

# **Elektrické zvlákňování nanovláken aneb méně obvyklé zpracování polymerů**

**Pavel Pokorný, Tomáš Kalous, Jakub Erben a Pavel Holec**

**Katedra netkaných textilií a nanovláčenných materiálů  
FT TUL**

***pavel.pokorny@tul.cz***

# VÝCHODISKA ZKOUMÁNÍ

***Správný konstruktér, technolog atd. se má v první řadě snažit, aby to nemusel vůbec dělat....!***

***(Jaroslav Uhlíř, GALA a.s. Prostějov 1984)***

***Příroda obvykle pracuje s nejmenší spotřebou hmoty a energie.***



zdroj:

[Thinkstockphotos](#)

# ZPŮSOBY VÝROBY NANOVLÁKEN

## Možnosti výroby polymerních nanovláken

- Tažení (Drawing)
- Syntéza šablonou (Template Synthesis)
- Technologie Melt-blown
- Výroba bikomponentních vláken –typ „ostrovky v moři“
- Forcespinning – odstředivé zvlákňování
- A další a další způsoby.....

## **VÝROBA PROBLÉMŮ.....**

**Zvlákňování z tavenin: dobře zvládnutá a velmi široce používaná technologie, dobrá znalost jednotlivých procesních parametrů a malý vliv samoorganizace hmoty.**

**Elektrické zvlákňování nanovláken a jiné metody jejich výroby (drawing, force spinning) – vložení „samoorganizačního“ členu do výrobního procesu = nekončící příval dobrodružství, zábavy a také problémů.....**

# ELEKTRICKÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ

..... NE *elektrostatické!* Na zvlákňování přece není nic statického.....!

**Tento mnohvrstevný a komplikovaný fyzikální, chemický a technologický problém připomíná**



**Klíčem k pochopení problému a jeho technologického využití je „loupání“ jednotlivých vrstev problému a jejich kreativní zkoumání dostupnými prostředky.**

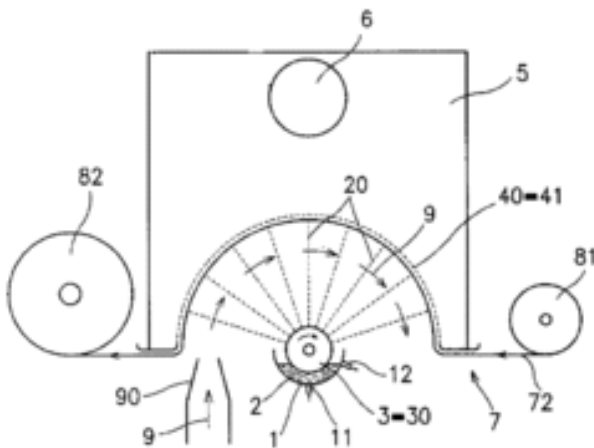
# STEJNOSMĚRNÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ

Čerstvě „dospělá“ technologie...

**CZ294274 (WO/2005/024101)** Způsob výroby nanovláken z polymerního roztoku elektrostatickým zvlákňováním a zařízení k provádění způsobu,

