

Antické vodárenstvo (3. časť)

Jednou z najdôležitejších kapitol rímskeho vodárenstva je projektovanie a vymeriavanie budúcich akvaduktov. Prvý krok pri plánovaní spočíval vo výbere vhodného vodného zdroja. Keďže mestá boli postavené o niekoľko storočí skôr, ako sa uvažovalo o vodovodnom systéme, boli inžinieri neraz postavení pred problémy spojené so zlým umiestnením sídla (castellum), do ktorého má byť akvadukt vedený. Najväčším problémom bolo zásobovanie miest, ktoré boli postavené na kopcoch pomocou gravitačného vodovodu. Jedným z riešení bolo hľadať vodné zdroje, ktoré sú postavené vyššie a ktoré sú vzdialenejšie. Otázka teda znela, ako vysoko a ako ďaleko majú byť vzdialené vodné zdroje, a pod akým uhlom majú byť vedené akvadukty, aby mohlo byť zásobované celé mesto pitnou vodou. Ďalším dôležitým aspektom boli samozrejme finančné možnosti mesta. Po nájdení vhodného zdroja sa merala kvalita vody a výdatnosť vodného zdroja počas všetkých ročných období.

Vymeriavanie uhlov

Pri vytyčovaní trasy akvaduktov museli inžinieri vypočítať minimálne uhly po celej dĺžke vodovodu tak, aby bola voda neustále v pohybe. Takisto bol stanovený celkový uhol akvaduktu, ktorý sa počas antiky pohyboval na úrovni 0,3 % – 0,15 % (pokles 3 – 1,5 metra na 1 km). Uhol poklesu akvaduktov bol daný skôr, než začali vytyčovať trasu, a bol určený priamou úmerou medzi vzdialenosťou a výškou vodného zdroja od spotrebiska. Najmenší celkový uhol poklesu, s ktorým sa pri rímskom akvadukte stretávame, je 0,034 % (pokles 0,34 metra na 1 km) na akvadukte pre mesto Nîmes. Na niektorých miestach tohto akvaduktu sa vyskytuje klesanie na úrovni 7cm na kilometer (medzi Pont du Gard a St. Bonnet), čo bolo stanovené ako absolútne minimum klesania vody na danom akvadukte.

Najjednoduchším spôsobom, ako vybudovať antický vodovod, bolo vybudovať ho priamo, t. j. bez ohľadu na geografické danosti krajiny. Stačilo poznať výšku zdroja, výšku spotrebiska, vzdialenosť a určiť celkový uhol poklesu akvaduktu. V takom prípade má akvadukt v každom svojom úseku rovnaký sklon (napr. akvadukt Siga, Gier – okrem sifónových častí). Avšak tento spôsob budovania je veľmi nákladný a nevyskytoval sa často, pretože si vyžadoval budovanie veľkého množstva mostov a arkádii. Z toho dôvodu sa oveľa častejšie využívali pri stavbách menej nákladné kaskády, sifóny a podobné architektonické prvky, ktorými bolo možné sledovať nepravidelné kontúry krajiny. Zachovaný ostal len celkový uhol poklesu, pričom

