

24. ročník, úloha VI. P ... nošení vody (5 bodů; průměr 2,00; řešilo 6 studentů)

V létě bylo zakázáno vynášet z bazénů vodu v bermudách. Kolik ale může člověk vynést vody ve vlasech? Předpokládejme, že vlasů je větší počet (z bazénu nevnáší vodu děd Vševěd).

Komusi to viselo ve vlasech po návštěvě archivu

Vlasy, podobně jako ony zakázané bermudy, jsou složeny z mnoha jednotlivých vláken, která na sebe váží vodu. Způsoby, kterými k tomu dochází, jsou čtyři. Diskutujme tedy, jak moc jsou efektivní a jak se podílejí na celkovém množství navázané vody. Předtím ale připomeňme nějaké základní vlastnosti pokrývky hlavy. Průměr vlasu je asi $100\ \mu\text{m}$, jeho hustota objemová asi $1,3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, hustota pokrytí hlavy asi $200\ \text{cm}^{-2}$ a plocha vlasy pokryté části hlavy asi $500\ \text{cm}^2$. To dává dohromady asi 100000 vlasů na hlavě. Při sestřihu na 1 cm je hmotnost vlasů asi 10 g.

a) Vsáknutí vody do vlákna

Vlákno vlasu je tvořeno ze tří částí. Svrchní šupinatá *kutikula* chrání vnitřní vrstvu (*kortex*), ve které u tlustších vlasů (resp. vousů) je skryta dřev (medula). Voda se zachycuje především ve vláknitém kortexu, kutikula naopak vodu odpuzuje, protože pokud je vlas příliš navlhký, vlákna nabobtnají a trhají se. Kolik vlas absorbuje, najdeme na internetu, většina zdrojů se shoduje na tom, že je to mezi 20 až 30 procenty hmotnosti vlasu, podle jeho druhu. Vzpomeneme-li si na text ze začátku, zjistíme, že pokrývka hlavy nasaje asi 3 ml vody na centimetr délky.

b) Záchyt vody mezi vlákny

Tento odstavec se týká především dlouhých vlasů, protože k tomu, aby se mohla voda zachytit mezi vlákna, musejí být vlasy zplihlé. Představme si, že vlasy reprezentované rovnými válci jsou naskládány těsně vedle sebe jako klády dřeva. Nyní si jistě vzpomínáte na úlohu Dr. Nec ze třetí série, kdy bylo potřeba vypočítat koeficient pro přepočítání mezi prostorovým metrem dřeva a plnometrem. Nyní potřebujeme zjistit, jaké množství vzduchu je mezi našimi kládami. Kdyby vlasy byly jen vyrovnané vedle sebe v hexagonální mříži jako ve zmíněné úloze dřeva, byl by převodní vztah mezi objemem vlasů (V_{v1}) a vzduchu (V_{vz}) následující

$$V_{vz} = V_{v1} \frac{1 - \nu}{\nu}.$$

Pro $\nu = 0,9^1$ budeme objem vlasů násobit číslem $\frac{1}{9}$. Vlasy do mezer mezi sebou zachytí tolik vody, co je devítina jejich objemu. Přepočteno na centimetr délky (s tím, že minimální délka, pro kterou to platí, je asi 5 cm) to činí 0,9 ml. Pokud uvážíme to, že vlasy odděluje vrstva vody tenká 10 % jejich průměru, musíme toto číslo zdvojnásobit.

c) Záchyt na povrchu

Na povrchu vlasů se nějaká voda zachytí vždy. Povrch se však může dost lišit. Pro lidi s dlouhými vlasy je přibližně roven ploše, kterou zabere jejich mokrá skalp. To je přibližně součet zarostlé plochy hlavy ($500\ \text{cm}^2$) a přečnívající zbytek. Ten na šířku zabere asi tolik, co hlava (15 cm) a na délku stejně jako nejdelší vlas. Tato část by se měla násobit dvěma,

