

Úloha V.P ... Praha pod vodou

4 body; průměr 1,41; řešilo 29 studentů

Vzpomeňte si na velké povodně z roku 2002. Odhadněte, kolik vody pojme pražské metro při povodních. Důležité rozměry jako velikosti souprav, počet stanic, celkovou délku tubusů metra a další si najdete na internetu. *Karel se topil.*

Hned na začátku prozradíme, že v zadání jsme vynechali jednu důležitou věc, a to tu, že metro není jen rovinný útvar, ale že jeho tunely se různě vlní a více či méně kopírují terén, pod kterým vedou. Mimo jiné není pravda třeba zažitá *urban legend*, že stanice jsou stavěny v lokálním minimu tak, aby do nich v případě výpadku proudu mohly soupravy dojet bez dodávání energie. Lokální minimum najdete např. v tunelu mezi Florencí a Vltavskou nebo Nádražím Holešovice a Kobylisy, kde metro vyjíždí směrem dolů a do následující stanice vyjíždí směrem nahoru.

Ještě než budeme pokračovat dál, řekněme si, že uvažujeme, že metro má potenciál zaplavit pouze Vltava. Jediná další řeka, která by nám to mohla porušit, je Rokytka, ale tu s dovolením zanedbáme. A dodejme, že budeme počítat se stejnou povodní, jako byla v roce 2002 (ta tehdy mimochodem zdržela začátek FYKOSu asi o dva měsíce). Nakonec, aby mělo smysl co počítat, prohlásme, že žádná z ochranných opatření proti zaplavení nefungují. Další zjednodušení budou následovat v textu.

Údaje o stanicích a jiných parametrech týkajících se metra budeme čerpat z <http://www.metroweb.cz>.

Udělejme nejdřív jednoduchý odhad za jeden bod. Celková délka tras metra je 59 100 m, většina tunelů je jednokolejných o průměru 5,1 m (tj. celková délka tunelů je 118 200 m), metro má 57 stanic, přičemž v každé z nich je střední tunel o délce 250 m (průměrná délka stanice dle Metrowebu) o průměru 7,8 m. Z průměrné stanice ve hloubce 20 m se dostaneme jedním eskalátorem se sklonem 30° a průřezem ve tvaru elipsy s osami 7,8 m a 9,5 m o délce 40 m. Spočteme-li tedy objem těchto částí, vyjde nám, že do metra se vejde asi $3,23 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vody, přičemž 75 % z toho tvoří voda v traťových tunelech, 21 % voda ve stanicích a 4 % voda v eskalátorech. Nedá se ale tento odhad nějak zpřesnit? A není náhodou úplně špatně?

První oprava by mohla být na počet zaplavených souprav metra, přičemž lidi necháme včas utéct. Průměrná souprava¹ váží 160 t, jsou z hliníku a celkem jich je ve špičce na trase až 95. To znamená, že celkový objem, který z tunelů vytlačí, je asi $5\,600 \text{ m}^3$, což jsou asi 2 promile spočtené hodnoty. Nemá smysl se tedy zabývat zpřesněními tohoto typu (např. objem technologických zařízení, kolejníc, pražců a dalších).

Z podmínek uvedených v prvních dvou odstavcích ovšem vyplývá jedna věc. Metro nikdy nebude zaplaveno celé. Důležitější tedy než říct, kolik vody vytlačí průměrná souprava, je zjistit, kam až v tunelech voda vystoupá. Z údajů o povodních na Metrowebu víme, že voda dosáhla nadmořské výšky 190 m. Ve skutečnosti se s polohou výška hladiny měnila, protože ač vysoká, voda stále byla tekoucí. Nicméně na toto nemysleme. Projděme si tedy úseky metra, kde se postup vody zastavil. Na lince A jsou to úseky Dejvická – Hradčanská a Muzeum – Náměstí míru, na lince B Radlická – Smíchovské nádraží a Hloubětín – Rajská zahrada a na lince C Kobylisy – Nádraží Holešovice a Florenc – Hlavní nádraží. Podrobně úseky vidíme rozepsané v tabulce 1. Zde se budeme muset dopustit jednoho prohřešku, a to toho, že prohlásíme úseky mezi stanicemi za přímé, abychom nemuseli hledat přesné příčné řezy každou trasou v inkriminované části. Neplatí to zejména na trase C mezi Nádražím Holešovice a Kobylisy, kde

¹ V pražském metru jezdí dva základní typy souprav. České soupravy M1 na lince C a rekonstruované sovětské stroje 81-71 na linkách A a B. Fanoušci metra by nás asi za toto rozdělení nepochválili, ale pro orientaci stačí.

