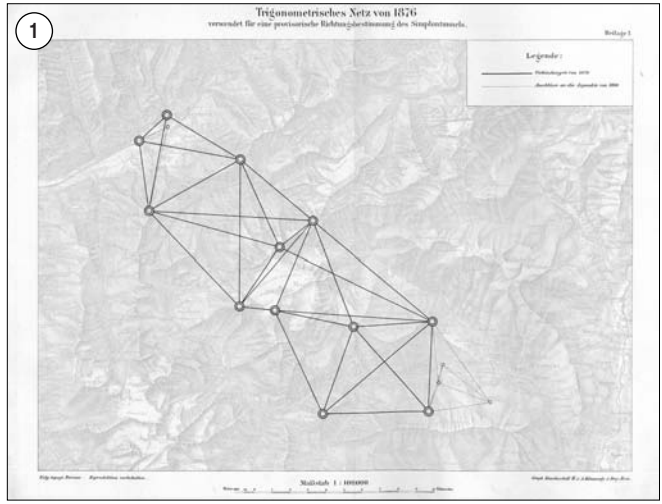
Tunely, štoly a vytyčování – 8. díl

Simplonský tunel

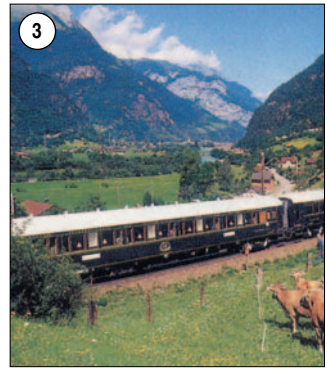
Vyvrcholením alpského tunelářského umění přelomu 19. a 20. století je Simplonský tunel, který se stal vedle Semmeringu, Brennerské dráhy (Insbruck – Bolzano, 127 km, stavba 1865 – 1867) a již dříve zmíněných tunelů Fréjus a Gotthard součástí páté transalpské radiály. Protože byl od počátku projektován jako úpatní, tedy bez strmých příjezdových ramp, zachoval si a posílil svůj značný význam i v 21. století v současné koncepci NEAT (Neue Eisenbahn – Alpen – Transversalen).

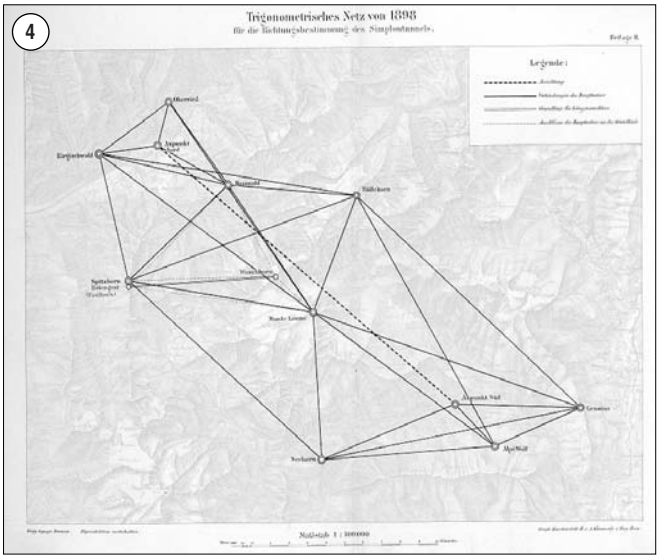
Počátky výstavby spadají do roku 1876, kdy byla založena společnost Suisse Occidentale – Simplon pro výstavbu tunelu mezi kantonem Wallis a Itálií. (Tu a její nástupkyni nahradily roku 1912 Švýcarské spolkové dráhy SBB.) Už v roce 1876 byla vybudována a zaměřena místní trigonometrická síť o 12 bodech *(obr. 1)*, určená především pro řešení početných projekčních variant, uvažujících vedle technických také měnící se dopravní, ekonomické, vlastnické a konkurenční vztahy. Období změn projektů a nedostatku kapitálu trvalo až do roku 1895, kdy byla uzavřena státní smlouva mezi Švýcarskem a Itálií, investoři však pocházeli též z Francie. Nový projekt od počátku prozíravě uvažoval výstavbu dvou paralelních tunelů, zaručujících větší bezpečnost provozu nežli tehdy obvyklý jeden dvoukolejný tunel. Tunel byl určen pro elektrickou trakci, což výrazně zjednodušilo problémy s větráním za provozu. (Poznámka: v roce 1903, při zkušebních jízdách na vojenské dráze poblíž



Berlína, dosáhly elektrické vozy rychlosti 210 km/h, roku 1905 dosáhla parní lokomotiva společnosti Pennsylvania Rail Road rychlosti 206 km/h.)