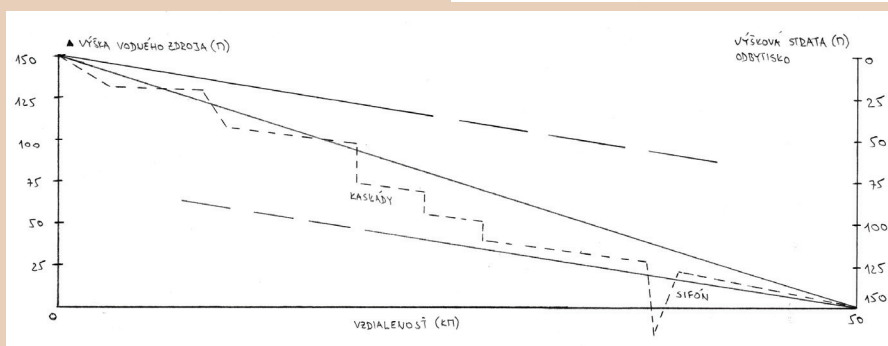
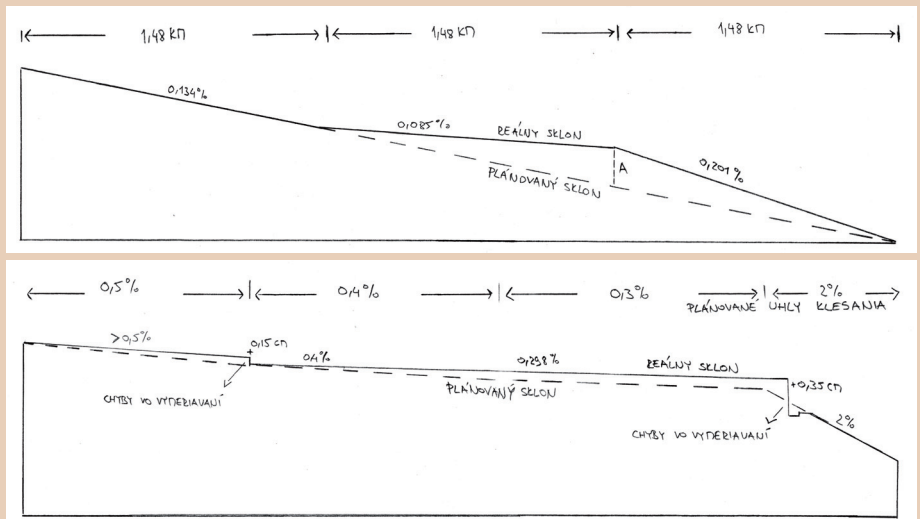
na jednotlivých úsekoch môžu byť väčšie uhlové rozdiely. Tieto rozdiely však nesmú prekročiť horný a spodný hraničný uhol poklesu (zvyčajne + 0,15 % a – 0,15 % oproti stanovenému uhlu).

Konštrukčné práce

Po vytyčení trasy vodovodu prišli na rad konštrukčné práce. Nevieime, či sa na stavbách rímskych akvaduktov podieľali civilní dodávateľia alebo armáda. Akvadukty, ktorých dĺžka nebola veľká (približne 10 km), mali len jedného dodávateľa, avšak akvadukty s väčšou dĺžkou mali niekoľko dodávateľov naraz a celý vodovod sa staval simultánne – každá skupina začala na hornom úseku svojej zverenej trasy. Ako prvé a nezávisle od ostatných sa stavali veľké inžinierske stavby – mosty, sifóny a usadzovacie nádrže a až potom bol budovaný tunel alebo arkádie akvaduktu. Dodávateľa

stavby treba chápať len v zmysle zodpovednosti za stavbu určitého úseku, resp. celého akvaduktu. V archeologickej evidencii vieme rozpoznať, či mal akvadukt rôznych dodávateľov – na základe konštrukčných alebo kumulovaných vymeriavacích chýb, ktoré sa prejavujú na stretávacích bodoch jednotlivých úsekov, a ktoré nebolo možné odstrániť v ďalšej fáze stavby (napr. akvadukt Eifel) alebo len jedného dodávateľa – na základe postupnej korekcie konštrukčnej chyby v ďalšej fáze stavby (napr. akvadukt Siga). Akvadukty boli stavané zhora nadol, čo je možné vidieť najmä na výškových korekciách tunela akvaduktu pred mostom, a nie za ním, keďže, ako sa už spomínalo vyššie, mosty boli stavané ako prvé.

Vymeriavanie a zaznačovanie trasy akvaduktu v teréne spočívalo v dvoch fázach. Najprv bol vymeraný a dôkladne zaznačený hlavný uhol poklesu



Akvadukt Siga – korekcia meracej chyby v ďalšej fáze stavby, chyba („A“) upravená na kontrolnom kilometri /jeden dodávateľ/

Akvadukt Eifel – korekcie meracích chýb na spojnicích stavebných fáz akvaduktu /viacerí dodávateľia/

Stanovenie uhlov poklesu /max., mid., min./ a možnosti vedenia akvaduktu /prerušovaná čiara/