Tabulka 1: Přejížděcí úseky metra. Výšky se vztahují ke středu stanice, délky úseků jsou změřeny na <http://mapy.cz>.

linka	stanice	nadmořská výška		úsek m	zatopeno	
		nást. m n. m.	výstup m n. m.		délka m	stanice
A	Dejvická	208	219			
A	Hradčanská	185	228	920	200	0
A	Muzeum	182	216	2 800	2 800	4
A	Náměstí Míru	199	251	750	350	1
B	Radlická	238	248			
B	Smíchovské nádraží	182	192	1 570	220	0
B	Hloubětín	188	214	12 590	12 590	13
B	Rajská zahrada	248	248	1 680	60	1
C	Kobylisy	251	283			
C	Nádraží Holešovice	183	190	2 810	290	0
C	Florenc	180	189	2 120	2 120	2
C	Hlavní nádraží	196	203	890	650	1
Celkem					19 280	22

metro nejdříve podchází Vltavu a pak až stoupá. Vzhledem k délce mezistaničního úseku to ale prohlásíme za zanedbatelné, protože řeka je od stanice nedaleko. Tento předpoklad využijeme k určení poměrné části zatopeného tunelu (viz tabulku 1). Tímto jsme vyřešili tunely, zatopeno bude 19 300 m metra.

Dále musíme zohlednit zatopené stanice. Tím, že jsme některé úseky nechali suché, nám ubyla podstatná část stanic ze seznamu. Takto jich bude zatopeno jen 22. Opět uvažujeme stejný odhad na staniční středový tunel. U eskalátorů musíme zohlednit jinou průměrnou hloubku stanic (ta je nyní 30 m, protože stanice v centru města jsou z těch hlubších) a dříve uvedenou výšku hladiny Vltavy – ta hloubku redukuje zpátky na 20 m.

Pokud budeme počítat se stejnými průřezy tunelů, *odhad za jeden bod* zlepšíme následujícím způsobem: Celkem je zatopeno 38 600 m traťových tunelů a 22 stanic, přičemž každou z nich tvoří 180 m dlouhý tunel (zahrneme jen zaplavené stanice) a 40 m dlouhý eskalátor. Dohromady se do nich vejde $1,03 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vody. Poměry zůstávají podobné jako v prvním případě (77 % tunely, 18 % stanice a 5 % eskalátory). To je už jen třetinová hodnota oproti původnímu výsledku.

Dál už pokračovat nebudeme, ačkoliv je ještě pořád plno míst, kde bychom mohli najít nějaké věci ke zlepšení, například započítat spojovací tunely mezi trasami B a C, pořádně zohlednit obratiště a odstavné koleje jakožto i jiné další technologické prostory. Například u stanice Malostranská existuje „falešná“ stanice metra, což je starý atomový kryt z padesátých let uspořádáním nijak se nelišící od jiné průměrné stanice – ale od povodní v roce 2002 nebyl odčerpán a je zaplaven (viz http://agatha.cz/html/pruzkumy/praha/k_vlady/index.php). Někdo by mohl namítat, že jsme nezohlednili to, že mezi některými nezatopenými stanicemi tunel tvoří lokální minimum – ale pokud voda nateče odspodu, do tohoto minima se nedostane. Ani zmíněná Rokytkta metro nezaplaví, protože v oblasti, kde teče, se o to postará Vltava a ona

sama nebude dosahovat takového průtoku, aby zvedla hladinu stoleté vody nad oněch 190 m. Na druhou stranu, metro nevede jen pod zemí, ale i v mostech (skrz Nuselský, u Kačerova, na obou koncích linky B, linka A má pro změnu povrchovou stanici Depo Hostivař), a tam by se žádná voda neudržela.

Nakonec jako zajímavost (opět z Metrowebu) zmiňme, že po povodních v srpnu 2002 v polovině odčerpávání vody ze stanic hasiči odhadovali, že celkem jí do metra nateklo $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Tehdy bylo zatopeno méně stanic (17), protože některé tlakové uzávěry se podařilo zabezpečit – to by znamenalo, že by náš odhad byl asi o 20 % špatně, ale když uvážíme třeba to, že jsme např. nijak nezohlednili přestupní tunely na Můstku a Florenci nebo existenci více výstupních eskalátorů a pravděpodobně i podstatně větší technické prostory, než umíme zjistit, můžeme náš odhad prohlásit za dobrý.

Aleš Podolník
ales@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.