

## Z historie vytyčovací sítí tunelů (Ke 100. výročí Simplonského tunelu)

Hánek Pavel<sup>1</sup> a Janžurová Ilona

### *From the history of settling networks of tunnels (On the 100. anniversary of the Simplonsky tunnel)*

*The present contribution entitled „History of setting-out network of tunnels“ is dedicated to the 100<sup>th</sup> anniversary of the opening of Simplon's tunnel. Tunnels belong to the most significant civil engineering works which closely reflect the technical and social scale of the epoch of their genesis. Necessary conditions of the successful planing and constructions of tunnels are geodetically ensured location and building procedures. This presentation traces the progress of the setting out networks of European tunnels from earliest times (the Samos Island, the 6<sup>th</sup> century B.C.) to the present days when the GPS methods are used. It focuses upon data concerning the alpine tunnels of the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> centuries and follows earlier articles by the same author.*

**Key words:** Tunnel. Setting out net. History of surveying. Mine surveying. Engineering geodesy.

### Úvod

Tunely patří k nejdůležitějším inženýrským dílům, v nichž se věrně odráží technická a organizační úroveň lidského společenství a jeho aktuální potřeby (např. zásobování vodou, obrana, doprava) v době vzniku. Podstatnou podmínkou úspěšného projektování a výstavby je geodetické zajištění prostorového umístění a vedení stavby. Výstavba se provádí buď hornickým způsobem (bez narušení nadloží) nebo v otevřené rýze, která se po dokončení díla zasype. Pro historické stavby se obvykle striktně terminologicky nerozlišuje tunel od štoly podle průřezu většího než 16 m<sup>2</sup>.

Předpokladem vytyčování osy tunelu je známost koncových bodů této osy. Ty mohou být dány přímo v terénu a pak se zaměřují a určuje se jejich vzájemný vztah, nebo moderněji v souřadnicích a pak se vytyčují.

Určení směru, délky a převýšení koncových bodů osy se může provést dvěma způsoby. Pokud to umožňuje tvar a přehlednost terénu, lze volit přímé vytyčení osy tunelu po povrchu. Mimo parametrů osy tunelu se získá podklad pro vytvoření podélného profilu nadloží a vztahů k nejbližšímu okolí a zástavbě. Tento postup je výhodný, lze-li nalézt v terénu jeden nebo více bodů ve svislé rovině osy přímého tunelu tak, aby byla přímá viditelnost mezi nimi a na koncové body osy. Úlohu je možno řešit i bez znalosti přesné délky záměr. V principu se jedná o tradiční úlohu vytyčení přímky přes překážku. V historii tunelářství byly zpravidla v mezilehlých bodech hloubeny svislé šachty, sloužící k větrání díla, dopravě materiálu a mužstva a poskytující výhodnou možnost ražby protičelbou v kratších úsecích. Ve druhém případě se vytyčuje nepřímo:

- z bodů polygonové sítě,
- z bodů trigonometrické sítě (speciální místní nebo státní),
- z bodů určených metodou GPS.

Použití některé z uvedených možností do značné míry závisí na přístrojovém vybavení. Je nutno konstatovat, že s použitím nové techniky se tvary sítí výrazně mění. Značný vliv ovšem také má samotný rozvoj tunelářských metod.

### Historické stavby

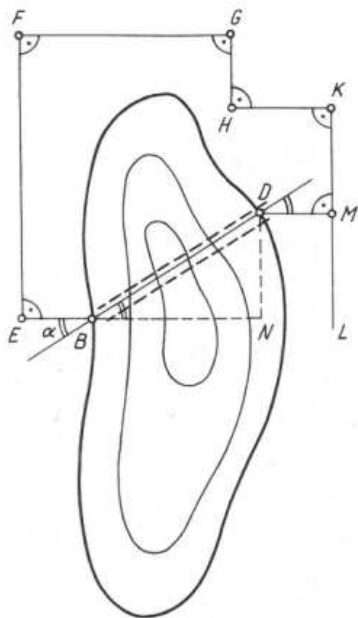
Přímé vytyčení bylo použito při výstavbě vůbec nejstaršího tunelu v naší civilizační oblasti, nedochovaného asyrského **Semiramidina tunelu** z 9. st. př.n.l., podcházejícího v Babylonu řeku Eufrat. Spojoval palácový a chrámový areál. Podle písemného svědectví dějepisce Diodora Sicula (2. stol. př.n.l.) byl postaven v otevřené rýze z cihel spojených asfaltem, v délce 900 m s profilem 4 x 5 m uzavřeným klenbou.

