



## Archimedova skrutka

Archimedova skrutka je zaujímavé zariadenie, ktoré pracuje na základe viacerých fyzikálnych princípov, vrátane zotrvačnosti vody, súdržnosti molekúl vody (kohézie) a skladania síl. Je tvorená hadičkou namotanou okolo valca. Otáčaním tejto aparatury sa do hadičky naberá voda. Takýmto spôsobom je možné prečerpať vodu z nižšie položenej nádoby do vyššej. Spôsob fungovania je všeobecne známy a využíva sa v mnohých prístrojoch. Aj napriek tomu nie je zaradený do vyučovacieho procesu základných, stredných ani vysokých škôl.



### História Archimedovej skrutky

Jeden z najstarších strojov používaný na zavlažovanie a odvodňovanie sa nazýva Archimedova skrutka. Ešte počas pobytu v Egypte videl Archimedes chudobných roľníkov pri zavlažovaní polí, ktorí pri premiestňovaní vody z nižšej hladiny na vyššiu používali tzv. nekonečnú skrutku. Ako prvý ju popísal Archimedes, preto dostala názov „Archimedova skrutka“. Bola to obrovská špirála uzatvorená v drevenom valci. Pri otáčaní posúvala skrutka vodu pozdĺž svojho závitú, pričom sama vpred nepostupovala. V dnešnej dobe sa skrutka využíva aj na upevňovanie. Stredovekí stolári a tesári používali na výrobu nábytku a drevených konštrukcií budov drevené kolíky alebo kovové klíny. Až v 16. storočí sa začali vyrábať klince so závitom, ktoré lepšie držali. Skrutky sa začali všeobecne používať na upevňovanie až na konci 18. storočia, kedy bola objavená metóda ich lacnej výroby.

### Využitie Archimedovej skrutky

Archimedova skrutka má význam nielen pri čerpaní vody na zavlažovanie a odvodňovanie, ale aj pre distribúciu zrnitých látok, ako je: piesok, cement, uhlie, korok, granuly, krmivo, obilie, múka, arašidy, soľ, cukor, káva a pod. Dopravníky sú jedným z najstarších a najjednoduchších mechanizmov na presun sypkých materiálov. Skrutky sú otáčavo pripevnené v žľabe. Materiál umiestnený v žľabe sa pohybuje pozdĺž osi rotácie skrutky. Dopravníky sa používajú aj na miešanie suchých alebo kvapalných látok, môžu slúžiť aj ako sušička alebo chladič. Tento systém sa využíva v kombajnoch, lisoch na seno, pri prenose krmiva, obilia a v mnohých ďalších poľnohospodárskych strojoch. Archimedova skrutka sa využíva aj na bezpečnú prepravu rýb z rybníkov na iné miesto. Takýmto spôsobom sa minimalizuje fyzická manipulácia s rybami.



Šnekový dopravník



Kombajn

Archimedova skrutka je súčasťou prístroja „Hemopump cardiac assist system“, ktorý udržuje krvný obeh v priebehu akútneho srdcového zlyhania, namiesto kardiopulmonálneho bypass a využíva sa aj pri ďalších chirurgických zákrokoch.



Svoj účel spĺňa aj pri čistení odpadových vôd. Použitím Archimedovej pumpy sa zabráni upchatiu niektorej časti potrubia väčším materiálom.

Princíp Archimedovej skrutky sa využíva aj pri odstraňovaní snehu z príjazdových ciest snehovými frézami. Je súčasťou vrtákov rôznych zariadení, napr. vrtačky, motorového zemného vrtáku a pod.



Motorový zemný vrták



Snehová fréza

Opačný princíp fungovania Archimedovej skrutky sa využíva vo vodných systémoch v Anglicku. Voda sa leje do hornej časti Archimedovej skrutky, čím sa zariadenie roztočí. Rotujúci hriadeľ sa môže použiť na pohon elektrického generátora.

