

## HYDROLÓGIA TATRANSKÝCH JAZIER

Viktor Gregor, Juraj Pacl

**HYDROLOGY OF THE TATRA MOUNTAIN LAKES.** Tatra mountains are the most northern and the highest part of the Carpathian mountain range. 113 mountain lakes are located there. Results of measurements on the lakes altitude, area, and depth, performed within the 1925 - 1936 period, were due to numerous errors. Therefore in the years 1961 – 1964, new measurements were performed on the areas and altitudes of the lakes by the land stereophotogrammetry. Depths were measured by the echosounder. As the uniform base, the highest water level of each of the lakes was considered, as to achieve mutual comparability of the results. In the years to follow, on the most significant lakes the water level, water temperature and the ice regime were observed. Examples of the hydrological and the thermal balance are demonstrated. Results of the photogrammetric mapping enable also consideration of the changes in lakes due to the transport of the detritus and of the sediments. Graphical presentation of the lake bottom relief digital model is also demonstrated.

KEY WORDS: Tatra mountains, Carpathian mountain range, land stereophotogrammetry method, echosounder, uniform base, highest water level, bottom relief digital model

### Úvod

Popri dnešnej vysokej úrovni hydrológie povrchových vôd je limnológia, najmä jej opisná časť t.j. morfometria a hydrografia jazier, na Slovensku popoluškou medzi hydrologickými aj geografickými vedami. Jazerá, ako prirodzené vodné nádrže, sú na Slovensku v prevažnej miere sústredené v oblasti Tatier. Preto sú aj začiatky hlbšieho záujmu o tatranské jazerá, ľudovo nazývané plesá (čo prijalo aj kartografické názvoslovie), spojené s celkovým záujmom o dôkladnejšie poznanie prírodných pomerov tohto horopisného celku. Hoci prvá odborné-literárna zmienka o jazerách Vysokých Tatier pochádza z roku 1644, uplynulo takmer 200 rokov, kým sa mohlo hovoriť o limnologickom prieskume v skutočnom zmysle slova. Rok 1839 je významným medzníkom v limnológii Slovenska. Vtedy inžinier K. Cornides meral hĺbky Štrbského plesa. Žiaľ, bližšie záznamy o tejto akcii sa nepodarilo v archívoch nájsť, kronikár iba uvádza, na vtedajšie pomery dôležitú zaujímavosť, že pri meraniach pomáhala dcéra evanjelického farára zo Štrby. Ďalším dôležitým medzníkom je rok 1864, v ktorom geodet a matematik Karel Kořistka, absolvent viedenskej univerzity a banskej akadémie v Banskej Štiavnici, uverejnil prvú

podrobnú farebnú vrstevnicovú mapu Vysokých a Belianskych Tatier v mierke 1:100000. V nej sú už mnohé výškopisné údaje o jazerách a v opise k mape spomína aj hydrologicko-geografické zaujímavosti Štrbského plesa, jeho prítokové aj odtokové pomery, jeho neobjasnenú bifurkáciu.

Od roku 1875 sa záujem o tatranské jazerá výrazne zvýšil, vznikali prvé presnejšie mapy ľahko prístupných plies (Houdek, I., 1943). Avšak podrobné mapovanie plies tachymetriou sa uskutočnilo až v období medzi dvomi svetovými vojnami a napriek tomu, že bolo poznačené mnohými závažnými nedostatkami, jeho výsledky boli jedinými údajmi, ktoré mohol použiť O.Dub pri spracovaní prvej slovenskej limnologickej príručky (1953). Tieto nedostatky sa odstránili až novým mapovaním v rokoch 1961-64, spoluprácou Výskumnej stanice Správy TANAPu, Ústavu hydrológie SAV a Katedrou geodézie STU, čo je podrobne rozvedené v nasledujúcich kapitolách (Gregor, V., 1965, 2003, Pacl, J., 1999). V ďalších rokoch boli výsledky morfometrie doplnené batymetriou, hydrologickým výskumom a presné stanovenie nadmorských výšok jazier sa vykonalo až po definitívnom určení súradnicového a výškopisného systému SR.

**Charakteristika tatranských jazier**

Plesá patria medzi najmladšie prírodné časti Tatier, podmienené činnosťou ľadovcov. Ich základné plochy a hĺbky sa dotvárali zhruba pred 20 000 rokmi. Ľadovcové kotly (kary) vznikali najmä v najvrchnejších častiach dolín, kde sa masy ľadu najviac sústreďovali, najdlhšie sa udržali a pôsobili. V slovenskej časti Západných a Vysokých Tatier je 113 plies., väčšina z nich je sústredená vo Vysokých Tatrách (92, t.j. 81%) čo súvisí s väčším rozsahom ich zaľadnenia a tým aj s výraznejším premodelovaním ich povrchu ľadovcami. Väčšina plies je sústredená vo vlastnej vysokohorskej oblasti, nad hornou hranicou lesa. Ich rozloženie podľa výškových a klimaticko-vegetačných stupňov ukazuje tab. 1.

Nadmorské výšky tatranských jazier súvisia s jednotlivými štádiami zaľadnenia pohoria a so zavŕšením ľadovcovej činnosti na povrchové tvary

Tatier. Najvyššie položené plesá sú "najmladšie", v ich kotloch sa posledné zvyšky ľadovcov udržali najdlhšie, kým niektoré najnižšie ležiace plesá sú už v tak pokročilom štádiu vývoja, že zanikajú. Najvyššie položeným plesom Vysokých Tatier je Modré pleso v Malej Studenej doline, s nadm.výškou 2189 m, v Západných Tatrách to je Vyšné Bystré pleso v Bystrej doline, s nadm. výškou 1879 metrov. Vo Vysokých Tatrách sú najnižšie situované Rakytovecké plesá, jz. pod Štrbským plesom, v nadmorskej výške 1307 m, v Západných Tatrách je to Pleso pod Zverovkou, v nadm.výške 973 metrov. Rozmery sú tatranské plesá podobné všetkým jazerám malých vysokohorských masívov. Prevalu majú malé plesá, s plochou pod 1 ha a s hĺbkami do 2 m, druhú, počtom menšiu skupinku tvoria plesá s plochou 1-10 ha a s hĺbkami do 10 m, plochou najväčšie a najhlbšie jazerá tvoria úplne malú skupinku (Pacl, J., 1973, 1994). Uvedené charakteristiky sú v tab. 2/1 – 2/4.

**Tabuľka 1. Rozmiestnenie jazier**

Západné Tatry			Východné Tatry			Tatry		
Nadm. výška m	Exp. S	Exp. J	Spolu	Exp. S	Exp. J	Spolu	Spolu	Klimatický vegetačný stupeň
1800-2200		6	6	4	56	60	66	Studený alpínsky
1550-1800	4	8	12	9	14	23	35	Veľmi chladný subalpínsky
900-1550	2	1	3	1	8	9	12	Chladný stupeň lesov
Spolu	6	15	21	14	78	92	113	

**Tabuľka 2/1. Prehľad základných údajov a morfometrických parametrov tatranských plies**

Por. č.	Pleso	Nadm. výška m	Plocha m <sup>2</sup>	Objem m <sup>3</sup>	Obvod m	Dĺžka d <sub>max</sub> m	Šírka š <sub>max</sub> m	Hĺbka		Dolina
								h <sub>max</sub> m	h <sub>s</sub> m	
1	Anitino očko (Nižné Bystré)	1837,0	3505	4744	315	119	53	4,3	1,35	Bystrá
2	Batizovské	1884,2	34775	232089	885	288	160	10,5	6,67	Batizovská
3	Belasé	1862,0	700	1103	125	43	22	3,8	1,58	Červená
4	Biele, Kežmarské	1615,4	9670	4278	520	195	70	0,8	0,44	Bielych plies
5	Bielovodské Žabie - Nižné	1674,6	46840	325244	1310	360	185	20,5	6,94	Bielovodská
6	Bielovodské Žabie - Vyšné	1699,1	94640	839413	1430	537	260	24,8	8,87	Bielovodská
7	Bobrovecké	1503,0	995	475	170	77	21	1,2	0,48	Bobrovecká
8	Bystré plesá - Vyšné	1878,9	8715	36118	390	140	85	12,5	4,14	Bystrá
9	Bystré plesá II	1878,8	2595	4485	220	90	35	4,2	1,73	Bystrá
10	Bystré plesá III	1878,5	205	66	60	20	15	0,8	0,32	Bystrá
11	Capie	2075,3	30595	163987	780	246	175	17,5	5,36	Mlynická
12	Červené	1811,1	1820	1261	180	66	35	1,7	0,70	Červená
13	České	1611,5	19900	47722	590	222	125	6,2	2,41	Česká
14	Čierne Javorové	1492,1	8495	8245	465	160	85	3,2	0,97	Čierna Javorová

Tabuľka 2/2. Prehľad základných údajov a morfológických parametrov tatranských plies

Por. č.	Pleso	Nadm. výška <i>m</i>	Plocha <i>m</i> <sup>2</sup>	Objem <i>m</i> <sup>3</sup>	Obvod <i>m</i>	Dĺžka <i>d</i> <sub>max</sub> <i>m</i>	Šírka <i>š</i> <sub>max</sub> <i>m</i>	Hĺbka		Dolina
								<i>h</i> <sub>max</sub> <i>m</i>	<i>h</i> <sub>s</sub> <i>m</i>	
15	Čierne - Veľké	1579,1	2910	5128	235	98	38	4,0	1,76	Zeleného plesa
16	Čierne - Malé	1565,9	665	537	130	53	18	2,0	0,81	Zeleného plesa
17	Dlhé, pod Gerlachom	1939,0	6255	14408	440	185	61	5,6	2,30	Veľická
18	Dlhé, Zbojnícke	1893,8	11175	24270	685	274	53	7,2	2,17	Veľká Studená
19	Dračie	2019,5	17215	102835	540	210	125	16,0	5,97	Zlomisková
20	Furkotské - Nižné	1626,0	1645	682	190	60	52	1,2	0,41	Mlynická
21	Furkotské - Vyšné	1698,0	4080	3306	290	85	62	2,4	0,81	Mlynická
22	Hincovo - Malé	1921,3	22260	72360	640	265	130	6,4	3,25	Mengusovská
23	Hincovo - Veľké	1944,8	200800	4091712		740	370	54,0	20,4	Mengusovská
24	Hrubé	1929,5	1370	1012	210	89	23	1,9	0,74	Svišťová
25	Jamnícke - Nižné	1732,0	11315	25180	445	178	95	8,2	0,22	Jamnícka
26	Jamnícke - Vyšné	1839,0	4095	5406	300	110	58	3,6	1,32	Jamnícka
27	Jamské	1447,5	6830	10580	375	150	70	4,3	1,55	Važecká
28	Kobyľie	1734,3	2975	735	265	85	62	1,0	0,25	Kôprová
29	Kolové	1565,4	18280	10846	735	225	123	1,2	0,59	Kolová
30	Kozie - Nižné I	1942,0	7800	4650	445	155	65	2,3	0,60	Mlynická
31	Kozie - Nižné II	1938,8	720	436	125	54	20	3,6	0,60	Mlynická
32	Kozie - Nižné III	1931,8	520	275	110	46	16	1,5	0,53	Mlynická
33	Kozie - Vyšné	2109,0	5120	4667	445	150	75	3,3	0,85	Mlynická
34	Kriváňské Zelené	2012,5	51380	288685	1225	450	160	29,5	5,62	Važecká
35	Kriváňské Zelené - Malé	2013,1	1470	1574	165	50	45	2,8	1,07	Važecká
36	Ľadové (Popradské)	1924,8	22540	87397	680	225	150	9,7	3,88	Zlomisková
37	Ľadové (Zbojnícke)	2057,0	17350	101133	535	180	135	18,0	5,83	Veľká Studená
38	Lievikové	1763,5	135	zanesené	-	18	10	0	-	Skalnatá
39	Litvorové	1860,0	18645	135000	565	181	162	19,1	7,24	Litvorová
40	Modré	2189,0	4025	4315	230	73	73	4,5	1,07	Malá Studená
41	Nad Skokom	1801,3	7360	7494	495	158	80	1,8	1,02	Mlynická
42	Nové Štrbské	1311,5	21135	40640	680	243	182	9,6	1,92	Mlynická
43	Okrúhle	2105,0	7165	39627	335	110	85	10,2	5,53	Mlynická
44	Päť Spišských plies I	2013,0	28700	124591	855	290	168	10,1	4,34	Malá Studená
45	Päť Spišských plies II	2010,0	18880	50193	750	200	160	4,7	2,66	Malá Studená
46	Päť Spišských plies III	1992,5	6200	11308	405	140	80	4,3	1,82	Malá Studená
47	Päť Spišských plies IV	2018,7	1840	1466	250	90	38	1,6	0,80	Malá Studená
48	Päť Spišských plies V	1997,0	1695	2421	170	52	48	3,7	1,43	Malá Studená

Tabuľka 2/3. Prehľad základných údajov a morfolometrických parametrov tatranských plies

Por. č.	Pleso	Nadm. výška <i>m</i>	Plocha <i>m</i> <sup>2</sup>	Objem <i>m</i> <sup>3</sup>	Obvod <i>m</i>	Dĺžka <i>d</i> <sub>max</sub> <i>m</i>	Šírka <i>š</i> <sub>max</sub> <i>m</i>	Hĺbka		Dolina
								<i>h</i> <sub>max</sub> <i>m</i>	<i>h</i> <sub>s</sub> <i>m</i>	
49	Pod Zverovkou	973,0	3055	5429	250	82	52	4,3	1,78	Roháčska
50	Popradské	1494,3	68695	504380	625	380	248	17,6	7,34	Mengusovská
51	Pusté plesá I	2056,0	11890	32079	480	165	93	6,6	2,70	Veľká Studená
52	Pusté plesá II	2061,5	1450	1807	175	69	31	4,4	1,25	Veľká Studená
53	Račkové plesá I	1696,8	7425	27058	375	127	83	12,3	3,64	Račkova
54	Račkové plesá II	1696,7	11840	5624	720	170	120	1,7	0,48	Račkova
55	Rakytovecké plieska I	1307,0	2230	1865	230	95	34	2,3	0,84	Furkotská
56	Rakytovecké plieska II	1307,0	1310	1306	150	55	33	2,1	1,00	Furkotská
57	Roháčske plesá I	1562,2	22250	77063	580	198	140	7,7	3,46	Roháčska
58	Roháčske plesá II	1648,1	2140	1092	580	80	34	1,3	0,51	Roháčska
59	Roháčske plesá III	1652,0	5800	8169	315	123	64	3,1	1,41	Roháčska
60	Roháčske plesá IV	1719,2	14400	46067	195	214	104	8,2	3,20	Roháčska
61	Rumanovo - Nižné	2089,8	2610	2730	210	70	48	2,8	1,05	Zlomisková
62	Rumanovo - Vyšné	2128,2	420	168	82	32	19	1,0	0,40	Zlomisková
63	Satanovo	1894,0	2010	2544	235	87	30	3,5	1,25	Mengusovská
64	Sesterské	1974,0	3265	1419	320	125	55	1,3	0,43	Veľká Studená
65	Sivé plesá I	2013,0	10810	15523	640	233	99	4,8	1,44	Veľká Studená
66	Sivé plesá II	2011,7	940	513	140	52	29	1,6	0,55	Veľká Studená
67	Skalnaté	1751,1	12380	15874	525	212	85	4,5	1,28	Skalnatá
68	Slavkovské plieska	1676,0	1065	1085	140	52	25	2,5	1,02	Slavkovská
69	Smrekovické	1355,0	830	447	140	55	18	0,6	0,54	Furkotská
70	Starolesnianske	1988,0	7200	10588	380	130	70	4,2	1,47	Veľká Studená
71	Strelecké plesá I	2021,5	1255	1799	175	60	37	4,4	1,42	Veľká Studená
72	Strelecké plesá II	2013,0	500	85	125	47	14	0,6	0,17	Veľká Studená
73	Strelecké plesá III	2019,7	100	suché	50	14	12	0,4	-	Veľká Studená
74	Studené plesá I	1810,9	1650	1385	195	76	33	2,1	0,84	Veľká Studená
75	Studené plesá II	1811,7	1115	355	145	50	40	0,8	0,32	Veľká Studená
76	Szontághovo	2040,0	3300	3727	295	90	57	3,8	1,13	Slavkovská
77	Štrbské	1346,6	196700	1299400	2245	640	600	20,3	6,61	Mlynická
78	Temnosmrečinské - Nižné	1677,0	117045	1501500	1710	525	360	38,1	12,83	Temnosmrečinská
79	Temnosmrečinské - Vyšné	1724,8	55625	414712	1145	408	195	20,0	7,45	Temnosmrečinská
80	Terianske - Nižné	1940,4	55580	871668	990	360	235	47,3	15,68	Nefcerka
81	Terianske - Vyšné	2124,0	5550	8470	515	190	55	4,3	1,53	Nefcerka

