

2 Povrchové napětí

S povrchovým napětím se setkáváme v běžném životě každý den, ovšem mnoho z nás si to ani neuvědomuje. V domácnostech povrchové napětí využíváme např. při mytí nádobí či praní, kdy se snažíme o odstranění nečistot, studená voda má vysoké povrchové napětí, tudíž špatně smáčí mastné a špinavé povrchy. Ohřátím či použitím příslušných saponátů dojde ke snížení povrchového napětí, tím pádem k lepší smáčivosti, a proto se nečistoty lépe odstraňují. [7]

I vaření čaje je věda. Kulové sítko na sypaný čaj ponoříme do sklenice se studenou vodou a počkáme až se celé naplní vodou. Poté ho pomalu zvedáme, dokud nebude celé vynořené, ze sítka by neměla vytéct žádná voda. Vysvětlením je, že se na rozhraní vody a vzduchu by mělo dojít k prohnutí rozhraní dovnitř sítka, a tím i zvětšení plochy. Ovšem zvětšení plochy brání povrchové napětí, které tedy nedovolí vzduchu proniknout dovnitř sítka. Ze stejného důvodu sáček s čajem plave na hladině, pokud nejprve vložíme do hrnku sáček a až poté ho zalijeme vodou. Pokud ovšem nejprve nalijeme horkou vodu a poté vložíme čajový sáček, ten začne klesat ke dnu, jelikož z něj stíhá unikát vzduch z míst, kde ještě není namočen, tím dojde i k lepšímu vyluhování čaje. [8]

Při procházce přírodou se s povrchovým napětím můžeme setkat téměř na každém kroku. Když půjdeme kolem rybníka, na vodní hladině můžeme vidět vodní hmyz, jako je bruslařka, vodoměrka či hladinatka. Ty využívají povrchové napětí k pohybu po vodní hladině. Kromě tohoto hmyzu jsou to i ptáci, kterým povrchové napětí zabrání pronikání vody do jejich peří. V přírodě dále můžeme zmínit tvar kapek rosy na rostlinách, ale i tvar vodních kapek při dešti.

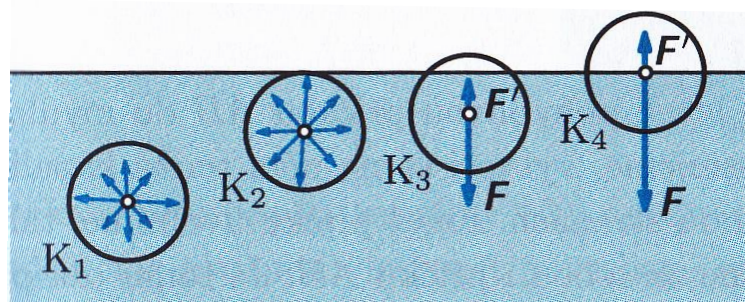
V zemědělství je využíváno při aplikování různých herbicidů, a to tak, že je třeba upravit povrchové napětí postřiků tak, aby buď ulpěly či neulpěly na daném druhu rostliny. [7]

2.1 Jak povrchové napětí vzniká? [3, 9, 10]

Povrchové napětí u kapalin vzniká tak, že molekuly, které se nacházejí na povrchu kapaliny jsou z jedné strany obklopeny molekulami kapalin a z druhé strany molekulami plynu, popřípadě částicemi pevných látek. Na rozhraní kapaliny a jiné látky se nachází vrstva kapaliny, která se nazývá povrchová vrstva. Síly, které působí na obou stranách rozhraní, nejsou stejné, tzn. že síla, které působí na molekulu v povrchové vrstvě kapaliny nebude stejná, jako síla, která působí na molekulu, která se nachází uvnitř kapaliny.

Výslednice sil je nenulová a směřuje dovnitř kapaliny právě tehdy, když se zaměříme na molekulu, která se nachází blízko povrchu kapaliny, popřípadě přímo na povrchu. Povrchová vrstva kapaliny má tak jiné vlastnosti než zbytek kapaliny.

