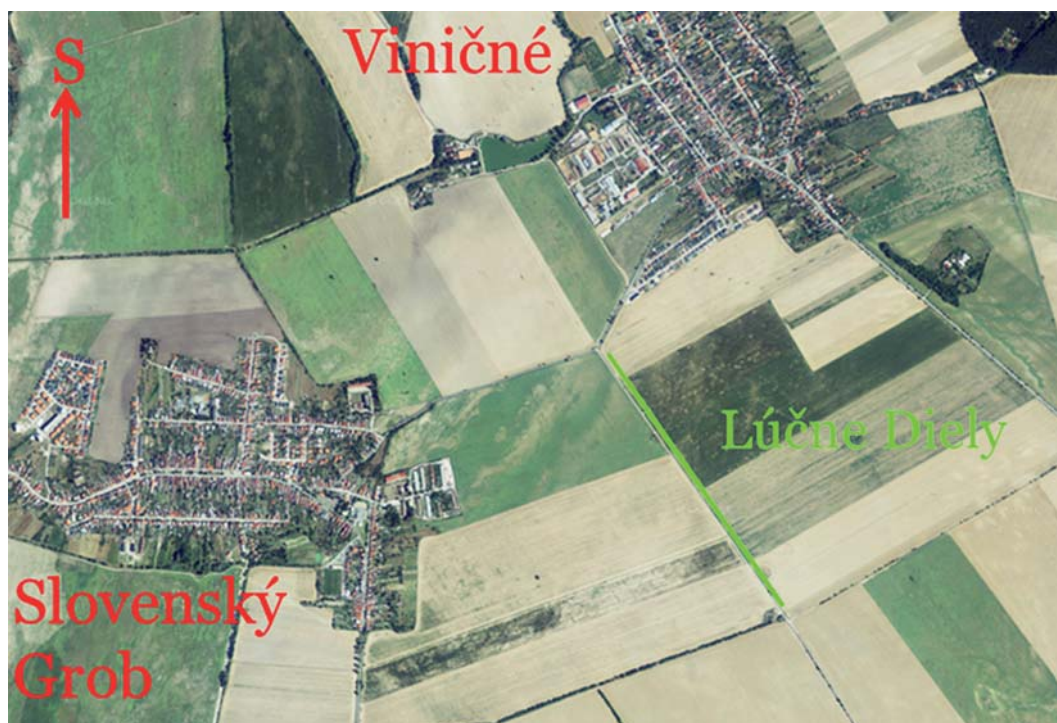
Nová základnica bude situovaná na pozemku medzi obcou Viničné a Slovenským Grobom v časti Lúčne diely (katas-

trálne územie (KÚ) Viničné, okres Pezinok) pozdĺž spevnej cesty pre poľnohospodárske účely (obr. 1). Na cca 7 m širokom pozemku sa nachádzajú aj dve menšie stavby (jednopodlažné budovy s rozmermi cca dĺžka 9,5 m x šírka 6,5 m x výška 4,5 m) vzdialené od seba cca 900 m (obr. 2). Pozemok vlastní obec Viničné, ktorá ho dostala darovacou zmluvou od Ministerstva obrany SR.

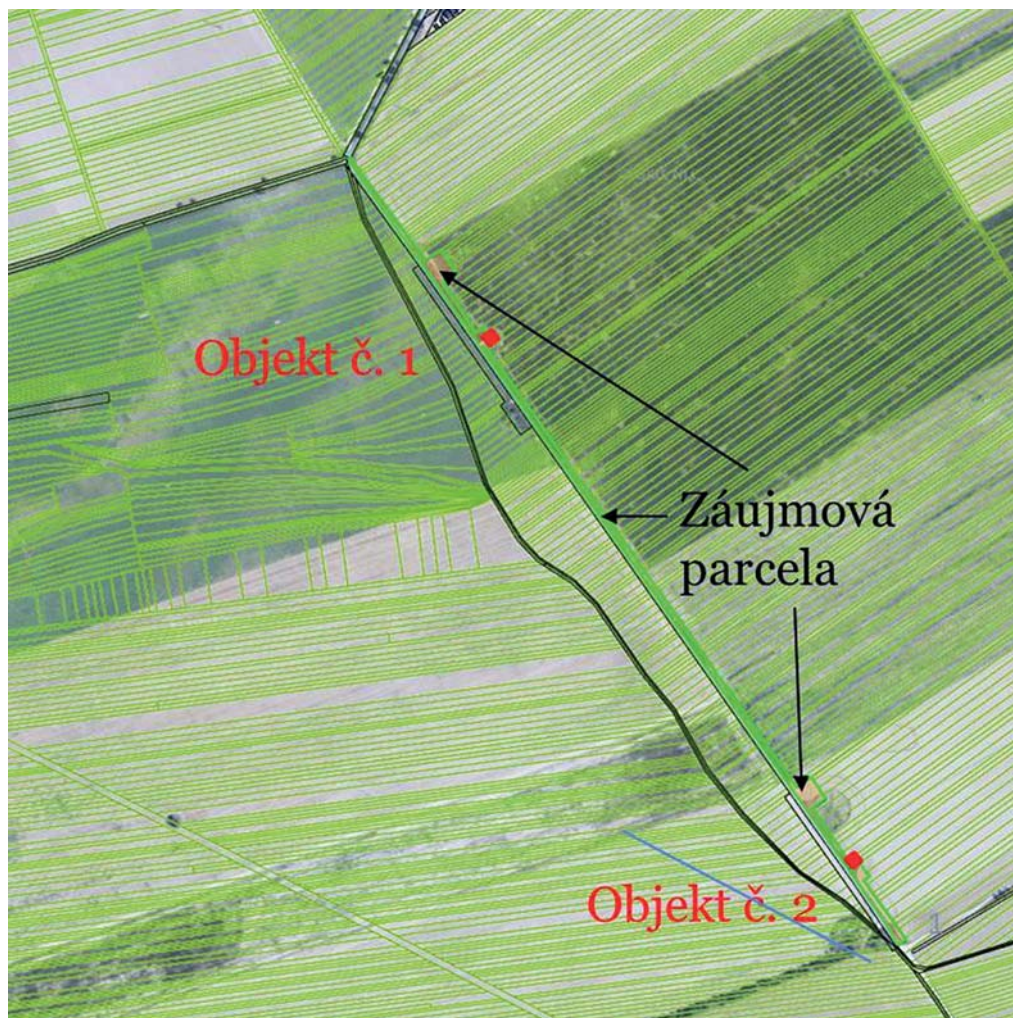
Pri výbere lokality pre umiestnenie novej kalibračnej základnice bolo prihliadané na splnenie požiadaviek podľa [7], [9], [10], [11], [12] kladených na terén, geológiu, meteorológiu, dopravu, a iných faktorov, ktoré sú zhrnuté v tab. 1.

