

Speciální aplikace poznatků ze smáčení

Vzlínání do vláknenných materiálů

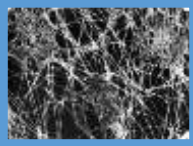
Doc. Ing . Eva Kuželová Košťáková, Ph.D.

Katedra chemie, FP, TUL

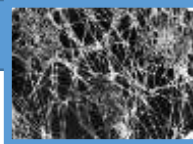
Eva.kostakova@tul.cz

Tel.: 48 535 3489

Budova C, 3. patro



- Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vlákenných) materiálů
- Určování (odhad) kontaktního úhlu u vlákných bobtnajících materiálů
- Perpetuum mobile – princip založený na vzlínání kapaliny do vlákného materiálu
- Vzlínání do strukturovaných textilií



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů

**Jak určit kontaktní úhel u netkaných textilií
(či porézních materiálů obecně) pro
kontaktní úhly menší než 90°?**

Washburnova metoda

$$\cos \theta = \frac{m^2}{t} \frac{\eta}{\rho^2 \gamma c}$$

Application Report

Characterization of swellable nonwovens

Application report: AR240e
Industry section: Textiles
Author: James R. Chamberlain, Virginia L. Robertshaw
Date: 2004



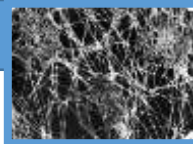
Method:



Force Tensiometer - K100

Keywords:

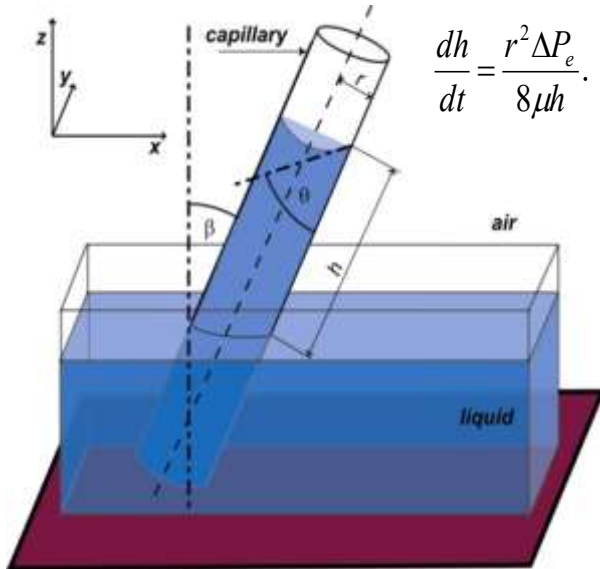
swelling, nonwoven, contact angle, surface free energy, wetting



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů

Lucas – Washburnův vztah – dynamika průniku kapalin do kruhové kapiláry

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi(p_1 - p_2)r^4}{8h\eta}$$



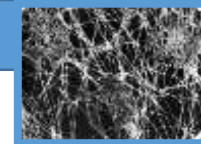
$$\frac{dh}{dt} = \frac{r^2 \Delta P_e}{8\mu h}$$

$$p_1 = \frac{2\pi r \gamma \cos \Theta}{\pi r^2} = \frac{2\gamma \cos \Theta}{r}$$

$$p_2 = \rho g h \cos \beta$$

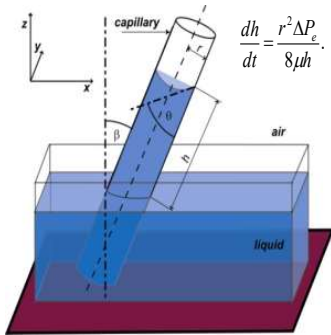
$$\frac{dh}{dt} = \frac{r\gamma \cos \theta}{4\eta h} - \frac{r^2 \rho g \cos \beta}{8\eta}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{a}{h} - b$$



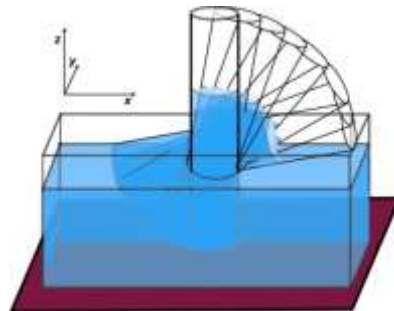
Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů

Lucas – Washburnův vztah – dynamika průniku kapalin do kruhové kapiláry



$$\frac{dh}{dt} = \frac{r\gamma \cos \theta}{4\eta h} - \frac{r^2 \rho g \cos \beta}{8\eta}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{a}{h} - b$$



$$t = -\frac{h}{b} - \frac{a}{b^2} \ln(a - bh)$$

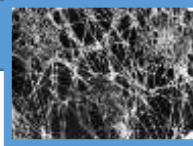
The limit $t \rightarrow \infty$ is found from equation. Then $\ln(a - bh) \rightarrow \infty$ and thus $a - bh = 0$. Finally the limit, i.e. the maximal h value is

Vzlínání
 $\beta \in (0^\circ, 90^\circ)$

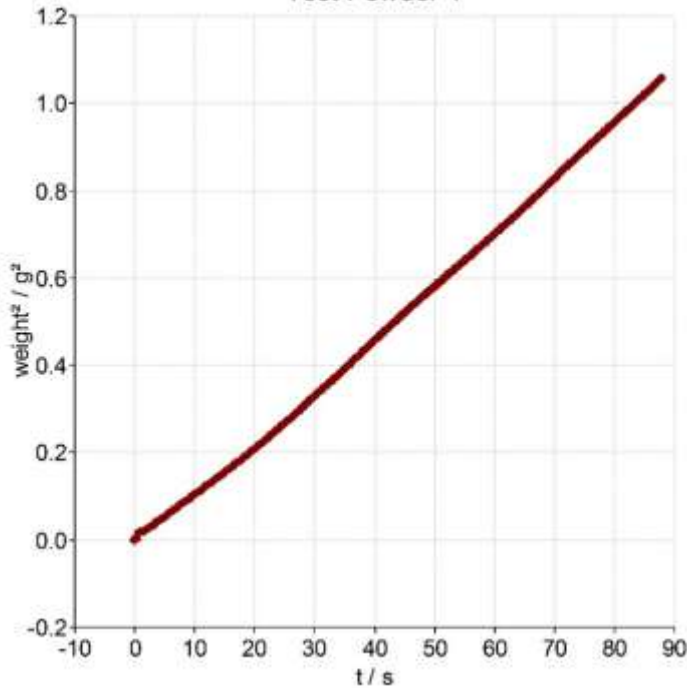
NEBO

$$h = \sqrt{\frac{r\gamma \cos \theta}{2\eta}} t = Kt^{\frac{1}{2}}$$

Relation can be solved in different ways under the assumption that the second term on the right side can be neglected. (i) gravitation is neglected, $g=0$; or (ii) a height in a capillary is small, so a notation ($h \rightarrow 0$) can be accepted



Test Powder 1



https://www.lpdlabservices.co.uk/application_note_list/powder_wetting.php

Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů

$$h = \sqrt{\frac{r\gamma \cos\theta}{2\eta} t} = Kt^{\frac{1}{2}}$$

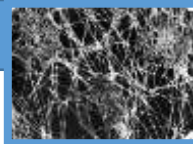
$$\cos\theta = \frac{m^2}{t} \frac{\eta}{\rho^2 \gamma c}$$

Co znamená c? Tedy materiálová konstanta?

c představuje: strukturu pórů, velikost pórů a počet pórů v pevné porézní látce například v netkané textilií.