Tabuľka 2/4. Prehľad základných údajov a morfometrických parametrov tatranských plies

Por. č.	Pleso	Nadm. výška <i>m</i>	Plocha <i>m</i> <sup>2</sup>	Objem <i>m</i> <sup>3</sup>	Obvod <i>m</i>	Dĺžka <i>d</i> <sub>max</sub> <i>m</i>	Šírka <i>š</i> <sub>max</sub> <i>m</i>	Hĺbka		Dolina
								<i>h</i> <sub>max</sub> <i>m</i>	<i>h</i> <sub>s</sub> <i>m</i>	
82	Tiché	1748,0	460	145	85	30	22	0,8	0,32	Široká
83	Tomanovské - Vyšné	1597,0	1925	1234	170	62	41	1,7	0,64	Tomanovská
84	Tomanovské - Nižné	1592,0	945	284	185	40	29	0,9	0,30	Tomanovská
85	Tomanovské - Malé	1617,0	272	90	85	36	18	1,0	0,33	Tomanovská
86	Trojrohé	1610,8	1680	1247	285	85	70	1,4	0,74	Bielych plies
87	Ľatliakovo jazero	1330,0	2795	1089	235	70	55	1,2	0,39	Roháčska
88	Vareškové	1834,0	2785	1589	325	117	39	1,5	0,57	Veľká Studená
89	Velické	1665,5	22290	45575	845	350	90	4,6	2,04	Velická
90	Velické Horné plieska I	2141,0	1445	865	193	82	25	1,5	0,60	Velická
91	Velické Horné plieska II	2118,0	955	455	136	60	25	1,2	0,48	Velická
92	Wahlenbergovo - Nižné	2053,0	20280	69701	740	250	125	7,8	3,44	Furkotská
93	Wahlenbergovo - Vyšné	2157,0	51655	392078	1100	335	222	20,6	5,34	Furkotská
94	Zamrznuté (Poľ.hrebeň)	2040,0	11395	43388	515	208	78	10,8	3,81	Litvorová
95	Zbojnícke plesá I	1961,8	6410	18437	335	115	95	8,3	2,88	Veľká Studená
96	Zbojnícke plesá II	1959,6	6135	14488	575	170	95	5,3	2,36	Veľká Studená
97	Zbojnícke plesá III	1955,3	1950	1426	220	63	50	2,5	0,73	Veľká Studená
98	Zbojnícke plesá IV	1966,4	415	250	105	33	25	0,6	0,60	Veľká Studená
99	Zelené (Kežmarské)	1546,0	17855	31755	575	188	136	4,5	1,78	Zeleného plesa
100	Zelené Javorové	1815,0	7490	17190	370	133	81	9,1	2,30	Zelená Javorová
101	Zelené Kačacie	1575,4	25335	28236	765	200	170	2,7	1,11	Kačacia
102	Kačacie pliesko	1590,7	2175	3757	180	88	44	4,2	1,73	Kačacia
103	Zelené pod Pred. Zeleným	1472,0	270	162	90	37	13	2,1	0,60	Roháčska
104	Zmrzlé	1762,2	22015	86269	745	285	172	12,5	3,92	Česká
105	Žabie plesá - Malé	1919,5	12060	45696	495	160	105	12,6	3,79	Mengusovská
106	Žabie plesá - Veľké	1921,0	26480	73295	825	287	170	7,0	2,77	Mengusovská
107	Žabie plesá - Vyšné	2045,8	1710	1025	195	75	40	1,5	0,60	Mengusovská
108	Žabie Javorové - Malé	1704,2	1800	2049	272	100	28	3,1	1,14	Žabia Javorová
109	Žabie Javorové - Veľké	1878,3	11320	60453	510	197	80	15,3	5,34	Žabia Javorová
110	Žeruchové - Nižné	1774,0	1140	478	145	42	35	1,2	0,42	Bielych plies
111	Žeruchové - Vyšné	1855,0	1010	840	195	49	44	2,2	0,83	Bielych plies
112	Žiarske	1833,5	1135	405	135	45	37	0,9	0,36	Žiarska
113	Žlté	1945,0	1320	1056	190	60	33	2,5	0,80	Bielych plies

Podľa vzniku rozoznávame v Tatrách dva základné typy jazier. Jazerá v ľadovcami vyhlbených kotloch – karové a ľadovcovými nánosmi (morénami) hradené jazerá - morénové. Prechodným typom je jazero karové, dodatočne ešte zahradené morénou. Pozoruhodnosťou Vysokých Tatier je Štrbské pleso, ktoré je podľa genezy označované ako výtopiskové jazero (Lukniš, M., 1973). Nevzniklo v ľadovcovom kotli, zahradenom morénami, ako by sa na prvý pohľad javilo, ale dlhodobým, postupným zosadením morénových nánosov, ktoré prekryli veľkú asi 80 metrov hrubú kryhu t.zv. mŕtveho ľadu. Morény tvoria nielen jeho veľkú okrajovú hrádzu na južnej strane plesa, ale pokrývajú v značnej miere aj dno plesa. Podrobnejšie vysvetlenie tejto zvláštnosti je v kapitolách venovaných hydrologickej bilancii Štrbského plesa a digitálnym modelom reliéfu jeho dna. Karové plesá majú panvy s prevažne strmými bokmi a ich brehová čiara je spravidla málo rozvinutá., bezprostredná blízkosť okolitých štítov ich chráni pred dynamickým účinkom vetra (horšie podmienky pre cirkuláciu vody) a pred slnečným žiarením (menší príjem tepelnej energie). Najhlbšie jazerá sú v ľadovcových kotloch, alebo v dolinách prehĺbených ľadovcami, najplytšie sú morénové jazerá.

### Morfometria

K ucelenejšiemu sústredeniu a zverejneniu základných údajov z morfometrie a batymetrie tatranských plies sa prišlo až v prvej polovine dvadsiateho storočia dvomi geografickými školami. Prvú reprezentoval nemecký Geografický ústav pri Karlovej univerzite v Prahe, druhú Geografický ústav Jagellonskej univerzity v Krakove. V rokoch 1929-32 boli vydané 3 zväzky Atlas der Seen der Hohen Tatra, spracované K. Schafferom a Fr.Stummerom, v rokoch 1936-38 ho doplnil R. Lucerna dielom Morphologischer Atlas der Seen der Hohen Tatra (zv.1 – Mengsdorfer Tal, zv.2 – Kriwan-Gruppe). Ďalšie zväzky už neboli spracované. L.Sawicki vydal v r. 1929 Atlas jezior tatrzańskich a J.Szaflarski ho doplnil ďalšími zväzkami v r. 1933, 1935 a 1936. Jazerá Západných Tatier nezmapovala ani jedna z uvedených škôl, túto medzeru doplnil až v rokoch 1953-54 V.Král. Údaje v jednotlivých atlasoch sa vo viacerých prípadoch odlišovali. Samozrejme, že drobné odlišnosti sa akceptovali, pričom pozornosť sa sústredila na zásadné rozdiely v údajoch. V ľudskom organizme je asi zakódovaný nejaký gén, nazvime ho Guinnessov, ktorý nás núti odpovedať na otázky – čo je naj-naj. Keďže nebolo nad všetky pochybnosti jasné, ktoré pleso je v slovenskej časti Vysokých Tatier najväčšie a najmenšie, ktoré je najvyššie či najnižšie výškovo situované, tak nedôslednosť predchádzajúcej generácie bola pre našu generáciu nekompromisnou výzvou. Prvý pokus o preverenie presnosti meraní z rokov 1929-36 urobil v r.1954 J.Pacl geodetickým zameraním (tachymetriou) plochy Veľkého Hincovho plesa. Tým zistil, že plošne je najväčším jazerom na

južnej strane Vysokých Tatier. Keďže súčasne nezameral plochu Štrbského plesa, dovtedy pokladaného za najväčšie, sám zapochyboval o jednoznačnosti svojho výsledku a začal usilovať o nové, presné zameranie všetkých plies v Záp. aj Vých. Tatrách. Prvé snahy smerovali k leteckej fotogrametrii u armádnych zložiek Sústavné mapovanie celej oblasti v mierke, ktorej výsledkom by boli podrobné mapy plies nebolo možné dohodnúť. Meranie jednotnou metódou pre celú oblasť a pri jednotnej základni však bolo premisou úspechu.

Po finančnom zabezpečení zo strany Výskumnej stanice pri Správe TANAPu (v súčasnosti Štátne lesy Tatranského národného parku) v r.1961, sa pozornosť sústredila na Katedru geodézie SVŠT (teraz STU), ktorej vedúci Prof. Ing. P.Gál, Dr.Sc. mal osobné skúsenosti s použitím leteckej aj pozemnej fotogrametrie spojené s výstavbou observatória na Lomnickom štíte. Výsledkom bola dohoda o spolupráci, ku ktorej pristúpil aj Ústav hydrologie SAV.

Z rozborov vyplynulo, že najvhodnejšími podkladmi na získanie spoľahlivých morfometrických parametrov tatranských plies (pôdorys, plocha, objemy a.i.) sú presné mapy vo veľkých mierkach, 1:1000, príp. 1:2000 (Gregor, V., 1965). Jednoznačne najvhodnejšou sa ukázala metóda pozemnej stereofotogrametrie. Bodovým geodetickým meraním (tachymetriou) nemožno ani úplne detailne vystihnúť príliš členitý obvod hladiny plesa, ani spoľahlivo definovať vzťažnú hladinu. Obmedzujúcim faktorom pre použitie leteckej fotogrametrie bolo v tomto prípade snímokovanie, pretože mapa v mierke 1:1000 odpovedá optimálna snímoková mierka okolo 1:3500. Pri použití kamery s normálnym objektívom (snímkovému formátu 180x180 mm odpovedala konštanta kamery  $f=210$  mm) vychádza výška letu okolo 700 metrov. Vzhľadom na to, že medzi plesami v dolinách a okolitými hrebeňmi sú vo Vysokých Tatrách výškové rozdiely 600 až 1000 m, neprichádzalo letecké snímokovanie v tejto mierke do úvahy, nehovoriac o neúmerných finančných nákladoch v porovnaní s pozemnou fotogrametriou. Pod vedením Prof. P. Gála bol zostavený tím, kde hlavné úlohy (geodetické meranie, snímokovanie, vyhodnotenie snímok) pripadli V.Gregorovi, za podpory F.Kohúta, technické zabezpečenie v teréne, stanovenie jednotnej vzťažnej hladiny a hydrologické vyhodnotenia riešil J.Pacl. Základná metodická príprava, terénne prístrojové a ostatné vybavenie prebehli tak rýchlo, že už o mesiac od prvého rokovania sa uskutočnilo prvé skúšobné zameranie Nižného Temnosmrečinského plesa. Za výbornej pomoci nebeských mocností, ktoré nám dopriali v priebehu jedného dňa mrazivé ráno, slnečné predpoľudnie s búrkou a popoľudňajšiu snehovú fujavicu, sme získali poznatky nielen o samotnej práci v terénnych podmienkach, ale aj o všetkých rozmaroch tatranského počasia a tiež o tom, aké musí byť zázemie pre ustatých, premočených a uzimných fotogrametrov. V súvislosti s geodetickým určením vličovacích bodov

pre fotogrametrické vyhodnotenie bolo nutné vyrovnať sa s nasledujúcimi otázkami:

- definícia súradnicového systému - JTSK alebo lokálna sieť,
- údaj o nadmorskej výške hladiny,
- definícia vzťažnej (jednotnej) výšky hladiny,
- orientácia lokálnej siete.

Úloha nevyžadovala, aby boli jednotlivé lokality (plesá) pripojené na štátnu trigonometrickú sieť pretože tým by boli okrem iného neúmerne narástli tak finančne ako aj časové náklady. Prevážna väčšina plies je v dolinách v miestach, z ktorých nevidno potrebný počet trigonometrických bodov na pripojenie tým skôr, že veľký počet trigonometrických bodov na štítoch a hrebeňoch Vysokých Tatier nemá signalizáciu a tiež treba brať do úvahy aj hmly a oblačnosť. Preto sa podľa veľkosti a tvaru lokality meralo len v lokálnej sieti.

Pri výškovom pripojení plies sme vychádzali z kót hladín prípadne z výškopisu topografických máp v mierke 1:25000 vyhotovených metódou leteckej fotogrametrie do r. 1957. K tejto výške je vzťahnutý aj výškopis v okolí plesa vyhodnotený z pozemných snímok. V rámci neskoršieho fotogrametrického mapovania Vysokých Tatier v mierke 1:10 000 došlo prirodzene aj k spresneniu výšok hladín plies a preto vo výslednej prehľadnej tabuľke hlavných údajov o plesách sú už uvádzané tieto výšky (tab.2).

Výšky hladín plies sa v priebehu roka menia - od maximálnej na jar klesnú niektoré do jesene v rozpätí od 20 do 40 cm.

Obvodová čiara hladiny plesa by sa mala vzťahovať na jednotnú výšku hladiny pre všetky plesá, aby mohla byť základným východiskom tak pre porovnávanie veľkosti plies ako aj pre neskoršie porovnávanie prípadných zmien ich plôch. Preto merania vykonané v rokoch 1961 - 64 Katedrou geodézie SVŠT vychádzali z jednotnej - maximálnej hladiny každého plesa, ktorú možno spoľahlivo určiť prakticky po celom obvode plesa podľa zafarbenia skál riasami a podľa porastov lišajníkov na nich, s presnosťou do 3 až 5 cm. Tým dostalo jednotnú vzťažnú výšku aj následné meranie hĺbok.

