

# SKTRF 2001 - - REFERENČNÝ RÁMEC PRE ŠTÁTNU PRIESTOROVÚ SIETĽ

*Katarína Leitmannová, Matej Klobušiak, Štefan Priam, Dušan Ferianc*<sup>1</sup>

## **SKTRF 2001 – Reference Frame for National Spatial Network**

**Abstract:** *Global positioning reference basis ETRS89, its model realization process on the territory of Slovakia by means of the Slovak Kinematic Reference Frame SKTRF 2001 and its official connection to the EUREF points.*

## **1. Úvod**

Pri budovaní kvalitatívne a významovo nových geodetických základov ( GZ ) spĺňajúcich najprísnejšie vedecké požiadavky na kvalitu informácie a jednotnosť v celosvetovom a teda aj európskom rozsahu stojí pred špecialistami mnoho väčších a menších výziev. Veľmi dôležitou výzvou je vybudovať v rezorte ÚGKK SR takú multifunkčnú službu, ktorou sa umožní lokalizovať objekty a javy v reálnom čase s vysokou presnosťou a spoľahlivosťou v Európskom terestrickom referenčnom systéme **ETRS 89** tak pre vybrané geodetické činnosti ako aj pre negeodetické aplikácie. Jedným zo systémových krokov zabezpečovania časti služby je na bodoch Slovenskej geodynamickéj referenčnej siete určiť reprezentanta realizácie ETRS 89 s označením Slovenský terestrický referenčný rámec **SKTRF**.

## **2. Motivácia budovania nových geodetických základov**

Predikcia vývoja nových GZ naznačuje, že na určenie veľmi presnej okamžitej polohy objektu nebude treba národnú sieť pasívnych referenčných bodov rozmiestnených na území Slovenska. Nové celosvetové priestorové GZ v klasickom ponímaní sú nezávislé od realizácie referenčného systému na našom území pomocou siete referenčných bodov. Ale neplatí to opačne. Okamžitú polohu v krátkej budúcnosti určíme s milimetrovou presnosťou len za pomoci prijímača GNSS prijímajúceho signály z družíc a služby riadiacej v sieti kooperujúce referenčné permanentné GNSS stanice. Ale ak nás bude zaujímať územie Slovenska ako dynamický objekt, potom musíme na jeho území rozmiestniť hustú sieť kvalitne stabilizovaných špeciálnych geodetických bodov SGRN. Na ich konfigurácii tvoríme dynamickú a stochastickú realizáciu referenčného súradnicového systému. Hustota bodov závisí len od finančných možností investovaných do budovania a rozvoja nových priestorových GZ.

Vývoj nových GZ aj na Slovensku smeruje k budovaniu a prevádzkovaní SPGS (Slovenskej permanentnej GNSS služby na využívanie globálnych navigačných satelitných systémov), pomocou ktorej každý, kto bude vybavený určitým technickým a programovým vybavením a bude dodržiavať presne stanovené zásady, určí polohu ľubovoľného bodu v celoeurópskom, teda aj celosvetovom súradnicovom referenčnom systéme s vysokou presnosťou. Úsilie vyspelých krajín smeruje k určovaniu presnej polohy v reálnom čase. Slovensko je zatiaľ

---

<sup>1</sup> Ing. Katarína Leitmannová, e-mail: [leitmannova@gku.sk](mailto:leitmannova@gku.sk), Ing. Matej Klobušiak, PhD., e-mail: [klobusiak@gku.sk](mailto:klobusiak@gku.sk), Ing. Štefan Priam, PhD., e-mail: [priam@gku.sk](mailto:priam@gku.sk), Ing. Dušan Ferianc, e-mail: [ferianc@gku.sk](mailto:ferianc@gku.sk), Geodetický a kartografický ústav, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, tel. ++421 2 4333 4822, fax: ++421 2 4342 7511

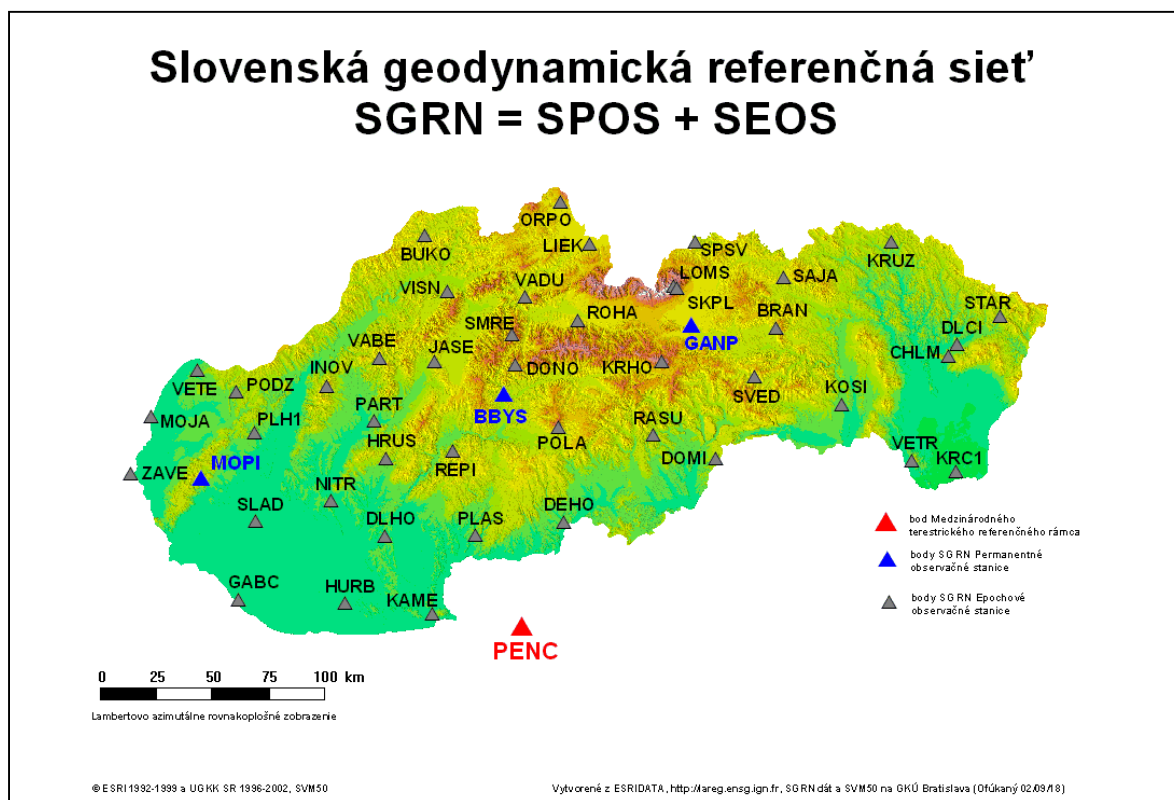
v štádiu presného určovania polohy post-processingovým režimom. Prezentácia SKTRF 2001 je toho dôkazom.

