

Získávání vakua

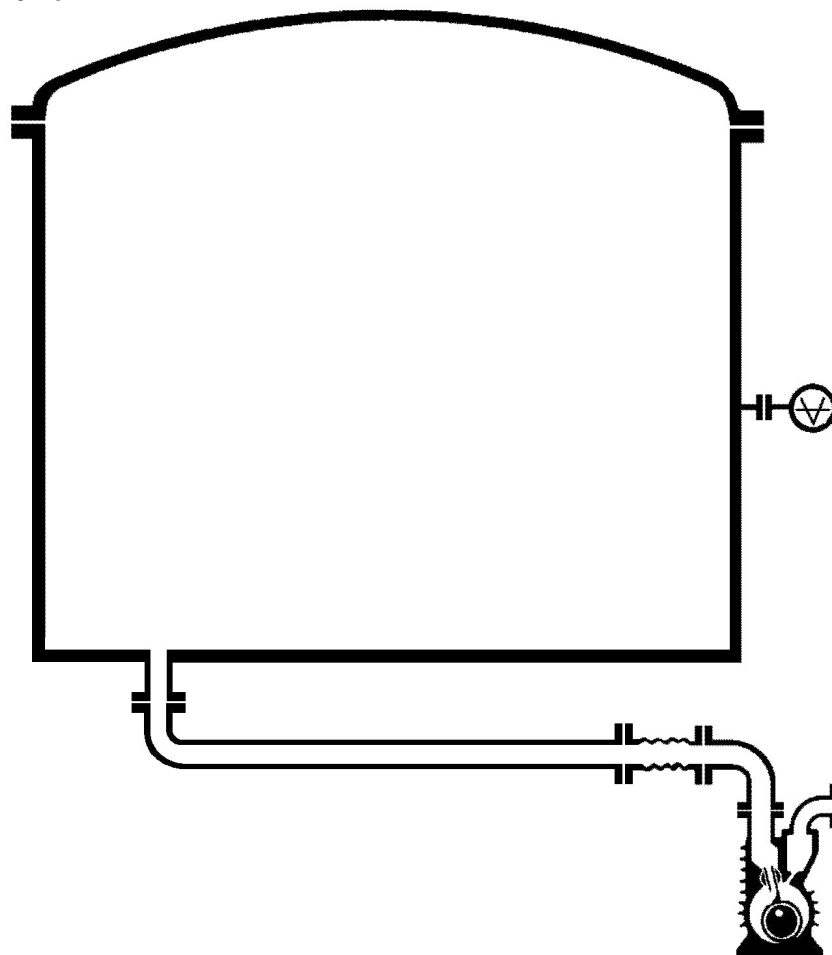
X

vakuová hygiena

*(Průběh a parametry ovlivňující
čerpací proces)*

Martin Jeřáb

Vytvořit vakuum znamená nějakým způsobem odstranit z recipientu (vakuový systém) molekuly plynu.



Molekuly jsou elektricky neutrální, nemagnetické, jediné síly, která na ně působí jsou síly při vzájemných srážkách, nárazu na stěnu a gravitace.

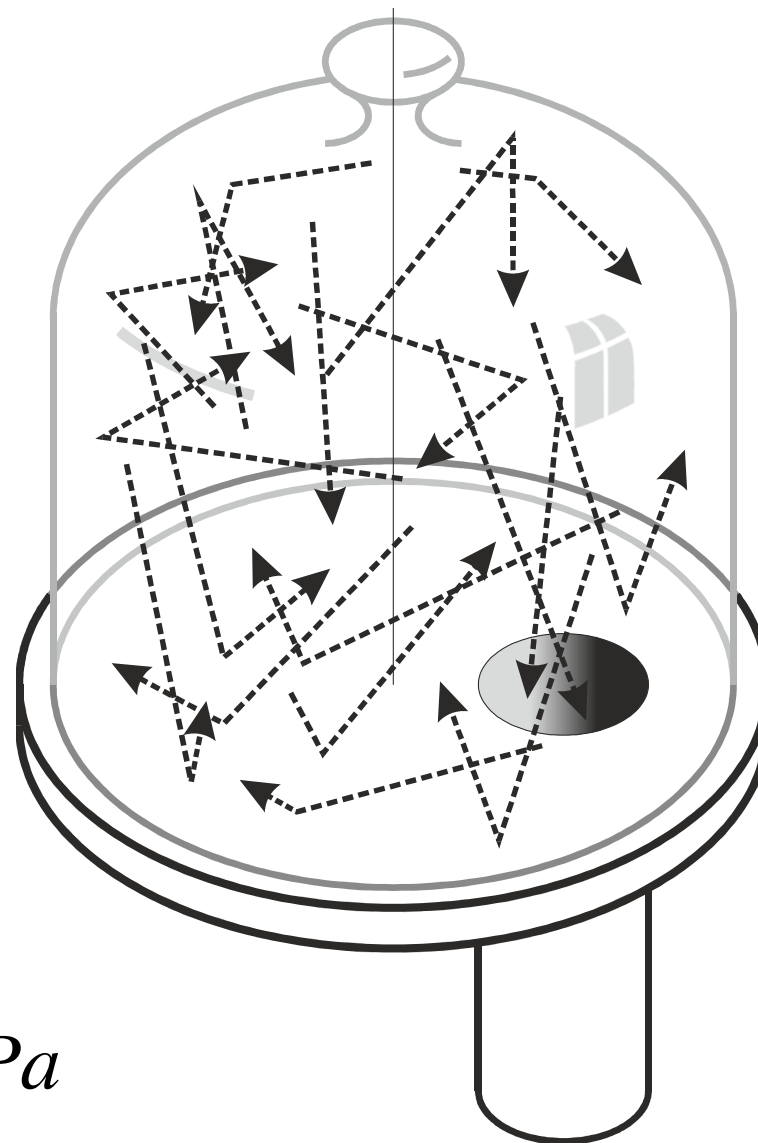
V komoře je přítomna
čerpací rychlost.

Při čerpání plyn ze systému
samovolně odtéká do vývěvy
podle fyzikálních zákonů
proudění plynu.

molekulární chaos.

$$Q = S \cdot \Delta p$$

$$Pa \cdot m^3 \cdot s^{-1} = (m^3 \cdot s^{-1}) \cdot Pa$$



Průběh primární fáze čerpacího procesu

Nejjednodušší případ – konstantní čerpací rychlost

$$V \cdot \frac{dp}{dt} = -S \cdot p$$

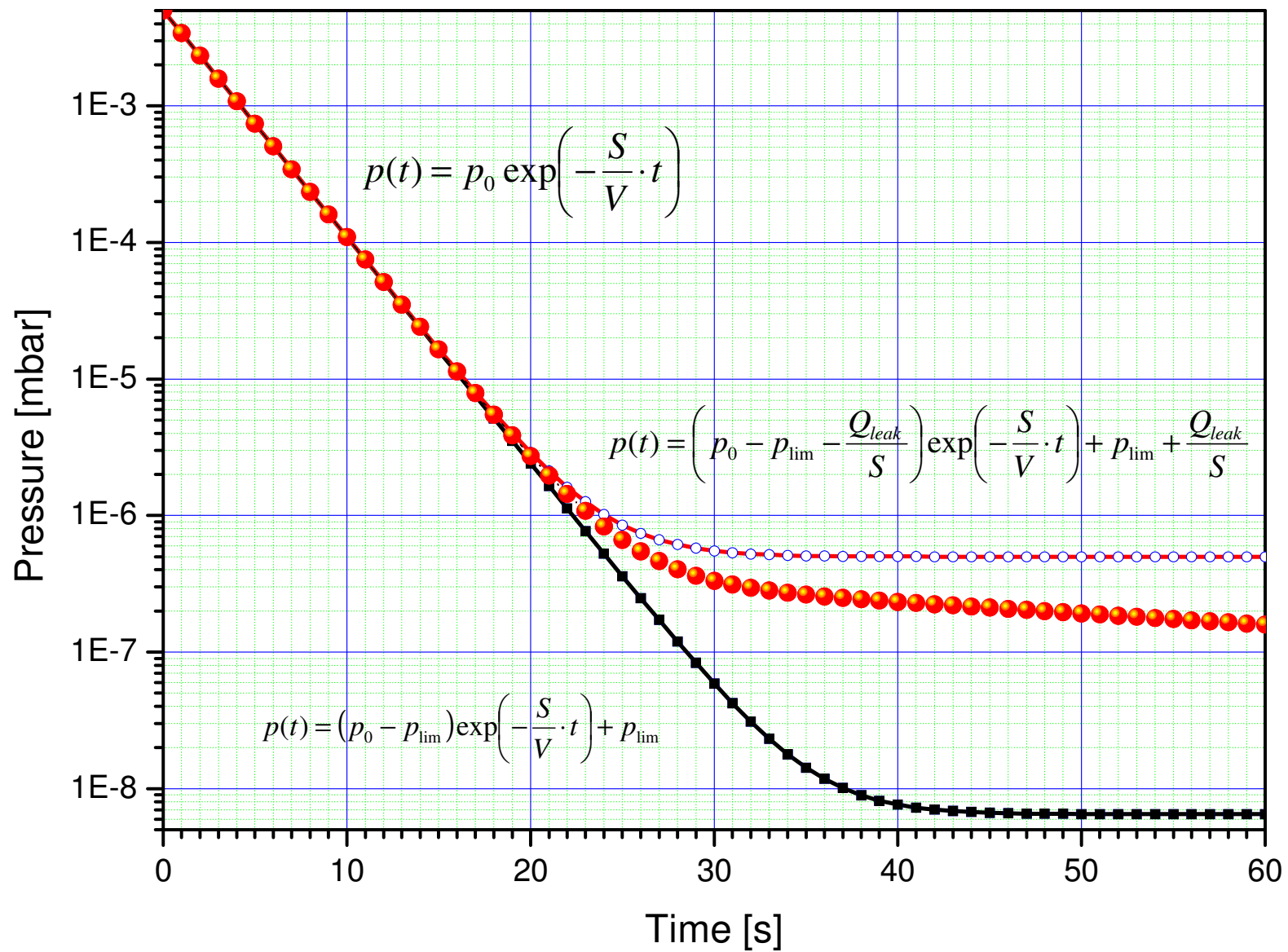
$$p(t) = p_0 \exp\left(-\frac{S}{V} \cdot t\right)$$

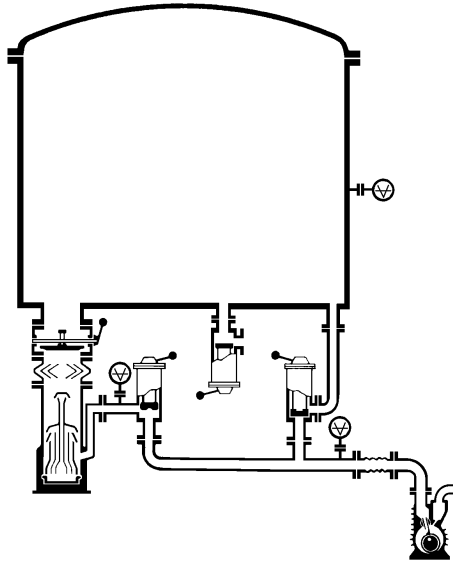
Reálnější situace - čerpací rychlost závislá na tlaku

$$p(t) = (p_0 - p_{\text{lim}}) \exp\left(-\frac{S}{V} \cdot t\right) + p_{\text{lim}}$$

Ještě reálnější situace – možná přítomnost netěsnosti

$$p(t) = \left(p_0 - p_{\text{lim}} - \frac{Q_{\text{leak}}}{S}\right) \exp\left(-\frac{S}{V} \cdot t\right) + p_{\text{lim}} + \frac{Q_{\text{leak}}}{S}$$





