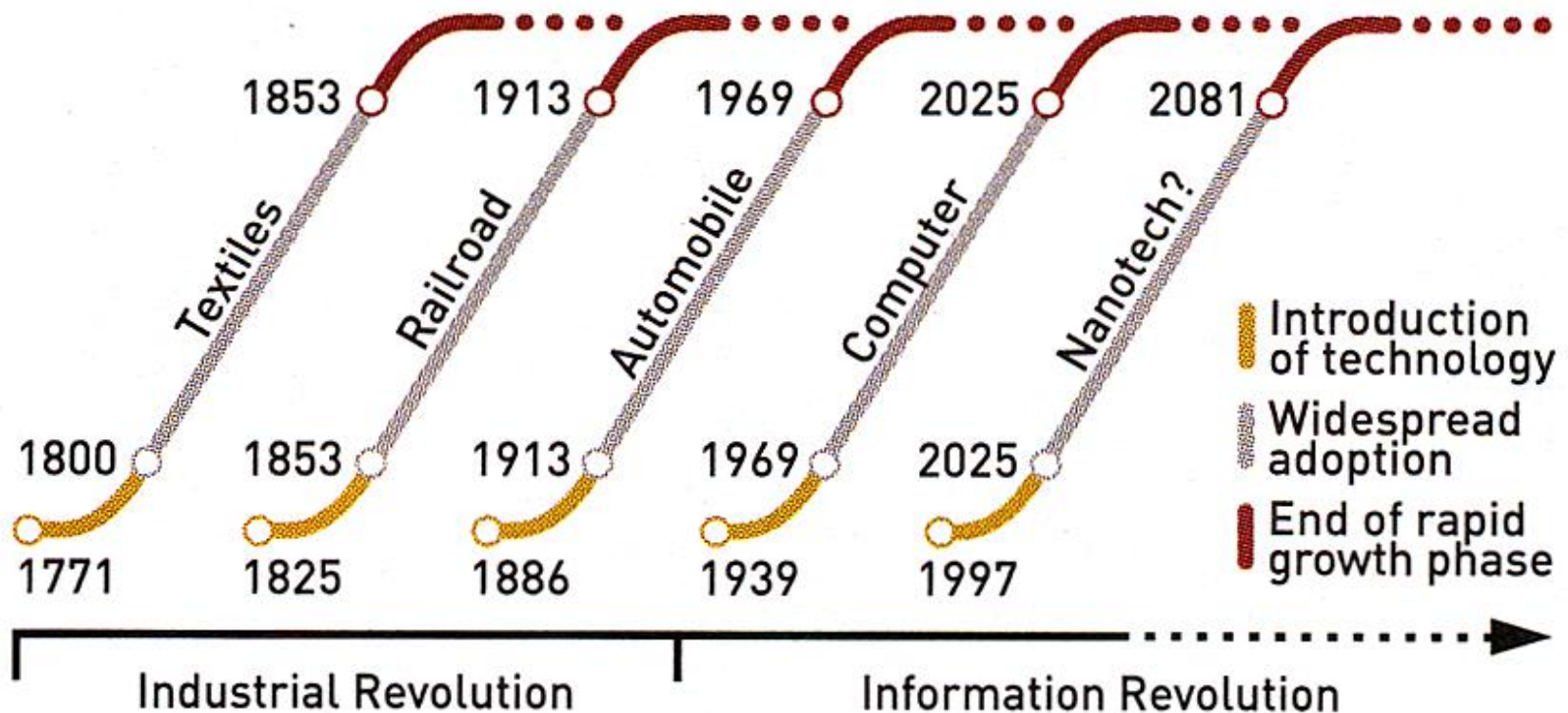


# REVOLUTIONARY FORCES

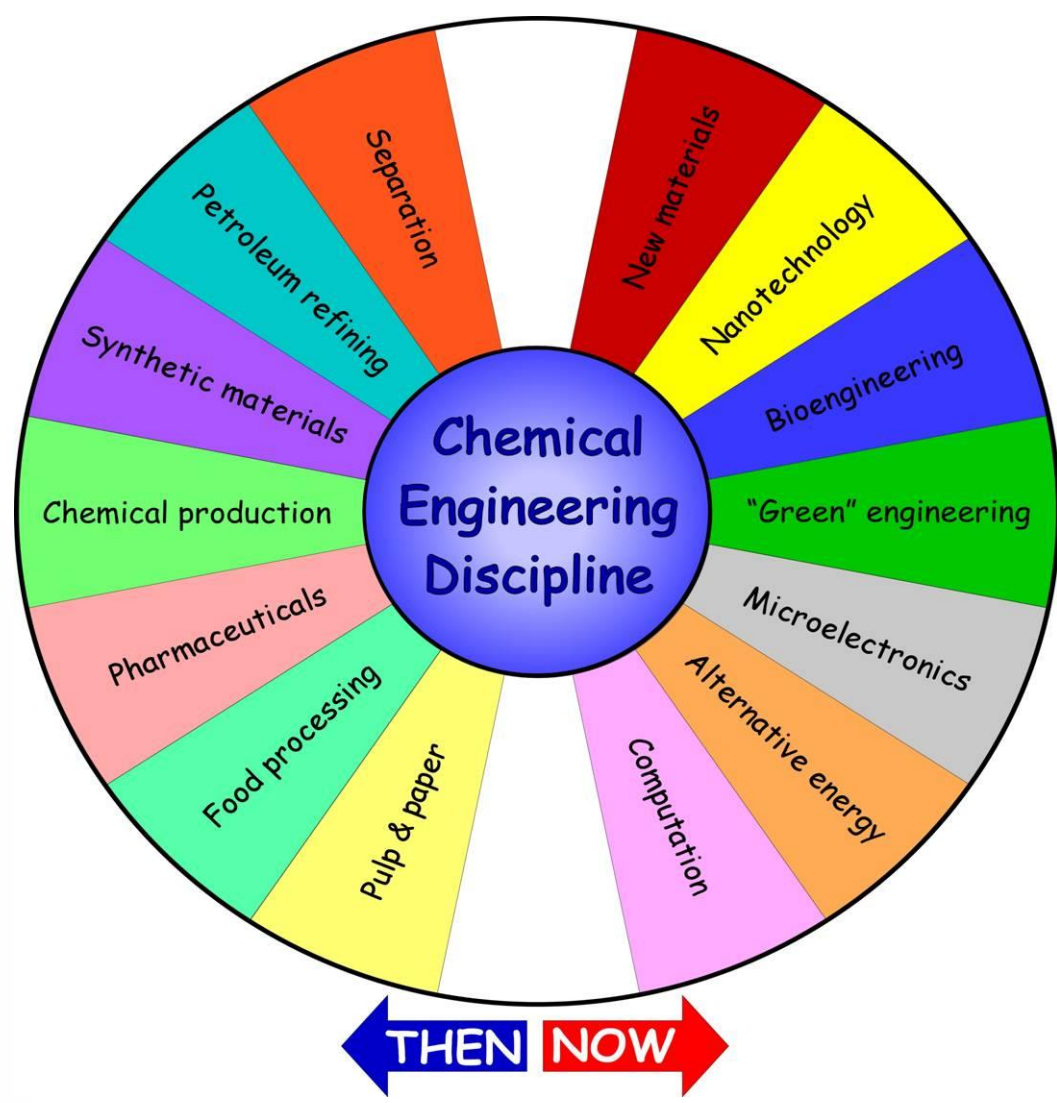
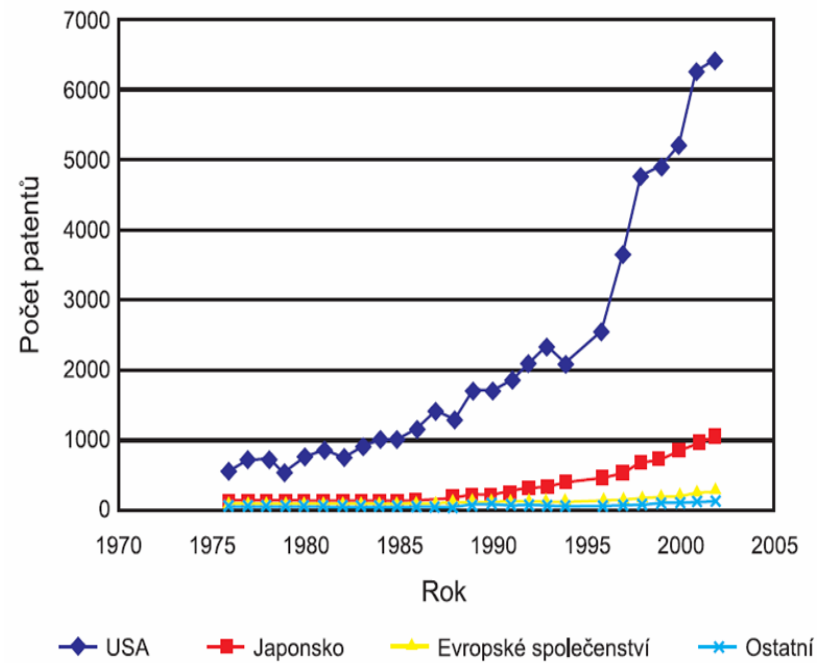
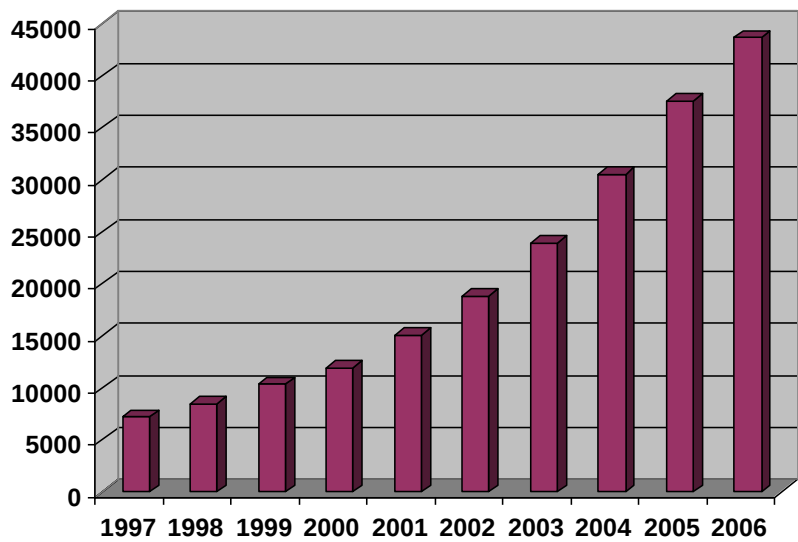
Basic advancements in science and technology come about twice a century and lead to massive wealth creation.



SOURCE: Norman Poire, Merrill Lynch

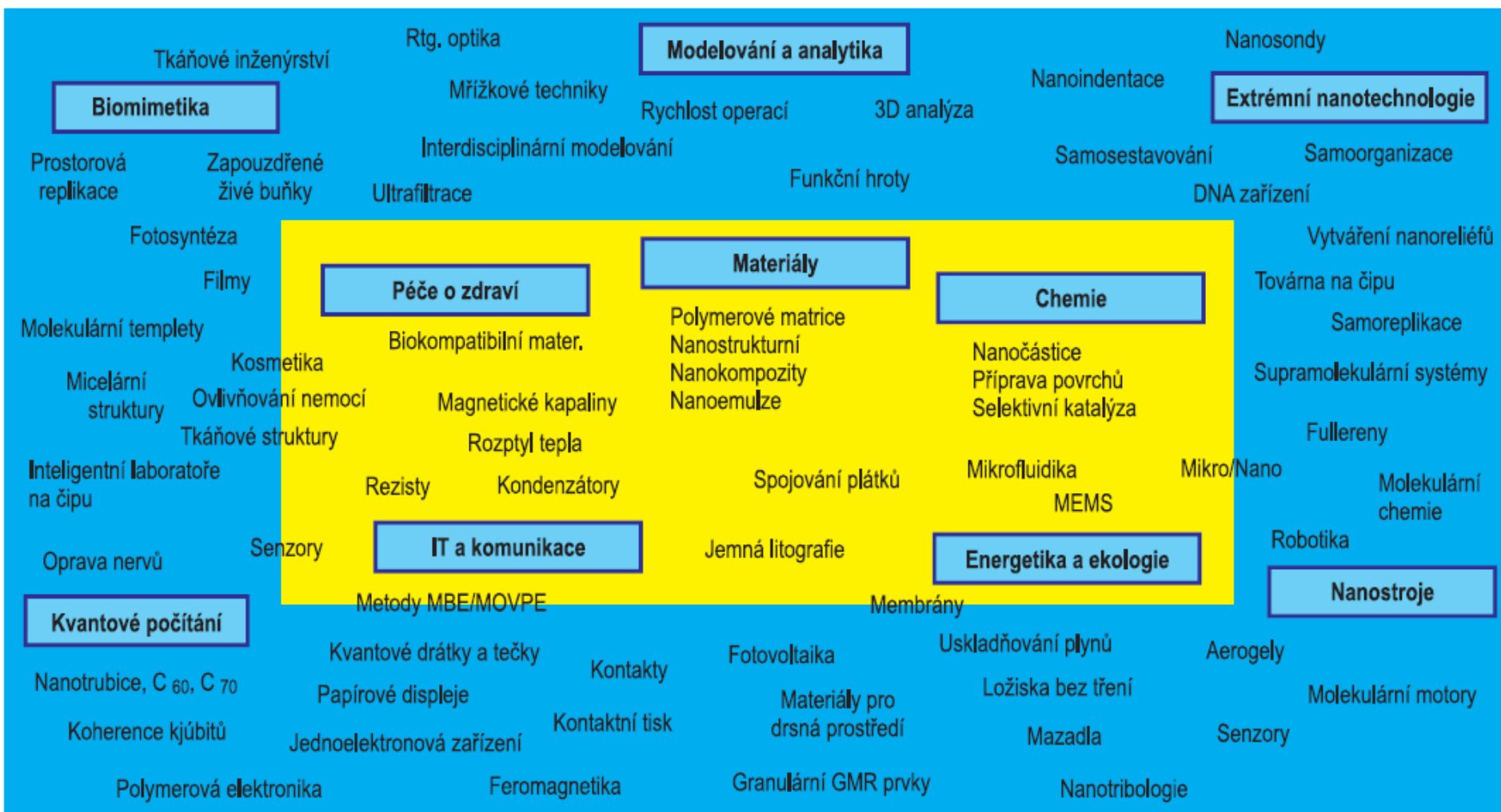
počet publikací o syntéze, charakterizace a aplikací nanomateriálů dle ISI Web of Knowledge

V.Švorčík, [vaclav.svorcik@vscht.cz](mailto:vaclav.svorcik@vscht.cz)

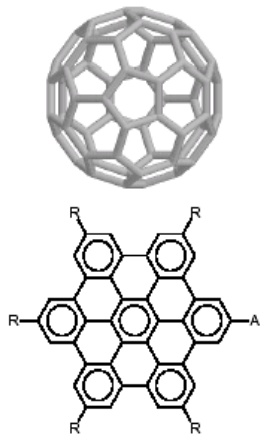


# NANOSVĚT (NANOTECHNOLOGIE)

## aplikační oblasti nanotechnologií



$10^{-9}$  m



$10^{-1}$  m



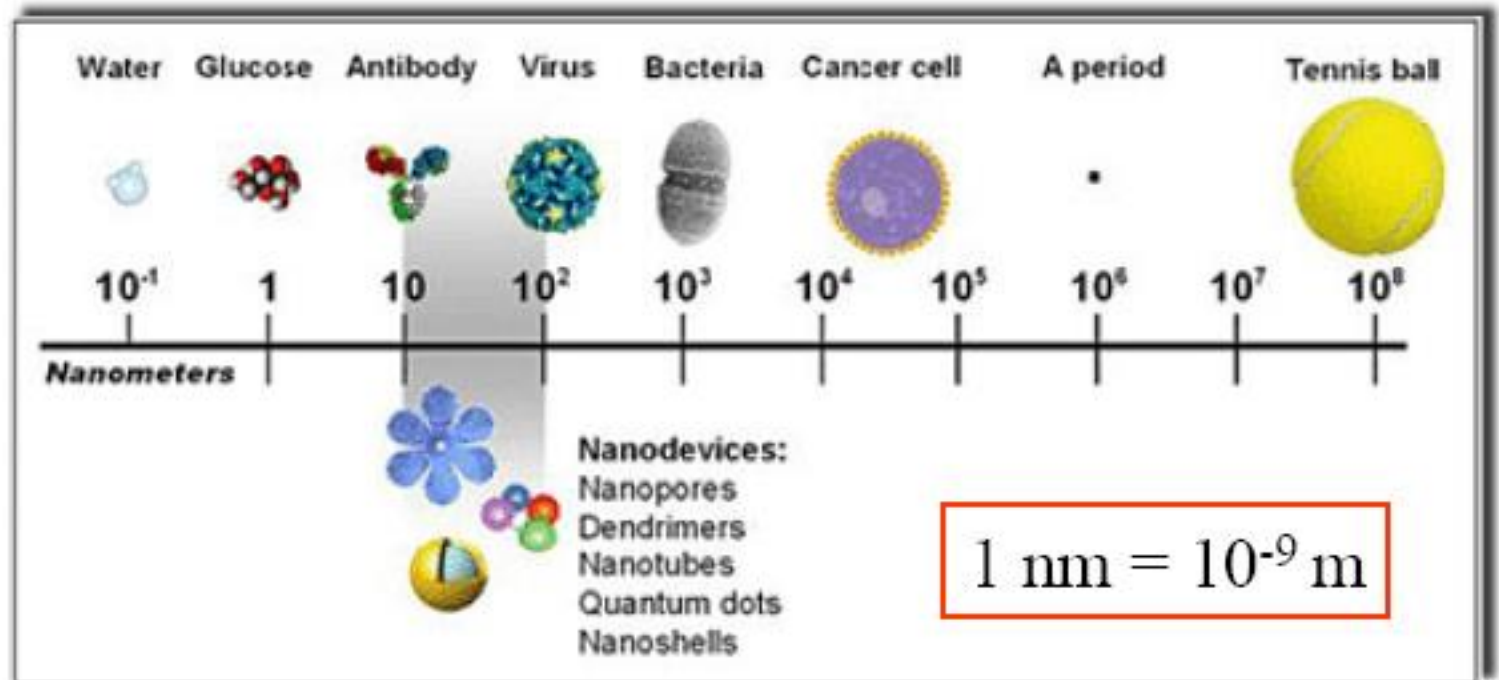
$10^7$  m

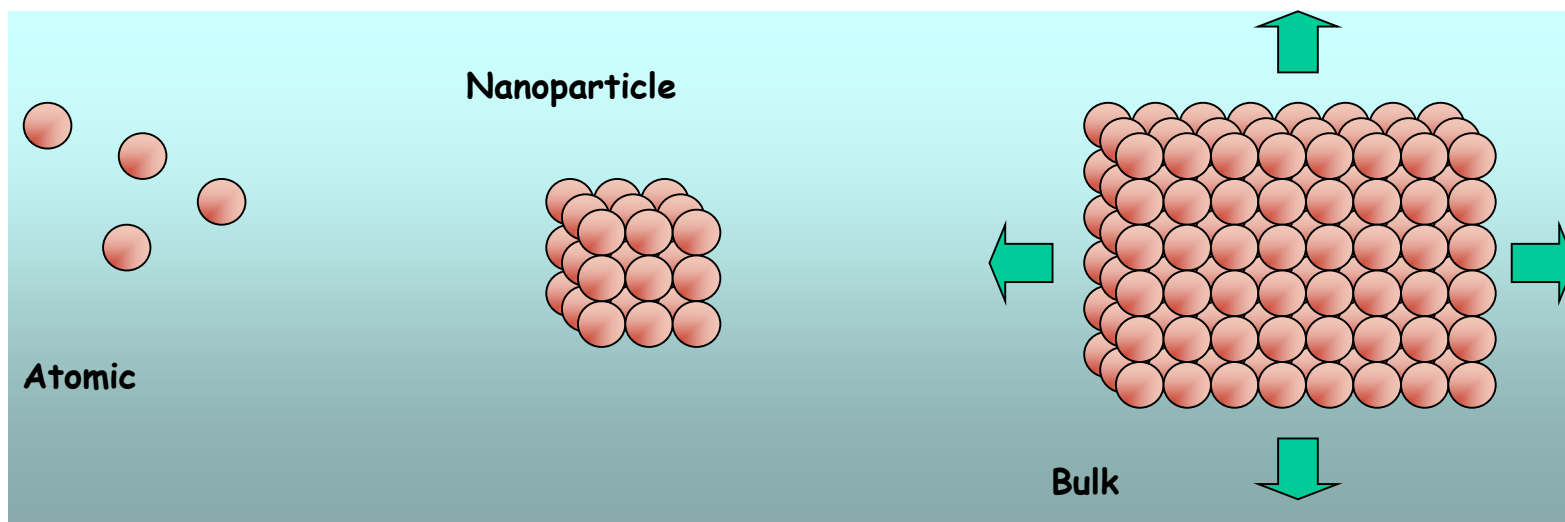
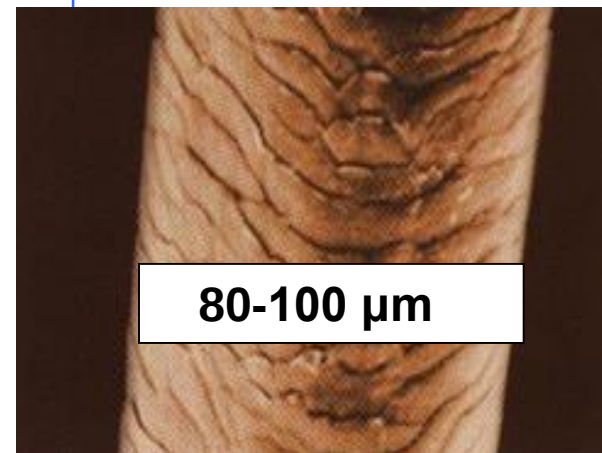


$10^{-27}$  m<sup>3</sup>

$10^{-3}$  m<sup>3</sup>

$10^{21}$  m<sup>3</sup>





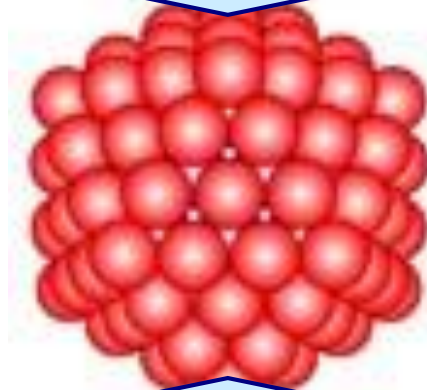
# Top-down vs. Bottom-up



**Top-down**

## Top-down

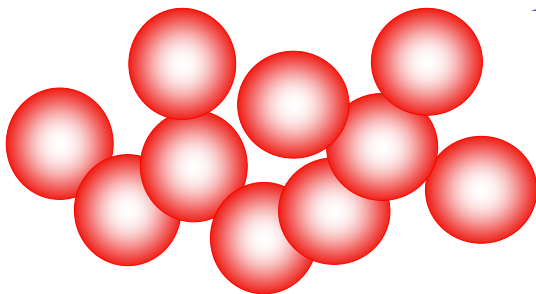
Vztahy platné pro makroobjekty (kolektivní vlastnosti velkého počtu atomů/molekul) jsou „extrapolovány“ na nanoobjekty

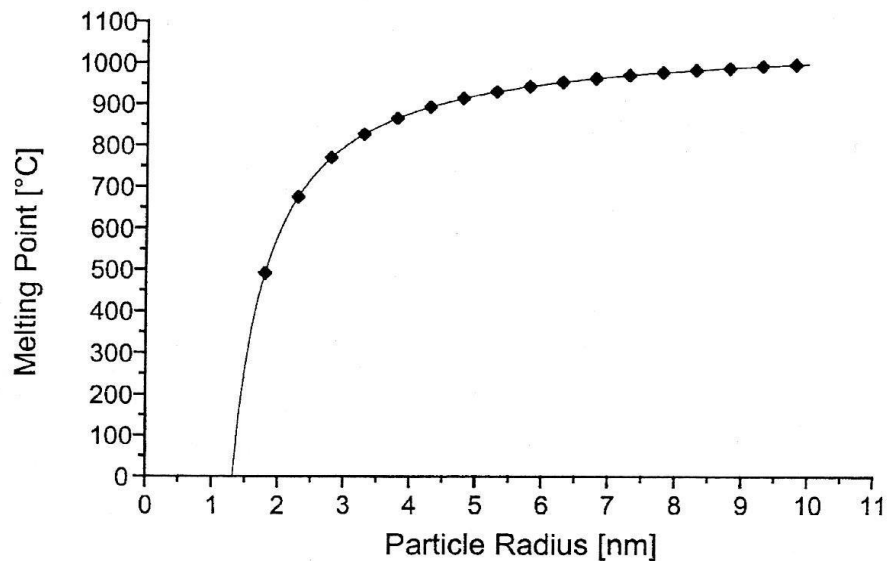


**Bottom-up**

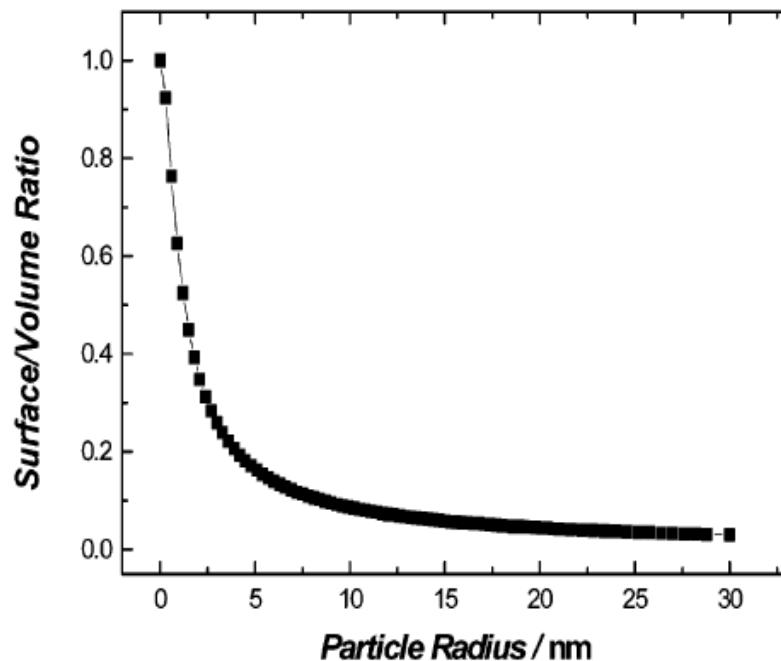
## Bottom-up

Vztahy platné pro částice (individuální vlastnosti jednotlivých atomů/molekul) jsou „extrapolovány“ na nanoobjekty





Klabunde, K. J. *Nanoscale Materials in Chemistry*; Wiley: New York, USA, 2001

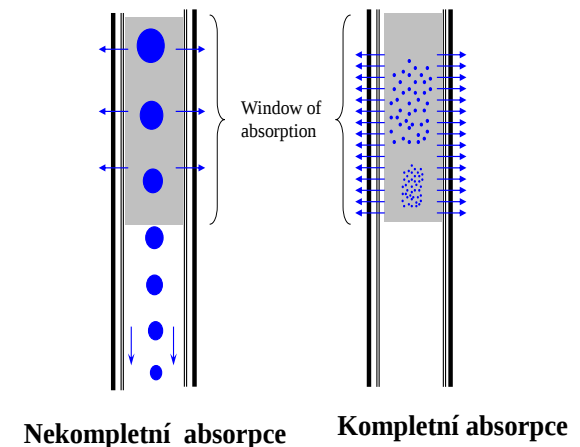


**Table 1.** Spherical Au nanoparticles studied in this paper: the number of atoms, radius at room temperature and their size-dependent melting temperatures.

| $N$   | $R$ (nm) at 300 K | $T_m$ (K) |
|-------|-------------------|-----------|
| 456   | 1.22              | 835       |
| 736   | 1.43              | 915       |
| 1088  | 1.63              | 945       |
| 1556  | 1.84              | 965       |
| 2112  | 2.04              | 985       |
| 2808  | 2.25              | 1005      |
| 3604  | 2.44              | 1015      |
| 4664  | 2.66              | 1025      |
| 5768  | 2.86              | 1035      |
| 7164  | 3.07              | 1045      |
| 22360 | 4.49              | 1075      |

N.Wang et al., *Nanotechnol.* **19**, 415701 (2008).