### Fyzikálny princíp Archimedovej skrutky

Otáčaním valca sa do trubičky naberá voda, ktorá sa postupne čerpá do hornej nádoby. Vďaka zotrvačnosti sa voda pri každom pootočení valca dostáva o závit vyššie. Malé množstvo vody tečie kvôli kohézii späť špirálou do predchádzajúceho závitu. Môžeme to dobre pozorovať cez priehľadnú (sklenenú) hadičku.

Tieto komplikácie s kohéziou a spätným tokom vody v špirále sa môžu znížiť použitím zavzdušnenej pumpy, do ktorej sa pri naberaní vody dostáva aj vonkajší vzduch a vďaka tomu je efektívnejšia ako nezavzdušnená pumpa.

### Zotrvačnosť

Znenie zákona zotrvačnosti (1. Newtonov zákon):

Každý hmotný bod v inerciálnej vzťažnej sústave zotrvačuje v pokoji alebo v rovnomernom priamočiariom pohybe, kým nie je nútený vonkajšími silami tento svoj stav zmeniť.

Súvislosť s Archimedovou skrutkou: Pri postupnom naberaní vody do hadičky má voda snahu zotrvačovať v pokoji. Vďaka zotrvačnosti sa voda pri každom pootočení valca dostáva o závit vyššie.

### Tretia sila

Tretia sila pôsobí proti smeru pohybu telesa. Príčinou šmykového trenia je skutočnosť, že styčné plochy dvoch telies nie sú nikdy dokonale hladké. Ich nerovnosti do seba zapadajú a bránia vzájomnému pohybu telies. Pritom sa uplatňuje i silové pôsobenie častíc v styčných plochách.

Súvislosť s Archimedovou skrutkou: Tretia sila pôsobí proti smeru pohybu vody v závitoch hadičky.

### Adhézia a kohézia molekúl vody

Adhézia je spôsobená adhéznymi silami medzi molekulami povrchových vrstiev stýkajúcich sa látok. Adhézia značí príľnavosť vody k stenám nádoby.

Kohézia (vzájomná súdržnosť) molekúl vody vyjadruje vzájomné príťažlivé sily medzi molekulami vody a zabezpečuje súvislý vodný stĺpec.

### Skladanie síl

Skladať sily pôsobiace na tuhé teleso znamená určiť silu, ktorá má na dané teleso rovnaký účinok ako sily, ktoré skladáme.



Opačný proces skladania síl je rozklad sily na jednotlivé jej zložky.

Súvislosť s Archimedovou skrutkou: Výsledná sila, ktorá spôsobuje pohyb vody v hadičke sa skladá z gravitačnej sily, hybnej sily od skrutky a trecej sily medzi vodou a stenami skrutky.

### Sínusová veta v trojuholníku

Znenie sínusovej vety:

Pre každý trojuholník ABC s vnútornými uhlami  $\alpha, \beta, \gamma$  a stranami  $a, b, c$  platí:

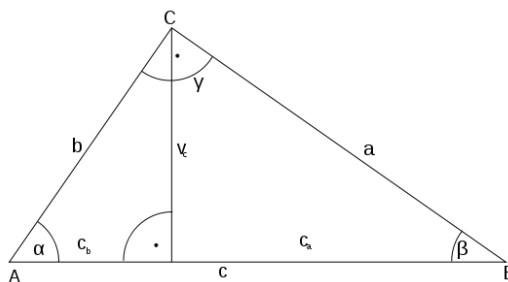
$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} = 2R,$$

kde  $R$  je polomer opísanej kružnice pre tento trojuholník.