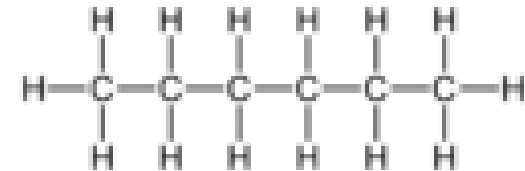
Jak zjistit velikost hodnoty c?

Správně při vynesení čtverce hmotnosti m^2 proti času t ukazuje lineární oblast, jejíž sklon pro známé vlastnosti kapaliny (γ , ρ a η) obsahuje pouze dvě neznámé c a θ .



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů

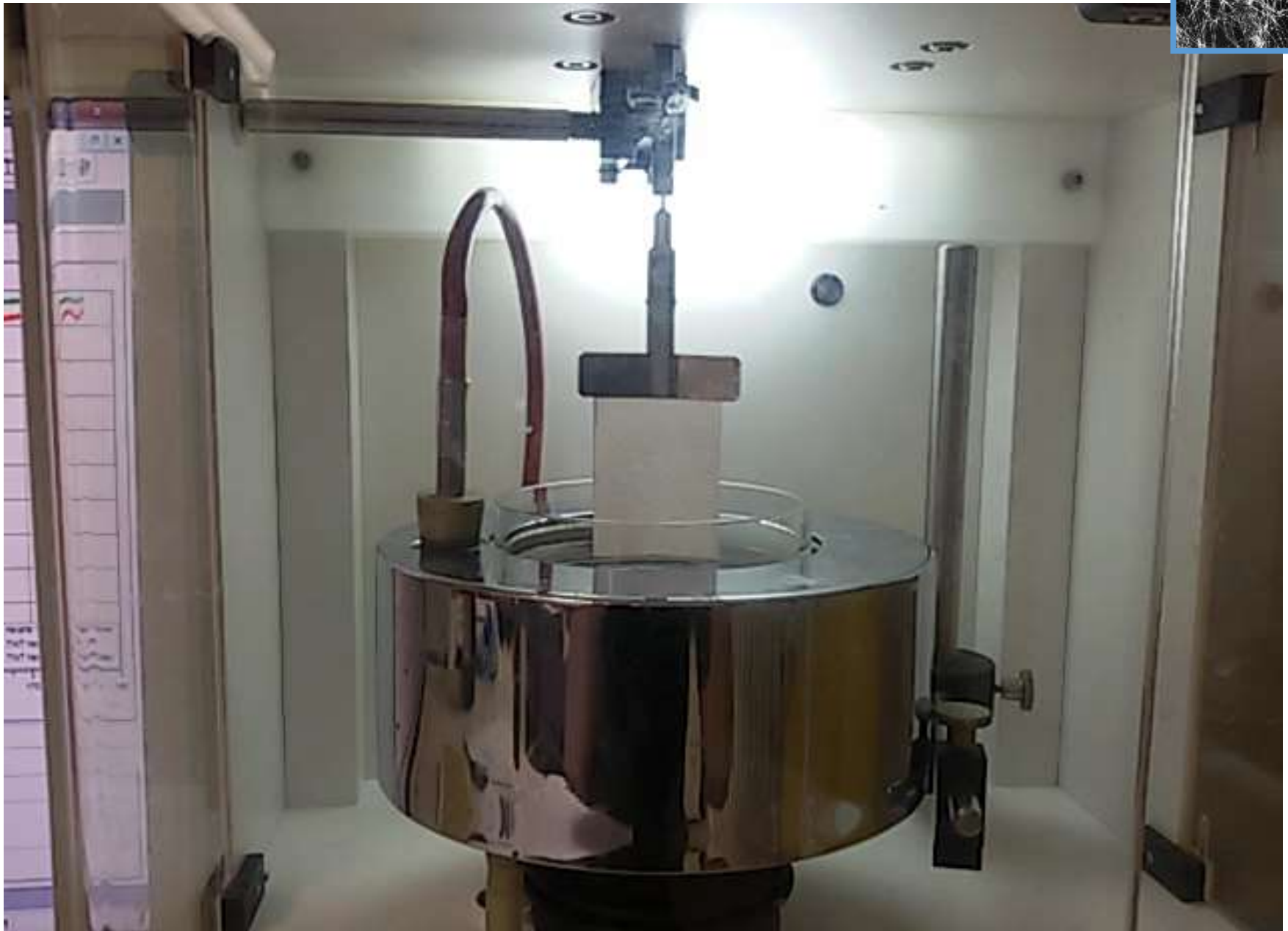
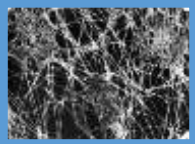
$$\cos \theta = \frac{m^2}{t} \frac{\eta}{\rho^2 \gamma c}$$

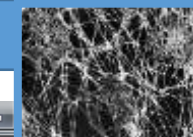


c představuje: strukturu pórů, velikost pórů a počet pórů v pevné porézní látce například v netkané textilií.

Jak zjistit velikost hodnoty c?

Použije se nejprve jiná kapalina o známém kontaktním úhlu s pevnou látkou. Typicky se využívá **N-hexan**, který má velmi nízké povrchové napětí 18,4mN/m a obvykle má s pevnými látkami 0° kontaktní úhel.





KRÜSS Laboratory Desktop - [K12/K14 Contact-Angle Add-In]

File Edit View Tools Run Window Help

K12 / K14

K12/K14 Contact Angle

Projects

Projects Currently Open

- spunlaced_TNT_hexane 1
- kontakni uhel TNT_PCL
 - PCL hexane TNT konta
 - PCL TNT hexane_2
 - PCL TNT hexane_3
- spunbond TNT hexane
- spunbond TNT hexane

Measurement: spunlaced_TNT...