### 3. Slovenský terestrický referenčný rámec – SKTRFyy

Správca GZ – GKÚ Bratislava vyvíja maximálne úsilie včleniť Slovenský terestrický referenčný rámec 2001 (SKTRF 2001) do Európskeho priestorového referenčného systému (ESRS). Pre Štátnu priestorovú sieť (ŠPS) a ostatné lokalizačné účely SKTRFyy chápeme ako lokalizačný etalón. Vzniká kvalifikovaným stochastickým pripojením voľných riešení všetkých na Slovensku vykonaných relevantných kampaní (pozri Tab. 2), hlavne Slovenskej geodynamickej referenčnej siete (SGRN), do Medzinárodného terestrického referenčného rámca ITRFyy a ETRFyy.

#### 3.1 Slovenská geodynamická referenčná sieť - SGRN

Body SGRN delíme na body permanentnej observácie SPOS (SGRN Permanent Observation Station) a body SEOS (SGRN Epoch Observation Station). V súčasnosti je 47 bodov SGRN, z toho 3 SPOS (MOPI-EPN, BBYS, GANP) a 44 SEOS. Bod GANP sa pripravuje ako bod permanentnej observácie s perspektívou jeho zaradenia do EPN (EUREF Permanent Network) Ich konfigurácia je na Obr. 1.



Obr. 1 Konfigurácia SGRN

Od roku 1993, kedy sa uskutočnilo 1. meranie v sieti SGRN, boli vykonané opakované merania v roku 1995, 1998, 1999, 2000 a 2001. Zoznam bodov meraných v jednotlivých rokoch je uvedený v Tab. 1.

Tab. 1 Zoznam bodov meraných v jednotlivých kampaniach

	SGRN	1993	1995	1998	1999	2000	2001
I	Bod	Čas v hodinách					
1	BBYS				88		138
2	BRAN		36		42		52
3	BUKO		36		42		52
4	DEHO	36	36	126	42		120
5	DEKO					50	
6	DLCI						120
7	DLHO	36	36	25	42	50	47
8	DOMI	72	108	33	39		52
9	DONO		36		42		52
10	GABC		36		42	50	52
11	GANO				56		
12	HLOH		36		42		
13	HRUS		36		42		65
14	HURB					50	120
15	CHLM		36		42		24
16	INOV		36		42		
17	JASE		36		42		
18	KAME		108		42	50	16
19	KOSI	36	36				60
20	KRHO		36		42		55
21	KRC1				42		52
22	KRCH	36	36	31			
23	KRUZ	36	36	31	42		61
24	KVET		36				
25	LIEK				59		120
26	LIES	36	36				
27	LOMS				59		
28	MOJA					50	46
29	MOPI	72	36	168	120	72	144

	SGRN	1993	1995	1998	1999	2000	2001
vi	Bod	Čas v hodinách					
30	NITR	36	36		42	50	45
31	ORPO		36		42		
32	PART				42		120
33	PLAS		36		42		75
34	PLH1				42	50	
35	PLHO	36	36	24			
36	PODZ		36		42		30
37	POLA		36		42		66
38	PRES						114
39	RASU				42		
40	REPI		36		42		74
41	ROHA		36	29	59		52
42	SAJA	36	36		42		
43	SAND	36	36				
44	SKPL	72	108	126	59		120
45	SLAD					50	67
46	SMRE		36		42		
47	SPHR	36	36				
48	SPSV						67
49	STAR		36		42		67
50	STRE	36	36				
51	SVED		36		76		52
52	VABE		36		42		
53	VADU		36		42		67
54	VEIN	36					
55	VETE		36		38	50	
56	VETR		36		42		67
57	VISN				42		67
58	ZAVE		36		42	50	43

Na individuálne spracovanie všetkých kampaní v SGRN sme použili univerzitný softvér Bernese [ 9 ], vyvinutý Astronomickým inštitútom Univerzity v Berne. Na spracovanie bola použitá stratégia uvedená v [ 18 ], [ 21 ].

Jednoduché diferencie fázových meraní boli vytvárané podľa požiadavky – minimálna dĺžka, maximálny observačný čas. Na spracovanie boli použité všetky merania bez obmedzovania sampling rate. V prvom kroku boli riešené ambiguita pre každú základnicu pomocou QIF stratégie, približne 80% ambiguit bolo vyriešených. V druhom kroku – celodenné riešenie, boli vyriešené ambiguita eliminované. Bolo počítaných 12 troposférických parametrov pre pre každý deň merania na každom bode. V spracovaní kampane SGRN 2001 bol pre body IGS použitý model troposféry z globálneho riešenia z CODE (Centrum for Orbit Determination in Europe), z meraní GPS sú odhadnuté parametre troposféry len na bodoch SGRN [ 6 ].

Všetky kampane SGRN 1993 – 2001 sa riešili samostatne ako voľné siete. Pripojenie k ITRFyy sa zabezpečilo zadaním stochastickej podmienky apriórnej presnosti 0,0001m pre súradnice jedného bodu IGS, a to GRAZ ( v roku 2001 bod PENC).

Do spracovaní všetkých kampaní SGRN boli začlenené aj merania na európskych permanentných staniciach IGS (International GPS Service for Geodynamics). Účelom

spoločného spracovania SGRN so stanicami IGS je zabezpečiť pripojenie bodov SGRN do ITRF<sub>yy</sub> (Medzinárodný terestrický referenčný rámec), resp. ETRF<sub>yy</sub> (Európsky terestrický referenčný rámec), kde yy znamená epochu merania. Prehľad týchto bodov je na Obr. 2.

### 3.2 Matematický model vytvorenia SKTRF

Pri budovaní národného reprezentanta kinematického referenčného rámca v systéme ETRS89, sme rešpektovali skutočnosť, že objekt, na ktorom ho fyzicky realizujeme pomocou referenčných bodov SGRN, je dynamický. Na každú geodetickú sieť, rozprestierajúcu sa tak na zemskom povrchu ako aj pod ním, pôsobia geodynamické sily. Akonáhle túto skutočnosť nezoberieme do úvahy, pohyby bodov sa budú interpretovať ako chyby merania. V realizácii národného kinematického referenčného rámca sme uvážili pohyb bodov z časového hľadiska.

Ďalší problém, ktorý sme rešpektovali, je stochastická vlastnosť terestrického rámca xTRF<sub>yy</sub>. Súradnice pripájajúcich referenčných bodov sú okrem časovej závislosti aj náhodné veličiny.