Povrch kapaliny se chová jako pružná blanka. A právě tomuto jevu říkáme povrchové napětí kapaliny. Naopak nulová výslednice sil působící mezi molekulami bude mít molekula, která se nachází v kapalině.



Obrázek 10: Sféra molekulového působení [2]

Jak můžeme vidět na obrázku č. 10 molekuly K_1 a K_2 a jejich sféra molekulového působení jsou uvnitř kapaliny, jejich výslednice přitažlivých sil, kterými uvažovaná molekula působí na jinou molekulu, je nulová. Čím blíže se uvažovaná molekula blíží vodní hladině, tím je výslednice přitažlivých sil větší, tak tomu je u molekul K_3 a K_4 . Tato výslednice je kolmá k volnému povrchu kapaliny a směřuje dovnitř této kapaliny. Tzn. že: „Na každou molekulu ležící v povrchové vrstvě kapaliny působí sousední molekuly výslednou povrchovou přitažlivou silou, která má směr dovnitř kapaliny [3].“

2.2 Povrchové napětí jako fyzikální veličina [9, 10, 11, 12]

Povrchové napětí většinou značíme řeckým písmenem σ a je definován následujícím vztahem:

$$\sigma = \frac{dF}{dl}, \quad (28)$$

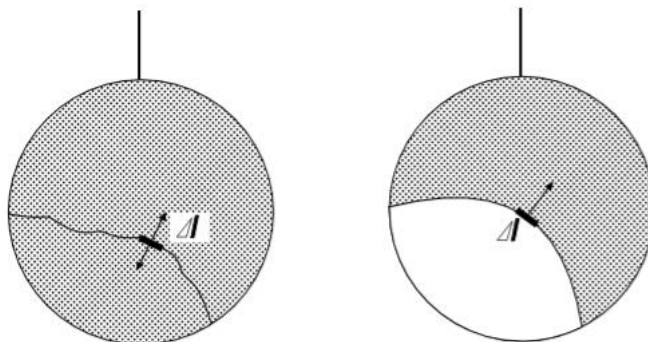
kde dF je elementární síla, která působí kolmo k úsečce o délce dl , a to v rovině povrchu. Jednotkou povrchového napětí je dle základních jednotek soustavy SI $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$.

Povrchové napětí působí na rozhraní mezi kapalinou a plynem, popřípadě na rozhraní mezi dvěma kapalinami, mezi nimiž nedochází k mísení. Jeho velikost závisí na vlastnostech kapaliny a plynu a na jejich teplotě. Hodnoty pro některé kapaliny jsou uvedeny v MFChT. Např. pro vodu, která je v kontaktu se vzduchem, je při teplotě 20°C povrchové napětí $\sigma = 73 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Každá kapalina se chová tak, jako kdyby byl její povrch pokryt tenkou pružnou vrstvou, ta se snaží stáhnout povrch kapaliny tak, aby měla co nejmenší plošný obsah. Proto kdyby na kapalinu nepůsobily žádné vnější síly, měla by kulovitý tvar. Pokud jsou tedy vnější síly velmi malé, kapalina dosahuje téměř kulového vzhledu, jak tomu můžeme například vidět u drobných kapiček vody, které tvoří mlhu, kapky deště apod. Povrchová vrstva je velmi tenká, její tloušťka je asi 10^{-7} cm a jak už bylo řečeno, její vlastnosti jsou jiné než uvnitř kapaliny. Povrchová blána se tedy snaží

stáhnout na co nejmenší velikost, je tedy zřejmé, že tomu pomáhá nějaké napětí. A právě tomuto napětí říkáme povrchové napětí.

Napětí povrchové blány kapaliny lze dokázat jednoduchým pokusem. Pokud ponoříme drátěný rám kulového tvaru, který má uvázanou volnou tenkou nit, do mýdlové vody, nit zůstává v bláně volná. Ovšem když blánu na jedné straně niti propíchneme špendlíkem, nit se obloukově napne.