**Oldřich Jirsák, Filip Sanetrník, David Lukáš, Václav Kotek,  
Lenka Martinová, Jiří Chaloupek**

**NANOSPIDER™**



Picture by Elmarco

## CO SE VYRÁBÍ NANOSPIDEREM?

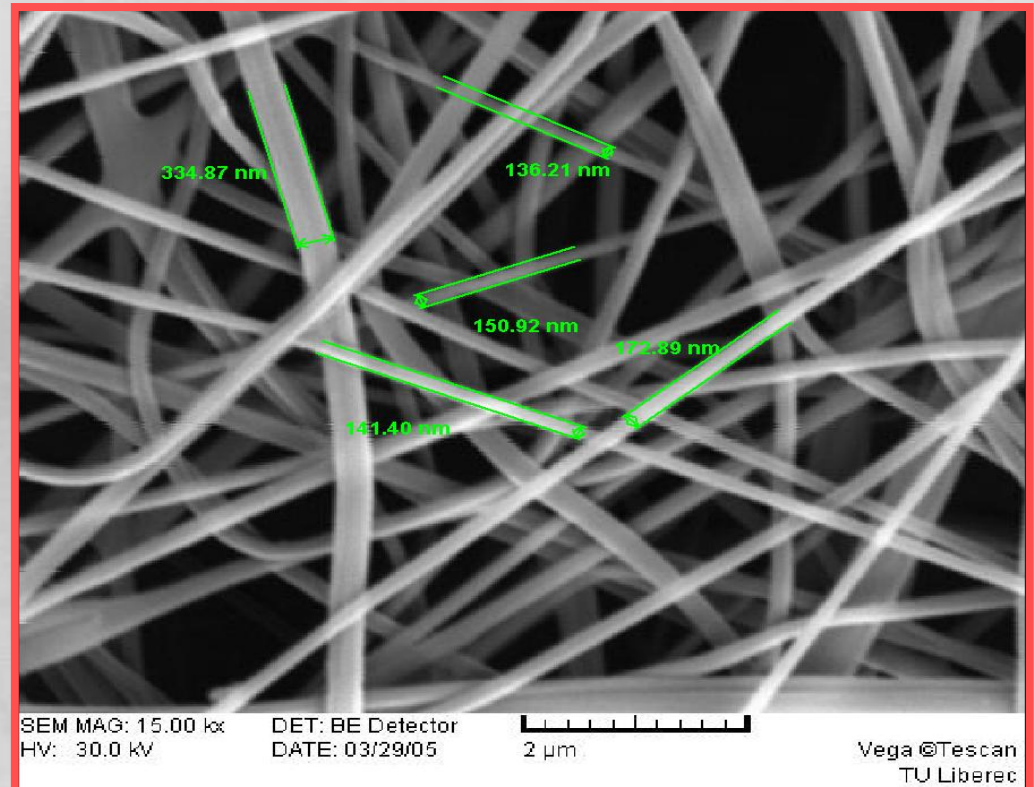
- Plošné vrstvy, dobrá rovnoměrnost při správném nastavení procesu
- Vlákna přímá
- Poměrně široká škála zpracovávaných polymerů, například: PVA, PEO, PA, PVDF, PCL, PLC, PVB, PU.....

atom – 1 - 10 nm

polymení nanovlákno - 50 do 500 nm

červená krvinka – 5 000 nm

lidský vlas – 20 000 do 30 000 nm



Snímek Eva Košťáková, 2008

# JAK TO PRACUJE U JEHLOVÉHO SPINNERU?

Pro vysvětlení principu je vhodné použít tzv. *jehlové elektrostatické zvlákňování*

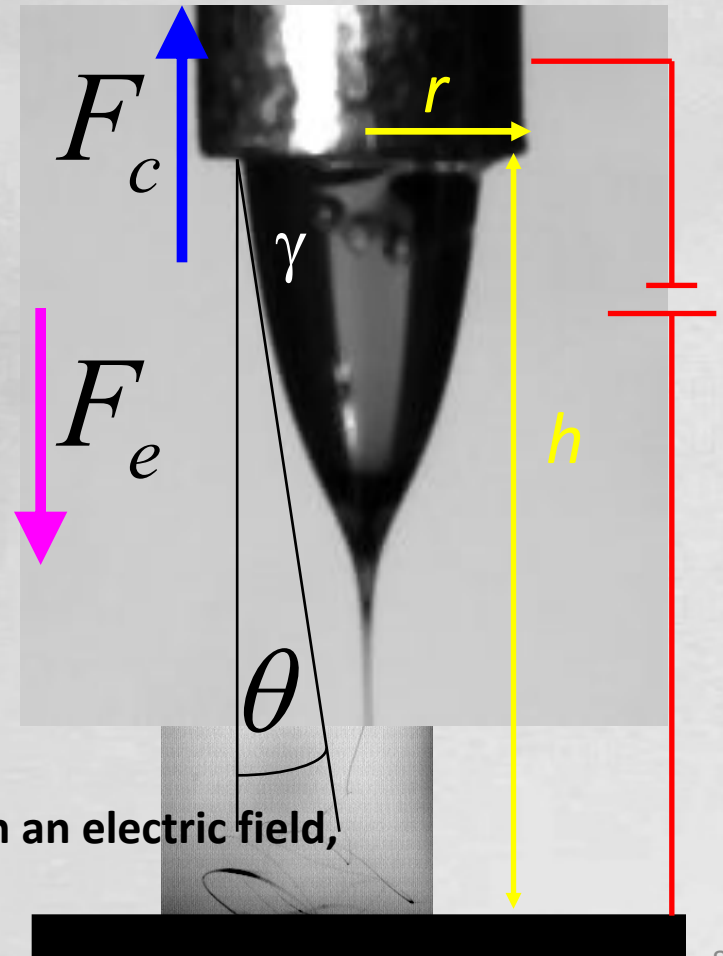
Kapilární síla  $F_c = 2\pi r \gamma \cos \theta$

Elektrická síla  $F_e = \int (1/2\epsilon E^2) ds$

$F_e = F_c$  **Silová rovnováha!**

$$V_c^2 = 4 \ln\left(\frac{2h}{r}\right) \pi r \gamma 1.30 (0.09)$$

Sir G. Taylor (1964) Disintegration of water drops in an electric field,  
Proc. Roy. Soc. A, vol. 280, 1964, pp. 383-397





