

## Difuze plynů v pevných látkách

plyn difunduje v pevné látce z oblasti s vyšší koncentrací do oblasti s nižší koncentrací

difuzní proud

$$I_1 = -D \text{grad } n_r = -D \frac{dn_r}{dx}$$

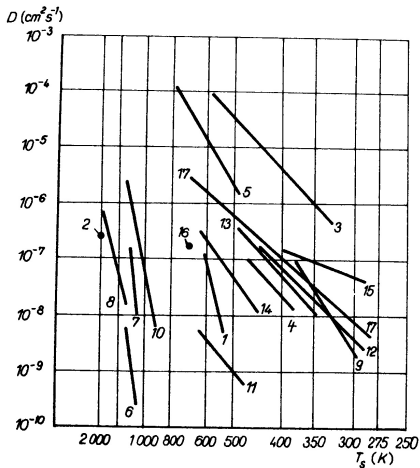
$$D = D_0 \exp\left(-\frac{H_{ad}}{RT_s}\right)$$

$H_{ad}$  - aktivační teplo difuze,  $T_s$  - teplota pevné látky

## He v taveném křemenu

$T_s$	300-500 K	600-1300 K
$H_{ad}$ [kJmol <sup>-1</sup> ]	13.1	15.5
$D_0$ [cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$3 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$

Plyn	sklo	obsah sklotvorných složek [%]	$H_{ad}$ [kJmol <sup>-1</sup> ]
He	křemen	100	12.7-13.4
	vycor	99	11.7-14.1
	pyrex	94	14.5-16.4
	duran	92	15
H <sub>2</sub>	křemen	100	21.1-28.1
	duran	92	32
N <sub>2</sub>	křemen	100	51.6 - 70.3
O <sub>2</sub>	křemen	100	70.3



Obr. 3.20. Závislost koeficientu difúze  $D$  na teplotě (podle údajů autorů uvedených v textu k obr. 3.19 a Daytona, 1960)

*Plyny v kovech:* 1 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{W}$ ; 2 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{Mo}$ ; 3 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{Pd}$ ; 4 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{Ni}$ ;  
5 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{Cu}$ ; 6 –  $\text{O}_2 \rightarrow \text{Ni}$ ; 7 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{Fe}$ ; 8 –  $\text{O}_2 \rightarrow \text{Ti}$ ; 9 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{Fe}$ ; 10 –  $\text{O}_2 \rightarrow \text{Cu}$ .

*Plyny ve sklech:* 11 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$ ; 12 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{sklo 12}$ ; 13 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{sklo 13}$ ; 14 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{sklo 14}$ ; 15 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{sklo 15}$ ; 16 –  $\text{H}_2 \rightarrow \text{sklo 16}$  (vycor); 17 –  $\text{He} \rightarrow \text{sklo 17}$  (pyrex 7740). Čísla skel a jejich složení je uvedeno v textu k obr. 3.19

## Pronikání plynů stěnou

Proud plynu přes stěnu závisí na koef. difuze, koef. rozpustnosti a tlacích na obou stranách stěny.

$$I_1 = -D \operatorname{grad} n_r = -D \frac{dn_r}{dx}$$

plocha  $1 \text{ cm}^2$ , tloušťka  $L$ , tlaky  $P_1, P_2$ ;  $P_2 > P_1$

$$I_1 dx = -D dn_r$$

$$I_1 \int_0^L dx = I_1 L = -D \int_{n_{r2}}^{n_{r1}} dn_r = D(n_{r2} - n_{r1})$$

$$I_1 = D r \frac{P_2^u - P_1^u}{L}$$

## Koeficient pronikání plynu

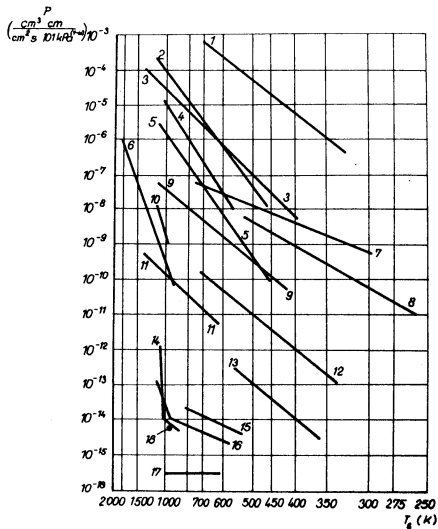
$$P_p = rD$$

$$P_p = P_{p0} \exp\left(-\frac{H_{apr}}{RT_s}\right); P_{p0} = r_0 D_0$$

$H_{apr}$  - aktivační energie pronikání plynu

$$I_1 = Dr \frac{P_2^u - P_1^u}{L}$$

$$I_1 \doteq P_p P_a^u; \quad L = 1\text{cm}; \quad P_2 \gg P_1$$



Obr. 3.21. Závislost koeficientu pronikání  $P$  na teplotě (podle Waldschmidta, 1954; Nortona, 1957; Millera a Sheparda, 1961; Rogerse, Dushmana a Laffertyho, 1962).

Plyny v kovech  $\left[u = \frac{1}{2}, P = \left(\frac{\text{cm}^3 (\text{norm}) \text{ cm}}{101 \text{ kPa}^{1/2} \text{ cm}^2 \text{ s}}\right)\right]$ ; 1 -  $\text{H}_2 \rightarrow \text{Pd}$ ; 2 -  $\text{H}_2 \rightarrow \text{Ni}$ ;

3 -  $\text{H}_2 \rightarrow \text{Fe}$ ; 4 -  $\text{H}_2 \rightarrow \text{kovar}$ ; 5 -  $\text{H}_2 \rightarrow \text{Cu}$ ; 6 -  $\text{N}_2 \rightarrow \text{Ni}$ .

Plyny ve sklech a keramice  $\left[u = 1, P = \left(\frac{\text{cm}^3 (\text{norm}) \text{ cm}}{101 \text{ kPa}^0 \text{ cm}^2 \text{ s}}\right)\right]$ ; 7 - He  $\rightarrow$  vycor; 8 -

He  $\rightarrow$  pyrex 7740; 9 -  $\text{H}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$ ; 10 -  $\text{N}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$ ; 11 - He  $\rightarrow$  keramika; 12 -

$\text{H}_2 \rightarrow$  sklo 1720; 13 - He  $\rightarrow$  sklo G; 14 - vzduch  $\rightarrow$  pyrokeramika; 15 - vzduch  $\rightarrow$  pyrex; 16 - vzduch  $\rightarrow$  keramika; 17 - vzduch  $\rightarrow$  sklo 1720; 18 -  $\text{O}_2, \text{N}_2 \rightarrow$  pyrex

Koeficient pronikání  $P_p$  [ $10^{-8} \frac{cm^3 cm}{cm^2 s 101 kPa}$ ]

materiál	$N_2$	$O_2$	$H_2$	$CO_2$	$He$
přírodní kaučuk	6	18	38	100	20
methyلكaučuk	0.4	2	13	6	11
butylkaučuk	0.25	1	6	4	5
neopren G	25	3	10	20	4
buna-S	5	13	30	95	18
teflon	0.002	0.007		0.05	
polymetakrylát	2		18		5

## *Uvolňování plynu a z povrchu a tok plynu na povrch u velmi tlusté stěny*

$$I_{10} = -D \left( \frac{\partial n_r}{\partial x} \right)_{x=0}$$

druhý Fickův zákon

$$\frac{\partial n_r}{\partial \tau} = -\frac{\partial}{\partial x} \left( -D \frac{\partial n_r}{\partial x} \right)$$

$$I_{1\tau} = n_{r0} \sqrt{\frac{D}{\pi \tau}}$$

Množství plynu uvolněné z jednotky povrchu za dobu  $\tau$

$$Q_1 = \int_0^\tau I_{1\tau} d\tau = 2n_{r0} \sqrt{\frac{D\tau}{\pi}}$$



## *Proudění plynu ve stěnách konečné tloušťky*

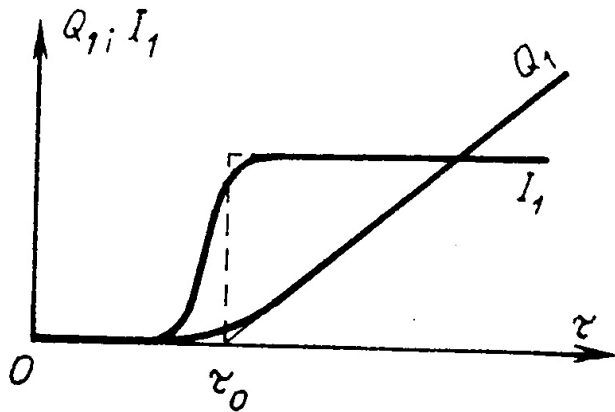
tloušťka stěny  $L$ , předem zcela zbavená plynů,  $P_2 \gg P_1$

$$Q_1 = \int_0^\tau I_1 d\tau \approx \frac{n_{r2} D}{L} (\tau - \tau_0)$$

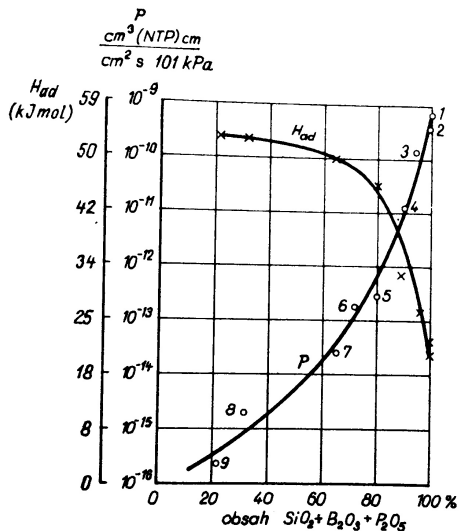
$$\tau_0 = \frac{L^2}{6D}$$

pro  $\tau \gg \tau_0$

$$Q_1 = I_1 \tau = \frac{n_{r2} D}{L} \tau = \frac{Dr}{L} P_2^u \tau$$



# Pronikání He sklem



Obr. 3.24. Závislost aktivační energie difúze  $H_{ad}$  a pronikání helia sklem s různým obsahem sklotvorných složek ( $\text{SiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5$ ) při teplotě 373 K (podle Nortona, 1953; Eschbacha, 1960 a dalších). Číslo u křivek odpovídají číslům skel v tab. 3.16

Tab. 3.16. Složení skel, jejichž charakteristiky jsou uvedeny v obr. 3.24

Pořadové číslo v obr. 3.24	Název skla	Druh skla (Corning), blízký danému	Sklotvorné složky (%)				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	CaO + MgO	BaO	ZnO
			SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Σ						
1	tavený křemen	C-7940	100	–	–	100	–	–	–	–	–	–
2	vyCOR	C-7910	96	3	–	99	1	–	–	–	–	–
3	pyrex	C-7710	81	13	–	94	2	–	4	–	–	–
4	borokřemičité	–	65	25	–	90	3	–	7	–	–	–
5	hlinitofosforové	–	–	5	77	82	11	–	–	–	–	7
6	sodnodraselné	C-0080	72	–	–	72	1	1	17	10	–	–
7	hlinitokřemičité	C-1720	62	5	–	67	18	–	–	15	–	–
8	olovnaté <sup>1)</sup>	C-8363	31	–	–	31	–	61	–	–	8	–
9	olovnaté bez křemíku s malým obsahem alkálií	–	–	22	–	22	7	78	–	–	–	–

Objem  $V = 1$  l, povrch  $A = 500$  cm<sup>2</sup>, tloušťka stěny  $L = 1$  mm, teplota  $T = 293$  K, vyčerpáme na tlak  $10^{-10}$  Pa. Parciální tlak He ve vzduchu je  $P_{He} = 0.5$  Pa

$$I = I_1 A = P_p \frac{P_{He}}{L} A$$

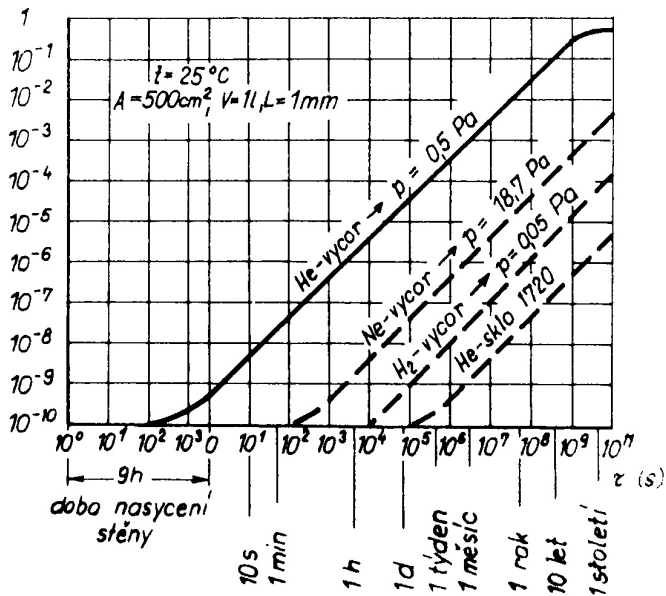
$$I = \frac{Q}{\tau} = \frac{PV}{\tau}$$

$$P = \frac{I}{V} \tau$$

$$P = 10^{-10} + 6 \cdot 10^{-10} \tau$$

$$\tau_0 = \frac{L^2}{6D} \doteq 9 \text{ h}$$

$P$  (Pa)



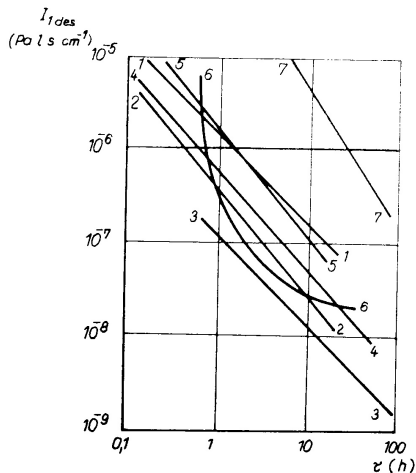
## *Desorpční proud z různých povrchů*

Důležitá je teplotní a vakuová historie látek vakuové aparatury. Uvádí se  $I_{1des}$  a směrnice  $\alpha_1$  pro různé časy např. pro  $\tau_1 = 1 h$  a  $\tau_4 = 4 h$

Tab. 3.18. Intenzita desorpce  $I_{1 \text{ des}}$  ( $10^{-5} \text{ Pa l s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ) za 1 h a za 4 h od počátku čerpání a koeficienty  $\alpha_1$  a  $\alpha_4$  některých látek při  $T \approx 300 \text{ K}$ . (Orientační hodnoty, podle Daytona a kol., 1959)

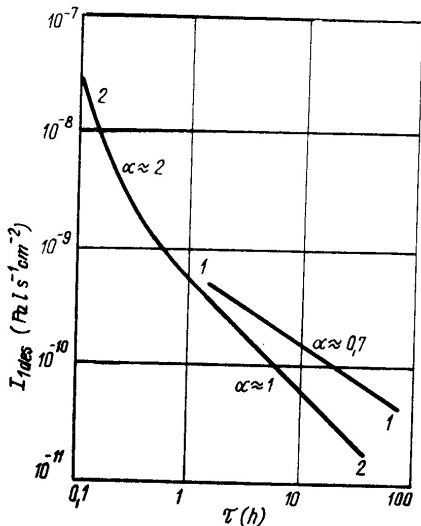
Látka	Doba od počátku čerpání			
	1 h		4 h	
	$I_{1 \text{ des}(1)}$	$\alpha_1$	$I_{1 \text{ des}(4)}$	$\alpha_4$
elastomery				
přírodní kaučuk – bílá a červená guma	12	0,5	6	0,5
butylkaučuk	20	0,7	6	0,6
neoprén	30–300	0,4–0,5	15–180	0,4–0,5
odplyněný neoprén	120	0,5	–	–
perbunan	5–90	0,65	2–40	0,6–1,1
plastické látky				
teflon	5	0,7	1,5	1
odplyněný teflon	0,1	2	–	–
araldit	5–80	0,3–1,3	1–20	0,5–1,3
epoxidová pryskyřice				
odplyněná	0,2	1,5	–	–
obsahující vodu	100	0,6	–	–
polyethylen	2,5	0,5	1,2	0,5
polyuretan	5	0,5	2,5	0,5
polychlorvinyl				
odplyněný	0,1	3	–	–



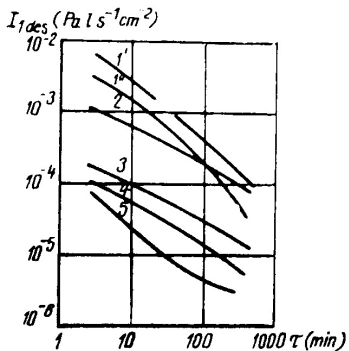


Obr. 3.26. Závislost intenzity desorpce  $I_{1,des}$  na čase  $\tau$  pro různé kovy při  $T \approx 300 \text{ K}$  (podle Schrama, 1963)

1 – chromniklová nerezavějící ocel Z3CN s nepracovaným povrchem; 2 – ocel Z3CN elektrolyticky vyleštěná; 3 – ocel, vyleštěná skleněnými kuličkami; 4 – měkká ocel poniklovaná a vyleštěná; 5 – vysoce čistá měď elektrolyticky vyleštěná; 6 – hliník; 7 – dural



Obr. 3.27. Závislost intenzity desorpce  $I_{1,des}$  na čase  $\tau$  pro borokřemičité sklo M02A při  $T_s = 300 \text{ K}$  (podle Henryho, 1961): 1 – po prvním ohřevu; 2 – po ohřevu trvajícím 5 h při teplotě 373 K a vystavení působení vzduchu po dobu 14 h



Obr. 3.28. Intenzita desorpce  $I_{1\text{ des}}$  z povrchu elastomerů při teplotě 298 K jako funkce času (podle Hellera, 1958)

1 – syntetická guma (ploché těsnění 1', kruhové 1''); 2 – perbunan; 3 – araldit, polyuretan; 4 – teflon; 5 – hostaflon