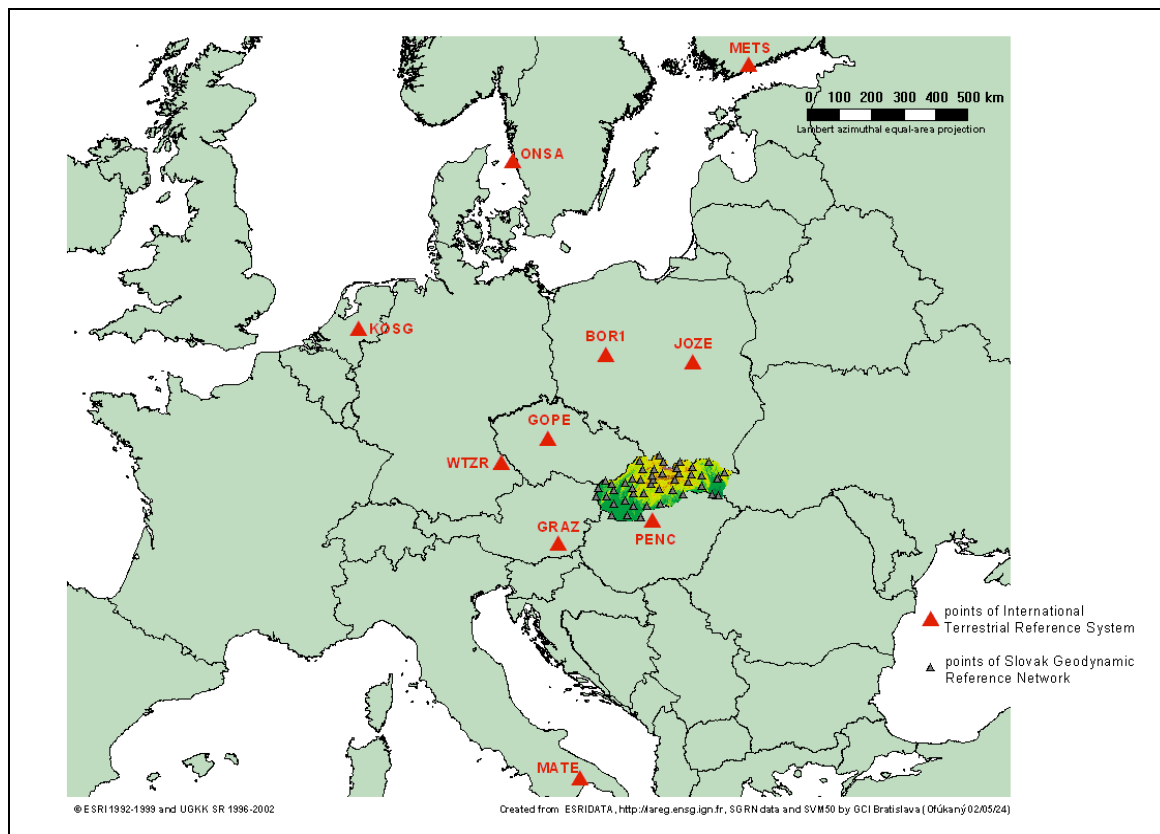
Rozvinúť ŠPS [ 4 ] na územie Slovenska v požadovanej hustote a kvalite nás núti budovať ju po etapách [ 20 ]. Výsledky musia byť také, ako keby sme ŠPS vybudovali naraz. Hlavným kritériom budovania bola združená efektívnosť, spoľahlivosť a nevychýlenosť.

Na simultánny efektívny odhad pohybových rovníc a súradníc geodetických bodov zameraných technológiou GPS je navrhnutý tak matematický model [ 14 ], [ 5 ], [ 23 ], [ 7 ], ako aj jeho realizácia programovým systémom WIGS [ 15 ].

Úplný matematický model efektívneho odhadu súradníc novourčovaných bodov, lokálnych pohybov opakovane zameraných neidentických bodov, odhadu neužitočných parametrov systematického vplyvu deterministického charakteru každej kampane zvlášť a korekčných parametrov excentricity bodu, ak sa vyskytli, je podrobne popísaný v [ 18 ].

V matematickom modeli vytvorenia SKTRF 2001 sú zohľadnené tieto faktory:

- 1) Súradnice referenčných bodov v definovanej epoche ITRF2000 epocha 1997.0.
- 2) Pohybové rovnice (ročné rýchlosti) referenčných bodov definované referenčným rámcom ITRF2000. Parameter rýchlosti  $\mathbf{v}$  môžeme rozdeliť na modelovú rýchlosť celej tektonickej litosférickej platne  $\mathbf{v}^o$  a lokálnu rýchlosť (diferenciálny pohyb) bodu  $\delta\mathbf{v}$ . Platí  $\mathbf{v} = \mathbf{v}^o + \delta\mathbf{v}$ .
- 3) Odhadované rýchlosti neidentických bodov  $\rho$  (SGRN). Vektor globálnej rýchlosti neidentických bodov  $\rho$  môžeme rozdeliť na súčet modelovej  $\rho^o$  (NNR-NUVEL1A) a lokálnej-diferenciálnej rýchlosti  $\delta\rho$ ,  $\rho = \rho^o + \delta\rho$ .
- 4) Odhad súradníc XYZ neidentických bodov (SGRN).
- 5) Transformácia  $j$ -tej epochy siete, získanej spracovaním kampane merania ako voľná sieť, do referenčného rámca ITRF2000. Použiť môžeme ortogonálnu 7, 6, 4, 3 parametrickú podobnostnú transformáciu.
- 6) Neistota v určení centricity bodu. V prípade, že v niektorých epochách pôsobil vplyv vyúsťujúci do excentricity bodu, potom takýto rozpor neidentity bodu modelujeme neznámymi parametrami excentricity [ 11 ], [ 12 ], [ 13 ], [ 5 ] a [ 7 ].



Obr. 2 Pripojenie SGRN k vybraným bodom IGS

### 3.3 Určenie súradníc a ročných rýchlostí bodov SKTRF 2001

Do spoločného spracovania odhadu súradníc a ročných rýchlostí bodov v jednom modeli vstúpili všetky opakované epochové merania na bodoch SGRN uskutočnené v období 1993 až 2001. Ide predovšetkým o kampane ( pozri Tab. 2 ) :

- SGRN 1993 – 2001 (6x),
- kampane CEGRN 1994 – 2001 (6x) [ 7 ]
- kampane TATRY 1998 – 2001 (4x) – lokálna geodynamická sieť [ 22 ],
- kampaň WHS 2001 (1x) (World Height System).