Za nejstarší dochovaný tunel našeho kontinentu je považován **Eupalinův tunel** na ostrově Samos ze 6. stol. př.n.l. Byl budován za tyra Polykrata (573 - 522) pod vápencovým vrchem Kastro jako součást asi 2 km dlouhého vodovodu pro zhruba dvacetitisícové město. Tunel délky 1,03 km s profilem v průměru

<sup>1</sup> doc. Ing. Pavel Hánek, CSc., Ing. Ilona Janžurová, Fakulta stavební ČVUT v Praze, katedra speciální geodézie, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, Česká republika, [hanek@fsv.cvut.cz](mailto:hanek@fsv.cvut.cz), [ilona.janzurova@fsv.cvut.cz](mailto:ilona.janzurova@fsv.cvut.cz)  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 6. 2. 2007)

1,8 x 1,8 m však sloužil „jen“ jako prostor pro výstavbu a provozní údržbu rýhy vlastního vodního přiváděče. Dno rýhy šíře 0,6 m se spádem 0,4 % je cca 3,5 - 8 m pod počvou tunelu. V nejhlubších místech byla dokonce rýha ražena pro úsporu práce horníky, tedy jako druhá štola, místy je zakryta deskami. Tunel byl prokazatelně ražen protičelbou z portálů jako vodorovný. Hornickým způsobem ze šachet vzdálených 30 - 50 m byly budovány i některé další části přiváděče. Stavba byla udržována ještě za vlády Říma, později upadla v zapomnění. Znovu objevena byla roku 1882. V letech 1971 - 1975 provedl důkladný průzkum athénský Německý archeologický ústav (DAI). Další informace a literární odkazy uvádí např. (Hánek, 2005).

Studiem možností vytyčení Eupalinova tunelu se intenzivně zabýval už Hérón Alexandrijský zvaný



Obr. 1. Héronova rekonstrukce.  
Fig. 1. Heron's reconstruction.

Méchanikos (1. stol. n.l.), autor fundamentální práce o geometrii a geodézii *Peri dioptrás*. Směrové vytyčení osy tunelu mohlo být provedeno přímo úlohou postupného zařazení bodu do přímky, která je dodnes obsažena v učebnicích elementární stavební geodézie. Délka osy, jejíž znalost byla velmi důležitá, mohla být po tomto vytyčení odvozena trigonometricky ze zkříženého čtyřúhelníku se dvěma základnami a dvojicí pravých úhlů, využívajícím pro dosažení viditelnosti bod na vrcholu kopce, nebo přímým měřením latěmi, urovnávanými do vodorovné polohy např. pomocí olovníc nebo krokvic. Hérón Alexandrijský nabídl možnost nepřímého vytyčení pomocí pravoúhle se lomícího polygonového pořadu, vetknutého s ohledem na terén mezi dané portálové body (B, D, obr. 1). Tím byla určena i délka osy a úhel zarážky. Výškové měření mohlo probíhat přibližně nad osou tunelu nebo naopak kopec Kastro obcházet prakticky po vrstevnici. V úvahu přichází též trigonometrické měření výšek, založené na podobnosti trojúhelníků. Tehdejší instrumentarium dovolovalo provádět tyto práce s dostatečnou přesností. Převýšení počvy portálů je dnes pouhých 0,04 m, styk obou větví je však v prorážce asi o 0,6 m níž. Přitom 25 m před prorážkou se náhle severní větev zvedla asi o 1 m, takže počva musela být dodatečně dorovnána, ovšem ve stropě je patrný nadvýlom. Nelze vyloučit, že se vědomě jednalo o metodu řízení prorážky.