## Absorpce obtížně rozpustných API



# Richard Philips Feynman (1918-1988)

1965 Nobelova cena za kvantovou elektrodynamiku



„Myslím, že mohu s jistotou prohlásit,  
že kvantové mechanice nerozumí  
nikdo“

Historická přednáška r.1959

“There's Plenty of Room at the Bottom”,

Téma: v budoucnosti člověk dokáže sestavovat neobyčejně miniaturní zařízení schopná manipulovat s jednotlivými atomy.

“Proč ještě neumíme zapsat všech dvacet čtyři svazků Encyklopedie Britannika na špendlíkovou hlavičku?”

Celá živá příroda pracuje na úrovni atomů a molekul.

Člověk nedávno poodhalil tajemství DNA – genetického kódu



Příroda však dokáže miliony let “stavět” obrovské množství organismů, od bakterií až po samotného člověka.

Feynman položil užaslému vědeckému světu otázku:  
„jestliže to zvládne příroda, proč ne my?“

„Tam dole je spousta místa“



**Matematik + fyzik**

**chemik**

# **Mikroskopie skenující sondou**

**SPM – Scanning Probe Microscopy**

**1981 – STM – Skenovací tunelovací mikroskopie**



**Gerd Binnig**

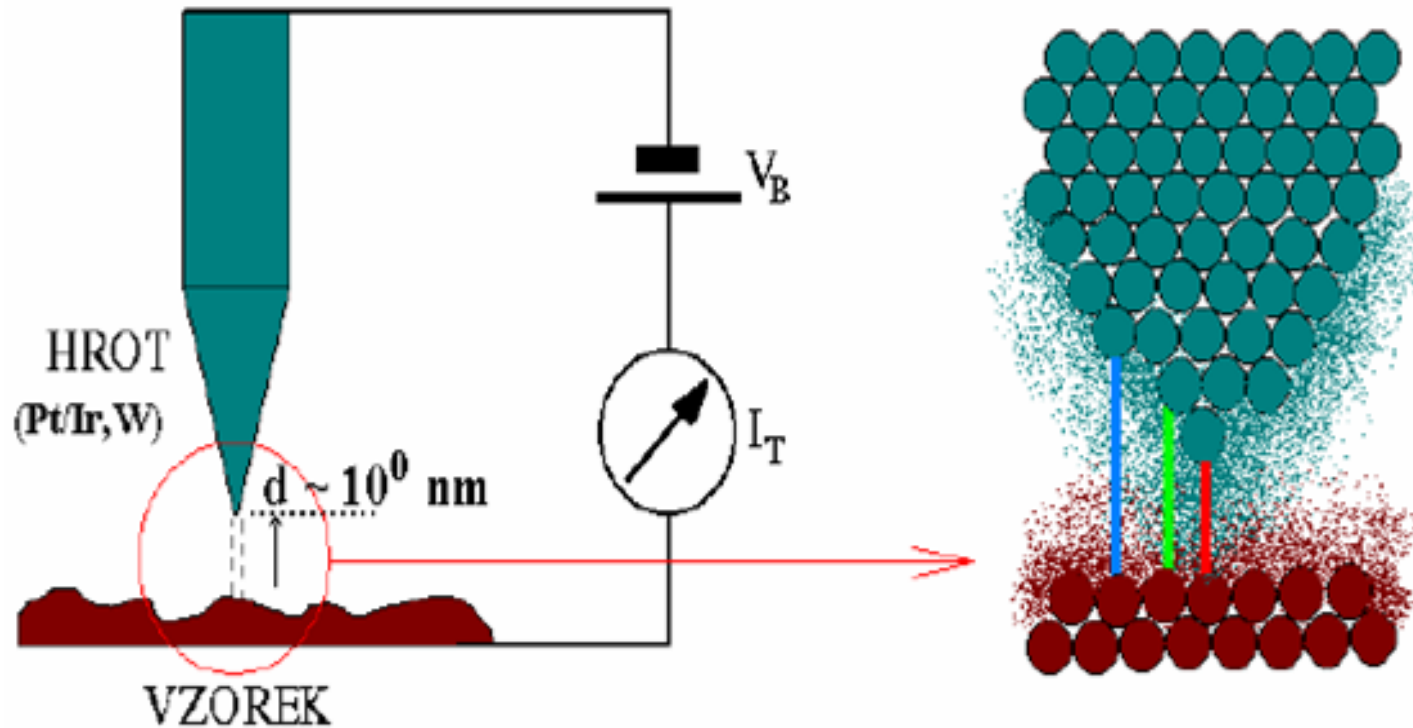
**Heinrich Rohrer**



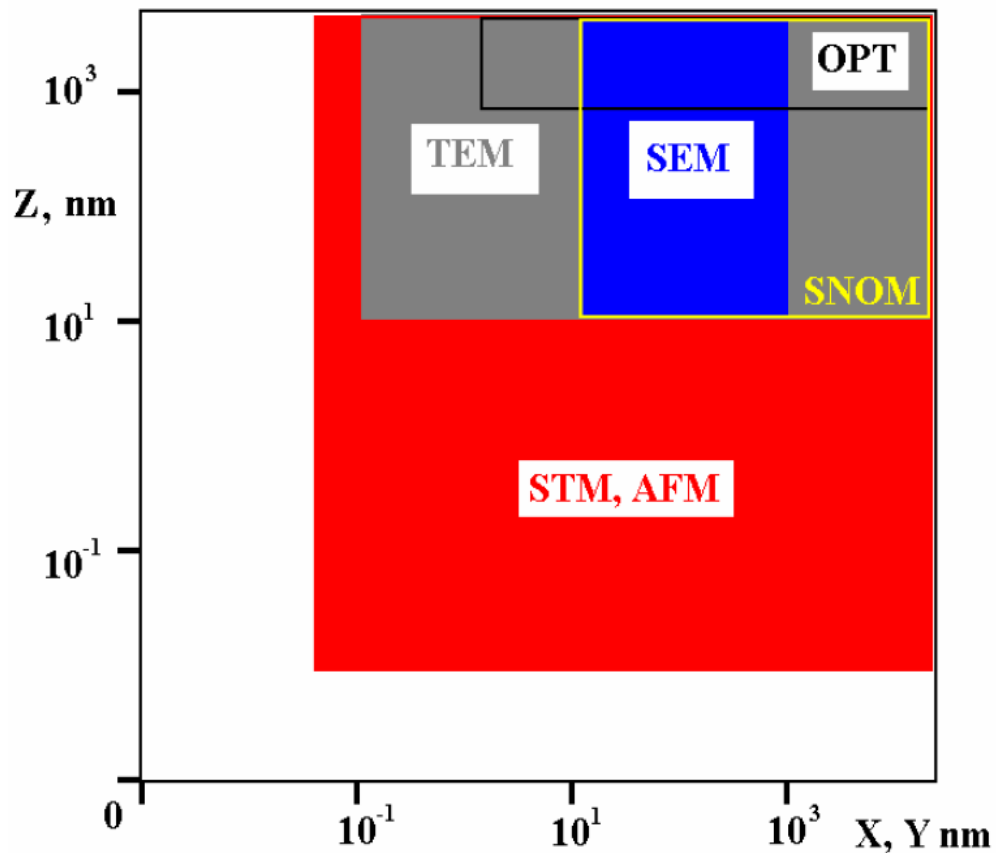
**1986 Nobelova cena**

**1986 – AFM (Atomic Force  
Microscopy)**

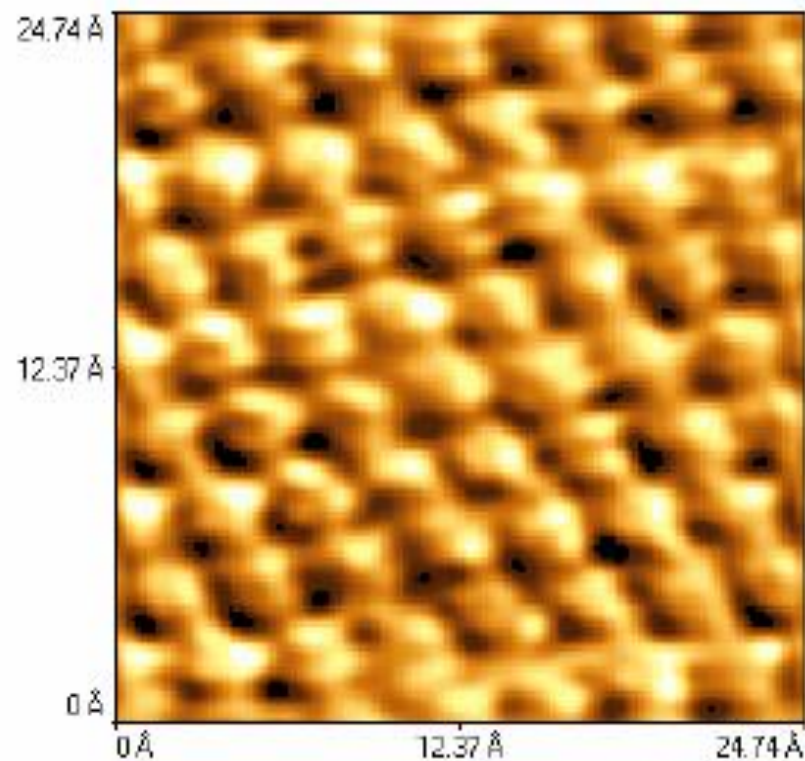
**Mikroskopie atomárních sil**



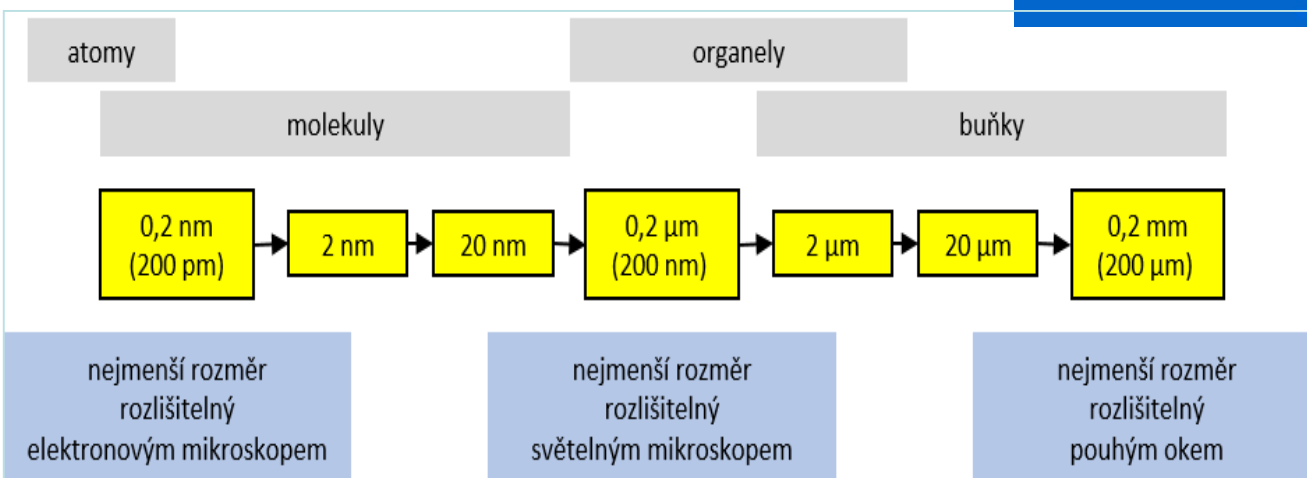
*STM - Rastrovací tunelovací  
mikroskopie (Scanning Tunneling  
Microscopy)*

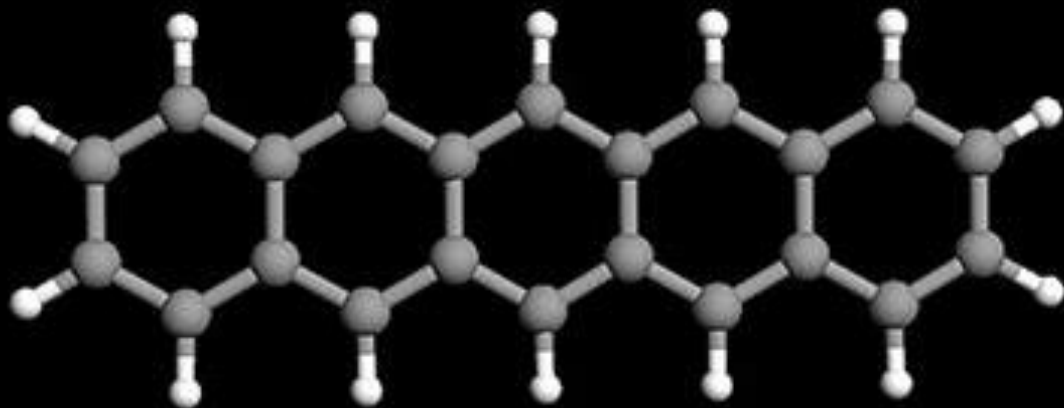


V.Švorčík, [vaclav.svorcik@vscht.cz](mailto:vaclav.svorcik@vscht.cz)

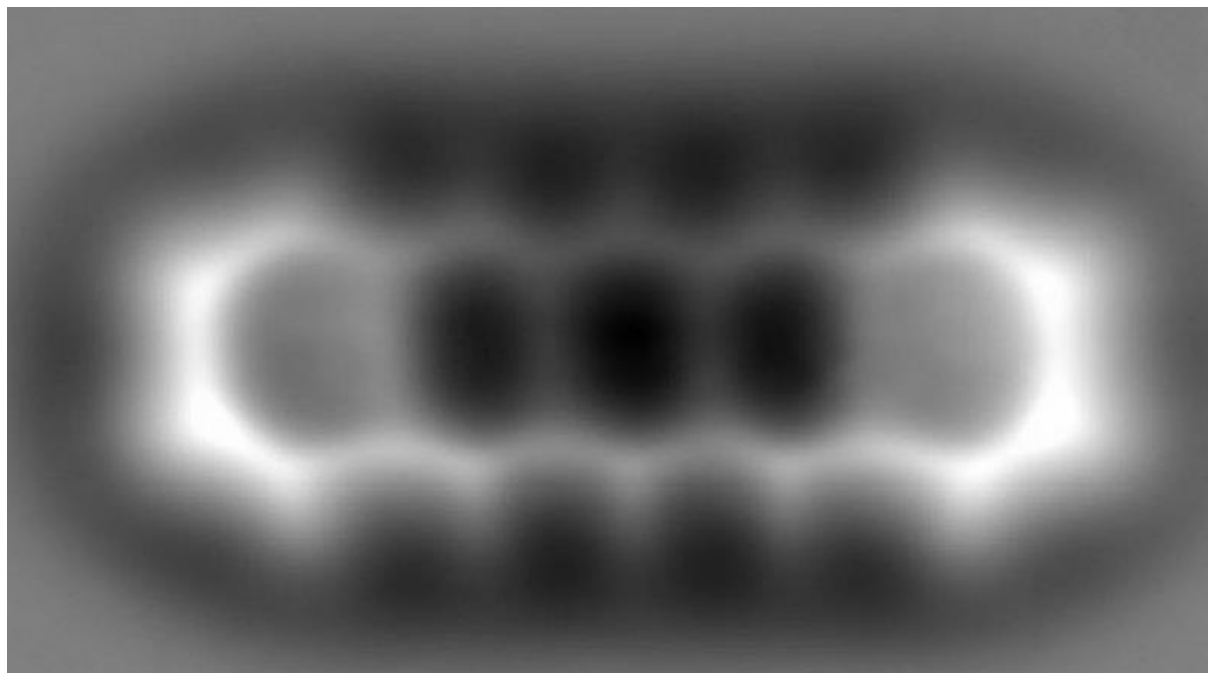


**Au(111)**



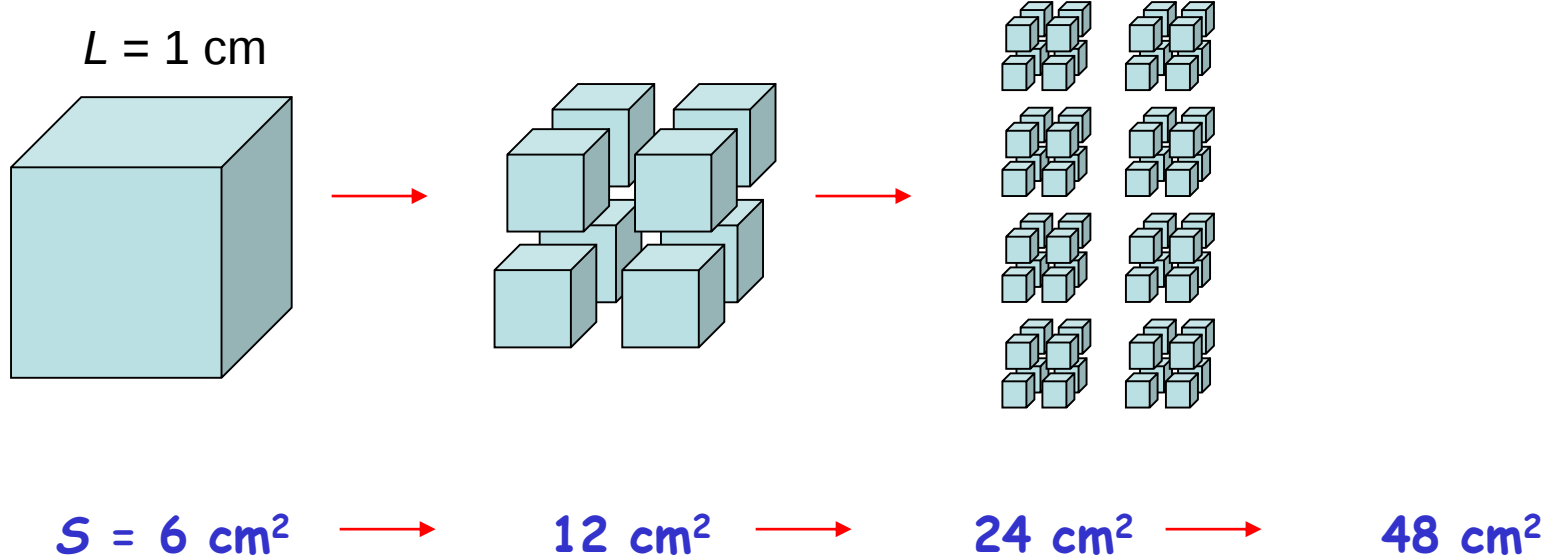


pentacen



# Velikost povrchu částice.....Surface size effect

$$S = 8^n \cdot 6 \cdot \left( \frac{L}{2^n} \right)^2$$



$$n = 23 ; L_n = 1.2 \text{ nm}$$

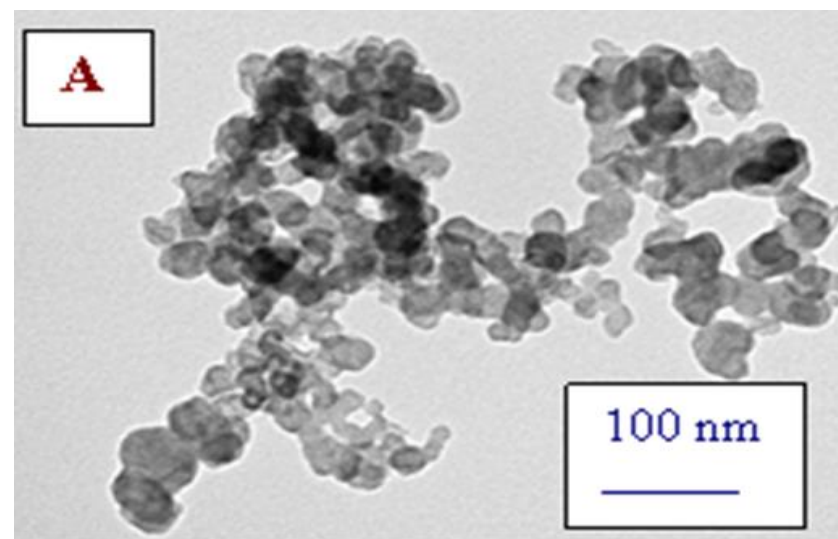
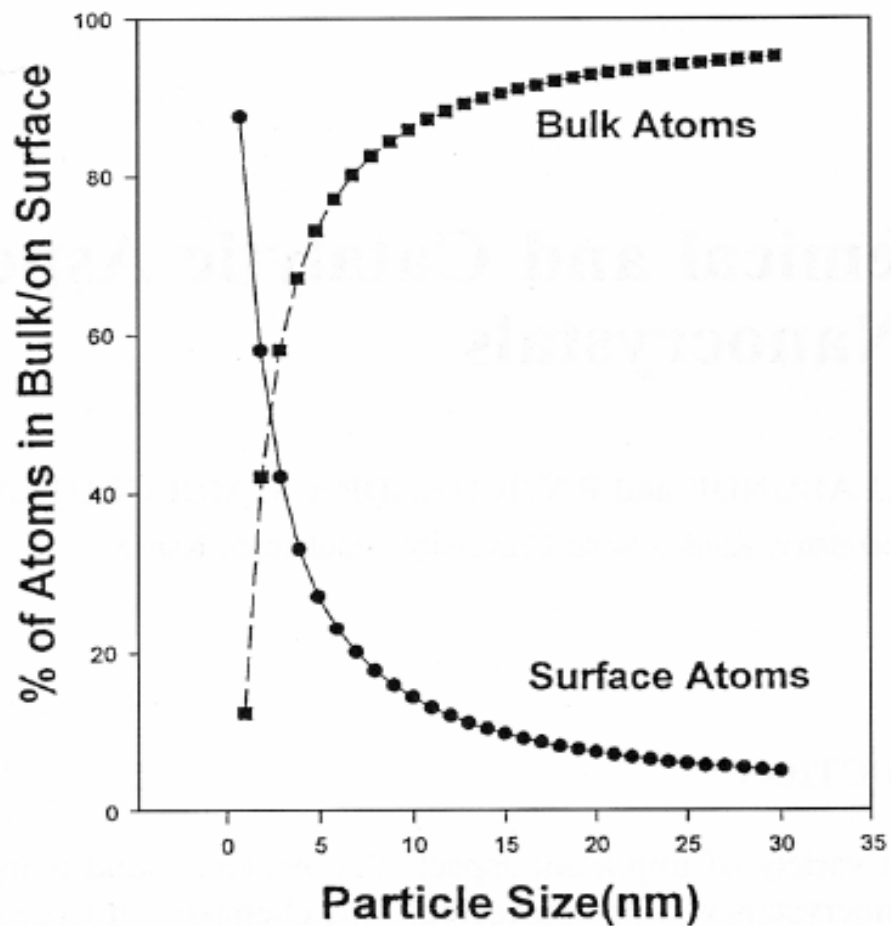