Projekt CERGOP je zameraný na dlhodobé GPS monitorovanie tektonických procesov v regióne Strednej Európy prostredníctvom veľmi kvalitnej siete bodov CEGRN. Súčasťou siete CEGRN je päť bodov zo siete SGRN. Použitím CEGRN v spoločnom spracovaní so SGRN sa postupne získava reálny odhad kinematického modelu lokálnych tektonických procesov na území Slovenska v nadväznosti na okolité územie stredoeurópskeho regiónu. Ako cieľový referenčný systém bol použitý ITRF2000, epocha 1997.0, s vybranou podmnožinou bodov na Obr. 2, v ktorom sú definované stredné hodnoty súradníc bodov IGS a ich rýchlosti pohybu.

Tab. 2 Kampane použité na výpočet SKTRF 2001

Projekt	Epocha merania $t$	Dĺžka observácií [ hodiny]	Počet bodov SGRN	Referenčný rámec	Referenčný bod
ITRF2000	1997.00	permanentne		ITRF2000	
SGRN'93	1993.66	36	17	ITRF94	GRAZ
CEGRN'94	1994.34	120	3	ITRF92	GRAZ
CEGRN'95	1995.41	120	3	ITRF92	GRAZ
SGRN'95	1995.74	36	42	ITRF94	GRAZ
CEGRN'96	1996.45	120	3	ITRF94	GRAZ
CEGRN'97	1997.43	120	3	ITRF94	GRAZ
SGRN'98	1998.48	24 – 30	15	ITRF96	GRAZ
TATRY'98	1998.67	72	6	ITRF96	ROHA
CEGRN'99	1999.45	120	5	ITRF97	GRAZ
SGRN'99	1999.72	42	42	ITRF97	GRAZ
TATRY'99	1999.73	72	6	ITRF97	ROHA
SGRN'00-1.časť	2000.34	48	6	ITRF2000	GRAZ
SGRN'00-2.časť	2000.57	52	11	ITRF2000	GRAZ
TATRY'00	2000.78	72 – 90	5	ITRF2000	ROHA
CEGRN'01	2001.46	120	5	ITRF2000	GRAZ
SGRN'01	2001.46	55 – 62	38	ITRF2000	PENC
TATRY'01	2001.69	72	6	ITRF2000	ROHA
WHS'01	2001.75	93	11	ITRF2000	PENC

Spracovanie bolo vykonané podľa nasledujúcich zásad:

1. všetky kampane vstupujú do spracovania ako voľné siete po predspracovaní softvérom Bernese s podmienkou apriórnej presnosti 0,0001 m pre referenčný bod kampane,
2. použitá 7-parametrická podobnostná transformácia na spájanie voľných sietí,
3. cieľový referenčný rámec ITRF2000 epocha 1997.0 má zafixované súradnice pripájacích bodov IGS (pôsobia ako etalón), ale rešpektuje sa ich nepresnosť zohľadnená v GKM, ktorá ovplyvní odhady súradníc bodov národného referenčného rámca a ich charakteristiky presnosti.

Odhad súradníc bodov SKTRF2001, kovariančnej matice, ako aj odhad ich globálneho a lokálneho pohybu bol vykonaný podľa matematického modelu popísaného v [ 18 ]. V Tab. 7 sa nachádza odhad globálneho ( $\rho$ ) aj lokálneho pohybu ( $\delta\rho$ ) bodov SKTRF2001 vzhľadom na globálnu rýchlosť modelu NNR-NUVEL1A ( $\rho^\circ$ ). Rýchlosti boli odhadnuté pre 34 bodov SGRN, na ktorých bolo vykonané meranie min. v troch kampaniach (pozri Tab. 1).

Z odhadnutých hodnôt rýchlostí v Tab. 7 je na Obr. 3 a Obr. 4 znázornená mapa izolínií diferenciálneho rýchlostného poľa pre smer sever – juh a východ – západ zvlášť.

Na overenie voľby vhodného postupu pripájania bodov SGRN do ITRF 2000 sme použili IGS bod PENC ako kontrolný bod. Zvolili sme taký variant spracovania, v ktorom bod PENC vystupuje ako nový bod SGRN. Jeho etalónové súradnice známe z referenčného rámca sme nebrali do úvahy, takže sme ich odhadovali ako nový bod SGRN. V Tab. 3 je porovnanie nami dosiahnutých súradníc so súradnicami uvedenými v ITRF 2000. Rozdiely sú na úrovni 3.5 násobku smerodajnej odchýlky nesignifikantné. V Tab. 4 sú porovnané nami odhadnuté lokálne rýchlosti na bode PENC voči ITRF2000.

V [ 2 ] sú odhadnuté globálne rýchlosti bodov CEGRN a ich rozdiely voči modelu NNR-NUVEL1A inou stratégiou [ 1 ], aká bola použitá pri výpočte SKTRF2001. Na ich odhad boli využité len merania v sieti CEGRN (1994 – 2001, pozri Tab. 2). Porovnanie rýchlostí

odhadnutých pri výpočte SKTRF2001 a v CEGRN [ 2 ] pre 2 body, ktoré sú súčasne bodmi SGRN aj CEGRN je v Tab. 5. Rozdiely medzi obidvoma prístupmi nenadobúdajú štatisticky významné hodnoty.

Tab. 3 Porovnanie súradníc na IGS bode PENC

Bod	SKTRF 2001 v ITRF 2000		ITRF 2000		diferencia				
	epocha 1997.0		epocha 1997.0		dX dY dZ	$\sigma$	dn de du	$\sigma$	
	[m]	[mm]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
PENC	X	4 052 449.622	0.7	4 052 449.626	2.6	3.9	2.7	-0.3	0.1
	Y	1 417 680.986	0.3	1 417 680.986	1.2	0.7	1.2	0.7	0.2
	Z	4 701 407.034	0.8	4 701 407.038	3.1	4.0	3.2	5.6	4.4

Tab. 4 Porovnanie rýchlostí na IGS bode PENC

	SKTRF2001		ITRF2000		rozdiel	
	$\delta\rho(BLH)$	$\sigma(\delta\rho)$	$\delta\rho(BLH)$	$\sigma(\delta\rho)$	$d\delta\rho(BLH)$	
	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]
	0.9	0.1	0.4	1.3	0.5	1.3
PENC	1.8	0.1	1	0.6	0.8	0.6
	-3.9	0.5	-0.5	1.3	-3.4	1.4

