

Štátna nivelačná sieť

Ing. Michal Hudec, Ing. Dušan Ferianc

Odbor geodetických základov, Geodetický a kartografický ústav Bratislava,
Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava,

hudec@gku.sk, ferianc@gku.sk

Abstrakt. Štátna nivelačná sieť je špecializovanou geodetickou sieťou v ktorej sa technológiou presnej digitálnej nivelácie určujú normálne výšky geodetickým bodom zaradených do geodetických základov Slovenska. Normálne výšky sú vedené Baltskom výškovom systéme po vyrovnaní (Bpv) a v Amsterdamskom výškovom systéme (Ams), ktorý je odporúčaný na jednotné výškové práce v rámci Európy.

1 Úvod

Po vzniku samostatnej Slovenskej republiky bolo potrebné riešiť aj nové usporiadanie geodetických základov. Už v tej dobe bola pripravovaná koncepcia modernizácie geodetických základov (GZ), v ktorej sa uvažovalo o vytvorení nových špecializovaných sietí. Návrh novej siete pod názvom Štátna nivelačná sieť (ŠNS) bol vypracovaný v rokoch 1994 - 1996, pričom sa vychádzalo z ťahov I. – III. rádu Československej jednotnej nivelačnej siete (ČSJNS) a I. a II. rádu opakovaných nivelácií (ON).

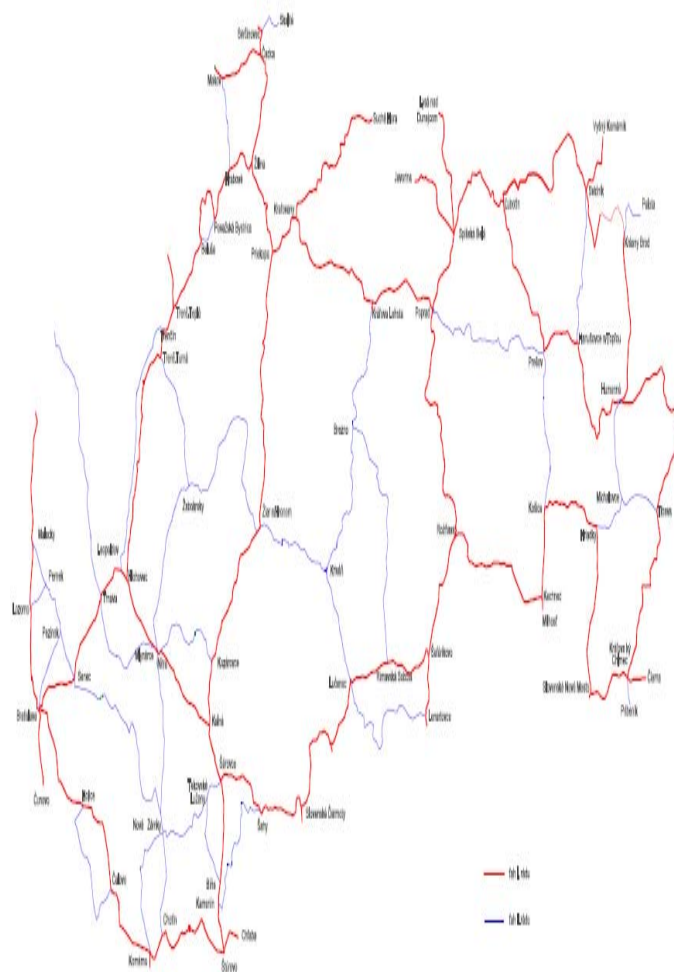
V rokoch 1994 až 1995 bola v rámci prípravných prác uskutočnená fyzická prehliadka všetkých nivelačných bodov na ťahoch I. – III. rádu ČSJNS, pri ktorej boli body zakresľované aj do máp mierky 1 : 10 000. Vlastné práce na zriadení ŠNS začali v roku 1996.

2 Nivelračné siete na území SR

Na území Slovenska bol najdlhšie platný Jadranský výškový systém, približne od 80-tych rokov 19. storočia, a prešiel niekoľkými epochami. Tie boli po vzniku ČSR aj rozlišované podľa referenčného východiskového bodu. Od roku 1918 to bol pre Slovensko jadranský výškový systém – Strečno. V období 2. svetovej vojny územie Slovenska zotrvalo pri jadranskom systéme, aj keď došlo k prepočtu výšok na systém označovaný Normall – Null (N.N.) s nulovým bodom v Amsterdame [1].