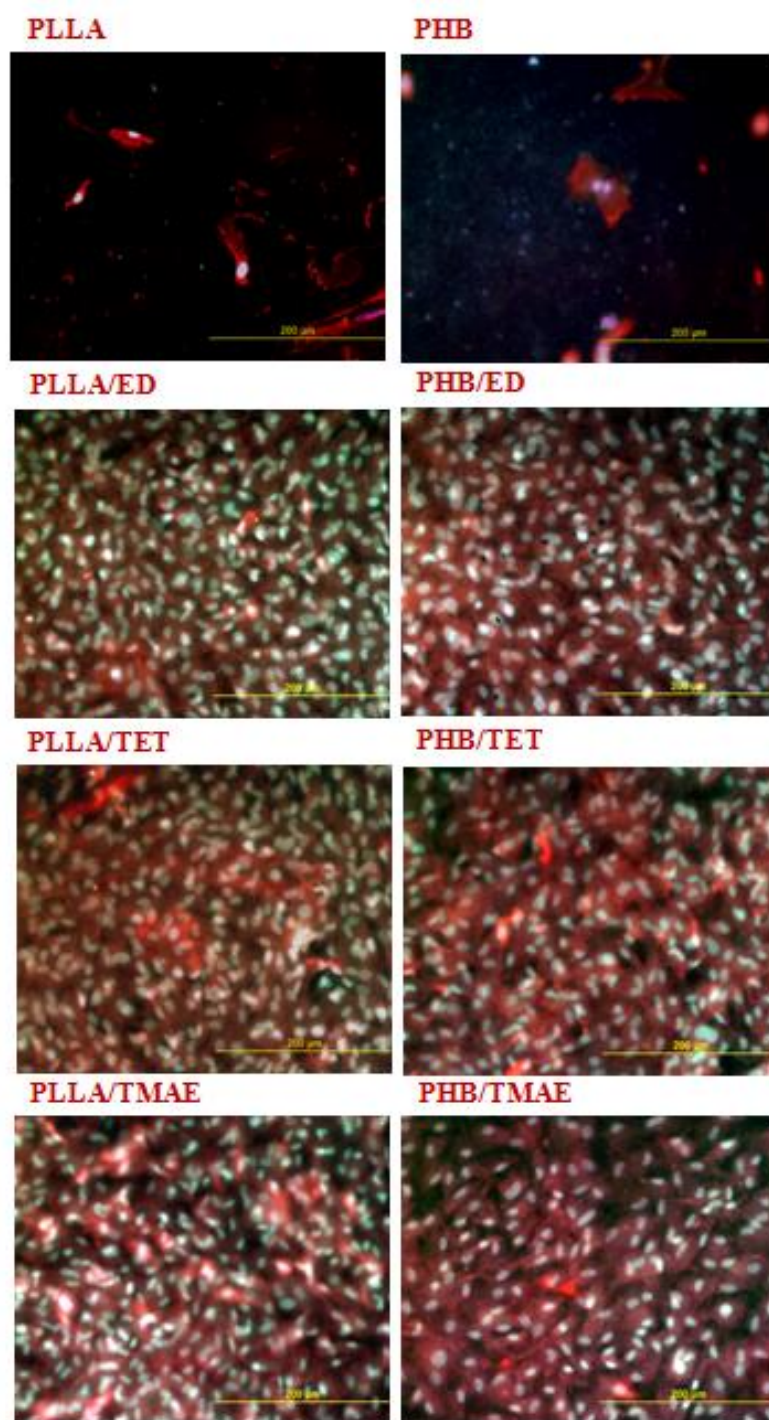
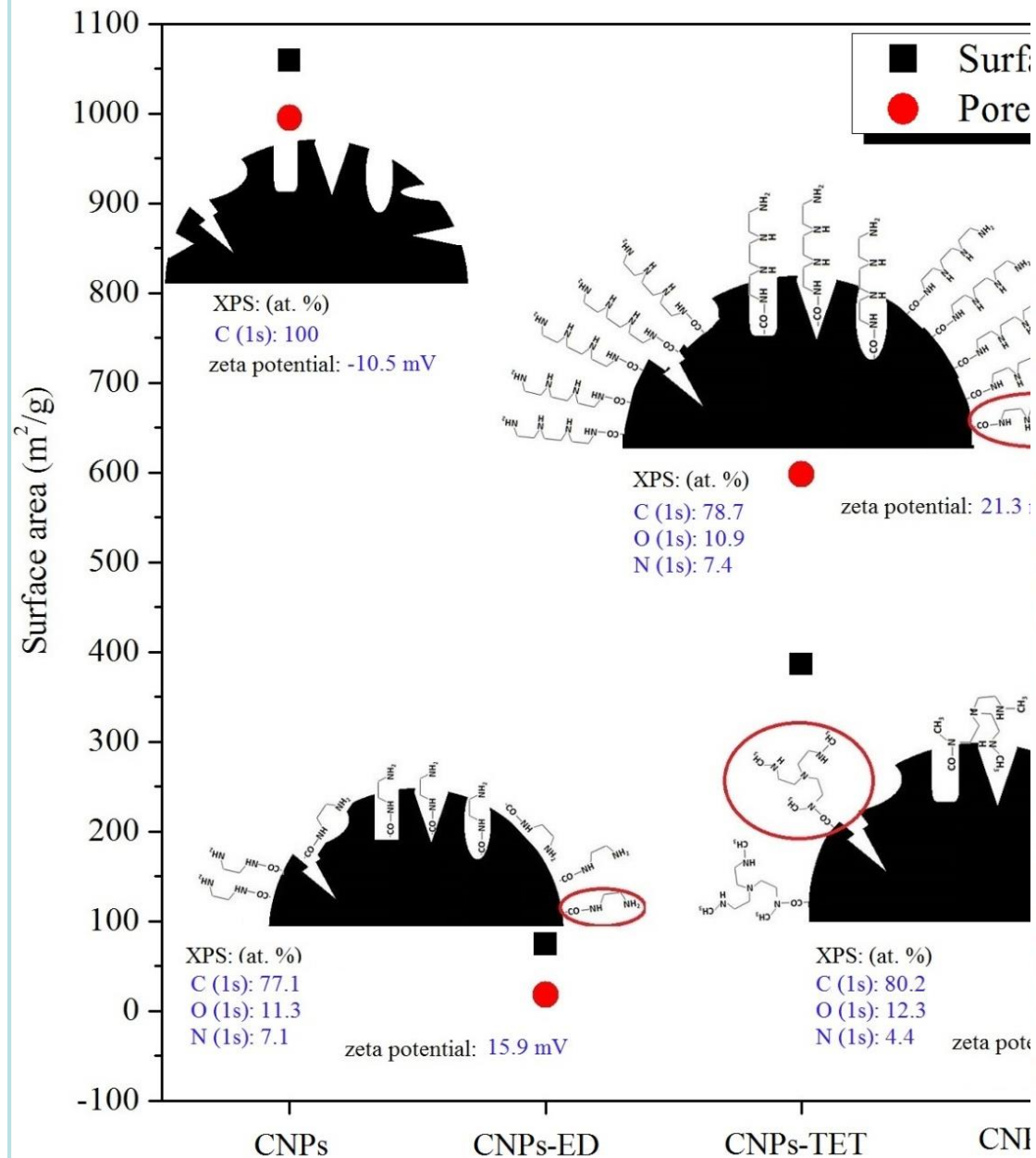
$$n = 47$$



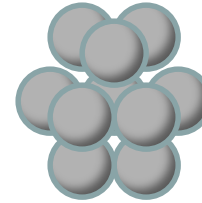
$$n = 60$$



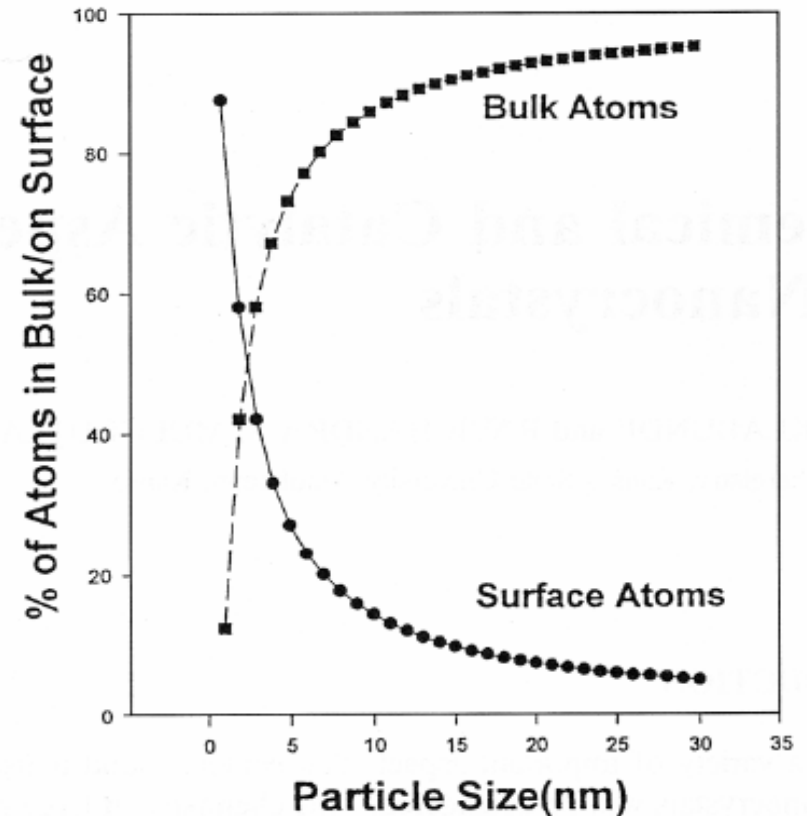




## Rüst kristalu: Atom & hcp ad-atomy



| Full-shell Clusters |                                                                                     | Total Number of Atoms | Surface Atoms (%) |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 Shell             |    | 13                    | 92                |
| 2 Shells            |    | 55                    | 76                |
| 3 Shells            |    | 147                   | 63                |
| 4 Shells            |    | 309                   | 52                |
| 5 Shells            |    | 561                   | 45                |
| 7 Shells            |  | 1415                  | 35                |

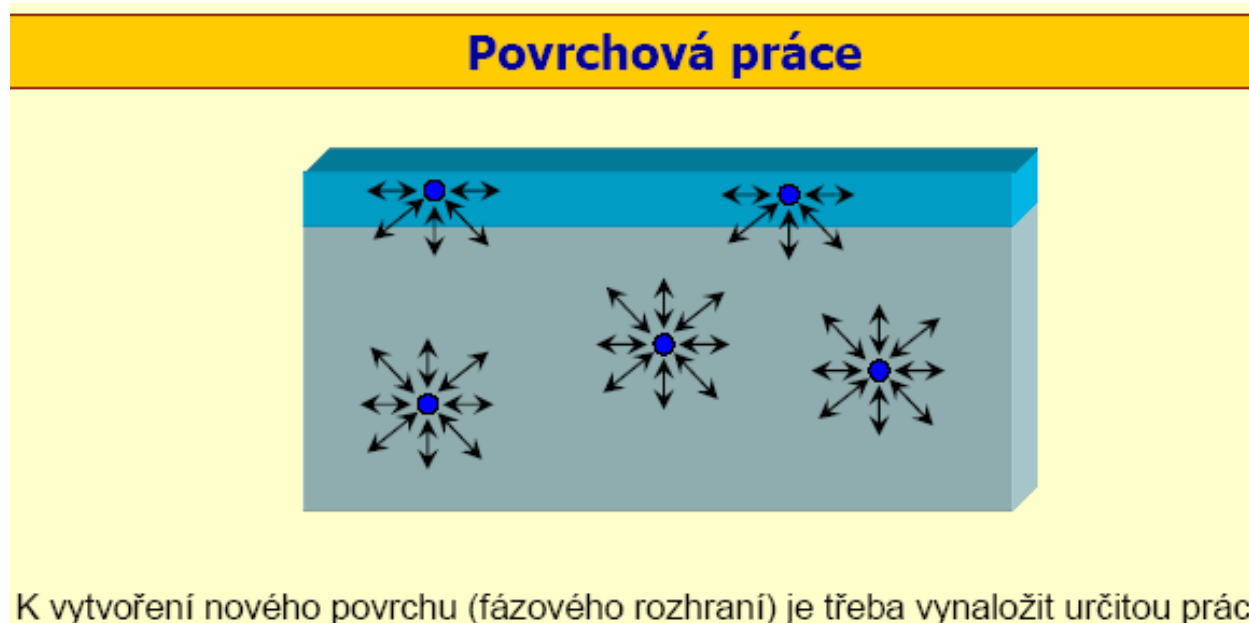


## Co ovlivňuje vlastnosti?

### Vliv povrchové energie

(práce potřebné k vytvoření nového povrchu o jednotkové ploše)

Vliv zvýšeného tlaku  $\Delta p = 2f/r$  uvnitř částice malých rozměrů



# MAKRO vs. NANO

zmenšováním rozměrů objektů (průměr částic nebo vláken a tloušťek vrstev) **vzrůstá** podíl povrchových atomů, jejichž vlastnosti (tepelné vibrace, vazebná energie, ...) se liší od vlastností atomů v objemu. **velikostní faktor „vše“ je  $f(1/r)$**

atomy na povrchu jsou méně stabilní než v objemu **Surface size effect**

Surface size effects: atomy na povrchu mají méně sousedů než atomy v bulku

kov vs. polovodič, při „malých“ rozměrech se objevuje  **$E_g$**

**Quantum size effect**

v případě zakřivených rozhraní (částice a vlákna) **existuje rozdíl tlaku vně a uvnitř rozhraní, který je nepřímo úměrný velikosti částic**

na nový povrch je nutno dodat práci, energie souboru částí s velkým povrchem je vyšší než bulku o stejném objemu, **nanosystémy jsou termodynamicky nestabilní**

**v malých částicích je vyšší tlak než v bulku, je nepřímo úměrný jejich velikosti**

surface size  
effect

vs.

quantum  
size effect

the density  
of states

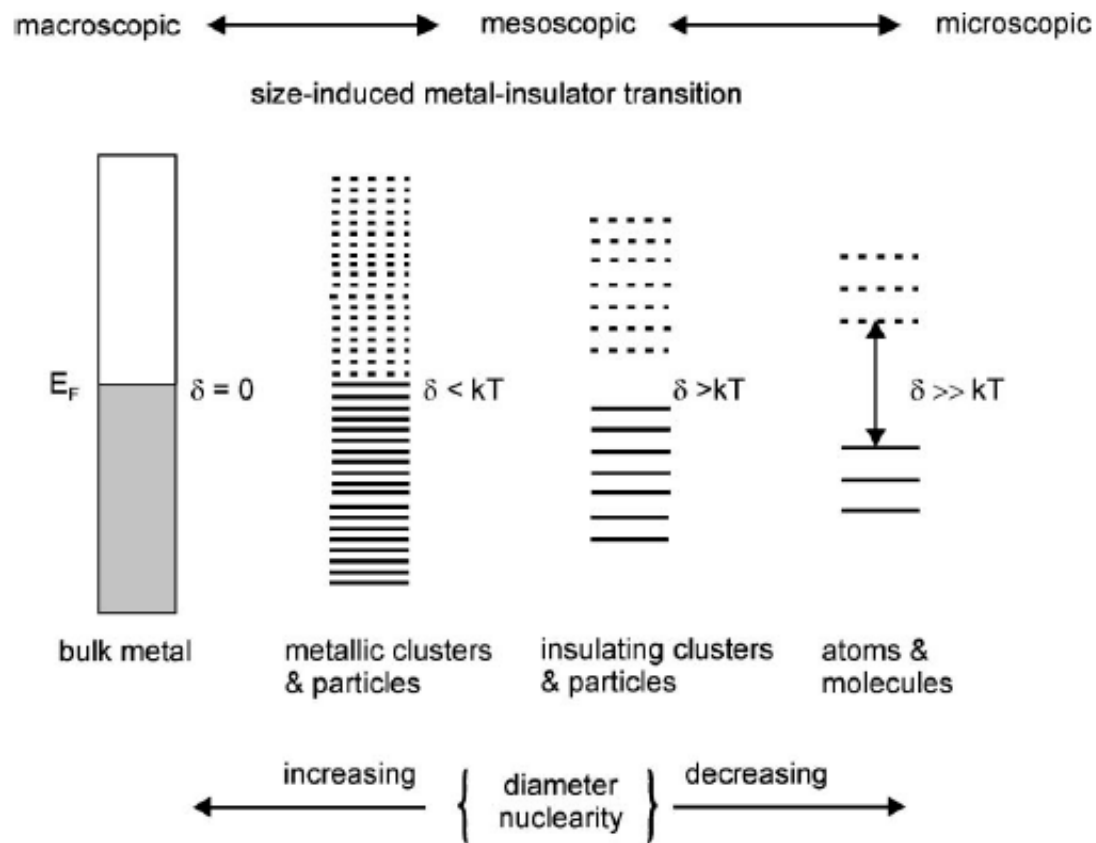
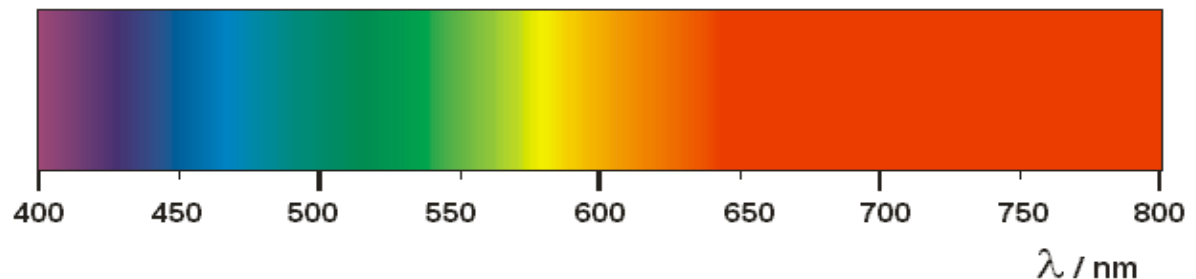


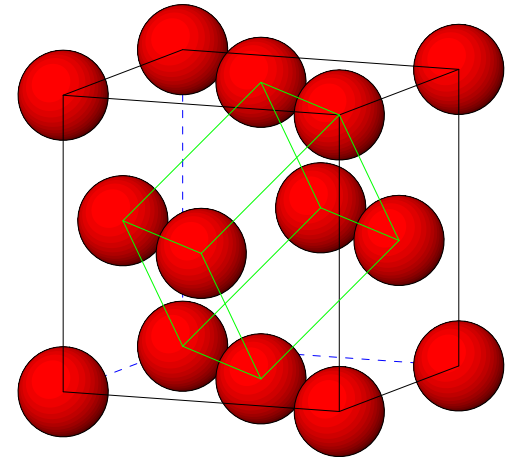
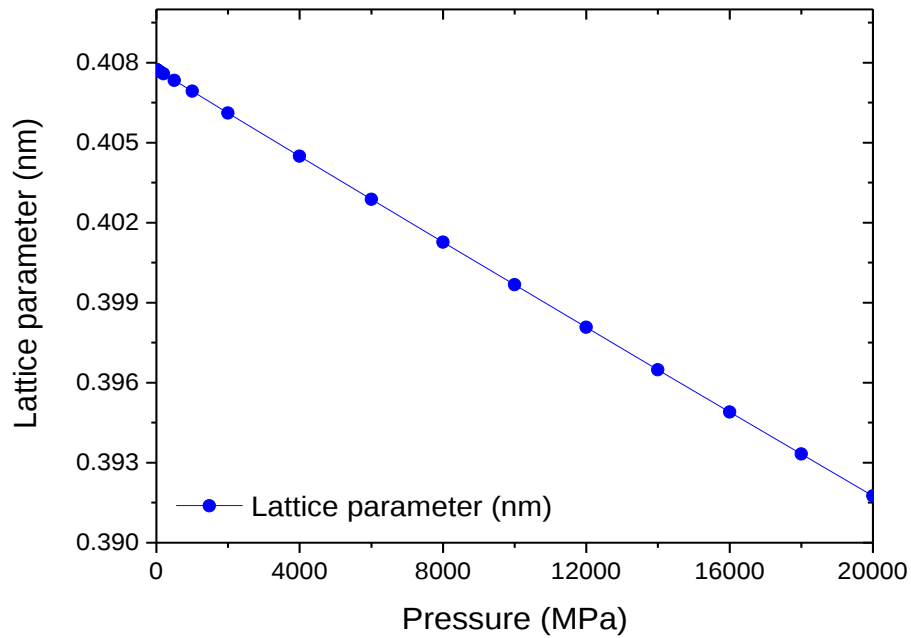
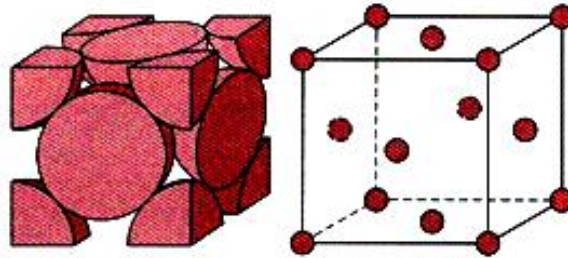
Fig. 5 Evolution of the band gap and the density of states as the number of atoms in a system increases (from right to left).  $\delta$  is the so-called Kubo gap. (Redrawn with permission from ref. 14.)

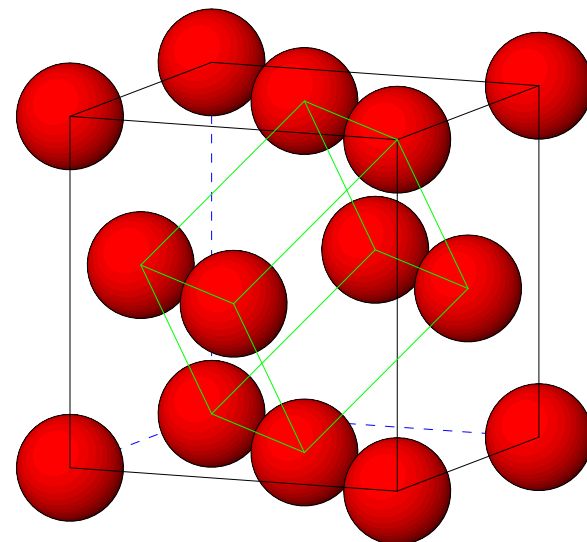
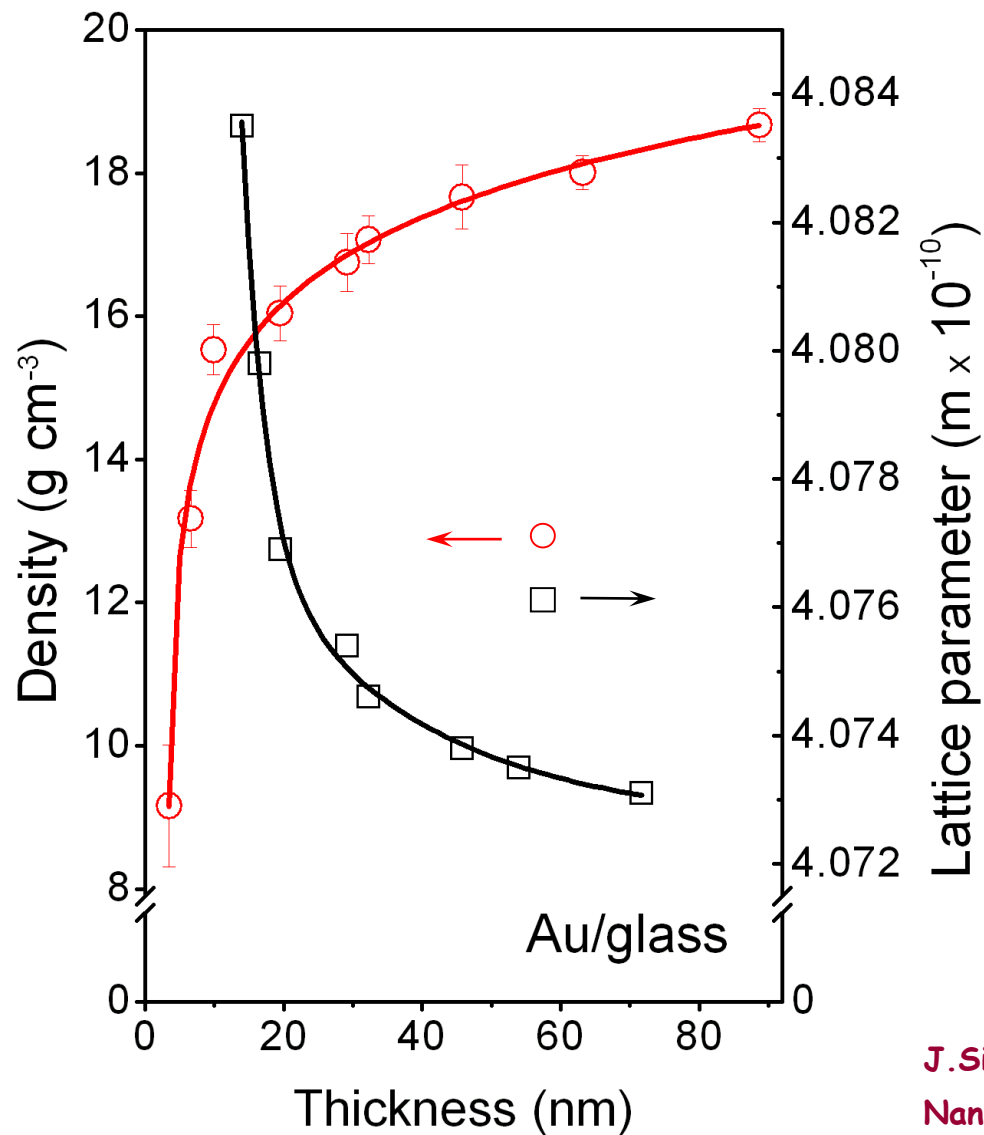
Gold **yellow** melts at 1063°C, 10 nm particles absorb **green** light and thus appear **red**



# Hustota Au

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{M}{V_m}$$





J.Siegel, O.Lyutakov, Z.Kolská, V.Rybka, V.Švorčík,  
Nanoscale Res. Lett. 6, 96 (2011).

RT

300° C

V.Švorčík, [vaclav.svorcik@vscht.cz](mailto:vaclav.svorcik@vscht.cz)

$R_a = 4.0 \text{ nm}$

75 s

$R_a = 15.5 \text{ nm}$

$R_a = 1.8 \text{ nm}$

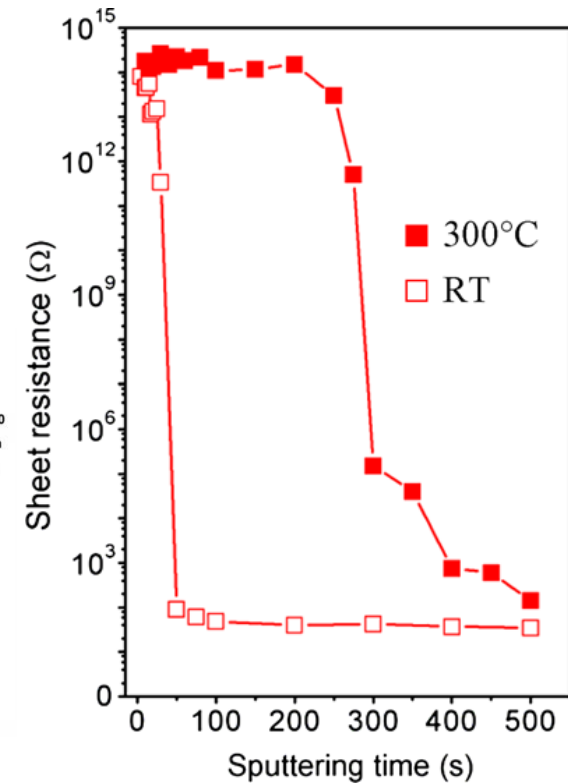
200 s

$R_a = 27.5 \text{ nm}$

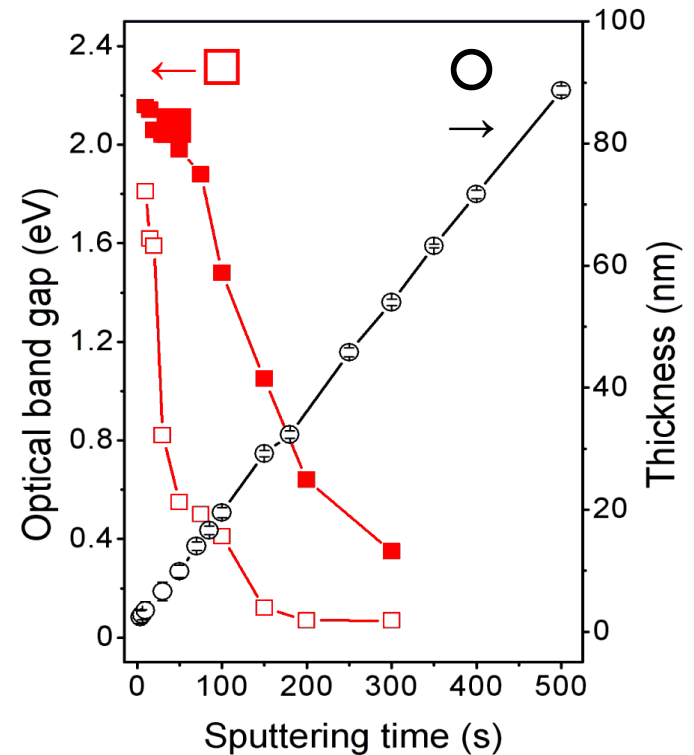
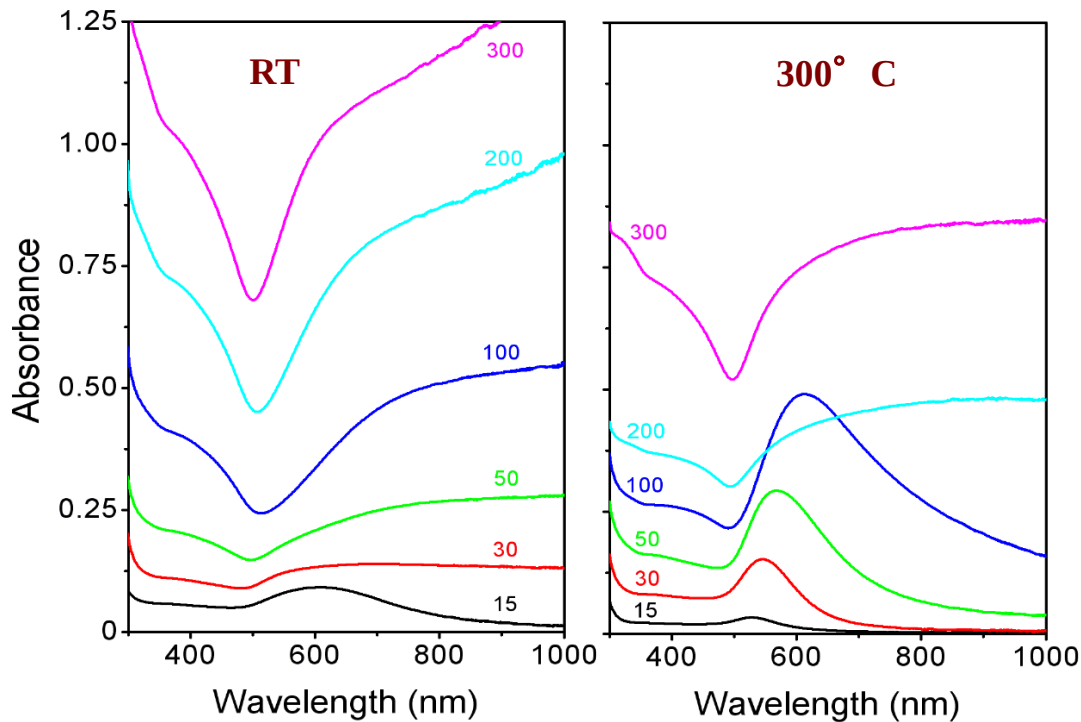
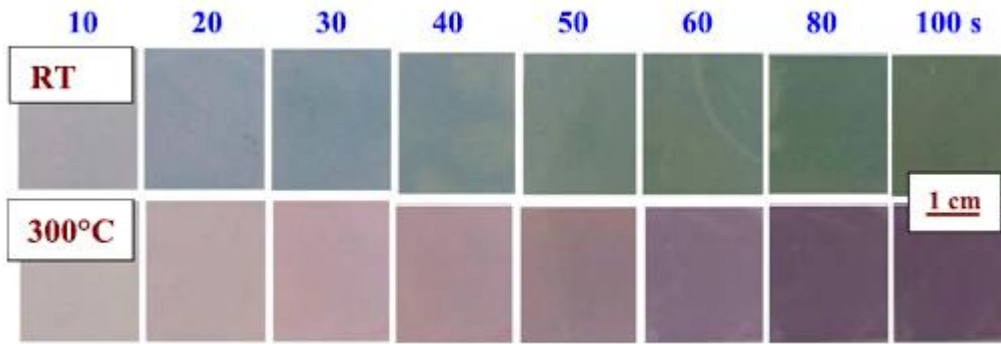
$R_a = 1.1 \text{ nm}$