**Číže:**

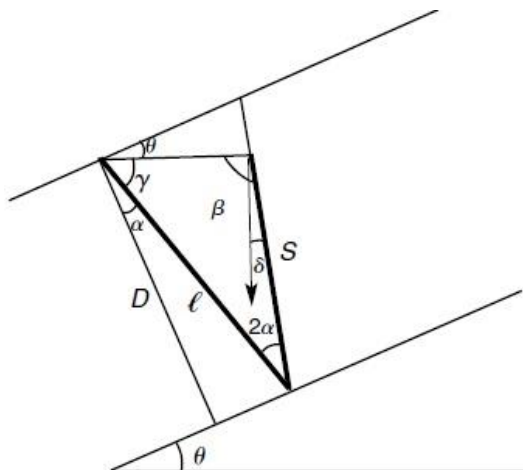
Pomer dĺžok strán trojuholníka sa rovná pomeru sínusov im protiľahlých uhlov:

$$\frac{a}{b} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \frac{b}{c} = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}, \frac{c}{a} = \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha}.$$



Obr.1: Trojuholník

### Goniometrické funkcie



Obr.2: Trubička s vodou namotaná okolo valca

Z obrázka vidíme:

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \theta - \alpha = 90 - (\theta + \alpha) \tag{1}$$

$$\beta = \pi - \gamma - 2\alpha = \pi - \left( \frac{\pi}{2} - \theta - \alpha \right) - 2\alpha = \frac{\pi}{2} + \theta + \alpha \tag{2}$$



Teraz využijeme sínusovú vetu v trojuholníku, ktorý sa nachádza na obrázku 1:

$$\frac{\sin \gamma}{S} = \frac{\sin \beta}{l}. \quad (3)$$

Namiesto uhla  $\beta$  dosadíme rovnicu 2:

$$\frac{\sin \gamma}{S} = \frac{\sin(\pi - \gamma - 2\alpha)}{l}.$$

Potom nahradíme uhol  $\gamma$  rovnicou 1:

$$\frac{\sin[90 - (\theta + \alpha)]}{S} = \frac{\sin(\pi - \gamma - 2\alpha)}{l}. \quad (4)$$

Odtiaľ získame:

$$S = l \frac{\sin(\pi - \gamma - 2\alpha)}{\sin[90 - (\theta + \alpha)]} = l \frac{\sin(90 + \theta + \alpha)}{\sin[90 - (\theta + \alpha)]} = l \frac{\cos(\theta + \alpha)}{\cos(\theta - \alpha)}. \quad (5)$$

Z poslednej rovnice (5) si môžeme všimnúť, že ak  $\theta \geq 90^\circ - \alpha$ , potom  $S \leq 0$  ( $S$  je parameter, ktorý určuje množstvo vody zachytenej v trubičke).

To znamená, že kritický uhol sklonu je:

$$\theta_c = 90^\circ - \alpha. \quad (6)$$

Z toho vyplýva, že musíme mať  $\theta \leq \theta_c$ , iba tak získame  $S = S(\theta)$ .

Súvislosť s Archimedovou skrutkou: Navrhujeme nabrať do trubičky množstvo vody úmerné:

$$\frac{\cos(\theta + \alpha)}{\cos(\theta - \alpha)}. \quad (7)$$

### Porozmýšľajte

V úvode boli študenti oboznámení s fyzikálnou podstatou úlohy. Ešte predtým, ako sa pustia do spracovania úlohy, mal by byť vytvorený priestor pre ich vlastné otázky. Aj my sme sformulovali niekoľko otázok:

- ? Ak by sme minimalizovali priľnavosť vody o steny hadičky, napríklad povoskovaním zvnútra, bolo by možné prečerpávať vodu?
- ? Aký význam má pri činnosti Archimedovej skrutky zotrvačnosť vody?
- ? Voda stúpa nahor, jej potenciálna energia sa zvyšuje. To znamená, že konáme prácu. Čím je daná veľkosť našej práce?
- ? Prečo je uhol sklonu  $65^\circ$  osi Archimedovej skrutky voči vodorovnej rovine kritický (voda sa už neprečerpá)?
- ? Do akej maximálnej výšky môžeme prečerpať vodu? Od akých parametrov to závisí?
- ? Čo sa stane, ak budeme meniť uhol, ktorý zvierajú pumpa s vodorovnou rovinou, do ktorej je zapichnutá? Pri ktorom uhle je čerpanie vody najefektívnejšie?
- ? Aký vplyv na prečerpávanie vody bude mať zväčšenie vnútorného priemeru hadičky? Uhol sklonu namotanej hadičky pritom nezmeníme.