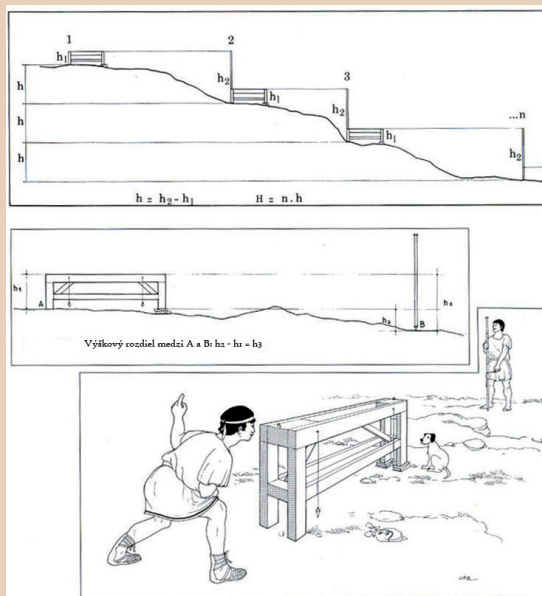
(jeho stredné hodnoty) v konštantných vzdialenostiach – predpokladá sa vzdialenosť 1,48 km = 1 rímska míľa. Po určení týchto hlavných kontrolných bodov prišlo na rad vymeriavanie v rámci daného úseku, keď sa uhol mohol prispôbiť konkrétnym vlastnostiam terénu, ale musel sa vždy vrátiť na hlavný uhol poklesu v kontrolných bodoch. Podobným spôsobom sa postupovalo pri podzemnom vymeriavaní tunelov. Kontrolnými bodmi boli vertikálne šachty, ktorých hĺbka bola po celej trase vymeraná podľa povrchových nerovností a pri zachovaní hlavného uhlu poklesu.

Geodetické nástroje

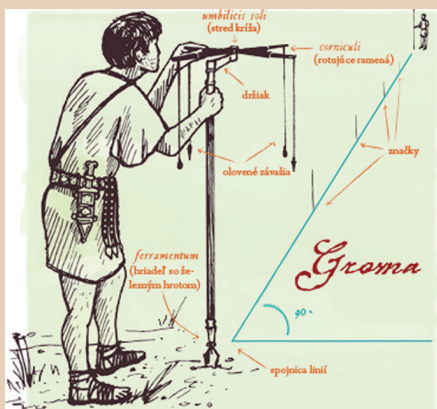
Na presné vymeranie terénu a teda aj trasy akvaduktu sa v antike používali tri hlavné geodetické nástroje – chorobates, groma a dioptra.

Prvým z nich sú chorobates, ktoré môžeme prirovnať k dnešnej vodováhe. Boli používané na vytyčovanie vodorovných uhlov. Mali tvar podlhovastej dosky s dĺžkou 6 alebo 9 metrov (20 – 30 rímskych stôp) s kratšími nohami. Uprostred dosky bola vytesaná priehlbina s konštantnými rozmermi dlhá 2 metre, ktorá bola naplnená vodou. Keď v nej bola voda v jednej rovine s okrajom dosky, mohlo sa pristúpiť k označovaniu merania. Kontrolným mechanizmom správneho merania boli umiestnené zvislé závažia na krajoch dosky s vopred určenou rýskou na potvrdenie presnej kolmičce. Chorobates mali okrem merania rovín aj funkciu na meranie vzdialenosti a na kalibrovanie ostatných bodov na trase pomocou meracích tyčí. Meracia tyč (porovnateľná s dnešnou nivelačnou latou) bola vybavená veľkým pohyblivým terčom s určenou horizontálnou čiarou pre presné pozorovanie. Na jednej strane stál človek obsluhujúci chorobates a pozeral sa v smere vyrovnanej vodnej hladiny k meracej tyči, na ktorej sa zvyšoval alebo znižoval terč s horizontálnou líniou tak, aby bol zarovnaný s vodnou hladinou na chorobates.