Po roku 1945 sa začala v jadranskom systéme plánovať budovať Československá jednotná nivelačná sieť (ČSJNS), ktorá pozostávala z ťahov I. až III. rádu. Hoci táto

sieť bola budovaná podľa vtedajších moderných zásad, jej cieľ bol



Obr. 1 Schéma nivelačných ťahov ON

výlučne technický – mala slúžiť ako podklad pre mapovania všetkých druhov a pre výstavbu technických diel. Pre vedecké účely nebola vhodná, pretože jadranský systém používal normálne ortometrické výšky, ktoré mali len približný charakter. Ťahy boli vedené po najvýznamnejších cestách. V 1957 bol I. rád ČSJNS vyrovnaný

v rámci súborného vyrovnania nivelačných sietí vtedajších európskych socialistických štátov a prevedený do Baltského výškového systému – Balt po vyrovnaní (Bpv). Tieto siete však neboli homogénne, mali rozdielne dĺžky ťahov, boli merané podľa rôznych kritérií v rôznych časových obdobiach. Charakteristickou črtou pre systém Bpv je zavedenie normálnych výšok, čím získala ČSJNS vedeckú úroveň [2]. Súčasťou ČSJNS bolo aj jedenásť základných nivelačných bodov (ZNB) rozmiestnených po celom území Slovenska v približne 100 km odľahlosti.

V roku 1961 sa začali práce na zhusťovaní a skvalitňovaní stabilizácií bodov v sieti pre projekt opakovaných nivelácií na území Slovenska. Táto sieť ON vznikla z ČSJNS, výberom vhodných ťahov a bola rozdelená na I. a II. rád, ktorý nebol totožný s I. a II. rádom ČSJNS (obr.1) [3]. Celá sieť opakovaných nivelácií I. rádu bola opätovne zameraná v r. 1973 – 1978 (2. čs. opakovaná nivelácia) a výsledky meraní boli odoslané do moskovského súborného vyrovnania nivelačnej siete vtedajších európskych socialistických štátov. Výsledkom bol spresnený výškový systém Balt83. Priemerný rozdiel výšok oboch systémov na území Slovenska bol - 47mm (1983 mínus 1957).

Pôvodnú ČSJNS bolo nutné po rozdelení republík zmodernizovať – pre jej členenie (počet rádov, označenie polygónov, trasy, označenie ťahov, číslovanie bodov), ale aj pre možnosť uplatnenia nových technológií na meranie a spracovanie meraní.

Nová nivelačná sieť dostala označenie Štátna nivelačná sieť (ŠNS). Trasy ťahov I. rádu ŠNS vedú po trasách I. a II. rádu opakovaných nivelácií a po trasách I. rádu ČSJNS. Boli vytvorené aj nové ťahy I. rádu ŠNS, ktoré pozostávajú z ťahov I., II. aj III. rádu ČSJNS. Druhé (2.) rády ŠNS boli vytvorené zo zvyšných ťahov všetkých rádov ČSJNS (obr. 2). Systém označenia polygónov a ťahov a číslovania bodov je popísaný v [4].

V prvej etape nivelačných prác bol zameraný 1. rád ŠNS. Meračské práce na ťahoch začali na jeseň v roku 1996. V rámci projektu European United Vertical Network (EUVN) pokračovali v roku 1997 práce meraním prvých rádov, ktoré spájajú tri geodynamické body navrhnuté do projektu EUVN. V rámci medzinárodnej GPS kampane sa okrem merania na bodoch Strečno, Kamenica nad Hronom a Kvetnica zaradených aj do geodynamického siete SGRN, vykonalo i GPS meranie na ďalších bodoch. V ďalších rokoch postupovalo meranie na ťahoch I. rádu ŠNS smerom od západu na východ. Meranie bolo dokončené v roku 2002. Sieť ťahov I. rádu ŠNS bola zameraná v rokoch 1996 – 2002. Ide o 68 nivelačných ťahov v dĺžke 3787 km (Tab. 1), v rámci ktorých bolo zameraných 11 035 bodov geodetických základov. Z toho bolo 410 bodov určených v ďalších špecializovaných sieťach – Štátnej gravimetrickej sieti (ŠGS), Štátnej priestorovej sieti (ŠPS), Štátnej trigonometrickej sieti (ŠTS) a hraničné kamene (HK). Meranie bolo náročné hlavne pre neustále sa zhusťujúcu premávku na cestách.

Na meranie ťahov I. rádu ŠNS boli použité digitálne nivelačné prístroje Wild (Leica) NA3000 a NA3003 a Zeiss DiNi11 a s kódové nivelačné laty. Na meranie bola použitá metóda „Presnej digitálnej nivelácie“ [4] s kritériom presnosti $\rho \leq 1,5\sqrt{R}$. Na vedenie a záznam nivelačného merania sa používalo softvérové vybavenie. Merané údaje z nivelačných prístrojov sa prenášali priamo káblom do prenosného počítača (Targa Traveller), v ktorom bol spustený softvér na vedenie, kontrolu a predspracovanie nivelačného merania. Okrem záznamu údajov

z nivelačných lát sa automaticky zapisoval čas merania a merač bol vyzývaný na vloženie hodnôt z dotykových digitálnych teplomerov umiestnených na invarových pásoch. Komparácia kódových nivelačných lát bola zabezpečovaná v laboratóriu Katedry geodézie Mníchovskej technickej univerzity v ročnej perióde.