Z dějin vodohospodářského tunelářství na našem území vzpomeňme nejstarší **Rudolfovu** (Belvedérskou) **štolu** délky 1,1 km pod pražskou Letnou ze 16. stol. Přiváděla vodu z Vltavy do nově budovaného (dnes už zaniklého) rybníku, který "byl" součástí "úprav" Královské "obory" (Stromovky). Je možno konstatovat, že měřický postup a způsob vedení ražby se za více než dvě tisíciletí nezměnil. Rudolfova štola je technickou památkou UNESCO, je zapsána ve státním seznamu kulturních památek a jako unikátní lokalita výskytu sekundárních krasových jevů je evidována také orgány ochrany přírody. Směr štoly a 5 svislých šachet o průřezu asi 3,25 x 1,25 m (šachta III nebyla pro průvaly vod nikdy dokončena), sloužících k ražbě, větrání díla a k dopravě rubaniny, vytyčil na jaře 1582 maršajdník Georg Oeder z Ústí. Převýšení konců štoly, probíhající až 45 m pod terénem, je 1,12 m, spád 1 %. Stavbu řídil do roku 1592 přední odborník, vrchní hofmistr a pražský mincmistr Lazar Ereker ze Šreknefelzu. Jeho nástupcem se stal vrchní hofmistr Van der Vam Kojas. Souběžné práce v jednotlivých úsecích prováděli kutnohorští havíři protiražbou s využitím směrové štoly, vedené pod stropem. K prvé prorážce došlo na jaře 1589 mezi ústím a I. šachtou, k poslední v nejdelším úseku II - IV dne 17.7.1593. Podle pozdějších měření jsou zde zřetelné stopy, že se prorážka z obou stran odchýlila o 1,65 m, resp. o 1,32 m. Průměrný měsíční postup byl 8,3 m, nejrychlejší 15,3 m ve 2. pololetí 1589, nejpomalejší o tři roky později 4,3 m. Průměrná výška štoly je 2 - 4 m, šířka 0,7 - 1,5 m. Kolísání profilu a zakřivení trasy je patrně důsledkem vyrovnávání odchylek a korigování směru ražby.

### Alpské železniční tunely přelomu 19. a 20. století

19. století je obdobím tzv. průmyslové revoluce, přeneseně je nazýváno stoletím páry. Výrazným reprezentantem změn technických, hospodářských i změn životního stylu je jistě parní lokomotiva. Budování dálkových železničních tratí věnovaly všechny státy značnou pozornost i za cenu překonání horských pásem

nebo veletoků. První železniční tunel světa byl však vybudován už roku 1826 mezi francouzskými Roanne a Andrezieux, to ovšem ještě pro koněspřežku (Streit, 1947).

### Semmering

Rakouská železniční trať délky 41,825 km, známá pod jménem Semmering, je považována za první evropskou horskou dráhu. Organizací UNESCO byla prohlášena za kulturní dědictví lidstva. Představuje úsek mezi Gloggnitz a Mürzzuschlagem u Štýrského Hradce, který chyběl ke zprovoznění tratě „Erzherzog Johann-Bahn“ z Vídně do - pro habsburskou monarchii velmi významného - přímořského Terstu. Pod vedením rytíře Carla von Ghegy (obr. 2, 1802-1860, za zásluhy byl do rytířského stavu povýšen roku 1851), který projekt stavby dokončil 31. 1. 1884, bylo v letech 1848 - 1854 za účasti asi 20000 pracovníků (z nichž 740 zemřelo na cholera a tyfus, menší počet na úrazy) postaveno 16 mostů s výškou až 46 m celkové délky 1502 m (nejdelší 276 m), 2 galerie a 15 tunelů celkové délky 5420 m; nejkratší z nich měří pouhých 14 m. Nejdelší, nejvýznamnější a nejznámější tunel nedaleko stanice Semmering je dlouhý 1430,34 m. Uprostřed tunelu (km 104,3) leží nejvyšší bod trasy (898 m). Tunel je přímý, vytyčen byl pomocí 5 mezilehlých bodů, z nichž byly hornicky vyhloubeny svislé i úklonné šachty. Stavba a provoz přinesly cenná poučení pro následovníky. Původně byl tunel vyzděn cihlami, ale ty byly už v letech 1854-5 pro poškození četnými průsaky vod na mnohých místech nahrazeny pískovcovými bloky. (Přesto roku 1947 bylo jen 5 % vyzdívkou tunelu v pořádku. Historie zaznamenala, že v zimě toho roku muselo být z tunelu vyvezeno 440 vagonů ledu. I proto došlo 8. 9. 1949 v blízkosti k prorážce nového tunelu.) Celá trať byla za velkého zájmu veřejnosti zprovozněna roku 1857.



