



MERANIE VODOROVNÝCH POSUNOV NA VODNÝCH STAVBÁCH PROSTREDNÍCTVOM GNSS

Juraj Gašinec

Silvia Gašincová

Hana Staňková

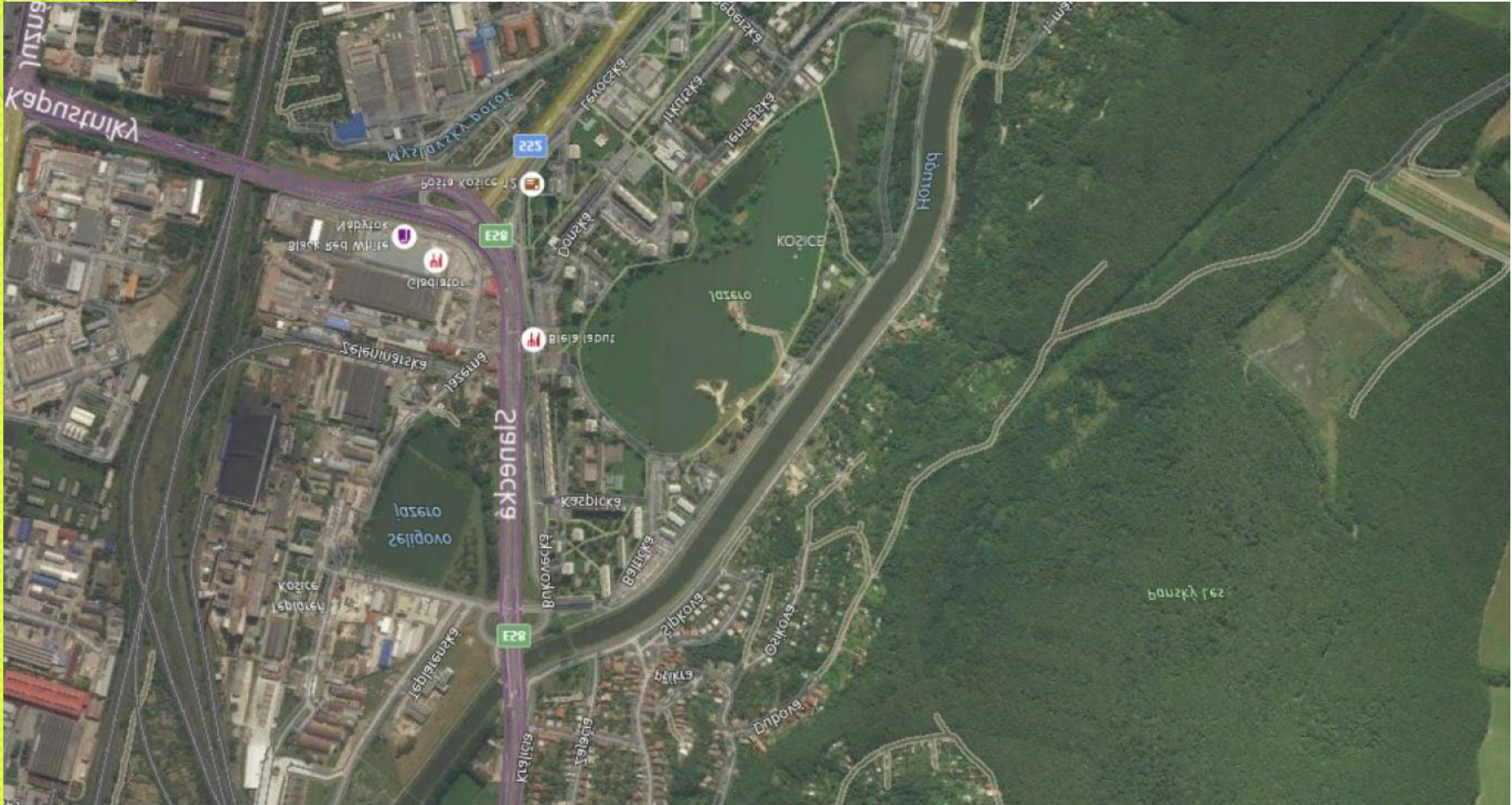
Pavel Černota

Vladislava Zelizňaková

I. Odkalisko TEKO

Vodná stavba Odkalisko TEKO slúži k ukladaniu pevného odpadu vzniknutého pri spaľovaní uhlia v teplárni. Ide o vodnú stavbu údolného typu s hrádzovým systémom prehradzujúcim údolie bezmenného potoka. Hrádzový systém popolového odkaliska TEKO pozostáva zo základnej hrádze a z troch nadvyšovacích hrádzí. Nadmorská výška koruny základnej hrádze je 243,80 m n. m., kóta najvyššej nadvyšovacej hrádze je 250,00 m n. m. Odkalisko popola pre Tepláreň Košice, a. s. sa nachádza cca 3,5 km od vlastnej teplárne. Odkalisko TEKO pozostáva z hrádzového systému, prívodu hydrozmesí, sedimentačného priestoru, drenáži a drenážnych zvodov, gravitačného drénu, prepadových veží, potrubia odsedimentovanej vody, merného objektu odsedimentovanej vody, čerpacej stanice vratnej vody a potrubia vratnej vody.