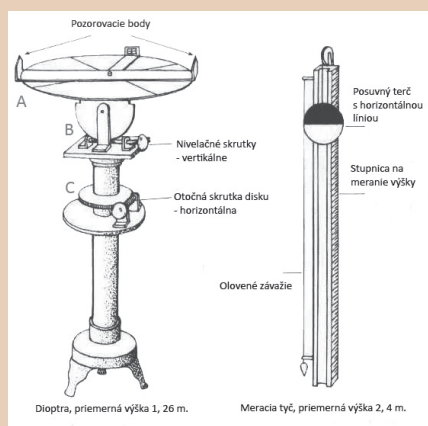
Najpoužívanejším zememeračským prístrojom v Ríme bola groma. Konštrukcia prístroja bola jednoduchá – pozostávala z dvoch drevených ramien kolmo na seba upevnených tak, aby polky ramien medzi sebou zvierali pravý uhol. Ramenami bolo možné otáčať o 360° v horizontálnej polohe. Zo spodnej strany boli ramená upev-



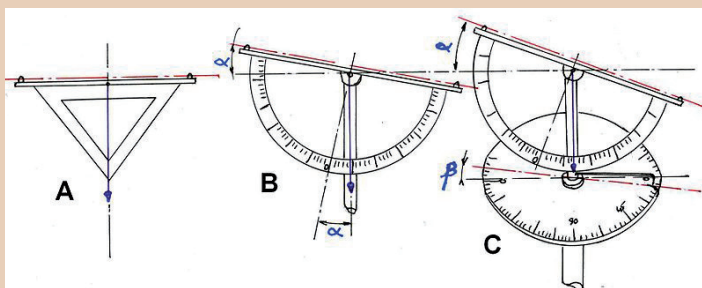
Použitie chorobates v praxi, príklady výpočtov.



Schematický nákres gromy.



Schematický nákres dioptry a meracej tyče.



Princíp merania pomocou dioptry:
A – stanovenie želaner priamky
B – určenie vertikálneho posunu
C – určenie horizontálneho posunu

nené pomocou vertikálnej tyče do zeme. Z oboch ich koncov boli v jednej výške spustené olovené závažia rovnakej hmotnosti. Hlavným účelom tohto nástroja bolo vymeriavanie pravých uhlov a priamych línií. Neslúžil však na meranie uhlov a ani na stanovenie vodorovných línií. Meranie pomocou gromy prebiehalo podobným spôsobom ako pri chorobates. Groma bola postavená na vyvýšené miesto a jedno rameno prístroja bolo nasmerované na smer trasy pre rovnú líniu. Opäť boli prítomní dvaja obsluhujúci, jeden z nich sa pohyboval s meracou tyčou po vymedzenom priestore dovtedy, kým nebola tyč v jednej priamke s tromi ramenami gromy, (dve spustené olovnice na oboch koncoch jedného ramena – severná a južná strana, a vertikálnej upevňovacej tyče). Doklady o používaní gromy sa nachádzajú aj vo forme zobrazení na náhrobných stélach zememeračov alebo ako priame nálezy s ostatnými matematickými nástrojmi v Pompejach.

Najvyspelejším antickým vymeriavacím nástrojom bola dioptra – priamy predchodca dnešného teodolitu. Zostrojil ju grécky učenc Heron z Alexandrie (okrem iného zostrojil aj meraciu tyč). Je to jediný antický zememeračský prístroj, ktorého opis sa nám zachoval priamo od autora (ostatné pochádzajú sprostredkovanne od Vitruvia alebo Frontina). Dioptra pozostávala z vertikálneho disku, na ktorom boli znázornené dve kolmo na seba idúce priamky. Disk bol upevnený na trojnožke. Dalo sa ním otáčať nielen horizontálne, ale aj vertikálne, čím bolo možné stanovenie jednotlivých uhlov. Na rozdiel od gromy išlo o univerzálnejší prístroj, keďže jeho použitie nebolo závislé od počasia (nemal žiadne pohyblivé súčasti ako závažia u gromy). Dioptrou bolo možné merať horizontálne i vertikálne rozdiely medzi dvoma bodmi, ako aj pravé uhly.

Literatúra:

- A. Trevor Hodge, Roman Aqueducts, Gerald Duckworth & Co. Ltd, London 2002
- I. Blashka Hart, The great engineers, University of California, Los Angeles 1967

Lenka Halášová
referát Vodárenského múzea