

### Úloha III.E . . . hydrogel

8 bodů; průměr 6,61; řešilo 57 studentů

Změřte závislost hmotnosti hydrogelové kuličky na době ponoření do vody a na koncentraci soli rozpuštěné ve vodě.

Poznámka *Hydrogel vám má přijít společně se zadáním série. Pokud jste v tomto ročníku ještě žádnou úlohu neřešili, ale chcete hydrogel také dostat, ozvěte se nám.*

*Karel byl na konferenci GIREP-EPEC 2015, kde se mluvilo o použití hydrogelu ve výuce.*

#### Teorie

Jako hydrogely se souhrnně označují látky, které mají tu vlastnost, že dokáží pohlcovat velké množství vody, aniž by se samy ve vodě rozpouštěly. Většinou se jedná o síť řetězců různých polymerů. V tomto krátkém textu se nebudeme zabývat přesnými chemicko-fyzikálními důvody pohlcování molekul vody, neboť by to bylo příliš komplikované a moc nesouvisející s fyzikou, ale spíše s chemií. Jen bychom zde poznamenali, že se nejedná jen o pronikání vody membránou způsobené osmotickým tlakem. Problematika je daleko složitější, neboť molekuly hydrogelu na sebe přímo vážou molekuly vody.

V tomto experimentu změříme, kolik vody dokáže jeden určitý typ hydrogelu (ten, který vám přišel poštou společně se zadáním), sloužící ke zvýšení trvanlivosti květin ve váze, absorbovat.

#### Návrh experimentu

V rámci tohoto experimentu budeme zkoumat hmotnost hydrogelové kuličky v závislosti na době ponoření ve vodě a na koncentraci kuchyňské soli ve vodě rozpuštěné. Nejprve si však musíme ujasnit, jaké další okolnosti by mohly mít na náš experiment vliv.

V prvé řadě bychom si měli nejprve u všech používaných kuliček zkontrolovat, zda se jedná opravdu o koule se stejným poloměrem. Toto je velmi špatně realizovatelné kvůli malému počátečnímu rozměru kuliček, proto budeme předpokládat, že tomu tak je.

Jako další si musíme uvědomit, že nasákavost hydrogelu může záviset na teplotě použité vody. Jelikož v zadání úlohy není stanoveno, že máme měřit i závislost na teplotě vody, stačí nám, když si pohlídáme, aby měla použitá voda při všech experimentech stejnou teplotu. To proto, abychom mohli tyto experimenty následně navzájem porovnávat. Vzhledem k poměrně dlouhému časovému intervalu, po který bude naše měření probíhat (což bude diskutováno dále), je rozumné zvolit si tuto teplotu jako teplotu v místnosti, ve které měříme.

Dále může nasákavost hydrogelu záviset na ostatních látkách rozpuštěných v použité vodě. Jediná možnost, jak tento efekt odstranit, by bylo použití destilované vody. Jelikož by se tím ale experiment značně zkomplikoval, destilovanou vodu používat nebudeme.

Jako poslední si musíme dát pozor na to, aby kuličky byly celou dobu plně ponořeny ve vodě. Na obalu produktu se píše, že máme použít minimálně 400 g vody na celý sáček, pro jistotu použijeme alespoň dvakrát větší poměr vody (závisí samozřejmě na rozměrech použité nádoby). Také bychom měli zajistit, aby se kuličky ani po nárůstu objemu nedotýkaly samy sebe či stěn – styk s dnem nádoby nijak snadno neodstraníme.

Žádné jiné okolnosti už by do našeho měření neměly zanášet systematické chyby. Nyní bychom se tedy měli zamyslet nad počtem měření, které chceme provádět.

Jako poslední věc si musíme stanovit, po jak dlouhý časový úsek budeme chtít měřit. Na tomto místě je vhodné podívat se na návod k použití našeho hydrogelu (návod je napsán na

obalu v jednoduché angličtině nebo je k nalezení na internetu). V tomto návodu se píše, že máme před použitím kuličky hydrogelu namočit na 4 hodiny do vody a ty za tuto dobu zvětší svůj objem. Znamená to tedy, že bychom měli očekávat, že maximálního objemu absorbované vody se dosáhne právě za tyto 4 hodiny. Měli bychom ovšem měřit o něco déle, neboť těmto nepřesným návodům nemůžeme bezmezně věřit a taky rozpustěná sůl může tuto dobu značně ovlivnit.