Tab. 1

<i>rok merania</i>	<i>hlavný ťah [km]</i>	<i>celý ťah [km]</i>
1996	85,635	92,018
1997	875,801	928,643
1998	292,849	318,025
1999	721,889	809,673
2000	610,801	722,574
2001	725,288	858,152
2002	33,043	34,557
Σ	3345,305	3763,642

3 Súborné vyrovnanie ťahov 1. rádu ŠNS

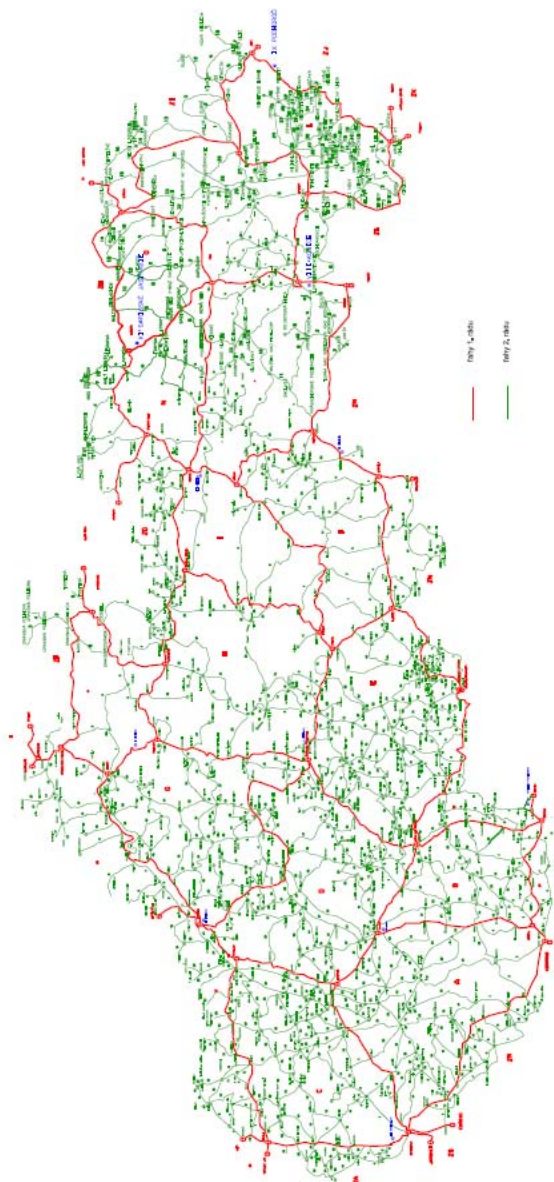
Súčasnú počítačskú vybavenie nie je zrovnateľné s tým, v ktorom sa realizovali predchádzajúce spracovania a vyrovnania ČSJNS. Dnes počítačová technika a softvérové vybavenie umožňuje komplexnú prácu s údajmi. Výsledkom nivelačných meraní sú už údajové súbory, ktoré sú tvorené pre každú evidenčnú jednotku, nivelačný ťah.

Každý nivelačný ťah bol najprv spracovaný samostatne programom VLS, resp. WNS. Po zavedení latových opráv (z rozťažnosti invarového pásu, podľa výsledkov laboratórnej komparácie) bola pre každý bod interpolovaná Bouguerova anomália (z gravimetrickej databanky), vypočítané redukcie z tiaže (C_q) a geopotenciálne diferencie. Na vybraných bodoch ŠGS (Štátnej gravimetrickej siete), kde bola meraná a vypočítaná hodnota tiaže, sa tá použila pri výpočte C_q a geopotenciálnych diferencií miesto hodnoty Bouguerovej anomálie. Nasledovalo predbežné (voľné) vyrovnanie ťahu na jeden bod a porovnanie s predchádzajúcim meraním. Tu treba poznamenať, že na ťahoch meraných prístrojmi DiNi 11 (asi 656 km) neboli počítané opravy z rozťažnosti invarového pásu, nakoľko programy na zber údajov ani na spracovanie neboli tomuto prispôsobené. Takto pripravené údajové súbory boli základom pre vyrovnanie ŠNS.

Pre prehľadnosť sú hodnoty kritérií presnosti merania jednotlivých ťahov ($\Sigma\rho$ a m_0) a ich krajné hodnoty v milimetroch sú v Tab. 2. Uzávery polygónov bez zavedených redukcií z tiaže a so zavedenými sú v Tab. 3 a Tab. 4.