Situácia objektu Tepláreň Košice, a. s. a Odkaliska TEKO



<https://www.bing.com/maps>

Družicové metódy v geodézii a katastru,
Brno 24. január 2019

Vodná stavba	Odkalisko TEKO Košice
Kategória VS	III.
Typ odkaliska	popolové
Miesto stavby (obec)	Krásna nad Hornádom
Územný celok (okres)	Košice IV.
Kraj	Košický kraj:
Vodný tok	Bezmenný potok- pravostranný prítok Torysy
č. toku: 053 v km 4,7	
č. hydrologického poradia 4- 32-04-001	
Druh a typ stavby	Hrádzový systém pozostávajúci zo základnej hrádze
a z troch nadvýšení	
Charakter stavby	Hrádzový systém údolného typu
Účel	Akumulácia popolčeka
Charakter stavby	Hrádzový systém údolného typu
Účel	Akumulácia popolčeka

2. Terénne práce

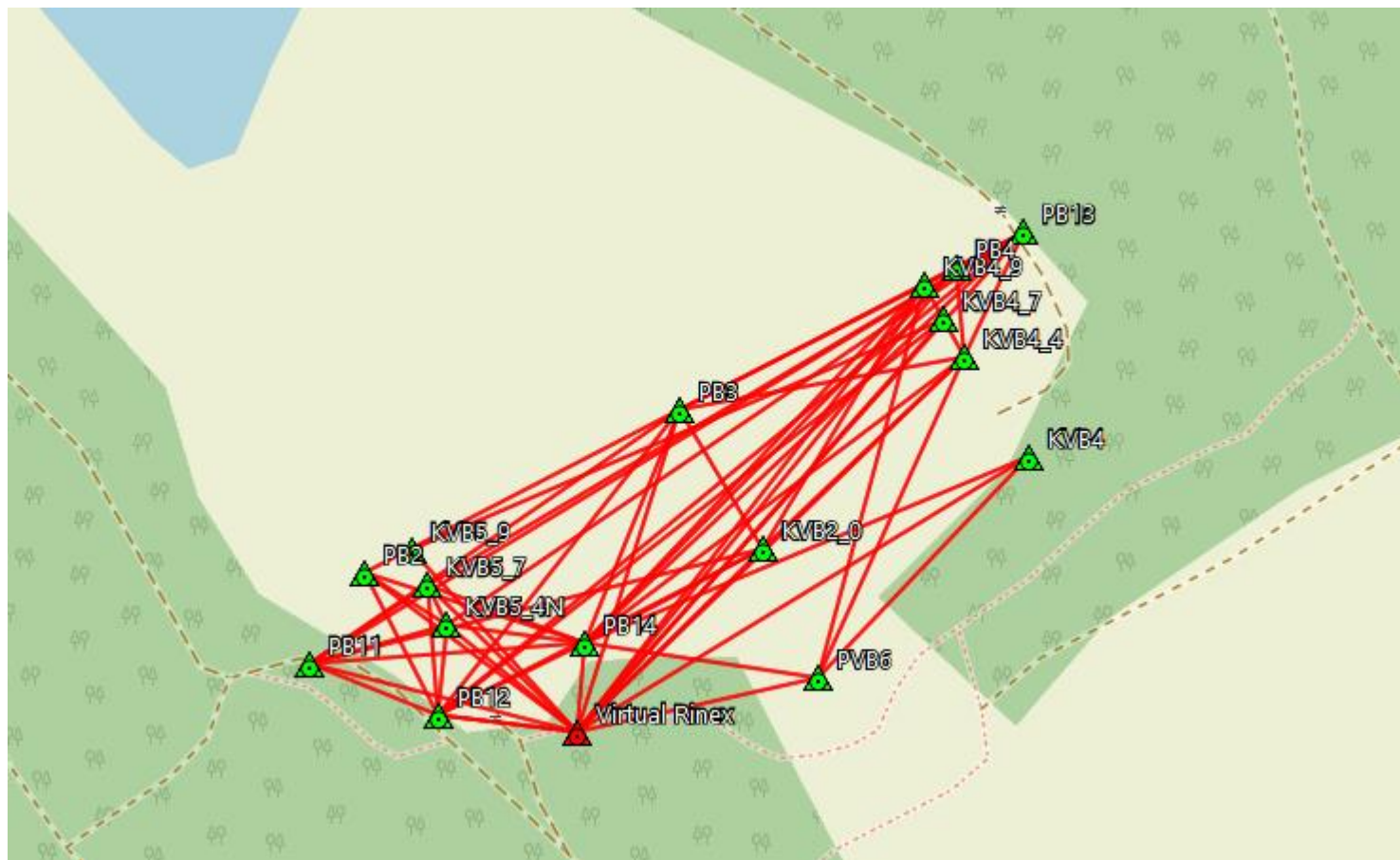
sa uskutočnili dňa 29.11.1016 s použitím šiestich jednofrekvenčných GNSS aparatúr Sokkia Stratus