Obrázek 11: Mýdlová blána vytvořená v kruhovém drátěném rámečku [6]

Vlivem povrchového napětí je v povrchové vrstvě nahromaděna energie, kterou nazýváme povrchová energie. Jedná se o rozdíl vnitřní potenciální energie, kterou mají molekuly v povrchové vrstvě kapaliny a molekuly uvnitř kapaliny. Lze ji definovat vztahem

$$dE = \sigma \cdot dS, \quad (29)$$

kde σ je povrchové napětí. Z (29) můžeme odvodit další vztah pro povrchové napětí:

$$\sigma = \frac{dE}{dS}, \quad (30)$$

tzn. že povrchové napětí lze také definovat jako změnu energie vrstvy molekul kapaliny dE na rozhraní vztaženou na jednotku plochy dS .

Souvislost mezi povrchovým napětím a povrchovou energií lze znázornit na následujícím pokusu. Pokud ponoříme drátěný rámeček, který má posuvnou příčku o délce l do mýdlového roztoku, vytvoří se na něm tenká blána (vytvoří se vlivem povrchového napětí) s povrchovými vrstvami po obou stranách. Povrchové napětí působí na příčku silou

$$F = \sigma l, \quad (31)$$

které se říká povrchová síla, ovšem my mluvíme o dvou povrchových vrstvách, proto musíme vztah (31) upravit:

$$F = 2\sigma l, \quad (32)$$

touto silou udržíme příčku v rovnováze. Pokud příčku posuneme o délku Δs , vykonáme práci

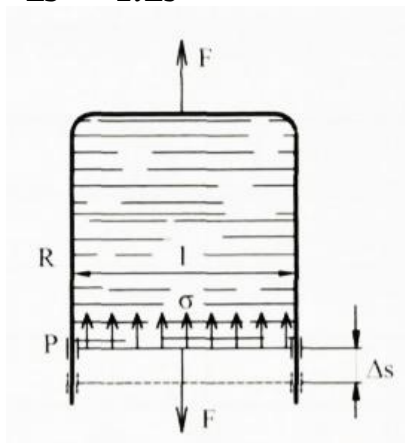
$$\Delta W = 2\sigma l \Delta s. \quad (33)$$

Tato práce je rovna zvětšení povrchové energie při zvětšování povrchu o

$$\Delta S = 2l \Delta s. \quad (34)$$

Z toho nám vyplývá

$$\frac{\Delta W}{\Delta S} = \frac{\Delta E}{\Delta S} = \frac{2\sigma l \Delta s}{2l \Delta s} = \sigma. \quad (35)$$



Obrázek 12: Souvislost mezi povrchovým napětím a povrchovou energií [7]

2.3 Jakými metodami lze povrchové napětí změřit?

Povrchové napětí lze zjistit metodami přímými nebo metodami nepřímými. Pokud se zaměříme na metodu přímou, vycházíme z definice, tedy že: „*Povrchové napětí σ se rovná podílu velikosti povrchové síly F a délky l okraje povrchové blány, na který povrchová síla působí kolmo v povrchu kapaliny* [3]“. Povrchové napětí tedy zjistíme tak, že do kapaliny ponoříme těleso známé délky a měříme sílu, která je třeba k vytažení tělesa z kapaliny. [7]

Další metodou je metoda kapková. Z tenké trubičky necháváme odkapávat kapalinu. Lze předpokládat, že kapka odkápne, když je tíhová síla rovna povrchové síle, která působí na obvodu kapaliny. Kapka ale neodpadne celá, ale část ji zůstane na konci kapiláry. Tuto metodu používáme tak, že srovnáme tíhu určitého počtu kapek neznámé kapaliny, u které neznáme povrchové napětí s počtem kapek kapaliny se známým povrchovým napětím. [7]