Data | Plots | Device

General | Procedure

Name	Value
Creator	admin
Modifier	admin
Created	10.9.2018 10
Modified	10.9.2018 10
Method	Sorption
Template	Sorption@K1
Liquid	hexane
Liquid (HD)	<None>
Solid/Probe	spunlaced
Gas Phase	<None>
Database File	DEMOK12.M
Database Path	C:\Program F

Database Explorer | Project Editor

Mass vs Time | Mass2 vs Time

Mass2 vs Time

X: 34,587 Y: 0,1528

Measurement | Calculation | Results

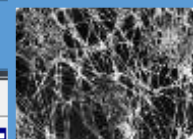
Status: Measurement "spunlaced_TNT_hexane 3" Idle (Finished)

Run: Script finished

Message: Measurement finished

Device: K12, Ser.-No. 95352, COM1, KRÜSS-PC

10:22:20 NUM 10:22 10.9.2018



File Edit View Tools Run Window Help

K12/K14 Contact Angle

- Surface and Interfacial Tension
- Density Determination
- Contact Angle

Projects

Projects Currently Open

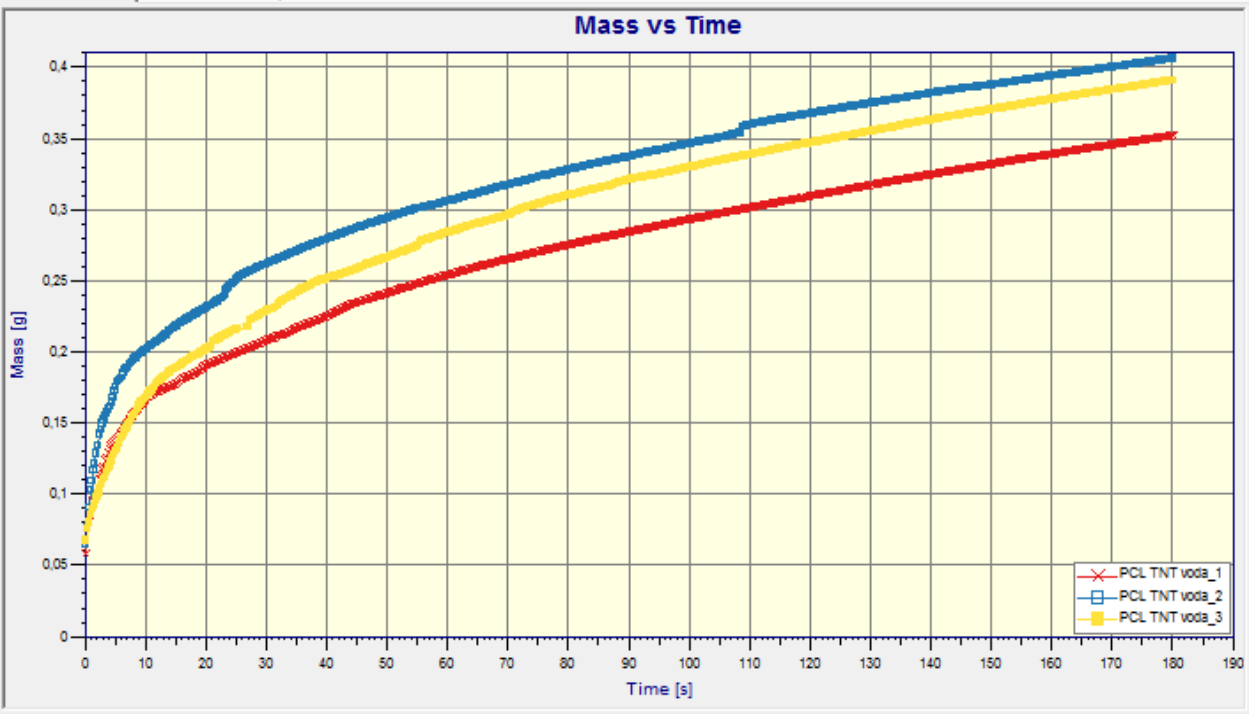
- [-] PCL TNT voda_1
 - [X] PCL TNT voda_1
 - [X] PCL TNT voda_2
 - [X] PCL TNT voda_3

Measurement: PCL TNT voda_3

Data | Plots | Device
General | Procedure

Name	Value
Creator	admin
Modifier	admin
Created	10.9.2018 12
Modified	10.9.2018 12
Method	Sorption
Template	Sorption@K1
+ Liquid	voda
Liquid (HD)	<None>
+ Solid/Probe	PCL
Gas Phase	<None>
Database File	DEMOK12.M
Database Path	C:\Program F

Mass vs Time | Mass2 vs Time



X: ???? Y: ????

Measurement | Calculation | Results

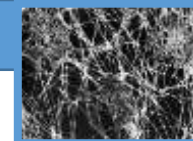
Status: Measurement "PCL TNT voda_3" Idle (Finished)
 Run: Script finished
 Message: Measurement finished
 Device: K12, Ser.-No. 95352, COM1, KRÜSS-PC

Database
Script

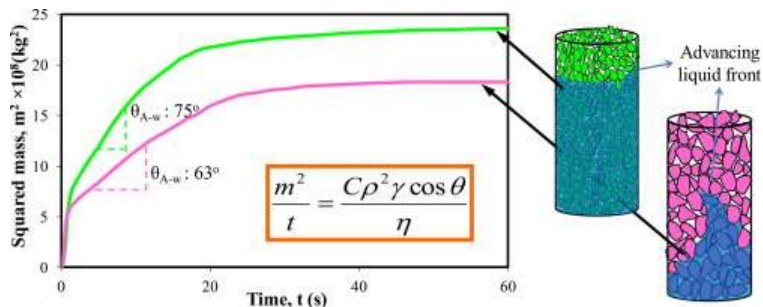
Database Explorer | Project Editor

12:38:06 NUM





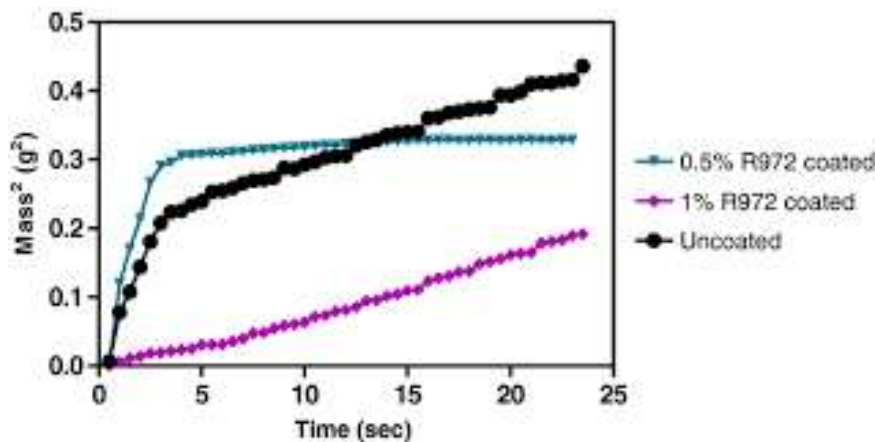
Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů



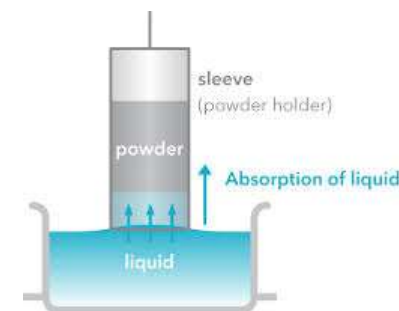
Stejný postup je možné použít i pro práškové materiály. Pro Kruss je nutné použít speciální nádobku, do které je prášek nasypán.