Tab. 5 Porovnanie odhadnutých rýchlostí v SKTRF2001 a CEGRN

bod	globálna rýchlosť						lokálna rýchlosť					
	SKTRF2001		CEGRN		rozdiel		SKTRF2001		CEGRN		rozdiel	
	$\rho(XYZ)$	$\sigma(\rho)$	$\rho(XYZ)$	$\sigma(\rho)$	$d\rho(XYZ)$	$\sigma(d\rho)$	$\delta\rho(BLH)$	$\sigma(\delta\rho)$	$\delta\rho(BLH)$	$\sigma(\delta\rho)$	$d\delta\rho(BLH)$	$\sigma(d\delta\rho)$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(2)-(4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(6)-(8)	(10)-(12)	
	-18.1	0.6	-18.3	1.9	0.3	2.2	1.4	0.2	1.5	0.5	-0.1	1.1
DEHO	17.4	0.2	16.9	1.5	0.5	1.9	0.9	0.1	0.4	0.9	0.5	1.4
	8.0	0.7	7.6	4.2	0.4	3.1	-1.5	1.0	-2.1	5.6	0.6	3.6
	-18.6	0.3	-17.3	1.8	-1.3	2.1	1.4	0.1	1.6	0.5	-0.2	1.1
SKPL	16.3	0.1	16.7	1.5	-0.4	1.8	0.3	0.1	0.0	0.9	0.3	1.4
	7.0	0.4	9.0	4.2	-2.0	3.0	-2.4	0.5	-0.1	5.4	-2.3	3.4

V Tab. 6 je porovnaná odhadnutá rýchlosť na bode MOPI z epochových meraní v rámci výpočtu SKTRF2001 a z permanentnej observácie v dĺžke 3,8 roka [ 8 ]. Výsledky preukazujú dobrú zhodu.

Tab. 6 Porovnanie odhadnutých rýchlostí na bode MOPI

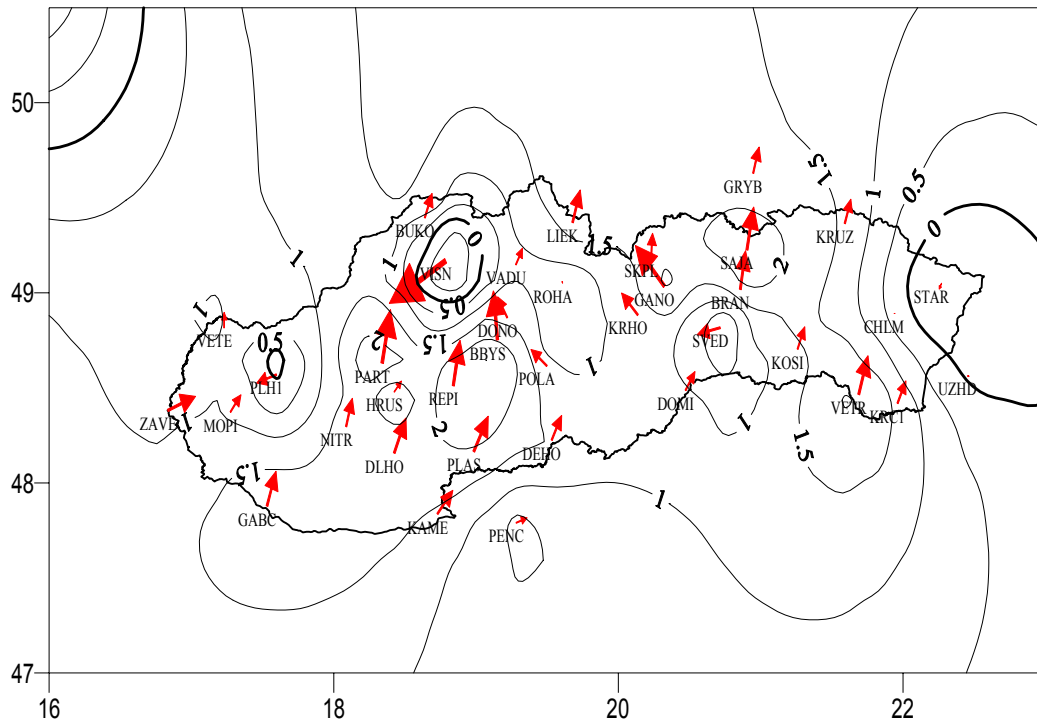
	globálna rýchlosť					
	SKTRF2001		perm.observácia (3,8 roka) [ 8 ]		rozdiel	
	$\rho(BLH)$	$\sigma(\rho)$	$\rho(BLH)$	$\sigma(\rho)$	$d\rho(BLH)$	$\sigma(d\rho)$
	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]
MOPI	13.8	0.2	14.4	0.4	-0.6	0.4
	22.2	0.1	21.2	0.4	1.0	0.4
	2.1	1.0	3.3	2.3	-1.2	2.5