Počátkem roku 1898 firma Brandt, Brandau & Cie. zahájila výstavbu, stavbyvedoucím byl Ing. Brandt (†1901), který pro tuto stavbu konstruoval hydraulický razicí stroj. Ing. J. Muzzani vytyčil počáteční body osy a směr z původní sítě z roku 1876. Ing. Max Rosenmund vybudoval a zaměřil novou vytyčovací síť. Výstavba proběhla ve dvou etapách, ztěžována byla průvaly vod o teplotě až 62°C *(obr. 2)*. První tunel délky 19 803 m byl ražen v letech 1898 – 1905. Přitom byla současně ražena směrová štola 2. tunelu, která sloužila k odvodnění (1200 l/s). Uprostřed tunelu byla dočasně zřízena výhybna pro usnadnění obousměrného provozu. K prorážce 1. tunelu (leží severněji) došlo 23. 2. 1905 v 7:20 h. Příčná odchylka dosáhla hodnoty 0,20 m, výšková 0,09 m, podélná (zejména vlivem rozměru sítě) 0,56 m. Provoz byl zahájen o rok později 26. 5. 1906 při vícedenní státní slavnosti za účasti italského krále Viktora Emanuela III. Paříž byla

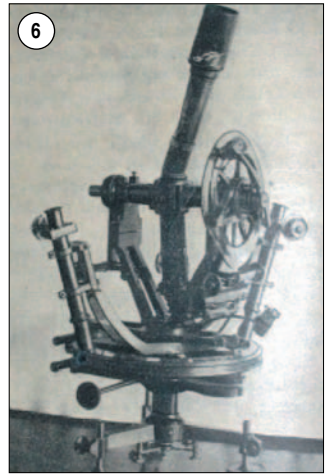




náhle mnohem blíže Milánu a Benátkám, trať poskytla i alternativní trasu do Istanbulu. Koncem roku 1906 začal jezdit expresní vlak s názvem Simplon – Orient, předchůdce pozdějšího slavného Orient – Expresu *(obr. 3)*. Druhý tunel byl budován včetně přerušení 1. světovou válkou v letech 1912 – 1921 a dosáhl délky 19 823 m, provoz byl zahájen roku 1922. Simplon byl po řadu let nejdelším tunelem světa. V období 1955 – 1963 byl profil tunelů zvětšen prohloubením dna při zachování provozu.

První místní trigonometrická síť Simplonského tunelu z roku 1876 *(obr. 1)* posloužila pro řešení projekčních variant i pro předběžné vytyčení osy tunelu. Ing. Max Rosenmund (1857 – 1908), autor švýcarského úhlojevného válcového zobrazení v obecné poloze na Besselově elipsoidu (tzv. CH 1903) a pozdější profesor známé ETH v Curychu, roku 1898 navrhl a zaměřil síť s 11 body včetně portálových *(obr. 4)*. Pracoval s předpokladem co nejmenšího počtu bodů a současně s dosažením minimálně 3 orientací na portálových bodech. Pro představu o obtížnosti observací poslouží nadmořské výšky bodů sítě: nejníže položený bod Oberried 1364 m, nejvýše položený bod Monte Leone 3577 m, jižní portál 633 m, severní 683 m. Body byly stabilizovány pilíři vyzděnými z kamenů a signalizovány kuželem z pozinkovaného plechu (*obr. 5*, M. Rosenmund uprostřed). K měření byl použit teodolit Kern s přesností čtení vodorovného kruhu 4" mikrometrem, svislého kruhu 10" vernierem. Po poškození, způsobeném pádem v poryvu větru *(obr. 6)*, byl

nahrazen teodolitem Kern se čtením obou kruhů verniery s přesností 10". Měření vodorovných úhlů bylo prováděno Schreiberovou metodou, tj. měřením úhlů ve všech kombinacích, kdy každý směr *s* se na stanovisku kombinuje se zbývajícími směry. (Každý z *n* úhlů, kde $n = [s(s-1)/2]$, se měřil opakovaně na různých místech děleného kruhu samostatně v tzv. dvojicích nebo laboratorních jednotkách, v libovolném pořadí podle viditelnosti. Kromě toho každý úhel byl odvozen jako rozdíl nebo součet měřených úhlů. Metoda byla zavedena roku 1878 v pruské triangulaci.) Počet opakování observací *r* se lišil podle počtu směrů *s* na stanovisku tak, aby váhy *p* vyrovnaných úhlů byly stejné ($r = 2p/s$, např. 2 směry – 48 opakování, 8 směrů – 12 opakování; váha $p = 48$ byla oproti pruské síti vyšší). Maximální sklon záměry dosáhl – 23°40'. Největší sférický exces představoval ve 27 trojúhelnících jen 0,25". Průměrný trojúhelníkový uzávěr byl však 3,1", maximální 8,5", na 11 vrcholech větší než 4", což odporovalo vnitřní



