

Z historie tunelů

Doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.

ČVUT v Praze – fakulta stavební, katedra speciální geodézie

Resumé

Tunely patří k nejvýznamnějším stavbám všech vyspělých civilizací. Za jeden z nejstarších je považován nedochovaný asyrský Semiramidin tunel z 9. st. př. n. l., podcházející v Babylonu řeku Eufrat.

Text příspěvku se podrobněji zabývá historií a měřickým zajištěním stavby Eupalinova tunelu (délka 1,03 km, profil 1,8 x 1,8 m) pod vrchem Kastro na ostrově Samos ze 6. stol. př. n. l. Sloužil jako prostor pro výstavbu a provozní údržbu rýhy vodního přivaděče pro sídelní město. Dno rýhy šíře 0,6 m se spádem 0,4% je cca 3,5 - 8 m pod počvou tunelu. Stavba byla udržována i za vlády Říma, později upadla v zapomnění. Znovu objevena byla roku 1882. V letech 1971-1975 provedl důkladný průzkum athénský Německý archeologický ústav (DAI). Součástí bylo podrobné geodetické zaměření tunelu a studium možností a technologií původního vytyčování osy, o nichž je v příspěvku jednáno.

1 Úvod

Tunely patří k nejvýznamnějším stavbám, věrně odrážejícím estetickou, vzdělanostní, hospodářskou i technickou a organizační úroveň vyspělých civilizací. Za jeden z nejstarších je v našem kulturním okruhu považován nedochovaný asyrský Semiramidin tunel z 9. stol. př. n. l., podcházející v Babylonu řeku Eufrat. Podle písemného svědectví dějepisce Diodora Sicula (2. stol. př. n. l.) byl dlouhý 900 m (řeka měla šířku 200 m) s profilem 4 x 5 m. Spojoval královský palác s Jupiterovým chrámem. Byl stavěn – po dočasném přeložení toku řeky v období sucha – v otevřeném výkopu z cihel, spojovaných asfaltem. Podle zlomků zpráv byl profil uzavřen klenbou. Přečtnělková (nepravá) klenba byla známa v Egyptě a Orientě od nejstarších dob, valená klenba a oblouk (polokruhový, segmentový) se např. v řeckém a římském stavitelství vzácně používaly v 6. - 5. stol. př. n. l., zobecněly až v inženýrských stavbách (vodovody, kanalizace, mosty) ve 4. stol. př. n. l. a ve všech formách se rozšířily v době císařství (po roce 30 př. n. l.).

Celou historií lidstva se vine kult vody, která je nejen základní podmínkou existence člověka a rozvoje jeho společenství, ale v estetických i praktických aplikacích též významnou součástí životního stylu. Úměrně potřebě spolehlivého zásobování vodou byly budovány početné vodovody, jejichž součástí jsou mnohdy též tunely.