Tab. 7 Odhadnuté globálne a lokálne rýchlosti bodov SKTRF2001

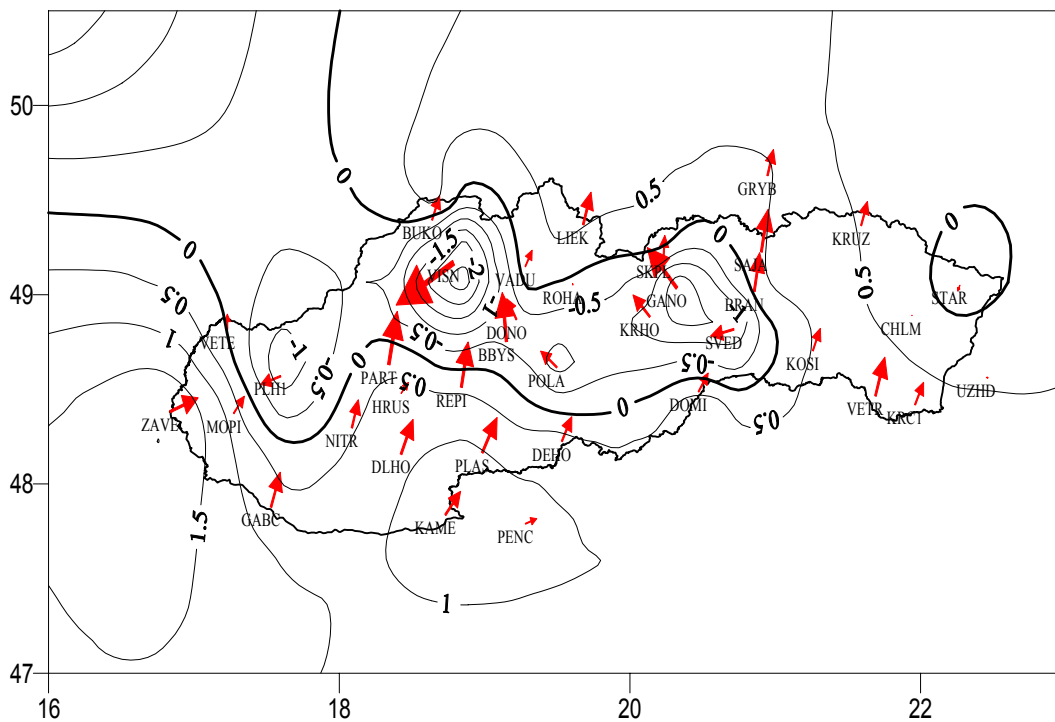
bod	počet kamp.	$\rho$ (XYZ)	$\delta\rho$ (XYZ)	$\sigma(\delta\rho)$	$\rho$ (BLH)	$\delta\rho$ (BLH)	$\sigma(\delta\rho)$
		[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]
		-19.1	-3.3	0.9	15.0	2.6	0.3
BBYS	4	15.8	-1.3	0.4	21.2	-0.2	0.2
		8.1	-0.1	1.1	-2.4	-2.4	1.5
		-18.9	-2.8	1.2	14.1	2.1	0.3
BRAN	3	16.5	-0.5	0.5	22.1	0.5	0.3
		7.9	-0.1	1.4	-1.8	-1.9	1.9
		-17.8	-2.0	1.1	14.0	1.5	0.3
BUKO	3	17.2	0.1	0.4	22.0	0.7	0.3
		8.2	0.1	1.3	-1.1	-1.2	1.7
		-18.1	-2.3	0.6	13.7	1.4	0.2
DEHO	10	17.4	0.2	0.2	22.4	0.9	0.1
		8.0	-0.2	0.7	-1.5	-1.5	1.0
		-19.5	-4.0	0.7	14.5	2.0	0.2
DLHO	6	17.1	-0.3	0.3	22.3	1.0	0.1
		7.1	-1.3	0.8	-3.5	-3.5	1.0
		-18.1	-2.1	0.6	13.2	1.1	0.1
DOMI	5	17.3	0.2	0.3	22.5	0.9	0.1
		7.5	-0.5	0.7	-1.6	-1.7	0.9
		-18.1	-2.3	0.9	13.6	1.2	0.2
DONO	3	15.7	-1.5	0.3	20.7	-0.7	0.2
		7.0	-1.2	1.0	-2.6	-2.6	1.4
		-19.1	-3.8	1.1	14.6	2.0	0.2
GABC	5	17.1	-0.4	0.4	22.0	0.8	0.2
		7.4	-1.1	1.2	-3.3	-3.3	1.6
		-16.2	-0.1	0.9	14.2	2.1	0.3
GANO	7	14.9	-2.2	0.4	19.6	-2.0	0.2
		10.1	2.1	1.1	1.1	1.0	1.4
		-19.3	-3.7	1.0	13.2	0.7	0.2
HRUS	3	16.9	-0.3	0.4	22.2	0.9	0.2
		5.3	-3.0	1.2	-4.6	-4.6	1.6
		-19.4	-3.0	0.9	11.8	0.0	0.2
CHLM	4	16.2	-0.8	0.4	22.2	0.4	0.2
		4.2	-3.6	1.1	-4.7	-4.7	1.5
		-16.0	-0.4	0.7	13.8	1.3	0.2
KAME	4	18.6	1.3	0.3	22.8	1.3	0.1
		10.4	2.0	0.9	1.5	1.5	1.1
		-17.7	-1.5	0.9	13.2	1.3	0.2
KOSI	4	17.2	0.2	0.4	22.4	0.7	0.2
		8.3	0.4	1.1	-0.6	-0.6	1.4
		-18.4	-2.1	1.2	13.1	1.3	0.3
KRC1	5	16.9	-0.1	0.5	22.6	0.7	0.3
		7.6	-0.3	1.4	-1.5	-1.5	1.9
		-17.2	-1.2	1.1	13.4	1.2	0.3
KRHO	3	15.4	-1.7	0.4	20.4	-1.1	0.2
		7.9	-0.2	1.3	-1.2	-1.2	1.7
		-21.0	-4.6	0.8	13.3	1.4	0.2
KRUZ	5	15.7	-1.2	0.4	22.3	0.6	0.2
		4.3	-3.4	1.0	-5.7	-5.7	1.3
		-20.9	-5.0	1.0	14.0	1.8	0.3
LIEK	6	16.1	-0.9	0.4	22.2	0.8	0.2
		4.9	-3.1	1.2	-5.6	-5.6	1.5

bod	počet kamp.	$\rho$ (XYZ)	$\delta\rho$ (XYZ)	$\sigma(\delta\rho)$	$\rho$ (BLH)	$\delta\rho$ (BLH)	$\sigma(\delta\rho)$
		[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]	[mm/rok]
		-15.1	0.2	0.5	13.8	1.1	0.2
MOPI	18	18.6	1.2	0.2	22.2	1.1	0.1
		10.8	2.3	0.6	2.1	2.1	0.8
		-18.1	-2.6	0.8	14.2	1.7	0.2
NITR	5	17.1	-0.2	0.3	21.9	0.6	0.2
		8.1	-0.3	0.9	-1.9	-1.9	1.2
		-24.1	-8.5	1.3	15.5	2.9	0.4
PART	5	15.2	-2.0	0.5	22.0	0.8	0.3
		2.9	-5.4	1.6	-9.8	-9.8	2.1
		-19.4	-3.8	1.0	14.3	2.0	0.2
PLAS	3	17.2	-0.1	0.4	22.6	1.2	0.2
		7.2	-1.1	1.2	-3.2	-3.2	1.6
		-14.9	0.5	1.2	12.1	-0.6	0.3
PLH1	5	15.9	-1.4	0.4	19.6	-1.5	0.2
		7.6	-0.9	1.4	-0.6	-0.6	1.8
		-15.5	0.3	1.0	13.2	0.9	0.2
POLA	3	16.1	-1.1	0.4	20.4	-1.1	0.2
		9.4	1.3	1.2	1.0	0.9	1.6
		-18.0	-2.3	1.0	14.9	2.5	0.2
REPI	3	17.1	-0.1	0.4	22.0	0.6	0.2
		9.6	1.3	1.2	-0.4	-0.5	1.5
		-15.5	0.4	0.7	12.6	0.3	0.2
ROHA	8	17.2	0.1	0.3	21.4	0.0	0.2
		9.0	0.9	0.9	1.0	0.9	1.1
		-20.3	-4.1	0.9	14.4	2.3	0.2
SAJA	3	16.1	-0.8	0.4	22.3	0.7	0.2
		6.7	-1.2	1.2	-3.6	-3.6	1.5
		-18.6	-2.6	0.3	13.5	1.4	0.1
SKPL	15	16.3	-0.7	0.1	21.8	0.3	0.1
		7.0	-0.9	0.4	-2.4	-2.4	0.5
		-16.7	-0.3	1.1	11.0	-0.7	0.3
STAR	3	16.6	-0.3	0.5	21.7	-0.2	0.2
		6.2	-1.5	1.4	-1.3	-1.4	1.8
		-14.1	2.0	1.0	11.5	-0.5	0.3
SVED	3	16.0	-1.0	0.4	20.0	-1.6	0.2
		8.9	0.9	1.3	1.7	1.7	1.7
		-14.2	1.7	1.0	13.4	1.1	0.3
VADU	3	18.5	1.4	0.4	22.1	0.8	0.3
		12.1	4.0	1.2	4.4	4.4	1.6
		-18.1	-2.8	1.2	13.8	1.0	0.3
VETE	3	16.6	-0.7	0.4	21.2	0.2	0.2
		6.8	-1.7	1.5	-3.1	-3.1	1.9
		-19.6	-3.3	1.1	13.9	2.1	0.3
VETR	3	16.6	-0.4	0.5	22.7	0.9	0.2
		7.4	-0.5	1.3	-2.5	-2.6	1.7
		-12.9	2.9	1.3	10.2	-2.2	0.4
VISN	3	14.2	-2.9	0.5	17.6	-3.7	0.3
		6.8	-1.3	1.6	0.2	0.2	2.1
		-19.8	-4.6	1.0	13.6	0.9	0.2
ZAVE	5	18.3	0.9	0.4	23.2	2.2	0.2
		5.2	-3.4	1.2	-5.2	-5.3	1.6