Obr. 2. Carl Ritter von Ghegy.

Fig. 2. Carl Ritter von Ghegy.

Ve stejném roce se však objevily zcela nové odborné názory na trasování horských železnic. Mezi francouzským Lyonem a italským Turinem byl projektován 13 km dlouhý tunel Fréjus, dokončený roku 1871. Nadále se pak prosazovala starší koncepce přizpůsobení trasy terénu bez stavby dlouhých tunelů a nová koncepce výstavby náročných dlouhých tunelů, přinášející velké zásahy do terénu, ale též zvýšení rychlosti, spolehlivosti a bezpečnosti jízdy a zvýšení propustnosti tratě. Během doby se první koncepce omezila na místní dráhy, druhá byla využívána pro hlavní dálkové trasy. Podobným vývojem prošla později i doprava silniční.

### Fréjus

Tunel Fréjus (též: tunel Mont Cenis, 12849 m) je jedním z mála novodobých dlouhých tunelů ražených protičelbou jen z portálů. Současně je jedním z prvních železničních tunelů, při jehož výstavbě byly už použity moderní způsoby rozpojování hornin – Ing. Sommeiller konstruoval 1861 pro toto stavbu pneumatickou vrtačku, používal se nitroglycerin. Přímé vytyčení mezi koncovými body poblíž Modane a Bardonecchia se po několika neúspěšných pokusech podařilo za použití tehdy moderní měřické techniky v letech 1857-8 díky příznivému tvaru horského masivu Fréjus pomocí 5 bodů (obr. 3). Dodatečně byla sice zbudována místní trigonometrická síť, ta však byla použita jen k odvození délky tunelu. K prorážce došlo 26.12.1870 v 05:20. Dosažená přesnost prorážky nebyla přímo určena, některé prameny však uvádí hodnotu příčné odchylky 0,46 m a 0,04 m ve výšce. Při první zkušební jízdě zemřeli udušením kouřem 2 komisaři. Po instalaci odsávání byl roku 1871 provoz slavnostně zahájen, cestovní rychlost byla asi 50 km/h.



Obr. 3. Vytyčení tunelu Fréjus.

Fig. 3. Set-up of the tunnel Fréjus.

### Gotthard

V laické veřejnosti je pravděpodobně nejznámějším železniční Gotthardský tunel mezi Göschenen (1106 m n.m.) a Airolo (1142 m n.m.), dlouhý 14920 m. V letech 1869-71 došlo k události do té doby neobvyklé. Suverénní stát Švýcarsko se zavázal hájit dopravní zájmy Itálie a Německa, které naopak byly povinny finančně podporovat výstavbu Gotthardského tunelu pod Alpami. Současně byl pro trať stanoven minimální poloměr oblouků 300 m a maximální sklon 25 ‰. Pro výstavbu byla po přípravách na konci roku 1871 založena v Lucernu společnost, která o několik týdnů později jmenovala šéfinženýrem Roberta Gerwiga. Projekt však byl v průběhu výstavby upravován Wilhelmem Hellwagem. Stavbyvedoucím byl

jmenován zkušený Louis Favre (†1879 v tunelu). Už roku 1869 Ing. Otto Gelpke navrhl a zaměřil místní trigonometrickou síť s 15 body, do níž byla vložena dvojice portálových bodů. Při organizačně, finančně i technicky nesnadné výstavbě tunelu došlo k pochybnostem o možnosti úspěšného proražení díla a proto



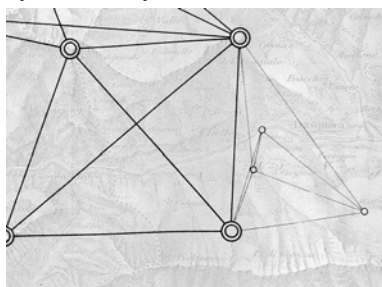
Obr. 4. Vrtací souprava.  
Fig. 4. Drill set.