3. Postprocessingové spracovanie vektorov a vyrovnanie siete

Least Squares Adjustment Summary	
Observations	237
Unknowns	48
Degrees of Freedom	189
Convergence Limit	0.0001
Iterations	2
Confidence Level	95.0 %
A Posteriori Reference Variance	0.26
Chi-square Reference Variance Test	152.822 <= 49.785 <= 228.964
Confidence Region Expansion	Fisher-Snedecor Distribution
1 Dimensional	2.7897
2 Dimensional	2.4673
3 Dimensional	2.3032
A Posteriori Vector Accuracy	4.4 mm + 0.8ppm
A Posteriori Network Accuracy	0.2 cm + 0.3ppm
	Carlson SurveyGNSS 2016 [Online]

Medzi 16 pozorovanými bodmi navzájom a referenčnou stanicou meraných bolo určených 79 vektorov s fixovanými ambiguitami.



Vyrovnané súradnice a charakteristiky presnosti v súradnicovom systéme ETRS89

Remarks	X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_x [cm]	σ_y [cm]	σ_z [cm]	ρ_{xy}	ρ_{xz}	ρ_{yz}
KVB4/9	3930071.425	1532909.353	4768213.207	0.134	0.124	0.130	0.051	0.096	0.034
PB11	3930274.578	1532714.117	4768109.747	0.130	0.124	0.134	0.042	0.084	0.033
KVB4/4	3930083.354	1532931.850	4768189.741	0.127	0.122	0.126	0.024	0.059	0.015
PB2	3930239.686	1532724.954	4768134.390	0.153	0.148	0.156	0.017	0.067	0.003
KVB2/0	3930168.739	1532875.013	4768136.211	0.136	0.128	0.136	0.036	0.054	0.031
PB14	3930222.918	1532816.792	4768110.436	0.099	0.096	0.099	0.013	0.041	0.006
KVB5/4N	3930239.482	1532761.624	4768116.495	0.131	0.128	0.132	0.009	0.045	0.008
KVB4	3930099.099	1532966.640	4768158.263	0.211	0.189	0.211	0.017	0.185	-0.008
PB13	3930042.613	1532942.319	4768229.091	0.128	0.117	0.125	0.021	0.127	0.013
KVB5/7	3930232.522	1532750.430	4768129.399	0.140	0.137	0.141	0.010	0.049	0.011
KVB4/7	3930077.431	1532920.234	4768202.155	0.193	0.190	0.193	0.009	0.019	0.007
PB12	3930267.352	1532768.511	4768092.179	0.107	0.104	0.108	0.015	0.041	0.014
KVB5/9	3930225.882	1532740.557	4768140.631	0.233	0.229	0.234	0.010	0.022	0.007
PB4	3930061.548	1532919.690	4768217.916	0.170	0.163	0.168	0.030	0.064	0.017
PVB6	3930189.628	1532907.940	4768090.975	0.162	0.151	0.163	0.028	0.124	0.007
PB3	3930144.532	1532828.570	4768178.786	0.124	0.116	0.123	0.036	0.067	0.024
Virtual Rinex	3930229.108	1532815.720	4768060.565						