Nulté ucelené vyrovnanie zameranej časti siete bolo už v r. 1999, kedy sa k meraným ťahom 1. rádu pripojili aj ťahy merané v lokalite Vysokých Tatier (10 ťahov 2. rádu ŠNS + 2 ťahy III. rádu ČSJNS). Tieto ťahy 2. rádu ŠNS boli merané v roku 1998 a v nich sa nivelačne pripájali body, ktoré boli merané GPS v rámci lokálnej geodetickej siete (LGS) Tatry. Ako referenčný bod pre vyrovnanie bol

určený bod EH-5 (s názvom V. Pitelová, ZNB), pričom bolo prihliadnuté na metódu a presnosť merania ťahov.



Obr. 2 Schéma hustoty 1. a 2. rádu ŠNS

Po domeraní ťahov 1. rádu ŠNS a ich štandardnom spracovaní sme prišli k definovaniu úloh pre vyrovnanie celej siete a to vo viacerých variantoch (úlohách):

- 1) SNS-VYR1 - referenčný bod V. Pitelová; disperzia neznáma; Bpv
- 2) SNS-VYR2 - referenčný bod V. Pitelová; disperzia známa; Bpv
- 3) SNS-VYR3 - 11 referenčných bodov (ZNB), disperzia neznáma; Bpv
- 4) SNS-VYR4 - 11 referenčných bodov (ZNB), disperzia známa; Bpv
- 5) SNS-VYR5 - 8 referenčných bodov, disperzia známa, vynechané body ZNB IV., IX., XI.
- 6) SNS-VYR6 - referenčný bod AZR-500 (Bratislava); disperzia známa (umiestnený excentricky)
- 7) SNS-VYR7 - referenčný bod V. Pitelová; disperzia známa; Bpv83

Pri variantoch vyrovnaní 1) až 6) boli pre referenčné body nasadené platné výšky Bpv z ČSJNS.

Do súborného vyrovnaní nivelačných sietí štátov bývalého východného bloku vstupovala slovenská časť ČSJNS s meraniami siete 2. ON z rokov 1973-1981. Výsledky vyrovnaní, katalóg uzlových bodov, ktoré poskytlo moskovské centrum dostali označenie Bpv83. Na základe analýz výšok systému Bpv83 a pôvodného vyrovnaní z roku Bpv (1957), môžeme konštatovať rozdiely vo výškach na porovnávaných bodoch v rozsahu od -3,1 mm do -97,9 mm. Vzťah oboch systémov je odvodený na priemernú hodnotu -47 mm. Pri variante vyrovnaní 7) bola nasadená výška referenčného bodu V. Pitelová v Bpv83. Keďže nivelačný ťah SDH Žiar nad Hronom – Kriváň v ktorom sa nachádza referenčný bod – V. Pitelová nebol súčasťou moskovského súborného vyrovnaní, bolo potrebné výšku referenčného bodu v Bpv83 dopočítať. Na výpočet boli použité merania na ťahoch ČSJNS a to: SCD, SDH, SCH, SGH a ZNBXVI z rokov 1974 a 1975. Vypočítaná výška bodu V. Pitelová v systéme Bpv83 je o -39,58 mm menšia než v systéme Bpv. O túto hodnotu boli posunuté výšky bodov celej ŠNS pri súbornom vyrovnaní v systéme Bpv83 vo variante 7) oproti 2).

Tab. 2

Ťah	L (km) hlavné ťahy	$\Sigma\rho$ (mm)	$\Sigma\rho_{max}$	n_r	m_0	m_{0max}
AB	75,784	1,39	26,12	326	0,47	0,44
AC	87,813	15,76	28,11	290	0,41	0,44
AD	32,010	8,24	15,12	126	0,41	0,46
AZP	9,267	6,19	6,62	32	0,35	0,53
AZR	128,666	13,62	34,03	370	0,45	0,44
BD	45,675	-3,62	19,17	171	0,36	0,45
BZO	61,617	4,34	23,55	195	0,42	0,45
BZP	55,724	12,50	22,39	170	0,41	0,45
CD	51,222	13,94	21,47	182	0,39	0,45