### Zhrnutie nášho merania

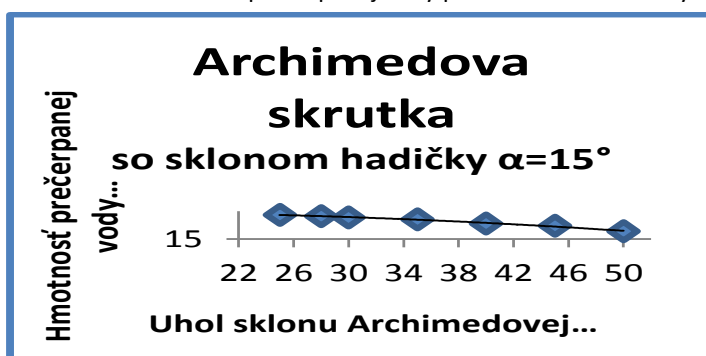
Používali sme tri typy Archimedových skrutiek – so sklonom hadičky  $\alpha = 15^\circ, 30^\circ, 40^\circ$  pre porovnanie množstva prečerpanej vody. Jednu zo skrutiek sme vložili do nádržky s vodou pod určitým uhlom  $\theta$  tak, aby pri točení valca sa do hadičky okrem vody naberal aj vonkajší vzduch. Uhol  $\theta$  zvierala skrutka s vodorovnou rovinou, do ktorej bola zapichnutá. Pri každom meraní siahala vodná hladina do polovice prierezu valca.



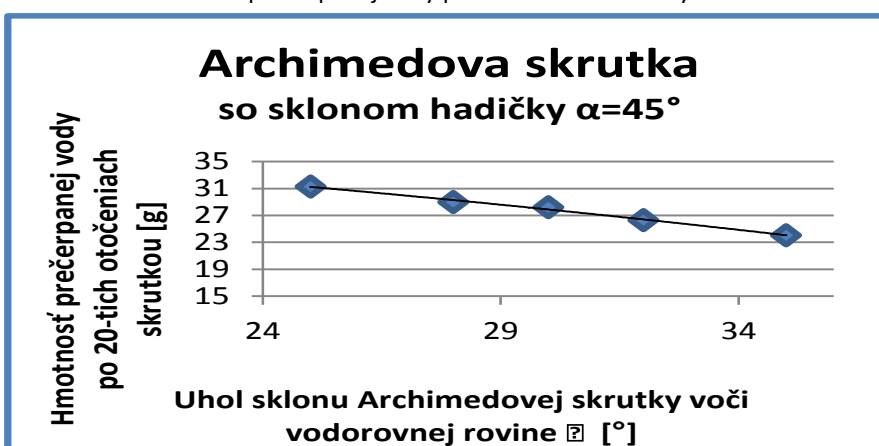
### Množstvo prečerpanej vody v závislosti na uhle sklonu Archimedovej skrutky voči vodorovnej rovine $\theta$

Skrutkou sme otáčali, kým sa voda nedostala do posledného závit. Zmerali sme hmotnosť prečerpanej vody zachytenej po 20-tich otočeniach skrutkou. Po odstránení vody zo skrutky sme opakovali meranie pre rôzne sklony skrutky voči vodorovnej rovine  $\theta$  a pre ďalšie typy Archimedových skrutiek.

Množstvo prečerpanej vody pri uhle sklonu hadičky  $\alpha=15^\circ$



Množstvo prečerpanej vody pri uhle sklonu hadičky  $\alpha=45^\circ$



Zistili sme, že zväčšovaním uhla sklonu  $\theta$  sa množstvo prečerpanej vody znižuje. Najväčšie množstvo vody sme prečerpali skrutkou so sklonom hadičky  $\alpha = 45^\circ$  a pri uhle sklonu  $\theta = 25^\circ$ .