Lokalita Lúčne diely v KÚ Viničné vyhovela uvedeným požiadavkám nasledovne: na pozemku bolo šetrením zistená vhodnosť časti vybraného obecného pozemku v dĺžke cca 700 m (časť medzi spomenutými dvoma stavebnými objektmi), čo podmienilo potenciálnu dĺžku novej kalibračnej základnice. Keďže je predbežný zámer v budúcnosti využiť základnicu aj na testovanie roverov globálneho navigačného satelitného systému (GNSS), bol tento pozemok zvolený tak, aby spĺňal podmienku voľného horizontu, čomu lokalita plne vyhovela (obr. 3). Pozemok pre novú základnicu predstavuje okraj poľnohospodársky využívaného poľa, čo potvrdzuje požadovanú rovinnosť povrchu a ktorý si vyžaduje iba minimálne terénne úpravy (pozn. povrch novej základnice je plánované pokryť rovnomerným trávnatým porastom, ktorý bude pozitívne vplyvať na meteorologické podmienky). Vybraný pozemok má severozápadno-juhovýchodnú orientáciu (obr. 1, obr. 2), čím sa približuje požiadavke na severo-južnú orientáciu. Celé územie, resp. pozemok je bez akýchkoľvek výškových prekážok a rovnako aj bez vysokej vegetácie.

Keďže z pohľadu geológie bola požiadavka vybudovať základnicu na geologicky stabilnom a homogennom podloží, aby mohla byť garantovaná dlhodobá stabilita pilierov, bol za týmto účelom pred definitívnym rozhodnutím výberu lokality vykonaný predbežný geologický prieskum územia geofyzikálnymi metódami, a to dipólovým elek-



Obr. 1 Lokalita základnice – Lúčne diely (KÚ Viničné)



Obr. 2 Parcela v KÚ Viničné, na ktorej sa bude nachádzať nová základnica

Tab. 1 Požiadavky reprezentujúce vhodnosť lokality pre novú základnicu

Oblasť	Požiadavka
Terén	vhodná dĺžka = minimálna dĺžka základnice
	tienistá lokalita (vhodná pre EDM), alebo voľný horizont (možnosť rozšírenia aj pre GNSS)
	rovinný zemský povrch
	rovnomerný porast po celej dĺžke – nízka tráva, nie asfalt
	severno-južná orientácia
	bez výškových prekážok bez okolitej vegetácie
Geológia	geologicky stabilné homogénne podložie
Meteorológia	rovnaké meteorologické podmienky (slabý vietor, slnečnosť)
Doprava	dobrá dopravná dostupnosť
	prístupová cesta pozdĺž základnice
	malá premávka
	okolie bez verejnej dopravy
Iné	limitovaný alebo neverejný prístup na lokalitu
	bez efektov ľudskej činnosti v okolí
	bez plánovaných zmien v budúcnosti
	podporujúci vlastník



Obr. 3 Územie novej základnice v časti Lúčne diely (KÚ Viničné)

tromagnetickým profilovaním, vertikálnym elektrickým sondovaním a seizmickou refrakčnou tomografiou [13]. Po potvrdení vhodnosti lokality sa následne pristúpilo k objednaniu invazívneho geologického prieskumu, pozostávajúceho z troch inžinierskogeologických vrtov s laboratórnym rozborom a z ôsmich dynamických penetračných skúšok [14]. Obe metódy potvrdili vhodnosť lokality.

Z hľadiska vplyvu meteorológie na meranie je kľúčové, aby na celom území novej kalibračnej základnice prevládali rovnaké meteorologické podmienky (rovnaký smer vetra, rovnaká slnečnosť). Z tohto dôvodu bolo rozhodnuté vybudovať základnicu v dostatočnej vzdialenosti od oboch spomenutých objektov.

Lokalita Lúčne Diely bola podrobená aj požiadavke jej vhodnosti z hľadiska dopravy. Vybraná lokalita sa vyznačuje dobrou dopravnou dostupnosťou s veľmi malou premávkou a bez prístupu verejnej dopravy (vedľajšia cesta s obmedzeným prístupom – povolenie na vjazd udeľuje obec Viničné). Spevnená prístupová cesta pozdĺž celej základnice je výhodou, pretože umožní rýchlejší transport reflektora a prístroja medzi bodmi základnice počas vykonávania meraní.

Z iných sledovaných požiadaviek bola lokalita vyhodnotená taktiež kladne, keďže vybrané územie predstavuje menej frekventovanú lokalitu, čo sa týka dopravy a prístupu osôb. Pohyb poľnohospodárskej techniky po prístupovej komunikácii bude musieť byť počas kalibrácií koordinovaný. V rámci výberu lokality bol zohľadnený aj územný plán obce Viničné [15] a pozitívny prístup vlastníka pozemku – obce Viničné, ktorej zastupiteľstvo schválilo zámer vybudovania základnice na svojom pozemku aj uznesením.