CZA	63,207	5,12	23,85	205	0,43	0,45
CZC	94,797	43,02	29,21	271	0,42	0,44
DE	69,770	31,54	25,06	253	0,38	0,44
DG	135,701	15,39	34,95	471	0,40	0,43
DZC	24,266	4,88	12,57	92	0,39	0,47
EF	32,798	5,60	15,37	105	0,39	0,47
EH	56,237	4,24	22,50	205	0,47	0,45
EZN	62,536	0,52	23,72	219	0,40	0,45
EZO	94,900	12,20	29,22	298	0,40	0,44
FH	8,253	0,06	6,13	28	0,45	0,53
FI	106,643	8,50	30,98	354	0,40	0,44
FJ	56,550	2,19	22,56	209	0,40	0,45
FZM	39,306	10,78	17,34	137	0,45	0,46
FZN	65,581	12,60	24,29	195	0,37	0,45
GH	77,638	10,17	26,43	286	0,42	0,44
GM	30,981	7,52	14,80	139	0,66	0,46
GZD	104,995	-7,70	30,74	313	0,44	0,44
HI	91,057	47,97	28,63	352	0,46	0,44
HM	45,083	29,30	19,00	154	0,46	0,46
HZG	53,579	26,33	21,96	186	0,35	0,45
IJ	29,705	6,63	14,39	122	0,36	0,46
IZG	51,058	2,32	21,44	158	0,46	0,46
JK	42,299	4,31	18,21	113	0,41	0,47
JN	104,928	15,55	33,37	289	0,59	0,44
JZL	25,380	-2,06	12,95	65	0,60	0,49
JZM	83,292	17,18	27,38	235	0,38	0,45
KL	52,642	-1,55	21,77	173	0,36	0,45
KO	73,697	38,06	25,75	195	0,41	0,45
KZI	89,797	13,83	28,43	262	0,37	0,44
KZL	48,728	-1,56	20,01	145	0,39	0,46
LZI	54,259	12,01	22,10	161	0,40	0,46
LZJ	91,419	25,99	28,68	274	0,40	0,44
LZL	75,606	24,25	26,09	250	0,45	0,44
MZD	28,041	10,93	13,84	98	0,54	0,47
MZF	85,635	29,10	27,76	244	0,57	0,45

MZG	58,327	13,28	22,91	190	0,42	0,45
NO	52,136	6,70	21,66	190	0,51	0,45
NZG	27,200	-1,07	13,57	99	0,39	0,47
NZH	51,200	3,76	21,47	168	0,38	0,45
OZH	85,377	19,35	27,72	267	0,42	0,44
ZAzb	7,102	0,59	5,54	34	0,30	0,52
ZAzS	8,645	10,60	6,32	29	1,05	0,53
ZBzC	13,176	3,35	8,37	48	0,46	0,50
ZCzD	26,689	-0,94	13,40	93	0,40	0,47
ZDzE	3,770	-0,31	3,63	14	0,45	0,59
ZDzF	14,926	3,12	9,09	59	0,51	0,49
ZEzF	18,102	1,64	10,34	63	0,45	0,49
ZFzG	23,616	4,80	12,35	95	0,41	0,47
ZGzH	41,659	8,25	18,03	139	0,47	0,46
ZHzi	22,111	-2,58	11,82	70	0,37	0,48
ZIZj	3,653	1,20	3,56	19	0,51	0,56
ZJzK	12,947	1,28	8,27	37	0,36	0,52
ZKzL	10,124	4,84	7,02	27	0,35	0,54
ZLzM	4,715	-2,68	4,22	15	0,49	0,58
ZMzN	17,854	5,06	10,25	70	0,32	0,48
ZNzO	0,470	0,36	0,91	3	0,33	0,81
ZOzP	18,966	14,87	10,67	82	0,56	0,48
ZPzR	1,024	0,17	1,52	4	0,09	0,76
ZRzS	23,374	11,01	12,26	69	0,39	0,49
	3345,305			m _{opriem}	0,44	

Ďalej boli spracované varianty:

- 8) SNS-VYR8 - všetky ťahy 1. rádu ŠNS (1 bod, disperzia známa) referenčný bod – V. Pitelova doplnené merané tiaže do *.f.nb a prepočítané Cq
- 9) SNS-VYR9 - všetky ťahy 1. rádu ŠNS (1 bod, disperzia známa) referenčný bod – V. Pitelova Bpv83, výška referenčného bodu vypočítaná ťahovým vyrovnáním, doplnené merané tiaže do *.f.nb a prepočítané Cq.

Pri porovnaní jednotlivých variantov vidíme, že úlohy č. 1) a 3) (v definícii úlohy sme zadali „disperzia neznáma“) majú odhad smerodajnej odchýlky úlohy $\sigma = 0,70$ mm/km, teda väčší ako ostatné ($\sigma = 0,47$ mm/km). Stredné chyby vyrovnaných výšok sú vo všetkých úlohách zhruba rovnaké (do 7 mm/km), vo variante 6) vyše 8 mm/km.