4. Transformácia súradníc ETRS89 do S-JTSK realizácia JTSK03

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{ETRS89} \xRightarrow{T1} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{Bessel} \xRightarrow{T2}$$

$$\begin{pmatrix} B \\ L \\ H \end{pmatrix} \xRightarrow{T3} \begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} \xRightarrow{T4}$$

$$\begin{pmatrix} \check{S} \\ D \end{pmatrix} \xRightarrow{T5} \begin{pmatrix} \rho \\ \varepsilon \end{pmatrix} \xRightarrow{T6} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_{JTSK03}$$

TI trojrozmerná konformná transformácia – Burša Wolfov model

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{Bessel} = \begin{pmatrix} t_X \\ t_Y \\ t_Z \end{pmatrix} + (1 - m) \begin{pmatrix} 1 & r_Z & -r_Y \\ -r_Z & 1 & r_X \\ r_Y & -r_X & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{ETRS89}$$

$$\Sigma_{C_{Bessel}} = R \Sigma_{C_{ETRS89}} R^T$$

Transformačné parametre sú definované:

- Vyhláška ÚGKK SR 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
- Smernica na vykonávanie geodetických meraní prostredníctvom slovenskej priestorovej observačnej služby. ÚGKK SR - O-84.II.13.31.12.00-16. Bratislava 2016.
- DROŠČÁK, Branislav. Súradnicový systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej a jeho vzťah k Európskemu terestrickému referenčnému systému 1989. Technické správa. Bratislava: Geodetický a kartografický ústav Bratislava. 2018.

T2 Transformácia medzi karteziánskymi a elipsoidickými súradnicami

Transformačné vzťahy:

- iteračné
- priame (riešenie podľa Bowringa)

$$\Sigma_{BLH} = \begin{pmatrix} \frac{\partial X}{\partial B} & \frac{\partial X}{\partial L} & \frac{\partial X}{\partial H} \\ \frac{\partial Y}{\partial B} & \frac{\partial Y}{\partial L} & \frac{\partial Y}{\partial H} \\ \frac{\partial Z}{\partial B} & \frac{\partial Z}{\partial L} & \frac{\partial Z}{\partial H} \end{pmatrix}^{-1} \Sigma_{XYZ} \begin{pmatrix} \frac{\partial X}{\partial B} & \frac{\partial X}{\partial L} & \frac{\partial X}{\partial H} \\ \frac{\partial Y}{\partial B} & \frac{\partial Y}{\partial L} & \frac{\partial Y}{\partial H} \\ \frac{\partial Z}{\partial B} & \frac{\partial Z}{\partial L} & \frac{\partial Z}{\partial H} \end{pmatrix}^{-1}{}^T$$

Transformácie **T3-T6** Křřovákovo zobrazenia

$$\begin{pmatrix} B \\ L \\ H \end{pmatrix}_{Bessel} \xRightarrow{T3} \begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} \xRightarrow{T4} \begin{pmatrix} \check{S} \\ D \end{pmatrix} \xRightarrow{T5} \begin{pmatrix} \rho \\ \varepsilon \end{pmatrix} \xRightarrow{T6} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_{JTSK03}$$

- Vzťahy matematickej kartografie
 - DANIŠ, Michal. Matematická kartografia. Bratislava: SVŠT, 1976.
 - BUCHAR, Petr a Vladislav HOJOVEC. Matematická kartografie 10. Praha: ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01491-6.
- Kovariančná matica kartografických súradníc x, y v S-JTSK sa určí postupným aplikovaním zákona hromadenie (prenášania) stredných chýb.