v letech 1874-5 zřídil a zaměřil prof. Dr. C. Koppe novou trigonometrickou síť o 13 bodech, která však pro určení rozměru byla připojena na síť Gelpkeho. Průměrný úhlový uzávěr 24 trojúhelníků činil 2,2“, maximální dosáhl hodnoty 5“. Koppeho síť byla jako první vyrovnána (tehdy početně náročnou) metodou nejmenších čtverců (Koppe, 1874). Z úhlových uzávěrů a stranových podmínek bylo sestaveno 34 normálních rovnic. Závěry vytyčení v obou sítích byly prakticky totožné, počín Společnosti však oba geodety zneprátili. Po roce 1876 došlo k podstatným změnám projektu, při nichž nájezdy k tunelu byly zdvojkolejněny. Určité obavy o osud stavby však nadále přetrvávaly. (Za extrémní jsou považovány pracovní podmínky: teplota až 55 °C, ušní onemocnění minerů, smrt téměř 180 barabů, kteří

se na lůžku za čtvrtinu denního výdělku střídali podle směn tři, vzpoura v roce 1875 potlačena milicemi. V Airolo památku všech pracovníků připomíná pomník. Vedení stavby však muselo vedle finančních krizí řešit i problémy, související s negramotností a nízkou vzdělaností úrovní většiny pracovníků a s průsaky vod o mocnosti 3000 m<sup>3</sup>/h.) K prorážce došlo 28. 2. 1880, podélná odchylka činila podle dobových údajů 0,33 m, výšková byla zanedbatelná. Později se ukázalo, že skutečná délka tunelu je o 7,10 m kratší oproti projektu. Příčinou bylo nepřesné určení rozměru sítě. Cena stavby se vyšplhala z původních 56 na 63 milionů franků, první vlak projel 1. 1. 1882. Na příjezdech k tunelu u Wassenu a Levantina byly poprvé projektovány a postaveny unikátní spirálové tunely se stoupáním 26 % , které představovaly nový úspěch podzemního stavitelství. Vlaky tažené parními lokomotivami mohly celým úsekem projíždět stejnou rychlostí jako na volné trati. Později byly vybudovány pod Gotthardem i známé silniční tunely. Úpatní železniční tunel projektovaný pro traťovou rychlost 200 km/h má být s 57 km délkou v roce 2015 nejdelším tunelem světa.

## Simplon

Vyvrcholením alpského tunelářského umění uvedeného období je Simplonský tunel, který se stal vedle výše uvedených 3 tunelů a Brennerského tunelu součástí páté transalpské radiály. Protože byl od počátku



Obr. 5. Připojení ze sítě 1876.  
Fig. 5. Connection of the net from 1876.