4. Dizajn novej základnice

Novú základnicu budú tvoriť trvale stabilizované body (pilieri) usporiadané v jednej horizontálnej priamke, ktorá

je definovaná vzhľadom na rovinu miestneho pravouhlého súradnicového systému [7]. Pri tomto dizajne sa minimalizujú geometrické redukcie meraných dĺžok vrátane najvýznamnejšej redukcie z náklonu a výšky. Tým sa dosiahne jednoduchosť spracovania a zníži sa neistota odhadu určených dĺžok [16].

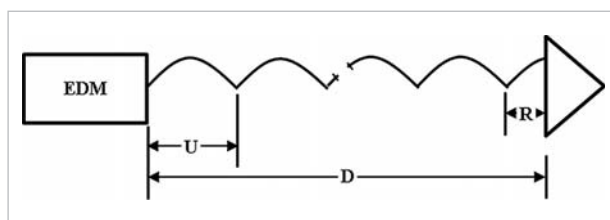
Rozmiestnenie bodov základnice pozdĺž línie, t. j. dĺžky medzi piliermi sa spravidla vypočítajú podľa známych dizajnov ako Heerbrugg, Aarau alebo Hobart dizajnu, ktoré sú podrobnejšie opísané v [9].

V podčiastiach ďalej je po stručnom zopakovaní princípu určenia dĺžky fázovou metódou zdôvodnený výber dizajnu novej základnice a je vysvetlený všeobecný postup výpočtu zvoleného dizajnu. Následne sú zvolené vstupné parametre, pomocou ktorých je vypočítaný dizajn novej základnice.

4.1 Metóda porovnania fázy

Pri elektronickom meraní dĺžok pri metóde porovnania fázy sa meraná dĺžka D skladá z celých násobkov N jednotkovej (pracovnej) dĺžky EDM U , ktorá predstavuje polovicu modulačnej vlnovej dĺžky a zvyšku R (obr. 4), čo vyjadruje rovnica:

$$D = N \cdot U + R. \quad (2)$$



Obr. 4 Dĺžka určená metódou porovnania fázy [10]

V ďalšom texte bude poukazované na redukované dĺžky o celé násobky jednotkovej dĺžky, ktoré môžu byť vyjadrené nasledovným vzťahom:

$$d_r = R = D - N \cdot U. \quad (3)$$

4.2 Výber dizajnu

Zo spomenutých troch známych dizajnov kalibračných základníc bol pre novú základnicu v SR zvolený Heerbrugg dizajn, nazývaný aj Schwendener [17], pretože sa vyznačuje viacerými vhodnými vlastnosťami:

- zabezpečuje dostatočnú redundanciu, keďže uvažuje s meraniami vykonávanými vo všetkých kombináciách,
- dĺžky merané vo všetkých kombináciách sú rovnomerne rozložené pozdĺž celkovej dĺžky základnice, pričom sa neopakujú,
- merané dĺžky po redukcii o celé násobky jednotkovej dĺžky diaľkoma U , t. j. d_r , sú taktiež rovnomerne rozložené pozdĺž jednotkovej dĺžky U , pričom zlomky U , t. j. R , sa neopakujú, čo umožňuje detekciu všetkých dĺžkovo závislých chýb vrátane krátkoperiodických chýb, (pozn. tento argument platí v súčasnosti len v teoretickej rovine, pretože cyklická chyba dnešných prístrojov dosahuje len malú amplitúdu cca 0,1 mm [8] a z toho dôvodu je len ťažko odhaliteľná vo vonkajších podmienkach),
- je aplikovaný u väčšiny známych kalibračných základníc, napr. Mníchov (Nemecko), Hanover (Nemecko), Eglington (Austrália),
- je zakotvený aj v normách [18], [19].

4.3 Všeobecný postup výpočtu Heerbrugg dizajnu

Pre výpočet dielčích dĺžok kalibračnej základnice Heerbrugg dizajnu sa volia štyri základné parametre:

- jednotková dĺžka kalibrovaného EDM (U),
- najkratšia dĺžka na základnici (A),
- požadovaná celková dĺžka základnice (C_0),
- počet stanovísk (bodov) základnice (n).

Dielčie dĺžky kalibračnej základnice sa určia podľa tzv. dizajnových rovníc [9], ktoré sú uvedené v **tab. 2** a **tab. 3**. Podľa [9] sa najprv vypočíta dizajnový parameter B_0 podľa vzorca v **tab. 2**. Jeho zaokrúhlením smerom nadol na naj-

bližší násobok U sa získa výsledná hodnota prvého dizajnového parametra B . Následne sa vypočíta druhý dizajnový parameter D podľa vzťahov v **tab. 2**. Dielčie dĺžky medzi bodmi a celková dĺžka základnice C v závislosti od počtu stanovísk n sa vypočítajú podľa rovníc v **tab. 3**.

4.4 Voľba vstupných parametrov na výpočet dizajnu

Voľba konkrétnych hodnôt štyroch vstupných parametrov (U , A , C_0 a n) pre výpočet dielčích dĺžok Heerbrugg dizajnu je odôvodnená v nasledujúcich podčastiach.

4.4.1 Voľba parametra jednotkovej dĺžky

Ako je známe, súčasné EDM majú rôznorodé hodnoty jednotkových dĺžok U (**tab. 4**) [20]. Keďže do výpočtu dielčích dĺžok vstupuje len jedna jednotková dĺžka U , bolo potrebné zvoliť do výpočtu niektorú z hodnôt z **tab. 4**. V našom prípade bol zvolený variant s $U = 1,5$ m. Z dôvodu možnosti porovnania vhodnosti riešenia bol zvolený aj druhý variant s $U = 3$ m, pričom sa kontrolovalo rovnomerné rozloženie redukovaných dĺžok d_r Heerbrugg dizajnu o celé násobky jedenástich rôznorodých jednotkových dĺžok (**tab. 4**) pozdĺž týchto jednotlivých jednotkových dĺžok, s cieľom overiť možnosť teoretického odhalenia cyklickej chyby súčasných prístrojov.

4.4.2 Voľba parametra jednotkovej dĺžky

Pri voľbe parametra najkratšej dĺžky sa vychádzalo z faktu, že sa obyčajne odhaduje konštantný a lineárny člen korekčnej rovnice dĺžky. Dôležité je, si podľa dostupných

Tab. 2 Vzorce pre výpočet dizajnových parametrov B_0 a D [9]

Počet stanovísk	B_0	D
$n = 5$	$1/6 (C_0 - 4A - U)$	$1/16 U$
$n = 6$	$1/10 (C_0 - 5A - U)$	$1/25 U$
$n = 7$	$1/15 (C_0 - 6A - U)$	$1/36 U$
$n = 8$	$1/21 (C_0 - 7A - U)$	$1/49 U$

Tab. 3 Vzorce pre výpočet dielčích dĺžok a celkovej dĺžky základnice podľa počtu bodov [9]

Dielčia dĺžka	Základnica s počtom bodov			
	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$
1.	$A + B + 3D$	$A + B + 3D$	$A + B + 3D$	$A + B + 3D$
2.	$A + 3B + 7D$	$A + 3B + 7D$	$A + 3B + 7D$	$A + 3B + 7D$
3.	$A + 2B + 5D$	$A + 4B + 9D$	$A + 5B + 11D$	$A + 5B + 11D$
4.	$A + D$	$A + 2B + 5D$	$A + 4B + 9D$	$A + 6B + 13D$
5.	-	$A + D$	$A + 2B + 5D$	$A + 4B + 9D$
6.	-	-	$A + D$	$A + 2B + 5D$
7.	-	-	-	$A + D$
Celková dĺžka C	$4A + 6B + 16D$	$5A + 10B + 25D$	$6A + 15B + 36D$	$7A + 21B + 49D$

Tab. 4 Jednotkové dĺžky súčasných EDM [20]

Výrobca prístrojov	U [m]
Leica (staršie prístroje)	3 10 20
Leica (nové prístroje)	1,5
Sokkia	0,32 0,8 2 2,5 4 5 10 20
Trimble	0,37
Topcon	5 10

referencií uvedomíť nelineárnosť chyby nulového bodu pri krátkych dĺžkach. Z tohto dôvodu odporúča staršia literatúra [21] voliť najkratšiu dĺžku základnice o veľkosti minimálne 30 m. Naproti tomu novšia literatúra [22] udáva, že variabilita chyby nulového bodu sa neobjavuje už od dĺžky nad 10 m. Preskúmaním hodnôt najkratších dĺžok dnes používaných kalibračných základníc sa zistilo, že ležia väčšinou v rozsahu od 18 do 30 m.

Podľa uvedených informácií je potrebné parameter najkratšej dĺžky zvoliť mimo oblasti nelineárnej variability chyby nulového bodu tak, aby v jej dôsledku nebol ovplyvnený odhad určených parametrov. Na základe týchto odporúčaní bol zvolený rozsah najkratšej dĺžky pre výpočet Heerbrugg dizajnu od 25 do 35 m.

4.4.3 Voľba parametra najdlhšej dĺžky

Pri voľbe najdlhšej dĺžky sa zohľadnili tri zdroje informácií: literatúra, výsledky dotazníka [2] a najmä možnosti a podmienky lokality.

Najnovšia príručka venujúca sa budovaniu základníc [12] odporúča zvoliť najdlhšiu dĺžku základnice tak, aby zodpovedala typicky meranými dĺžkami v praxi, t. j. rozsahu 500-1000 m a taktiež uvádza, že dlhšia základnica je vhodná pre určenie mierkového faktora. Odborná literatúra odporúča zvoliť dĺžku základnice v rozsahu 500 až 2 200 m, konkrétne: [21] odporúča 800-1 000 m, [23] dĺžku 640 m, [24] dĺžku menej ako 1 000 m. Norma [18] udáva dĺžku základnice v rozsahu 300-600 m a norma [19] udáva v rozsahu 500-600 m. Z informácií na internete sa zistilo, že základnice vybudované v Európe majú dĺžky v rozsahu od 500 do 2 000 m. Viaceré z týchto základníc majú dĺžku okolo 1 000 m, pričom sa bežne používa iba prvých 600 m. Väčší rozsah základníc sa využíva iba pri individuálnych požiadavkách na kalibráciu EDM vo väčšom rozsahu (napr. pri kalibráciách na základniciach Košice, Mníchov, Hanover).

Druhým faktorom, ktorý významne ovplyvnil voľbu parametra najdlhšej dĺžky základnice, predstavoval výsledok získaný z dotazníka z marca roku 2019 [2], ktorým bolo zistené, že bežne meraná maximálna dĺžka EDM v SR sa pohybuje v rozsahu 500-700 m. Tento výsledok potvrdil aj vyššie uvedený poznatok zo získaných informácií o ostatných existujúcich základniciach a ich dĺžke.

Tretí a z pohľadu budovania základnice najvýznamnejší faktor vplývajúci na voľbu parametra najdlhšej dĺžky základnice predstavoval faktor fyzických možností zvolenej lokality. Ak sa vezmú do úvahy skutočnosti, že sa vo vybranej lokalite smerom od objektu č. 1 k objektu č. 2 nachádzajú kanalizačné šachty až do vzdialenosti 100 m, a že sa od objektu č. 2 smerom k objektu č. 1 nachádzajú pozostatky betónového základu demontovaného vysieľača do vzdialenosti až cca 110 m, tak sa zúžilo využitie uvedenej lokality do maximálnej dĺžky 690 m.

Zohľadnením zistených informácií a všetkých troch faktorov pri hľadaní optimálneho dizajnu základnice bol testovaný parameter najdlhšia dĺžka v rozsahu od 590 do 610 m.

4.4.4 Voľba parametra počtu pilierov

Počet pilierov sa volí ako kompromis medzi nákladmi vyžadujúcimi na ich realizáciu a požadovanou neistotou určených dĺžok [9]. Dostupná literatúra uvádza, že štandardná základnica pozostáva najčastejšie zo 6-8 pilierov, konkrétne literatúra [9] odporúča 6-7 pilierov, [21] 6 pilierov, [12] 6-8 pilierov, [18] 7 pilierov a literatúra [19] 7 pilierov.

Z vyhľadaných informácií na internete bolo zistené, že základnice vybudované v Európe pozostávajú väčšinou zo 6-12 pilierov. Vo viacerých prípadoch bolo taktiež zistené, že aj keď niektoré základnice pozostávajú z viac ako 6-7 pilierov, na bežné kalibrácie je využívaných spravidla iba 7 (pozn. platí, napr. pre základnice Hanover, Mníchov) a ostatné piliere sú využívané iba výnimočne pri individuálnych požiadavkách pre kalibráciu EDM pre väčší rozsah.

Na základe uvedených poznatkov bola zvolená za parameter počtu pilierov navrhovanej základnice hodnota 7.

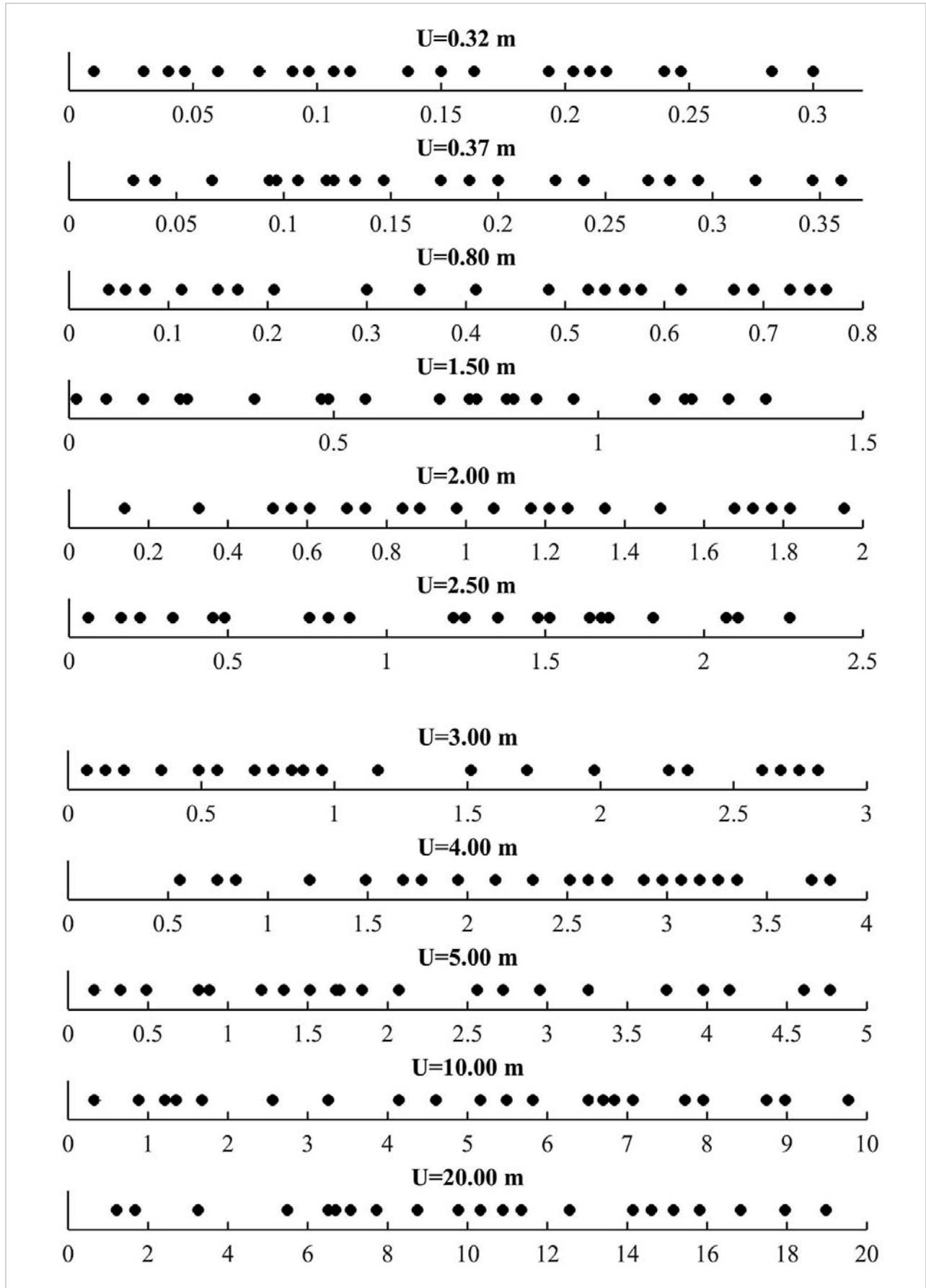
4.5 Výpočet Heerbrugg dizajnu novej základnice

Výpočet dizajnu novej základnice bol vykonaný podľa dizajnových rovníc uvedených v tab. 2 a tab. 3 s použitím nasledovných vstupných parametrov odôvodnených v predchádzajúcich podčastiach:

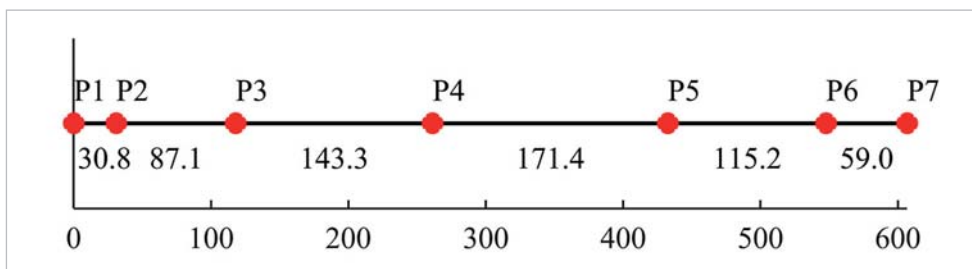
- najkratšia dĺžka na základnici: $A =$ rozsah 25-35 m s krokom 0,1 m,
- celková dĺžka základnice: $C_0 =$ rozsah 590-610 m s krokom 0,1 m,
- jednotková dĺžka EDM: $U = 1,5$ m a 3,0 m,
- počet stanovísk základnice: $n = 7$.

Pomocou algoritmu vyvinutého na VÚGK boli vypočítané všetky možné kombinácie najkratšej a najdlhšej dĺžky a bola nájdená ich najvhodnejšia kombinácia pre novú základnicu, t. j. optimálny variant parametrov Heerbrugg dizajnu, pri ktorom nastalo najrovnomernejšie rozloženie redukovaných dĺžok pozdĺž všetkých jedenástich jednotkových dĺžok súčasných EDM (tab. 4) (obr. 5). Jedná sa o dizajn s nasledovnými parametrami: $A = 30,8$ m, $C = 606,7$ m, $U = 3$ m, $n = 7$. Dizajn novej základnice s uvedenými dielčmi dĺžkami je zobrazený na obr. 6. Rozloženie vypočítaných dĺžok vo všetkých kombináciách pre tento dizajn je znázornený na obr. 7. Dielčie dĺžky, spolu so zodpovedajúcou maticou dĺžok pre všetky kombinácie, sú prehľadne zhrnuté a uvedené v tab. 5 a tab. 6.

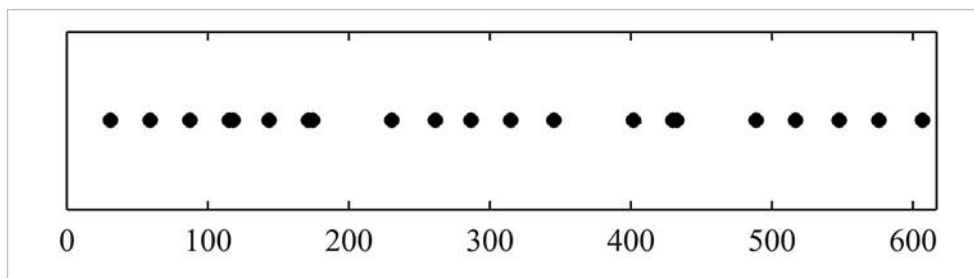
Pár poznámok k výpočtu: Pri výpočte dizajnu parameter B sa nezaokrúhlil na celý násobok U , pretože dizajn je určený pre viacero jednotkových dĺžok. Prvá dĺžka novej základnice predstavuje najkratšiu dielčiu dĺžku základnice (šiesta dielčia dĺžka v tab. 3).



Obr. 5 Rozloženie redukovaných dĺžok dizajnu novej základnice pozdĺž jedenástich jednotkových dĺžok



Obr. 6 Dizajn novej základnice



Obr. 7 Rozdelenie meraných dĺžok vo všetkých kombináciách pozdĺž celkovej dĺžky základnice

Tab. 5 Dielčie dĺžky novej základnice [m]

d1	d2	d3	d4	d5	d6
30,88	87,07	143,26	171,35	115,16	58,98

Tab. 6 Matica dĺžok novej základnice [m]

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
P1	0,00	30,88	117,95	261,21	432,56	547,72	606,70
P2	0,00	0,00	87,07	230,33	401,68	516,84	575,82
P3	0,00	0,00	0,00	143,26	314,61	429,77	488,75
P4	0,00	0,00	0,00	0,00	171,35	286,51	345,49
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,16	174,14
P6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,98

5. Stabilizácia bodu novej základnice

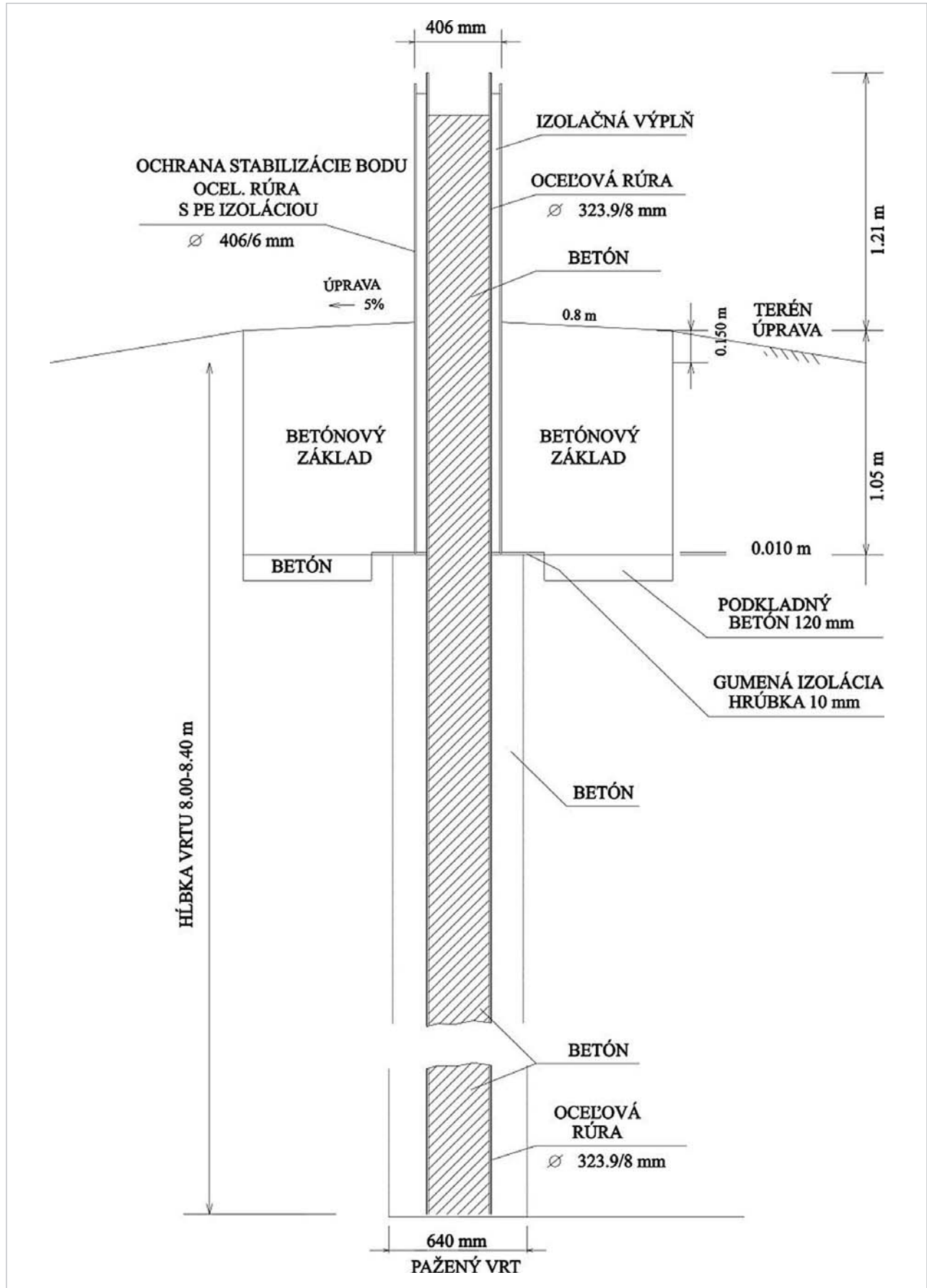
Základ hĺbkovej stabilizácie bodu kalibračnej základnice bude tvoriť veľkopriemerová pilóta hĺbená formou pažených vrtov priemeru 640 mm do vrstvy pevného piesčitého ílu (obr. 8). V betónovej pilóte bude centricky osadená oceľová varná rúra priemeru cca 324 mm s hrúbkou steny 8 mm, ktorá bude vyplnená betónom. Podzemná časť rúry (piliera) bude siahäť do hĺbky 8-8,5 m a výška nadzemnej časti bude cca 1,2 m.