Na orientáciu siete vĺčovacích bodov a tým aj príslušného mapového podkladu sme použili rúrkový magnetický usmerňovač pripevnený na teodolit. Geodetické meranie sa v danom prípade využívalo na určenie priestorovej polohy vĺčovacích bodov potrebných na kontrolu mierky a výšok optického modelu pri vyhodnotení snímok na stereoautografe. Počet vĺčovacích bodov ako aj spôsob určenia ich polohy sme volili v závislosti na rozlohe príslušnej lokality. V zásade sme určovali v priemere 3 - 4 vĺčovacie body na jednu snímkovú dvojicu, ktoré sme pri menších plesách určovali polárnou metódou (teodolit Theo 020 Zeiss + základnicová lata Bala Zeiss). V prípade veľkých plies pri vzdialenostiach vyše 150 m sme určovali vĺčovacie body pretínaním napred zo základnice rozvinutej s použitím základnicovej laty. Na signalizáciu vĺčovacích bodov sme použili štvorcové

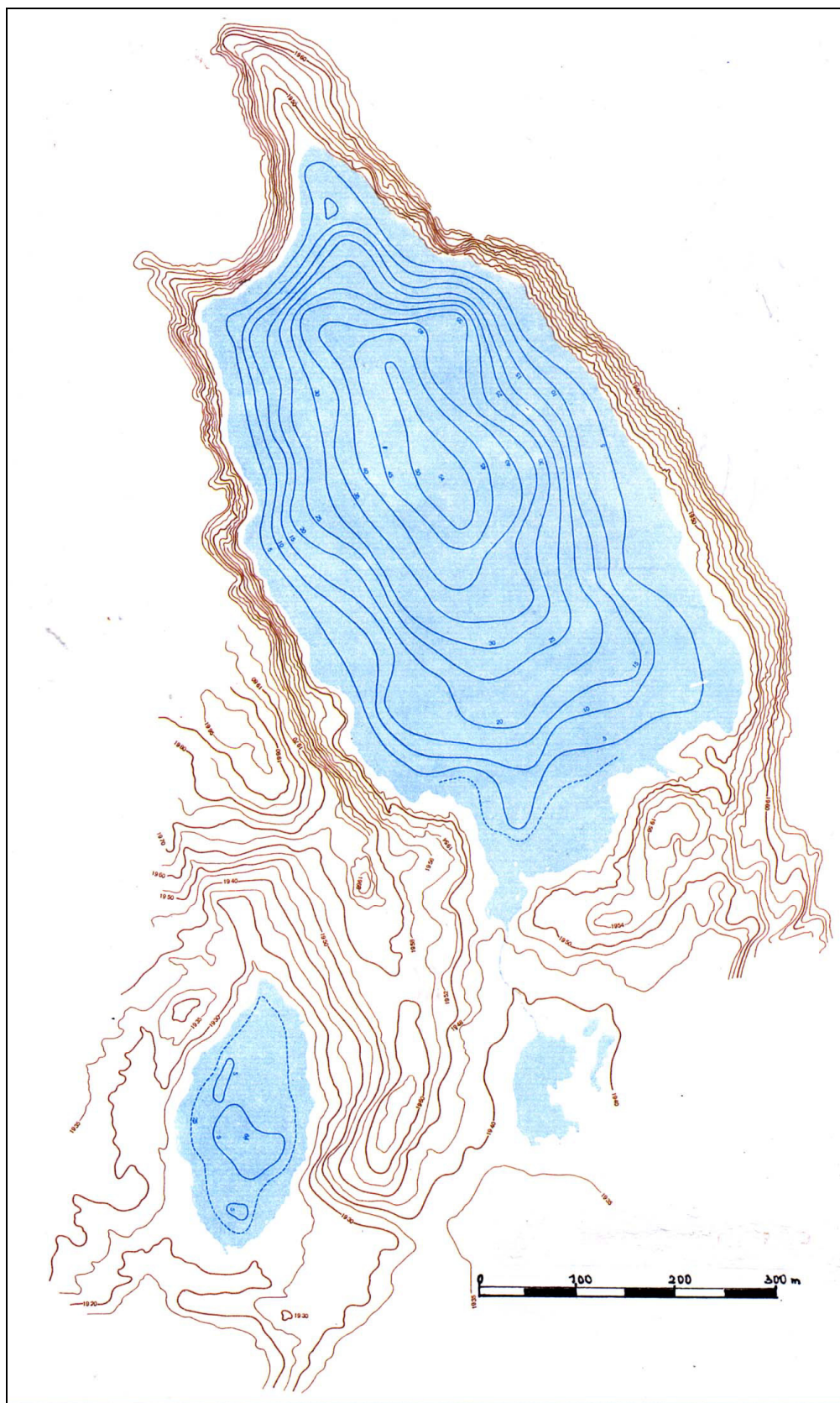
uhlopriečne žltomodré terče 20/20 cm, pod ktoré sme na zväčšenie plochy a kontrastu pridávali bielu kartónovú podložku. Pretože najbližšie okolie plesa je spravidla dosť jednotvárne (kamenné suty, príp. súvislý porast kosodreviny) a medzi vyhotovením snímok a ich vyhodnotením môže byť značný časový odstup, bolo potrebné umiestňovať vĺčovacie body v blízkosti predmetov, ktoré sa na snímke zobrazia markantne a jednoznačne ako napr. veľké skaly, snehové polia, kosodrevina a pod. Pri vyhodnocovaní snímok sa jednotlivé vĺčovacie body ešte overovali podľa náčrtku vyhotoveného pri snímkovaní.

Na snímkovanie sme používali meračskú kameru - fototeodolit Photo 1318 Zeiss Jena s konštantou  $f = 194$  mm a snímkovým formátom 130/180 mm. Snímkovým materiálom boli ortochromatické sklené Topo dosky ORWO s citlivosťou 3 až 6 DIN.

Súčasťou fototeodolitu je aj orientačné zariadenie na zabezpečenie rovnobežnosti osí záberu snímok stereodvojice vyhotovenej na koncových bodoch fotogrametrickej základnice. Osi záberu sú buď kolmé na základnicu (normálny prípad stereofotogrametrie), alebo rovnobežne doľava príp. doprava stočené o určitý uhol. Niektoré plesá sme súčasne s vyhotovením snímok zamerali aj hĺbkovo. Ako bójky sme použili balóny s priemerom 30-50 cm, rozmiestnené na hladine a ukotvené kameňom spusteným na dno z nafukovacieho člna. Pri bójkach sa zmerala hĺbka zaťaženým ocelovým pásmom S týmto experimentom sme však narazili na toľko prekážok ohrozujúcich časový plán poľných prác, že sme museli tieto dve základné úlohy rozdeliť. Spomenuté predchádzajúce rokovania s armádnyimi zložkami priniesli pre túto situáciu významné riešenie. Pracovníci vojenského výskumného ústavu vykonali po vyhodnotení terénnych fotogrametrických prác merania hĺbok echosondou. Pre takéto merania boli spoľahlivé mapy plies bezpodmienečným podkladom, podľa nich sa vytyčovali trasy pre pohyb člna s echosondou. Objemy plies sa počítali podľa Simpsonovho pravidla, pričom na meranie plôch jednotlivých izobát sa použil digitálny polárny planimeter (Bogoslovskij, B., Muravejskij, S.D., 1953, Hutchinson, G.E., 1957). Vyhodnotenie snímok na priestorovom analógovom vyhodnocovacom prístroji pre pozemnú stereofoto-grametriu - stereoautograf 1318 Zeiss Jena - malo grafický výstup vo forme polohopisnej a výškopisnej mapy v mierke 1:1000 príp. 1:2000.

V mierke 1:2000 sa vyhodnocovali najväčšie plesá ako Hincovo a Štrbské pleso (obr. 1), alebo skupiny plies (Roháčske, Žabie Bielovodské plesá). Spolu bolo na stereoautografe vyhodnotených vyše 200 stereodvojíc. Nezanedbateľnou výhodou bola aj skutočnosť, že v tíme fotogrametrov bol aj profesionálny operátor - vyhodnocovateľ V. Gregor.

Základný vrstevnicový interval výškopisu je vzhľadom na veľké sklonky terénu 2 m a výškový rozsah výškopisu je 20 m od hladiny plesa, čo dáva dostatočný obraz o morfológii reliéfu najbližšieho okolia plesa.



Obr.1. Mapa Velkého a Malého Hincovho plesa.





Obr. 2. Zbojnicke plesá – fotogrametrická snímka s vrstevnicami.

Súčasťou polohopisu okrem obrysu hladiny a porastov kosodreviny sú aj jednotlivé skaly a kamene v plesé, ktoré vyčnievajú nad maximálnu hladinu. Práve tieto detaily sa ukázali pri meraní hĺbok ako výborné orientačné body pri zákrese trás hĺbkových profilov do mapy priamo v teréne. Pre výskumné a študijné ciele sú ako vhodný výrazový prostriedok účelné fotografické zväčšeniny originálnych snímok použitých pre vyhodnotenie. Súčasne s vyhodnotením možno na stereoautografe zakresliť do ľavej snímky stereodvojice perspektívne vrstevnice okolitého terénu (obr. 2).

Popri mapách plies sú dôležitým výsledkom meraní tiež súhrnné tabuľky základných údajov a morfometrických parametrov tatranských plies (tab. 2/1-2/4).

Ďalším výsledkom spracovania údajov sú tabuľky 3/a až 3/d, s poradím prvých 10 plies, zostavených z hľadiska:

- a) nadmorskej výšky hladiny
- b) plochy,
- c) objemu,
- d) maximálnej hĺbky.

Význam uvedených meraní a ich prínosu pre vlastivedu a vodné hospodárstvo je v hlavných smeroch tento :

- 1) Získali sa presné údaje o morfometrii plies, ich okolitom teréne a vegetácii do výšky 20 m nad hladinou plesa. Z batymetrie plies sa získali aj údaje o ich objeme, čiže o veľkosti vodných zásob v jazerách Tatier.

- 2) Všetky uvedené údaje sú dôležitou informáciou o systéme krajiny a sú využiteľné pre vodohospodárske riešenia. Z máp Tatier sa odstránili posledné „biele miesta“.

- 3) Údaje umožňujú presne vyhodnotiť zmeny, ktoré neustále v jazerách a ich najbližšom okolí prebiehajú, v dôsledku rôznych prírodných dejov (zasypávanie suťami, priesak podloží atď.), vrátane klimatických zmien (zvyšovanie výparu z voľnej hladiny, ľadový režim plies, teplotná stratigrafia).

Pretože jedným zo základných atribútov dát informačného systému je ich priestorová lokalizácia, možno na záver konštatovať, že tak mapy plies s výškopisom a izobatami, ako aj súbor údajov v tabuľkách predstavuje v určitom zmysle dôležitú časť základnej bázy dát informačného systému o tatranských plesách vhodných pre zatiaľ najobjektívnejšie porovnanie zmien morfometrických parametrov tak s minulými ako aj s budúcimi meraniami.

**Tabuľka 3. Tatranské plesá 4x „naj“: a) nadmorská výška hladiny, b) objem vody, c) plocha hladiny, d) maximálna hĺbka**

Por. č.	Pleso	Výška m
1	Modré	2 189,0
2	Wahlenbergovo – Vyšné	2 157,0
3	Velické Horné plieska I	2 141,0
4	Rumanovo - Vyšné	2 128,2
5	Terianske - Vyšné	2 124,0
6	Velické Horné plieska II	2 118,0
7	Kozie - Vyšné	2 109,0
8	Okrúhle	2 105,0
9	Rumanovo - Nižné	2 089,8
10	Capie	2 075,3

a)

Por. č.	Pleso	Výška m
1	Hincovo – Veľké	200 800
2	Štrbské	196 700
3	Temnosmrečinské – Nižné	117 045
4	Bielovodské Žabie – Vyšné	94 640
5	Popradské	68 695
6	Temnosmrečinské – Vyšné	55 625
7	Terianske – Nižné	55 580
8	Wahlenbergovo – Vyšné	51 655
9	Krivánske Zelené	51 380
10	Bielovodské Žabie-Nižné	46 840

c)

Por. č.	Pleso	Výška m
1	Hincovo – Veľké	4 091 712
2	Temnosmrečinské – Nižné	1 501 500
3	Štrbské	1 299 400
4	Terianske – Nižné	871 668
5	Bielovodské Žabie – Vyšné	839 413
6	Popradské	504 380
7	Temnosmrečinské - Vyšné	414 712
8	Wahlenbergovo - Vyšné	392 078
9	Bielovodské Žabie -Nižné	325 244
10	Krivánske Zelené	288 685

b)

Por. č.	Pleso	Výška m
1	Hincovo – Veľké	54,0
2	Terianske – Nižné	47,3
3	Temnosmrečinské – Nižné	38,1
4	Krivánske Zelené	29,5
5	Bielovodské Žabie – Vyšné	24,8
6	Wahlenbergovo – Vyšné	20,6
7	Bielovodské Žabie – Nižné	20,5
8	Štrbské	20,3
9	Litvorové	19,1
10	Ľadové ( Zbojnícke)	18,0

d)

### Hydrografia a hydroológia

Vysoké úhrny zrážok a pomerne nízky výpar spôsobujú, že tatranské jazerá sú vodou dobre zásobované takmer po celý rok. Transport vody do plies prebieha hlavne ako podpovrchový prítok cez suťové osypy a morény. Takmer všetky väčšie plesá majú povrchový odtok, ktorý odvádza prebytočnú vodu do riečnej siete. Preto sú zmeny v úrovni hladín malé, v priemernom rozmedzí do 50 cm, v extrémnych prípadoch nepresiahnu 100 cm. Najväčšie výkyvy sa vyskytujú na malých bezodtokových jazerách. Najnižšiu úroveň majú hladiny v zimnom období (od decembra do apríla), najvyššiu úroveň dosiahnu v čase maxima zrážok, v júni a júli. Pravidelné, denné pozorovania vodných stavov sa vykonávali iba na Štrbskom plese 10 rokov, v období 1951 – 62.

S ohľadom na už spomenutú osobitnú genézu plesa, z vodomerných pozorovaní nie je možné odvodiť analogické závery charakterizujúce vodný režim iných typických tatranských plies. Jednako sú získané poznatky natoľko zaujímavé, že je nutné venovať im dostatočnú pozornosť. Štrbské pleso je na južnej strane Vysokých Tatier, v nadmorskej výške 1347 metrov, vo vegetačnom stupni tatranského lesa. Zo severnej a západnej strany pleso ohraničujú strmé svahy Soliska, z ostatných strán je hradené morénovými nánosmi. Od juhovýchodných brehov plesa až po juhozápadné klesá

prirodzená hrádza z morénových nánosov smerom k juhu strmým, 100-180 metrov vysokým okrajovým svahom. Južný a juhozápadný záliv plesa zasahuje veľmi tesne k začiatku strmého svahu (obr. 3). S ohľadom na nedávnu minulosť geomorfologických pochodov morénová hrádza nie je úplne stabilná. Okrem toho, ako je ďalej rozvedené, je to hrádza pre vodu čiastočne priepustná. Jej narušením sa môže hydrologický režim plesa podstatne zmeniť, najmä keď sa zasiahne do niektorého z tých miest, kde zloženie materiálu je veľmi priaznivé pre zvýšenie priesaku. Ako už bolo uvedené, panva Štrbského plesa nevznikla nasypaním čelných morén mlynického Ľadovca, ale zosadnutím morénového materiálu v miestach, kde sa roztápala asi 80 m hrubá kryha mŕtveho ľadu. Pre vodu priepustné morénové nánosy tvoria preto nielen hrádza, ale čiastočne aj dno plesa. Nadfzanie vody v takto vzniknutej rozsiahlej priehlbine bolo umožnené jej postupným utesňovaním produktami zvetrávania, vodou do nej splavovanými a v neskoršom štádiu vývoja vlastnými jazernými usadeninami. Veľmi rozčlenené dno Štrbského plesa naznačuje, že ochranný kryt usadenín nie je súvislý.

V súčasnosti je Štrbské pleso bezodtokovým jazerom, podľa najstarších máp je však zrejme, že kedysi malo povrchový odtok. Zaiste to bol iba občasný odtok, pri najvyšších hladinách, nevyvinutý v sústredený silnejší tok, lebo tento by sa bol postupne zahlboval, odvádzal

z plesa čoraz viac vody a tak by sa podstatne zmenil hydrologický režim plesa. Vodomerne a zrážkomerne pozorovania priniesli zaujímavé poznatky.