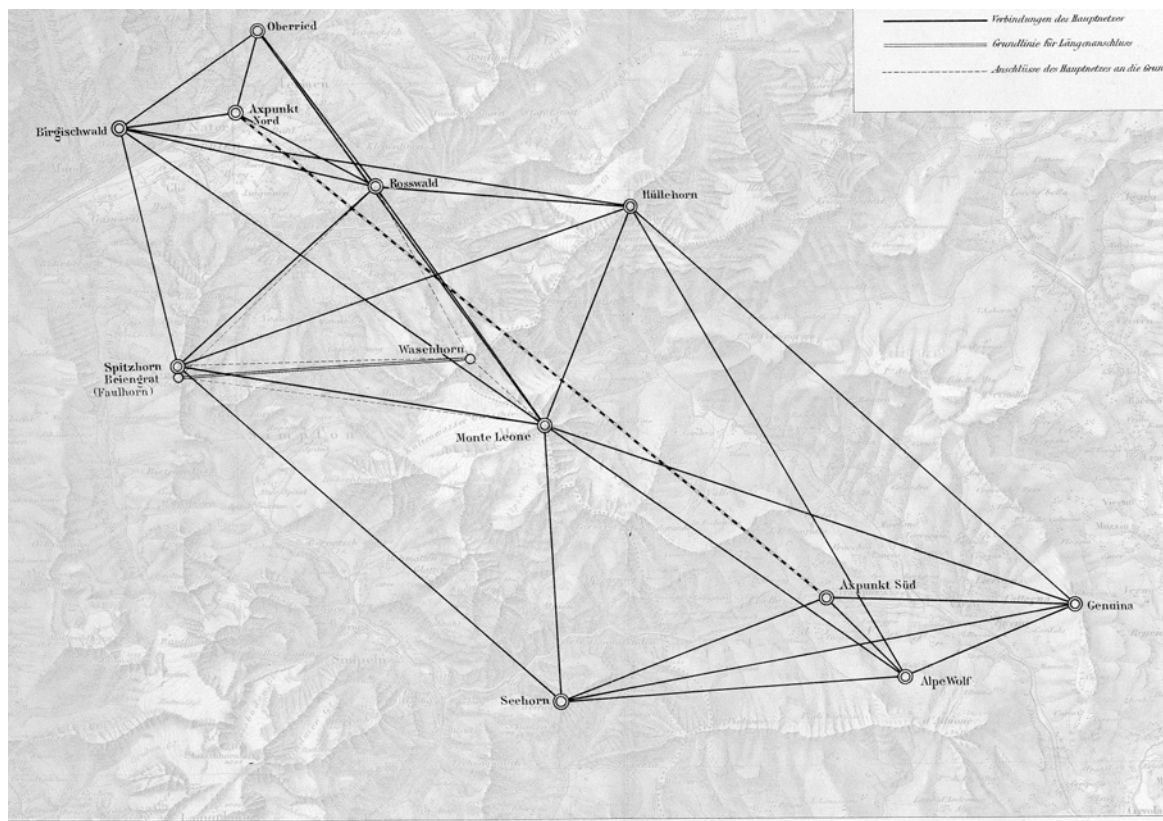


Obr. 6. Bod Monte Leone.  
Fig. 6. Point of Monte Leone.

projektován jako úpatní, tedy bez strmých příjezdových ramp, zachoval si značný význam i v současné koncepci NEAT (Neue Eisenbahn - Alpen - Transversalen). Počátky výstavby spadají již do roku 1876, kdy byla založena společnost Suisse Occidentale-Simplon pro výstavbu tunelu mezi kantonem Wallis a Itálií. (Tu 1889 nahradila společnost Compagnie de Chemin de Fer du Jura et Simplon, jejíž nástupkyní se staly roku 1912 Švýcarské spolkové dráhy SBB.) Už v roce 1876 byla vybudována a zaměřena místní trigonometrická síť o 12 bodech, určená především pro řešení projekčních variant a byla stabilizována dvojicí bodů definujících osu. (Jižní bod nesl symbolické označení TF, tj. Tété Favre.) Následovaly roky změn projektů a nedostatku kapitálu až do roku 1895, kdy byla uzavřena státní smlouva mezi Švýcarskem a Itálií, investoři pocházeli též z Francie. Nový projekt od počátku prozíravě uvažoval výstavbu dvou paralelních tunelů, zaručujících větší bezpečnost provozu nežli tehdy obvyklý jeden dvoukolejný tunel. Počátkem roku 1898 firma Brandt, Brandau & Cie. zahájila výstavbu, stavbyvedoucím byl Ing. Brandt (†1901). Ing. J. Muzzani vytyčil počáteční body osy a směr z původní sítě z roku 1876 (obr. 5). Ing. Max Rosenmund vybuvoval a zaměřil novou vytyčovací síť, o níž bude zmínka dále. Výstavba proběhla ve dvou etapách, ztěžována byla průvaly vody o teplotě až 62 °C. První tunel délky 19803 m byl ražen v letech 1898 - 1905. Přitom byla současně ražena směrová štola 2. roury, která sloužila k odvodnění. 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 (Rosenmund, 1901). Provoz byl zahájen o rok později, tedy před 100 lety, při vícedenní státní slavnosti za účasti italského krále Viktora

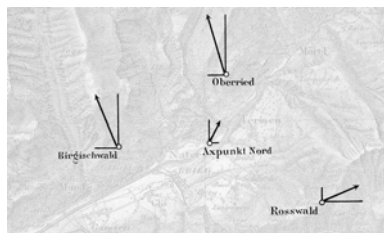
Emanuela III. Druhý tunel byl budován včetně přerušení 1. světovou válkou v letech 1912 - 1921 a dosáhl délky 19823 m, provoz byl zahájen 1922. Simplon byl po řadu let nejdelším tunelem světa. V období 1955 - 1963 byl profil tunelů zvětšen prohloubením dna při zachování provozu.