Tab. 3

polygón	u (mm)	L (km)	$\pm u_{\max}$ (mm)
A	29,95	333,540	36,53
B	-10,78	238,800	30,91
C	-40,31	297,039	34,47
D	31,48	358,644	37,88
E	-40,71	316,241	35,57
F	-26,17	309,131	35,16
G	-44,66	349,315	37,38
H	33,55	331,847	36,43
I	-20,22	278,463	33,37
J	12,48	342,154	36,99
K	33,99	307,163	35,05
L	17,57	273,926	33,10
M	-15,31	248,067	31,50
N	2,47	235,464	30,69
O	39,80	211,210	29,07
Σ	3,13	295,400	
Obvod	3,13	1713,760	82,80

Tab. 4

polygón	u (mm)	L (km)	$\pm u_{\max}$ (mm)
A	28,27	333,540	36,53
B	-8,47	238,800	30,91
C	-43,35	297,039	34,47
D	39,98	358,644	37,88
E	-45,73	316,241	35,57
F	-30,38	309,131	35,16
G	-43,96	349,315	37,38
H	32,01	331,847	36,43
I	-21,91	278,463	33,37
J	4,87	342,154	36,99
K	32,02	307,163	35,05
L	18,75	273,926	33,10
M	-8,80	248,067	31,50
N	0,18	235,464	30,69
O	38,03	211,210	29,07
Σ	-8,49	295,400	
Obvod	-8,49	1713,760	82,80

Ak porovnáme vypočítané výšky medzi jednotlivými variantmi vidíme, že výšky v úlohách 1) a 2) sú takmer rovnaké, takisto ako vyrovnané výšky v úlohách 3), 4) a 5) (porovnávané sú výšky na vzdialených uzlových bodoch). Výšky medzi týmito skupinami úloh sa líšia o max. 32 mm. Výšky v úlohe 6) sa od ostatných líšia aj o 77 mm. V Tab. 5 vidieť hodnoty δh , čo je vyrovnaný prírastok k približnej výške.

Tab. 5

Variant	1)		2)		3)	
Bod	H	δh	H	δh	H	δh
AZR-500	141,09302	-34	141,09281		141,12537	
JN-500	672,06067	+17	672,06068		672,04519	
ZHZI-500	230,20541	+7	230,20543		230,18205	
GM-500	332,48326	+21	332,48246		332,46622	
LZJ-500	103,08369	+7	103,08370		103,06495	
Variant	4)		5)		6)	
Bod	H	δh	H	δh	H	δh
AZR-500	141,12537	-2	141,12476		141,1272	0
JN-500	672,04511	+1	672,04511		672,10014	+56
ZHZI-500	230,18204	-16	230,18265		230,26722	+69
GM-500	332,46379	+2	332,46379		332,53900	+77
LZJ-500	103,06495	-12	103,06727		103,13291	+56

Z tabuľky vidieť, že najmenej vhodný spôsob vyrovnanie siete by bol na jeden referenčný bod niekde na jej okraji. Vtedy vzrastajú jednak stredné chyby vyrovnaných výšok, aj vyrovnané prírastky k približnej výške δh .

Podľa veľkosti hodnôt prírastkov δh by sa ako najvhodnejšia metóda vyrovnaní bol ukazoval jeden z variantov 3), 4), 5), teda vyrovnanie na všetky (alebo väčšinu) bývalých základných niveláčnych bodov. Tu by však boli nové kvalitné merania zrejme deformované a „napasované“ na pôvodné výšky siete.

Po analýzach variantov spracovania zostala ako najvhodnejšia úloha 2) – vyrovnanie celej siete na jeden referenčný bod približne v jej strede. Bod V. Piteľová sa ukázal ako najvhodnejší kandidát na túto úlohu. V Tab. 6 sú štatistické údaje z hlavičky protokolu vyrovnaní variantu 2).

Tab. 6

WNS 2.0 (c) MaKlo 1994-2006	
GKU 212	
P R O T O K O L V Y R O V N A N I A N I V E L A C N E J S I E T E .	
Oznacenie etapy	:SNS 1996-2002
nazov etapy	:1. rad SNS - suborne vyrovnanie
den	:0
mesiac	:0
rok	:2002
pocet skupin realizacii	:70
Zdroj ulohy	:SNS-VYR2.U LH
Struktura siete	:D:\1997\GM\gm.fns
Body siete	:D:\1997\GM\gm.FNB
Namerane udaje	:AB.FNR
Odhad smerodajnej odchylky ulohy.....	$\sigma = 0.48$ [mm] na 1 km
	$\Sigma p_{vv} = 2641.8$ [mm ²]
	$\Sigma v = -92.7$ [mm]
Pocet neznamych parametrov.....	= 10946
Pocet nameranych prevyseni.....	= 22273
Pocet kriticky ch merani a omylov.....	= 0
Pocet nadbytocnych merani.....	= 11327
Vahy merania v zavislosti na dlzke oddielu....	= R
Disperzia merania a pomer.....	= znamy
Oprava z redukcie tiaze Cq zavedena.....	= a
Hladina vyznamnosti	$\alpha = 97.72$
(1- $\alpha/2$)-kvantil norm. rozdelenia.....	$t(1-\alpha/2) = 2.0$
Pocet uzlovych bodov.....	= 74
Pocet pripojovacich bodov.....	= 1
Pocet novych (urcovanych)uzlovych bodov.....	= 73
Pocet tahov nivelacnej siete.....	= 68