### Naměřená data

Experiment jsme prováděli s vodou z kohoutku dodávané z Pražské vodárny (složení kohoutkové vody se v různých městech může značně lišit) o teplotě 22 °C, která byla stejná jako teplota okolního vzduchu. Hmotnostní koncentrace solných roztoků v jednotlivých nádobách byly 0 %, 1 %, 2 %, 4 %, 7 %, 11 %, 20 % a 26 %, používali jsme kuchyňskou sůl bez přidaných látek. Vložili jsme do každé nádoby 20 kuliček a pomocí vah jsme ve stanovených intervalech měřili jejich hmotnost (vždy hmotnost všech 20 kuliček dohromady).

Naměřená data jsou zanesena v tabulce 1.

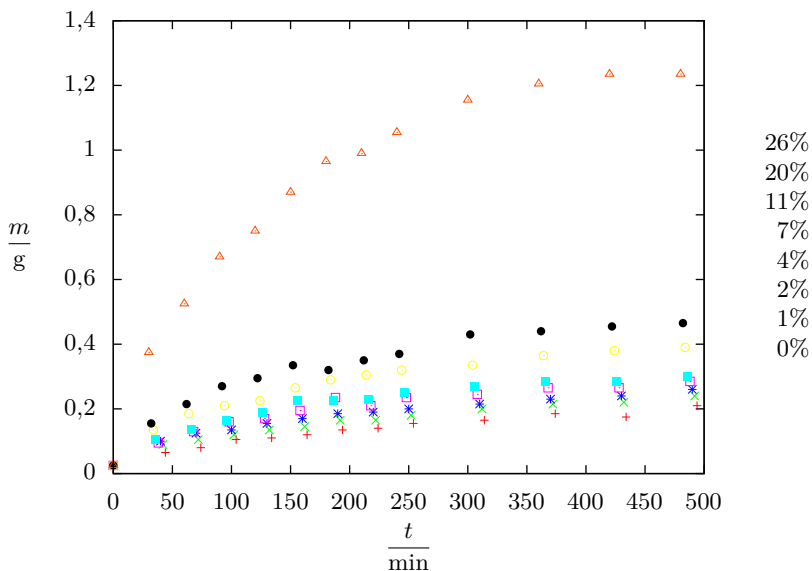
Tabulka 1: Naměřené hodnoty hmotnosti kuliček v závislosti na čase a koncentraci soli v příslušném roztoku

$\frac{t}{\text{min}}$	hmotnost 20 kuliček podle koncentrace solného roztoku [g]							
	26 %	20 %	11 %	7 %	4 %	2 %	1 %	0 %
30	1,3	1,8	2,0	1,9	2,1	2,7	3,1	7,5
60	1,6	2,1	2,5	2,6	2,7	3,7	4,3	10,5
90	2,1	2,4	2,7	3,2	3,3	4,2	5,4	13,4
120	2,2	2,7	3,1	3,4	3,8	4,5	5,9	15,0
150	2,4	2,9	3,4	3,9	4,5	5,3	6,7	17,4
180	2,7	3,3	3,7	4,7	4,5	5,8	6,4	19,3
210	2,8	3,3	3,8	4,2	4,6	6,1	7,0	19,8
240	3,1	3,6	4,0	4,7	5,0	6,4	7,4	21,1
300	3,3	4,0	4,3	4,9	5,4	6,7	8,6	23,1
360	3,7	4,3	4,6	5,3	5,7	7,3	8,8	24,1
420	3,5	4,4	4,8	5,3	5,7	7,6	9,1	24,7
480	4,2	4,8	5,2	5,7	6,0	7,8	9,3	24,7
1 020	5,1	5,5	5,9	6,5	6,7	8,1	10,3	23,6
1 460	5,7	5,9	6,4	6,3	6,9	9,0	10,2	21,7
1 880	5,8	6,3	6,4	6,4	6,9	8,4	10,3	20,2
2 420	6,0	6,0	6,4	6,3	6,9	9,1	10,3	19,6
2 840	6,2	6,2	6,6	6,3	7,0	9,1	10,3	19,4
3 380	6,1	5,8	6,1	6,6	7,0	8,6	10,6	18,9