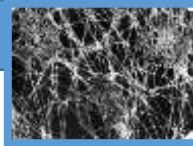


<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979713000714>
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-0233/24/12/125902>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927775717311512>



Kontaktní úhly jsou počítány z lineárních částí grafů v počátcích měření (pro velmi malé h , respektive pro malé m).





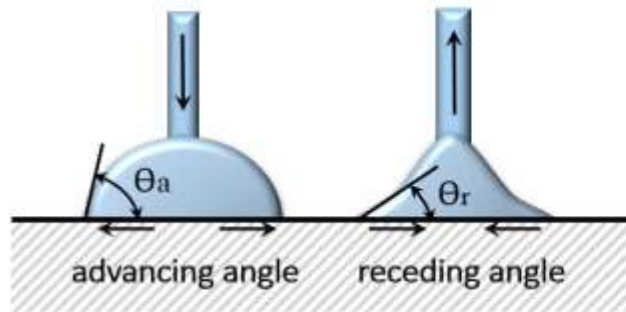
Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vlákenných) materiálů

Statický x dynamický kontaktní úhel

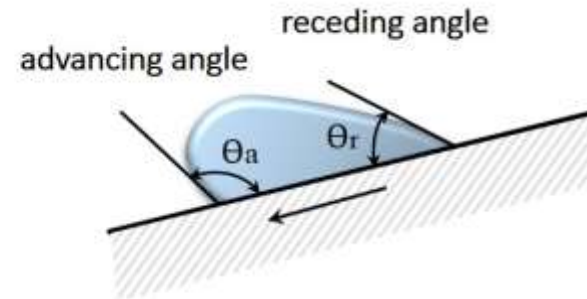


Postupující x ustupující kontaktní úhel

Pro Washburnovu metodu
určování kontaktního úhlu

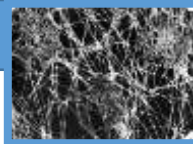


volume changing method

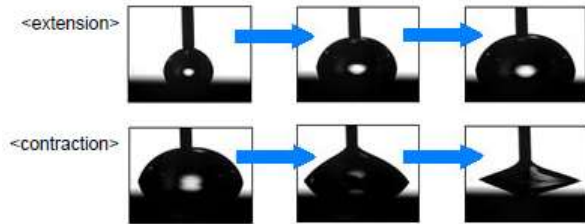


tilting cradle

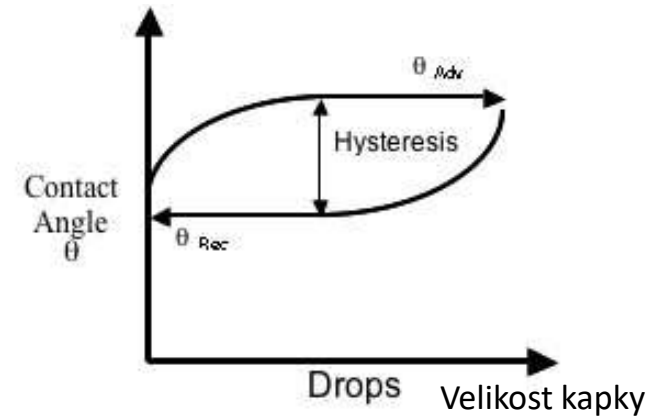




Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů



http://www.face-kyowa.co.jp/english/en_science/en_theory/en_what_contact_angle/



A generalized contact angle plot showing the advancing (θ_{Adv}) and receding (θ_{Rec}) contact angles

<https://www.uweb.engr.washington.edu/research/tutorials/contact.html>

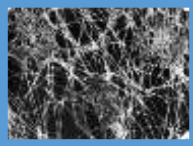


<https://www.youtube.com/watch?v=Qxe2gp3e1u8>

Hystereze kontaktního úhlu je způsobena:

- Drsností povrchu
- Chemickou heterogenitou povrchu
- ...

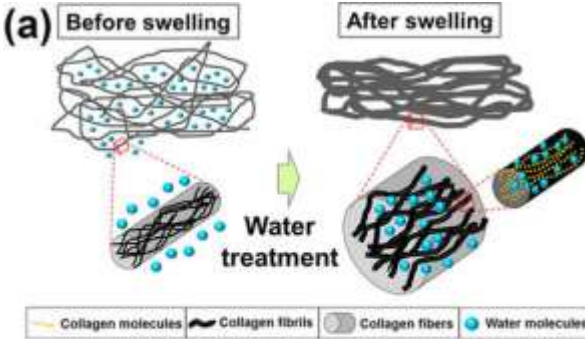
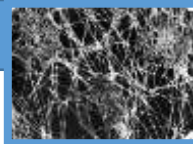




Určování kontaktního úhlu na bobtnajících vláknenných materiálech

K určení kontaktního úhlu kapalin na pevných látkách je k dispozici celá řada experimentálních metod. Standardní optické či Wilhelmyho metody se ale stávají obtížně aplikovatelnými pokud vzorek při smáčení bobtná.

BOBTNÁNÍ X BOTNÁNÍ



(a) Schematic of the swelling process of collagen structure consisting of fibers and fibrils. (b) SEM images of the collagen fiber before and after swelling due to water.