Povrchové napětí kapaliny lze také zjistit z kapilární elevace. Tato metoda je spojena s existencí kapilárního tlaku. Pokud ponoříme tenkou kapiláru do kapaliny v širší nádobě, pozorujeme vzestup kapaliny v kapiláře nad hladinu v širší nádobě. Vlivem povrchové síly dochází k vystoupání kapaliny v kapiláře do takové výšky h , až dojde k vyrovnání kapilárního tlaku s hydrostatickým tlakem sloupce kapaliny. [3]

2.4 Povrchově aktivní látky a jejich negativa

Povrchově aktivní látky jsou látky, které mají schopnost snižovat povrchové napětí daného roztoku. Tyto látky se umí na rozhraní kapaliny a plynu, popřípadě dvou kapalin samovolně absorbovat. Jsou tvořeny hydrofilní částí, to je část, která má schopnost interagovat s vodou, další částí je hydrofobní část, ta s vodou neinteraguje. Tím se zajistí, že část se ve vodě rozpustí a část ne. [13]

Každý z nás se s povrchově aktivními látkami setkává každý den, jsou jimi mýdlo a prací prostředky. Pokud dáme špinavé prádlo do vody a přidáme přípravek na praní prádla, pak povrchově aktivní látky obklopí nečistotu tak, že část hydrofilní zůstane ve vodě a hydrofobní část bude u nečistoty, tzn. že ji postupně odstraní ze špinavého prádla. Problémem je, že tato voda jde dál do odpadu a ve větším množství nejsou schopny čističky odpadních vod všechny tyto látky z vody odstranit. Povrchově aktivní látky se tak hromadí v řekách, jezerech, přehradách, rybnících. A jelikož tyto látky pění, my tyto látky můžeme vidět na vodě jako pěnu. V důsledku toho jsou v takovýchto vodách přemnoženy sinice. Je tedy důležité vybírat vhodné prostředky, které jsou co nejšetrnější k životnímu prostředí. [14]

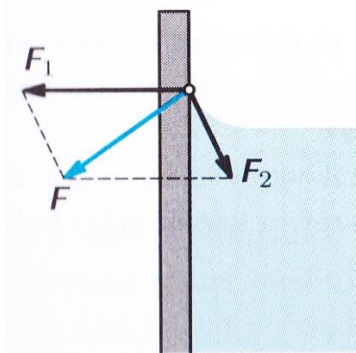
Povrchově aktivní látky se nacházejí také v pesticidech a herbicidech. Při jejich použití musíme dbát na to, aby byly toxické pro určité plodiny a netoxické pro jiné organismy. Dále můžeme zmínit i automobilový průmysl, jelikož se tyto látky používají do směsi do ostřikovačů, díky nim dešťová voda lépe odtéká z předních skel. [13, 14]

2.5 Styk kapaliny se stěnou [3, 4]

Pokud mluvíme o styku kapaliny se stěnou nádoby, tak se nejedná pouze o vzájemném působení molekul kapaliny, ale také se uplatňuje vzájemné působení mezi molekulami kapaliny, částicemi stěny nádoby a v neposlední řadě také částicemi plynů nad volným povrchem kapaliny. Díky tomu můžeme pozorovat zakřivení hladiny kapaliny v blízkosti stěny nádoby.

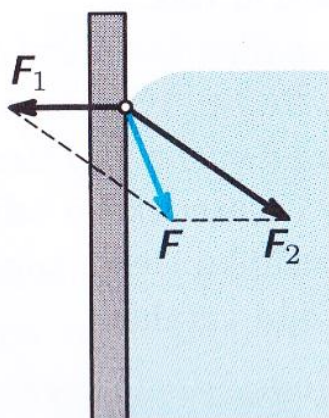
V povrchové vrstvě na rozhraní kapaliny na každou molekulu působí síla od částic nádoby, síla od molekul kapaliny, síla od molekul plynu a tíhová síla. Ve srovnání s prvními dvěma silami, můžeme tíhovou a sílu od molekul plynu zanedbat. Můžeme tedy uvažovat směr výslednice, na který je povrch kapaliny v rovnovážném stavu kolmý. Uvažujeme tři případy:

1) Kapalina stěnu smáčí. Tento případ nastává, pokud výslednice sil směřuje z kapaliny. Povrch kapaliny je u stěny dutý. Tento případ najdeme u vody v čisté skleněné nádobě



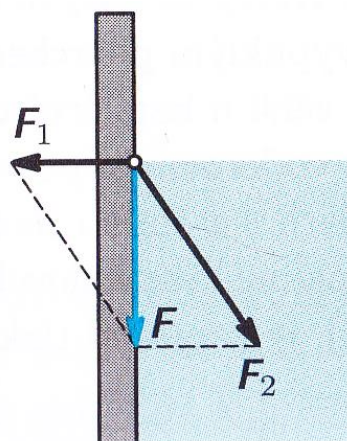
Obrázek 13: Kapalina stěnu smáčí [2]

2) Kapalina stěnu nesmáčí. V tomto případě výslednice směřuje do kapaliny, povrch kapaliny je u stěny vypuklý. Tento tvar můžeme vidět u rtuti v čisté skleněné nádobě.



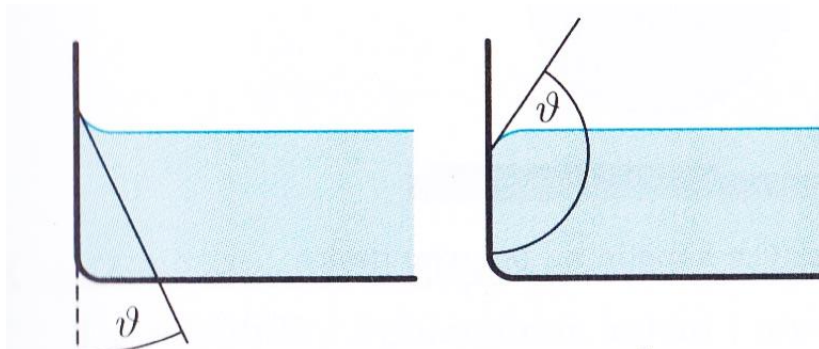
Obrázek 14: Kapalina stěnu nesmáčí [2]

3) Rovný povrch kapaliny. Nastává tehdy, pokud je síla rovnoběžná se stěnou nádoby.



Obrázek 15: Rovný povrch kapaliny [2]

Úhel značený řeckým písmenem ϑ nazýváme stykový. Jedná se o úhel, který svírá povrch kapaliny s povrchem stěny.



Obrázek 16: Zakřivení hladiny a stykový úhel [2]

2.6 Kapilární jevy

Dalším projevem povrchového napětí jsou kapilární jevy. Jsou způsobené silami, které jsou mezi molekulami dané kapaliny a silami mezi molekulami dané kapaliny a pevného tělesa, plynu nebo jiné kapaliny. Kapilární jevy souvisí se zakřivením povrchu kapaliny, tedy zda kapalina stěnu nádoby smáčí či nesmáčí. Můžeme je pozorovat v kapilárách, což jsou úzké trubičky. Kapilárními jevy jsou kapilární elevace a kapilární deprese. [9, 10]

2.6.1 Kapilární tlak [3, 4]

Než se budeme zabývat kapilární elevací a depresí, je nutno zmínit a definovat kapilární tlak. Kapilární tlak vzniká při zakřivení povrchu kapaliny u stěny nádoby či v kapilárách a je způsobený pružností povrchové vrstvy.

Pod vypuklým povrchem kapaliny, tedy v případě, kdy kapalina stěnu nádoby nesmáčí, je vnitřní tlak ve srovnání s vodorovným povrchem větší, a to právě o kapilární tlak. Naopak je tomu pod dutým povrchem, kdy kapalina stěnu nádoby smáčí, vnitřní tlak je ve srovnání s vodorovným povrchem menší o kapilární tlak.