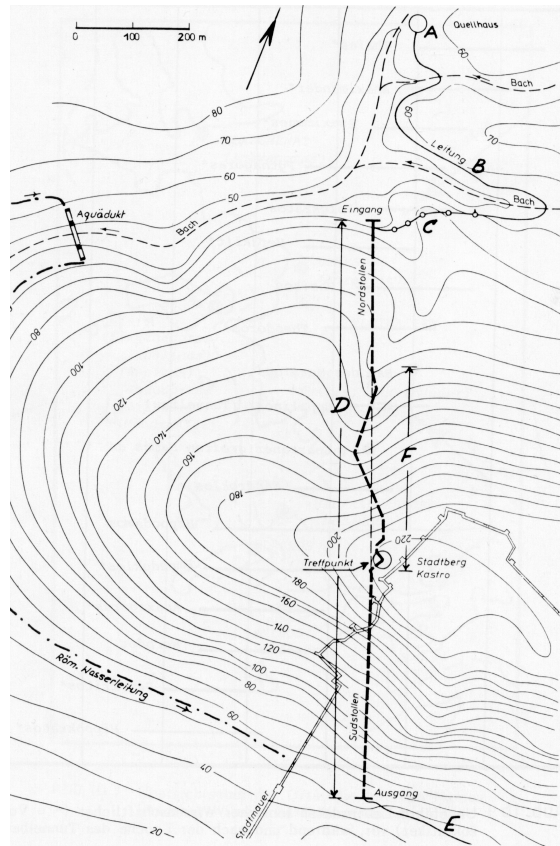
Obr. 1: Vodovod v Caesarii

Císařský Řím zásobovalo 19 aquaduktů s denní kapacitou až 1 mil. m³, nejstarší Aqua Appia pochází z roku 312 př. n. l. Napájely 1200 kašen, 11 císařských a 900 veřejných lázní. V provinciích se dochovalo 93 vodovodů. Celková délka dosáhla 400 km, z toho 2,5 km v tunelech a 64 km podpíraných soustavou arkád na pilířích výšky až 89 m. Na obr. 1 je zachycen aquadukt v Caesarii (Izrael), vystavěný za Héróda Velikého, krále Judeje (37 - 4 př. n. l.), budovatele prestižních staveb.

Z historie vodohospodářského tunelářství na našem území vzpomeňme nejstarší Rudolfovu (Belvedéřskou) štolu pod pražskou Letnou ze 16. st., technickou památku UNESCO, o níž autor referoval už dříve (konference SDMG 1992, IX. kongres ISM 1994).

2 Eupalinův tunel na ostrově Samos

Za tyrana Polykrata (573 - 522) patřil ostrov Samos (486 km²), ležící v Egejském moři u břehů Malé



Obr. 2: Vodovod na Samu

na terén budovaný hornickým způsobem ze šachet vzdálených 30 - 50 m, hlubokých až 15 m. Potom se trasa téměř pravouhle láme do přímé osy tunelu (D) a na jeho konci se již za městskými hradbami opět pravouhle odklání. V tomto úseku (E), budovaném hornicky obdobně jako část (C), bylo nyní restaurováno asi 500 m s 21 svislými šachtami. V literatuře se objevuje domněnka, že původně trasa měla vrch obcházet a teprve při výstavbě došlo ke změně projektu. Mohla být vyvolána právě



Obr. 3: Pramen



Obr. 4: Tunel

Asie, díky silnému loďstvu k významným řeckým státům a procházel obdobím hmotného a kulturního rozmachu. Uměnilovný vládce zahájil rozsáhlou výstavbu, z níž se dosud připomíná palác, Héřin chrám a hradby. (Město se dnes jmenuje po svém nejslavnějším rodákovi Pythagorion; Pythagoras, asi 580 - 500.) Pro zásobování vodou tehdy asi dvacetisícového města nechal Polykratés postavit strategicky a občansky významný vodovod. Ten zaujal známého historika Hérodota (asi 484 - 430) natolik, že jej popsal v III. knize svých devítidílných Historiés apodexis. Stavba byla udržována i za vlády Říma, kdy byl zbudován i nový vodovod, obcházející kopec Kastro (viz obr. 2 vlevo). Polykratův vodovod později upadl v zapomnění. Znovu objeven a zaměřen byl až roku 1882 archeologem E. Fabriciem. V letech 1971 - 1975 provedl důkladný průzkum athénský Německý archeologický ústav (DAI). Další text je věnován projekci, výstavbě a měřickému zajištění této technicky významné podzemní stavby.

První část vodovodu začíná v Agidaes jímáním pramene v kamenném domku (obr. 3) v nadmořské výšce zhruba 55 m. (V obr. 2, převzatém z [1], označeno A..) Pokračuje 690 m dlouhým, většinou otevřeným příkopem (B) s průměrným spádem 0,05%. Navazuje 150 m dlouhý úsek (C), s ohledem

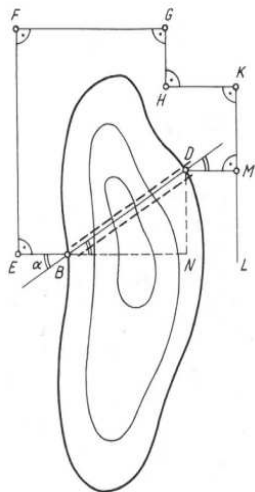
příchodem Eupalinovým, který byl (podle Hérodota jako jediný) schopen vytyčení a výstavbu tunelu uskutečnit.