Zároveň s ťahmi 1. rádu ŠNS sa merali aj vybrané ťahy 2. rádu, ktoré tvoria Zvláštne niveláčne siete a sú nimi výškovo pripojené body B triedy Štátnej priestorovej siete (ŠPS) predtým označované SGRN (SLOVGERENET). V roku 1998 boli niveláčne pripojené body patriace do Lokálnej geodetickej siete (LGS) Vysoké Tatry. V roku 1998 bola meraná ZNS Jaslovské Bohunice, v roku 2002 ZNS Bratislava a ZNS Východoslovenská nížina.

Od roku 2003 sa merajú ťahy 2. rádu. Tieto sa priebežne vyrovnávajú v rámci oblastí 1. rádu. Práce v ŠNS pokračujú v súčasnosti meraním vybraných ťahov 2. rádu do ktorých sú pripájané okrem pôvodných bodov ČSJNS ďalšie body CZ, najmä tých ktoré sú už určené v ŠPS a ŠGS.

4 Vyrovnanie geopotenciálnych kót

Slovensko sa taktiež zapojilo do medzinárodných projektov. Jedným z nich je aj Jednotná európska nivelačná sieť (United European Leveling Network - UELN), ktorá spája nivelačné siete európskych krajín. Do tohoto projektu sme sa zapojili v roku 1994 poskytnutím údajov do spracovateľského centra z opakovaných nivelačných meraní I. rádu nivelačnej siete ČSJNS, ktoré boli zostavené po trasách plánovaných ťahov 1. rádu ŠNS. Údaje boli spracované v etape označenej UELN-95/98. Sieť UELN je charakterizovaná geopotenciálnymi kótami a normálnymi výškami s výškovým referenčným bodom Amsterdam. Do vyrovnania UELN vstúpili ako merané veličiny geopotenciálne rozdiely. Výsledkom zo spracovateľského centra bol zoznam 52 uzlových bodov s vyrovnanými geopotenciálnymi kótami a vyrovnané geopotenciálne rozdiely medzi uzlovými bodmi.

Po domeraní ťahov 1. rádu ŠNS sme mohli prikrčiť aj k výpočtu geopotenciálnych kót všetkých bodov 1. rádu. Zo spracovania geopotenciálnych rozdielov v rámci UELN95/98 zostalo 37 identických nivelačných bodov s vyrovnanou geopotenciálnou kótou, ktoré boli použité ako referenčné body pre výpočet vyrovnaných geopotenciálnych kót bodov 1. rádu ŠNS.

Na vybraných bodoch 1. rádu ŠNS boli vykonané gravimetrické merania. Meranie bolo dokončené v roku 2006. Po spracovaní nameraných údajov boli hodnoty tiaže doplnené do zoznamov bodov a vypočítané geopotenciálne diferencie pre jednotlivé ťahy. Potom boli zadefinované a spustené dve varianty úlohy vyrovnania geopotenciálnych kót:

1. ako referenčné boli nasadené zachované identické body z vyrovnania UELN 95/98 (37 bodov)
2. ako referenčný bol nasadený identický bod z vyrovnania UELN 95/98 najbližšie k bodu V. Pitelová a to GH-502.

V Tab. 7 sú štatistické údaje z hlavičky protokolu vyrovnania prvého variantu.

5 Vyrovnanie bodov 1. rádu ŠNS v Ams

Na základe odporúčania EUREF bol zatiaľ iba 1. rád ŠNS vyrovnaný aj v Amsterdamskom výškovom systéme (Ams). Bol urobený prevod geopotenciálnych kót z vyrovnania UELN95/98 na 37 bodoch na normálne Molodenského výšky v Ams. Z porovnania vyplýva, že priemerná hodnota rozdielu výšok Bpv – Ams je pre územie Slovenska 138 mm. Približne táto hodnota je uvádzaná v zahraničných prácach zaoberajúcich sa touto problematikou. Pokračovalo vyrovnanie ťahov 1. rádu ŠNS v Ams v dvoch variantoch:

1. ako referenčné bolo nasadených 37 identických bodov z vyrovnania UELN 95/98
2. ako referenčný bol nasadený identický bod z vyrovnania UELN 95/98 najbližšie k V. Pitelová, GH-502.