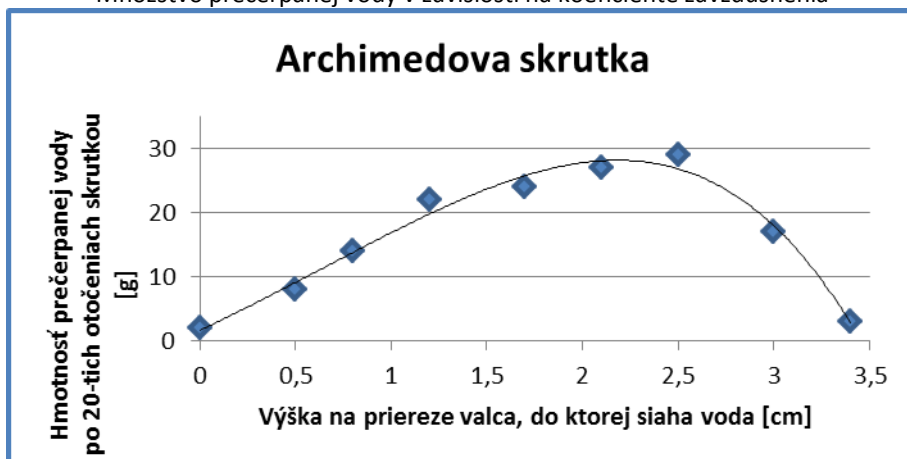
Pri meraní množstva prečerpanej vody sme používali digitálne váhy s presnosťou na 0,01g.



### Množstvo prečerpanej vody v závislosti na koeficiente zavzdušnenia

Keďže sa do skrutky striedavo naberá voda aj vzduch, zmerali sme množstvo prečerpanej vody v závislosti na koeficiente zavzdušnenia. Menili sme výšku vodnej hladiny vzhľadom na prierez valca. Používali sme Archimedovu skrutku so sklonom hadičky  $\alpha=45^\circ$ . Uhol sklonu skrutky voči vodorovnej rovine bol počas celého merania konštantný,  $\theta=30^\circ$ .

Množstvo prečerpanej vody v závislosti na koeficiente zavzdušnenia



Zvyšovaním vodnej hladiny sa množstvo prečerpanej vody zväčšuje, pretože sa do skrutky postupne naberá viac vody. Pri veľmi vysokej vodnej hladine sa do skrutky dostáva malé množstvo vzduchu, prípadne žiadny. V skrutke sa nachádza súvislý vodný stĺpec, ktorý nie je prerušovaný vzduchovými bublinami, preto sa veľké množstvo vody vracia závitmi skrutky späť. Prítomnosť vzduchu zvyšuje efektívnosť transportu vody v Archimedovej skrutke.

### Zdroje:

[http://www.infovek.sk/predmety/fyzika/expert03/vysvetlenie\\_08.html](http://www.infovek.sk/predmety/fyzika/expert03/vysvetlenie_08.html)

<http://www.cs.drexel.edu/~crrorres/Archimedes/contents.html>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes'\\_screw](http://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes'_screw)

### ÚSTAV FYZIKÁLNYCH VIED

#### Oddelenie didaktiky fyziky

ODF ÚFV PF UPJŠ, Park Angelinum 9, 041 54 Košice

tel.: +421 (055) 234 6140, 2440, fax: +421 (055) 622 21 24,

e-mail: [odf-ufv@upjs.sk](mailto:odf-ufv@upjs.sk), <http://physedu.science.upjs.sk>, <http://ufv.science.upj.sk>

## Pracovný list

verzia apríl 2010

### ARCHIMEDOVA SKRUTKA

16+

Bc. Mária Nováková, RNDr. Marián Kireš, PhD.

#### Využijeme vedomosti

- ★ Zákon zotrvačnosti
- ★ Tretia sila
- ★ Adhézia (priľnavosť) a kohézia (súdržnosť) molekúl vody
- ★ Sínusová veta v trojuholníku
- ★ Goniometrické funkcie



#### Príbeh

Počas príjemného dňa sa plavíte na jachte. Odrazu sa strhne búrka a nedopatrením sa vám dostane do podpalubia voda. Nablízku máte len teleso valcovitého tvaru a hadičku. Akým spôsobom by ste odčerpali vodu?