Podstatnou částí stavby je protičelbou ražený tunel (D), podcházející pod vápencovým vrchem Kastro s městskými hradbami v největší hloubce zhruba 162 m. Významně zkracoval délku trasy vodovodu a současně zajišťoval jeho lepší ochranu a případnou obranu. Práce na něm řídil Eupalinos z Megary. Tunel má délku 1,03 km, profil 1,8 x 1,8 m. Sloužil jako prostor pro výstavbu a provozní údržbu rýhy vlastního vodního přivaděče. Dno rýhy šíře 0,6 m se spádem 0,4% je cca 3,5 - 8 m pod počvou tunelu (obr. 4, v blízkosti prorážky). V nejhlubších místech byla rýha ražena pro úsporu práce hornicky, místy je

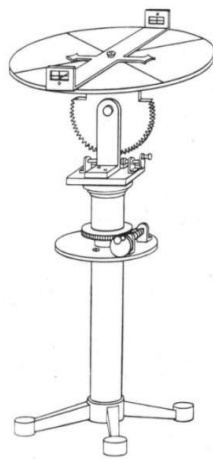
zakryta deskami. Studium možností vytyčení tunelu se intenzivně zabýval též Héřón Alexandrijský zvaný Méchanikos (1. stol. n.l.), autor fundamentální práce o geometrii a geodezii Peri dioptrás. (V tomto spise jsou uvedeny všechny přístroje a postupy, zmiňované ve 3. kapitole.)

3 Měřické zajištění

Zahloubení rýhy vodovodu 3,5 - 8 m pod počvu tunelu považují odborníci za důsledek zkrácení délky úmyslně „zvednutého“ tunelu oproti jeho rovnoběžnému vedení na východ od stávající osy v úrovni dna vlastního vodovodního přivaděče. Se zkrácením délky osy až o 140 m (14%) bylo současně dosaženo dostatečného spádu toku a zjednodušení výstavby. Za nepravděpodobnou je považována domněnka o chybě řádově +3 m při výškovém měření. Tento názor potvrzuje i stavební situace na jižním konci tunelu s výtokem.



Obr. 5: Vytyčení



Obr. 6: Dioptra

Tunel byl prokazatelně ražen protičelbou z portálů jako vodorovný – převýšení počvy portálů ve výšce 55,8 m 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 nadvým. Nelze vyloučit, že se vědomě jednalo o metodu řízení prorážky.

Severní (vtoková) větev je asi o 200 m delší nežli větev jižní, která však procházela obtížnějšími geologickými podmínkami. Navíc podle průzkumu a zaměření pracovníky DAI (snad) byla ve staničení 257 m v severní větvi vybudována svislá šachta, která mohla

postup prací urychlit tím, že se pracovalo za sebou ve dvou úsecích, z nichž jeden procházel přirozenou dutinou šířky 3 m. Nelze však vyloučit ani to, že Eupalinos stavbu převzal až po vyrazení zmíněných 200 m původně ze severu jednostranně raženého díla. Pro zajištění prorážky mohlo být po dosažení patřičné délky (v Eupalinově tunelu jsou délkové značky dosud zachovány) použito několika metod. První bylo ražení kolmých vlevo a vpravo odbočujících štol, druhou šikmý horizontální odklon jedné nebo obou větví a konečně třetí „vlnité“ vedení jedné z větví. Moderní měření, dokládající změnu směru jižní větve asi 35 m před prorážkou, dovoluje v tomto případě předpokládat použití druhé varianty. Svou roli v tom mohl hrát i odposlech klepání z protější větve. Polohová odchylka dosáhla – po korekcích směru – hodnoty cca 3,5 m.