400 s

$R_a = 52.7 \text{ nm}$

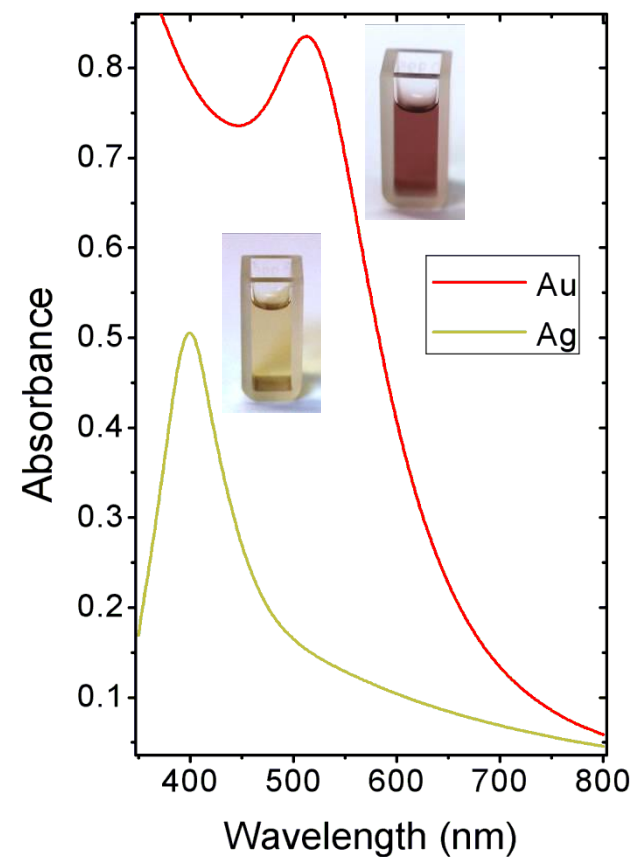
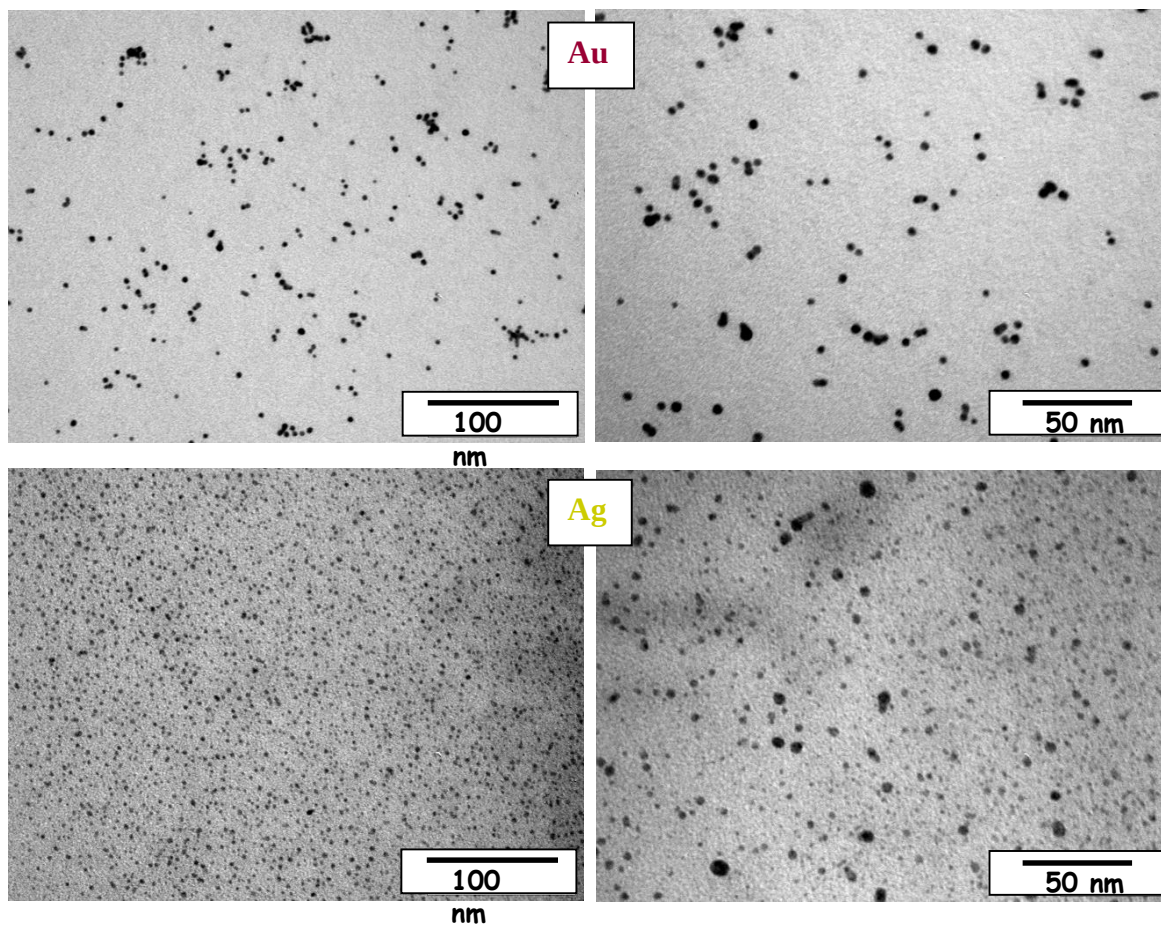


V.Švorčík, O.Kvítek,  
O.Lyutakov, J.Siegel, Z.Kolská,  
Appl. Phys. A 102, 747 (2011).

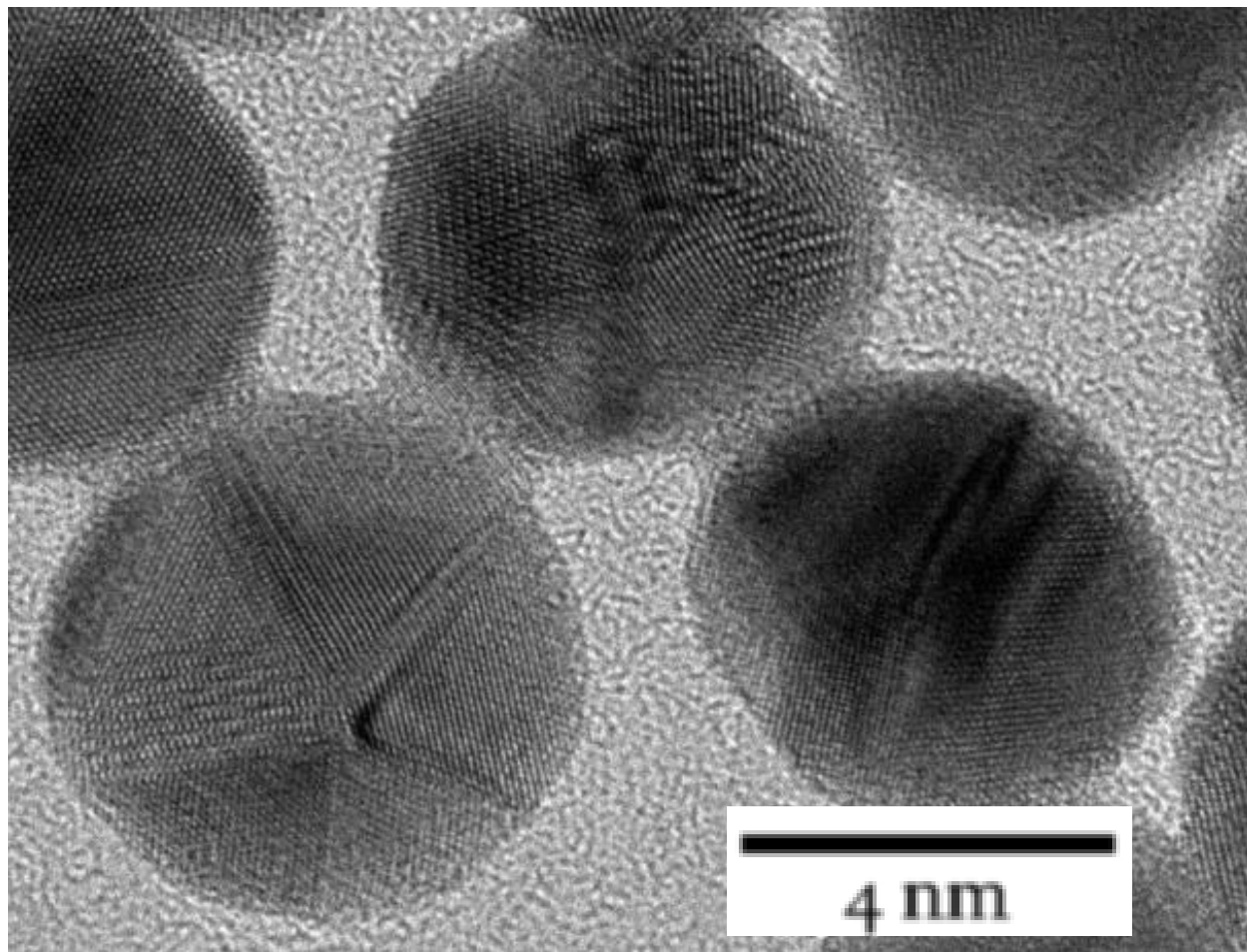
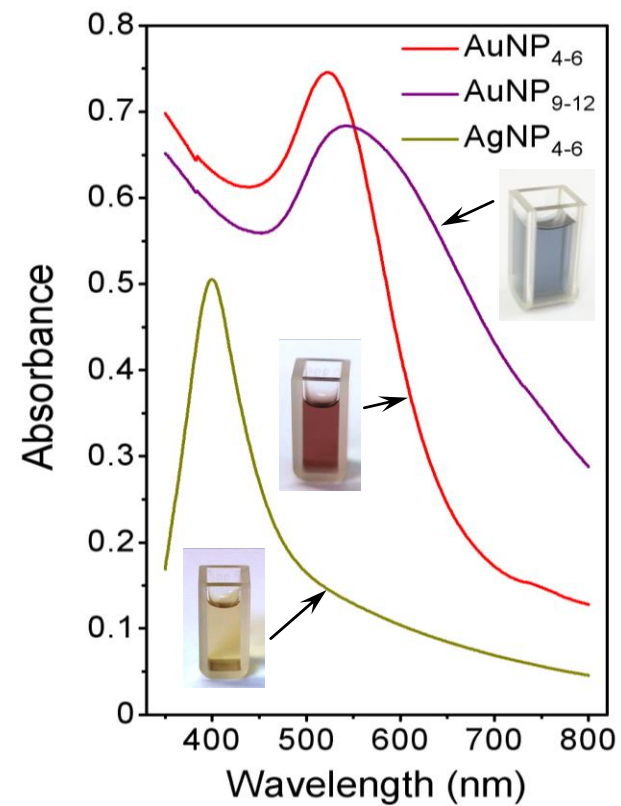


Tauc

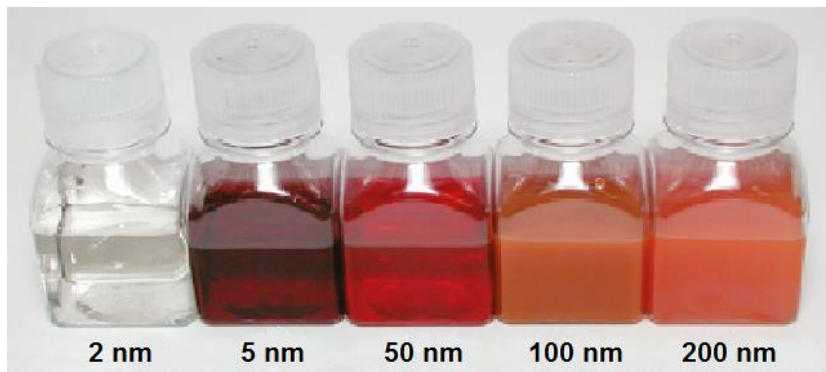
$$\alpha(\nu) = A(h\nu - E_g^{\text{opt}})^x / h\nu$$



J.Siegel, K.Kolářová, V.Vosmanská, S.Rimpelová, J.Leitner, V.Švorčík, Mater. Lett. 113, 59-63 (2013)



**Antibakteriální vlastnosti**

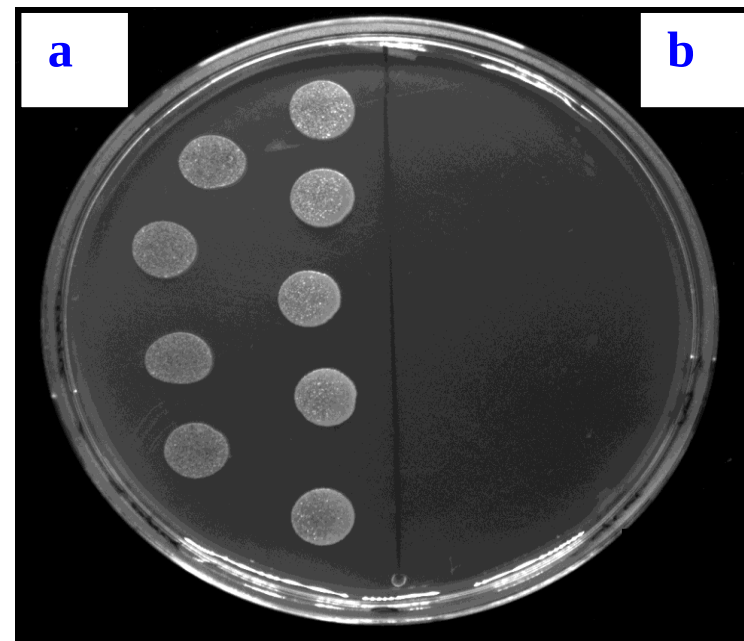


J.Siegel, K.Kolářová, V.Vosmanská, S.Rimpelová,  
J.Leitner, V.Švorčík, Mater. Lett. 113, 59 (2014).

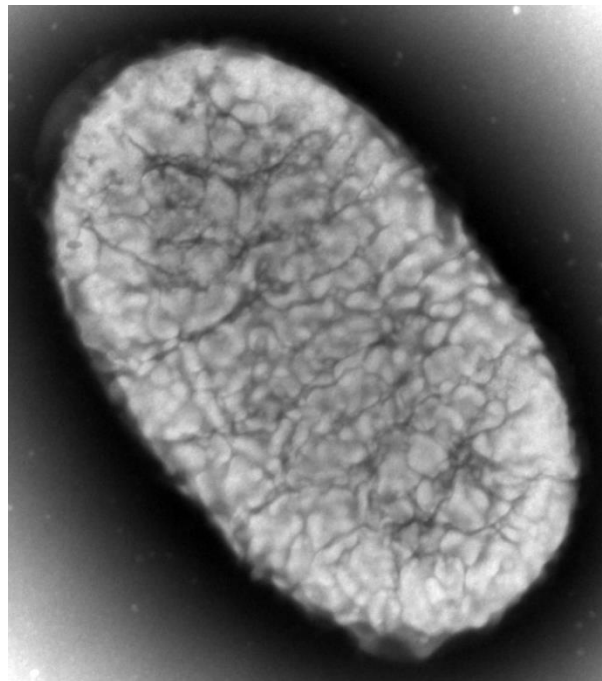
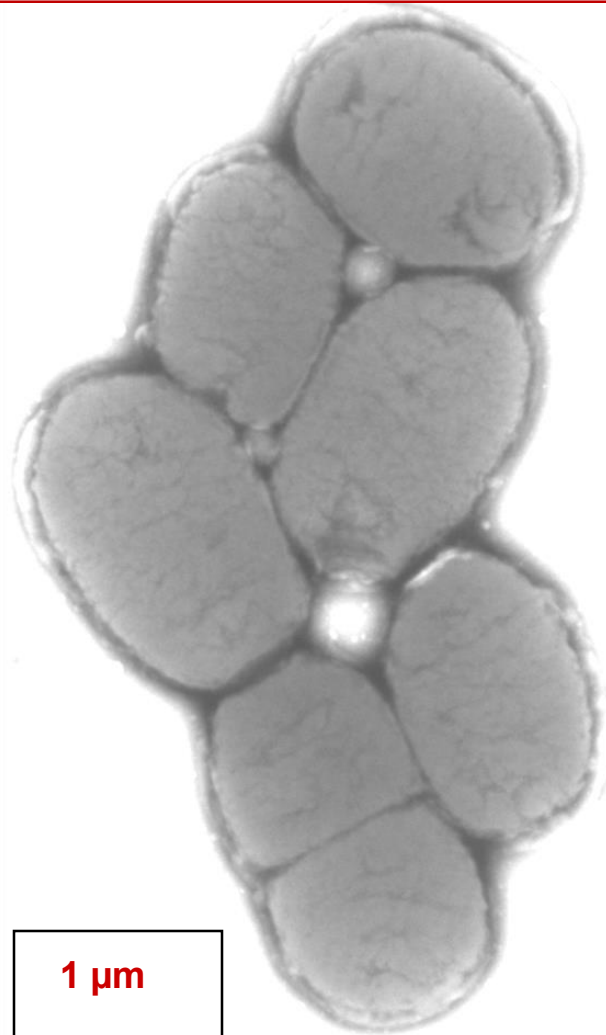
| Bacteria                     | <i>E. coli</i> |    |    | <i>S. epidermidis</i> |    |    |
|------------------------------|----------------|----|----|-----------------------|----|----|
| Growth time (h) <sup>a</sup> | 24             | 30 | 48 | 24                    | 30 | 48 |
| Ag NP <sub>4-6</sub>         | ○ <sup>b</sup> | ○  | ○  | ○                     | ○  | ○  |
| Au NP <sub>4-6</sub>         | ● <sup>c</sup> | ●  | ●  | ○                     | ○  | ○  |
| Au NP <sub>9-12</sub>        | ●              | ●  | ●  | ○                     | ●  | ●  |
| Glycerol                     | ●              | ●  | ●  | ○                     | ●  | ●  |
| PBS <sup>d</sup>             | ●              | ●  | ●  | ● <sup>e</sup>        | ●  | ●  |

**Photograph showing the inhibition effect of AgNP4-6 on *S. epidermidis***

- (a) positive control of bacterial colonies growing on agar plate,  
 (b) bacterial sample treated with silver nanoparticles.



J.Siegel, K.Kolářová, V.Vosmanská, S.Rimpelová,  
 J.Leitner, V.Švorčík,, Mater. Lett. 113, 59-63  
 (2013)



P.Slepička, J.Siegel,  
O.Lyutakov, N.Slepičková  
Kasálková, Z.Kolská, L.Bačáková,  
V.Švorčík, Biotechnol. Adv. x,x-  
x (2018).





vs.



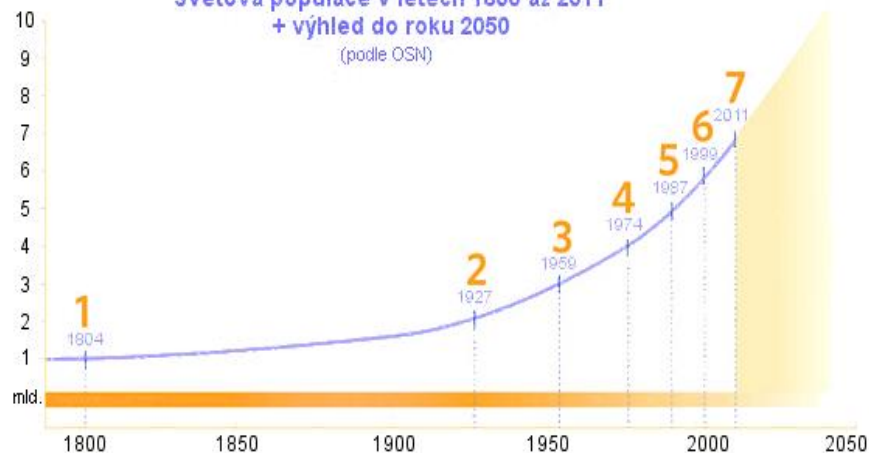
Hlavní problém současnosti - **narůstající populace** a s tím souvisí **problémy** planety  
**ekonomické, sociální, migrační, životního prostředí, nedostatek potravin, energetika.**



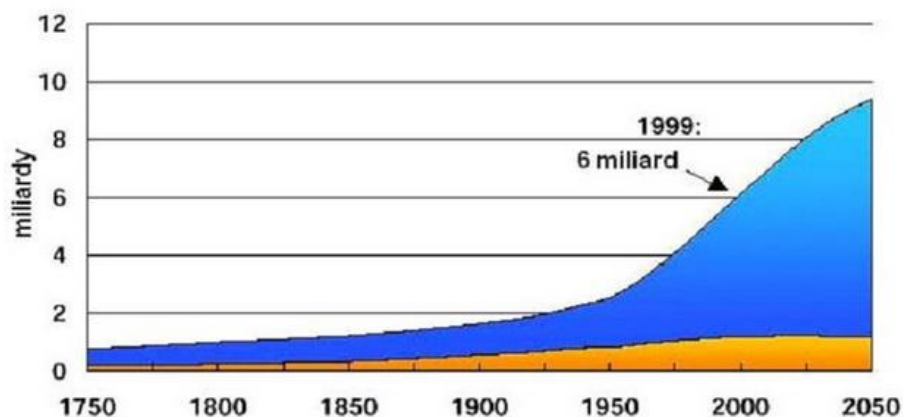
vs.