7

přesnosti charakterizované střední chybou (směrodatnou odchylkou) 1,12". Měření byla proto opakována se zavedením opravy ze sklonu točné osy teodolitu na základě čtení alhidádové libely, ke zlepšení hodnot charakteristik však nedošlo. Za příčinu velkých hodnot uzávěrů byly při rozborech stanoveny značné tížnicové odchylky *(obr. 7)*. Švýcarská geodetická komise hustotu hor stanovila koeficientem 2,8, Země 5,63. Opravy po výpočtech dosáhly v ose *X* hodnot (– 20,5" až +10,1"), v ose *Y* (– 2,5" až +15,8"). Průměrný trojúhelníkový uzávěr klesl na 2,2", maximální na 5" [4]. (Dodatečné výpočty pro porovnání prokázaly, že v síti Gotthardského tunelu se vliv tížnicových odchylek díky odlišné konfiguraci terénu neuplatnil.) Rozměr sítě byl odvozen z připojení na trigonometrickou stranu I. řádu (38 387 ± 0,2 m), která byla součástí švýcarského stupňového měření. Celé měření v síti, které zahrnovalo i astronomická pozorování, mohlo začít až v červnu a trvalo pouhých 41 dní.

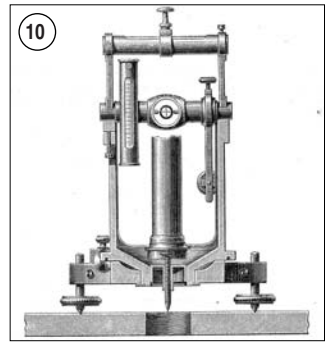
Síť byla promítnuta do roviny tečné k bodu Monte Leone, vyvolané redukce směrů nepřekročily 0,26". Pro vyrovnání sítě bylo sestaveno 56 rovnic, střední chyba směru po vyrovnání byla 0,91". Výpočet proběhl dvakrát, s uvážením oprav vlivu tížnicových odchylek i bez nich. Nezavedení oprav by způsobilo zvětšení příčné odchylky prorážky o nezanedbatelných 0,26 m. [1]. Rozbor vlivu tížnicových odchylek představuje trvalý přínos pro vývoj inženýrské geodézie i tunelářství. (Poznámka: z českých geodetů se touto problematikou zabýval prof. František Müller již v roce 1883.)

Sklon osy I. tunelu činí 2 ‰ až 7 ‰. Relativně blízké body budované 1. švýcarské nivelační sítě byly pro výšková měření v tunelu nepoužitelné, protože rozdíl dvojího nezávislého měření úseku v letech 1870 a 1873 na vzdálenost 45,59 km s 5 oddíly dosáhl 0,1157 m, zatímco pro měření v tunelu bylo stanoveno kritérium $3\sqrt{r}$ [mm; km], kde r je délka pořadu. Roku 1901 provedli ing. Frey a Dr. Hilfiker nová měření s rozdílem 0,022 m při současném použití 2 latí. Chybné bylo zejména měření z roku 1870, kdy teorie a technologie přesných nivelací teprve vznikaly. Převýšení koncových bodů bylo sice řádově jen – 20,2 m, ale uprostřed úseku dosáhlo +1324,5 m [2].

V prodloužení osy tunelu byla zřízena stabilní chráněná stanoviska, tzv. observatoře *(obr. 8)*. Sloužily ke geodetickému řízení ražby, bylo z nich provedeno též kontrolní astronomické měření sítě. M. Rosenmund osobně (v korektním obleku, s tvrdým kloboukem) prováděl i podrobné vytyčování v tunelu pro vedení ražby, jak dokládá *obr. 9*. Veškeré

8

9


10

vybavení dodala firma Kern, přístroje však byly upravovány např. dodatečnou montáží acetylenového osvětlení.

Za zmínku stojí skutečnost, že některé z tehdejších známých učebnic (např. [3]) obsahovaly moderně pojaté kapitoly o vytyčování v terénu z analogových projektů, vytyčování dlouhých přímek (tj. os), mezilehlých bodů (šachet) a svislic pro připojení podzemních sítí (na *obr. 10* Nagelův provažovač s empirickou přesností 0,12 mm / 132 m), dopravních křivek včetně rozborů přesnosti vytyčování, s příklady ze stavební tunelářské praxe.

(Há)

Literatura:
[1] ROSENMUND, M.: Special-Berichte über den Bau des Simplontunnels. Die Bestimmung der Richtung, der Länge und der Höhenverhältnisse. Bern, Haller'sche Buchdruckerei, 1901, 71 s.
[2] HÁNEK, P.: Vytyčovací síť Simplonského tunelu (Ke 100. výročí zahájení provozu). Sborník 42. geodetických informačních dnů. Brno, Spolek zeměměřičů Brno, 2006, s. 106 – 111.
[3] VOGLER, A.: Lehrbuch der praktischen Geometrie. Braunschweig, Verlag F. Vieweg u. Sohn, 1885.