#### Čo by sme mohli potrebovať

Na vytvorenie Archimedovej skrutky potrebujeme valec, okolo ktorého pravidelne omotáme hadičku. Takto pripravenú Archimedovu skrutku vložíme do nádržky s vodou. Točením valca naberáme do hadičky vodu a týmto spôsobom sa snažíme prečerpať vodu z nádržky do vyššie položenej nádoby. Aby sme mohli pozorovať množstvo vody, ktoré sa do hadičky naberá, je najvhodnejšie použiť priehľadné hadičky.

#### Návrh aparatúry

*Pokúste sa navrhované pomôcky zostaviť do vlastnej aparatúry. Jej zostavu zakreslite. Porozmýšľajte a zapíšte si parametre, ktoré vplyvajú na objem prečerpanej vody.*

Návrh vlastnej aparatúry

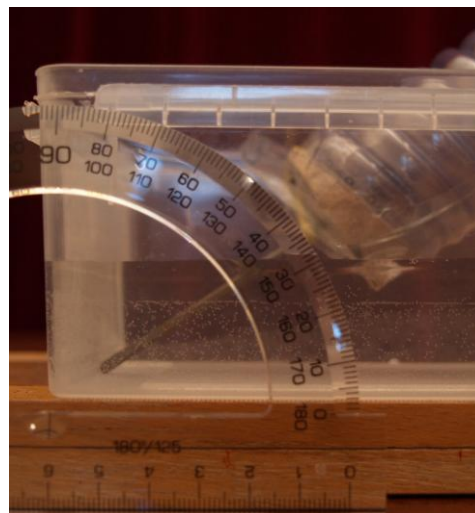
Parametre ovplyvňujúce  
objem prečerpanej vody

## ZAVZDUŠNENÁ PUMPA

1. Hadičku husto namotajte okolo valca pod uhlom sklonu  $\alpha = 15^\circ$ . Vytvorte Archimedovu skrutku.
2. Rovnakým spôsobom vytvorte ešte jednu Archimedovu skrutku. Hadičku husto namotajte okolo valca pod uhlom sklonu  $\alpha=30^\circ$ .
3. Nádobu na vodu položte na digitálne váhy a uložte do roviny horného ústia hadičky.
4. Jednu zo skrutiek vložte do nádržky s vodou pod určitým uhlom  $\theta$  tak, aby pri točení valca sa do hadičky okrem vody dostal aj vonkajší vzduch. Uhol  $\theta$  zvierá skrutka s vodorovnou rovinou, do ktorej je zapichnutá.
5. Skrutkou otáčajte, striedavo sa do nej naberá voda i vzduch a pozorujte, čo sa deje. Počas celého procesu otáčania nemeňte uhol sklonu  $\theta$ .
6. Ak bude voda v poslednom závite, urobte ešte 20 otočení skrutky a odmerajte hmotnosť prečerpanej vody pre daný typ skrutky a uhol sklonu skrutky s vodorovnou rovinou.
7. Odstráňte vodu zo skrutky. Opakujte meranie podľa krokov 4. – 6. pre rôzne sklony skrutky voči vodorovnej rovine a pre obe zostrojené skrutky.
8. Porovnajzte množstvo prečerpanej vody pri 20 otočeniach v závislosti na uhle naklonenie Archimedovej skrutky a sklone závitov.