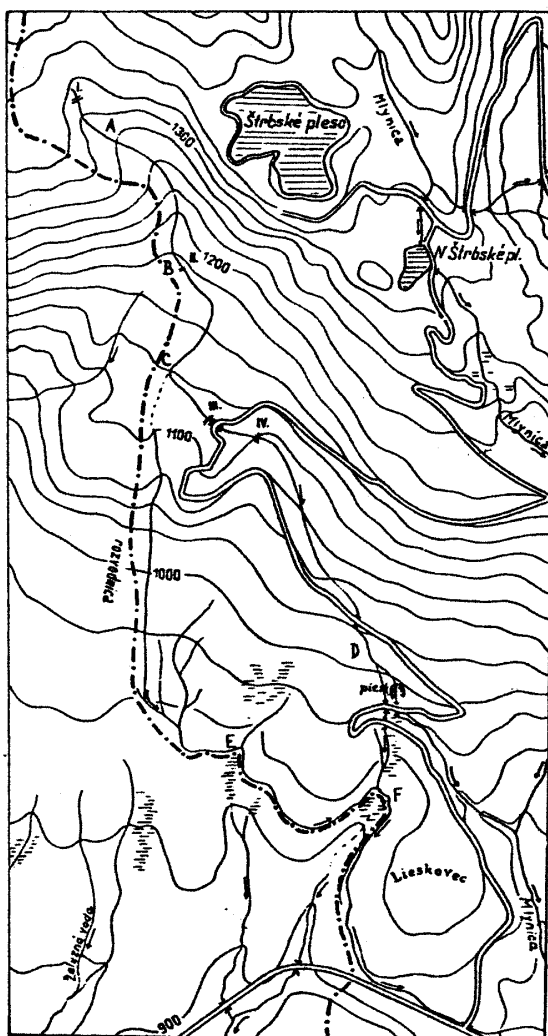
Po výdatných lejakoch hladina plesa okamžite stúpne a to viacmenej o napršané množstvo vody, kontrolovateľne miestnym zrážkomerom. Štrbské pleso je v takýchto prípadoch ohromným prirodzeným zrážkomerom. Táto jeho funkcia prestane hneď v nasledujúcich dňoch, kedy sa začína výrazne prejavovať podzemný prítok z povodia, s plochou 33,8 hektára a pokrytého morénovými nánosmi. Uvedieme niekoľko typických príkladov.

V dňoch 15. a 16. júla 1957 napršalo 57,4 mm. Hladina plesa stúpala z 15. na 16. júla o 4 cm. V nasledujúcich dňoch pomaly ďalej stúpala a za 10 dní dosiahla najvyšší stav po uvedených zrážkach, celkovým zvýšením o 7 cm. Toto maximum sa udržalo 5 dní.

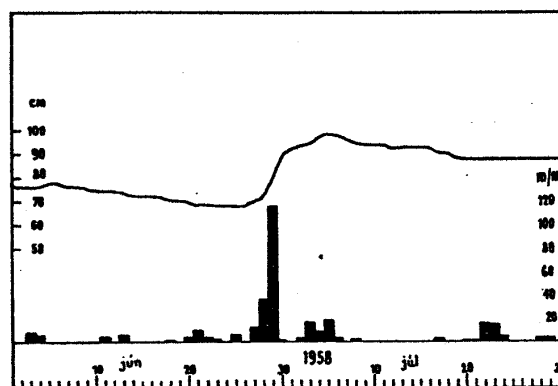
Za jediný deň (v podstate za 12 hodín intenzívneho dažďa), 29. júna 1958, spadlo pri Štrbskom plese 115 mm zrážok. Hladina hneď stúpala o 10 cm. Nasledujúceho dňa však hladina stúpala o ďalších 10 cm,

hoci zrážky boli v tomto dni nepodstatné (1,2 mm). Stúpanie hladiny vrcholilo až o 6 dní, ďalším zvýšením o 8 cm. Nasledujúci pokles bol veľmi pomalý (obr. 4). Dňa 22. júla 1962 spadlo za 1 hodinu 51 mm zrážok. Hladina Štrbského plesa stúpala v zápätí o 5 cm, nasledujúceho dňa ešte o 2 cm a maximálny stav hladiny sa udržal po 3 dni.

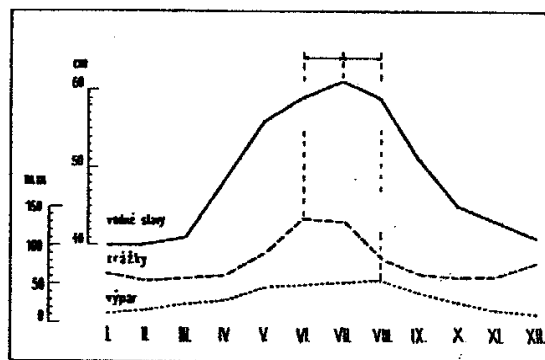
Z porovnania hodnôt stúpnutia hladiny bezprostredne po zrážkach a v ďalších dňoch je zrejmé, že jej zvýšenie podmienené podzemným prítokom je značné, hoci povodie plesa nie je ani dvojnásobkom plochy hladiny. Pozoruhodný je tiež 3-5 dní trvajúci maximálny stav a nasledujúci veľmi pomalý pokles. Intenzívny výpar z hladiny plesa v letnom období a silný priesak dnom by museli podmieniť jej rýchlejší pokles. Pribeh čiar vodných stavov oprávaňuje náhľad, že podzemný prítok z povodia prebieha ešte aj po maximálnom stave hladiny. Podrobná analýza hydrologického režimu Štrbského plesa bola už uverejnená (Pacl, J., 1963), preto podávame iba jej základné hodnoty (tab. 5, obr. 5).



Obr. 3. Prehľadná mapa okolia Štrbského plesa



Obr. 4. Zmeny hladiny Štrbského plesa po extrémnych zrážkach 29.6.1958



Obr. 5. Štrbské pleso – ročný chod zrážok, výparu a vodných stavov.

Tabuľka 4. Klimatická a hydrologická charakteristika Štrbského plesa

	Zimné obdobie priemer - úhrn	Letné obdobie priemer - úhrn
Teplota vzduchu	-1,4°C	9,3°C
Zrážky	373 mm	560 mm
% roč. úhrnu	40	60
Výpar	110 mm	264 mm
% roč. úhrnu	29	71
Vodné stavy	42 cm	55 cm

Tabuľka 5. Vodná bilancia Štrbského plesa - zrážky, výpar a vodné stavy

Rok	Mesiace												Zrážky mm
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
1952-61	62	55	57	61	90	134	132	82	63	59	61	77	933
													Výpar mm
1952-61	12	17	25	30	45	48	52	55	39	25	16	10	374
													Vodné stavy cm
1952	35	35	37	40	52	55	50	41	40	44	49	49	44
1953	48	47	48	52	58	60	59	56	50	39	34	28	49
1954	25	22	24	31	41	48	56	52	44	37	34	29	37
1955	27	27	32	47	64	68	68	71	63	55	52	56	53
1956	58	52	51	68	82	79	70	62	53	44	41	37	58
1957	42	43	45	53	58	55	55	51	48	47	42	38	48
1958	37	38	42	52	67	73	91	81	68	66	64	63	62
1959	57	58	56	52	53	50	54	60	49	34	28	26	48
1960	25	28	27	34	37	41	53	66	59	54	52	52	44
1961	51	49	49	51	53	56	52	48	50	31	29	30	45
1952-61	40	40	41	48	56	59	61	59	51	45	43	41	49

Hydrologický režim Štrbského plesa je podmienený jeho polohou a s ňou súvisiacimi klimatickými pomermi. Tie podmieniajú dve zásadne rozdielne obdobia – zimné (od novembra do apríla), kedy pleso je pri najnižšej hladine pokryté hrubou vrstvou ľadu i snehu, a letné (od mája do októbra), v ktorom sa podľa priebehu zrážok hladina plesa postupne dvíha, svoje maximum dosahuje v strede obdobia a potom opäť postupne klesá.

Pri porovnaní priemerného ročného chodu zrážok, výparu a vodných stavov vynikne zaujímavý, viacmenej pravidelný priebeh čiary vodných stavov od zimného minima po maximum a následný pokles po takmer to isté minimum, ďalej maximum vodných stavov až o mesiac neskôršie po maxime zrážok a maximum výparu v auguste – v čase značného poklesu priemerných mesačných úhrnov zrážok. Prejavuje sa to prudším poklesom v priebehu čiary vodných stavov, čo je však nápadné aj pri bežnom pozorovaní plesa. Po letnom maxime klesne hladina za dva mesiace približne o 15 cm, čo sa výrazne prejaví práve pri južnom, turisticky najfrekventovanejšom, brehu plesa s miernym sklonom dna. Obnažené širšie pásy piesku vytvárajú dojem značného úbytku vody v jazere.

Štrbské pleso má najnižšiu hladinu od decembra až po február. Četnosť výskytu minim v týchto troch mesiacoch je takmer rovnaká. Podobný priebeh majú ročné maximá. Vyskytujú sa od júna do augusta., v dlhodobom priemere je ročné maximum v júli, pričom júnový a augustový priemer sa opäť iba máličko odlišujú. Doteraz najvyšší vodný stav bol zmeraný po katastrofálnej povodni v r.1958. Hladina kulminovala pri stave 98 cm až o 6 dní po kulminácii povodňovej vlny na susedných tokoch (Mlynica, Poprad), najnižší vodný stav bol 6.marca 1954 s hodnotou 21 cm. Je pravdepodobné, že extrémne rozmedzie v zmene výšky hladiny plesa neprekročí 1 meter. Ak by sme doteraz zistené zmeny vo výške hladiny vyjadrili ako úbytok vody, je to okružle 150 000 m<sup>3</sup>, množstvo pre bazén o rozmeroch 500x300 m, hlboký 1 meter. Doteraz zmeraný priemerný ročný rozkyv vo výškach hladín je iba okolo 20cm, čomu odpovedá rozdiel v množstve vody 40 000 m<sup>3</sup>.

Z uvedených príkladov o zmenách hladiny Štrbského plesa po extrémnych zrážkach (obr. 4) je zjavné, že následný prítok vody z povodia je pomerne vysoký. Jednako túto hodnotu vypustíme pri ďalšej úvahe, ktorá ozrejní, že straty priesakom musia byť v Štrbskom

plese v konečnom výsledku významné, čo potvrdzuje geomorfologickú charakteristiku morénovitého dna plesa. Východiskom takejto zjednodušenej bilancie sú najnižšie vodné stavy v období od decembra až po apríl (tab. 5). Ich hodnota kolíše okolo 40 cm, hladina je vtedy zamrznutá. Do letného maxima hladina stúpne o 210 mm. Za obdobie od predchádzajúceho decembra do júlového maxima hladiny dostáva pleso 429 mm zrážok., je to množstvo zrážkami plesu skutočne dodané – hodnoty zrážok sú zmenšené o výpar. Iba polovica z tohoto množstva prispieje ku zvýšeniu hladiny, druhá polovica pripadá na straty, t.j. priesak a evapotranspiráciu z blízkyh porastov lesa a kosodreviny. Od letného maxima vodných stavov do zámruzu hladiny pribudne ešte 130 mm zrážok Hladina sa nezvýši o túto hodnotu, ale klesne o 180 mm. Je to ďalšia strata 310 mm vody. Z uvedeného vyplýva, že z hľadiska dlhodobej bilancie Štrbské pleso dostáva ročne 933 mm zrážok. Výparom sa do ovzdušia vráti 374 mm. Na teoretické zvýšenie hladiny je k dispozícii okolo 500 mm zrážok, čo predstavuje pri jeho ploche 100.000 m<sup>3</sup> vody. Keby sme mohli vyhodnotiť aj podzemný prítok, zistili by sme, že pleso dostáva ešte ďalšie väčšie množstvá vody. Zrážkami sa hladina plesa zvýši len o 210 mm, ale potom nastáva jej pokles, takže na začiatku a konci roka má približne tú istú úroveň. Uvedené množstvo vody sa podiela na zvýšení hladiny plesa iba čiastočne a dočasne, v konečnom štádiu je to nadbytok, ktorý by sa mal niekde prejavíť. Pleso nemá povrchový odtok, takže východiskom je predpoklad, že voda, ktorá sa nezúčastní na zmenách hladiny je spotrebovaná transpiráciou, evapotranspiráciou a priesakom. Úbytok podmienený evapotranspiráciou však nemôže byť veľký, pretože okrem južného brehu je ostatné okolie plesa samostatne zásobované podzemným prítokom z vyšších častí terénu. Uvedená analýza oprávňuje vysloviť predpoklad, že nielen hrádza plesa, ale aj celý južný svah pod plesom sú nasýtené vodou presakujúcou morénovitým dnom. Na overenie tohoto predpokladu sa urobil prieskum celého južného svahu pod plesom, či sú na ňom výrony, pramene, alebo sústredený povrchový odtok (obr. 3). Pozornosť upútal potôčik, vyvierajúci západne od Štrbského plesa. Smer jeho toku je spočiatku bežný – v údolnej brázde. V bode B však nákrátko opúšťa prirodzený smer najväčšieho spádu a tečie po mierne sklonenom teréne. V ďalšom úseku opäť sleduje najväčší sklon terénu, avšak v bode C sa smer toku nápadne zmení a je viacmenej zhodný s priebehom južných brehov plesa. Na mape 1:25 000 (z r.1958) je v bode C zakreslené rozdelenie toku, na mape rovnakej mierky vydané r. 2000 má odbočujúci potok názov Lieskovec. V skutočnosti odteká voda v tomto rozdelení iba na jar, alebo po výdatných zrážkach. Najčastejšie ihneď vsakuje v málo vyvinutej terénnej ryhe do pôdy a vyviera na povrch až pri záreze zväžnice odbočujúcej z hlavnej cesty (č.538). Preto je rozdelenie tokov na obr. 3 vyznačené čiarkovane. Na vojenských mapách z r. 1870 (mapovanie prebiehalo už v rokoch 1822-23) znázornenie riečnej siete odpovedá súčasnému

stavu. Preto nemožno predpokladať, že ide o umelé zásahy do riečnej siete, tým skôr, že uvedené miesta sa nachádzajú v súvislých lesných porastoch. Zjavné zásahy do riečnej siete sú až v oblasti niekdajších pasienkov a pieskovne (body E, F, D). Cez močiare a po rôznych úpravách tokov v oblasti chatovej kolónie Pod Hrádkami a Tatranský Lieskovec sa prejavuje nepodstatná bifurkácia medzi zdrojnicami Váhu a Popradu (body E, F).

Zaujímavý smer potôčika na južnom úpätí Štrbského plesa podnietil dôkladnejší prieskum. V bodoch I-IV. boli zmerané prietoky. Výron je málo výdatný, hoci mu prislúcha povodie s plochou okolo 10 km<sup>2</sup>. V profile I. meria plocha povodia 10,9 km<sup>2</sup> a prietok je už merateľný., v ďalších profiloch sa plocha povodia zvyšuje na 18,4 – 22,8 – 26,5 km<sup>2</sup>. S pribúdaním plochy povodia špecifický odtok sa zvyšuje, čo ukazuje na postupné dostatočné zásobovanie toku podzemným prítokom. Nápadné to je najmä preto, že potôčik sa v mieste A využíval na napájanie rybných sádok (zväčšený výpar) a v mieste C sa časť vody stratí priesakom. Účinnosť podzemného prítoku je pozorovateľná už pod miestom A, kde sú svahové výrony vody. Zvyšovanie špecifického odtoku s pribúdaním plochy povodia bolo zistené pri rozličných hodnotách prietoku., pozoruhodné je najmä to, že sa vyskytlo aj po veľmi suchej jeseni v r. 1962.