Váhy měří s přesností na 0,1 g. Další faktor, který ovlivňoval měření na vahách je to, že při umísťování kuliček na váhy, jsme na váhy umístili i trochu vody, která následně zvyšovala číslo, které váhy ukázaly. Těto systematické chybě se bohužel nedalo vyhnout, nicméně šlo maximálně o 0,2 g (stanoveno odhadem založeném na změřením váhy vody, která na vahách

zbyla po odstranění kuliček, která jen velmi zřídka vystoupala na hodnotu 0,1 g, ale pro jistotu uvádíme větší odhad 0,2 g). Horní odhad chyby měření hmotnosti tedy bude 0,3 g. Na tomto místě je také potřeba uvést, že udávané časy značí začátek měření, které díky vysoké náročnosti trvalo přibližně 15 minut. Vždy jsme ale měřili ve stejném pořadí od kuliček ponořených v čisté vodě směrem k nasycenému roztoku soli (v tabulce směrem zprava doleva). Data je tedy potřeba podle toho interpretovat, tedy jako čas, ve které bylo měření provedeno, budeme brát čas začátku měření + 2 minuty za každé měření, které muselo být provedeno před tímto naším měřením, a směrodatnou odchylku na tomto místě stanovíme jako  $\pm 3$  minuty, což nám dává dostatečnou rezervu.

Na obrázku (1) jsou graficky zobrazena data pro všechny koncentrace soli a pro prvních 480 minut pozorování.



Obr. 1: Závislost hmotnosti kuličky na čase, po který byla ponořena v roztoku soli s koncentrací od 0% (čistá voda) po 26% (nasycený roztok).

### Závěr

Jak je z grafu vidět, hmotnost hydrogelové kuličky v závislosti na čase se poměrně výrazně liší podle koncentrace kuchyňské soli, která byla rozpuštěna v roztoku, ve kterém byly kuličky namočené. Vidíme, že nejvíce vody pohltí kuličky, které jsou ponořeny v čisté vodě, a že s rostoucí koncentrací soli kuličky pohlcují méně vody. Na pohlcování vody má vliv už poměrně malé množství soli v roztoku, neboť jak jsme naměřili, tak už pro 1% roztok soli se do hydrogelu pohltí jen přibližně poloviční množství vody, než by se pohltilo v čisté vodě. Při maximální možné koncentraci soli v roztoku (tedy nasycenému roztoku, což odpovídá 26%) se do hydrogelu pohltí přibližně čtvrtinové množství vody, než by se pohltilo v čisté vodě.

Také jsme ukázali, že informace na obalu hydrogelu, že které vylívalo, že maximální hmotnosti dosáhnou hydrogelové kuličky po 4 hodinách ve vodě, je zavádějící, neboť maximální hmotnosti se dosáhne až v mnohem větším čase. Dále bychom si měli všimnout, že z naměřených dat vyplývá, že kuličky v určitém čase pohltní maximální množství vody a dále už jejich hmotnost klesá. Zajímavé je, že čas, kdy pohltní maximální množství vody, je závislý na koncentraci roztoku soli, ve kterém jsou ponořeny. Z naměřených dat lze tento efekt pozorovat u čisté vody, kde je jasně vidět, že po přibližně 8 hodinách už kuličky nenasákají další vodu a následně vodu spíše pomalu vypuzují. U roztoků s příměsí soli tento efekt není tolik výrazný, nicméně naměřená data nasvědčují tomu, že se začíná objevovat. Je tedy možné, že výrobce prováděl testování v destilované vodě, a proto uvádí nižší čas, než jsme my naměřili.

Na závěr by bylo vhodné diskutovat, jaká je přesně závislost hmotnosti kuličky na době ponoření v solném roztoku. Při pohledu na graf se nabízí proložení naměřených hodnot funkcí typu logaritmus, odmocnina či exponenciála, což by ale nebylo vhodné, a to hned ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že nemáme žádný teoretický předpoklad, který by takovouto závislost předpovídal. Druhým důvodem je to, že proložení naměřených dat některou z těchto funkcí by evidentně nebylo v souladu s měřeními ve větším časovém odstupu, kde hmotnost kuličky s časem klesá. Z těchto důvodů nebudeme naměřená data prokládat žádnou funkcí. Hlavní závěr tohoto experimentu, tedy že s vyšší koncentrací soli v roztoku se snižuje nasákavost hydrogelových kuliček, je z tohoto grafu i tak na první pohled jasně vidět. Mírného zpřesnění závislosti bychom dosáhli, kdybychom měli sadu dokonale stejných kuliček a vždy po změření hmotnosti v daném čase bychom experiment začali od znovu – tak bychom eliminovali vliv prodlevy, během které kuličky vážíme.

*Michal Nožička*  
nozicka@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/>.