Obr. 3 Rýchlosť v [mm/rok] a izočiarý rýchlostného poľa v smere sever – juh v [mm/rok]



Obr. 4 Rýchlosť v [mm/rok] a izočiarý rýchlostného poľa v smere východ – západ v [mm/rok]

#### 4. Transformácia SKTRF 2001 do ETRS 89

Transformácia z ITRF2000 do ETRS89 bola vykonaná na základe *Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign* [ 3 ].

$$\mathbf{X}_e(t_c) = \mathbf{X}_{yy}(t_c) + \mathbf{T}_{yy} + \begin{vmatrix} 0 & -R_{3yy} & R_{2yy} \\ R_{3yy} & 0 & -R_{1yy} \\ -R_{2yy} & R_{1yy} & 0 \end{vmatrix} \cdot \mathbf{X}_{yy}(t_c) \cdot (t_c - 1989.0),$$

kde  $\mathbf{X}_e(t_c)$  sú súradnice v ETRS89,  $\mathbf{X}_{yy}(t_c)$  súradnice v ITRF 2000,  $\mathbf{T}_{yy}$  translačné parametre (ITRF2000 do ETRS89),  $R_{iyy}$  sú rotačné parametre (ITRF2000 do ETRS89),  $t_c$  je epocha, ku ktorej sa vzťahujú transformované súradnice, t.j.  $t_c = 1997.0$ .

Výsledky SKTRF 2001 vypočítané vyššie popísaným spôsobom boli porovnané s výsledkami EUVN 1997 GPS kampane [ 10 ]. Pozri Tab. 8.

Tab. 8 Porovnanie súradníc SKTRF a EUVN v ETRS 89

Bod	SKTRF 2001 v ETRS 89			EUVN v ETRS 89		diferencia			
	epocha 1997.4		RMS	epocha 1997.4	RMS	dX dY dZ	RMS	dn de du	RMS
	[m]		[mm]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
GANO	X	3 929 173.041	6.7	3 929 173.045	0.5	4.1	6.7	-3.3	0.2
	Y	1 455 278.650	2.8	1 455 278.647	0.2	-3.3	2.8	-4.4	0.5
	Z	4 793 644.403	8.0	4 793 644.401	0.6	-1.9	8.1	0.3	10.8
KAME	X	4 062 233.405	2.4	4 062 233.403	0.5	-2.0	2.4	0.1	0.2
	Y	1 377 316.070	0.9	1 377 316.074	0.2	4.2	0.9	4.3	1.2
	Z	4 704 896.481	2.7	4 704 896.483	0.6	2.3	2.8	3.0	3.6

#### 5. Záver

Na Sympóziu EUREF 2002 v Ponta Delgada, Azori, Portugalsko bolo navrhnuté začleniť do databázy EUREF 10 vybraných bodov SGRN [ 19 ]. Jedná sa o nasledujúce body: BBYS, BUKO, DEHO, GABC, CHLM, KRC1, KRHO, KRUZ, MOPI a ROHA. Na pracovnom zasadnutí ETWG (EUREF technical working group) bolo konštatované, že slovenská strana ako prvá krajina Európy predkladá do rodiny bodov EUREF kategórie B body s určenými pohybovými rovnicami. K tomuto prvenstvu prispeli tri hlavné faktory : a) body SGRN majú špeciálnu stabilizáciu so závislou centráciou antén prijímačov GNSS a zohľadňujú účely geodynamiky (väčšina krajín na tieto účely používa trigonometrické kamene s krížikom) , b) skupina odborníkov vypracovala alternatívne kvalifikované modely spracovania nameraných údajov, c) tieto postupy sú realizované prostredníctvom vlastných programových riešení.

Prijatím vybraných bodov SGRN s určenými priestorovými súradnicami a ročnými rýchlosťami v SKTRF 2001 epocha 1997.0 do rodiny bodov EUREF, sa pre Slovensko splní základná autorizačná požiadavka využiteľná pri spoločnom budovaní celoeurópskej

priestorovej údajovej infraštruktúry **ESDI (Europe Spatial Data Infrastructure)** koordinovanej Európskou komisiou v systéme ETRS 89. Vytvára základný predpoklad postupného prechodu z doteraz záväzných referenčných systémov JTSK a Bpv do nového celoerópskeho priestorového systému ESRS.

Postupným prebudovávaním bodov SGRN kvalifikácie SEOS na body SPOS, ich postupným prihlasovaním do EPN-I (European Integrated Permanent Network, alternatívne označenie European Combined Geodetic Network (ECGN)) a rozšírením na referenčné stanice SKPOS (Slovenský priestorový observačný systém [ 16 ]) sa môže rozbehnúť pripravovaná SPGS služba. Tým máme otvorené dvere pre budovanie časti Integrovaného Globálneho Geodetického Observačného Systému IGGOS rozvíjaného aktivitami IAG IUGG.

## Literatúra:

- [ 1 ] BECKER, M. - CAPORALI, A. - FIGURSKI, M. - GRENERCZY, G. - HEFTY, J. - MARJANOVIC, M. - STANGL, G.: A Regional ITRF Densification by Blending Permanent and Campaign Data – the CEGRN Campaigns and the Central European Velocity Field. IAG 2001 Scientific Assembly. Budapest, Hungary, September 2-7, 2001, str.53-58.
- [ 2 ] BECKER, M. - CRISTEA, E. - FIGURSKI, M. - GERHATOVA, L. - GRENERCZY, G. - HEFTY, J. - KENYERES, A. - LIWOSZ, T. - STANGL, G.: Central European Intraplate Velocities from CEGRN Campaigns. Proceedings of the EGS symp.G10 „Geodetic and Geodynamic Programmes of the CEI“. Nice, France, 21-26 April 2002, str. 83-89.
- [ 3 ] BOUCHER, C. – ALTAMIMI, Z. Specifications for Reference Frame Fixing in the Analysis of a EUREF GPS Campaign.  
<ftp://ftp.epncb.oma.be/pub/general/papers/memo.pdf>
- [ 4 ] FERIANC, D.: ŠPS – Zásady na činnosti v štátnej priestorovej sieti. Bratislava, GKÚ 2000. 17 s.
- [ 5 ] HEFTY, J.: Estimate of Site Velocities from CEGRN GPS Campaigns Referred to CERGOP Reference Frame. Proceedings of the EGS symp.G16 „Geodetic and Geodynamic Achievements of the CEI“. XXIII General Assembly of the European Geophysical Society. Nice, France, 20-24 April 1998, str. 67-79.
- [ 6 ] HEFTY, J.. Analýza metód zníženia vplyvu troposféry pri určovaní geocentrických súradníc v regionálnych a lokálnych kampaniach, VÚGK 2000, 28 s..
- [ 7 ] HEFTY, J.: Possibilities of Improving the Velocity Estimates from CERGOP Campaigns. Proc. of the EGS G9 symposium „Geodetic and geodynamic programmes of the CEI“, Reports on geodesy, WUT. Nice, France, 25-30 March 2001, p. 71-81.
- [ 8 ] HEFTY, J.: The Permanent Modra-Piesok GPS Station and Its Long-Term and Short-Term Stability. Slovak Journal of Civil Engineering, Vol. IX, No. 1-2, 2001.
- [ 9 ] HUGENTOBLER, U. - SCHAER, S. – FRIDEZ, P.: Bernese GPS Software Version 4.2. AIUB Bern 2001.
- [ 10 ] INEICHEN, D. – GURTNER, W. – SPRINGER, T. – ENGELHARDT, G. – LUTHARDT, J. – IHDE, J.: EUVN 97 Combined GPS Solution. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe. Bad-Neuenahr – Ahrweiler, June 10 – 13, 1998.str. 23-47.
- [ 11 ] KLOBUŠIAK, M.: Programy na analýzu stability a nestability GPS bodov, efektívne spájanie GPS sietí a výpočet transformačných parametrov. [Etapa 4a čiastkovej úlohy Integrovaná geodetická sieť.] Bratislava, VÚGK 1996.

- [ 12 ] KLOBUŠIAK, M.: Overenie programov efektívneho spájania sietí GPS a vypracovanie technológie spájania sietí GPS s rešpektovaním ich charakteristík presností. [Etapa 4a čiastkovej úlohy Integrovaná geodetická sieť.] Bratislava, VÚGK 1997.
- [ 13 ] KLOBUŠIAK, M.: Overenie programov na štatistickú analýzu významnosti zmeny súradníc a ich ľubovoľných funkcií opakovane meraných sietí GPS a vypracovanie technológie na štatistické testovanie zmeny vzájomnej polohy bodov GPS. [Etapa 4b čiastkovej úlohy Integrovaná geodetická sieť.] Bratislava, VÚGK 1997.
- [ 14 ] KLOBUŠIAK, M.: Programy na spoločné spracovanie GPS, nivelačných a gravimetrických meraní v prvej aproximácii tiažového poľa Zeme. [Etapa 4c, čiastkovej úlohy Integrovaná geodetická sieť.] Bratislava, 1997.
- [ 15 ] KLOBUŠIAK, M.: WIGS - Integrované geodetické siete, transformácie, spájanie, porovnanie, výpočet rýchlostí bodov a transformácie S-JTSK do xTRSYY. [Programový systém WIGS 4.2002]. Bratislava, VÚGK & MaKlo, 1995-2002.
- [ 16 ] KLOBUŠIAK, M. - LEITMANNOVÁ, K. : Slovenská permanentná GNSS služba na prevádzkovanie Slovenského priestorového observačného systému – nové geodetické základy. In : Zborník referátov pri príležitosti 50-teho výročia vzniku Katedry geodetických základov „Geodetické referenčné systémy“. STU Stavebná fakulta Katedra geodetických základov, Bratislava, november 2002.
- [ 17 ] KLOBUŠIAK, M. - LEITMANNOVÁ, K. - PRIAM, Š. - FERIANC, D.: The GPS Receivers Antenna Phase Center Determination on the Temporary Base. Proceedings of the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF). Dubrovnik, June 2001.
- [ 18 ] KLOBUŠIAK, M. - LEITMANNOVÁ, K. - PRIAM, Š. - FERIANC, D.: Slovenský terestrický referenčný rámec SKTRF2001 – jeho výpočet a prihlásenie do EUREF. GKÚ Bratislava, 2002.
- [ 19 ] KLOBUŠIAK, M. - LEITMANNOVÁ, K. - PRIAM, Š. - FERIANC, D.: Slovak Terrestrial Reference Frame SKTRF 2001, Its Computation and Connection to the EUREF. Proceedings of the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF). Ponta Delgada, Azores, Portugal, June 2002. (v tlači)
- [ 20 ] KUBÁČEK, L.: Multistage Regression Model. Apl. Mat. 31:89-96, 1986.
- [ 21 ] LEITMANNOVÁ, K. - KLOBUŠIAK, M.: Eliminácia rušivých faktorov pri tvorbe národného kinematického rámca pre ŠPS. In : Zborník referátov „Medzinárodná konferencia Geodetické siete 2001“. SSGK pri GKÚ, Podbanské 2001. s. 102-112.
- [ 22 ] LEITMANNOVÁ, K. - HUDEC, M. - KLOBUŠIAK, M. - FERIANC, D.: Lokálna geodetická sieť Tatry. In : Zborník referátov „Medzinárodná konferencia Geodetické siete 2001“. SSGK pri GKÚ, Podbanské 2001. s. 113-122.
- [ 23 ] ROGOWSKI, M. - HEFTY, J. a i.: Final Results of CEGRN Observations Campaigns. Proc. of the EGS Symp. G16 „Geodetic and geodynamic achievements of the CEI, XXIII General Assembly of the European Geophysical Society. Nice, France, 20-24 April 1998, str 317-342.