¹⁾ Pro připomenutí: Koeficient ν byl spočten pro jedno konkrétní uspořádání – obdélníkový průřez. Byl však uveden obecný vztah, do kterého jsme dosadili. Mokrá kštice má totiž v prvním přiblížení tvar tenkého kvádro o rozměrech *délka vlasu* × *polovina obvodu hlavy* × *cca 4 mm*, což dopočteme z údajů v úvodu řešení. Odhad dobře platí i pro krátké vlasy (které nestojí), protože si tento kvádr můžeme představit jako kosý, což na objem nemá vliv. Je důležité, že je tenký, protože se příliš neprojeví, že ve skutečnosti kopíruje povrch hlavy.

protože i mezi kůží zad a vlasy se určitě něco zachytí. Osoba se třiceticentimetrovými vlasy tedy má aktivní plochu hlavy asi 1400 cm^2 . Jaká je tloušťka vrstvy vody? Malá. Vlasy jsou mastné a vodu spíše odpuzují, takže se na nich brzo začnou tvořit kapičky nebo přímo celé proudy, které stekou dřív, než vyjdeme z bazénu – zůstane na nich nejvýše několik mikrometrů vody, které (pokud by byly vlasy oddělené) rychle vyschnou. Na celé hlavě je tak nejvýše mililitr vody.

d) Záchyt v prostoru mezi kořínky

Pravděpodobně největší zásluhu na vynášení vody z bazénu mají prostory mezi kořínky vlasů. Kdybychom se snažili jakkoliv „uplátat“ vlasy tak, aby mezi nimi byly co nejmenší mezery, vždy nějaká malá (ale ne nezanedbatelná) zůstane právě u kořínku. Protože hlavu namáčíme rovnoměrně, nemá tato voda téměř kudy utéci, jen malými mezerami (viz výše) mezi vlákny, po jejich povrchu nebo bokem zůstane zachycená poměrně dlouhou dobu. Tyto mezírky jsou soustředěny u povrchu hlavy a dosahují několika milimetrů délky (můžeme si je představit jako zužující se a stáječící se kužely – protože dál už postupně přechází v mezivláknenný prostor. Takže takto se na hlavě zachytí okolo 50–100 ml vody. Lidé s krátkými vlasy se budou blížit nižší hodnotě.

Největší vliv na to, kolik vody vyneseme, má ovšem rychlost, kterou vyběhneme z bazénu ven. Ve vodě jsou totiž vlasy rozptýlené všude možné a při vynoření s sebou stáhnou velké množství vody, která ale rychle odteče, protože se na nich nemá jak zachytit. Vlasy tak nejsou naskládané těsně na sebe, ale může se stát, že máte na hlavě víc vody než vlasů. Tím se změní koeficient ze druhého bodu i několikanásobně, stejně tak i množství vody ve vlasech.

Sečteme-li všechny vlivy, které jsme diskutovali, odhadujeme, že vyneseme přibližně 5 ml vody na centimetr délky vlasů a průměrně asi 75 ml vody vždy. Autor tohoto řešení by tedy na vlasech z bazénu vynesl naráz asi 60 ml vody, zatímco někdo s hřívou pod lopatky by připravil plovárnu asi o 300 ml vody. Je to reálné? Udělali jsme menší experiment a dolní hodnota se potvrdila, protože jsme naměřili asi $50 \pm 10 \text{ ml}$. Jak je to ve skutečnosti s delšími vlasy, nevíme. Nicméně hodnota bude spíš vyšší než odhadnutá, a proto je srovnání s bermudovými plavkami na místě.

Literatura

Pokud si chcete počíst ve zdrojích, z nichž jsme čerpali, jsou to především tyto tituly:

[1] Clarence R. Robbins: Chemical and physical behavior of human hair (najdete na Google Books),

[2] C. Barba et al.: Water absorption/desorption of human hair and nails, *Thermochimica Acta* 2010.

Aleš Podolník
ales@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky

UK MFF, 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/>.