Tab. 7

P R O T O K O L V Y R O V N A N I A G E O P O T E N C I A L N Y C H R O Z D I E L O V .		
Oznacenie etapy	:SNS 1996-2002	
nazov etapy	:UELN - suborne vyrovanie 1.rad	
rok	:2007	
pocet skupin realizacii	:70	
Zdroj ulohy	:UELN_1.ULH	
Struktura siete	:D:\1997\GM\gm.fns	
Body siete	:D:\1997\GM\gm.FNB	
Namerane udaje	:AB.FNR	
Odhad smerodajnej odchylky ulohy.....	$\sigma = 0.72$	[ugp] na 1 km
	$\Sigma p_{vv} = 5838.8$	[ugp ²]
	$\Sigma v = -495$	[ugp]
Pocet neznomych parametrov.....	= 10910	
Pocet nameranych prevyseni.....	= 22273	
Pocet nadbytocnych merani.....	= 11363	
Vahy merania v zavislosti na dlzke oddielu....	= R	
Prevod na geopotencialny rozdiel	= zavedeny	
Hladina vyznamnosti	$\alpha = 90.0$	
(1- $\alpha/2$)-kvantil norm. rozdelenia.....	$t(1-\alpha/2) = 2.0$	
Pocet uzlovych bodov.....	= 97	
Pocet pripojovacich bodov.....	= 37	
Pocet novych (urcovanych)uzlovych bodov.....	= 60	
Pocet usekov nivelacnej siete.....	= 68	

V Tab. 8 sú štatistické údaje z hlavičky protokolu vyrovnania prvého variantu.

V súčasnosti pokračujú práce na prepočte výšok z Bpv do Ams na nivelačných ťahoch 2. rádu, ktoré sú novo merané, ale aj na ťahoch, ktoré sú z posledných nivelačných meraní III. rádu ČSJNS, iba preberáme.

6 Záver

Body geodetických základov pripojené do nivelačných ťahov 1. a 2. rádu ŠNS tvoria fyzickú realizáciu záväzných výškových systémoch a slúžia ako referenčné body pre všetky práce, ktoré vyžadujú realizáciu v normálnych nadmorských výškach. Vďaka výpočtovým prostriedkom mohlo byť vykonané súborné vyrovanie všetkých nových nivelačných meraní (cez 22000 meraní), vďaka čomu dosahujeme vysokú homogenitu siete a každý referenčný bod je poskytovaný so svojou charakteristikou presnosti.

Tab. 8

P R O T O K O L V Y R O V N A N I A N I V E L A C N E J S I E T E .			
Oznacenie etapy	:SNS 1996-2001		
nazov etapy	:Suborne vyrovnanie 1.rad - Am system		
den	:0		
mesiac	:0		
rok	:2002		
pocet skupin realizacii	:70		
Zdroj ulohy	:AM_1.ULH	11/01/2007	15:00
Struktura siete	:D:\1997\GM\gm.fns	18/05/2006	11:11
Body siete	:D:\1997\GM\gm.FNB	12/01/2007	11:01
Namerane udaje	:AB.FNR	11/01/2007	11:32
Odhad smerodajnej odchylky ulohy.....	$\sigma = 0.51$	[mm]	na 1 km
	$\Sigma_{pvv} = 2947.8$	[mm ²]	
	$\Sigma v = -588$	[mm]	
Pocet neznomych parametrov.....	= 10910		
Pocet nameranych prevyseni.....	= 22273		
Pocet kritických merani a omylov.....	= 0		
Pocet nadbytocnych merani.....	= 11363		
Vahy merania v zavislosti na dlzke oddielu....	= R		
Disperzia merania a pomer.....	= znamy		
Oprava z redukcie tiaze Cq zavedena.....	= a		
Hladina vyznamnosti	$\alpha = 97.72$		
(1- $\alpha/2$)-kvantil norm. rozdelenia.....	$t(1-\alpha/2) = 2.0$		
Pocet uzlovych bodov.....	= 84		
Pocet pripojovacich bodov.....	= 37		
Pocet novych (urcovanych)uzlovych bodov.....	= 47		
Pocet tahov nivelacnej siete.....	= 68		

V súčasnosti vieme len niveláčnymi meraniami zabezpečiť presný referenčný základ pre určovanie normálnych výšok. Presné niveláčne merania v ŠNS umožňujú ďalšie spresňovanie modelov tvorených pre prevod výšok určených pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS). Týmto je možné technológie GNSS využiť aj na výškové merania v presnosti technických nivelácií.

Referencie

- [1] Marek, J., Nejedlý, A., Priam, Š.: Geodetické základy historický prehľad, SSGK, GKU, Bratislava 2006,
- [2] Kapitoly z histórie geodézie v Československu, edícia VÚGK v Bratislave, Bratislava 1988,
- [3] Vanko J., Zdokonaľovanie geodetických základov – ČSJNS /Výskumná správa č.113/1981/, VÚGK Bratislava 1981,
- [4] Smernice na spravovanie geodetických základov, ÚGKK SR, Bratislava 2006