Počet částic v objemu spočteme ze stavové rovnice:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = n \cdot N_A \cdot \frac{R}{N_A} \cdot T = N \cdot k \cdot T \Rightarrow N = \frac{p \cdot V}{k \cdot T}$$

Univerzální plynová konstanta	R	$8,314\ 472 \times 10^3$	$\text{J} \times \text{kmol}^{-1} \times \text{K}^{-1}$
Boltzmannova konstanta	k	$1,380\ 662 \times 10^{-23}$	$\text{J} \times \text{K}^{-1}$
Avogadrovo číslo	N_A	$6,022\ 141\ 79 \times 10^{26}$	kmol^{-1}
Absolutní teplota	T	$273,15 + t$	K

K odhadu počtu částic na povrchu potřebujeme znát, že na $1\ \text{m}^2$ je vázáno maximálně asi $\sim 1 \times 10^{19}$ částic.

tlak	částic v objemu	částic na povrchu
$1 \times 10^3\ \text{mbar} / 1 \times 10^5\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{25}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$
$1 \times 10^2\ \text{mbar} / 1 \times 10^4\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{24}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$
$1 \times 10^1\ \text{mbar} / 1 \times 10^3\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{23}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$
$1 \times 10^0\ \text{mbar} / 1 \times 10^2\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{22}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$
$1 \times 10^{-1}\ \text{mbar} / 1 \times 10^1\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{21}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$
$1 \times 10^{-2}\ \text{mbar} / 1 \times 10^0\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{20}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$?
$1 \times 10^{-3}\ \text{mbar} / 1 \times 10^{-1}\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{19}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$??
$1 \times 10^{-4}\ \text{mbar} / 1 \times 10^{-2}\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{18}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$???
$1 \times 10^{-5}\ \text{mbar} / 1 \times 10^{-3}\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{17}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$????
$1 \times 10^{-6}\ \text{mbar} / 1 \times 10^{-4}\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{16}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$?????
$1 \times 10^{-7}\ \text{mbar} / 1 \times 10^{-5}\ \text{Pa}$	$1,94 \times 10^{15}$	$\sim 4,71 \times 10^{19}$?????

Fáze čerpání

Primární fáze = ze systému je odstraňován převážně objemový plyn, případně plyn z velmi vydatných vnitřních zdrojů (velké netěsnosti)

odtéká do vývěvy jako **kontinuum**

Sekundární fáze = ze systému je především odstraňován plyn z vnitřních zdrojů – plyn vázaný na vnitřních površích a rozpuštěný v materiálu, případně plyn z malých netěsností

odtéká do vývěvy v **molekulárním režimu**

Případně přechod mezi primární a sekundární fází

KVAZIUSTÁLENÝ STAV

$$p = \left(p_0 - p_{LIMIT} - \frac{Q_{LEAK}}{S} \right) \cdot \exp\left(-\frac{S}{V} \cdot t \right) + p_{LIMIT} + \frac{Q_{LEAK}}{S}$$

$$p = p_{LIMIT} + \frac{Q_A + Q_B + \dots + Q_{LEAK}}{S_{EFF}}$$

Vodivost potrubí (i jakékoli části aparatury) v molekulárním režimu

- závisí na druhu čerpaného plynu (jeho molekulové hmotnosti), ale jinak
- je dána pouze tvarem a geometrickými rozměry kanálu.

Pro daný kanál má vodivost v molekulárním režimu ze všech režimů (vodivost v turbulentním, laminárním a molekulárním režimu) dosahuje nejmenší hodnoty.

Velkou výhodou sekundární fáze čerpacího procesu je, že vlastnosti a chování systému lze v současnosti poměrně přesně určovat metodou Monte Carlo.

Dosažitelný tlak v dynamickém resp. statickém systému

$$p = \frac{Q}{S}$$

resp.

$$p = \frac{1}{V} \int (Q_U(t) - Q_{ZNV}(t)) dt$$

Q

... proud plynu do systému

S

... čerpací rychlost

Q_U

... proud plynu do systému uvolňovaný

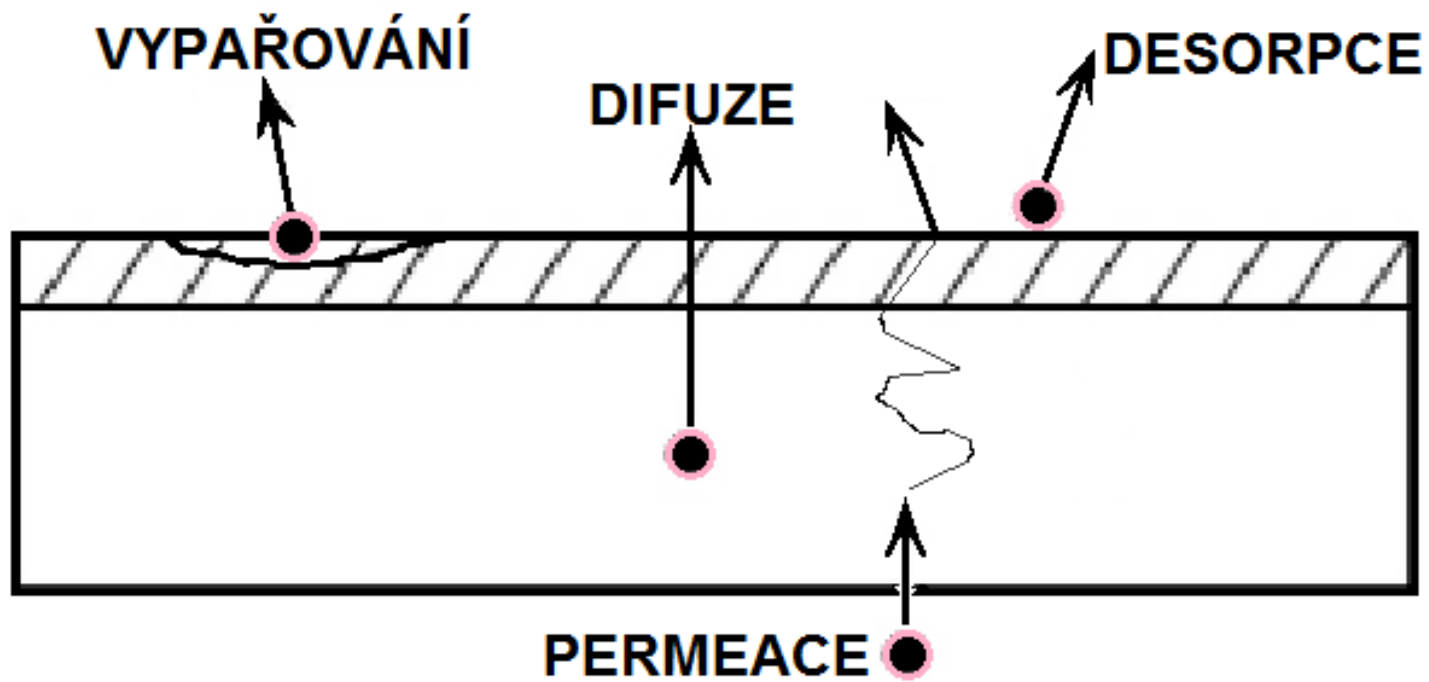
Q_{ZNV}

... proud plynu znovu někde vázaný

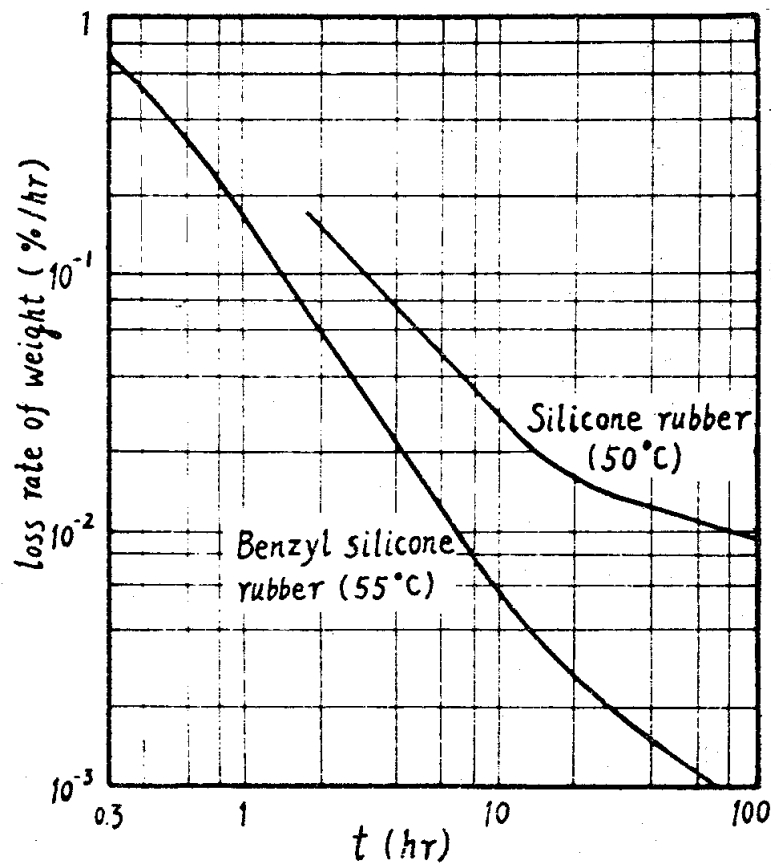
Materiál jako zdroj plynu

- 1) Materiál se sám vypařuje.
- 2) Uvolňuje se plyn vázaný na povrchu materiálu – pojem **desorpce**.
- 3) Zásoba plynu na povrchu se doplňuje plynem rozpuštěným v objemu materiálu – pojem **difuze**.
- 4) Zásoba rozpuštěného plynu se průběžně doplňuje rozpouštěním plynu na vnější vysokotlaké straně, tvoří-li materiál přepážku (stěnu) mezi vakuem a prostorem s vyšším tlakem – pojem **permeace**.