Betón okolo varnej rúry bude zaizolovaný v horizontálnom smere v hĺbke cca 1 m pod terénom a smerom k nadzemnej časti bude nasledovať betónový základ výšky cca 1 m. V betónovom základe bude zapustená ochranná vonkajšia oceľová rúra s polyetylénovou (PE) izoláciou prie-

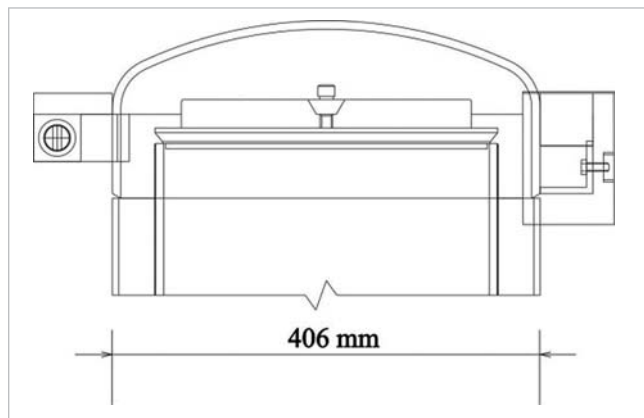
meru 406 mm. Ochranná rúra piliera a betónový základ budú oddielované od pilóty a vnútornej oceľovej rúry. Priestor medzi vnútornou a vonkajšou rúrou bude vyplnený termoizolačným materiálom.

Bod bude uzatvorený centračnou platňou (obr. 9), ktorá bude vyhotovená podľa vzoru centračnej platni Universität der Bundeswehr München [8]. Kužeľový otvor v strede platne umožní umiestnenie reflektora pre meranie s laserovým trackerom a, po zaskrutkovaní redukcie do centračnej platne, aj centrické osadenie a urovanie štandardnej podložky EDM. Body budú chránené uzamykateľným krytom pevne pripevneným k ochrannej rúre bodu.

Navrhnutý spôsob stabilizácie bodov zaručuje dlhodobú stabilitu bodov a redukuje vplyv slnečného žiarenia na body základnice.



Obr. 8 Hĺbková stabilizácia bodu základnice [25]



Obr. 9 Hlava piliera bodu základnice [26]

6. Záver

V článku je predstavený návrh novej kalibračnej základnice pre EDM na Slovensku. Pri kalibrácii EDM sa určí kalibračná rovnica meraných dĺžok, ktorá je vyjadrená lineárnou rovnicou s dvoma parametrami, t. j. adičnou a násobnou konštantou.

Základnica sa bude nachádzať v lokalite Viničné v časti Lúčne diely. Vybraná lokalita spĺňa špecifické požiadavky lokality základnice, ktoré sú kladené na terén, geológiu, meteorológiu a dopravu.

Body základnice budú ležať v jednej horizontálnej priamke a budú rozmiestnené podľa Heerbrugg dizajnu, pri ktorom dĺžky merané vo všetkých kombináciách sú rovnomerne rozdelené pozdĺž celkovej dĺžky základnice a taktiež redukované merané dĺžky o celé násobky jednotkovej dĺžky EDM sú rovnomerne rozložené pozdĺž jednotkových dĺžok EDM. Základnicu bude tvoriť sedem bodov. Najkratšia dielčia dĺžka bude mať cca 30,8 m a najdlhšia dielčia dĺžka bude dosahovať cca 171,4 m. Celková dĺžka základnice bude cca 606,7 m.

Každý bod základnice bude trvale stabilizovaný oceľovou rúrou, ktorá bude uzatvorená centračnou platňou vhodnou pre EDM ako aj pre laserové trackre. Pilier základnice bude chránený ochrannou vonkajšou rúrou a termoizoláciou voči vplyvom slnečného žiarenia na stabilitu bodu a ochranným krytom centračnej platne.