Světová populace v letech 1800 až 2011  
+ výhled do roku 2050  
(podle OSN)



■ hospodářsky vyspělé země  
■ hospodářsky méně vyspělé a zaostalé země



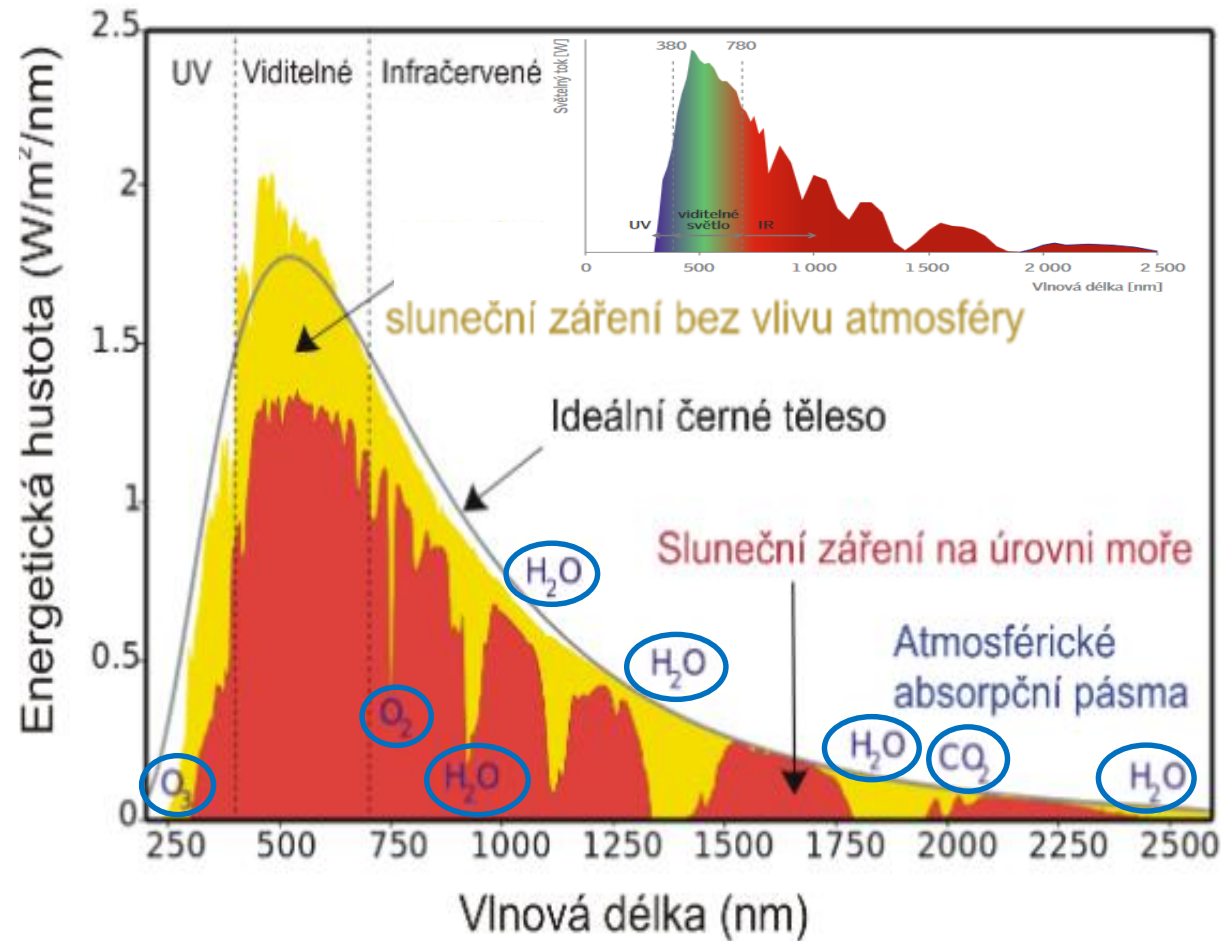
## Počet obyvatel na světě



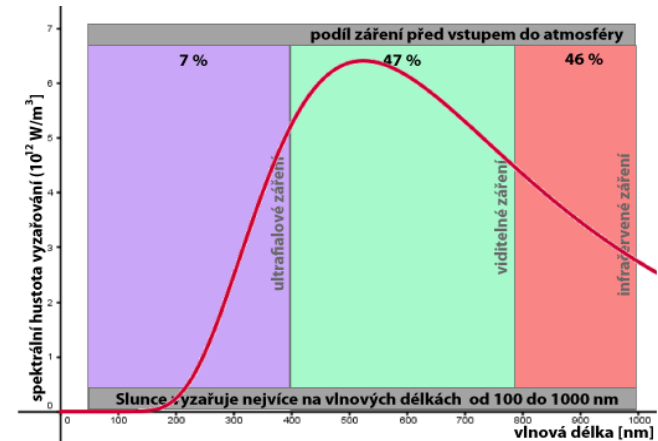
Světová populace (v millionech, odhad OSN)<sup>[1]</sup>

| #  | Deset nejlidnatějších států | 2000        | 2015        | 2030        |
|----|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1  | Čínská lidová republika     | 1270        | 1376        | 1416        |
| 2  | Indie                       | 1053        | 1311        | 1528        |
| 3  | USA                         | 283         | 322         | 356         |
| 4  | Indonézie                   | 212         | 258         | 295         |
| 5  | Pákistán                    | 136         | 208         | 245         |
| 6  | Brazílie                    | 176         | 206         | 228         |
| 7  | Nigerie                     | 123         | 182         | 263         |
| 8  | Bangladéš                   | 131         | 161         | 186         |
| 9  | Rusko                       | 146         | 146         | 149         |
| 10 | Mexiko                      | 103         | 127         | 148         |
|    | <b>Svět</b>                 | <b>6127</b> | <b>7349</b> | <b>8501</b> |

# Spektrum slunečního záření



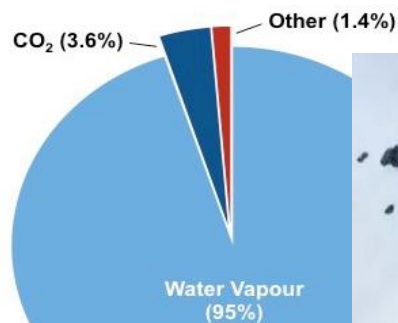
## Světlo - slunce



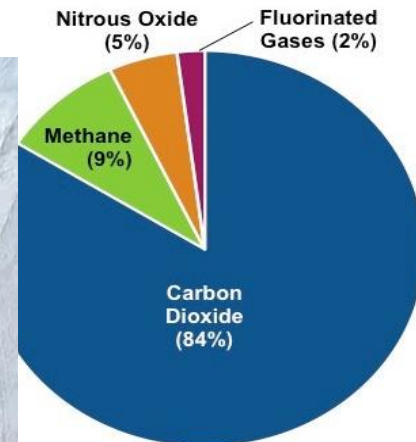
# Skleníkové plyny v atmosféře



**Sluneční záření** – odráží se různě (max. sníh/led), voda (málo) + tmavá pevnina – absorbují, → **zahřívá se povrch** 😊 **pokrýt povrch bílou látkou** ☹️



Greenhouse Gases in Atmosphere



Anthropomorphic (Man-Made) Greenhouse Gases

**skleníkové plyny s nimi** + 15°C  
**bez nich** - 18°C

**atmosféra - skleníkové plyny i vodní pára:**  
↑T → **více páry** → **kondenzace páry** → (KK rce) T↑

**methan** za 20 let „ohřeje“ Zemi **80 x víc** než stejné množství **CO<sub>2</sub>**

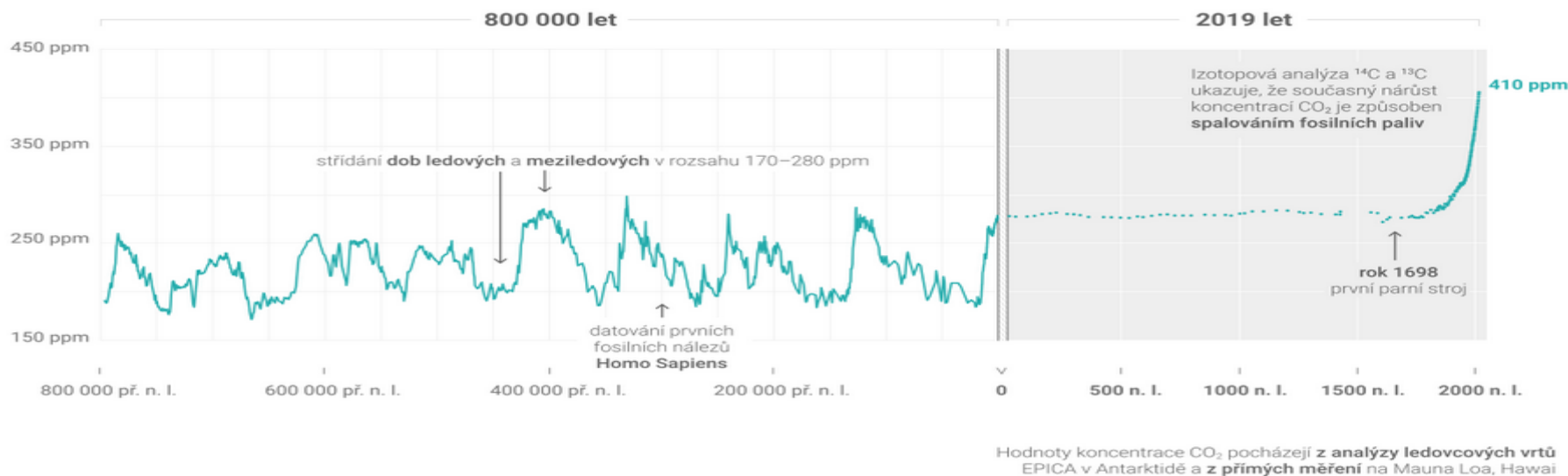
|               |          |
|---------------|----------|
| DUSÍK         | 78.08%   |
| KYSLÍK        | 20.95%   |
| ARGON         | 0.93%    |
| OXID UHLÍČITÝ | 0.04%    |
| METHAN        | 0.00018% |

# Vývoj koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře

Dnešní koncentrace CO<sub>2</sub> dosahují hodnot, které na Zemi nebyly za celou dobu existence lidstva

ppm (parts per milion) je jednotka koncentrace

Koncentrace 400 ppm CO<sub>2</sub> v atmosféře znamená, že v jednom milionu molekul vzduchu je 400 molekul CO<sub>2</sub>

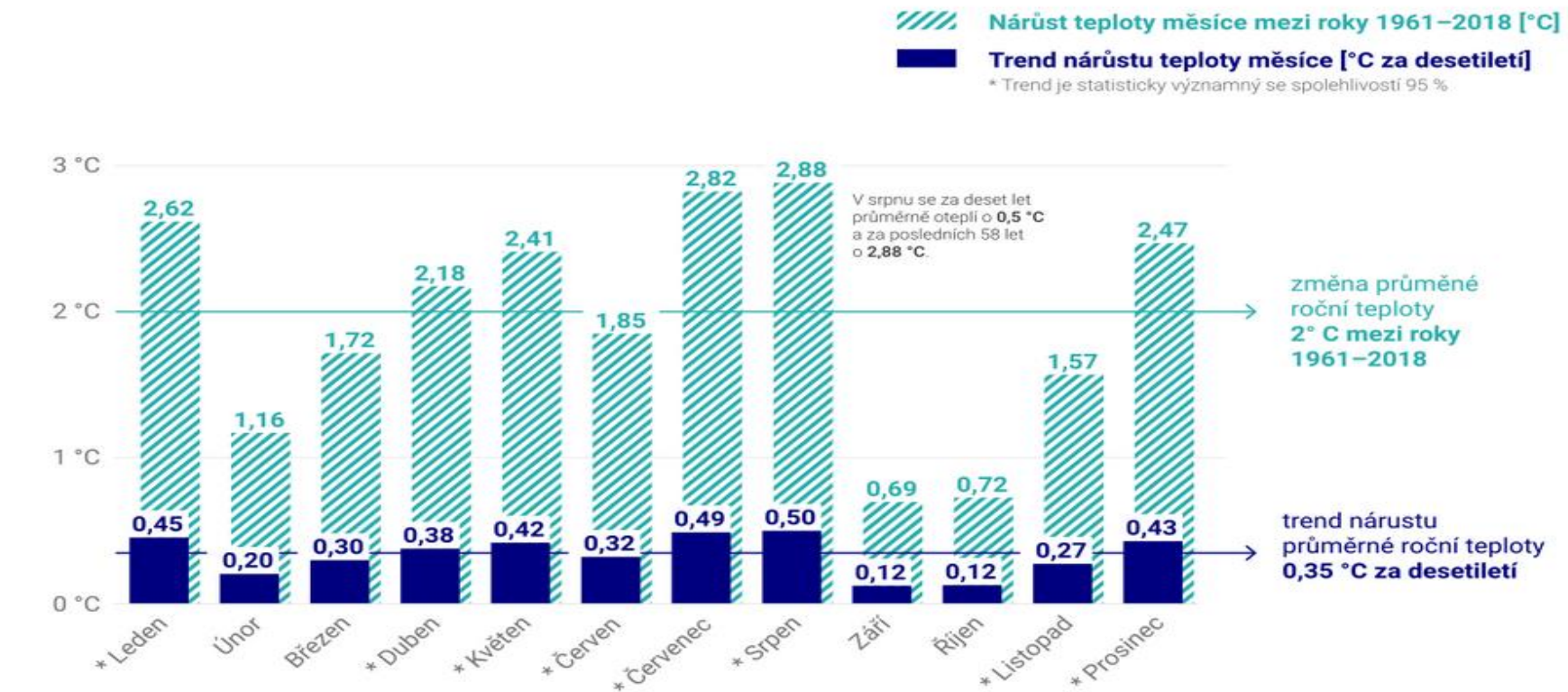


*Od průmyslové revoluce rostou koncentrace oxidu uhličitého vysoko nad hodnoty, které byly na planetě během posledních 800 000 let a výrazně zvyšují skleníkový efekt a způsobují globální oteplování. Data pochází z analýzy ledovcových vrtů EPICA v Antarktidě a z přímých měření na Mauna Loa, Hawaii.*

**V půdě je ho celkem 2x více než v atmosféře a v oceánu zhruba 50x více než v atmosféře.**

**¼ CO<sub>2</sub> rozpouští - přechází oceánů - zvýšení jejich kyselosti v důsledku zvýšení koncentrace kyseliny uhličitě v mořské vodě, rozpouštějící kalciové složky těl řady mořských organismů**

# Trendy nárůstu teploty v ČR v jednotlivých měsích

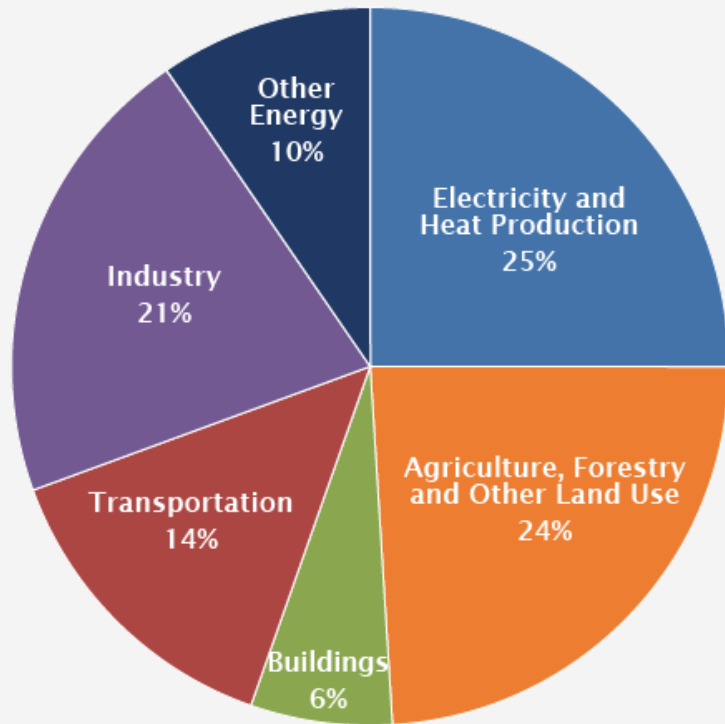


VERZE 1.2

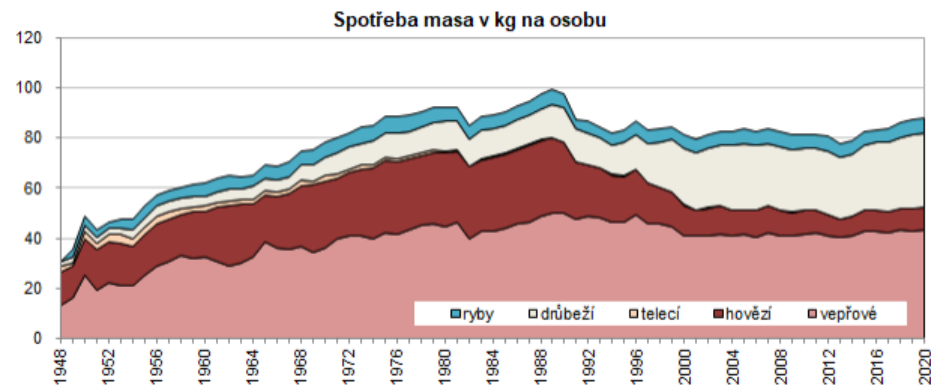
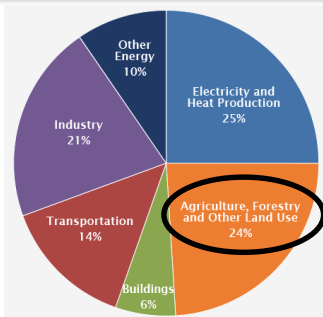
*Průměrná roční teplota v České republice narostla za posledních 58 let o 2 °C. Trendy v oteplování jednotlivých měsíců jsou však různé. Největší nárůst teplot je v lednu, červenci a srpnu – tyto měsíce se mezi roky 1961 až 2018 oteplily o více než 2,6 °C.*

**v zimě teplota roste** → není sníh, není podzemní voda, **teplota roste** → **vypařuje se voda**  
**teplota roste** → dříve rostou rostliny, berou dříve vodu, pak chybí → **sucho**, není rozdíl zima, jaro, léto, podzim

# Kdo za to může ?



|        |          |
|--------|----------|
| DUSÍK  | 78.08%   |
| KYSLÍK | 20.95%   |
| ARGON  | 0.93%    |
| CO2    | 0.04%    |
| METHAN | 0.00018% |

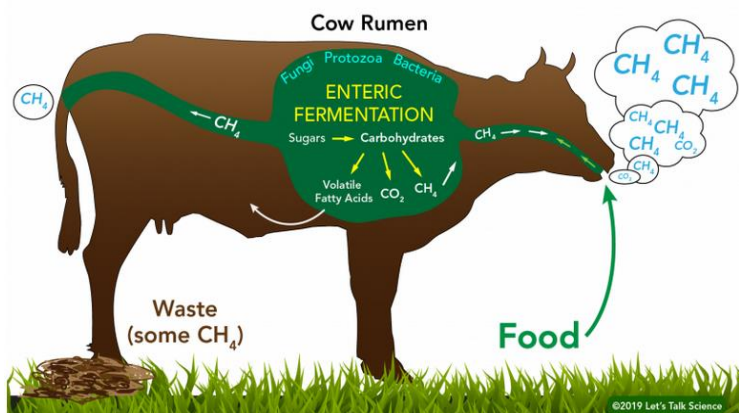


- na světě chovají ca 1.5 miliard skotu (krávy, ovce)
- metan z živočišné výroby - **14,5 % světových emisí skleníkových plynů**
- 1 kráva/den – **150 až 300 g/den**
- 200 g hovězím steak - **v ovzduší asi 15 kg CO<sub>2</sub>**
- **přežvýkavci** - netráví ve střevech (savci) ale přímo v žaludku – **bakterie** - produkují **methan**

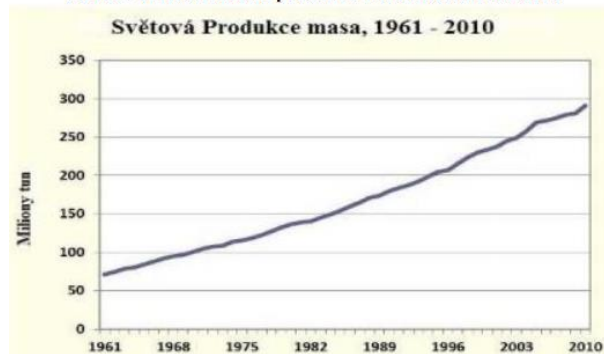
## klimatická daň z krav a ovcí?

## Methan

**¼ produkce potravin, > ½ živočišná výroba**

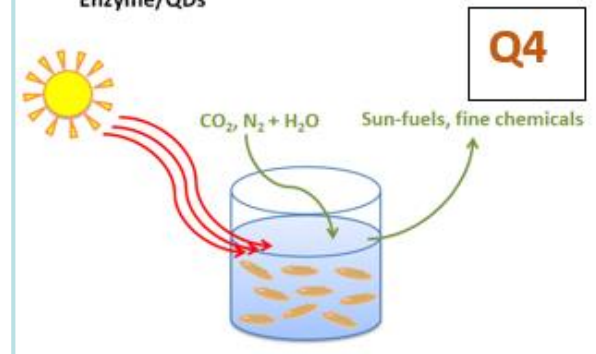
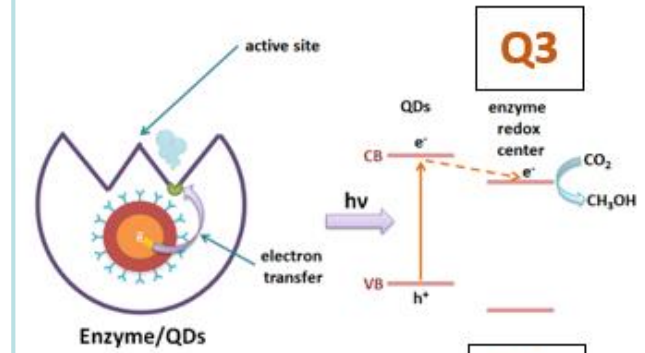
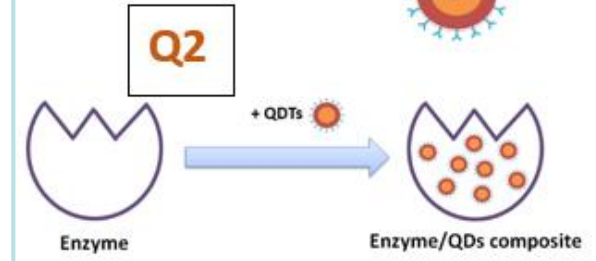
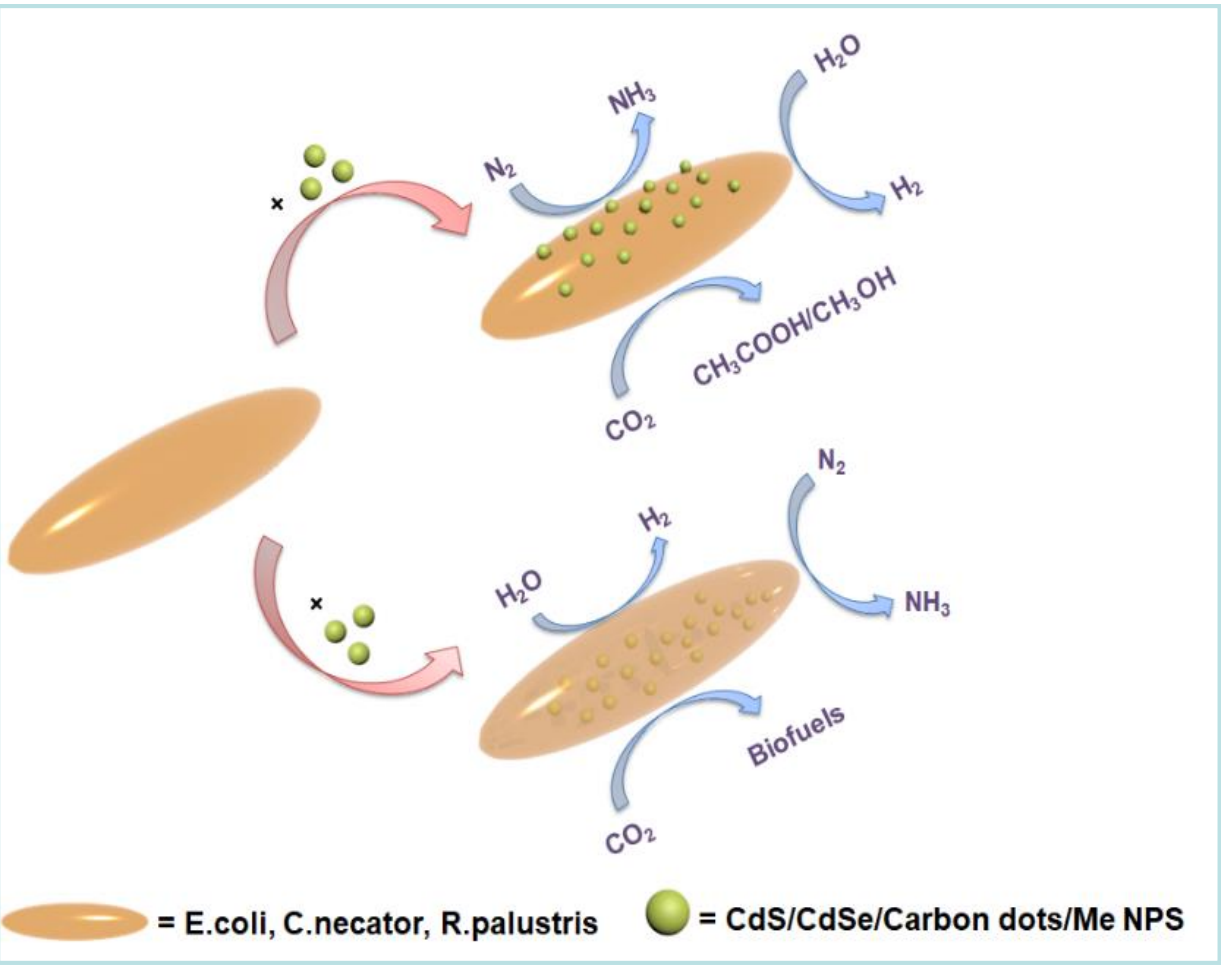


Graf č. 1 Nárůst světové produkce masa v letech 1961-2010

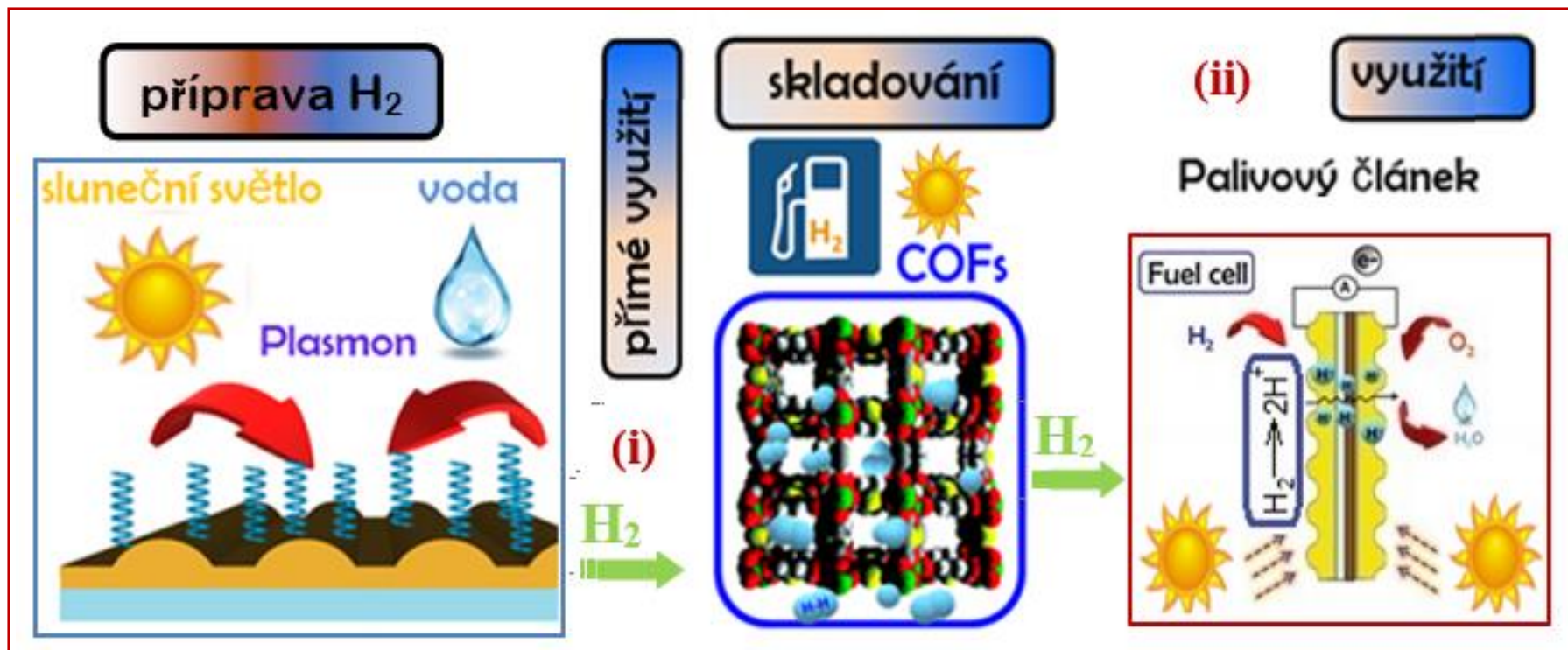
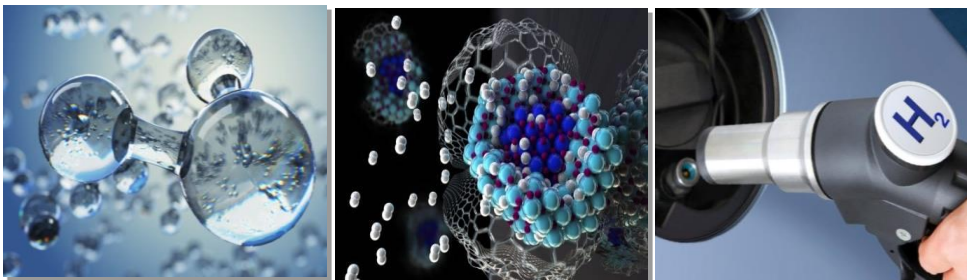


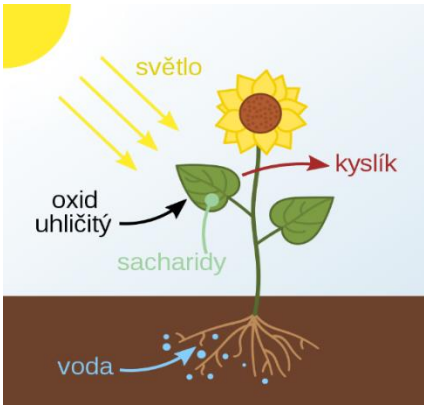
Zdroj: (Vital Sings, 2011)