MATERIÁL JAKO ZDROJ PLYNU



Rychlost plynění (a vypařování) zjištěná z úbytku hmotnosti



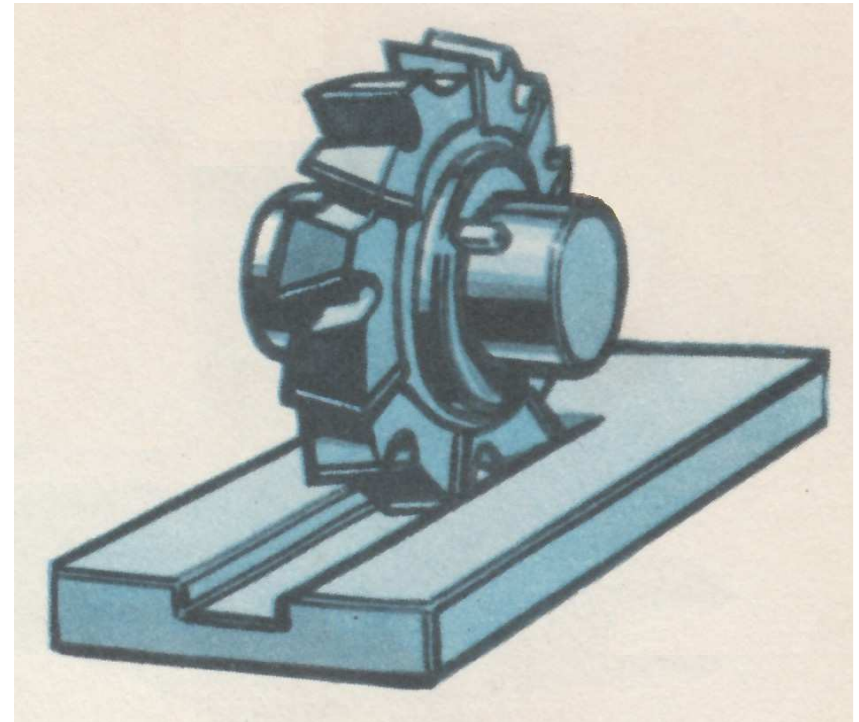
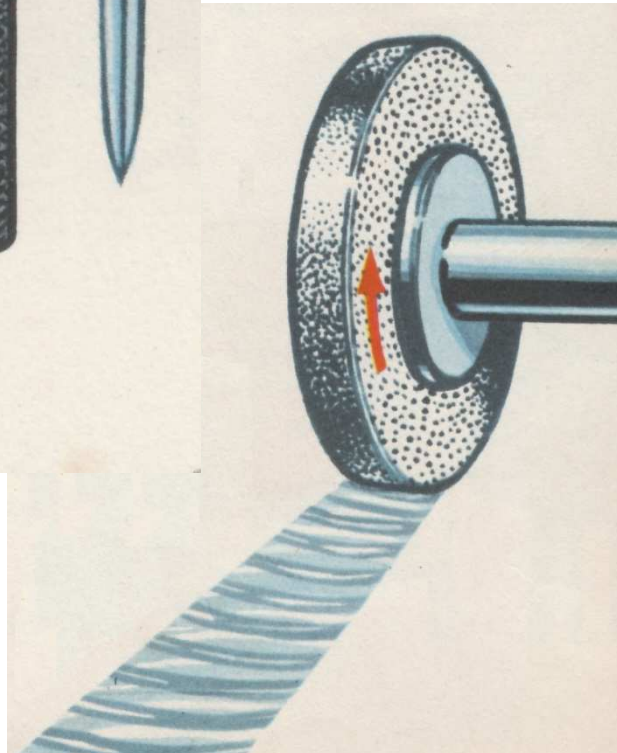
Outgassing rate of
silicone rubbers (measured
by vacuum microbalance)

**ČIŠTĚNÍ A ÚPRAVY POVRCHŮ
MATERIÁLŮ
PRO POUŽITÍ VE VAKUU**

MECHANICKÉ ODSTRANĚNÍ NEČISTOT S POVRCHU MATERIÁLU

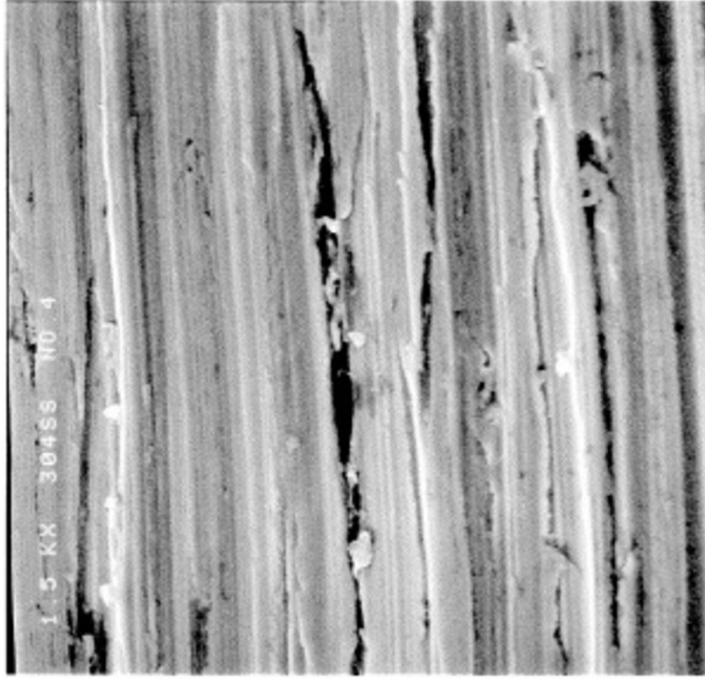


Nástroje na mechanické čištění nové a dále oddělené od jiných nástrojů, nepoužívané na jiné účely.

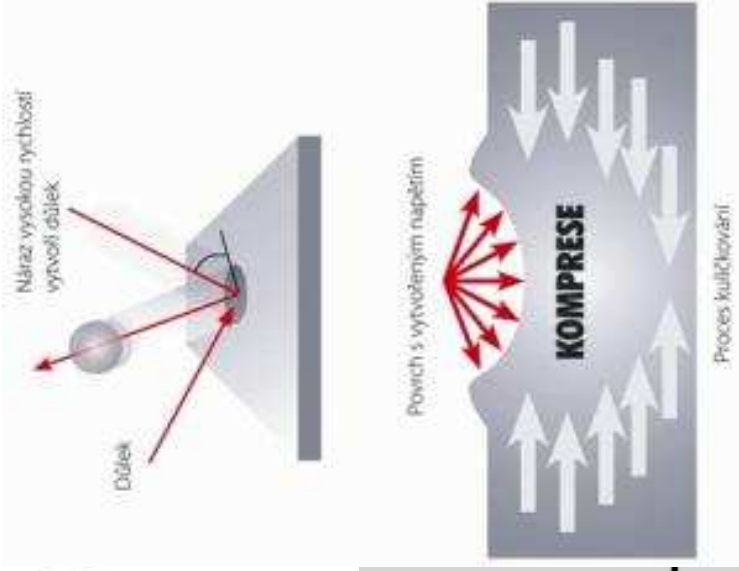
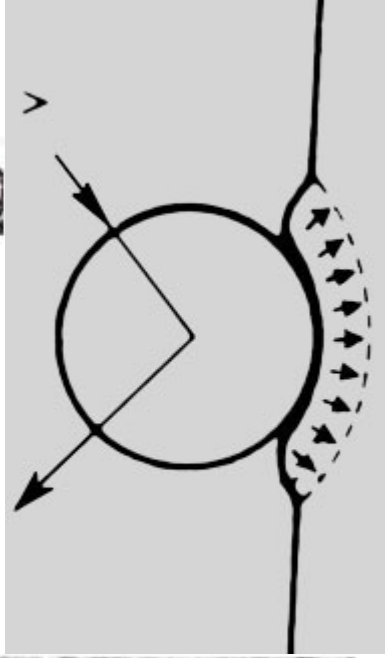


Finální třískové obrábění o posledních 0,5 – 0,6 mm pokud možno „nasucho“.

Pojiva brusných kotoučů (obvykle epoxidové pryskyřice) se zatírají do povrchu a stávají se zdrojem plynu.



#4, 3A, 180 grit 304 sheet

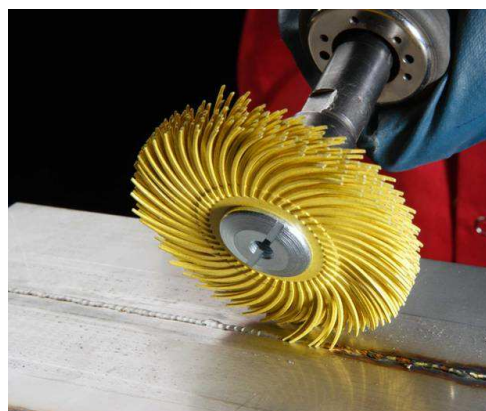


JEMNÉ OBROUŠENÍ POVRCHU MATERIÁLU

Abrasivní rouno SCOTCH BRITE



Jemné prášky oxidů kovů



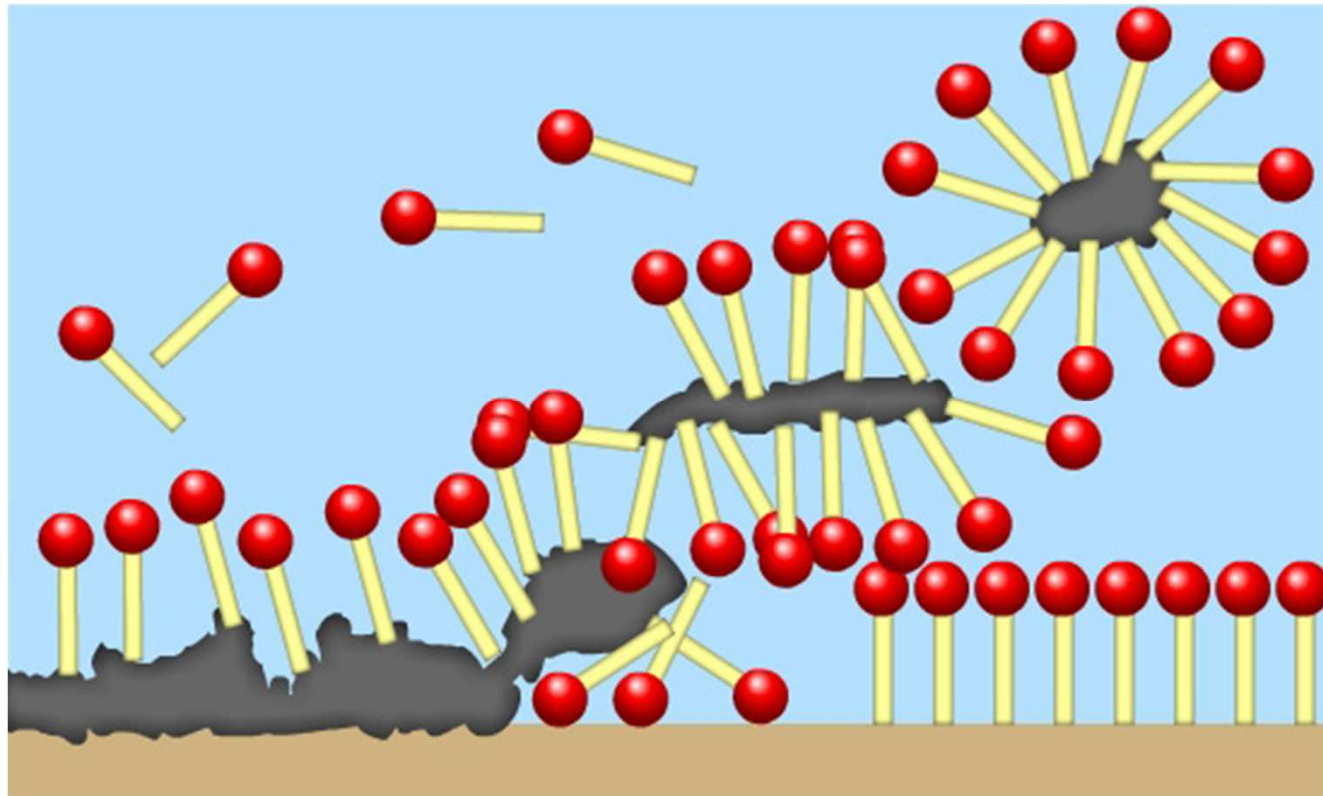
CHEMICKÉ ODSTRANĚNÍ ZBYLÝCH NEČISTOT S POVRCHU MATERIÁLU

Odmašťování nepolárními rozpouštědly
Odmašťování detergenty a alkalickými roztoky