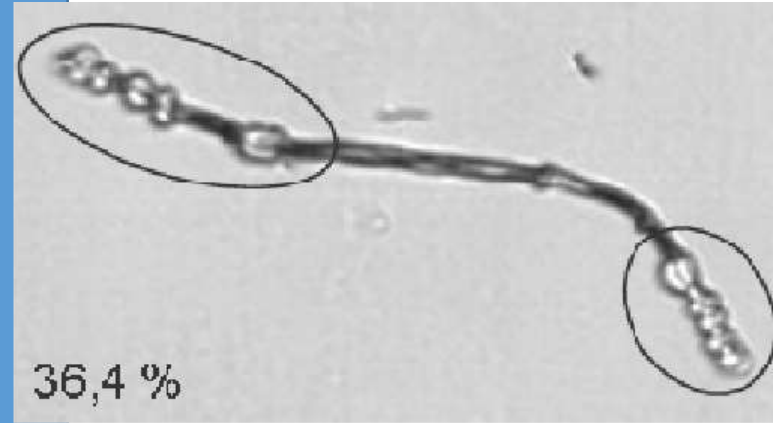
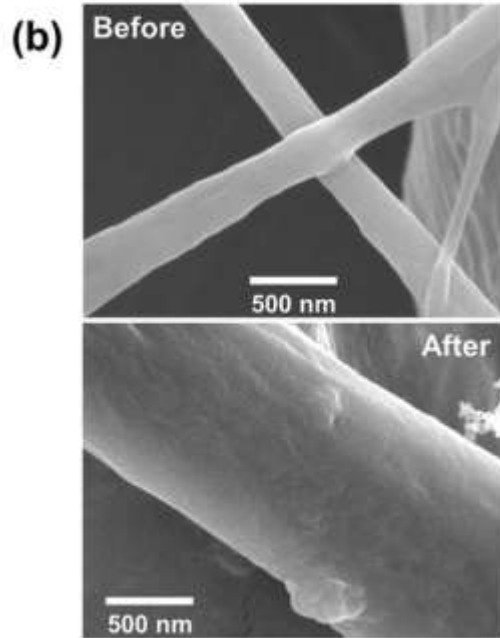
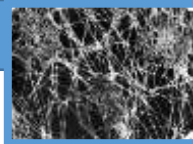


Fig. 1: Pulp fiber with swollen areas marked by the circles and the corresponding degree of swelling, i.e. the percentage of swollen fiber length.

<https://www.nature.com/articles/srep20563#f5>

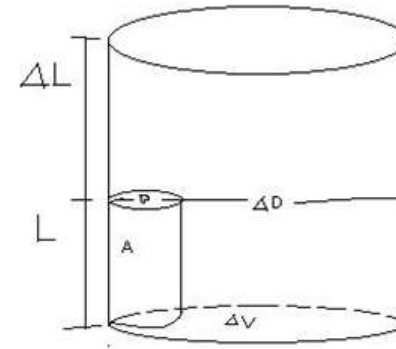
https://www.researchgate.net/figure/Pulp-fiber-with-swollen-areas-marked-by-the-circles-and-the-corresponding-degree-of_fig1_267694157



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH



Botnání viskózových dutých vláken ve vodě

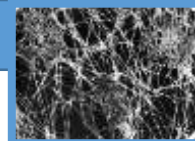


$$\text{Swelling} = \frac{\text{Swollen Dimension} - \text{Dry Dimension}}{\text{Dry Dimension}} \times 100\%$$



Různé typy botnání vláken dle geometrických změn

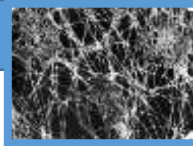
- Nárůst průměru vlákna ($\Delta D/D$) - radial
- Nárůst plochy povrchu vlákna ($\Delta A/A$)
- Nárůst délky vlákna ($\Delta L/L$) - axial
- Nárůst objemu vlákna ($\Delta V/V$)



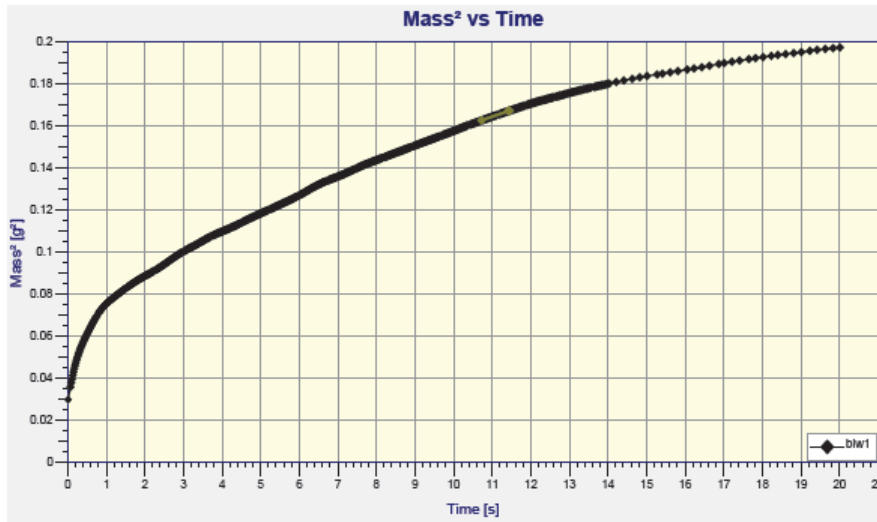
Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH

FIBER	AREA SWELL%	DIA SWELL%	AXIAL SWELL%	VOLUME SWELL%
Cotton	40	20	0.1	—
Jute	40	20	—	—
Viscose	67	35	3.7	119
Wool	25	14.8	—	37
Silk	19	16.5	16	30

<http://textilelearner.blogspot.com/2016/06/swelling-of-textile-fibers.html>



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH



Experiment se stanovením kontaktního úhlu vody na netkané textilii, která byla používána k výrobě výrobků pro dámskou hygienu.

Application Report

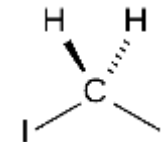
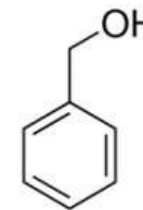


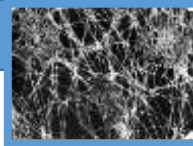
Při botnání vláken při smáčení není výsledná křivka ve Washburnově metodě lineární ani v počátcích měření.

Je nutné přistoupit k nepřímému určení (odhadu) kontaktního úhlu. Viskózní netkaná textilie+voda = není možné měřit přímo === dochází k botnání===křivka není lineární.

Nepřímý postup měření kontaktního úhlu.

1) Najít kapaliny, které mohou být přímo měřeny, vláknenný materiál v kontaktu s nimi nebotná. Například organická rozpouštědla jako benzylalkohol (benzenmethanol), diodomethan === s viskózními vlákny nedochází k botnání.





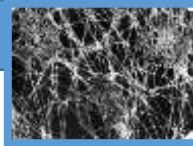
Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH

Nepřímý postup měření kontaktního úhlu:

- 1) Najít kapaliny, které mohou být přímo měřeny, vláknenný materiál v kontaktu s nimi **nebotná**. Například organická rozpouštědla jako benzylalkohol (benzenmethanol), diodomethan === s viskóznými vlákny nedochází k botnání.
- 2) Washburnova metoda – přímá závislost křivka m^2/t při smáčení těmito organickými rozpouštědly
- 3) Použití **Fowkesovy analýzy** – diodomethane je ideální kandidát neboť má polární složku povrchového napětí nulovou.