Kapilární tlak, lze definovat vztahem

$$p_k = \frac{2\sigma}{R}, \quad (36)$$

kde σ je povrchové napětí kapaliny a R je poloměr kulového povrchu. Tento vztah vyplývá z experimentálního měření i teoretického odvození a platí tehdy, jestliže volný povrch kapaliny má tvar kulového vrchlíku, popřípadě koule, jako je tomu u kapky nebo bublinky v kapalině.

2.6.2 Kapilární elevace a deprese [3, 9, 10]

Kapilarita je zastaralým výrazem pro kapilární jevy a zahrnuje, jak již bylo zmíněno, kapilární elevaci a kapilární depresi.

Kapilární elevace se projevuje vzestupem hladiny kapaliny. Pokud máme otevřenou skleněnou trubičku neboli kapiláru, která má malý poloměr, ponořenou v jiné nádobě, pak se povrch kapaliny prohne (je dutý), a to nejen v kapiláře, ale i povrch kapaliny, který obklopuje ponořenou trubičku. Zároveň hladina v kapiláře bude výš než v nádobě. Výška h , o kterou hladina vystoupala se nazývá elevační výška a platí pro ni vztah

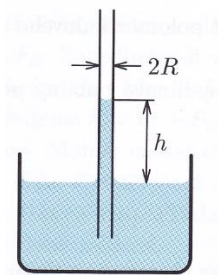
$$h = \frac{2\sigma}{R\rho g}, \quad (37)$$

kde σ je povrchové napětí kapaliny, R je vnitřní poloměr kapiláry, ρ je hustota kapaliny a g je tíhové zrychlení. Tento vztah platí pouze na předpokladu, že hustota kapaliny, kterou v nádobě máme je větší než hustota vzduchu nad naší kapalinou.

Kapilární elevace je úzce spojena s kapilárním tlakem. Pod dutým povrchem kapaliny v kapiláře je vnitřní tlak menší o kapilární tlak ve srovnání s vodorovným povrchem v nádobě. A právě to má za následek, že kapalina v kapiláře vystoupá do určité výšky h , při které hydrostatický tlak odpovídající sloupci kapaliny výšky h je stejný jako kapilární tlak. Z toho vyplývá, že platí rovnost

$$h\rho g = \frac{2\sigma}{R}, \quad (38)$$

z tohoto vztahu jednoduchou úpravou dostáváme vztah pro výpočet výšky h při kapilární elevaci, tedy vztah (37).



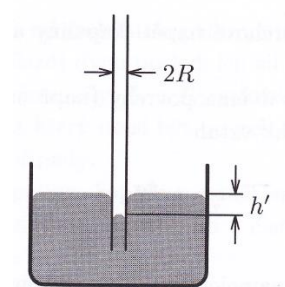
Obrázek 17: Kapilární elevace [2]

Kapilární elevaci nalezneme u rostlin. Půda je spojena tenkými chodbičkami (kapilárami) s hladinou spodní vody. Tato voda vzlíná kapilárami až ke kořenům rostlin a tím je vyživuje. Pokud je půda upěchovaná (udusaná, pošlapaná), kapiláry jsou velmi úzké a kapilární vzestup vody je v nich velký. Voda se tak dostává až na povrch půdy, kde se vypařuje. Abychom tomuto vypařování zabránili, musíme zvětšit půdní kapiláry, k tomu nám pomáhá okopávání. Provádíme ho zejména v období sucha. Zvětšení půdních kapilár či jejich přerušení lze dosáhnout i zoráním.

Kapilární deprese je opakem kapilární elevace, jedná se tedy o pokles hladiny kapaliny v kapiláře pod okolní hladinu, tato kapalina nesmáčí vnitřní stěny kapiláry. Pro výšku, o kterou hladina v kapiláře klesne, platí obdobný vztah jako u kapilární elevace

$$h' = \frac{2\sigma}{R\rho g}. \quad (39)$$

Pro vytvoření rovnovážného stavu je kapalina stlačena do takové hloubky h' , aby byl hydrostatický tlak stejný jako kapilární tlak.



Obrázek 18: Kapilární deprese [2]