## A Z VOLNÉ HLADINY? Elektrosinningové číslo

$$E_c = \sqrt[4]{4\gamma\rho g / \varepsilon^2}$$

Kritická intenzita pole

$$E_c = 2.462 \cdot 10^6 [V/m]$$

Skrytá délka

$$a = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$$

Kapilární  
délka

Kritická vlnová délka

$$\lambda_c = 2\pi a$$

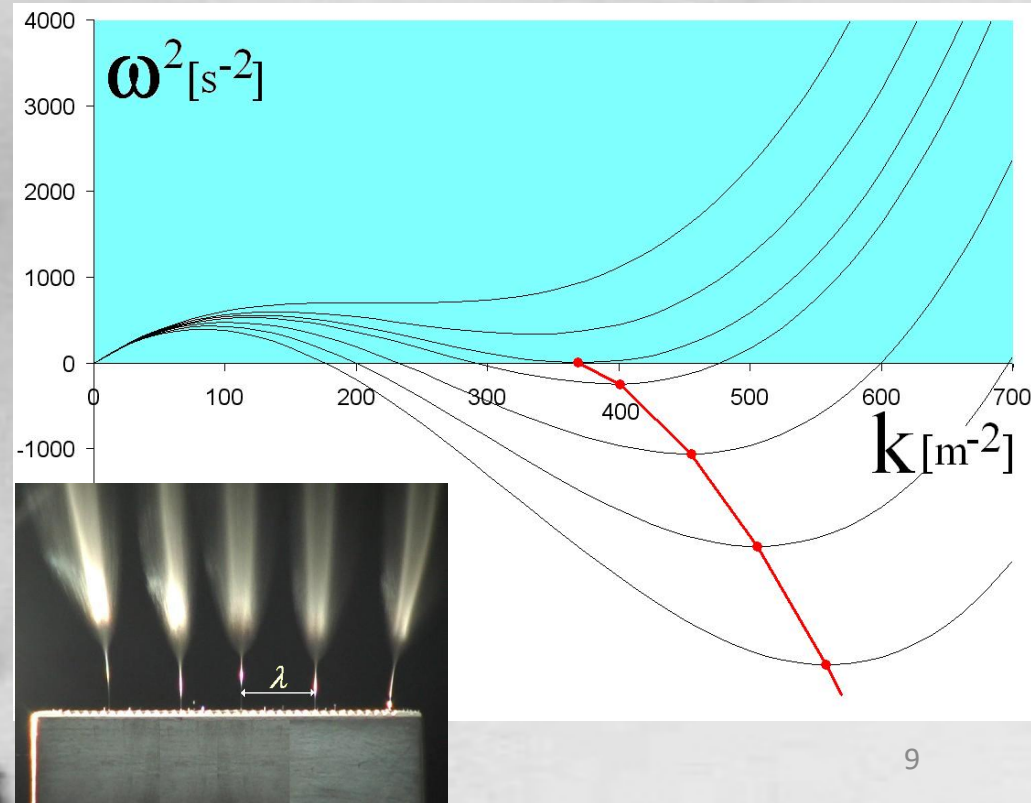
$$\lambda_c = 16.85960 \cdot 10^{-3} m.$$

$$\frac{1}{2} \varepsilon E_c^2 = \frac{\gamma}{a}$$

Elektrický tlak

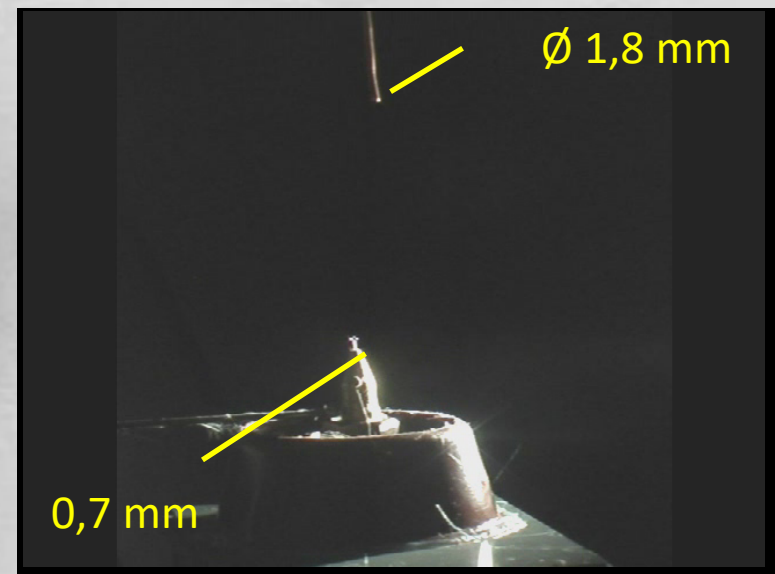
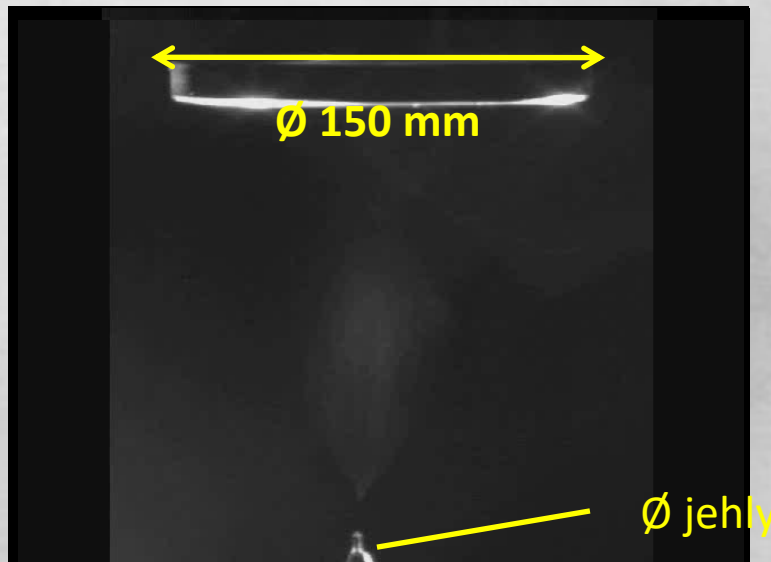
Kapilární  
tlak

$$\Gamma = \frac{a \varepsilon E_o^2}{2\gamma}$$



## JAK TO PRACUJE?

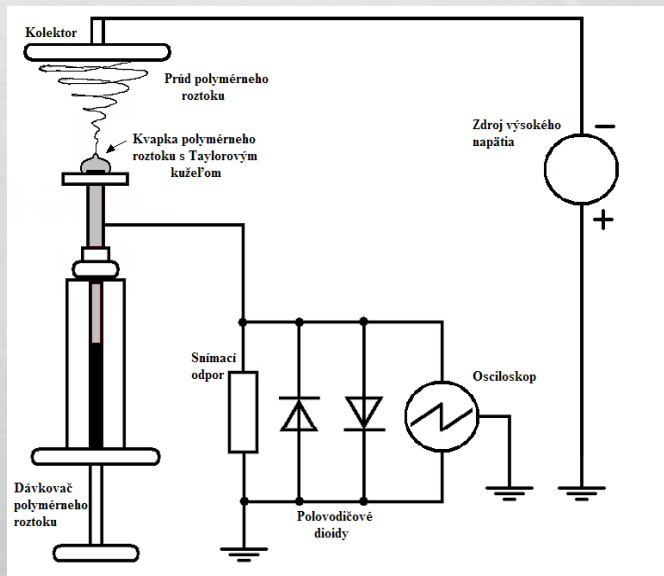
Lukáš, D., Sarkar, A., Martinová, L., Vodseďálková, K., Lubasová, D., Chaloupek, J., Pokorný, P., Mikeš, P., Chvojka, J., Komárek, M.: *Physical principles of electrospinning*, Textile progres, Vol.41, No. 2, 2009, 59 – 140, ISBN-13:978-0-415-55823-5



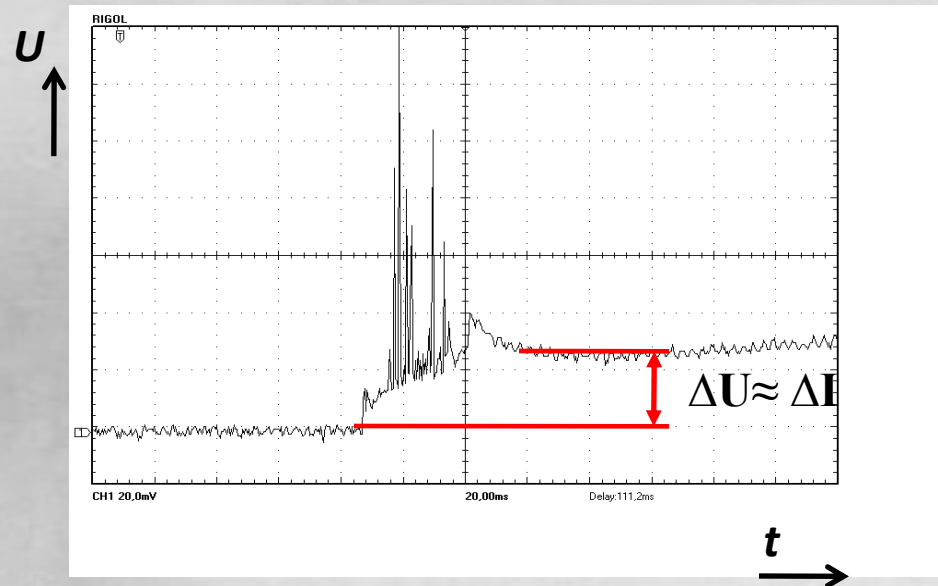
**Pravidlo:** *Poměr nejmenších rozměrů elektrod musí být větší než 1:10. Jinak vznikají velké problémy s ukládáním vláken na kolektor.*

# ZA VŠE MŮŽE ELEKTŘINA!

Jak velký elektrický proud teče kapalinovou tryskou?  
Kde teče elektrický proud, tam se musí pohybovat náboje  
a tím i hmota....!



Schema zapojení

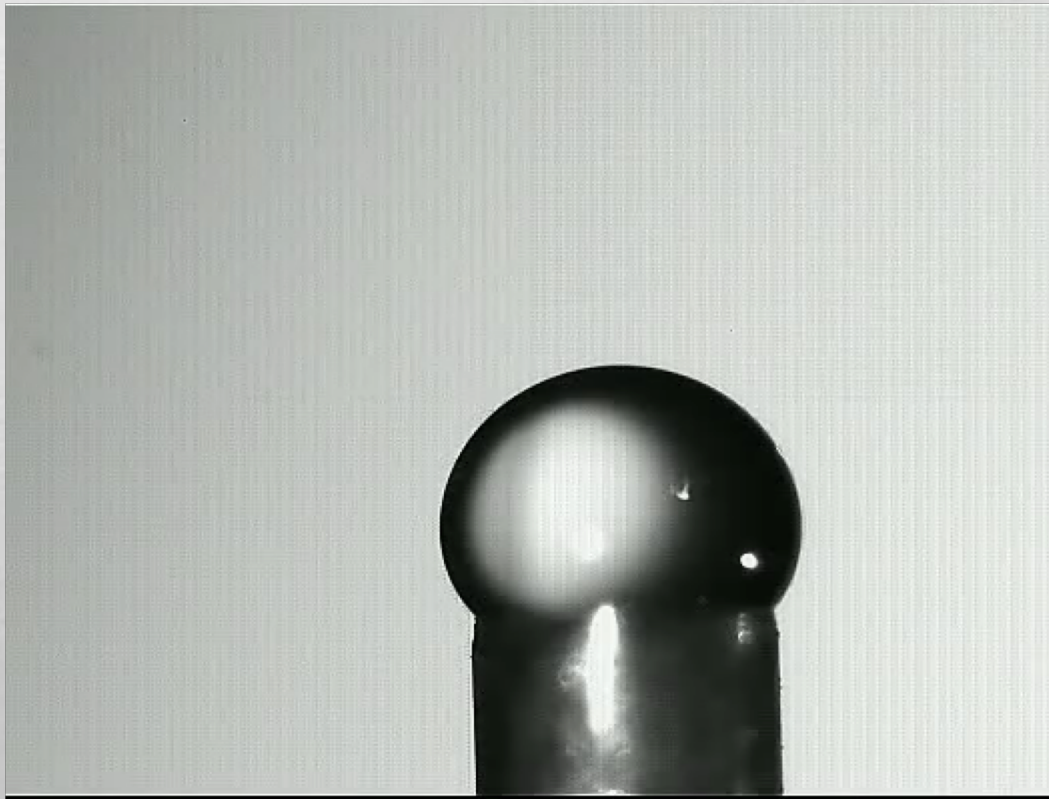


Typický průběh elektrického proudu

Truhanová, A.: *Průběh elektrického proudu vláknem polymerního roztoku při elektrostatickém zvlákňování*, Diplomová práce, Fakulta textilní, Fakulta mechatroniky a mezioborových studií, Technická univerzita v Liberci, 2008

# JAK JE TO VE SKUTEČNOSTI?

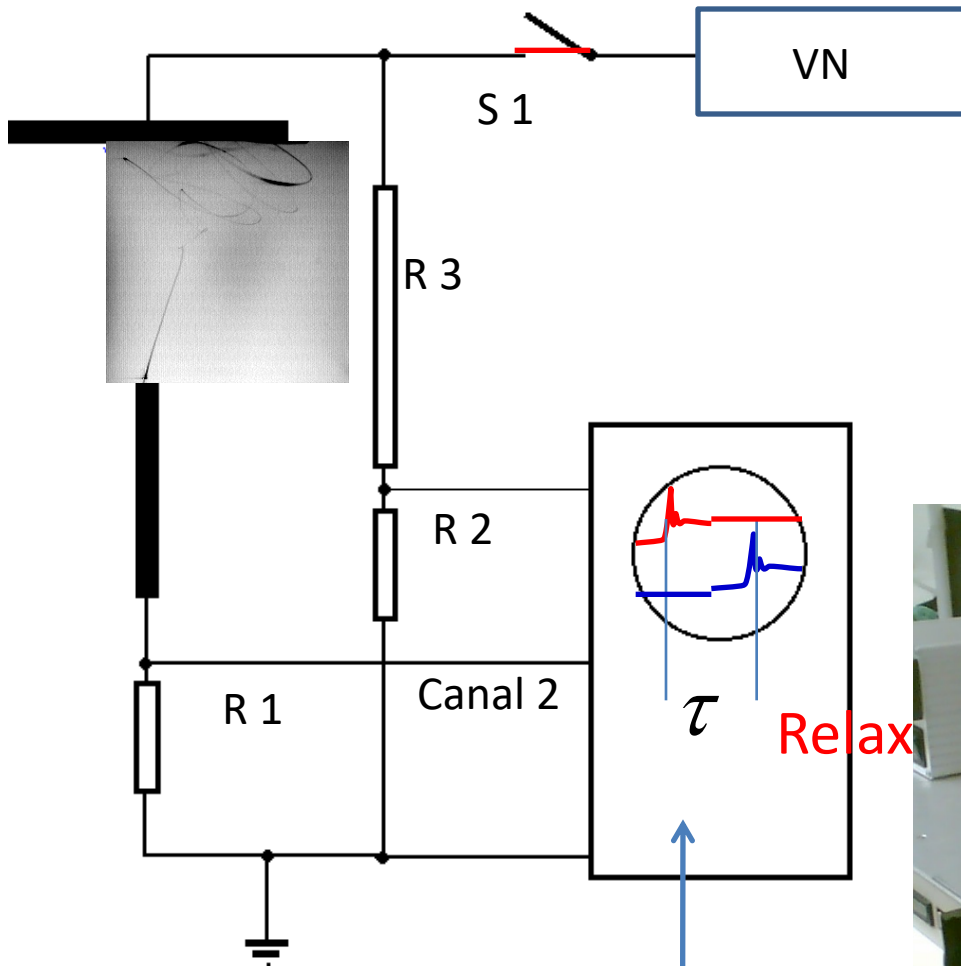
## Záznam vzniku Taylorova kužele pomocí rychlokamery



Rychlokamera OLYMPUS  
i-speed 3

Rychlost snímání 5000  
snímků za sekundu

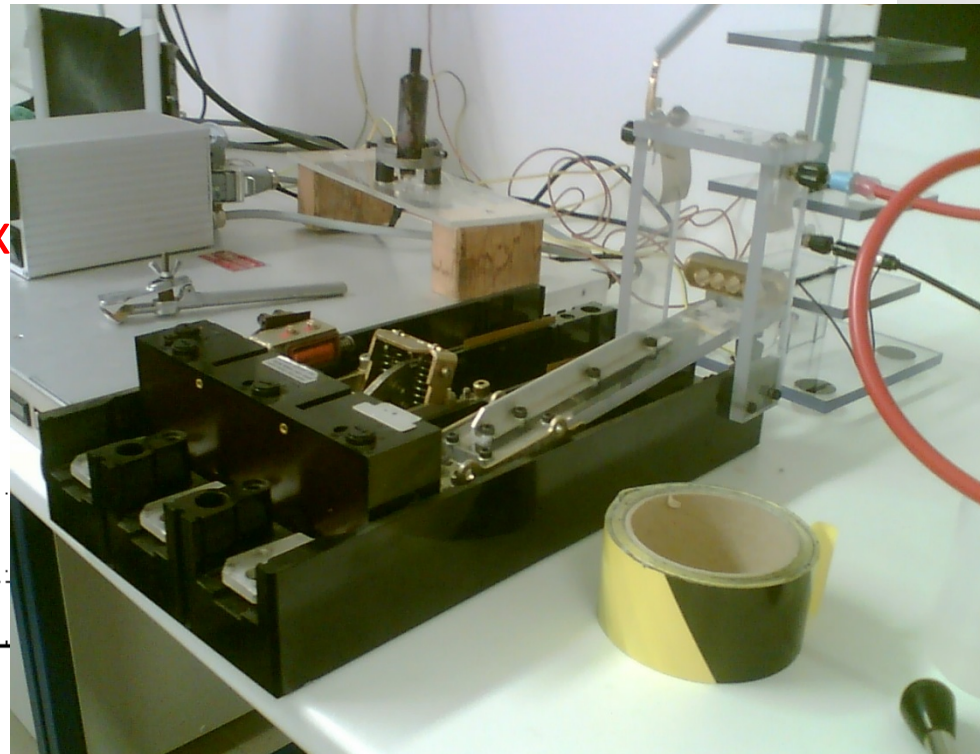
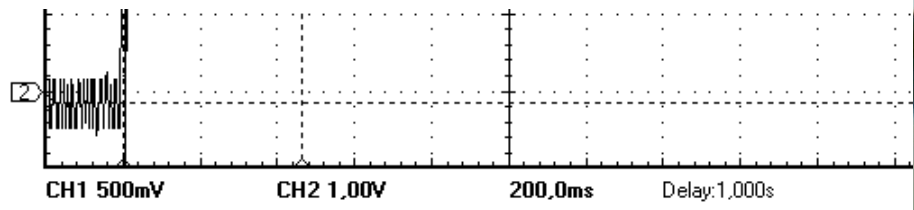
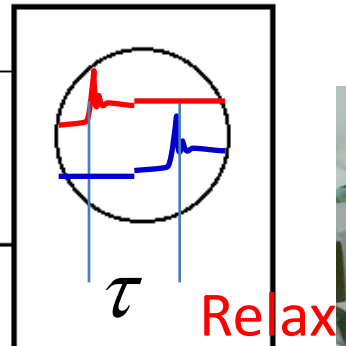
# IAK DLOUHOU TRVÁ VZNIK ZVIÁKŤOVÁNÍ?



S1 vysokonapěťový spínač

R1 uzemňovací odpor

R2, R3 vysokonapěťový dělič

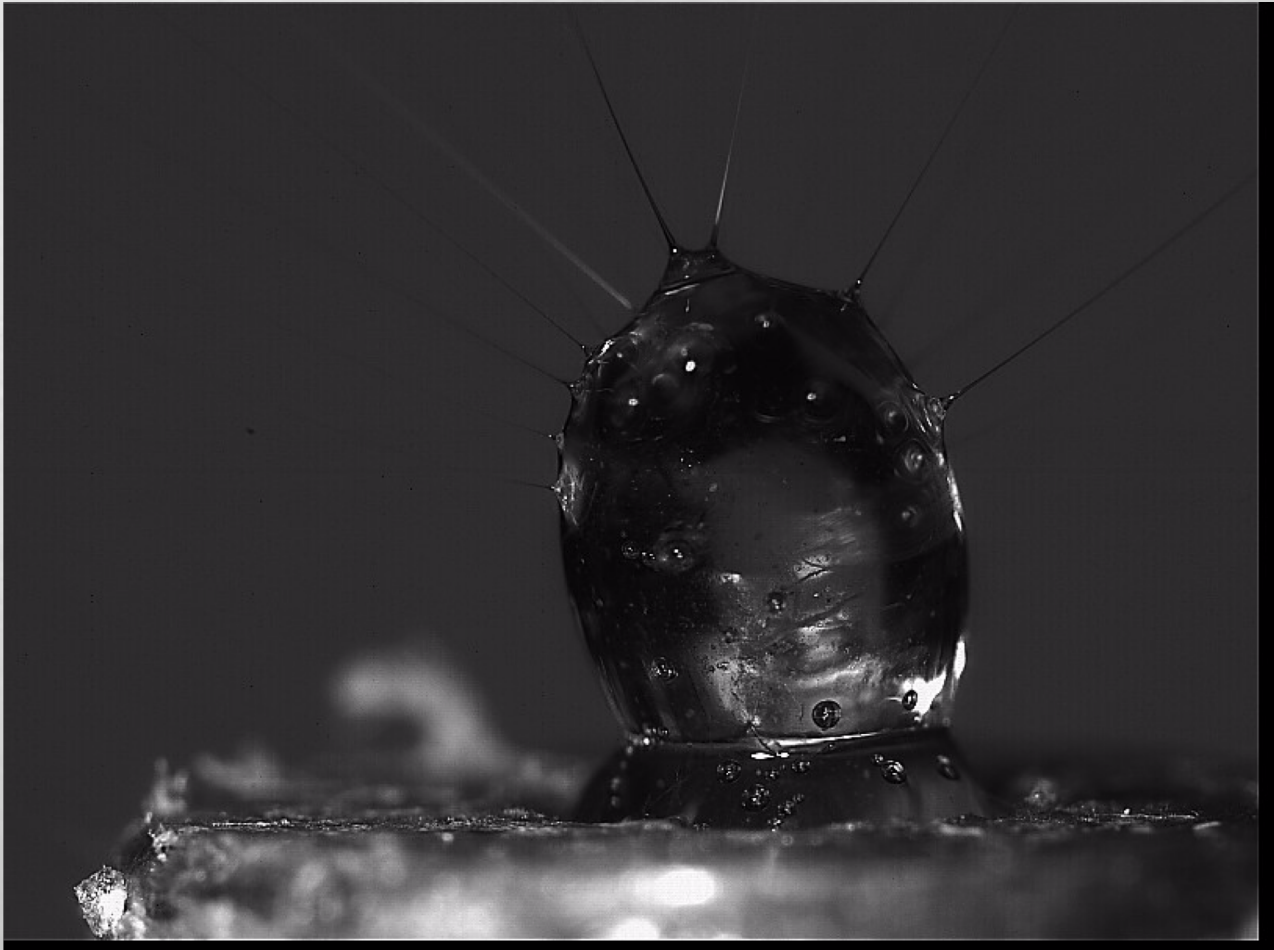


# MŮŽE SE ZVLÁKŇOVAT I STŘÍDAVÝM



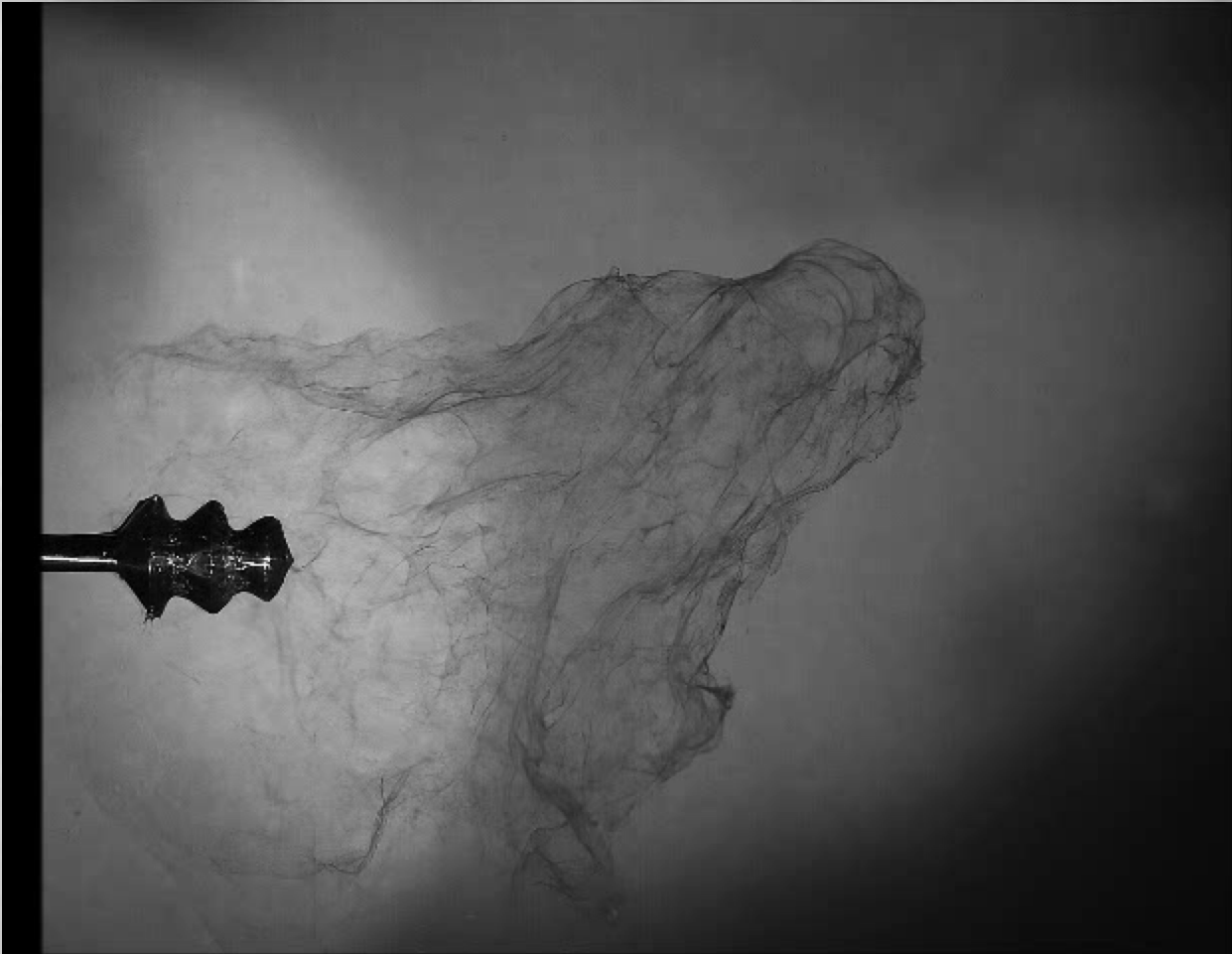


# JAK TO PRACUJE?





# JAK TO PRACUJE?





## PŘÍKLADY VYUŽITÍ PROCESU







Snímek laskavě poskytl Klastř NANOPROGRES

**DĚKUJI ZA POZORNOST.**

***NĚJAKÉ OTÁZKY?***