$$\Sigma_{U \Delta V} = \begin{pmatrix} \frac{\partial U}{\partial B} & \frac{\partial U}{\partial L} \\ \frac{\partial \Delta V}{\partial B} & \frac{\partial \Delta V}{\partial L} \end{pmatrix} \Sigma_{BL} \begin{pmatrix} \frac{\partial U}{\partial B} & \frac{\partial U}{\partial L} \\ \frac{\partial \Delta V}{\partial B} & \frac{\partial \Delta V}{\partial L} \end{pmatrix}^T$$

$$\Sigma_{\check{S}D} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \check{S}}{\partial U} & \frac{\partial \check{S}}{\partial \Delta V} \\ \frac{\partial D}{\partial U} & \frac{\partial D}{\partial \Delta V} \end{pmatrix} \Sigma_{U \Delta V} \begin{pmatrix} \frac{\partial \check{S}}{\partial U} & \frac{\partial \check{S}}{\partial \Delta V} \\ \frac{\partial D}{\partial U} & \frac{\partial D}{\partial \Delta V} \end{pmatrix}^T$$

$$\Sigma_{\rho\varepsilon} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \rho}{\partial \check{S}} & \frac{\partial \rho}{\partial D} \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial \check{S}} & \frac{\partial \varepsilon}{\partial D} \end{pmatrix} \Sigma_{\check{S}D} \begin{pmatrix} \frac{\partial \rho}{\partial \check{S}} & \frac{\partial \rho}{\partial D} \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial \check{S}} & \frac{\partial \varepsilon}{\partial D} \end{pmatrix}^T$$

$$\Sigma_{xy} = \begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial \rho} & \frac{\partial x}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial y}{\partial \rho} & \frac{\partial y}{\partial \varepsilon} \end{pmatrix} \Sigma_{\rho\varepsilon} \begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial \rho} & \frac{\partial x}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial y}{\partial \rho} & \frac{\partial y}{\partial \varepsilon} \end{pmatrix}^T$$

Súradnice a charakteristiky ich presnosti v realizácii JTSK03

Bod	x[m]	y[m]	σ_x [mm]	σ_y [mm]	σ_{xy}	a[mm]	b[mm]	Smer.[g]
KVB4/9	1242945.255	259253.916	1.31	1.26	0.04	1.32	1.24	24.88
PB11	1243090.487	259516.547	1.31	1.25	0.03	1.32	1.24	16.70
KVB4/4	1242975.963	259238.689	1.26	1.23	0.02	1.27	1.22	22.78
PB2	1243053.852	259492.065	1.54	1.49	0.02	1.54	1.48	17.05
KVB2/0	1243051.583	259326.226	1.35	1.29	0.03	1.36	1.28	21.04
PB14	1243087.176	259401.861	0.99	0.96	0.02	0.99	0.96	21.03
KVB5/4N	1243077.079	259458.865	1.31	1.28	0.01	1.31	1.28	18.69
KVB4	1243018.435	259213.929	2.09	1.93	0.06	2.11	1.90	21.05
PB13	1242925.524	259211.787	1.26	1.19	0.05	1.27	1.18	23.59
KVB5/7	1243060.292	259465.999	1.40	1.37	0.01	1.40	1.37	18.70
KVB4/7	1242960.073	259246.635	1.93	1.90	0.01	1.93	1.90	21.04
PB12	1243114.299	259464.293	1.07	1.04	0.02	1.07	1.04	18.67
KVB5/9	1243045.241	259472.098	2.33	2.30	0.01	2.33	2.29	19.20
PB4	1242938.673	259240.381	1.68	1.64	0.02	1.69	1.63	23.60
PVB6	1243106.048	259305.626	1.61	1.53	0.04	1.62	1.52	20.29
PB3	1242992.346	259358.003	1.23	1.17	0.04	1.24	1.16	22.10
VREF	1243123.944	259406.805	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00

Súradnice v realizácii JTSK03, ale aj JTSK vykazujú vzhľadom k súradniciam predchádzajúceho etapového zamerania Odkaliska TEKO systematické chyby:

Suradnice taziska

	x[m]	y[m]
TEKO	1243034.5652	259365.9542
JTSK03	1243033.8501	259364.6548
Posun	0.7151	1.2994

pootočenie -4.833 mgon

mierka 1.00016184 (16.18mm/100m)