Tento poznatok, ako aj širší pohľad na riečnu sieť úpätia, s mnohými vývermi vody a močiarmi naznačujú, že južný svah pod Štrbským plesom má zaujímavé hydrografické pomery, ktoré sú v značnej miere podmienené priesakom zo Štrbského plesa. Je veľmi pravdepodobné, že južný svah pod Štrbským plesom nebude ako celok rovnakou mierou zvodnený a presakujúca voda má v ňom svoj určitý systém. Svojráznosť Štrbského plesa, ako dodávateľa vody dvom úmoriám, je skutočnosťou, aj keď nie tak veľmi nápadnou. Značnú úlohu tu mali zásahy pomienené ľudskou činnosťou. Prirodzeným rozdelením toku v mieste C sa pri vyšších vodnostiach odvádza časť prietoku do oblasti Železnej vody (povodie Váhu), najmä však v miestach E –F., druhé rameno tečie do Mlynice (povodie Popradu), ale aj do zníženej západne od Lieskovca a tiež napája Železnú vodu. Umelými korytami boli obidve ramená spojené s Mlynicou. V súčasnosti preteká voda z tohoto spojovacieho koryta do systému Železnej vody iba cez močiare a najmä pri jarnom topení snehu. V mieste F je trvalý odtok do povodia Váhu. V prirodzenej zníženej sa voda sústreďuje v podobe mokrade, z ktorej vyteká potôčik k Železnej vode. Priamo merateľný prínos Štrbského plesa k vodnosti Váhu je preto veľmi malý

### **Efektívne možný snečný osvit plies**

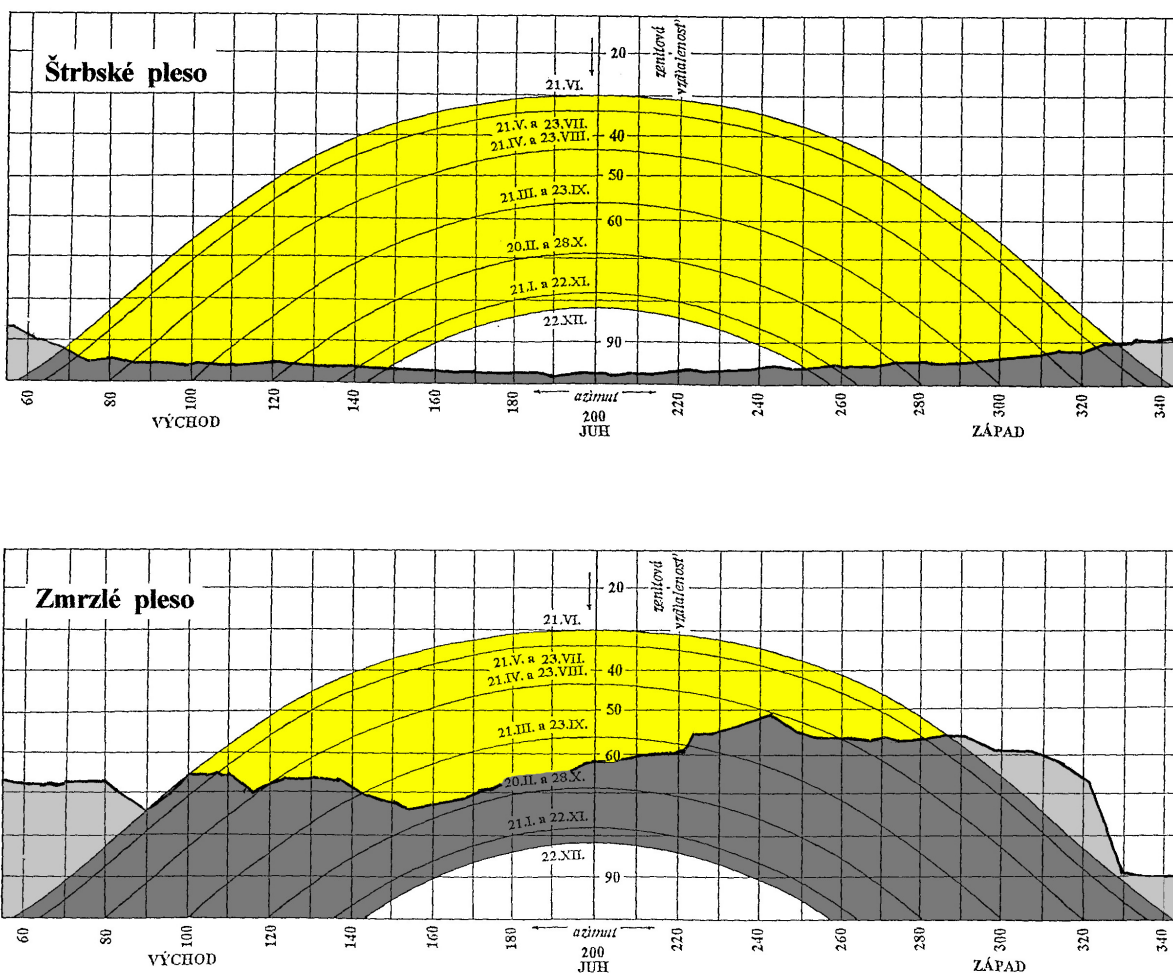
Uvedené základné morfometrické charakteristiky, ktorými sú plocha hladiny jazera, jeho objem a hĺbka, nadmorská výška aj poloha, nemôžu jednoznačne ozrejmiť ďalšie, rovnako významné charakteristiky

tatranských plies, predovšetkým ich teplotný režim, s ktorým súvisia doba pokrytia hladiny ľadom a biológia jazera. Významným činiteľom je príjem tepla zo slnečného žiarenia, ktorý pri nedostatku údajov z priameho merania charakterizujeme celoročnou sumou efektívne možného slnečného osvetlenia daného miesta, nazývanou tiež astronomicky možnou dĺžkou slnečného svitu. Tento údaj bol vyhodnotený graficko-numerickeým spôsobom, vychádzajúcim z daných parametrov dráhy Slnka, publikovaných v hviezdárskych ročenkách Gregor, V., (1968).

V zemepisnej polohe Tatier môže byť rovný, nezatielený povrch ožiarený Slnkom 4454 hodín, pri celoročne jasnej oblohe. Vplyv oblačnosti je hodnotou veľmi dôležitou, ale premenlivou, bude ozrejmeneý v závere tejto kapitoly. Oproti tomu vplyv zatienenia daného miesta (v našom prípade plesa, viacej alebo menej zatieneného okolitými štítmi) je hodnotou stálou a presne zmerateľnou.

Odčítaním osvetlenia z akrytu od celoročnej teoretickej sumy 4454 hodín, dostaneme celoročnú sumu efektívne možného slnečného svitu na dané miesto. Z hľadiska súčasnej úrovne a možnosti tvorby digitálneho modelu reliéfu s využitím leteckých snímok sa ponúka elegantnejšie a efektívnejšie počítačové riešenie. Uvedené numericko-grafické riešenie je však z hľadiska efektívosti získania údajov, presnosti výsledku a vhodného grafického znázornenia naďalej veľmi výhodné. Príklad grafického znázornenia osvetlenia plies je na obr. 6, číselné údaje z 50 vybraných lokalít sú v tab. 6.

Pre posúdenie vplyvu oblačnosti na hodnotu efektívne možného osvetlenia plesa vychádzame z meraní skutočnej dĺžky slnečného svitu, ktoré sa v Tatrách konajú pri Skalnatom a Štrbskom plesu. Pri Skalnatom plesu je priemerný počet dní slnečného svitu 43 % z efektívneho slnečného svitu, pri Štrbskom plesu 47 %. Podľa príslušnej opravy je skutočná dĺžka slnečného osvetlenia hladiny Štrbského plesa v priemere okolo 2000 hodín za rok.



Obr. 6. Rozdiely v dĺžke osvetlenia plies slnkom.

Tabuľka 6. Dĺžka možného osvetlenia plies slnkom

nadm. výška m	pleso	hod	nadm. výška m	pleso	hod
1347	Štrbské	4078	2124	Terianske Vyšné	2787
1447	Jamské	4064	1492	Čierne Javorové	2773
1615	Biele Kežmarské	3582	2053	Wahlenberg. N.	2765
2057	Ľadové Zbojnicke	3575	2157	Wahlenberg. V.	2697
1734	Kobylyie	3518	2013	Spišské Veľké	2682
1988	Starolesnianske	3381	1494	Popradské	2659
1884	Batizovské	3339	1925	Ľadové Popr.	2583
1945	Hincovo Veľké	3221	1697	Račkove	2544
1732	Jamnícke Nižné	3219	1940	Terianske Nižné	2473
2012	Krivánske Zelené	3204	1834	Vareškové	2440
2010	Spišské Prostredné	3195	1704	Žabie Javor. M.	2415
2012	Sivé	3156	1725	Temnosmrečinské Vyšné	2397
1611	Trojrohé	3112	1894	Dlhé Zbojnicke	2395
2019	Dračie	3038	1611	České	2352
1919	Žebie Malé	3006	1815	Zelené Javorové	2339
1921	Hincovo Malé	2984	1675	Bielovod. Žabie N.	2254
1879	Bystré II/III	2954	1939	Dlhé p. Gerl.	2222
1665	Velické	2945	1565	Kolové	2108
2075	Capie	2935	1860	Litvorové	2098
1837	Bystré Nižné	2922	1546	Zelené Kežmar.	2039
1921	Žabie Veľké	2878	1699	Bielovod. Žabie V.	2012
1801	nad Skokom	2849	1575	Zelené Kačacie	1814
1677	Temnosmrečinské Nižné	2815	1878	Žabie Javor. V.	1744
2105	Okrúhle	2811	1762	Zmrzlé	1743
1992	Spišské Nižné	2795	2040	Zamrznuté p. Poľ. hr.	1712

### Teplota vody a ľadový režim plies

Slnčné žiarenie, ktoré dopadá priamo na hladinu vody je jej hlavným dodávateľom tepla. Vplyv ostatných zdrojov tepla (napr. výmena tepla so silnejšie ohrievanými brehmi, prínos tepla prítokmi, alebo podzemnými vodami, zrážkami, teplo vznikajúce pri biologických a chemických dejoch

v jazere a pod.) je v porovnaní so slnečným žiarením veľmi malý. Jazerná voda nezíska všetku tepelnú energiu žiarenia, pretože časť žiarenia sa odráža od hladiny a vracia do ovzdušia. Voda jazier sa zohreje iba tým žiarením, ktoré preniklo cez hladinu. Absorpčná schopnosť vody na tepelné žiarenie je veľká, takže žiarenie preniká iba do malej hĺbky. Polovica z množstva žiarenia, ktoré preniklo cez hladinu je vodou pohlcovaná už v prvom decimetri hĺbky., z druhej polovice žiarenia sú 4/5 pohlcované v prvom metri hĺbky a zvyšok nepreniká hlbšie ako do 5-tich metrov. Tepelná vodivosť vody je nízka, preto teplo z povrchových vrstiev vody preniká do hĺbky veľmi pomaly (Pacl, J., Wit-Józwikowa, K. 1974). Skutočnosť, že teplo z povrchu vody sa šíri do hĺbok rýchlejšie, ako umožňuje tepelná vodivosť, je podmienené inými, nižšie uvedenými faktormi.

Prenikanie tepla z povrchu jazera do hlbších vrstiev, výmena tepla medzi jednotlivými vrstvami vody s rozličnou teplotou a základné rozdelenie teploty vody

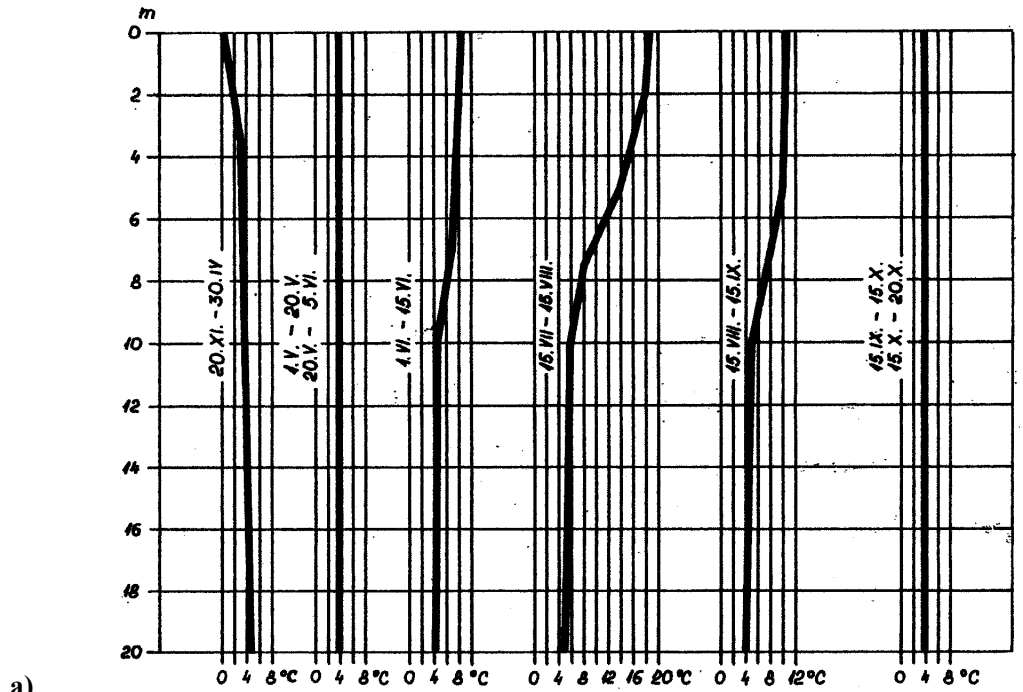
v jazere sú podmienené hustotou vody, ktorá je úmerná jej teplote. Najväčšiu hustotu, čiže najväčšiu váhu má voda pri teplote 3,98 °C (prakticky 4 °C). Táto najťažšia voda sa sústreďuje v najhlbšej časti jazera, nad ňou sa ukladajú ľahšie (menej husté) vrstvy vody. Táto vlastnosť vody, nazvaná hydrostatickou stabilitou, spôsobuje, že v lete sú teplejšie vrstvy vody (nad 4 °C) uložené nad chladnejšími vrstvami vody (letná stagnácia), kým v zime je to opačné. Pri teplote vody od 0 do 4 °C sú chladnejšie vrstvy vody uložené nad teplejšími (zimná stagnácia). Toto pre jazera typické uloženie vodných vrstiev nazývame termickým zvrstvením., v letnom období ho označujeme ako normálne zvrstvenie (anotermia), v zimnom období obráteným zvrstvením (katotermia). Stabilita normálneho zvrstvenia sa v priebehu leta upevňuje v dôsledku ďalšieho zahrievania jazerej vody a zaniká v jeseni, keď ochladená (ťažšia) povrchová vrstva vody klesá nižšie, do tej hĺbky, v ktorej má voda rovnakú hustotu. Stabilita obráteného zvrstvenia sa udržiava dovtedy, kým sa jazerná voda ochladzuje., rozpadáva sa pri jarnom oteplení povrchu jazera. Následkom týchto teplotných zmien vznikajú v jazere konvekčné prúdy, ktoré prenikajú do hĺbok vyvolávajú cirkuláciu jazerej vody. Pri nej sa vymieňa teplo medzi jednotlivými, rozlične teplými (ťažkými) vrstvami vody. Voda s väčšou hustotou klesá a na jej miesto vystupuje k hladine voda s menšou hustotou. Po vyrovnaní teplôt

v celom objeme jazernej vody na 4 °C nastupuje jarná, alebo jesenná homotermia. Cirkulácia vody v jazere nie je podmienená iba konvekčným prúdením, ale tiež vetrom, ktorý je druhým hlavným činiteľom vyvolávajúcim premiešanie jazernej vody. Intenzita a hĺbka premiešania sú podmienené dynamickou silou vetra a polohou jazera vzhľadom na smer vetra.

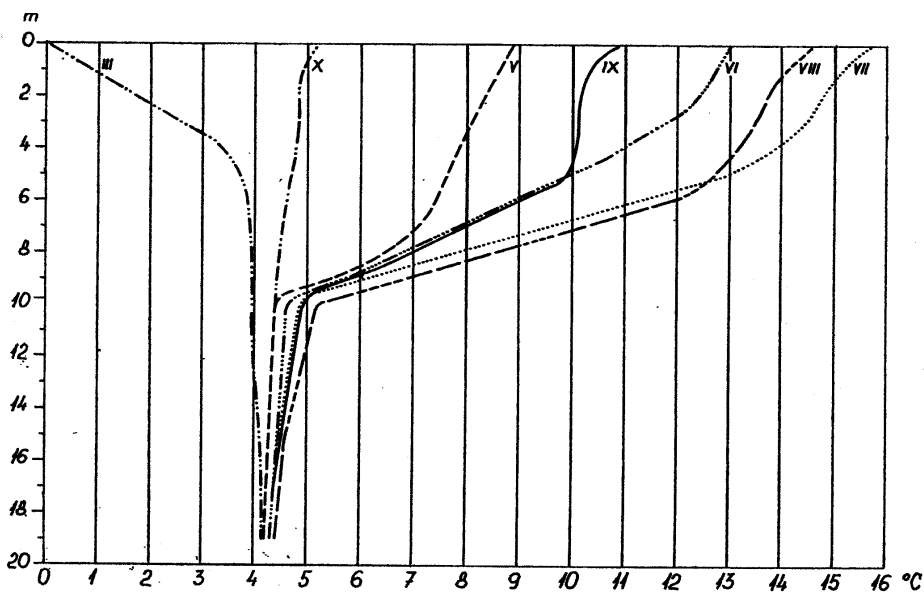
Opakujúci sa ročný obeh teplotných zmien má na tatranských plesách nasledujúci priebeh.