	Benzyl Alcohol	Diiodomethane
Overall Surface Tension (mN/m)	39.0	50.8
Polar Surface Tension (mN/m)	8.7	0
Dispersive Surface Tension (mN/m)	30.3	50.8

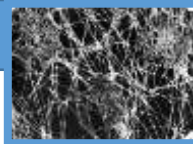
Tabelované hodnoty polárních a disperzních složek povrchového napětí.



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vlákněných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH

Polární a disperzní složky povrchového napětí
Fowkesova rovnice

https://www.accudynetest.com/surface_tension_table.html



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH

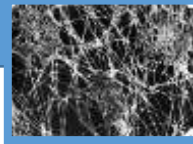
Polární a disperzní složky povrchového napětí - Fowkesova rovnice

https://www.accudynetest.com/surface_tension_table.html

Surface Tension Components and Molecular Weight of Selected Liquids

Name ⁽¹⁾ ▲▼	Mol. Formula (2) ▲▼	CAS # (3) ▲▼	Mol. Wt. (4) ▲▼	Surface Tension ⁽⁵⁾				
				Total ▲▼	Dispersion ▲▼	Polar ▲▼	Acid ▲▼	Base ▲▼
Trichloromethane (chloroform)	CHCl ₃	67- 66-3	119.38	27.2	27.2	0.0	1.5	0.0
Diodomethane (methylene iodide)	CH ₂ I ₂	75- 11-6	267.84	50.8	50.8	0.0	0.01	0.0
Diiodomethane (methylene iodide)	CH ₂ I ₂	75- 11-6	267.84	50.8 ⁽²⁾	49.0 ⁽²⁾	1.8 ⁽²⁾	0.01	0.0
Diiodomethane (methylene iodide)	CH ₂ I ₂	75- 11-6	267.84	50.8 ⁽⁴⁾	44.1 ⁽⁵⁾	6.7 ⁽⁵⁾	0.01	0.0
Diiodomethane (methylene iodide)	CH ₂ I ₂	75- 11-6	267.84	50.8 ⁽¹²⁾	48.5 ⁽¹²⁾	2.3 ⁽¹²⁾	0.01	0.0
Formamide (methanamide)	CH ₃ NO	75- 12-7	45.04	58	39	19	2.28	39.6
Formamide (methanamide)	CH ₃ NO	75- 12-7	45.04	58.2 ⁽⁶⁾	36.0 ⁽⁶⁾	22.2 ⁽⁶⁾	2.28	39.6
Formamide (methanamide)	CH ₃ NO	75- 12-7	45.04	57.9 ⁽⁷⁾	34.3 ⁽⁷⁾	23.5 ⁽⁷⁾	2.28	39.6
Formamide (methanamide)	CH ₃ NO	75- 12-7	45.04	58.2 ⁽¹²⁾	36.5 ⁽¹²⁾	18.7 ⁽¹²⁾	2.28	39.6
Methanol (methyl alcohol)	CH ₃ O	67- 56-1	32.04	22.5	18.2	4.3	0.06 ⁽¹³⁾	77 ⁽¹³⁾
Ethanol (ethyl alcohol)	C ₂ H ₅ O	64- 17-5	46.07	21.4	18.8	2.6	0.02 ⁽¹⁴⁾	68 ⁽¹⁴⁾
Dimethyl sulfoxide (DMSO)	C ₂ H ₆ OS	67- 68-5	78.13	44	36	8	0.5	32
Ethylene glycol	C ₂ H ₆ O ₂	107- 21-1	62.07	48	29	19	3.0	30.1
Ethylene glycol	C ₂ H ₆ O ₂	107- 21-1	62.07	48.8 ⁽⁷⁾	32.8 ⁽⁷⁾	16.0 ⁽⁷⁾	3.0	30.1
Glycerol	C ₃ H ₈ O ₃	56- 81-5	92.09	64	34	30	3.92	57.4
Glycerol	C ₃ H ₈ O ₃	56- 81-5	92.09	63.4 ⁽⁸⁾	40.6 ⁽⁸⁾	22.8 ⁽⁸⁾	3.92	57.4

Name ⁽¹⁾ ▲▼	Mol. Formula (2) ▲▼	CAS # (3) ▲▼	Mol. Wt. (4) ▲▼	Surface Tension ⁽⁵⁾				
				Total ▲▼	Dispersion ▲▼	Polar ▲▼	Acid ▲▼	Base ▲▼
Diethyl ether (ethoxyethane)	C ₄ H ₁₀ O	60- 29-7	74.12	17.0	17.0	0.0	-	-
2-Ethoxyethanol (ethylene glycol monoethyl ether)	C ₄ H ₁₀ O ₂	110- 80-5	90.12	28.6 ⁽¹³⁾	23.6 ⁽¹³⁾	5.0 ⁽¹³⁾	-	-
Benzene	C ₆ H ₆	71- 43-2	78.11	28.9	28.9	0.0	0.0	0.96
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	110- 82-7	84.16	25.2	25.2	0.0	0.0	0.0
Toluene	C ₇ H ₈	108- 68-3	92.13	28.5	28.5	0.0	0.0	0.72
n-Heptane	C ₇ H ₁₆	142- 82-5	100.20	20.1	20.1	0.0	0.0	0.0
o-Xylene	C ₈ H ₁₀	95- 47-6	106.17	30.1	30.1	0.0	0.0	0.58
1-Bromonaphthalene	C ₁₀ H ₇ Br	90- 11-9	207.07	44.4	44.4	0.0	-	-
o- Decahydroaphthalene (o-decalin)	C ₁₀ H ₁₈	493- 01-8	138.25	32.2	32.2	0.0	0.0	0.0
Decane	C ₁₀ H ₂₂	124- 18-5	142.28	23.8	23.8	0.0	-	-
Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	544- 76-3	226.44	27.5	27.5	0.0	0.0	0.0
Tricresyl phosphate	C ₂₁ H ₂₁ O ₄ P	1330- 78-5 (6)	368.36	40.9 ⁽⁶⁾	39.8 ⁽⁶⁾	1.1 ⁽⁶⁾	-	-
Tricresyl phosphate	C ₂₁ H ₂₁ O ₄ P	1330- 78-5 (6)	368.36	40.9 ⁽⁶⁾	39.7 ⁽⁶⁾	1.2 ⁽⁶⁾	-	-
Tricresyl phosphate	C ₂₁ H ₂₁ O ₄ P	1330- 78-5 (6)	368.36	40.9 ⁽¹²⁾	39.2 ⁽¹²⁾	1.7 ⁽¹²⁾	-	-
Water	H ₂ O	7732- 18-5	18.02	72.8	21.8	51.0	25.5	25.5



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH

Polární a disperzní složky povrchového napětí - **Fowkesova rovnice**

Základní přístupy k výpočtu povrchové energie

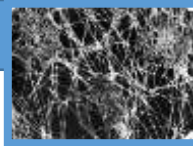
Existuje několik přístupů, které se využívají k výpočtu povrchového napětí, respektive povrchové energie pevných látek, rozvíjených řadou vědců. Celková povrchová energie pevných látek a kapalin závisí na různých typech molekulárních interakcí jako jsou disperzní (van der Waals), polární, a acidobazické interakce

Metody se liší v počtu komponent, nebo parametrů jimž jsou vybaveny.