Budovanie základnice zabezpečuje GKÚ. V budúcnosti bude kalibrácia EDM na novej základnici zabezpečovaná Laboratóriom univerzálnych meracích staníc a teodolitov na VÚGK, ktoré je súčasťou Metrologického centra geodézie zriadeného ÚGKK SR.

LITERATÚRA:

- [1] PRIAM, Š.-BLAHUNKA, J.-HAJDÚCH, L.: Výskumná úloha č. M 21/92/EO Zabezpečenie podkladov na vyhlásenie geodetickej dĺžkovej základnice Hlohovec za súčasť štátneho skupinového etalónu veľkých dĺžok. 1992.
- [2] ÚRAD GEODÉZIE, KARTROGRAFIE A KATASTRA SLOVENSKEJ REPUBLIKY (ÚGKK SR): Výsledky dotazníka ÚGKK SR o metrologii. 2019.
- [3] PAPČOVÁ, M.-PAPČO, J.: Aspects of establishing calibration baselines for electronic distance meters – site selection and configuration of baseline points. *Advances and Trends in Geodesy, Cartography and Geoinformatics II*. London, Taylor & Francis Group, 2020, 213 p.
- [4] PAPČOVÁ, M.-PAPČO, J.: Aspects of establishing calibration baselines for electronic distance meters – position and height design, point monumentation and meteorology measurement. *Advances and Trends in Geodesy, Cartography and Geoinformatics II*. London, Taylor & Francis Group, 2020, 213 p.
- [5] ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE (OIML): International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms. 2012. Dostupné na https://www.oiml.org/en/files/pdf_v/v002-200-e12.pdf (dňa 9. 11. 2020).
- [6] SCHWARZ, W.: *Ingenieurgeodäsie. Handbuch der Geodäsie*. Berlin, Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2017, 622 p.
- [7] HEISTER, H.: The new Calibration Baseline of the UniBw Munich. *Allgemeine Vermessungsnachrichten*, 119, 2012, 10, pp. 336-343.
- [8] HEUNECKE, O.: Die neue Neubiberger Pfeilerstrecke. *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 140, 2015, 6, pp. 357-364.
- [9] RÜEGER, J. M.: *Electronic distance measurement. An Introduction*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 1996, 276 p.
- [10] JOECKEL, R.-STOBER, M.-HUEP, W.: *Elektronische Entfernungs- und Richtungsmessung und ihre Integration in aktuelle Positionierungsverfahren*. Heidelberg, Herbert Wichmann Verlag, 2008, 526 p.
- [11] ELLIS, D.-JANSSEN, V.-LOCK, R.: Improving Survey Infrastructure in NSW: Construction of the Eglinton EDM Baseline. *Proceedings of the 18th Association of Public Authority Surveyors Conference*, Canberra, Australia, 2013. Dostupné na https://eprints.utas.edu.au/16294/1/2013_Ellis_et_al_APAS2013_proceedings_version.pdf (dňa 9. 11. 2020).
- [12] SURVEYING JRP-CONSORTIUM: Good practice guide for the calibration of electro-optic distance meters on baselines. 2016. Dostupné na https://www.emrp-surveying.eu/fileadmin/documents/surveying/Good_practice_guide_for_the_calibration_of_EDMs_on_baselines_public_v1_01.pdf (dňa 9. 11. 2020).
- [13] AEGEO: Technická správa: Geologický prieskum v lokalite Viničné (okres Pezínok) pre účely predbežného vyhodnotenia lokality vytypovanej na umiestnenie geodetickej dĺžkovej a polohovej základnice. Etapa: Predbežný prieskum. 2018.
- [14] AEGEO: Záverečná správa: Inžinierskogeologický prieskum – Viničné. 2019.
- [15] OBEC VINIČNÉ. Územný plán obce Viničné 01/2018. 2018. Dostupný na <https://www.vinicne.sk/uzemny-plan-obce.html> (dňa 11. 4. 2019).
- [16] ESCHELBACH, C.-HECKMANN, B.-LÖSLER, M.: Determination of High Precision Reference Distances of the Calibration Baseline Neu-Isenburg Using a Mobile Laser Tracker. *Allgemeine Vermessungsnachrichten*, 122, 2015, 3, pp. 95-101.
- [17] SCHWENDENER, H. R.: Elektronische Distanzmesser für kurze Strecken, Genauigkeitsfragen und Prüfverfahren. *Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie*, 69, 1971, 3, pp. 59-67.
- [18] STN ISO 17123-4: Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments to reflectors). 2013.
- [19] DIN 18723-6: Field procedure for precision testing of surveying instruments; electro-optical distance measuring instruments for short ranges. 1990.
- [20] VICTORIA STATE GOVERNMENT. Instrument parameter spreadsheets. 2019. Dostupné na <https://www.propertyandlandtitles.vic.gov.au/surveying/survey-equipment-calibration> (dňa 9. 11. 2020).
- [21] DEUMLICH, F.-STAIGER, R.: *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik*. Heidelberg, Herbert Wichmann Verlag, 2002, 426 p.
- [22] JURETZKO, M.: Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie. Personal communication. 2019.
- [23] WITTE, B.-SCHMIDT, H.: *Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen*. Heidelberg, Herbert Wichmann Verlag, 2006, 678 p.
- [24] KAHMEN, H.: *Angewandte Geodäsie: Vermessungskunde*. Berlin, Walter de Gruyter, 2006, 679 p.
- [25] ŠIFRA, J. (GEOASPEKT, s. r. o.): *Schéma hĺbkovej stabilizácie bodu základnice pre elektronické dialkomery*. 2020.
- [26] DOPRASTAV, a. s.: Technická správa. Výroba a montáž platní a uzamykateľných krytov na body geodetickej kalibračnej základnice, 2020, 8 s.

Do redakcie došlo: 18. 1. 2021

Lektoroval:
Ing. Jiří Lechner, CSc.,
Výzkumný ústav geodetický,
topografický a kartografický, v. v. i.