Jeseň – slabnúce slnečné žiarenie spôsobuje, že povrchová vrstva vody stráca pri nočnom vyžarovaní

viacej tepla, ako mohla prijať cez deň a preto sa postupne ochladzuje. Vzniká labilné zvrstvenie, ktoré vyvoláva v jazere jesennú cirkuláciu až dovtedy, kým sa všetka voda v plese neochladí na 4 °C a začína jesenná homotermia (obr. 7 a 8). V najvyššie položených plesách sa jesenná homotermia vyskytuje začiatkom októbra., v plesách, ktoré sú pokryté ľadom od neskorého leta do začiatku septembra., v plesách s nadmorskou výškou medzi 1500 až 1700 m sa jesenná homotermia vyskytuje okolo polovice októbra a na nižšie ležiacich jazerách až koncom októbra.



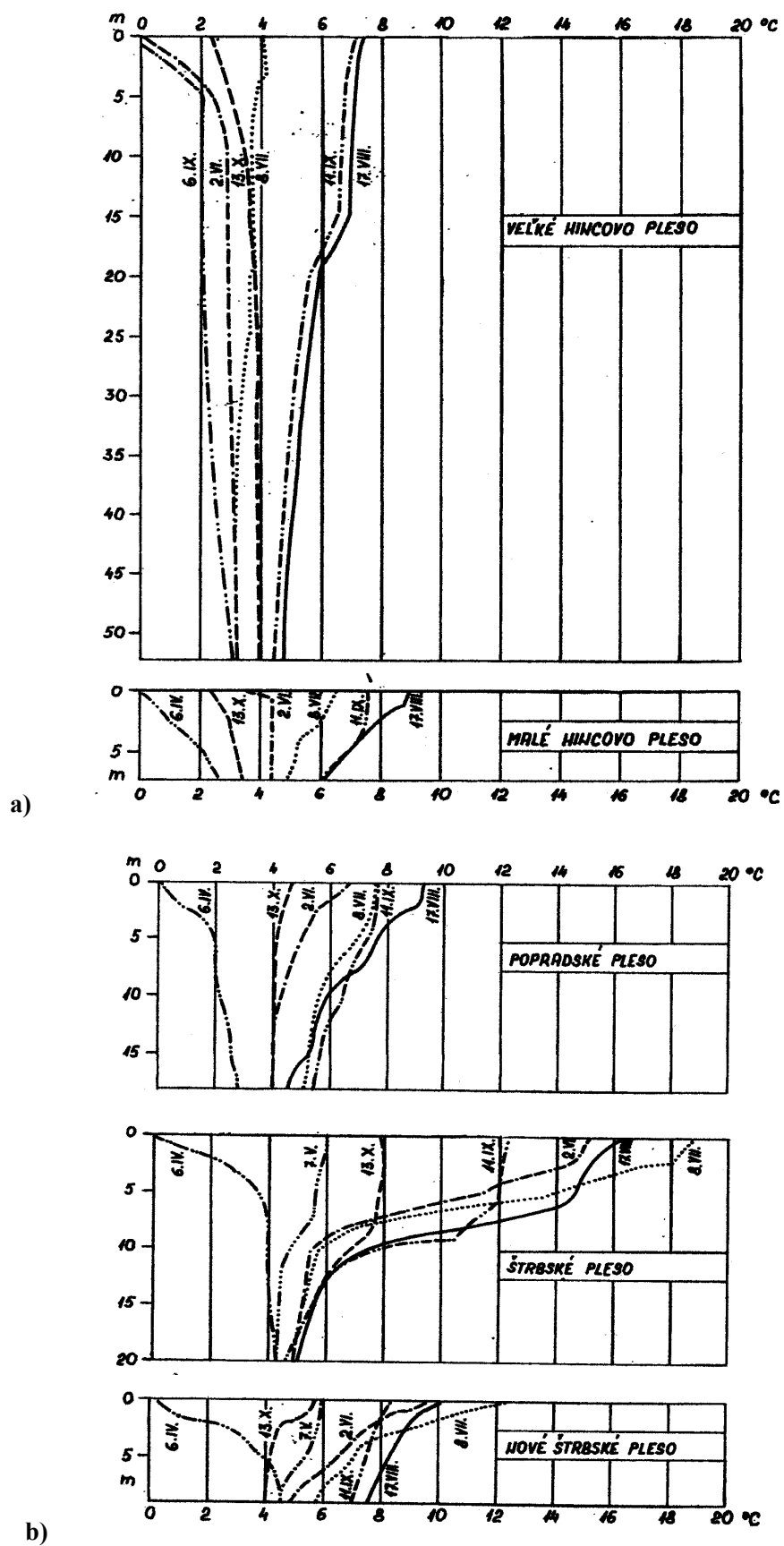
a)



b)

Obr. 7ab. Štrbské pleso – zmeny v rozdelení teplôt vody.





Obr. 8. Teploty vody v plesách s rozdielnou nadmorskou výškou.

Po skončení jesennej homotermie sa povrchová vrstva vody ďalej ochladzuje. Ochladením povrchovej vrstvy vody na 0 °C (tento dej prebieha veľmi priaznivo za bezvetria) sa začína vytváranie ľadovej vrstvy na hladine plesa. Ak sa oteplí, tenká vrstva ľadu sa roztopí a obnoví sa až pri následnom ochladení vzduchu, prípadne za spoluúčinkovaní bezvetria. Striedavé zamrzanie a rozmrzanie hladiny môže mať rozmedzie niekoľkých dní, ale aj týždňov, podľa priebehu počasia. Postup zamrznutia jazera sa zjavne oneskoruje na plesách, ktoré sú viacej vystavené účinkom vetrov (napr. Veľké Hincovo pleso). Neustále vlnenie hladiny, výstup teplejších vôd na miesta, z ktorých vietor chladnú povrchovú vodu oddúva, spôsobujú, že teplota vody pri hladine nemôže klesnúť pod 0 °C a zamrzanie sa oddaluje až do času bezvetria.

Zima – úplným zamrznutím hladiny plesa sa začína obdobie zimnej stagnácie. Dĺžka pokrytia hladiny ľadom (doba zámru) je podmienená nadmorskou výškou plesa a jeho polohou k priebehu hlavného hrebeňa Tatier, lebo tieto faktory určujú rozdielne klimatické podmienky na severnej a južnej strane pohoria, najmä dĺžku snečného svitu, množstvo snehových zrážok a hrúbku ľadu na jazere

veľkosťou plesa, s ktorou súvisí jeho objem vody a zásoba tepla.

Dĺžka trvania ľadovej pokrývky na niektorých tatranských plesách je uvedená v tab. 7.

Najskôr zamrzajú (september-október) malé a plytké plesá na severnej strane Tatier, v nadmorských výškach 1600-1850 metrov. Približne v tom istom čase zamrzajú malé a hlbšie jazerá, ktoré sú na južnej strane pohoria v nadmorských výškach nad 1900 m a práve tak jazerá v hlbokých, zatienených karoch ( nazývané „ ľadové, zmrzlé, alebo zamrznuté pleso“). Po nich zamrzajú (október-november) veľké jazerá vo výškach 1550-1700 m n.m. na severnej strane pohoria a veľké jazerá na južnej strane v nadmorských výškach okolo 1900 metrov. Posledné zamrzajú plesá (november) , ktoré ležia pod 1500 m n.m. v stupni lesov., veľké jazerá zamrzajú neskôr, aj keď sú vyššie položené ako malé, ktoré sú v nižších polohách lesného stupňa.

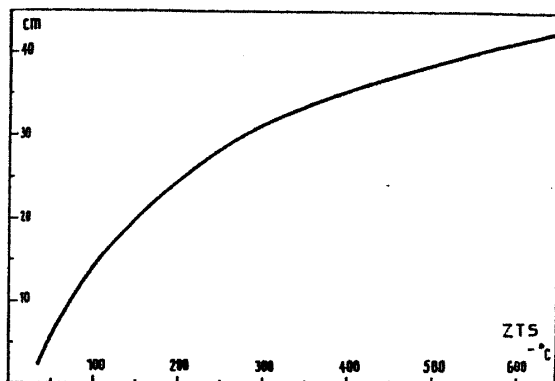
Rozmrzanie plies prebieha opačne. Ľadový kryt sa rozpúšťa najskôr na plesách lesného stupňa, t.j. do nadmorských výšok okolo 1500 metrov. Na malých jazerách sa ľad roztápa koncom apríla a začiatkom mája, na veľkých jazerách o 2-3 týždne neskôr.

Tabuľka 7. Obdobie zamrzania a rozmrzania plies

Pleso	Nadm. v. m	expozícia	plocha ha	max. hl. m	Obdobie	
					zamrzania	rozmrzania
Modré	2189	J	0.40	4.5	IX.-X.	VIII.-IX.
Vyšné Wahlenbergovo	2157	J	5.16	20.6	IX.-X.	VII.-VIII.
Vyšné Rumanovo	2128	J	0.04	1.0	IX.-X.	VII.-IX.
Vyšné Terianske	2124	J	0.55	4.3	IX.-X.	VII.-IX.
Okrúhle	2105	J	0.72	10.2	IX.-X.	VIII.-IX.
Capie	2075	J	3.10	17.5	IX.-X.	VII.-VIII.
Zamrznuté p. Poľ. hr.	2040	S	1.14	10.8	IX.-X.	VII.-VIII.
Dračie	2019	J	1.72	16.0	IX.-X.	VII.-VIII.
Veľké Hincovo	1945	J	20.08	54.0	X.-XI.	VI.-VII.
Nižné Terianske	1940	J	5.56	47.3	IX.-X.	VII.-VIII.
Popradské Ľadové	1925	J	2.25	9.7	IX.-X.	VII.-VIII.
Malé Hincovo	1921	J	2.23	6.4	IX.-X.	VI.-VII.
Žabie Javorové V.	1878	S	1.13	15.3	IX.-X.	VII.-VIII.
Zelené Javorové	1815	S	0.75	9.1	IX.-X.	VII.-VIII.
Popradské	1494	J	6.87	17.6	XI.	V.
Štrbské	1347	J	19.67	20.3	XI.	IV.-V.

Tabuľka 8. Režim ľadov na Štrbskom plese

Najskor sa ľad objavil 5.11.1956	Priemerné objavovanie ľadových úkazov 20.11.	Najneskoršie objavovanie ľadových úkazov 6.12.1959
Najskorší začiatok zámru 7.11.1956	Priemerný začiatok zámru 25.11.	Najneskorší začiatok zámru 17.12.1960
Najskoršie pukanie ľadu 28.3.1957	Priemerné pukanie ľadu 20.4.	Najneskoršie pukanie ľadu 3.5.1958
Najskoršie zmiznutie ľadu 16.4.1959	Priemerné zmiznutie ľadu 2.5.	Najneskoršie zmiznutie ľadu 15.5.1958



Obr. 9. Štrbské pleso – vzťah medzi sumou záporných teplôt vzduchu a hrúbkou ľadu.

S pribúdaním nadmorskej výšky sa rozmŕzanie plies presúva do letného obdobia (jún-august). Plesá alpínskeho stupňa (nad 1800 m n.m.) a zatienené, pod hradbou štítov hlboko ležiace plesá rozmŕzajú v auguste až v septembri. V niektorých rokoch sa všetok ľad na nich vôbec neroztopí a prevážna časť hladiny zostáva pokrytá ľadom až do začiatku ďalšieho obdobia mrazov. Prehľad o ľadových pomeroch Štrbského plesa dáva tab. 8, na obr. 9 je znázornený vzťah medzi sumou záporných teplôt vzduchu a hrúbkou ľadovej pokrývky na Štrbskom plese. Dĺžku pokrytia plies ľadom v závislosti od nadmorskej výšky ukazuje obr. 10. Odchýlky vo výskyte a trvaní ľadových úkazov sú podmienené najmä značným zatienením niektorého plesa horskými masívmi (kratšia doba osvit, ochrana pred vetrom). Napríklad hodne zatienené Zmrzlé pleso je podstatne dlhšie pokryté ľadom ako susedné České pleso, ktoré je situované v širšej menej zatienenej časti doliny, takže rozdiel v efektívne možnom slnečnom osvite medzi nimi je vyše 600 hodín.

Jar – je obdobím prechodu od zimného (obráteného) zvrstvenia teplôt jazernej vody k letnému (normálnemu) zvrstveniu. Po roztopení ľadovej pokrývky sa povrchová vrstva jazernej vody rýchlo zohrieva, jej hustota sa zväčšuje až po maximum, ktoré dosiahne pri teplote okolo 4 °C. V plesách vzniká labilné zvrstvenie, ktoré podmieni jarnú cirkuláciu vody až po dosiahnutie jarnej homotermie (obr. 7). S rastom nadmorskej výšky sa jarná homotermia presúva na letné mesiace, podobne, ako je tomu pri roztápaní ľadového krytu. Keď na plesách ležiacich v nadmorských výškach pod 1500 metrov už prebieha jarná homotermia, vyššie položené plesá sú ešte pokryté ľadom. Časový priebeh jarnej homotermie ukazuje obr. 8. Výrazný vplyv objemu plesa je veľmi dobre charakterizovaný časovým rozdielom jarnej homotermie v Štrbskom a Novom Štrbskom plese. Prechod z jarného teplotného zvrstvenia vody cez homotermiu do letného normálneho zvrstvenia je spravidla rýchly, čo je podmienené silným vzostupom teploty vzduchu v jarných mesiacoch.

Leto – intenzívne slnečné žiarenie rýchle zohrieva povrchové vrstvy vody, voda s teplotou okolo 4 °C klesá ku dnu a v jazere vzniká stabilné letné teplotné zvrstvenie. Premiešanie vody prebieha iba vo vrstvách blízkyh ku hladine a to v dôsledku konvekčného prúdenia, vyvolaného striedavým otepľovaním a ochladzovaním hladiny medzi dňom a nocou. Touto cirkuláciou sa vyrovnávajú teploty iba v povrchovej vrstve vody. Pôsobením vetra môže toto premiešanie zasahovať aj do hlbších vrstiev vody. Zmeny v teplote vody pri hladine plies odzrkadľujú zmeny v slnečnom žiarení ako aj účinky ostatných meteorologických činiteľov. Tieto vplyvy sú modifikované ešte morfológickými a hydrologickými pomermi plesa. Tabuľka 9 dáva prehľad o najvyšších povrchových teplotách vody. Zaujímavé a názorné je porovnanie údajov zo Štrbského plesa a Nového Štrbského plesa v tab. 10 a na obr. 11 (ich morfometrické charakteristiky sú v tab. 2) Priemerná povrchová teplota vody v Štrbskom plese je po celý rok vyššia ako priemerná teplota vzduchu. Pozoruhodné sú tiež pomerne vysoké priemery teploty vody v letných mesiacoch. Takéto hodnoty nie sú známe ani zo susedného, nižšie položeného Nového Štrbského plesa, ani z ďalších blízkych plies, ako sú Jamské, alebo Rakytovecké, známe vysokými letnými teplotami vody. Príčinou teplotných pomerov Štrbského plesa je jeho veľký objem, v ktorom sa akumuluje veľké množstvo tepla, čo je ešte priaznivo ovplyvnené tým, že najteplejšia povrchová vrstva vody nie je odvádzaná povrchovým odtokom. Časté zvraty počasia v letnom období (niekedy aj dosť extrémne) spôsobujú preto iba malú a časove oneskorenú zmenu v teplote jazernej vody., voda pri hladine Štrbského plesa je teplá aj v čase prechodného ochladenia vzduchu a v jeseni pleso odovzdáva svoje naakumulované teplo veľmi pomaly do ovzdušia. Oproti tomu na uvedených susedných plesách sa veľmi nepriaznivo prejavuje ich malý objem (malá zásoba tepla vo vode), pričom pri Novom Štrbskom plese je najteplejšia voda odvádzaná povrchovým odtokom. Príklad potvrdzuje pravidlo, že každé malé jazero reaguje aj pri rovnakých klimatických podmienkach oveľa silnejšie a rýchlejšie na klimatické zmeny v ovzduší, ako jazera veľké. Zaujímavý je prehľad o tom, aké veľké množstvá tepla sú akumulované vo vode Štrbského plesa (tab. 11), akým zmenám podliehajú v priebehu roka. Množstvo tepla je charakterizované názorne – získalo by sa spálením príslušného množstva čierneho uhlia, alebo nepretržitou výrobou elektrickej energie stredne veľkou elektrárnou vážskej kaskády.