Ing. M. Rosenmund navrhl a zaměřil síť s 11 body včetně portálů (obr. 7). Předpokladem byl co nejmenší počet bodů a dosažení minimálně 3 orientací na portálových bodech. Pro představu o obtížnosti poslouží nadmořské výšky: nejnižše položený bod Oberried 1364 m, nejnívše 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. (Na obr. 6 je bod Monte Leone, Ing. Rosenmund je uprostřed.)



Obr. 7. Síť Simplonského tunelu z roku 1898.  
Fig. 7. Network of the Simplon's tunnel from 1898.

K měření byl použit teodolit Kern s přesností čtení vodorovného kruhu 4" mikrometrem, svislého kruhu 10" vernierem. Po poškození povětrností byl nahrazen teodolitem Kern se čtením obou kruhů vernieru s přesností 10". Počet opakování měření Schreiberovou metodou se lišil podle počtu směrů na stanovisku: např. 2 směry - 48 opakování, 4 směry - 24 opakování, 8 směrů - 12 opakování. Maximální sklon záměry dosáhl  $-23^{\circ}40'$ . Ve 27 trojúhelníků představoval největší sférický excés jen 0,25". Průměrný trojúhelníkový uzávěr byl 3,1", maximální 8,5", na 11 vrcholech větší než 4", což odporovalo vnitřní přesnosti charakterizované střední chybou (směrodatnou odchylkou) 1,12". Tato měření byla proto opakována se zavedením opravy ze sklonu točné osy teodolitu na základě čtení libely, ke zlepšení však nedošlo. Za příčinu velkých hodnot uzávěrů byly rozbory stanoveny značné tížnicové odchylky. Švýcarská geodetická komise hustotu hor stanovila koeficientem 2,8, Země 5,63. Opravy po výpočtech dosáhly v ose X hodnot  $(-20,5'' \text{ až } +10,1'')$ , v ose Y  $(-2,5'' \text{ až } +15,8'')$ . Ukázka je na obr. 8. Průměrný trojúhelníkový uzávěr klesl na 2,2", maximální na 5". (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 ( $38387 \pm 0,2 \text{ m}$ ), která byla součástí švýcarského stupňového měření. Celé měření, které zahrnovalo i astronomická pozorování, mohlo začít až v červnu a trvalo pouhých 41 dní (Rosenmund, 1901).



Obr. 8. Vliv tížnicových odchylek.  
Fig. 8. Influence of errors of deviation of the vertical.

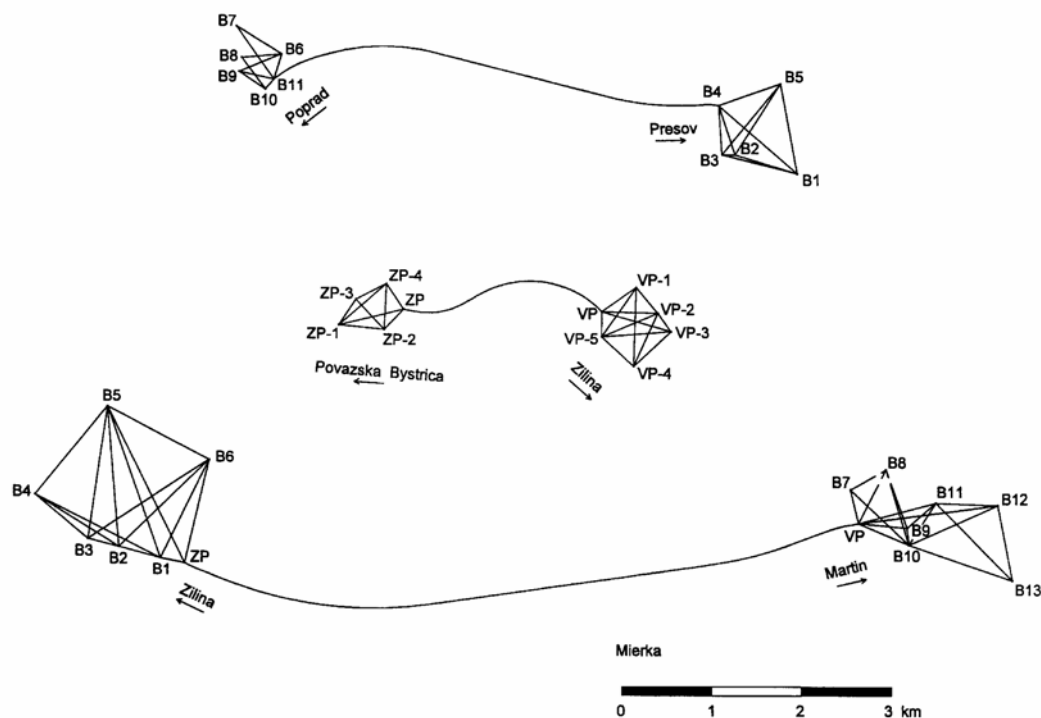
Síť byla promítnuta do roviny tečné k bodu Monte Leone, redukce směrů nepřekročily 0,26". Pro vyrovnání sítě bylo sestaveno 56 rovnic, střední chyba směru po vyrovnání byla 0,91". Výpočet proběhl s uvažováním oprav vlivu tížnicových odchylek i bez nich. Nezavedení by způsobilo zvětšení příčné odchylky prorážky o nezanedbatelných