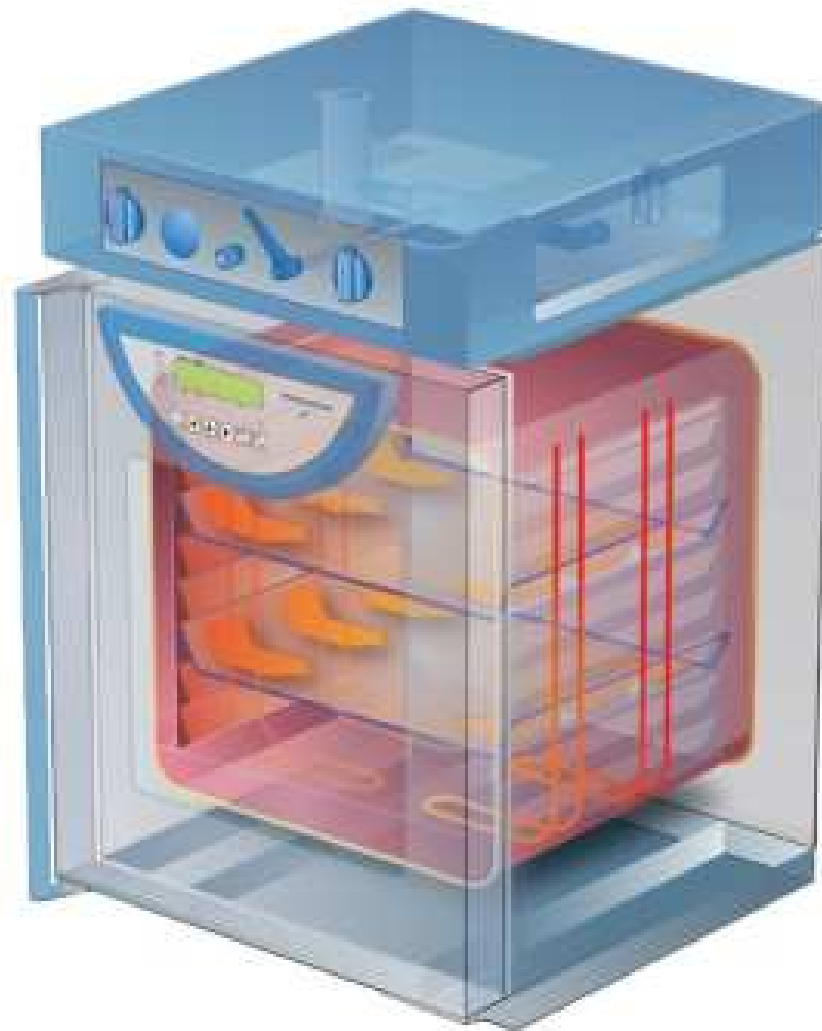
Ultrazvuková čistička
Průmyslové odmašťovací zařízení

ODMAŠŤOVÁNÍ DETERGENTY



Působení surfaktantu na tuk ve vodě

VAKUOVÉ SUŠENÍ



Odstraňování anorganických znečištění – nežádoucích kovových povlaků a uhlíku

Elektrochemické odmašťování

Kovy (nikoliv grafit!!!) lze odmašťovat elektrolyticky (katodicky) proti anodě.

Speciální čisticí postupy

Čištění kovových povrchů v plazmatu (GDC – Gas Discharge Cleaning)

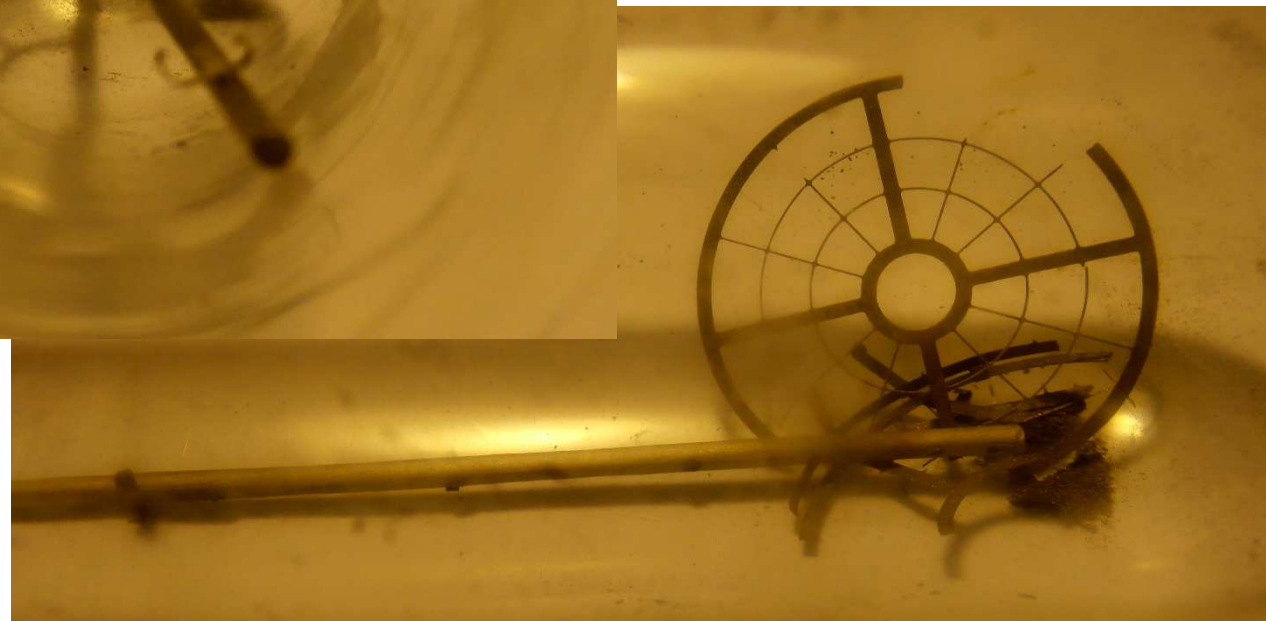
ve výboji v nízkých tlacích kyslíku

v ozonu vytvořeném UV zářením za zvýšené teploty povrchů

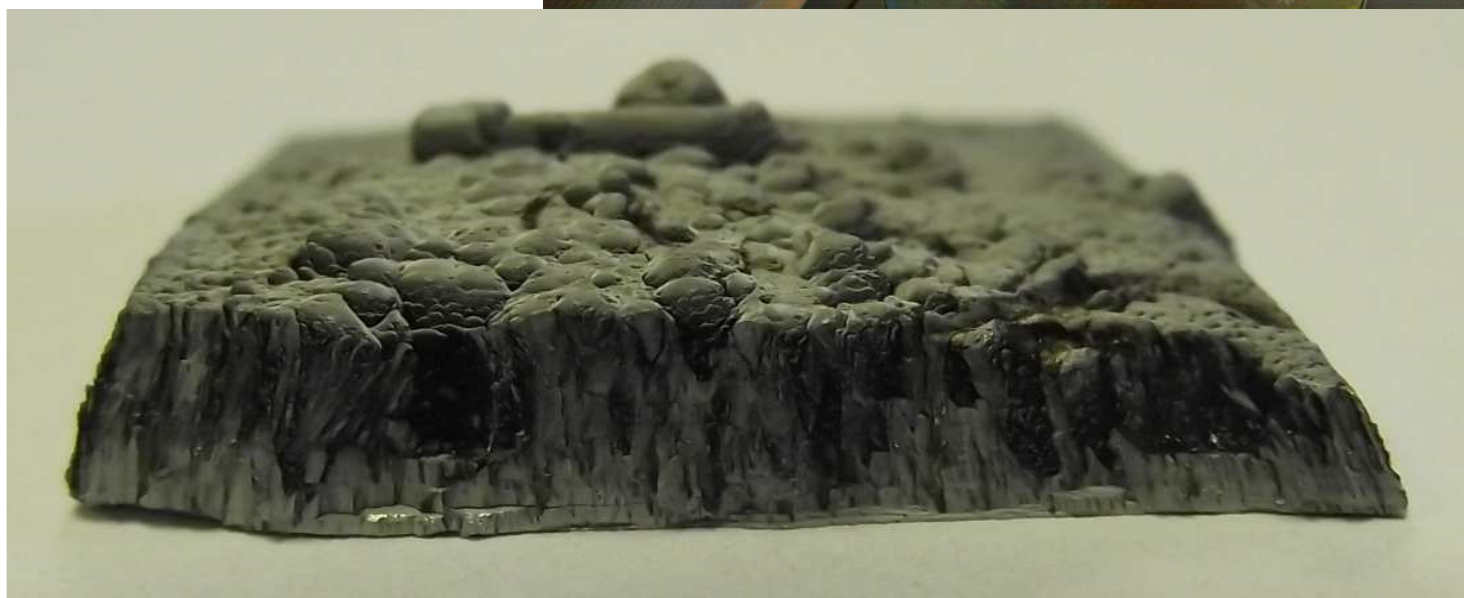
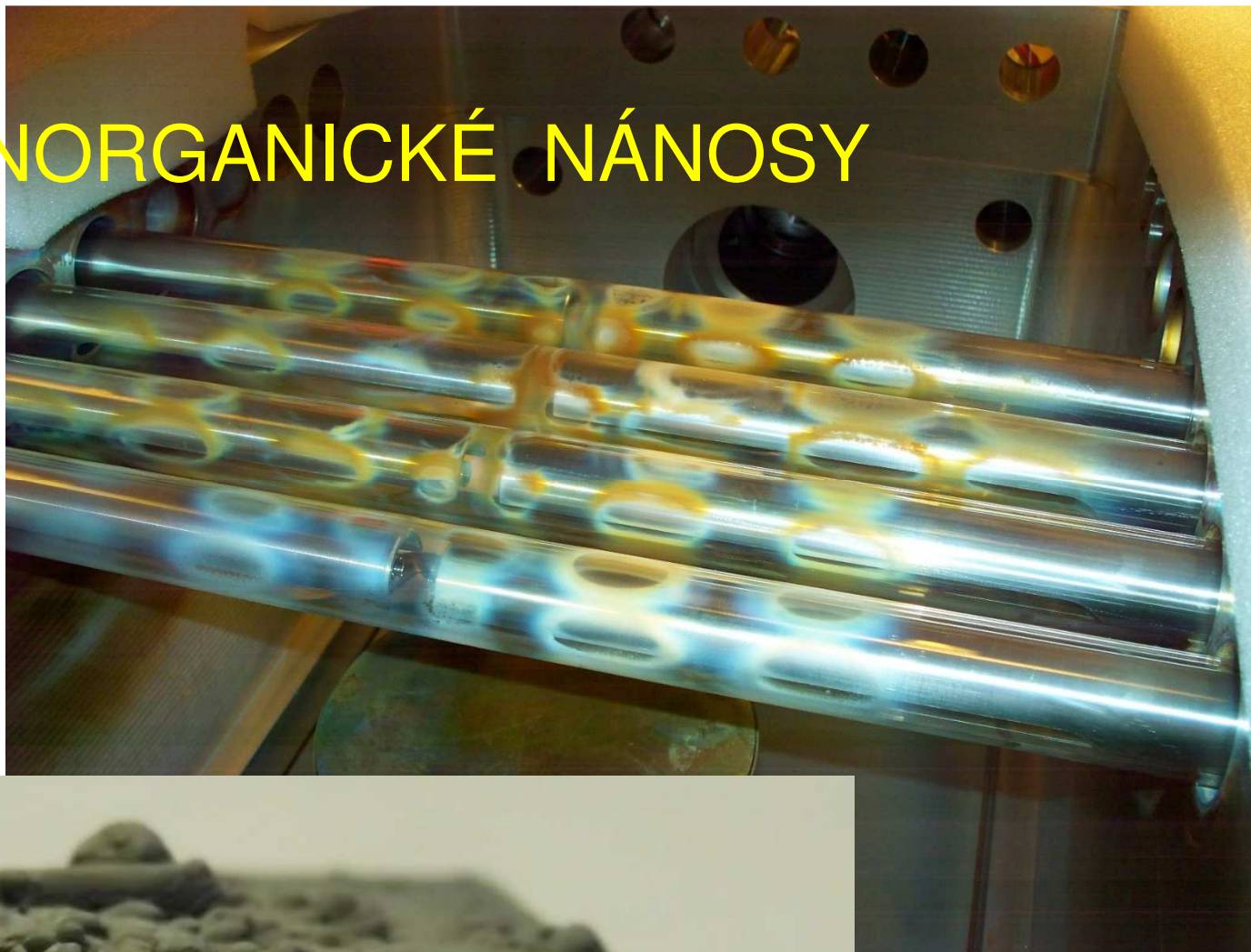
Čištění otryskáním kysličníkem uhličitým (carbon dioxide snow jet)



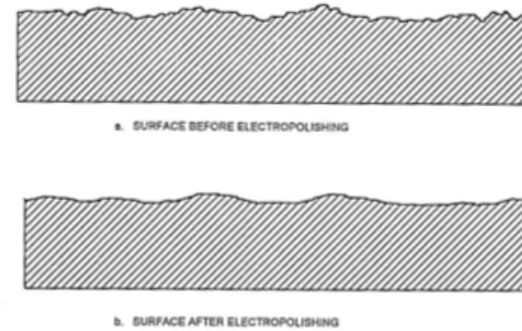
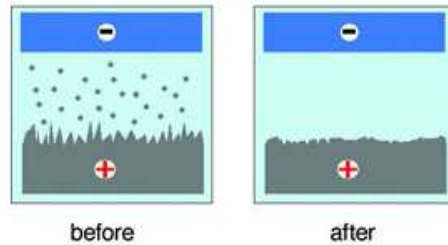
Původně mřížka ionizačního
vakuometru – materiál nerez
– po pokusu o odstranění
grafitového náletu.



ANORGANICKÉ NÁNOSY

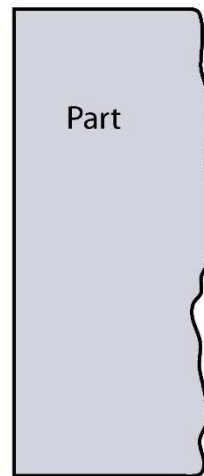
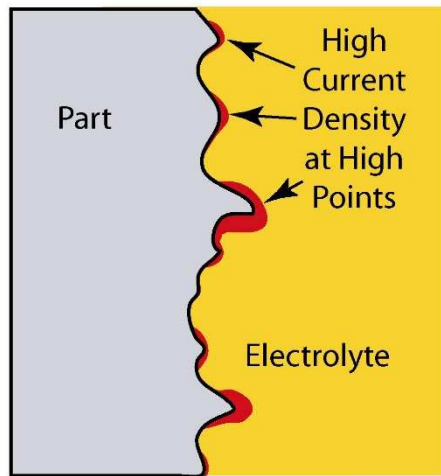


ELEKTROCHEMICKÉ LEŠTĚNÍ



Before Electropolish

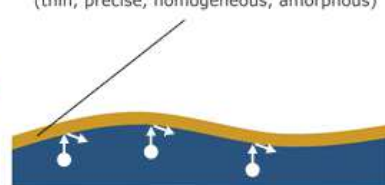
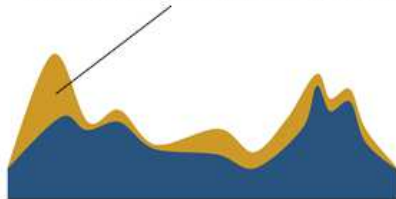
After Electropolish



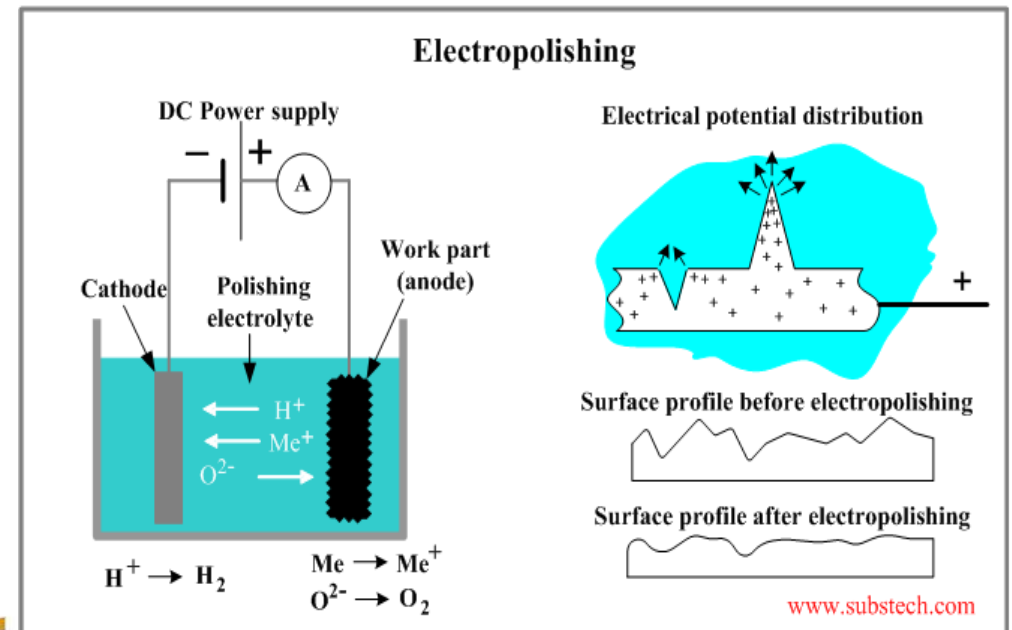
Inhomogeneous natural oxidized layer

EP

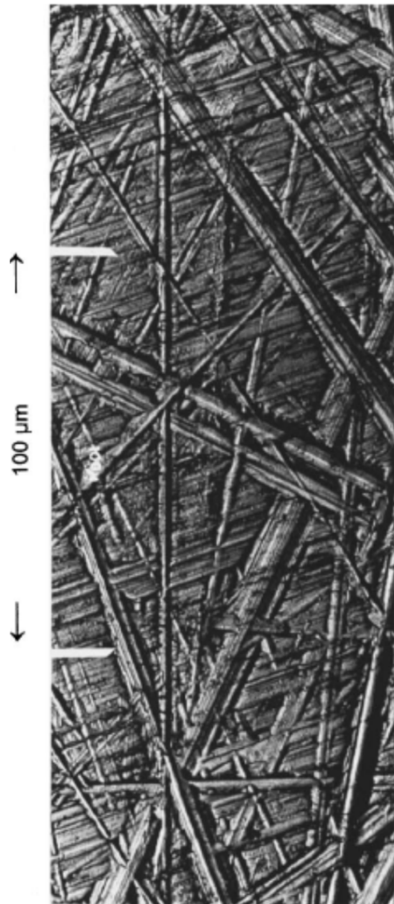
Formed oxidized layer
(thin, precise, homogeneous, amorphous)



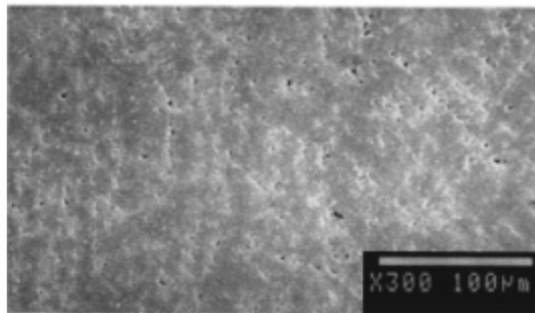
Suppress to gas emission from inside the metals.



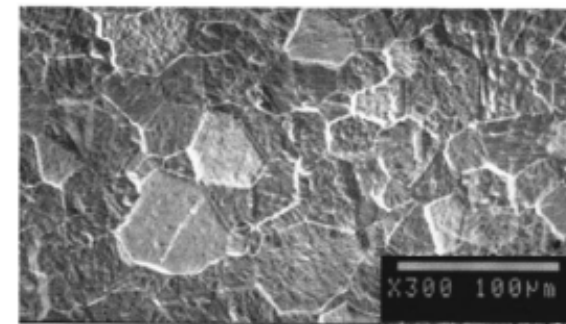
ÚPRAVY POVRCHŮ VAKUOVÝCH MATERIÁLŮ



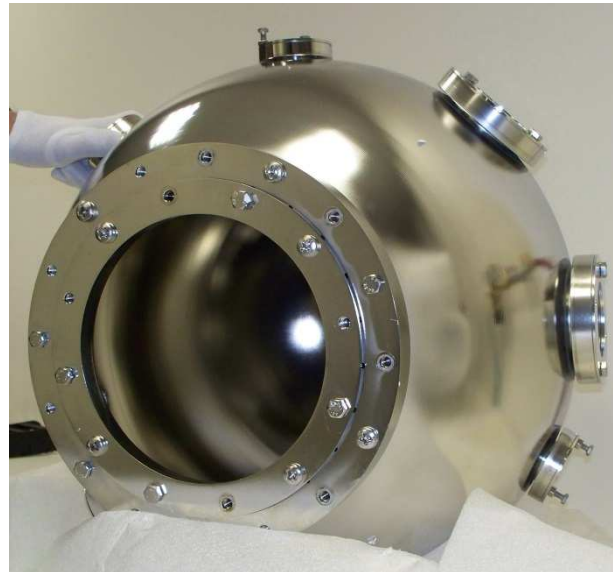
Běžně zpracovaná
nerez na vakuové díly



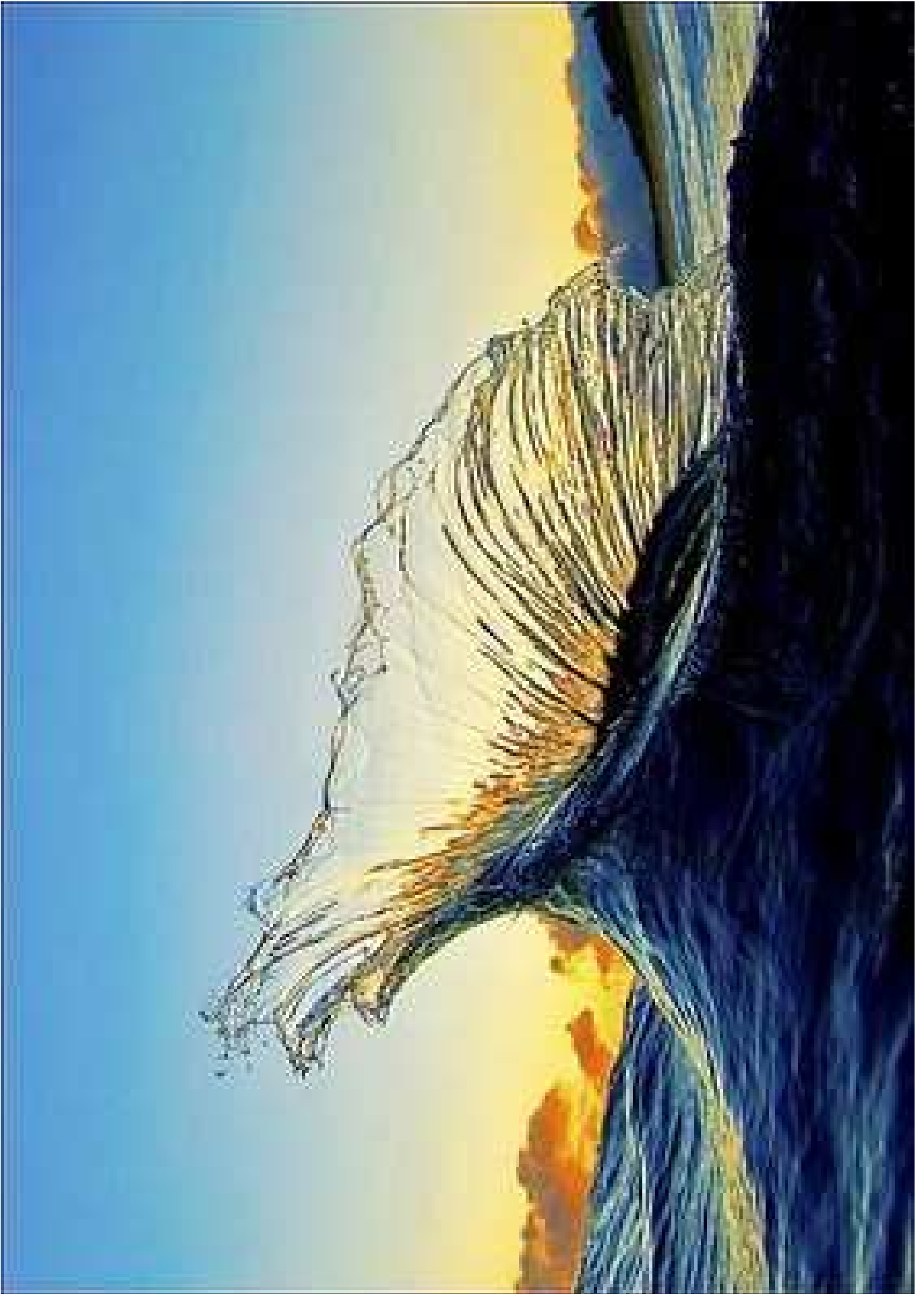
Povrch po mechanickém
leštění



Povrch chemicky oleptaný



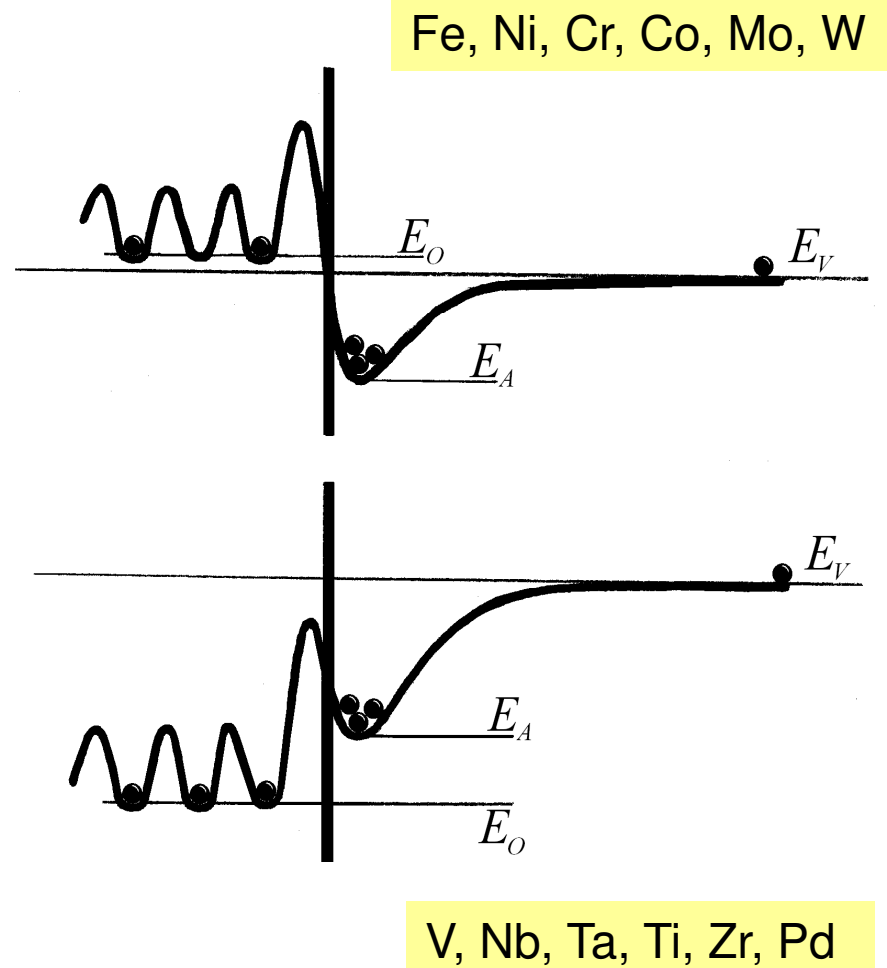
Elektrolyticky
vyleštěná
komora

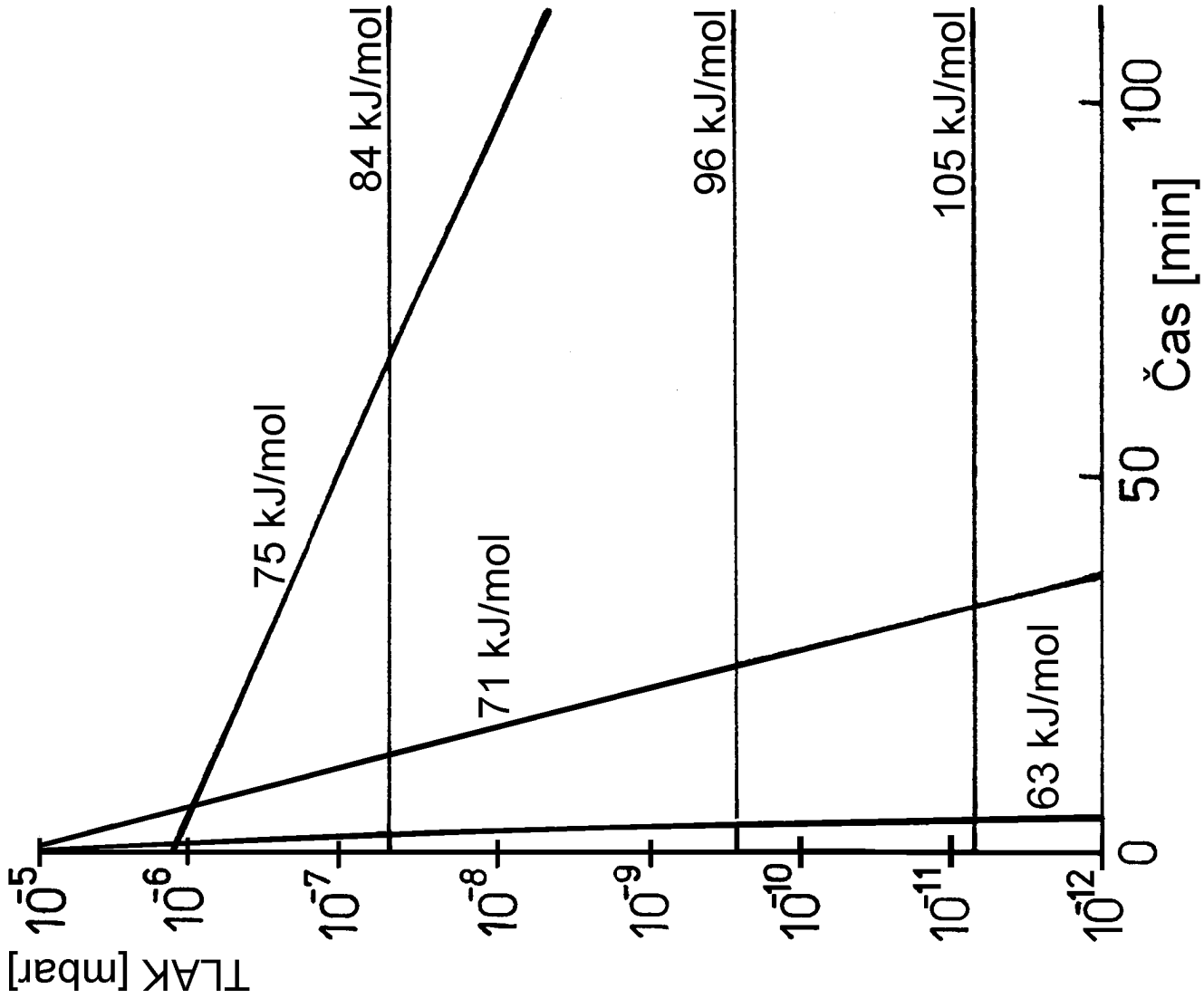


ENDOTERMNÍ A EXOTERMNÍ ABSORBÉR

$$\exp[(E_V - E_A)/kT] : 1$$

$$(E_A < 0, E_V \text{ se klade } = 0)$$





Frekvence úspěšných pokusů „setřást“ adsorbovanou částicí:

$$v = v_0 \cdot e^{-\frac{E}{kT}} = v_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$$

Obráceně, průměrná doba, po kterou se adsorbované částici podaří udržet na povrchu (střední doba pobytu)

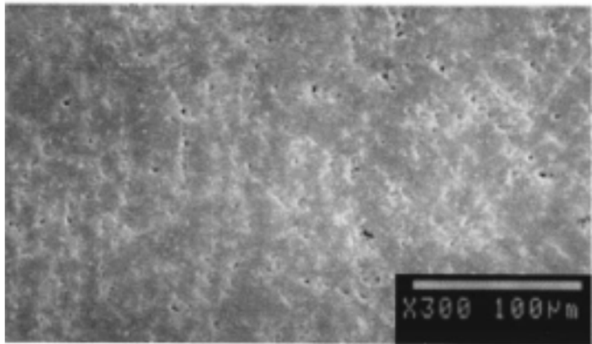
$$\tau = \tau_0 \cdot \exp\left(\frac{E}{kT}\right)$$

Jestliže se E může měnit v rozsahu až 2 řádů, může se průměrná doba pobytu částice měnit v rozmezí neuvěřitelných několika desítek řádů – od 10^{-13} s po miliony let.

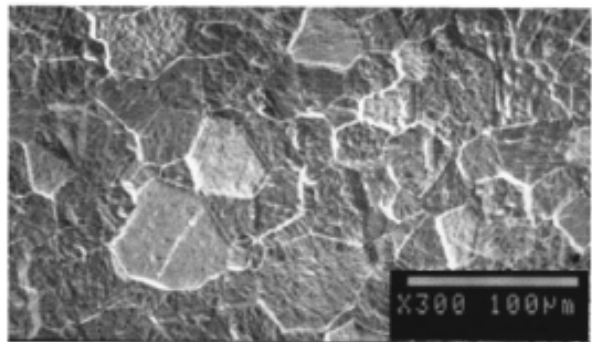
Skromné, ale nesmírně důležité kouzlo pro nás – můžeme ji změnit změnou teploty.

KOMPLIKACE

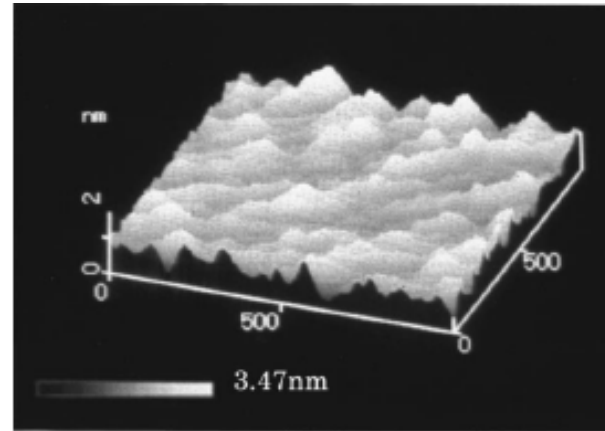
Co je to povrch?



Mechanicky leštěno

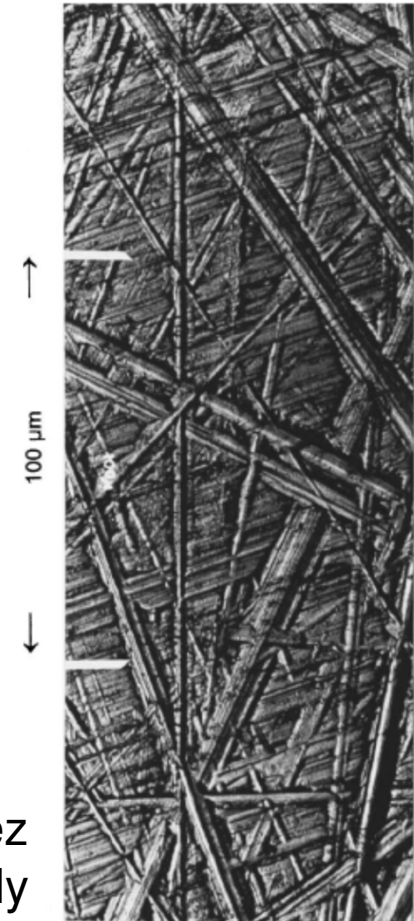


Chemicky oleptáno

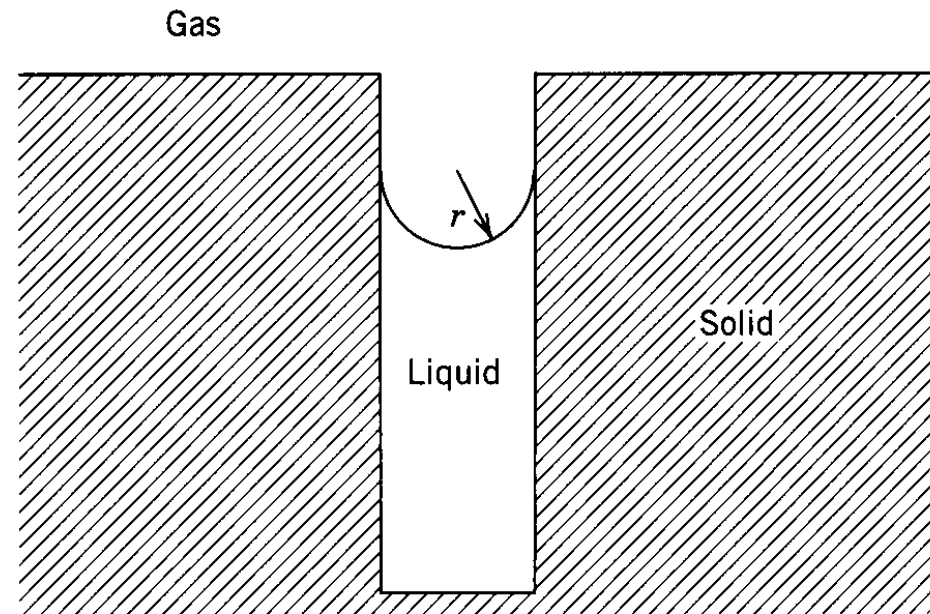
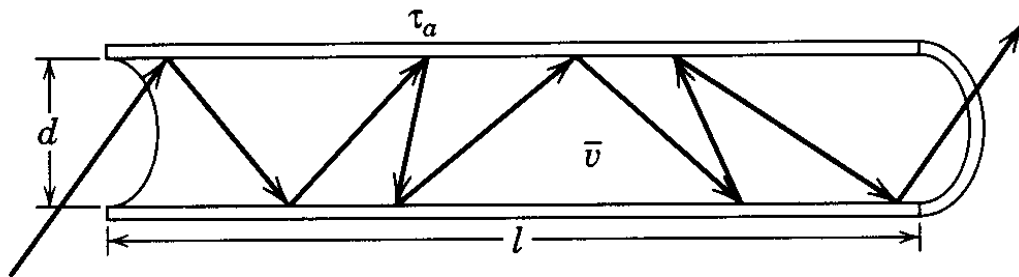


Extrémně hladký povrch,
pohled na atomární úrovni

Běžně zpracovaná nerez
na vakuové díly



ZÁKEŘNOSTI PORÉZNÍCH POVRCHŮ KAPILÁRNÍ KONDENZACE

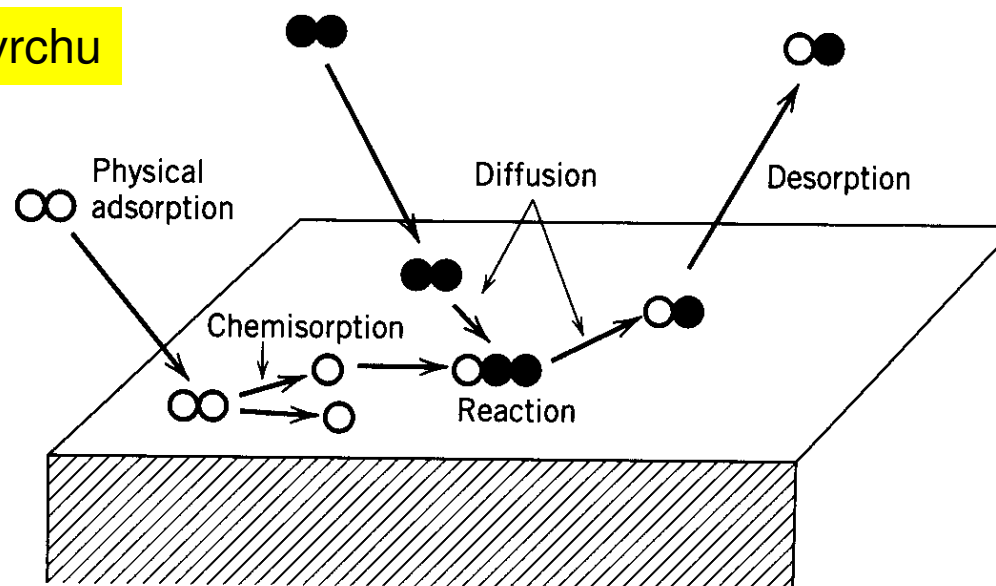


DALŠÍ ZPESTŘENÍ:

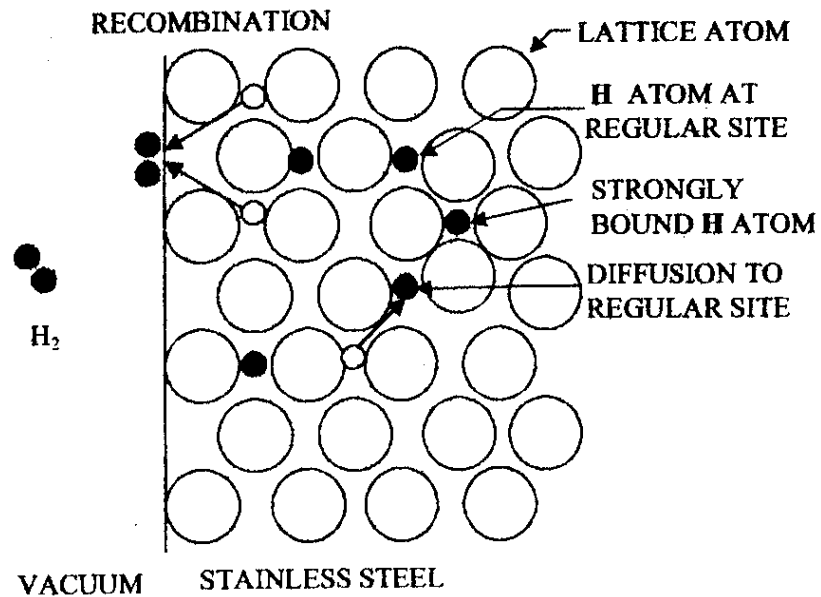
Disociace víceatomových molekul

Povrchová difuze

Chemické reakce na povrchu



DIFUZE



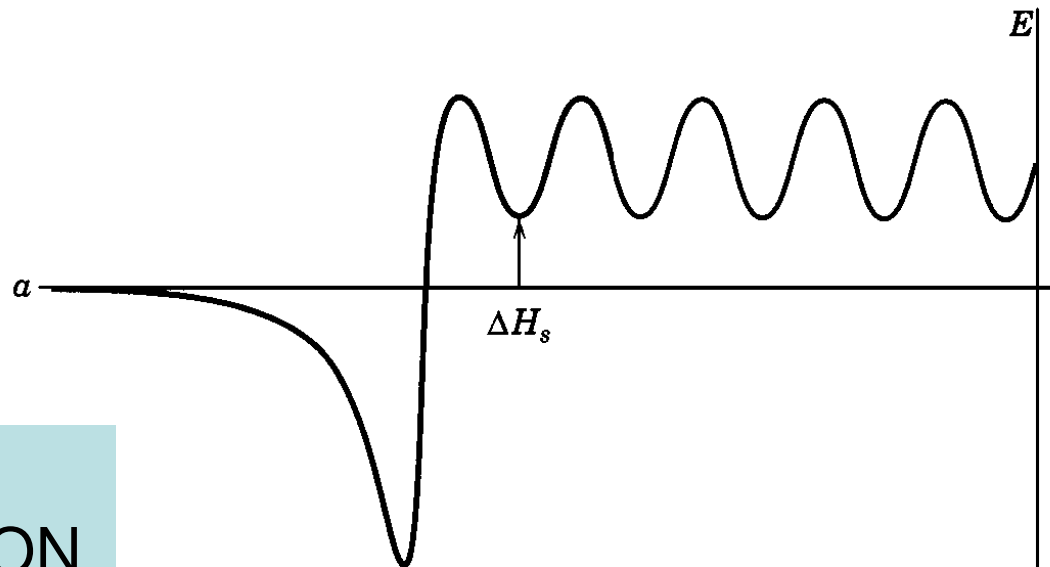
FICKOVY ZÁKONY

$$J = -D \cdot \left(\frac{dC}{dx} \right)$$

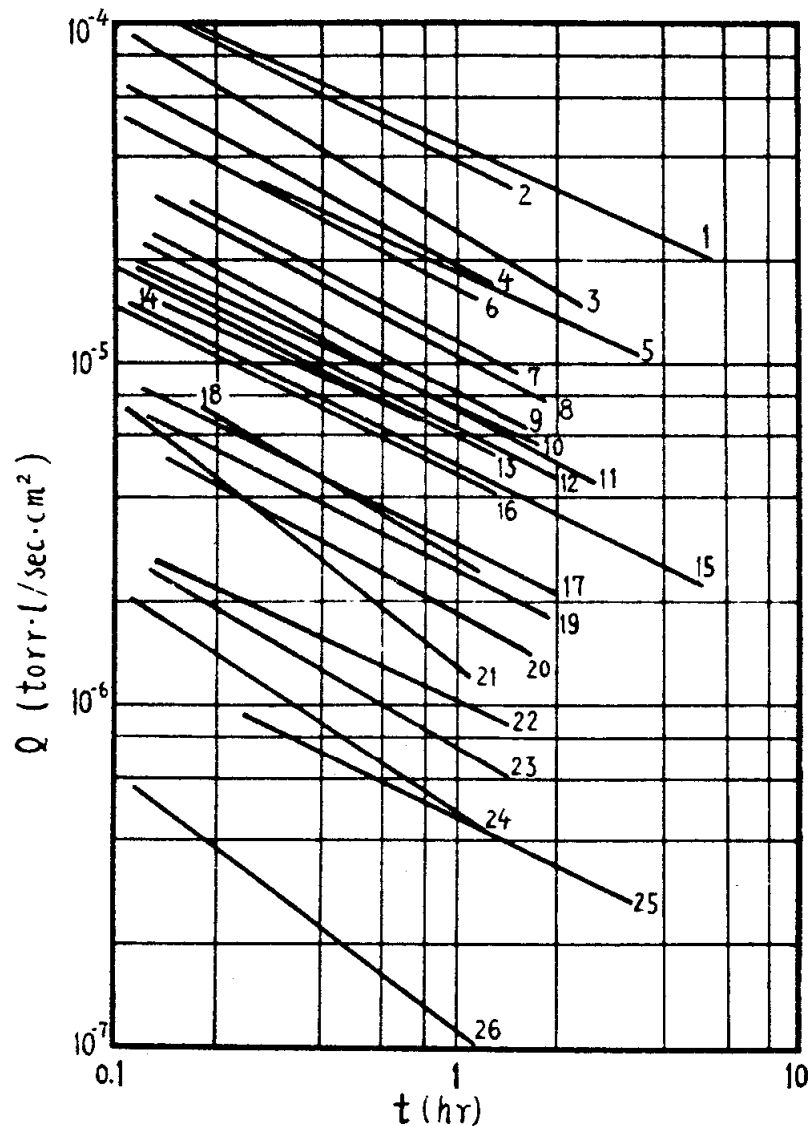
$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

$$C = S \cdot p^{1/n}$$

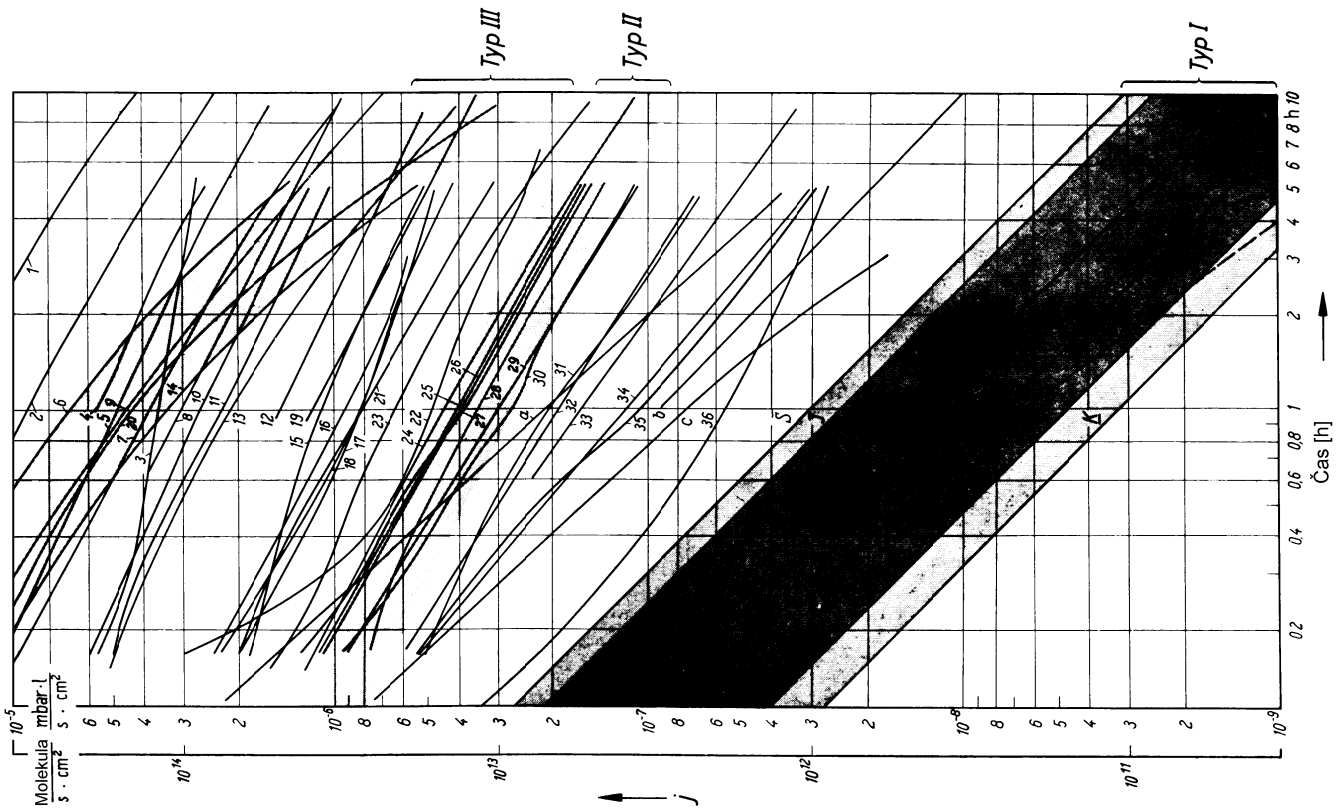
HENRYŮV nebo
SIEVERTSŮV ZÁKON



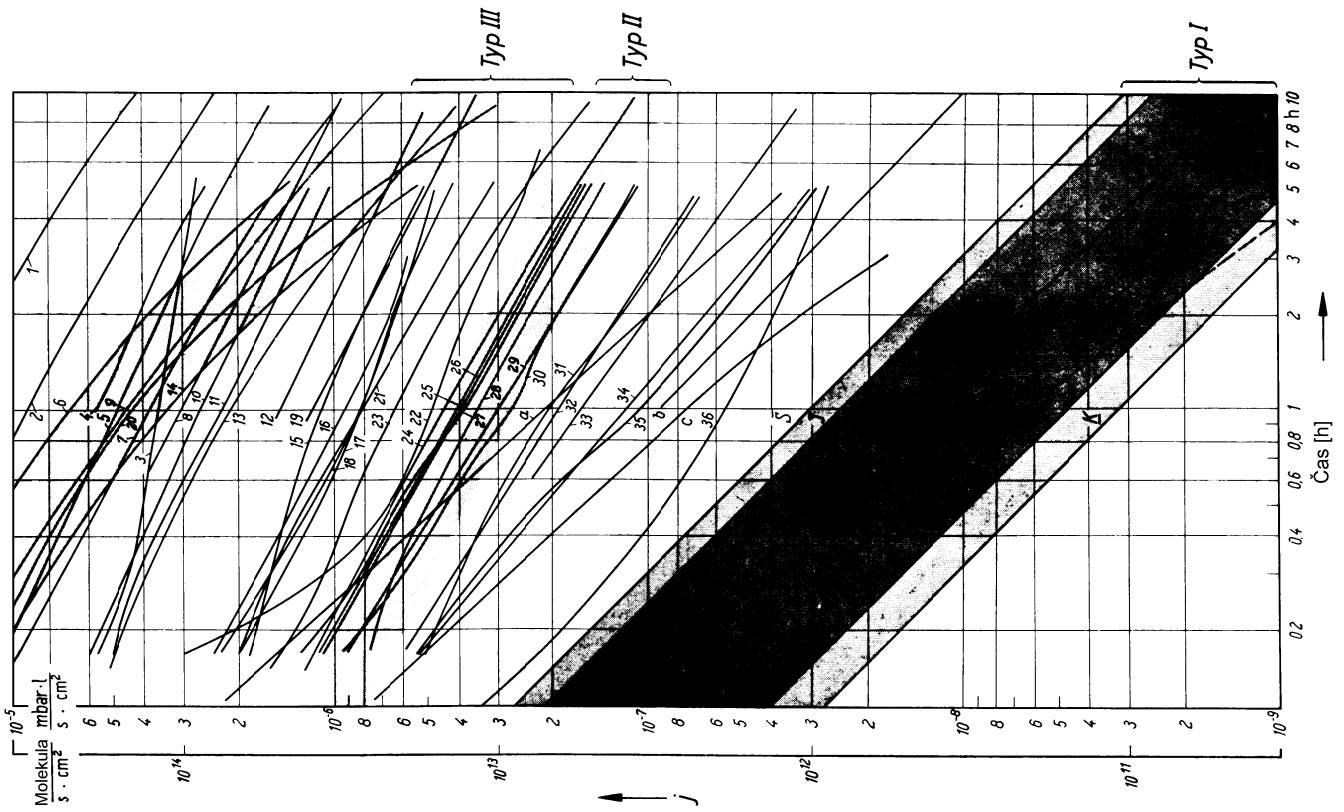
PLYNĚNÍ Z NĚKTERÝCH ELASTOMERŮ A UMĚLÝCH HMOT



Polymers	Slope of curves
1. Celluloid	-0.47
2. Textolite	-0.50
3. 2 Methyl silicone rubber	-0.60
4. Ethylene silicone rubber 1	-0.55
5. Polyurethane	-0.47
6. Ethylene silicone rubber 2	-0.52
7. Perbunan 40	-0.53
8. Perbunan	-0.53
9. Natural rubber	-0.53
10. Kel-F	-0.47
11. Natural rubber-Hypalon	-0.53
12. Plexiglass	-0.50
13. Polyimide	-0.50
14. Soft PVC	-0.47
15. Vacuum rubber tube	-0.50
16. Buna rubber	-0.50
17. Viton	-0.50
18. Polycarbonate	-0.59
19. Neoprene	-0.50
20. Polystyrol	-0.54
21. FS-46	-0.78
22. Hard PVC	-0.47
23. Polyethylene	-0.57
24. PTFE	-0.65
25. Butyl rubber	-0.51
26. Hard PTFE, Hard polyethylene	-0.75

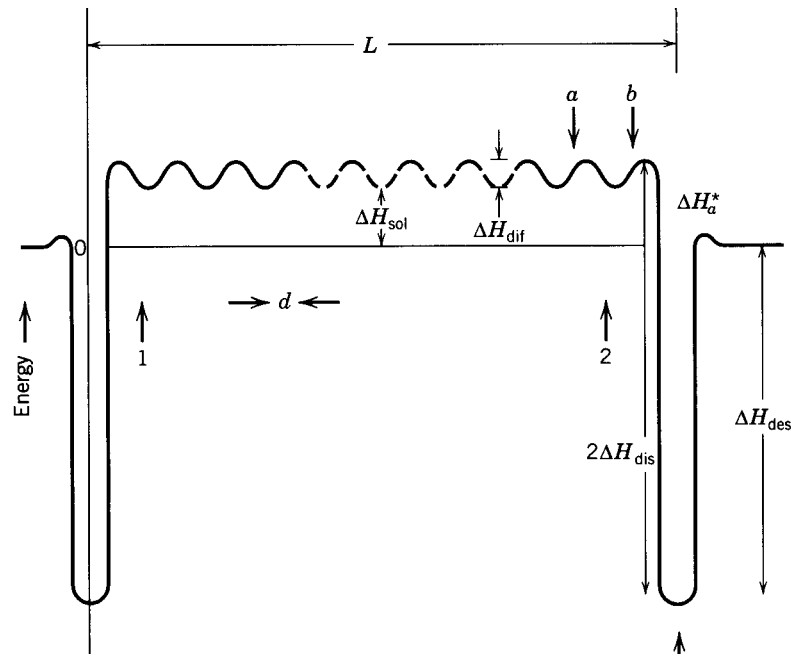


OUTGASSING FROM EPOXY AFTER VARIOUS TREATMENTS



OUTGASSING FROM EPOXY AFTER VARIOUS TREATMENTS

PERMEACE



$$J = K \cdot \frac{A}{d} \cdot (p_H - p_L) \quad K [\text{mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mm} \cdot \text{cm}^{-2}]$$

$$[\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] = [\text{m}^2 \text{s}^{-1}] \cdot \frac{[\text{m}^2]}{[\text{m}]} \cdot [\text{Pa}]$$