Směrové vytyčení osy tunelu mohlo být provedeno přímo přes vrch Kastro úlohou postupného



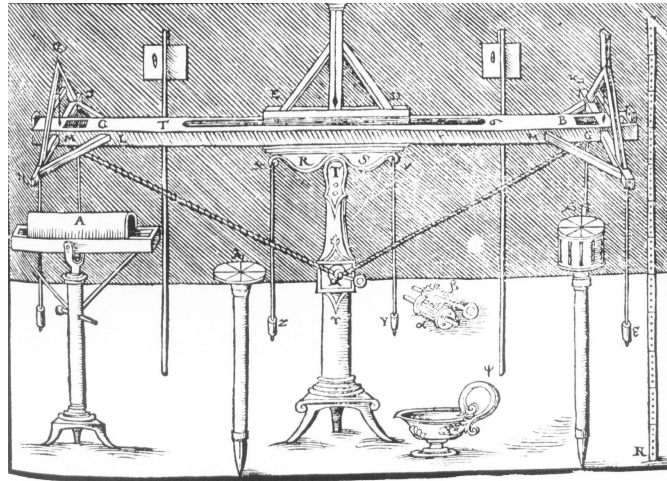
Obr. 7: Gromatik

zařazení bodu do přímky, která je dodnes obsažena v učebnicích elementární stavební geodzie. Délka osy mohla být po tomto vytyčení odvozena trigonometricky ze zkrříženého 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. Héron Alexandrijský nabídl možnost pravoúhle se lomícího polygonového pořadu, vetknutého s ohledem na terén mezi dané portálové body (B, D, obr. 5). Tím byla určena i délka osy a úhel zarážky. Pro vytyčování pravých úhlů byla k dispozici dioptra (obr. 6, viz Peri

dioptrás) nebo poněkud hrubší a méně přesná groma (obr. 7, oblíbená Římany, zavrhaná Héronem) či vytyčovací kříž.

Pro výšková měření pro překonávání terénních stupňů byly k dispozici olovnici horizontované svahoměrné latě na svislých opěrách s dělením, a pravděpodobně i Héronova vodováha (břevno se žlábkem naplněným vodou s průzory) s latí se svisle posuvnými cílovými kruhovými, barevně dělenými terči (v české literatuře byla lat' uváděna jako běžná pomůcka ještě koncem 19. století) pro

obousměrnou geometrickou nivelaci nebo rozměrnější římský chorobates (vlevo a ve středu obr. 8, ze spisu ze 16. století), podle názoru některých historiků též dioptra. Výškové měření mohlo probíhat přibližně nad osou tunelu nebo naopak kopec Kastro obcházet prakticky po vrstevnici. Není vyloučeno ani trigonometrické měření výšek, založené na podobnosti trojúhelníků.



Obr. 8 Chorobates a další pomůcky

Literatura

- [1] PETERS, K.: Wie hat der griechische Baumeister Eupalinos vor 2500 Jahren den Wasserleitungstunnel auf der Insel Samos vermessen, geplant und abgesteckt? In: JUNIUS, H. (editor): Ingenieurvermessung von der Antike bis zur Neuzeit. 3. Symposium zur Vermessungsgeschichte in Dortmund. Stuttgart, Verlag Wittwer 1987, s. 27 – 56.
- [2] STREIT, J.: Tunely všech dob a světadílů. Praha, nakladatelství Synek 1946.
- [3] KOLEKTIV: Encyklopedie antiky. Praha, Academia 1973.
- [4] HÁNEK, P.: 250 století zeměměřičtví (Data z dějin oboru). Praha, Klaudian 2000.
- [5] Internetové encyklopedie a stránky.

Zpracováno s podporou projektu CTU 0513011 (2005).