0,26 m. 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 - 7 ‰. Relativně blízké body švýcarské přesné nivelační sítě byly pro výšková měření v tunelu nepoužitelné, protože rozdíl jejich dvojího nezávislého měření 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], 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 praxe přesných nivelací teprve vznikala. Převýšení koncových bodů bylo sice řádově jen - 20,2 m, ale v prvních 22 km dosáhlo +1324,5 m.)

### Závěr

Vývoj všech oblastí techniky včetně zeměměřictví v posledních desetiletích silně graduje. Pro projektování a výstavbu tunelů s délkou nad 2 km se obvykle pracuje v místním souřadnicovém systému, základní rovina je volena v průměrné nadmořské výšce nivelety, v případě potřeby jsou zaváděny opravy z tížnicových odchylek. Pro určení parametrů vytyčovací sítě se nyní často používá technologie globálního pozičního systému GPS ve spojení s pozemními měřeními, zejména s využitím totálních stanic.



Obr. 9. Vytyčovací sítě dálničních tunelů měřené GPS.  
Fig. 9. GPS - setting out network of highway tunnels.

Povrchová část vytyčovací sítě tunelu je představována dílčími portálovými sítěmi, případně jednoduchými sítěmi v prostorech svislých šachet. V současnosti používané technologie určení souřadnic bodů sítě dovolují dosažení polohové přesnosti  $\sigma_{x,y} = 5 - 7$  mm. Transformace do místního systému se provede pomocí 6 parametrů beze změny délkového měřítka, aby nebyla narušena homogenita a vnitřní přesnost sítě.

Po srovnání vývoje za minulé století přikládáme ukázkou moderních vytyčovacích sítí slovenských dálničních tunelů, měřených pomocí GPS s následným použitím totálních stanic (obr. 9). Obrázek postupně představuje síť Branisko (4800 m), Ovčiarско (2667 m) a Višňové (7460 m) (Staněk et al., 2005).

*Práce byla zpracována s podporou výzkumného záměru MSM 6840770001 Spolehlivost stavebních konstrukcí.*

### Literatura - References

- Hánek, P.: Z historie tunelů. In: *Sborník anotací a CD sborník přednášek 12. konference SDMG, 2005, Hustopeče, soubor 11.*
- Hánek, P.: A renaissance period front-view map depicting the Emperor Rudolph's adit. In: *Proceedings IX Congress ISM, 1994, Praha, 158-161.*
- Streit, J.: Tunely všech dob a světadílů. *Nakladatelství Synek, Praha, 1947, 128 s.*
- Koppe, C.: Bestimmung der Axe des Gotthardstunnels, *Zeitschrift für Vermessungswesen, 1874-5.*
- Rosenmund, M.: Special-Berichte über den Bau des Simplontunnels. Die Bestimmung der Richtung, der Länge und der Höhenverhältnisse. *Haller'sche Buchdruckerei, Bern, 1901, 71 s.*
- Staněk, V., Kopáček, A., Kyrinovič, P.: Skúsenosti geodeta pri výstavbe diaľničných tunelov na Slovensku. In: *Sborník ČSGK Aktuální problémy inženýrské geodézie 2005, 2005, Praha, s. 41-48.*