Nejběžněji používané teorie jsou:

- Zismanova teorie
- **Fowkesova metoda**
- Owens-Wendt-Rabel-Kaelble (OWRK) metoda
- Wu teorie
- Acido-bazická Van Oss metoda
- Metoda podle Neumanna

.



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH

FOWKESOVA TEORIE

Při kontaktu dvou libovolných fází se uplatňuje Lifshitz-van der Waalsova síla, ta je tvořena příspěvky trojího druhu:

- 1) Coulombickými silami (molekuly s výrazným dipólem – voda, alkoholy.
- 2) Indukční síly – indukčním způsobem vyvolané či posílené dipóly se poutají elektrostatickými s
- 3) Disperzními silami – těmto silám odpovídá disperzní složka povrchové energie

$$\gamma = \gamma^C + \gamma^I + \gamma^D$$

Fowkes navrhl, že mezí povrchové interakce mezi dvěma objemovými fázemi se mohou vyskytovat pouze mezi silami stejného typu, tj. disperzní-disperzní, polární-polární, vodíkové můstky-vodíkové můstky [19], [31].

Celková volná povrchová energie je suma příspěvků z různých mezimolekulárních sil na povrchu. :

$$\gamma = \gamma^C + \gamma^I + \gamma^D + \gamma^{AB} + \gamma^H + \dots$$

kde: γ^C označuje coulombickou složku povrchové energie,

γ^I označuje indukční složku povrchové energie,

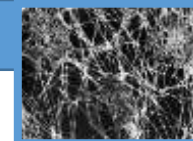
γ^D označuje disperzní složku povrchové energie,

γ^{AB} označuje interakce mezi kyselinami a zásadami

γ^H označuje vodíkové vazby

Ve skutečnosti je volná povrchová energie rozdělena pouze do dvou částí: disperzní a nedisperzní (zahrnující všechny nedisperzní složky).

$$\gamma = \gamma^D + \gamma^N$$



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH

$$\gamma = \gamma^D + \gamma^P$$

FOWKESOVA TEORIE

Absence polární složky u diiodomethanu vede k zjednodušení Fowkesovy rovnice

$$(\sigma_L^D \gamma_s^D)^{1/2} + (\sigma_L^P \gamma_s^P)^{1/2} = \frac{\sigma_L(\cos \theta + 1)}{2}$$

(where σ_L denotes liquid surface tension, γ_s solid surface energy, P the polar component, D the dispersive component, and θ the contact angle) can now be simplified to:

$$\gamma_s^D = \frac{\sigma_L(\cos \theta + 1)^2}{4}$$

Následně může být spočítána polární složka povrchové energie – s použitím benzylalkoholu, u kterého známe jak polární tak disperzní složku.

	Data For Pleglett Material
Benzyl Alcohol Contact Angle	6.2 degrees
Diiodomethane Contact Angle	72.0 degrees
Polar Surface Energy	20.0 mJ/m ²
Dispersive Surface Energy	21.75 mJ/m ²
Overall Surface Energy	41.75 mJ/m ²

	Benzyl Alcohol	Diiodomethane
Overall Surface Tension (mN/m)	39.0	50.8
Polar Surface Tension (mN/m)	8.7	0
Dispersive Surface Tension (mN/m)	30.3	50.8

Disperzní podíl povrchové energie je stanoven z měření kontaktního úhlu s použitím alespoň jedné čistě disperzní kapaliny. Fowkes předpokládal, že se adheze účastní pouze interakce na rozhraní a z tohoto hlediska jsou proto důležité pouze disperzní síly. Fowkes měřil povrchová napětí mezi vodou a sérií alkanů (od hexanu k tetradekanu) Alkany považoval za modelové tekutiny, protože interagují jen skrz slabé disperzní síly. Jejich molekuly nemají ani polární nebo ionizovatelné funkční skupiny.

$$\gamma_{12} = \gamma_1 + \gamma_2 - 2\sqrt{\gamma_1^d \cdot \gamma_2^d}$$

Použitím rovnice na rozhraní neválná látka – kapalina dostaneme

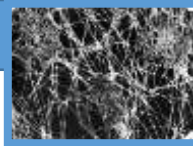
$$\gamma_{st} = \gamma_s - \sqrt{\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d} + \gamma_l - \sqrt{\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d}$$

$$\gamma_{st} = \gamma_s + \gamma_l - 2\sqrt{\gamma_s^d \cdot \gamma_l^d}$$

Zahrnutím Youngovy rovnice je možné dostat toto: $\cos \theta + 1 = 2\sqrt{\gamma_s^d / \gamma_l^d}$

Jestliže je použito nepolární kapaliny, pak $\gamma_l = \gamma_l^d$ a můžeme tedy psát :

$$(1 + \cos \theta) = 2\sqrt{\gamma_s^d / \gamma_l}$$



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH

$$\gamma = \gamma^D + \gamma^N$$

FOWKESOVA TEORIE

Absence polární složky u diiodomethanu vede k zjednodušení Fowkesovy rovnice

$$(\sigma_L^D \gamma_s^D)^{1/2} + (\sigma_L^P \gamma_s^P)^{1/2} = \frac{\sigma_L(\cos \theta + 1)}{2}$$

(where σ_L denotes liquid surface tension, γ_s solid surface energy, P the polar component, D the dispersive component, and θ the contact angle) can now be simplified to:

$$\gamma_s^D = \frac{\sigma_L(\cos \theta + 1)^2}{4}$$

Následně může být spočítána polární složka povrchové energie – s použitím benzylalkoholu, u kterého známe jak polární tak disperzní složku.