Obr.1: Uloženie aparatúry



Obr.2: Rôzne uhly  $\theta$ , ktoré zvierá skrutka s vodorovnou rovinou

**Zapíšte výsledky merania objemu prečerpanej vody**

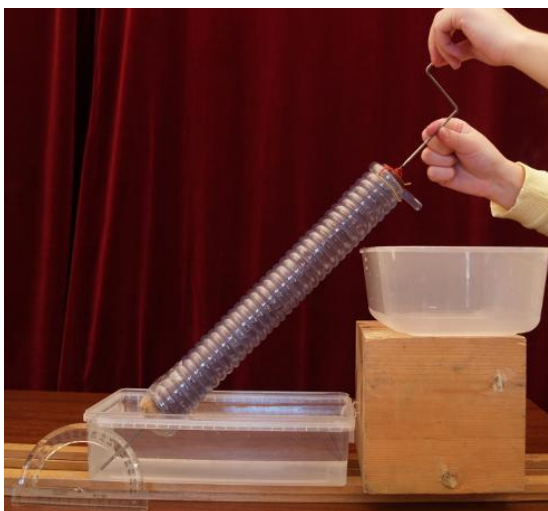
--



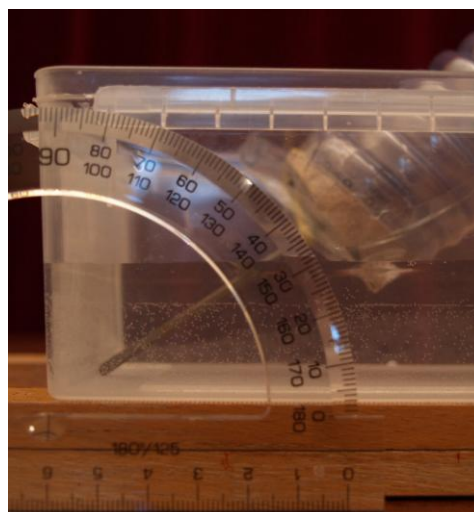
Ako na to?

## NEZAVZDUŠNENÁ PUMPA

1. Použite Archimedove skrutky z predchádzajúceho merania.
2. Rozdiel bude v tom, že skrutku vložíte do nádržky s vodou pod určitým uhlom  $\theta$  tak, aby bol celý prvý závit ponorený (skrutka nesmie pri otáčaní naberáť vzduch).
3. Valcom otáčajte, voda sa pritom naberá do hadičky a stúpa nahor.
4. Ak bude voda v poslednom závite, urobte ešte 20 otočení skrutky a odmerajte hmotnosť prečerpanej vody pre daný typ skrutky a uhol sklonu skrutky s vodorovnou rovinou.
5. Odstráňte vodu zo skrutky. Opakujte meranie podľa krokov 2. – 4. pre rôzne sklony skrutky voči vodorovnej rovine a pre obe zostrojené skrutky.
6. Porovnajte množstvo prečerpanej vody pri 20 otočeniach v závislosti na uhle naklonenie Archimedovej skrutky a sklone závitov. Použite rovnaké uhly sklony ako pri meraní so zavzdušnenou skrutkou.
7. Porovnajte množstvo prečerpanej vody pri 20 otočeniach u zavzdušnenej a nezavzdušnenej pumpy.



Obr.3: Uloženie aparatúry



Obr.4: Rôzne uhly  $\theta$ , ktoré zvierá skrutka s vodorovnou rovinou

**Zapíšte výsledky merania objemu prečerpanej vody**

### Čo ďalej? Vyskúšajte a presvedčte sa

- ❖ Ako sa líši pozorovanie s vaším očakávaním?
- ❖ Skúste meniť rýchlosť točenia valca. Zmení sa tým výsledok pokusu?
- ❖ Použite hadičky s rôznym vnútorným priemerom. Na valec ich namotajte pod rovnakým uhlom sklonu  $\alpha$ .
- ❖ Použite valce s rôznym vonkajším priemerom.
- ❖ Aký je rozdiel medzi nezavzdušnenou a zavzdušnenou pumpou?
- ❖ Ako v jednotlivých typoch púmp závisí uhol  $\alpha$ , pod ktorým je namotaná hadička na valci od uhla  $\theta$ , ktorý zvierá valec s vodorovnou rovinou?
- ❖ Navrhňte, kde by sa mohol využívať princíp Archimedovej pumpy.

### Zapíšte, čo ste sa dozvedeli

### Zhodnotenie merania: