

Úloha IX.3 ... Oranžové silnice

10 bodů

Výfuček jel po dálnici a vzpomínal na svou návštěvu Kataru, kde mají některé silnice natřené modrou barvou. Začal přemýšlet nad tím, že kdyby byly všechny silnice v České republice pro změnu oranžové, hned by bylo na tom světě o něco veseleji (a chladněji).

Pomozte mu spočítat, kolik barvy by bylo na provedení takové radikální změny potřeba? A o kolik by se po natření mohlo snížit celkové množství tepla pohlcené silnicemi v typický slunečný letní den?

Nezapomeňte uvést zdroje, ze kterých jste čerpali, a odůvodnit své odhady.

V České republice najdeme opravdu hodně silnic – od širokých dálnic až po úzké městské uličky. Silnice se dělí do několika kategorií podle toho, jak důležité jsou a kolik aut po nich jezdí.

Podle údajů¹ máme přibližně 1 500 km dálnic, 5 700 km silnic I. třídy, 14 700 km silnic II. třídy, 34 000 km silnic III. třídy a k tomu musíme ještě připočítat tzv. místní komunikace, což jsou třeba ulice ve městech a obcích. Těch je odhadem asi 75 000 km².

Šířka silnic se liší podle typu komunikace.³ Dálnice mají obvykle šířku asi 28 m, silnice I. třídy bývají široké přibližně 12 m, silnice II. a III. třídy mají kolem 8 m a místní komunikace mívají přibližně 4 m. Díky tomu si můžeme spočítat, jak velkou plochu všechny tyto silnice dohromady zabírají. Plochu získáme vynásobením délky a šířky, přičemž délku nejprve musíme převést na metry.

$$S_{\text{dálnice}} = 1\,500\,000\text{ m} \cdot 28\text{ m} = 42\,000\,000\text{ m}^2$$

$$S_{\text{I. třída}} = 5\,700\,000\text{ m} \cdot 12\text{ m} = 68\,400\,000\text{ m}^2$$

$$S_{\text{II. třída}} = 14\,700\,000\text{ m} \cdot 8\text{ m} = 117\,600\,000\text{ m}^2$$

$$S_{\text{III. třída}} = 34\,000\,000\text{ m} \cdot 8\text{ m} = 272\,000\,000\text{ m}^2$$

$$S_{\text{místní komunikace}} = 75\,000\,000\text{ m} \cdot 4\text{ m} = 300\,000\,000\text{ m}^2$$

Po sečtení ploch všech druhů silnic v ČR dostaneme jejich celkovou plochu $S = 800\,000\,000\text{ m}^2 \doteq 800\text{ km}^2$.

Silnice se také pravidelně natírají speciální barvou, která pomáhá řidičům vidět značení. Jedním z takových typů je akrylátová barva TechnoNIKOL AK se spotřebou asi $0,4\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Množství barvy potřebné na natření všech silnic tak je

$$m = 800\,000\,000\text{ m}^2 \cdot 0,4\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2} = 320\,000\,000\text{ kg}.$$

A to mluvíme jen o jedné vrstvě barvy – kdyby se nátěr dělal pořádně, muselo by jí být ještě víc.

V létě se silnice hodně zahřívají, protože pohlcují sluneční paprsky. Jak moc se zahřejí, záleží na tzv. albedu.⁴

¹<https://www.rsd.cz/web/guest/silnice-a-dalnice/delky-a-dalsi-data-komunikaci>

²<https://statistikaamy.csu.gov.cz/kolik-je-na-zemi-cest>

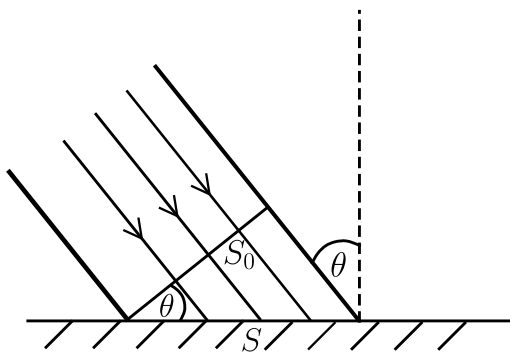
³<https://www.vovcr.cz/odz/tech/574/page11.html>

⁴Albedo je číslo nabývající hodnoty od nuly do jedné, které říká, kolik slunečního světla povrch odráží a kolik ho pohltí. Čím je číslo blíže k 1, tím víc světla se odráží – jako třeba u sněhu. Naopak tmavé povrchy, jako asfalt, mají albedo nízké, světlo skoro neodrážejí a víc se zahřívají.

Například běžný tmavý asfalt má albedo přibližně 0,05, takže pohltí 95 % sluneční energie. Když ale použijeme světlejší oranžovou barvu, která má albedo kolem 0,3, pohltí se jen 70 % energie.⁵ (Zdroj uvádí, že albedo barevných nátěrů se typicky pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,3. Jelikož máme nejraději hodně zářivou oranžovou, tak uvažujeme albedo 0,3.) Rozdíl albeda natřené a nenatřené silnice tedy je

$$\Delta A = 0,25.$$

K určení množství sluneční energie, které dopadá na silnice, můžeme použít solární konstantu $I_0 = 1370 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, která udává jaký výkon slunečního záření dopadá na 1 m^2 . Tato konstanta sice nezapočítává pohlcování záření atmosférou, ale to je vzhledem k ostatním nepřesnostem výpočtu zanedbatelná chyba. Musíme si však uvědomit, že uvedená intenzita platí pro kolmý dopad. Pokud záření dopadá šikmo je intenzita dopadající na silnici menší, protože plocha, na kterou záření dopadne, je nyní větší. Konkrétně $S = S_0 / \cos \theta$ (viz obrázek 1) a tedy $I = I_0 \cos \theta$, kde I je skutečná intenzita dopadající na povrch silnice.



Obrázek 1: Šikmý dopad záření na vozovku

Maximální výška Slunce nad obzorem je v typický letní den (31. července) 58° .⁶ Pro odhad střední intenzity použijeme polovinu tohoto úhlu, tedy 29° .⁷ Poté máme $\theta = 90^\circ - 29^\circ = 61^\circ$ a dopadající intenzita tedy je

$$I = I_0 \cos \theta = 670 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

V letních měsících svítí slunce v ČR asi $t = 7,5 \text{ h}$ za den⁸ a můžeme předpokládat, že jinak je sluneční výkon zanedbatelný. Energie pohlčená silnicemi za den tedy je

$$E = (1 - A)IST$$

a rozdíl v pohlčené energii mezi oranžovou a asfaltovou silnicí je

$$\Delta E = \Delta AIST = 3,6 \cdot 10^{15} \text{ J}.$$

⁵https://dialogue.earth/en/climate/2824-paint-it-white/?utm_source

⁶<https://heavens-above.com/sun.aspx>

⁷Tento výpočet nefunguje přesně, ale pro účel odhadu je dostatečný.

⁸<https://infoviz.cz/graphic.php?ID=358&lang=CZ>

To nám ukazuje, že i taková zdánlivá maličkost, jako je barva silnice, může značně ovlivnit, kolik tepla se ve městě během léta udrží.

Viktor Materna

viktor.materna@vyfuk.org

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

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