# *plazmonem stimulovaná fotolýza vody*





Zelený list – fotosyntéza probíhá v listech rostlin za pomoci zeleného barviva – chlorofylu

**Pokožkové květiny umí „vyprat“**



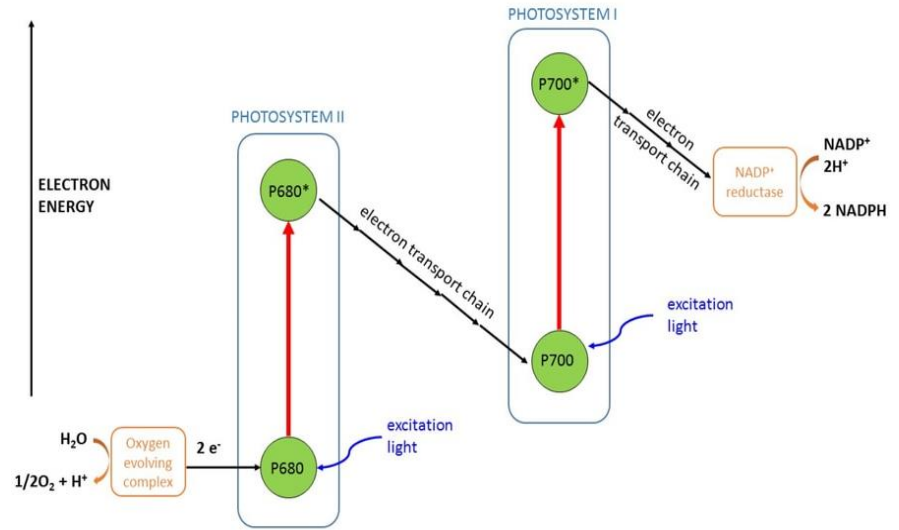
# Přírodní fotosyntéza

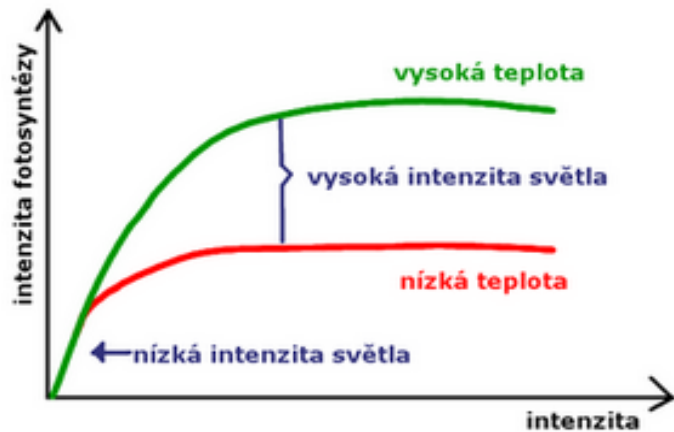


světlo/chlorofyl

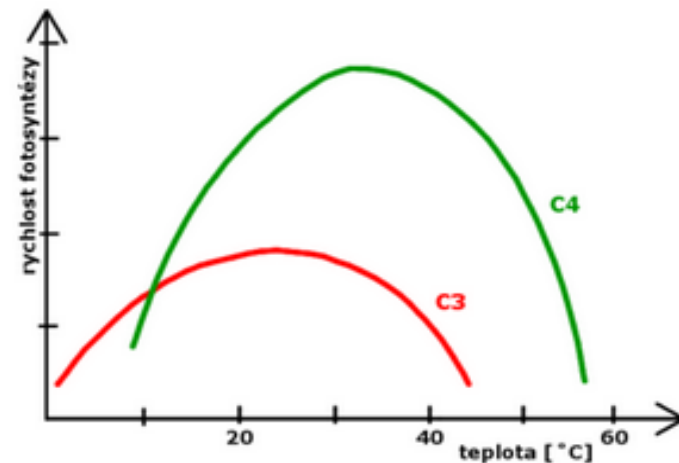


**Celkový průběh fotosyntézy**





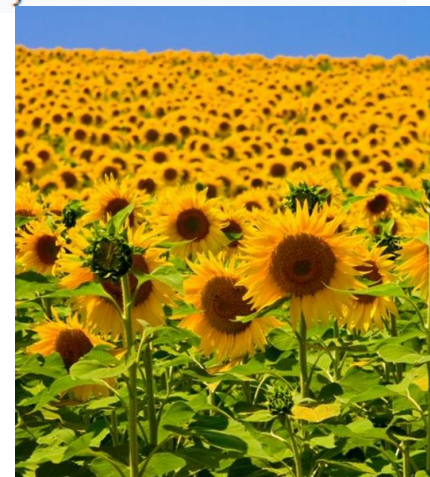
Graf závislosti rychlosti fotosyntézy na teplotě a intenzitě světla.



Graf závislosti rychlosti fotosyntézy na teplotě a typu rostliny.

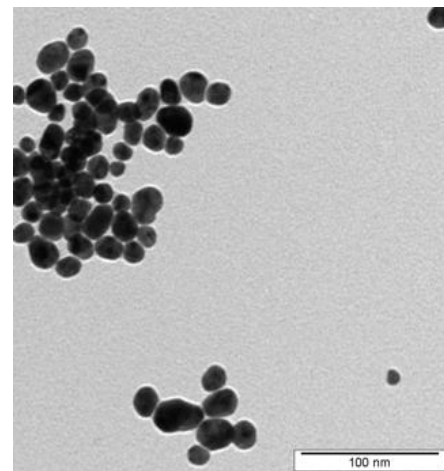
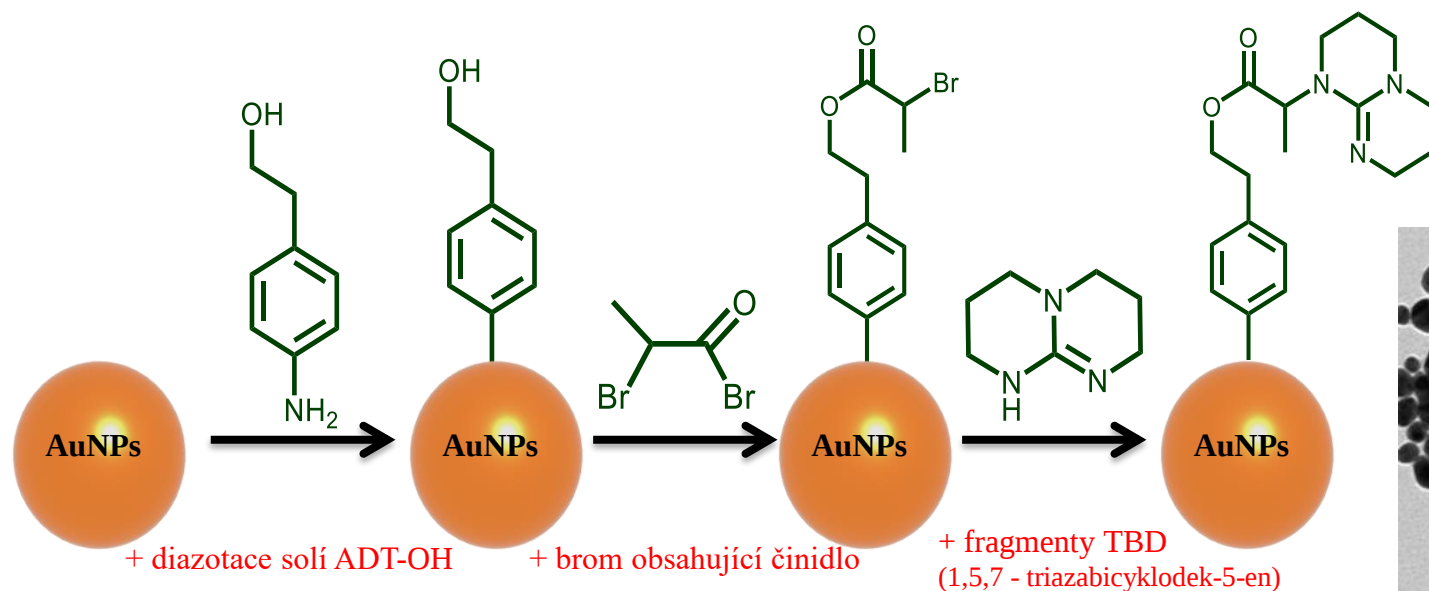


**C3** rostliny - mírné pásmo  
**C4** rostliny - subtropické rostliny  
 (např. kukuřice)



# Modifikované zlaté nanočástice

(katalyzátor konverze  $\text{CO}_2$ )



*O.Guselnikova, P.Postnikov, J.Kosina, Z.Kolska, V.Svocik, O.Lyutakov, J. Mater. Chem. A 9, 8462-8469 (2021).*

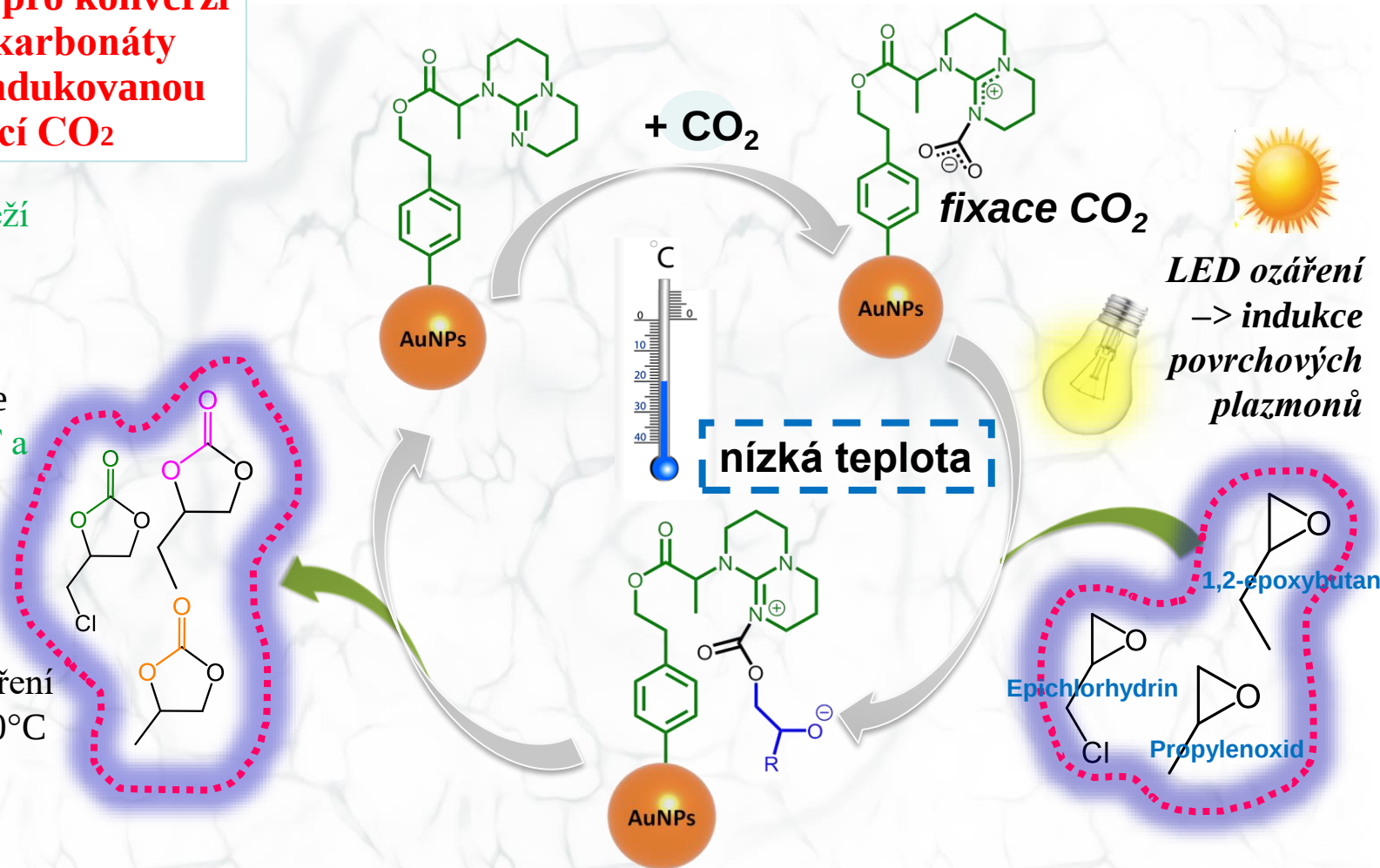
**zachycení CO<sub>2</sub> pro konverzi  
epoxidů na karbonáty  
plazmonem indukovanou  
cykloadicí CO<sub>2</sub>**

„většina reakcí běží  
při zvýšené T a  
tlaku“

**Cíl** - transformace  
CO<sub>2</sub> při snížené T a  
norm. tlaku

Antarktida,  
Arktida

velká intenzita záření  
a T hluboko pod 0°C





Radujme se i z maličkostí.



## Celulóza – dotváří krásu přírody a pomáhá léčit rány .....



# Celulóza – přírodní materiál

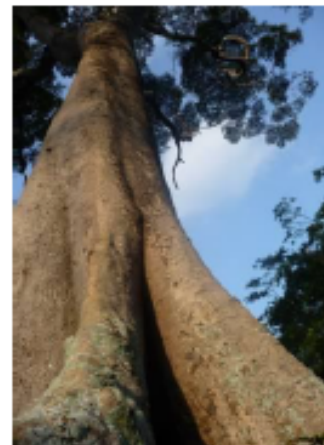
Celulóza - nejrozšířenější přírodní polysacharid vytvářený v množství  $4 \times 10^{10}$  tun/rok.

## Tvorba celulózy:

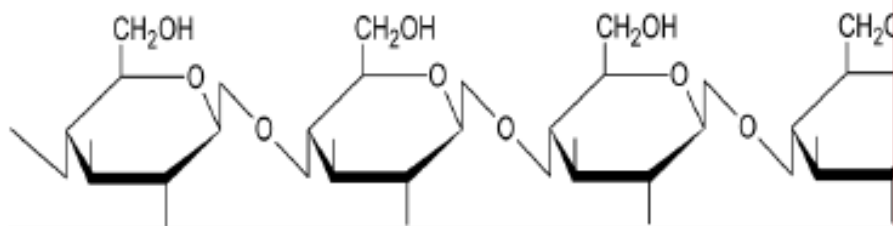
### Fotosyntéza



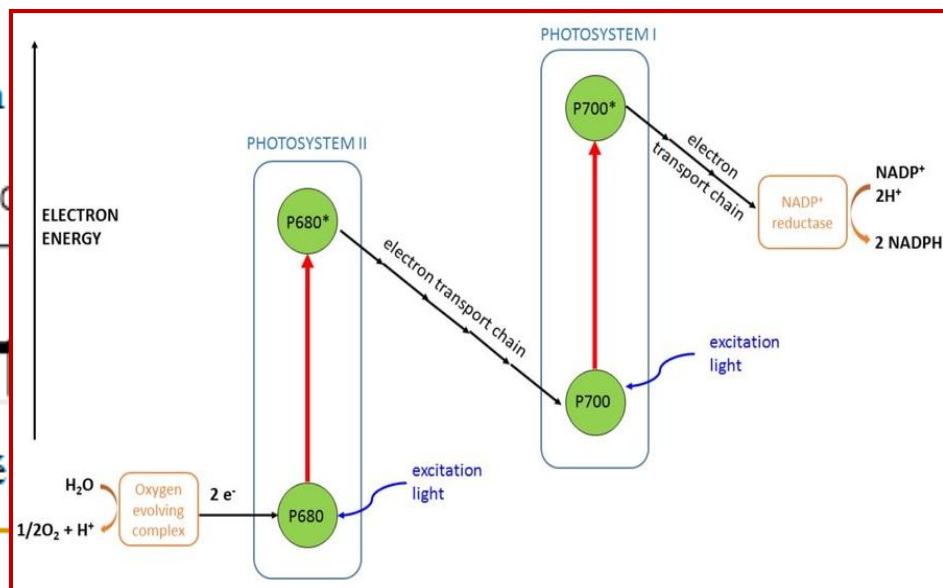
### Biosyntéza



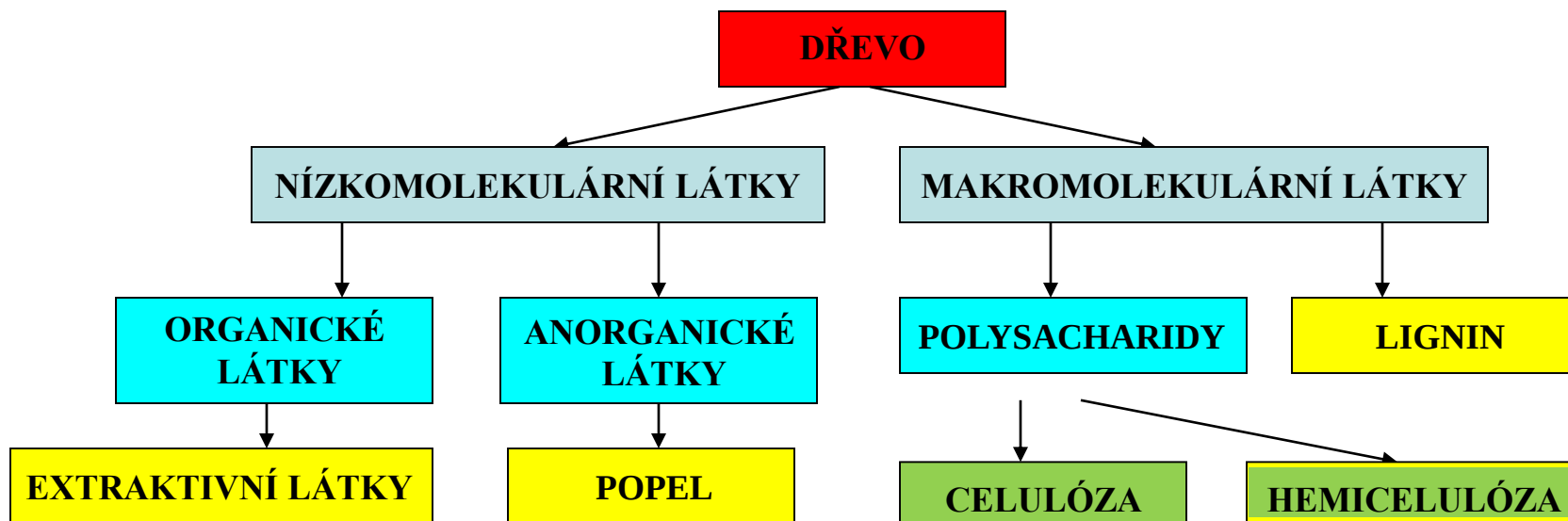
## Vzorec polymeru celulózy (počet základních



Využívá se dnes pouze cca 0,5 % vyprodukované



# CHEMICKÉ SLOŽENÍ DŘEVA



# Jak člověk mění přírodní celulózu pro ošetřování ran?

## 1) rozpuštěním a vysrážením (regenerací)

**Regenerovaná celulóza:** homogennější materiál, slabší a pevnější vlákna nebo film (celofán).

## 2) syntézou v biorektorech (napodobení přírodních procesů)

**Mikrobiální celulóza,** vypěstovaná z glukózy pomocí mikrobů má charakter nanocelulózy (nanopavučina).

V budoucnu lze předpokládat, že většina materiálů, chemikálií i paliv bude vyráběna v **mohutných bioreaktorech**, které budou využívat fotosyntézu a procesy okopírované z přírody.

## 3) chemickou a fyzikální modifikací

- deriváty, které tvoří ve vodě koloidní systémy (**hydrokoloidy**)
- vláknité gelující materiály s vysokou absorpcí (**hydrokoloidní vlákna**).
- **filmy** (vysušením roztoků celulózy)
- **hydrogely** (zesíťováním hydrokoloidů)
- vstřebatelná celulóza (**oxidovaná celulóza**)
- **nanostruktury celulózy**



**Bioraфинérie budoucnosti**

## Složité struktura přírodní celulózy (má význam pojem „nano“ ?)

**Polymerní řetězce celulózy** - propojeny vodíkovými vazbami do uspořádaných krystalických **nanofibril** s neuspořádanými amorfními konci (defekty).

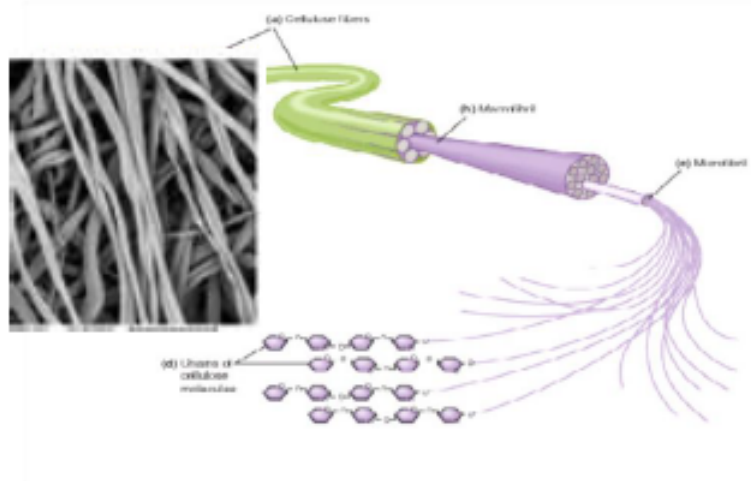
Dále vytvářejí:

- mikrofibrily
- mikrofibrily
- fibrily
- fibrilární svazky
- vláknité struktury, které jsou tvořeny rostlinnými buňkami.

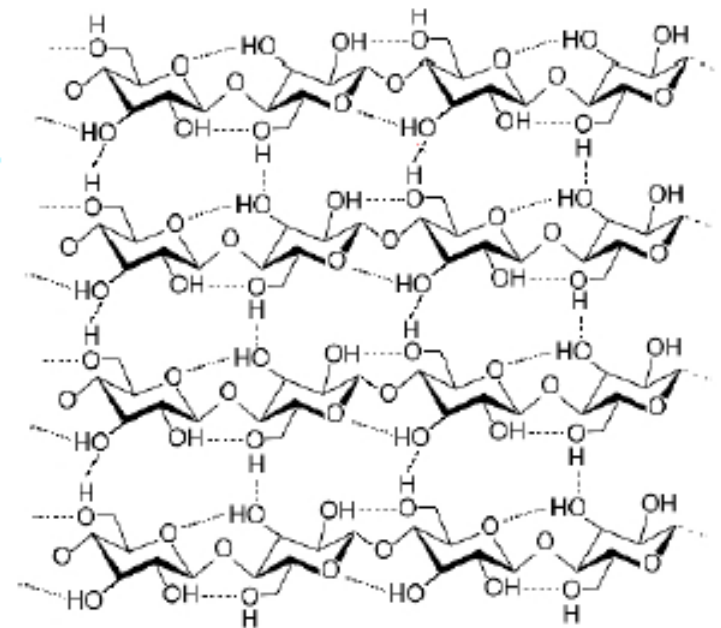
**Fibrily celulózy**

2-20 nm průměr

100-40 000 nm délka



**Vodíkovými vazbami spojené molekuly celulózy**



Z přírodní celulózy zbavené „vedlejších“ látek a nečistot vytváří člověk další **textilní struktury**: netkaná textilie, nitě, tkané či pletené textilie a další struktury.

# Jaký je rozdíl mezi celulózou a celulózou?

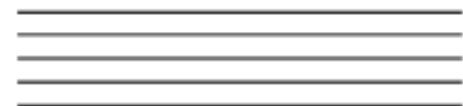
(Walter Roggenstein, Kelheim Fibers (2010))

**Přírodní celulóza** - ve vodě nerozpustná, při aplikaci v tkáních živočichů **nevstřebatelná látka**. Příčina - vysoce uspořádaný krystalický podíl ve struktuře celulózy.



Tvoří dutá vlákna, jejichž rozměry a vlastnostmi závisí na podmínkách pěstování a sezónních vlivech.

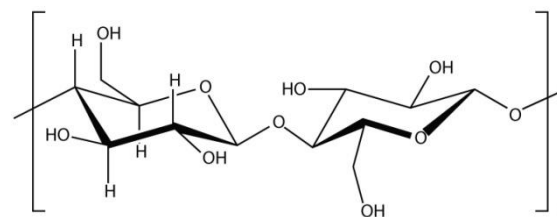
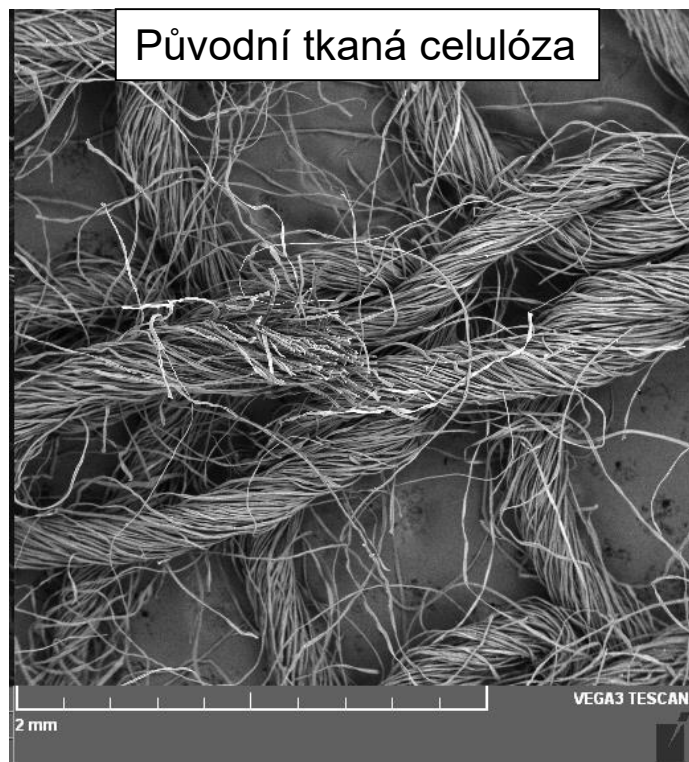
**Nanocelulóza** (strukтуры pod 100 nm) - „vyšší úroveň“ organizace polymerních molekul celulózy.



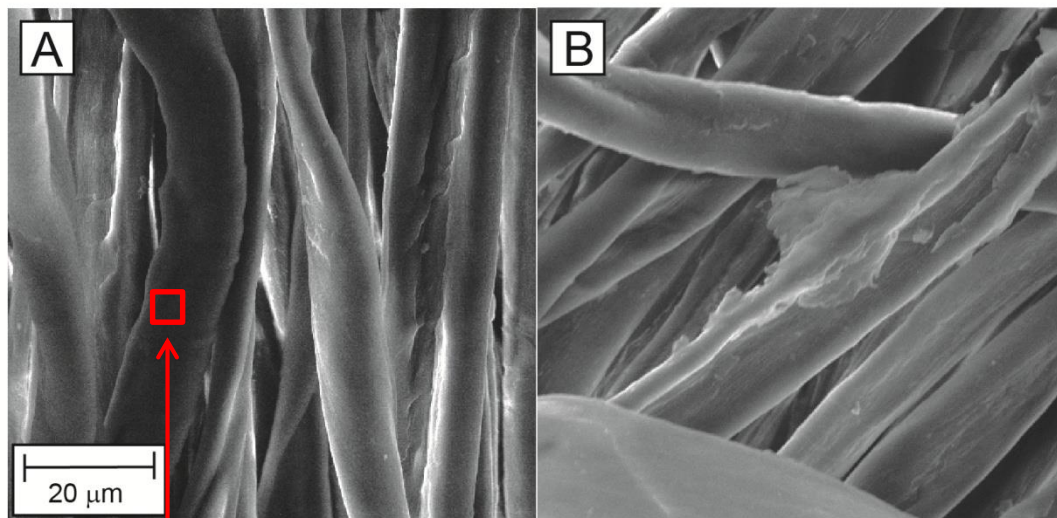
Tzv. **nadmolekulární struktury celulózy** (mikrocelulóza a nanocelulóza) tvoří ve vodě **koloidní systémy** (roztoky).