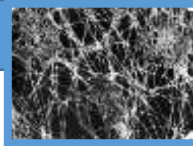
	Data For Pleglett Material
Benzyl Alcohol Contact Angle	6.2 degrees
Diiodomethane Contact Angle	72.0 degrees
Polar Surface Energy	20.0 mJ/m ²
Dispersive Surface Energy	21.75 mJ/m ²
Overall Surface Energy	41.75 mJ/m ²

Jestliže povrchová energie obou komponent pro pevnou látku byla spočítána, kontaktní úhel s VODOU může být lehce vyřešen následující úpravou Fowkesovy rovnice s použitím standardních hodnot pro povrchové napětí VODY.

Overall 72.8 mN/m, polar component 26.8 mN/m and dispersive component of 46 mN/m.

$$\theta = \arccos \left(\frac{((\sigma_L^D \gamma_s^D)^{1/2} + (\sigma_L^P \gamma_s^P)^{1/2}) * 2}{\sigma_L} \right) - 1$$

This finally produces a theoretical water contact angle on the swellable pledgett sample of 59.7 degrees.



Určování (odhad) kontaktního úhlu u porézních (vláknenných) materiálů BOBTNAJÍCÍCH

Někdy nelze kontaktní úhel kapaliny vzhledem k bobtnání, rozpustnosti nebo jakémukoli jinému podobnému problému při měření vzorku přímo. Avšak existuje metoda, jak tento úhel určit.

Nejprve určete sadu rozpouštědel s různými polárními a disperzními složkami (u jedné z kapalin je jedna ze složek nulová) jejich povrchového napětí, které nevytváří problém se vzorkem (nebobtnají, nerozpouští vzorek atd.).
(benzylalkohol, diiodomethan)

Potom vypočítejte povrchovou energii vzorku pomocí Fowkesovy metody.

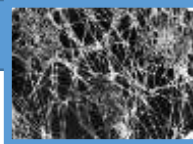
$$\gamma_s^D = \frac{\sigma_L(\cos\theta + 1)^2}{4} \quad (\sigma_L^D \gamma_s^D)^{1/2} + (\sigma_L^P \gamma_s^P)^{1/2} = \frac{\sigma_L(\cos\theta + 1)}{2}$$



Bobtnání viskózních dutých vláken ve vodě

Jakmile je známá povrchová energie (pevné látky) vzorku mohou být tyto hodnoty společně s hodnotami povrchového napětí problémové kapaliny či rozpouštědla použity v přeuspořádané Fowkesově rovnici v nepřímém určení kontaktního úhlu.

$$\theta = \arccos\left(\frac{((\sigma_L^D \gamma_s^D)^{1/2} + (\sigma_L^P \gamma_s^P)^{1/2}) * 2}{\sigma_L}\right) - 1$$



Perpetuum mobile – princip založený na vzlínání kapaliny do vláknenného materiálu

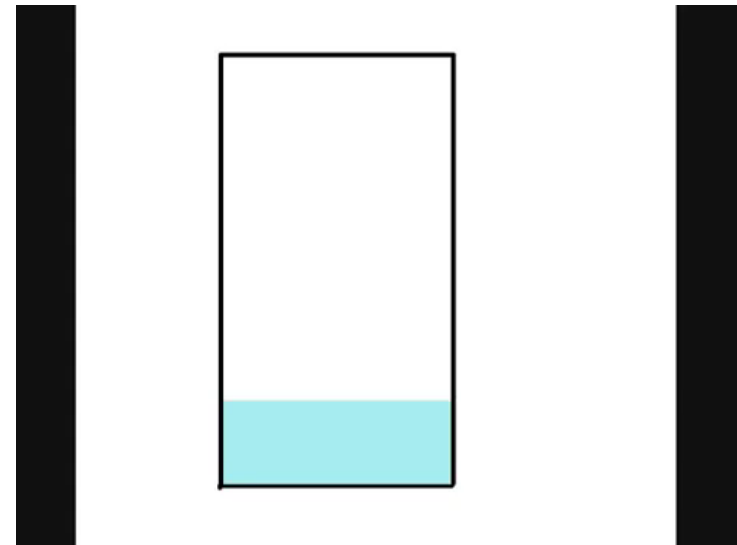
Capillary motor Perpetuum mobile

V utěsněném kontejneru na kapalinu, kapilára vytahuje povrch kapaliny proti gravitaci – vzlínání.

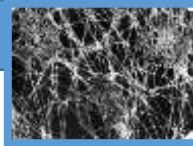
V místě (ve výšce), kde dochází k ustalování rovnováhy, je otočena kapilára směrem dolů.

Kapalina proniklá směrem nahoru do kapiláry pak díky gravitaci opět teče dolů do kontejneru.

Délka kapiláry je velmi důležitá.



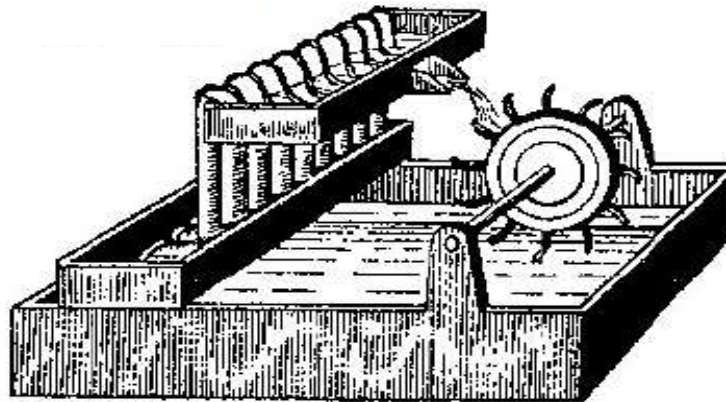
<https://www.youtube.com/watch?v=E4HsaUxIMNw>



Perpetuum mobile – princip založený na vztlínání kapaliny do vlákenného materiálu

Wicking

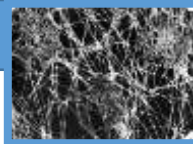
Meniscus will never let water
leave the wick



Perpetual mobile based on the
wicking phenomenon.

Gulia NV, Udivitel'naya fizika, Moskva, 2005

Rozdíl tlaků v přízích je dán rozdílem kapilární minus hydrostatický tlak. Kapilární tlak obsahuje materiálový parametr, který je závislý na geometrii pórů a smáčecích vlastnostech páru kapalina/vlákno.



Vzlínání do textilií – více hierarchická struktura

Vzlínání do textilií (netkané textilie, tkanina, pletenina, příze)

Existence série rozdílně velikých pórů

Kapilární tlak – malé kapiláry = vyšší hnací síla; malé kapiláry = menší průchodnost

Kapalina se pohybuje rychleji skrze větší póry a zaplňuje menší póry. V určitém okamžiku přichází do hry gravitace a brání průchodu kapaliny přes větší póry. Na konci ve větším póru se meniskus nepohybuje, ale v menším se stále ještě pohybuje.