### Zanášanie tatranských jazier

Porovnávanie ako jeden z objektívnych spôsobov rozširovania a spresňovania úrovne poznávania sa účelne využíva aj pri meraní zmien zemského povrchu v závislosti od času.



Obr. 10. Dĺžka pokrytia plies ľadom.

Tabuľka 9. Najvyššie teploty vody pri hladine plies

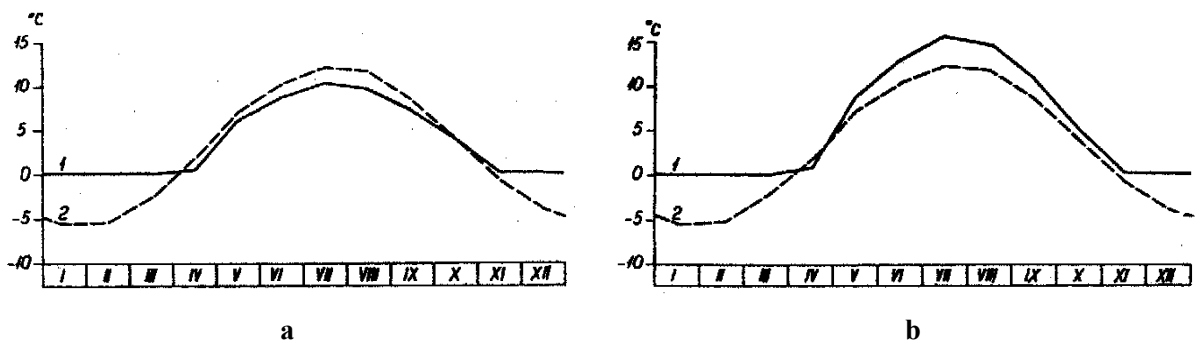
Rozmedzie najvyšších teplot	Pleso	Nadmorská výška	Rozmedzie najvyšších teplot	Pleso	Nadmorská výška
20-22°C	Furkotské Nižné	1626	8-10°C	Modré	2189
	Jamské	1447		Wahlenbergovo Vyšné	2157
	Rakytovecké	1307		Kriváňské Zelené	2012
17-19°C	Tiché	1748		Starolesnianské	1988
	Slavkovské	1676		Zbojnícke	1960
	Štrbské	1347		Hincovo Veľké	1945
14-16°C	Furkotské Vyšné	1698		Žlté	1945
	Temnosmrečinské Niž.	1677		Dlhé p. Gerlachom	1939
	Popradské	1494		Žabie Javorové Veľ.	1878
11-13°C	Spišské Veľké	2013		Belasé	1862
	Zbojnícke IV.	1966		Litvorové	1860
	Hrubé	1929		Červené	1811
	Hincovo Malé	1921		nad Skokom	1801
	Žabie Veľké	1921		Zelené Kačacie	1575
	Batizovské	1884		Kolové	1565
	Vareškové	1834	Zelené Kežmarské	1546	
	Zelené Javorové	1815	Rumanovo Vyšné	2128	
	Temnosmrečinské Vyš.	1725	Okrúhle	2105	
	Bielovodské Žabie Vyš.	1699	Capie	2075	
	Biele	1615	Eadové Zbojnícke	2057	
	České	1611	Zamrznuté	2040	
	Trojrohé	1611	Dračie	2019	
	Čierne Kežmarské Veľ.	1579	Terianske Nižné	1940	
	Čierne Javorové	1492	Zmrzlé	1762	

Tabuľka 10. Priemerné mesačné teploty vzduchu a vody v oblasti Štrbského plesa

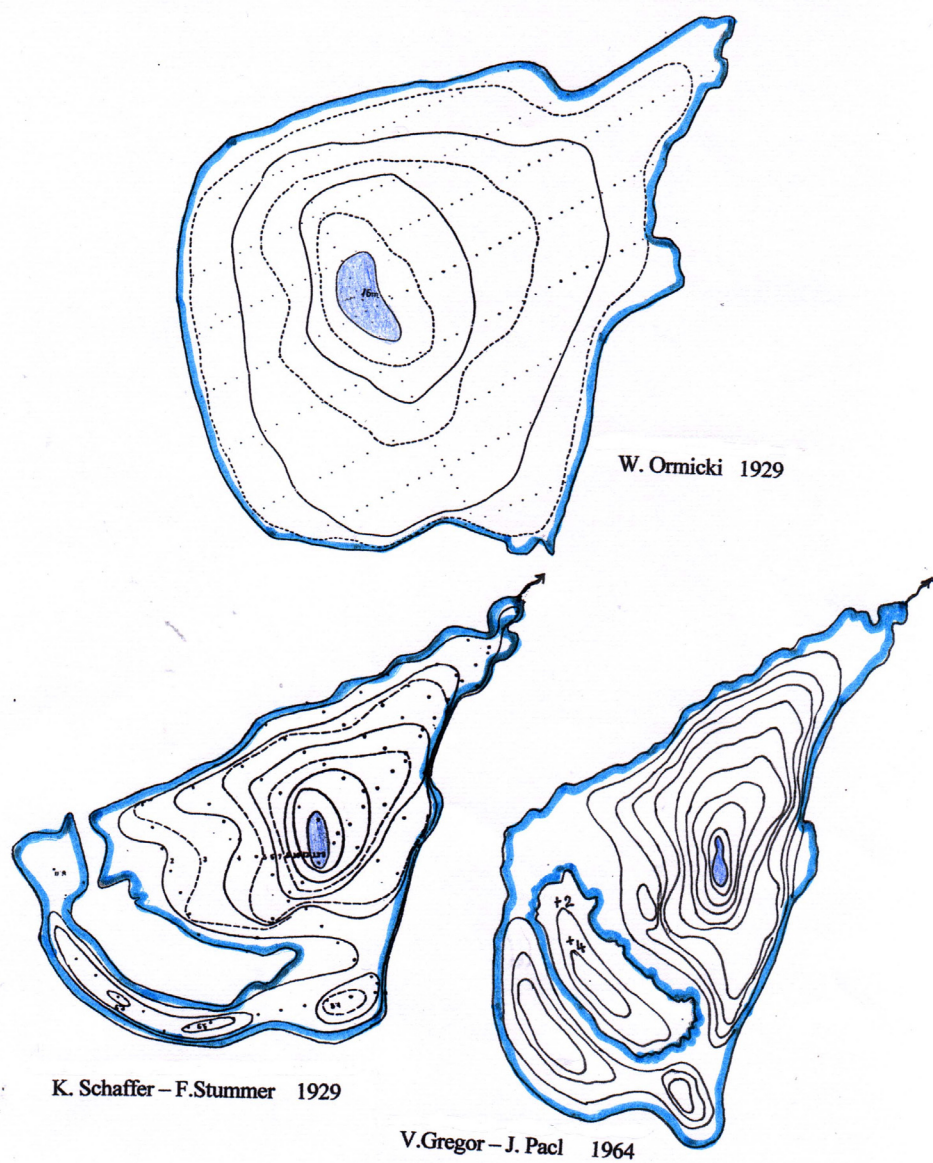
Teploty pri hladine v °C		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Priemer
Štrbské pleso	vzduch	-5.5	-5.2	-2.3	1.9	7.3	10.3	12.2	11.7	8.6	4.1	-0.6	-3.7	3.2
	voda	0.1	0.1	0.1	0.8	8.9	13.0	15.6	14.6	10.8	5.2	0.2	0.1	6.2
Nové Štrbské pleso	vzduch	-5.5	-5.2	-2.3	1.9	7.3	10.3	12.2	11.7	8.6	4.1	-0.6	-3.7	3.2
	voda	0.1	0.1	0.1	0.5	6.2	8.8	10.4	9.8	7.4	4.0	0.2	0.1	4.0

Tabuľka 11. Priemerný ročný príjem a výdaj tepla v Štrbskom plese

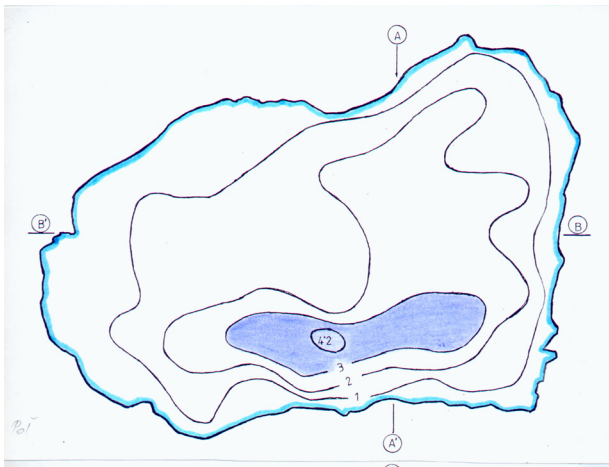
Trvalá zásoba tepla minimálna teplota v celom jazere 2,8°C	PRIJEM		
	Zimné obdobie od minima po jarnú homotermiu	Letné obdobie od jarnej homotermie po vrcholenie letnej stagnácie	Celkový príjem
960 ton uhlia = 9 dní výroby el. energie	400 ton uhlia = 4 dní výroby el. energie	1400 ton uhlia = 13 dní výroby el. energie	1800 ton uhlia = 17 dní výroby el. energie
Najvyššia úhrnná zásoba tepla v jazere 2760 ton uhlia = 26 dní el. energie			
VÝDAJ			Zostatok trvalá zásoba tepla v celom jazere
Jesenné obdobie od vrcholu letnej stagnácie po jesennú homotermiu	Zimné obdobie od jesennej homotermie po zimné minimum	Celkový výdaj	
1400 ton uhlia = 13 dní výroby el. energie	400 ton uhlia = 4 dní výroby el. energie	1800 ton uhlia = 17 dní výroby el. energie	960 ton uhlia = 9 dní výroby el. energie



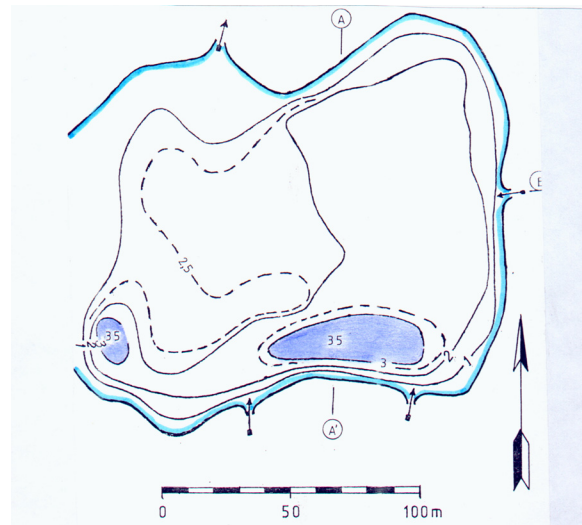
Obr. 11. a) Štrbské pleso – priemerné mesačné teploty vody (1) a vzduchu (2),  
 b) Nové Štrbské pleso – priemerné mesačné teploty vody (1) a vzduchu (2).



Obr. 12. Mapy Zmrzlého plesa.



Szaflarski-Ormicki 1933/36

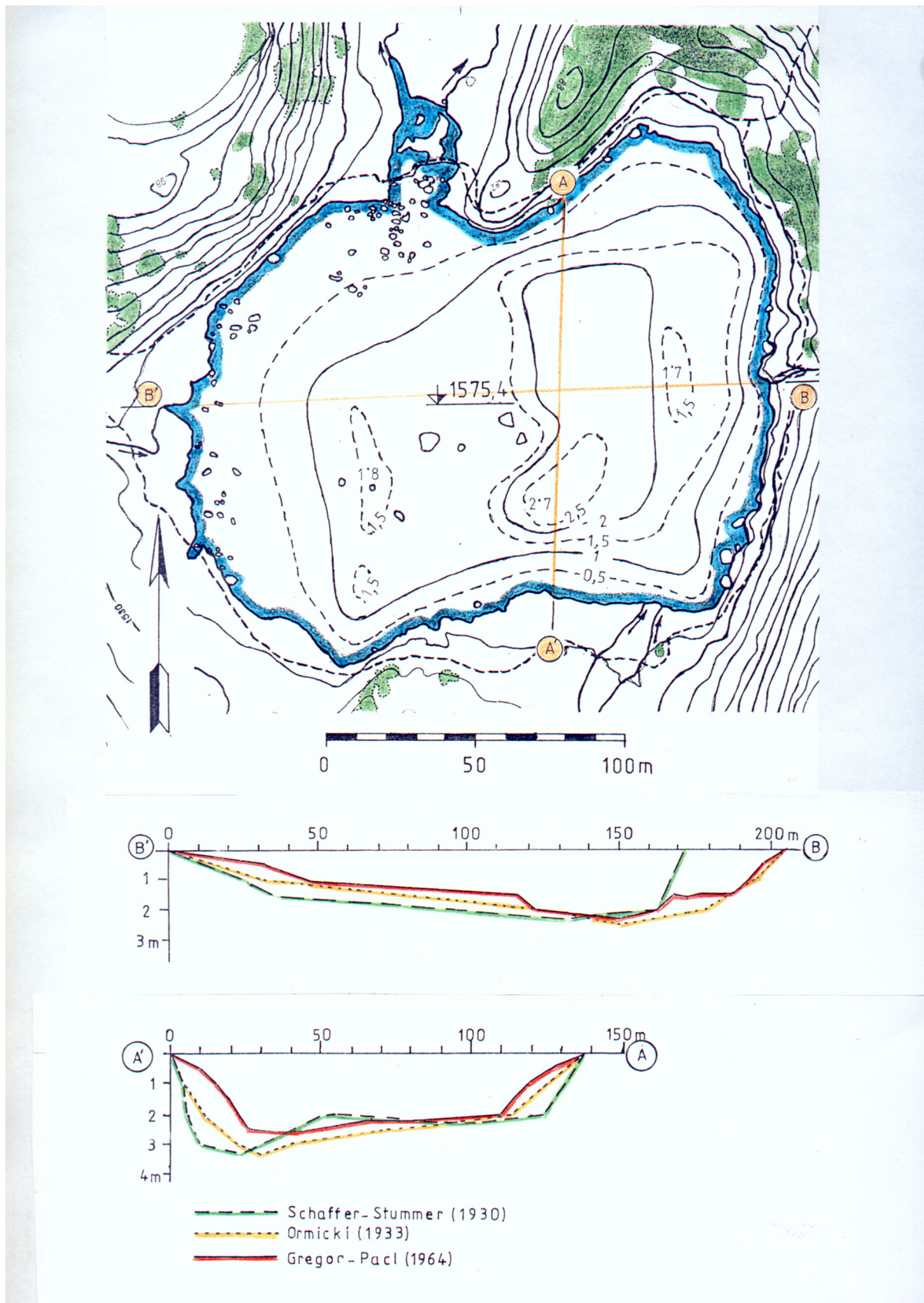


Schaffer-Stummer 1929/30



Gregor-Pacl 1964

Obr. 13. Zelené Kačacie pleso – morfometria podľa rôznych autorov.



Obr. 14. Zelené Kačacie pleso – morfológia a profily.



Práve časový interval je jedným z rozhodujúcich parametrov pri monitoringu tvarových a priestorových zmien reliéfu opakovanými meraniami. U niektorých tatranských plies sa postupom času systematicky znižuje ich celková plocha ako aj objem narastaním osypových kužeľov skalných sutín aj súčasným zanášaním drobnými sutinami a hrubým pieskom z murových kužeľov. Sutiny spevnené trávny porastom a kosodrevinou minimalizujú možnosti zanášania (Gregor, V., Pacl, J., 2003, 2004). Z viacerých druhov príčin a možností zanášania uvedieme dva hlavné spôsoby zanášania:

- nánosy hrubozrnných sutín transportované lavínami zo strmých žľabov so sklonmi nad 50 %, s následným presypávaním sutín po firnovom povrchu (Zmrzlé pleso).

- prevažne vodou transportované nánosy zvetralín a jemnozrnných náplavov z osypových kužeľov, ktoré v prítokovej oblasti do plesa majú sklony do 20 % (Zelené Kačacie pleso, Kolové pleso).

Zmrzlé pleso je typickým príkladom zanášania lavínovými sutinami. Ľadovce vyhlbili jeho panvu podľa puklín bralnatého podlažia do pretiahnutého trojuholníkového tvaru so širokou základňou tvorenou JZ brehom. Z pravej aj ľavej strany prevláda hladký, bralnatý reliéf, nad ktorým sú spevňujúce porasty tráv a kosodreviny. Avšak nad JZ brehom sa roztvára vejár žľabov a zárezov až k hlavnému hrebeňu pohoria medzi Gánkom a Rysmi. Je to zberná oblasť pre vodu napájajúcu pleso, ale súčasne je to aj veľká zásobárň skalného materiálu, od veľkých blokov až po jemný piesok, ktorý sa z povrchu zbernej oblasti uvoľňuje zvetrávaním do osypov a potom je vodou a najmä snehom dopravovaný na hladinu plesa, 60 krát menšiu ako je plocha zbernej oblasti. Poloha nánosov v plese nasvedčuje, že hlavný transport materiálu prebieha v období, kedy pleso pokrýva ľad a svahy nad JZ brehom sú pokryté snehom. Snehová pokrývka sa postupne zvyšuje natoľko, že vytvára klin, podobne ako osypy zo skál., základňa tohto veľkého snehového klinu leží už na zamrznutej hladine, niekoľko metrov od brehovej čiary. S narastaním výšky snehovej vrstvy, jej premenou v tvrdý firn, vzniká ideálna plocha pre zosun zvetralín. Tento môže byť pomalý, v priebehu celej zimy, ako zmes snehu s osypmi, ale aj rýchly, pádom lavín, strhávajúcich veľké množstvá materiálu, nielen z podlažia, ale aj podrezaním bočných osypov, vyčnievajúcich nad firn, vyplňujúci žľaby a zárezy. Poloha, tvar nánosu a jeho frakcie v plese nasvedčujú, že náhle zosuvy veľkého množstva materiálu prevládali nad postupným, pomalým zanášaním plesa drobnejším štrkopieskom.

Porovnanie máp plesa vyhotovených v 40-ročnom odstupe (obr. 12) jasne ukazujú nastávajúce zmeny. Na mape podľa Schaffer-Stummera tvoria nánosy polostrov, pravdepodobne vtedy nie príliš vyčnievajúci nad hladinu, lebo jeho výškopis nebol zobrazený. Na mape Gregor – Pacl je zrejme, že ide o jednoznačný

ostrov, vyčnievajúci už okolo 5 m nad hladinu. Za predpokladu približnej morfológie dna plesa od maximálnej hĺbky, ako aj vzhľadom na morfológiu jeho najbližšieho je objem navŕšeného materiálu vyše 60.000 m<sup>3</sup>, čo je len o 20 % menej ako bol celkový objem vody v plese v čase merania (VIII/1964). Uvedený objem materiálu predstavuje asi 6000 veľkotonážných áut, z čoho je vyše 5.000 m<sup>3</sup> nad hladinou, ako ostrov. Vznik ostrova z tak veľkého množstva osypového materiálu v pomerne krátkom čase bol s veľkou pravdepodobnosťou podmienený mohutnými lavínami. Tento predpoklad potvrdzuje aj výrazný rozdiel medzi maximálnymi dĺžkami plesa z obidvoch meraní., podľa merania Sch.-St je to 258 m, podľa G-P vychádza hodnota 285 metrov, pričom rozdiel je jasne daný posunom brehovej čiary v smere od ostrova, ako dôsledok lavínovej erózie sutín. Podobný, avšak o tretinu menší je ostrov vo Vyšnom Žabom Bielovodskom plese (60x15 m), ako dôsledok lavín spod Vyšného Žabieho štítu a Žabieho Mnícha. Z máp Zeleného Kačacieho plesa (obr. 13 a 14) a príslušných profilov vidno vplyv zanášania na profil dna, najmä v prítokovej južnej časti brehu drobnozrnnými frakciami. Výrazné zanášanie je zdokumentované aj z Kolového plesa.

Príklady fotogrametricky presne zdokumentovaných podkladov o postupujúcom zanášaní niektorých plies, poukazujú na to, že podklady získané komplexným mapovaním budú aj v budúcnosti dôležitým východiskom pri objasňovaní zmien v reliéfe Tatranského národného parku.

### Digitálne modely reliéfu dna jazier

Digitálny model reliéfu (DMR) je definovaný ako súbor usporiadaných číselných informácií o terénnom reliéfe uložených v pamäti počítača, doplnený príslušným programovým vybavením

na jeho využitie. V odbornej geografickej a geodetickej literatúre sa používa všeobecnejší termín – digitálny model georeliéfu (DMG). Vzhľadom na to, že danom prípade neriešime georeliéf v širšom zmysle slova, ale konkrétne špecifickú lokalitu – dno plesa- považujeme za vhodné používať jednoznačnejší termín DMR dna plesa (Bartoš, P., Gregor, V., Pacl, J., 2004, 2005). Reliéf dna plesa sa pred rozvojom počítačovej techniky mohol znázorniť iba podrobnou mapou a profilmi dna. Digitalizácia umožňuje znázorniť reliéf dna plasticky, obrazne povedané, poskytuje nám pohľad ako keby sme z plesa vodu vypustili a urobili panoramatickú fotografickú snímku jeho dna.

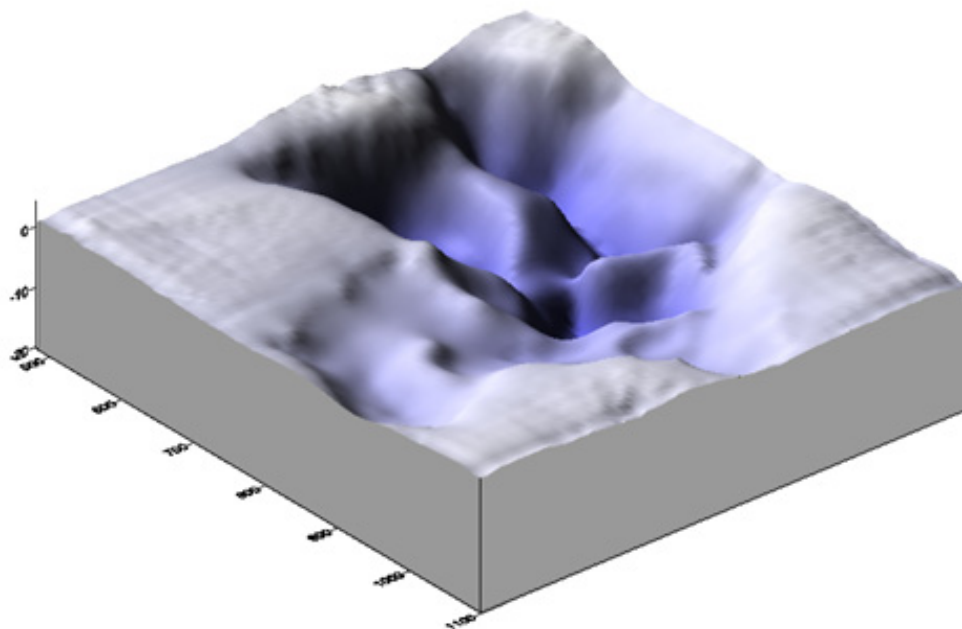
Vstupné súbory pre priestorové zobrazenie dna plies a ich najbližšieho okolia sa získali bodovou digitalizáciou výškopisu máp vyhotovených KG STU metódou pozemnej stereofotogrametrie. Grafické výstupy digitálnych modelov sú výsledkom počítačového spracovania softvérom SURFER 8.

Príkladom opísaného zobrazovania sú DMR dna dvoch najväčších tatranských plies na obr. 15. Dno Veľkého Hincovho plesa má tvar pretiahnutej, viacsmernej súmernej panvy s impozantnou hĺbkou 54 metrov. Jeho digitálny model dáva veľmi názorný obraz o tvaroch ľadovcových karov, ktoré boli po ústupe ľadovca zaplnené vodou. Ešte výstižnejší obraz poskytuje DMR

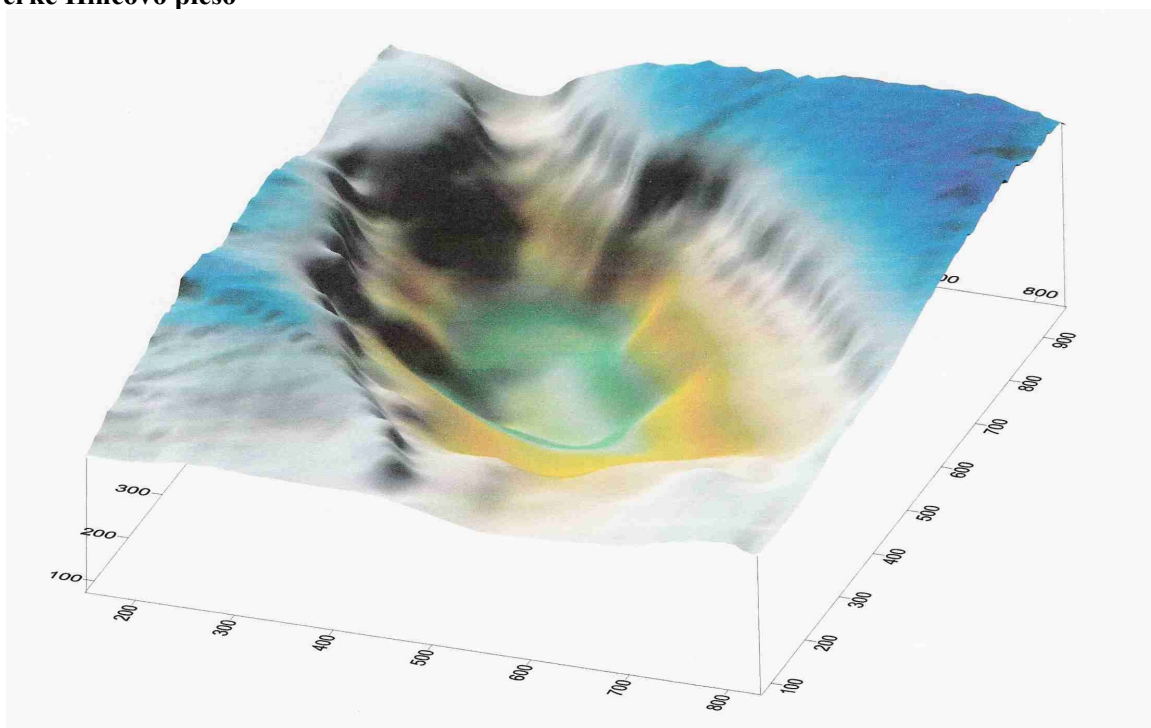
dna Štrbského plesa (ktorého zaujímavá genéza je vysvetlená v kap. 3), vystihujúci jeho nepravidelnosť a rozčlenenie do troch výrazných preliačín, z ktorých sú dve vyše 20 metrov hlboké.

Na zvýšenie priestorového vnemu je mierka výšok oproti polohopisu 2 krát väčšia.

### Štrbské pleso



### Veľké Hincovo pleso



Obr. 15. Digitálne modely reliéfu dna plies (Štrbské pleso, Veľké Hincovo pleso).

## Záver

Štúdia je prvou viacmenej komplexnou limnológiou tatranských plies. Jej najzákladnejším prínosom je podrobná morfometria, potrebná pre celý rad kartografických a geografických prác, pre doplnenie vlastivedného obrazu územia Slovenskej republiky., je prakticky využiteľná aj pre mnohé ďalšie rôzne výskumy (napr. chemizmu a biológie plies) a pre praktickú ochranu prírody. V zostručnenej forme prináša aj nové metodické poznatky z pozemnej stereofotogrametrie vo vysokohorskom teréne, z merania slnečného osvitu určitej lokality a z vypracovania digitálnych modelov reliéfu dna jazera. Jej význam presahuje krátku súčasnosť jednej generácie, lebo je podkladom pre budúce hodnotenia zmien reliéfu Tatier a jeho zložiek.

## Literatúra

- Bartoš, P., Gregor, V., Pacl, J. (2004): Pohľady do výšky aj hĺbky/ Digitálne modely jazier. *Tatry*, 6, 16-17.
- Bartoš, P., Gregor, V., Pacl, J. (2005): Ďalšie pohľady na dná tatranských plies. *Tatry*, 1, 14-15.
- Bogoslovskij, B., Muravejskij, S. D. (1953): Očerki po ozerovedeniju. *Gidrometeoizdat*
- Gregor, V. (1965): Využitie fotogrametrie pri špeciálnych úlohách vo vysokohorských terénoch. *Geodetický a kartografický obzor*, 11(53), 1, 17-20.

- Gregor, V. (1968): Graficko-numerickej spôsob určenia celoročnej sumy efektívne možného slnečného svitu. *Geografický časopis*, 20, 2, 151-162.
- Gregor, V., Bartoš P. (1994): *Fotogrametria a diaľkový prieskum Zeme*.
- Gregor, V. (2003): Meranie tatranských plies. *Geodetický a kartografický obzor*.
- Gregor, V., Pacl, J. (2003): Zanášanie tatranských plies. *Tatry*, 1, 12-13.
- Gregor, V., Pacl, J. (2004): Zanášanie tatranských plies II. *Tatry*, 1, 12-13.
- Houdek, I. (1943): Tatranské plesá. *Zborník Muzeálnej Slovenskej Spoločnosti*, 36/37, 246-259.
- Hutchinson, G. E. (1957): *A Treatise on Limnology*.
- Král, V. (1954): Jezera na severním svahu Liptovských Tater. *Kartografický přehled*, 7, 1, 1-20
- Lukniš, M. (1973): Reliéf Vysokých Tatier a ich predpolia.
- Pacl, J. (1954): Meranie Hincovho plesa. *Krásky Slovenska*, 31.
- Pacl, J. (1963): Vodná bilancia Štrbského plesa. *Meteorologické zprávy* 16, 5, 123-129.
- Pacl, J. (1973) *Hydrológia Tatranského národného parku*. *Zborník prác o TNP* 15, 181-230
- Pacl, J., Wit-Jóźwikowa, K. (1974): Teplota vôd, in: Konček, M. et al. *Klíma Tatier*, 181-204
- Pacl, J. (1994): Vodstvo, in: Vološčuk, I. et al. *Tatranský národný park-Biosférická rezervácia*, 66-78.
- Pacl, J. (1999): Podiel pozemnej stereofotogrametrie pri mapovaní tatranských plies, in: *Interdisciplinárne aplikácie KG SvF. STU*, s. 1-5.
- WMO (1994): *Guide to hydrological practices*. WMO-No.168.

Doc. Ing. Viktor Gregor, PhD.  
Zálužická 23  
821 01 Bratislava

RNDr. Juraj Pacl, CSc.  
Želivská 341  
394 46 Červená Řečice  
Česká republika