**Nanocelulóza poskytuje pro ošetřování ran materiály o zásadně jiných vlastnostech, než má přírodní celulóza (např. bavlna).**

# Celulóza: modifikace v plazmatu

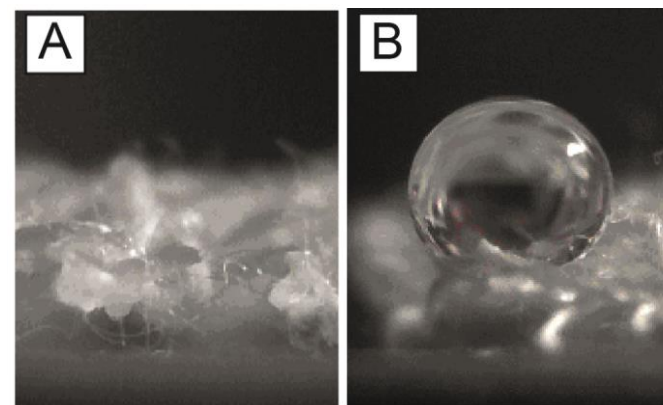
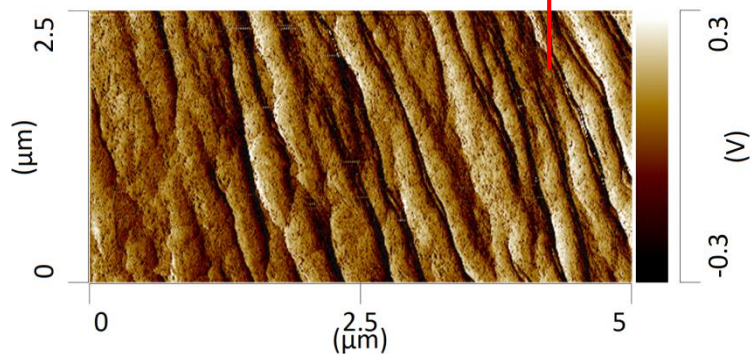


Změna povrchové morfologie celulózy - SEM



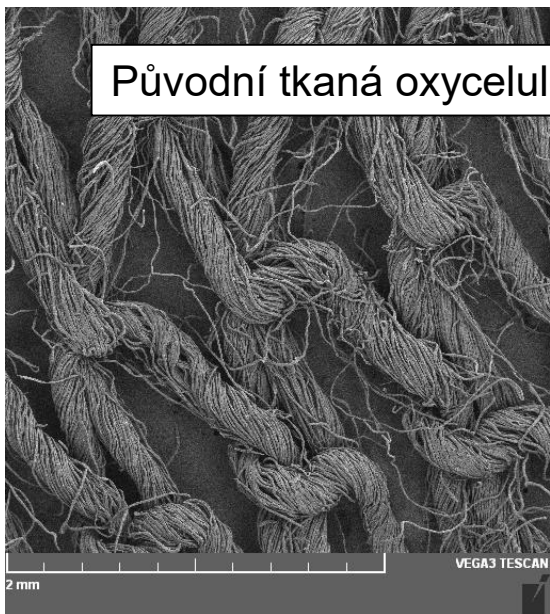
Změna smáčivosti celulózy - goniometrie

Struktura vlákna celulózy - AFM

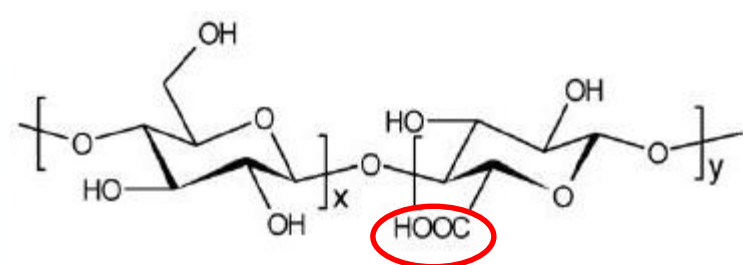


Celulóza původní (A), modifikovaná v plazmatu (B)

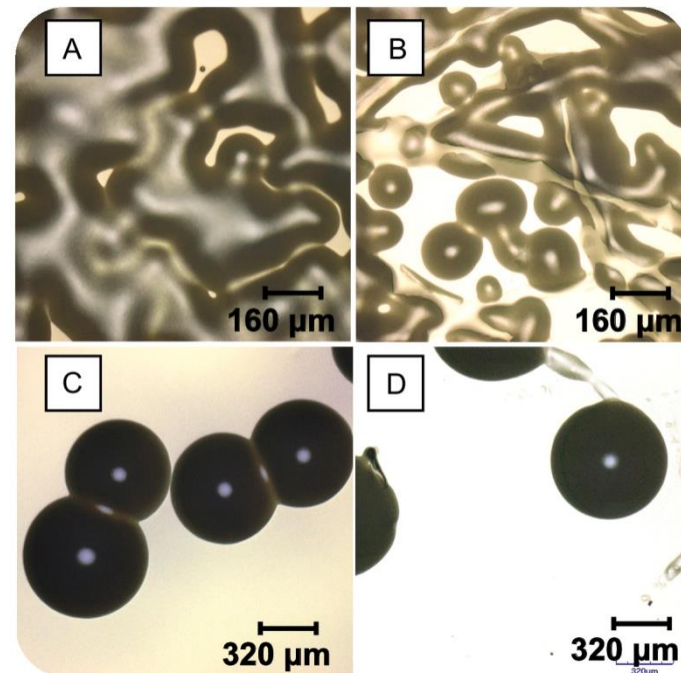
# Oxidovaná celulóza: modifikace v plazmě plazmatu



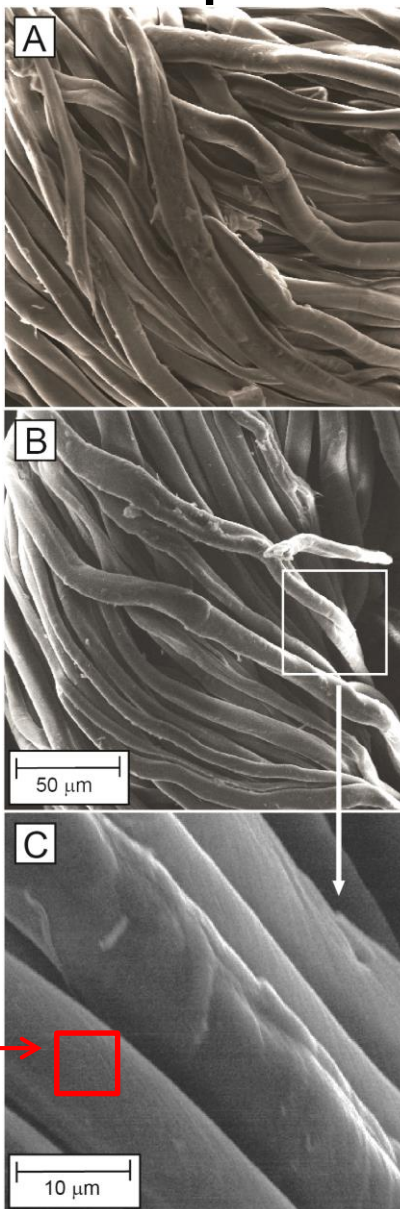
Původní tkaná oxycelulóza



Antibakteriální vlastnosti

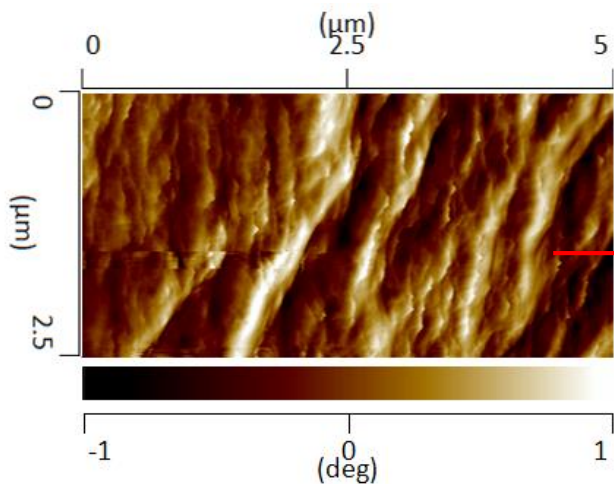


Celulóza původní (A,C), modifikovaná v plazmatu (B,D) a bakterie *S. epidermis*

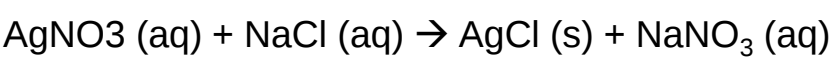


Celulóza původní (A), modifikovaná v plazmatu (B,C)

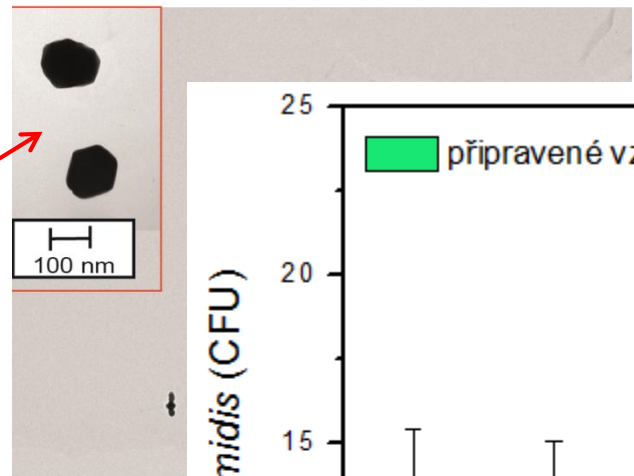
Struktura vlákna oxycelulózy - AFM



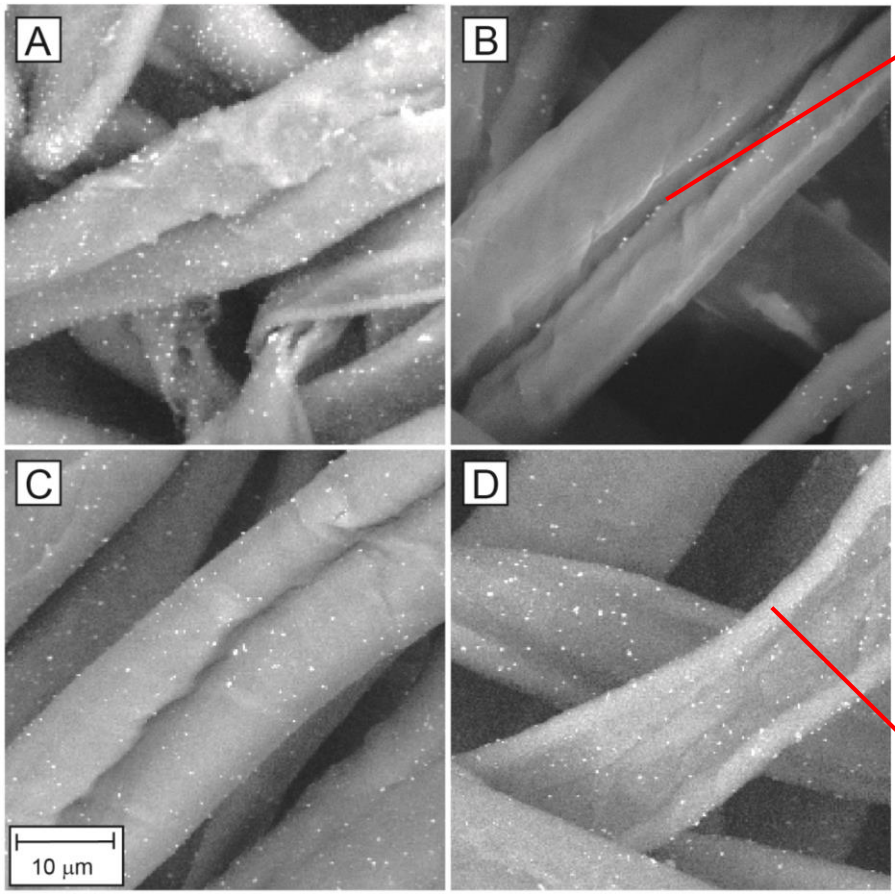
# Celulóza: modifikace vysrážením Ag ve formě AgCl



TEM snímky nanočástic AgCl

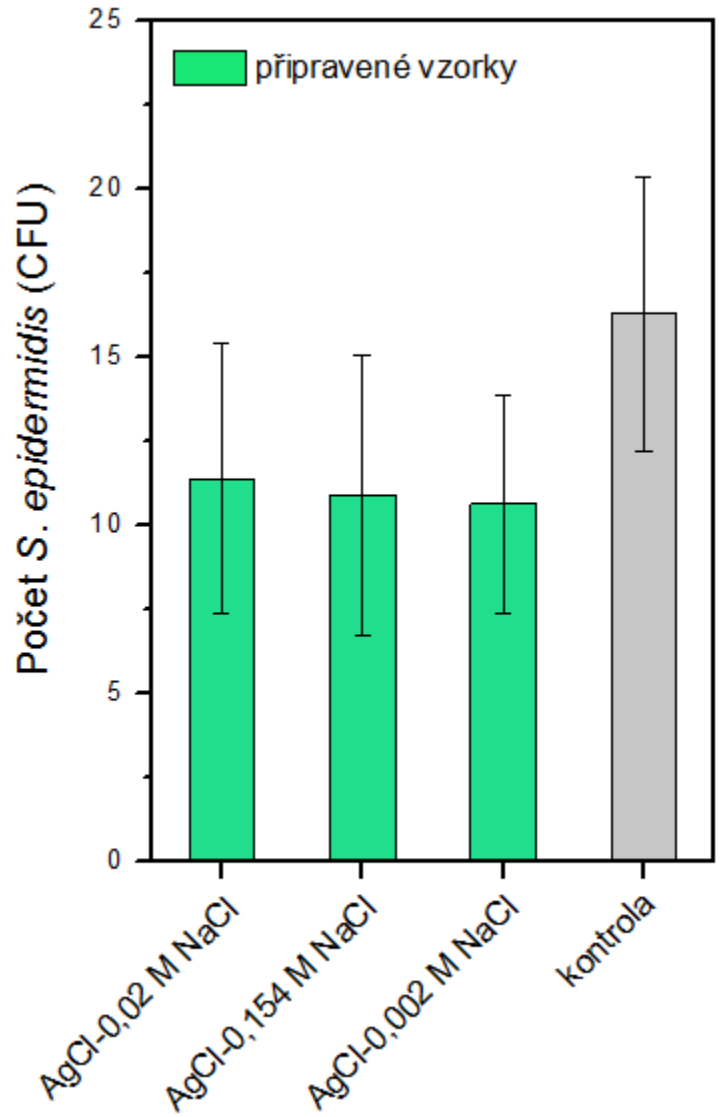
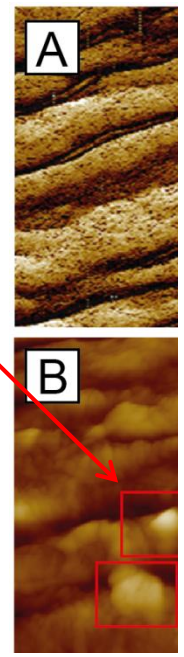


SEM snímky celulózy s částicemi AgCl



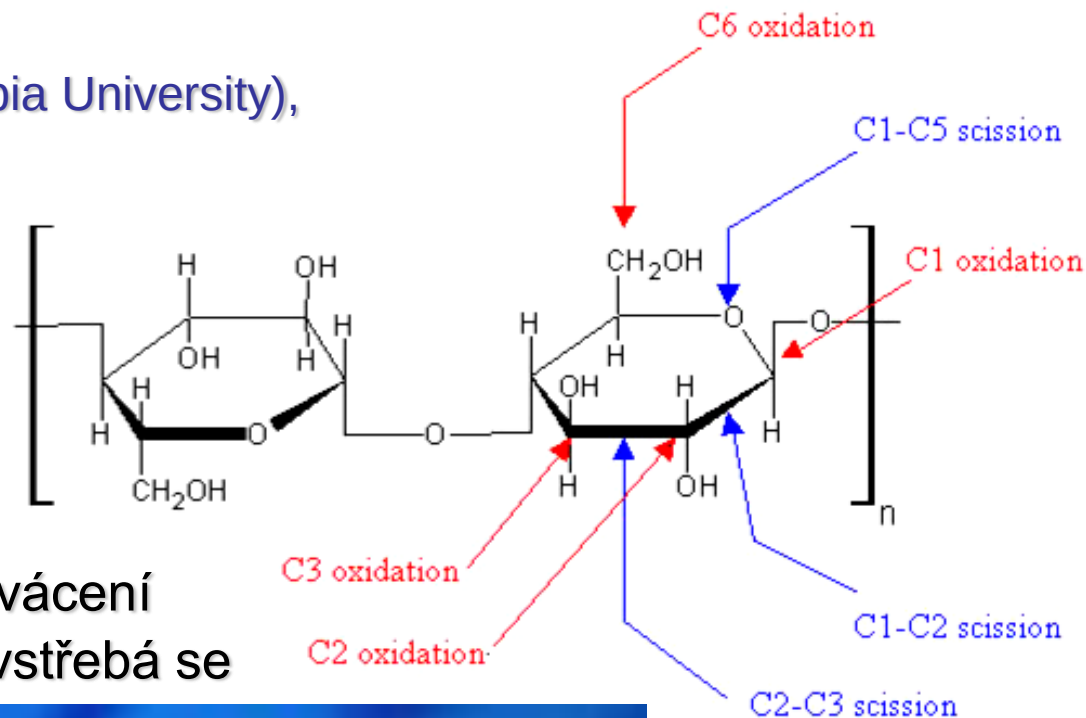
Celulóza/AgCl (A), celulóza/plazma/AgCl (B),  
celulóza/chitosan/AgCl (C),  
celulóza/plazma/chitosan/AgCl (D)

AFM sním



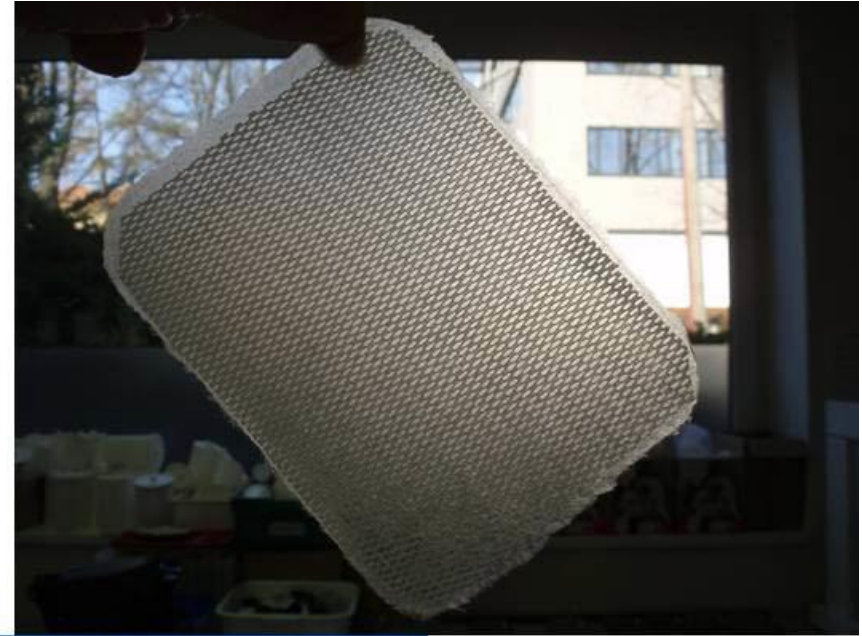
## Oxidovaná celulóza

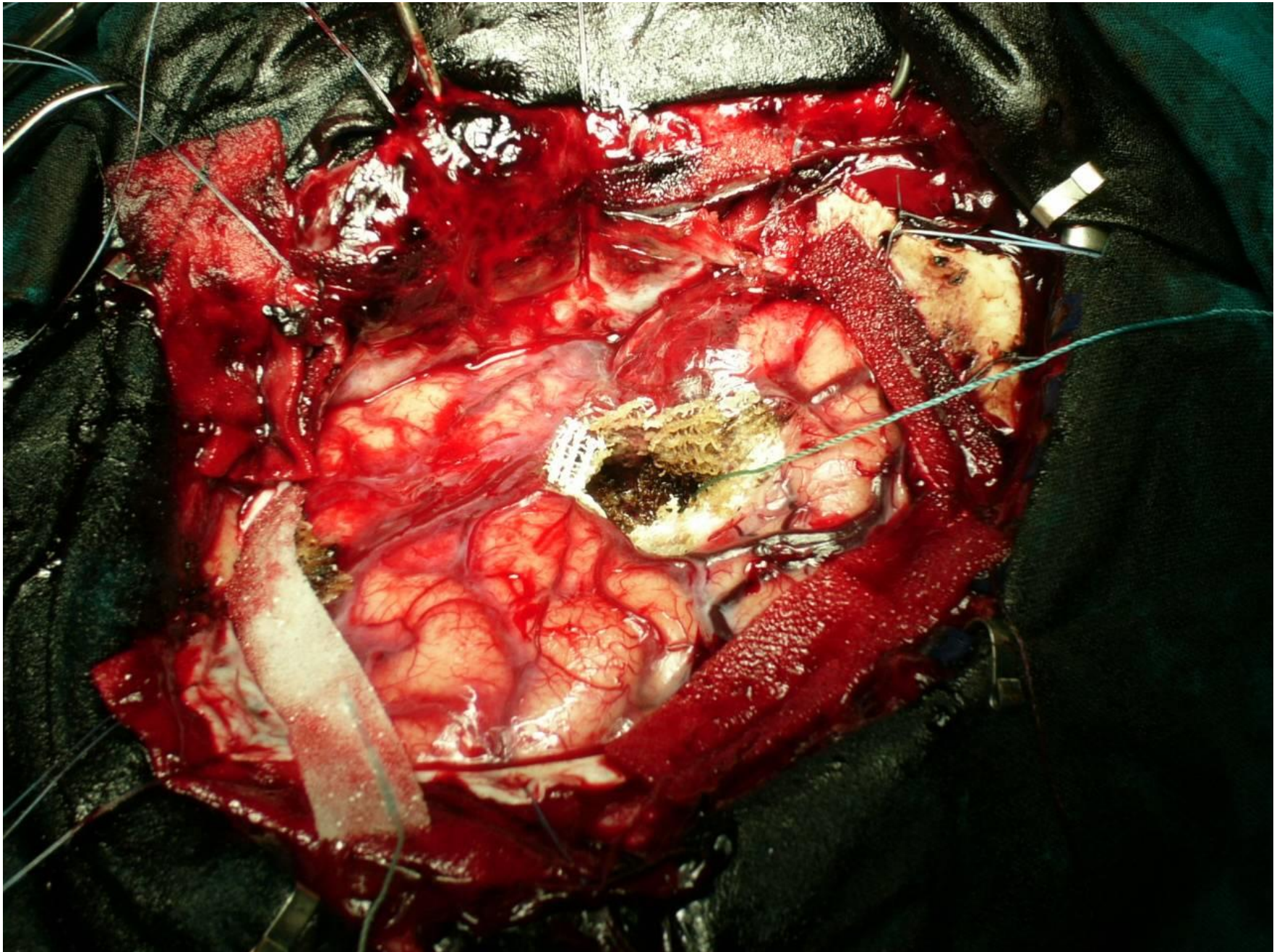
(objevena V.K.Frantz (1943, Columbia University),



**Hemostáza** – zastavování krvácení  
nasaje krev, zastaví krvácení a vstřebá se

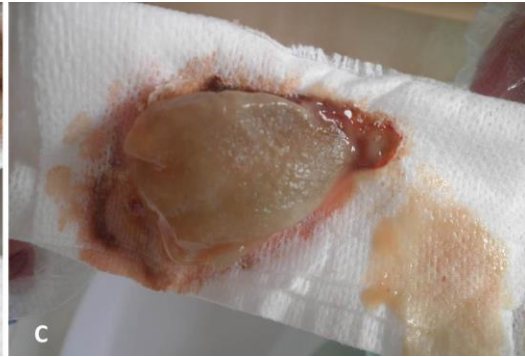
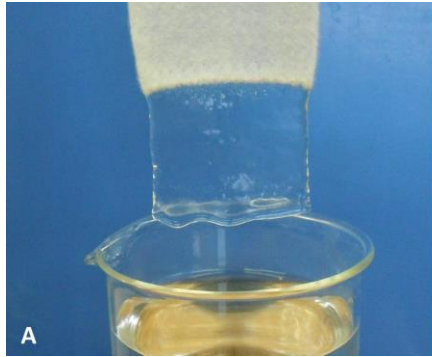




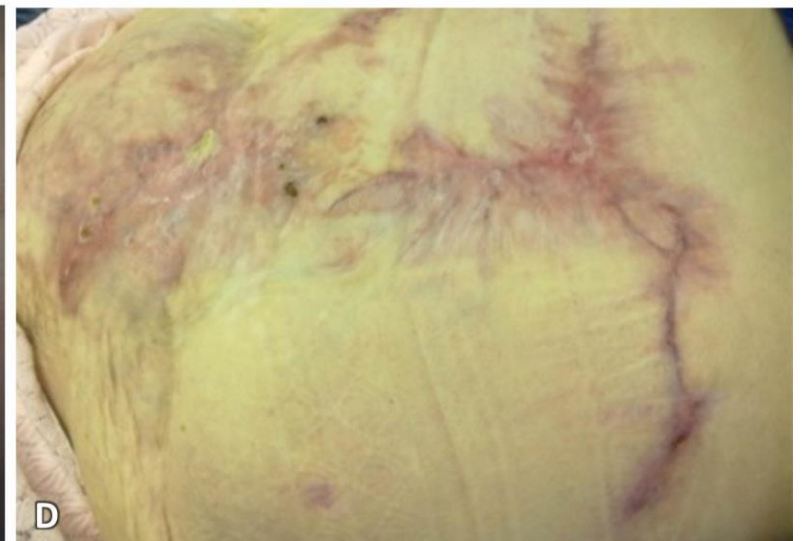


# Celulóza

V.Švorčík, [vaclav.svorcik@vscht.cz](mailto:vaclav.svorcik@vscht.cz)