Súradnice a charakteristiky ich presnosti v realizácii S-JTSK_{TEKO}

Bod	x[m]	y[m]	σ_x [mm]	σ_y [mm]	ρ_{xy}	a[mm]	b[mm]	Smer.[g]
KVB4/9	1242945.953	259255.204	1.66	1.62	0.02	1.67	1.61	25.433
PB11	1243091.229	259517.867	1.71	1.67	0.02	1.72	1.66	18.114
KVB4/4	1242976.664	259239.972	1.61	1.59	0.01	1.61	1.58	22.049
PB2	1243054.586	259493.384	1.82	1.77	0.01	1.82	1.77	17.338
KVB2/0	1243052.304	259327.518	1.52	1.47	0.02	1.53	1.46	18.562
PB14	1243087.909	259403.162	1.24	1.22	0.01	1.24	1.21	18.343
VB5/4N	1243077.814	259460.176	1.57	1.55	0.01	1.57	1.55	12.970
KVB4	1243019.141	259215.205	2.34	2.20	0.05	2.36	2.18	20.535
PB13	1242926.216	259213.070	1.75	1.70	0.03	1.76	1.69	22.868
KVB5/7	1243061.024	259467.313	1.65	1.62	0.01	1.65	1.62	13.766
KVB4/7	1242960.772	259247.921	2.18	2.15	0.01	2.18	2.15	18.083
PB12	1243115.041	259465.602	1.44	1.41	0.01	1.44	1.41	19.508
KVB5/9	1243045.972	259473.414	2.49	2.46	0.01	2.50	2.46	20.919
PB4	1242939.368	259241.668	2.00	1.96	0.01	2.00	1.96	22.049
PVB6	1243106.776	259306.910	1.81	1.74	0.03	1.82	1.73	21.174
PB3	1242993.059	259359.305	1.41	1.36	0.03	1.42	1.35	21.468

$$\Sigma_{TEKO} = \Sigma_{xy} + H\Sigma_{TP}H^T$$

5. Vyhodnotenie vodorovných posunov

Bod	9. etapové meranie				10. etapové meranie				Posun	
	x [m]	y [m]	sx [mm]	sy [mm]	x [m]	y [m]	sx [mm]	sy [mm]	p [mm]	$t_a \times sp$ [mm]
KVB4/9	1242945.953	259255.206	0.8	0.8	1242945.953	259255.204	1.7	1.6	1.7	3.5
PB11	1243091.228	259517.867	0.1	0.1	1243091.229	259517.867	1.7	1.7	0.9	3.3
KVB4/4	1242976.667	259239.974	0.4	0.8	1242976.664	259239.973	1.6	1.6	3.3	3.3
PB2	1243054.585	259493.383	0.1	0.1	1243054.586	259493.384	1.8	1.8	1.2	3.5
KVB2/0	1243052.301	259327.518	1.5	0.6	1243052.304	259327.518	1.5	1.5	3.0	4.2
PB14	1243087.909	259403.162	0.2	0.1	1243087.909	259403.162	1.2	1.2	0.6	2.4
KVB5/4N	1243077.813	259460.175	1.1	1.2	1243077.814	259460.176	1.6	1.6	1.8	3.8
KVB4	1243019.141	259215.200	1.4	1.4	1243019.141	259215.205	2.3	2.2	5.2	5.1
PB13	1242926.215	259213.068	0.5	0.3	1242926.216	259213.070	1.8	1.7	2.1	3.4
KVB5/7	1243061.025	259467.312	1.4	0.8	1243061.024	259467.313	1.7	1.6	1.3	3.9
KVB4/7	1242960.771	259247.920	0.7	0.5	1242960.772	259247.921	2.2	2.2	1.6	4.4
PB12	1243115.043	259465.603	0.1	0.0	1243115.041	259465.603	1.4	1.4	2.4	2.8
KVB5/9	1243045.968	259473.411	1.4	0.8	1243045.972	259473.414	2.5	2.5	5.1	5.4
PB4	1242939.373	259241.668	0.5	0.3	1242939.368	259241.668	2.0	2.0	4.8	4.0
PVB6	1243106.778	259306.911	0.4	0.1	1243106.776	259306.910	1.8	1.7	1.8	3.6
PB3	1242993.059	259359.306	0.3	0.2	1242993.059	259359.305	1.4	1.4	1.5	2.7

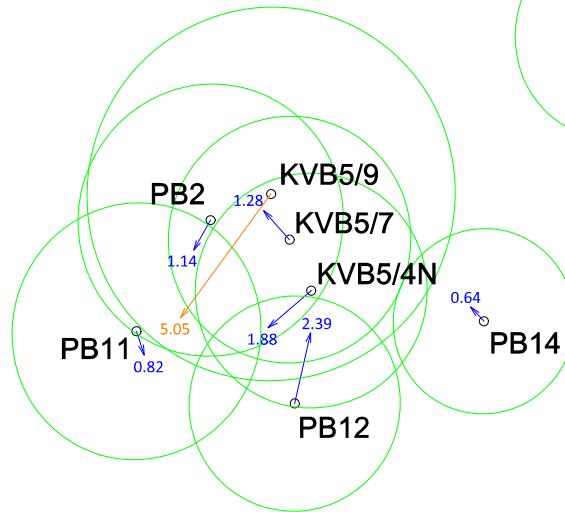
$$(t_\alpha = 1.96)$$

VODNÁ STAVBA: ODKALISKO TEKO

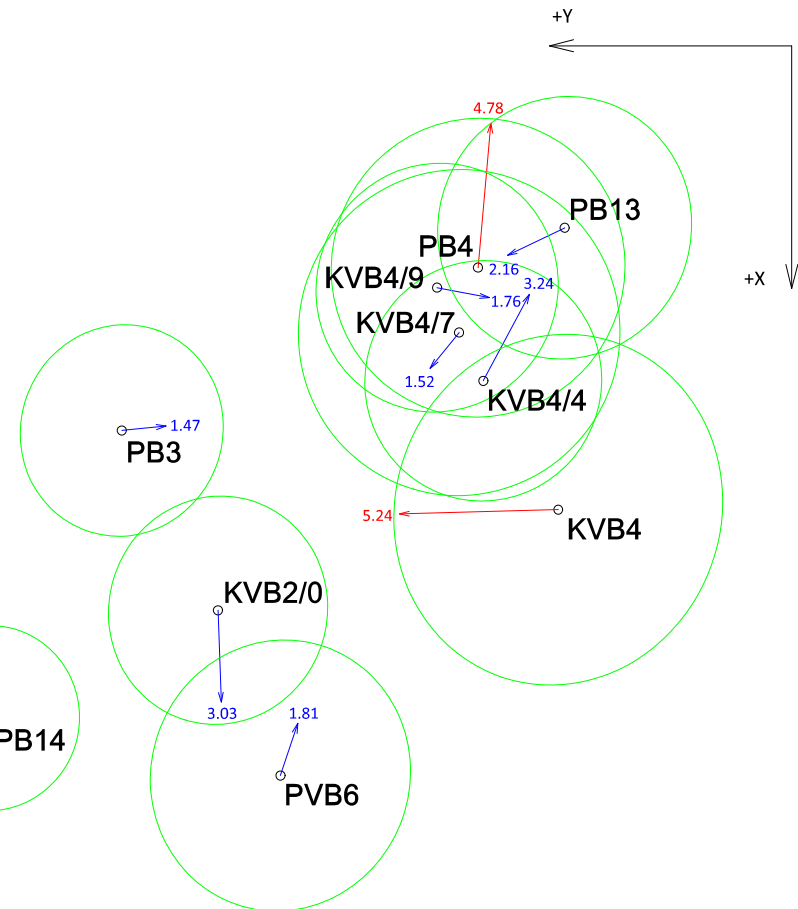
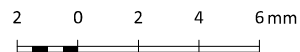
Vyhodnotenie vodorovných posunov medzi 9. a 10. etapovým meraním

Legenda:

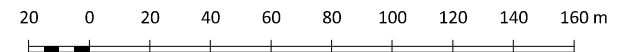
- Pozorovaný bod
- Vektor posunu [mm]
- 95% absolútne konfidénčné elipsy 10. etapového merania



Mierka posunov a konfidénčných elíps



Mierka 1:2000



Záver

Prezentovaný postup spracovania kombinovaných terestrických a GNSS etapových meraní realizovaných v rámci výuky vo vzťahu k výkonu odborného technicko-bezpečnostného dohľadu nad vodnými stavbami preukázal:

- Splnenie kritérií na presnosť merania aj pre jednofrekvenčné GNSS (GPS) prijímače pre meranie polohových deformácií násypov zemných hrádzí $\pm 10\text{mm}$ a balvanitých hrádzí $\pm 50\text{mm}$ (ON 73 6807 Meranie a pozorovanie na vodných dielach. Odborová norma MLVH ČSR. Praha : ÚNM, 1974).
- Efektivitu riešenia



Ďakujem za pozornost'