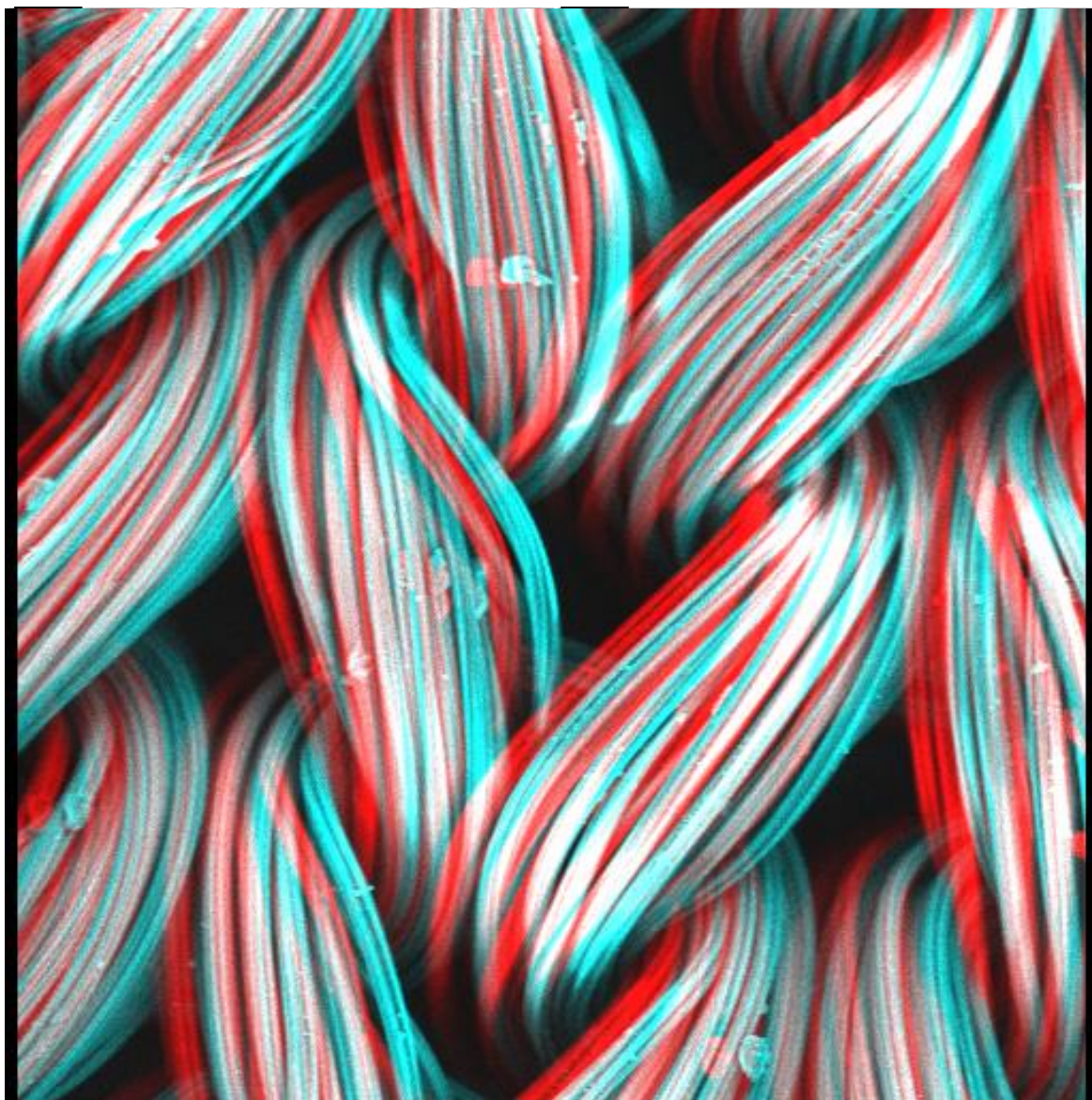


# Celulóza



# Celulóza





SEM HV: 20 kV

WD: 10.00 mm



VEGA3 TESCAN

View field: 612  $\mu\text{m}$

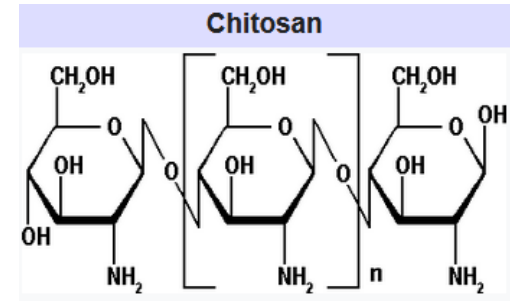
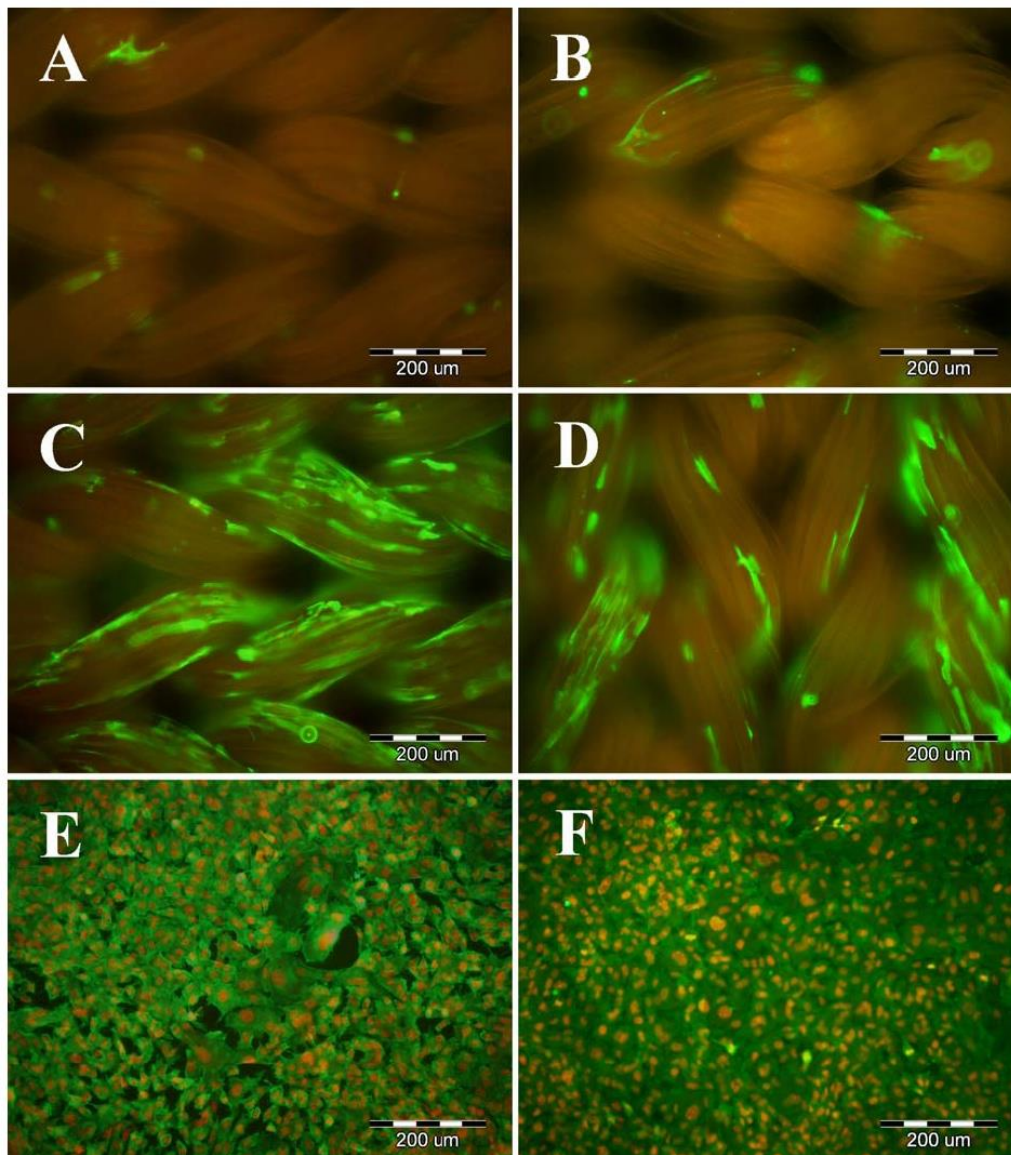
Det: BSE

100  $\mu\text{m}$

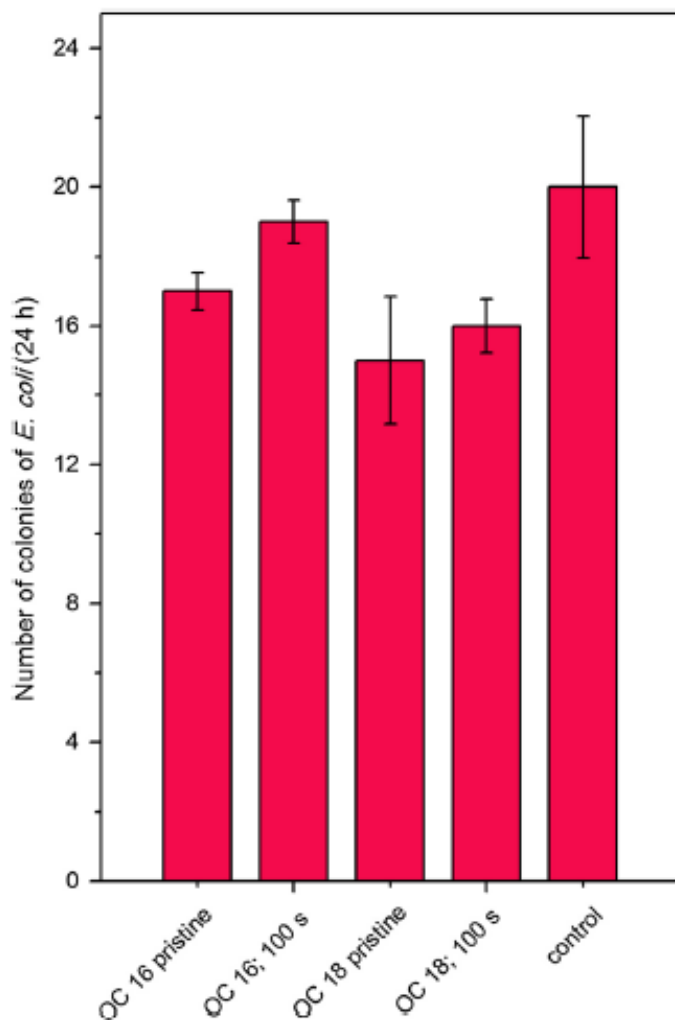
SEM MAG: 236  $\times$

Date(m/d/y): 11/30/12

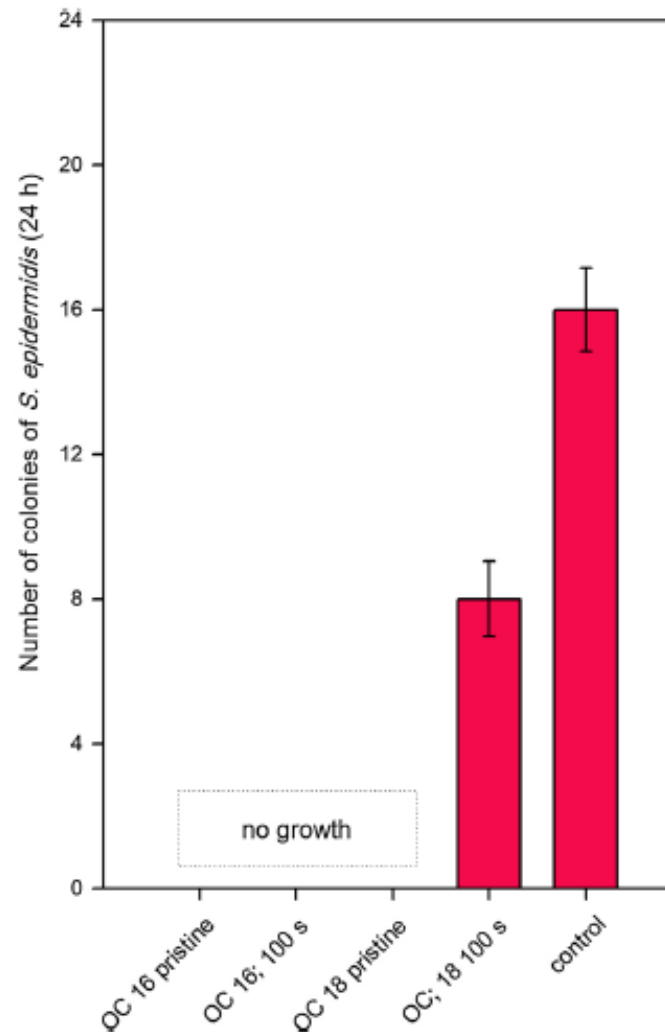




Immunofluorescence staining of **alpha-actin** (A, C, E) and SM1 and SM2 **myosins** (B, D, F) in cells growing on 6-carboxycellulose with 2.1 wt. % of -COOH groups (A, B), 6-carboxycellulose with 2.1 wt. % of -COOH groups modified with chitosan (C, D) and on control polystyrene dishes (E, F). Day 7 after seeding,



**Fig. 9** Number of *E. coli* CFU grown on OC 16 pristine for 24 h, OC 16 plasma treated for 100 s, OC 18 pristine and OC 18 plasma treated for 100 s



**Fig. 10** Number of *S. epidermidis* CFU grown on OC 16 pristine for 24 h, OC 16 plasma treated for 100 s, OC 18 pristine and OC 18 plasma treated for 100 s

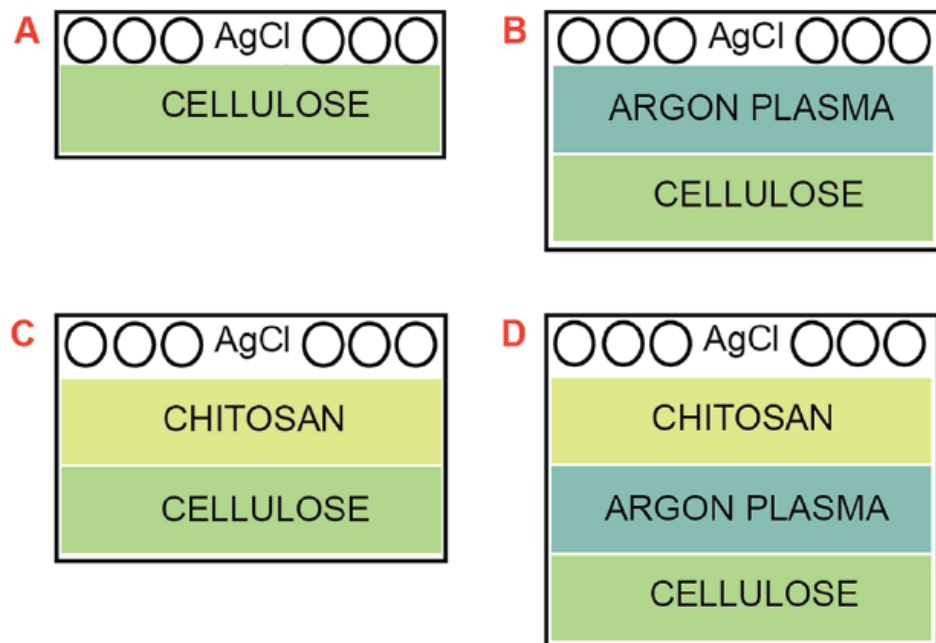


Fig. 1 Modifications performed on cellulose. Partial modifications: (A) cellulose with precipitated AgCl, (B) cellulose exposed to plasma with precipitated AgCl, (C) cellulose impregnated with chitosan and with precipitated AgCl. Three-step modification: (D) cellulose exposed to plasma, impregnated with chitosan and with precipitated AgCl.

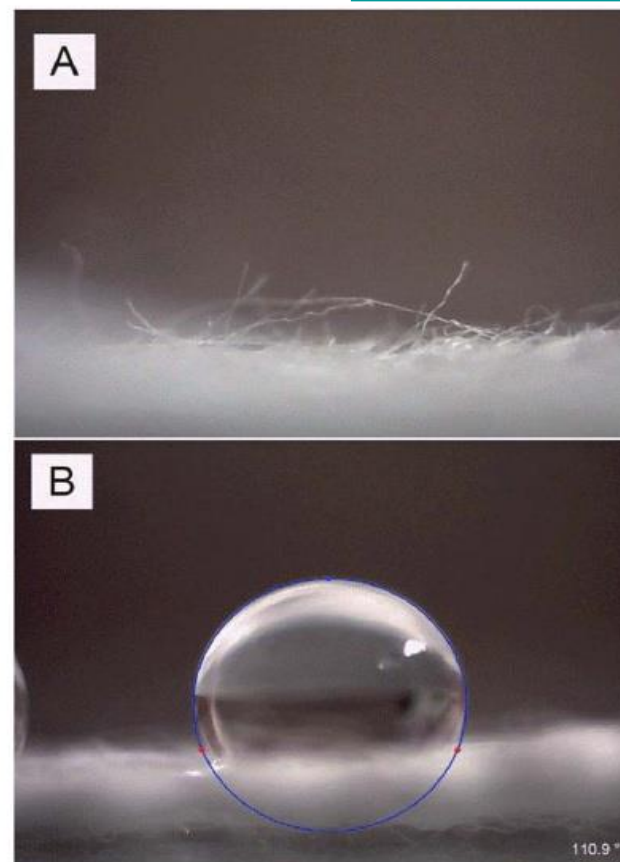
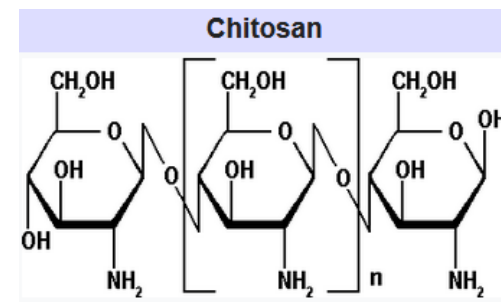
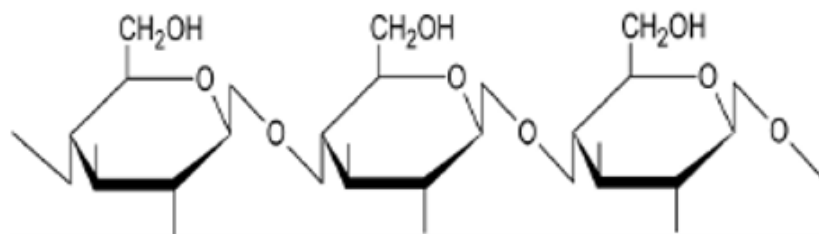
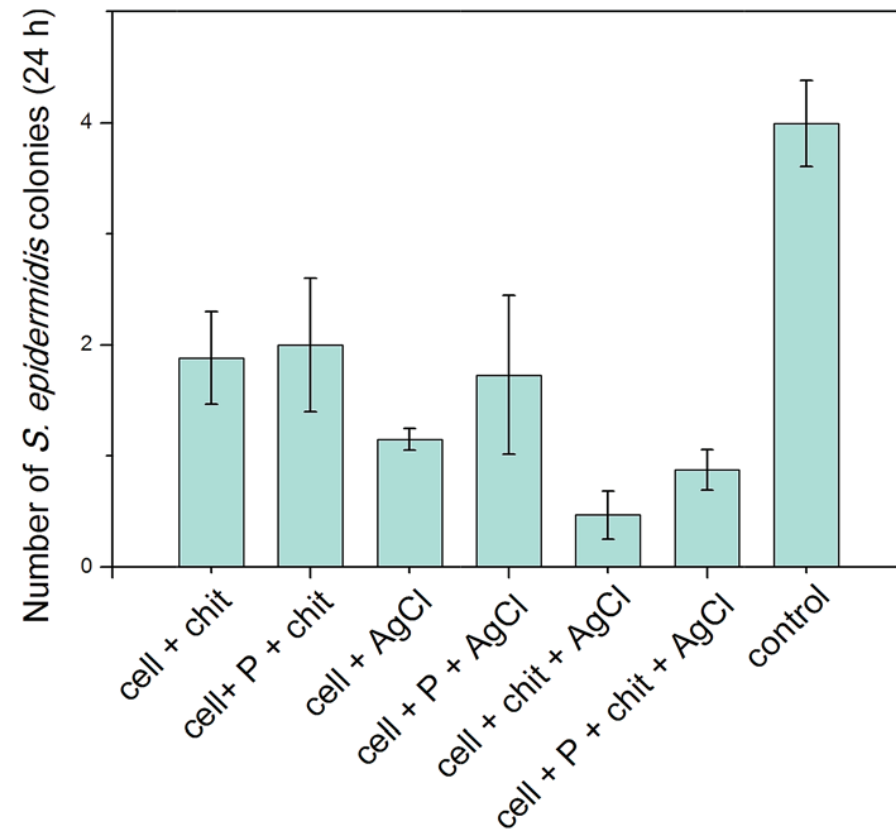
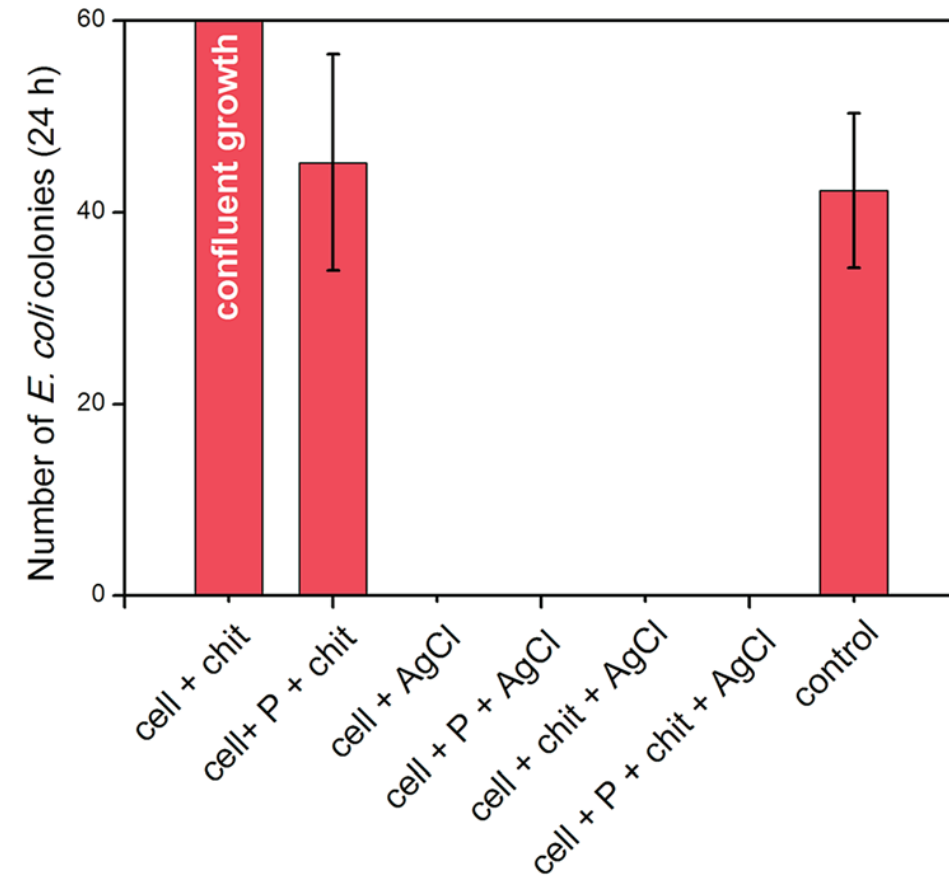
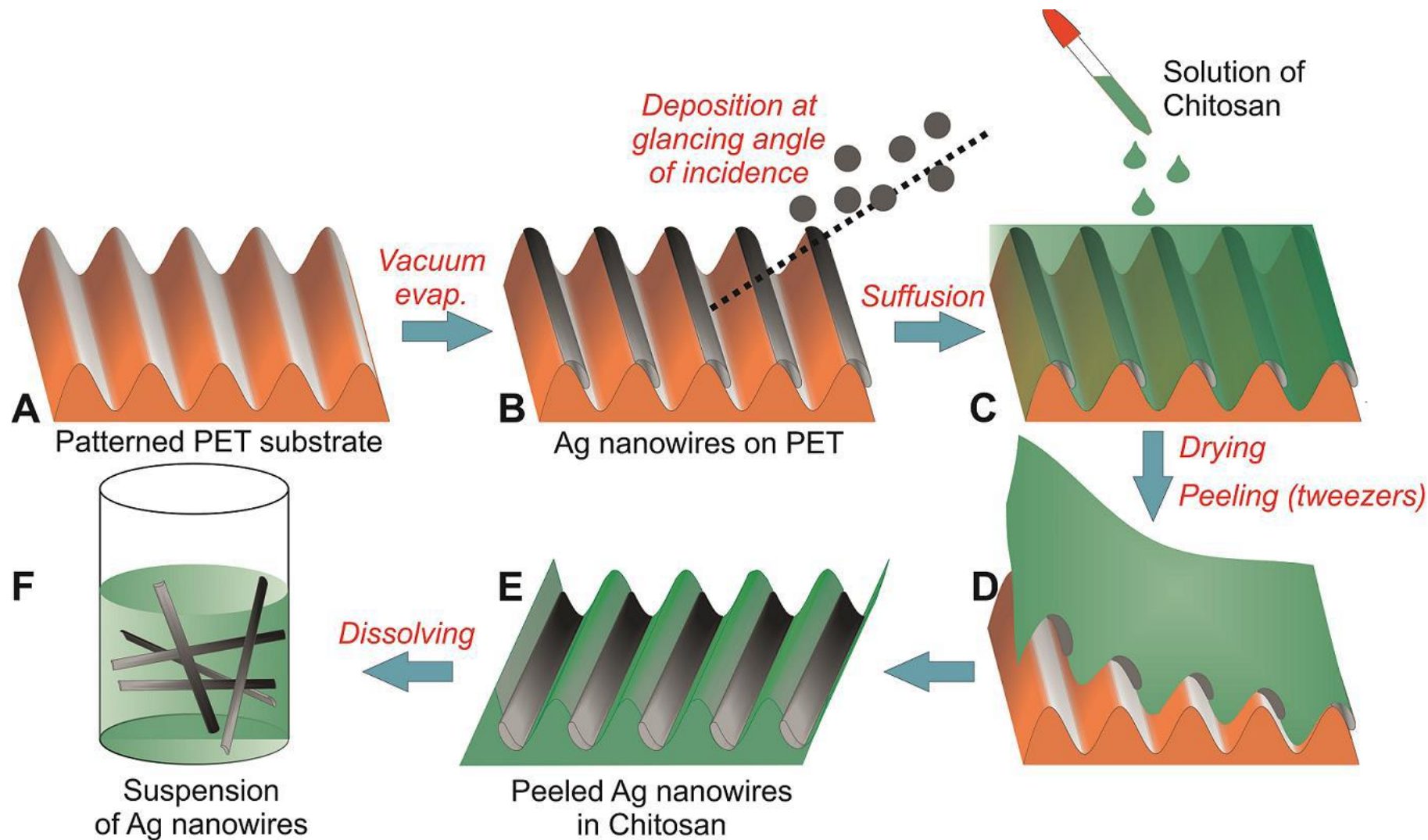


Fig. 3 Images of the water droplet on the surface of (A) cellulose/plasma/chitosan and (B) cellulose/chitosan surface.







SEM images of individual steps of preparation and transfer of silver NWs: nano-patterned **PET substrate** prepared by laser irradiation (A), silver NWs prepared by vacuum evaporation on nano-patterned PET substrate (B), silver NWs transferred into chitosan foil from PET (C).

SEM images of individual steps of preparation and transfer of silver NPs: pristine microscopic cover **glass** (A), silver NPs prepared by thermal annealing of sputtered silver coating on glass substrate (B), silver NPs transferred into chitosan foil from glass (C).

