

PODSTAWY MINERALURGII

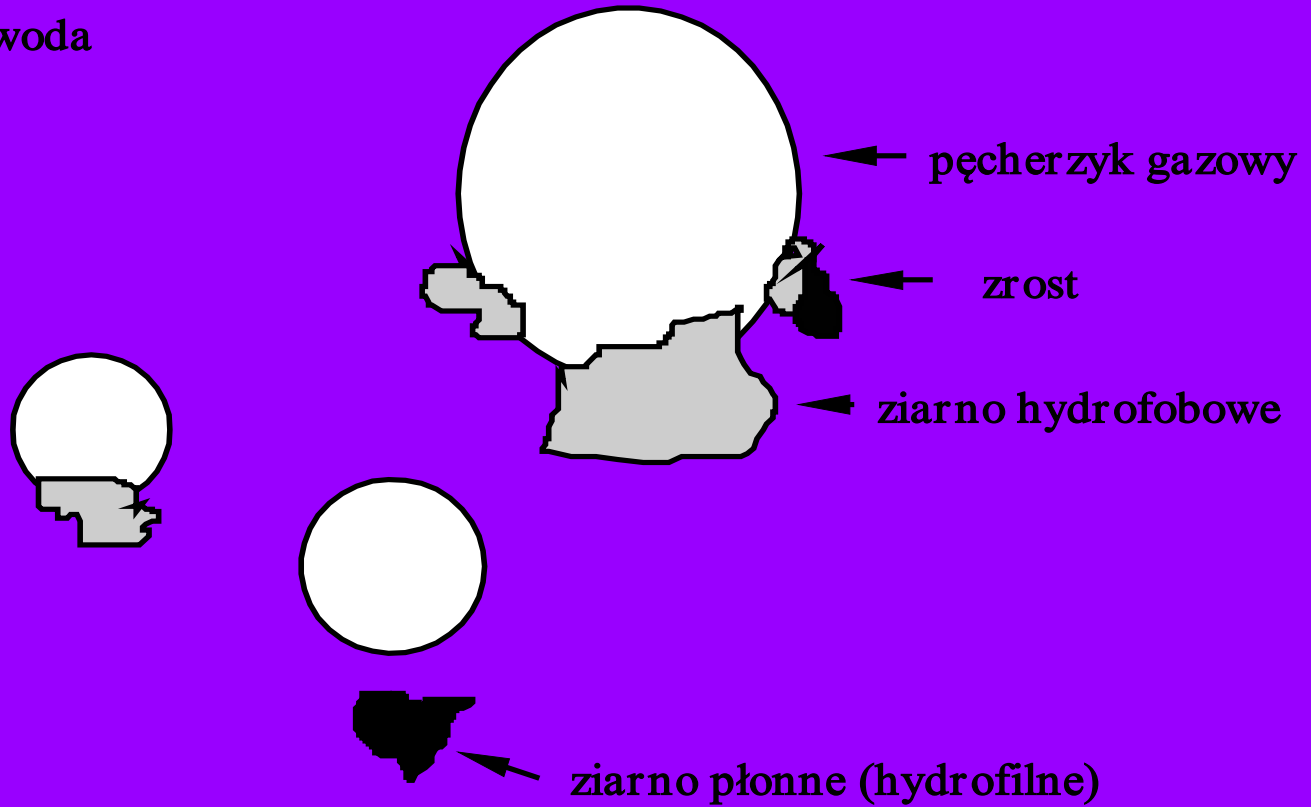
Wykład 12

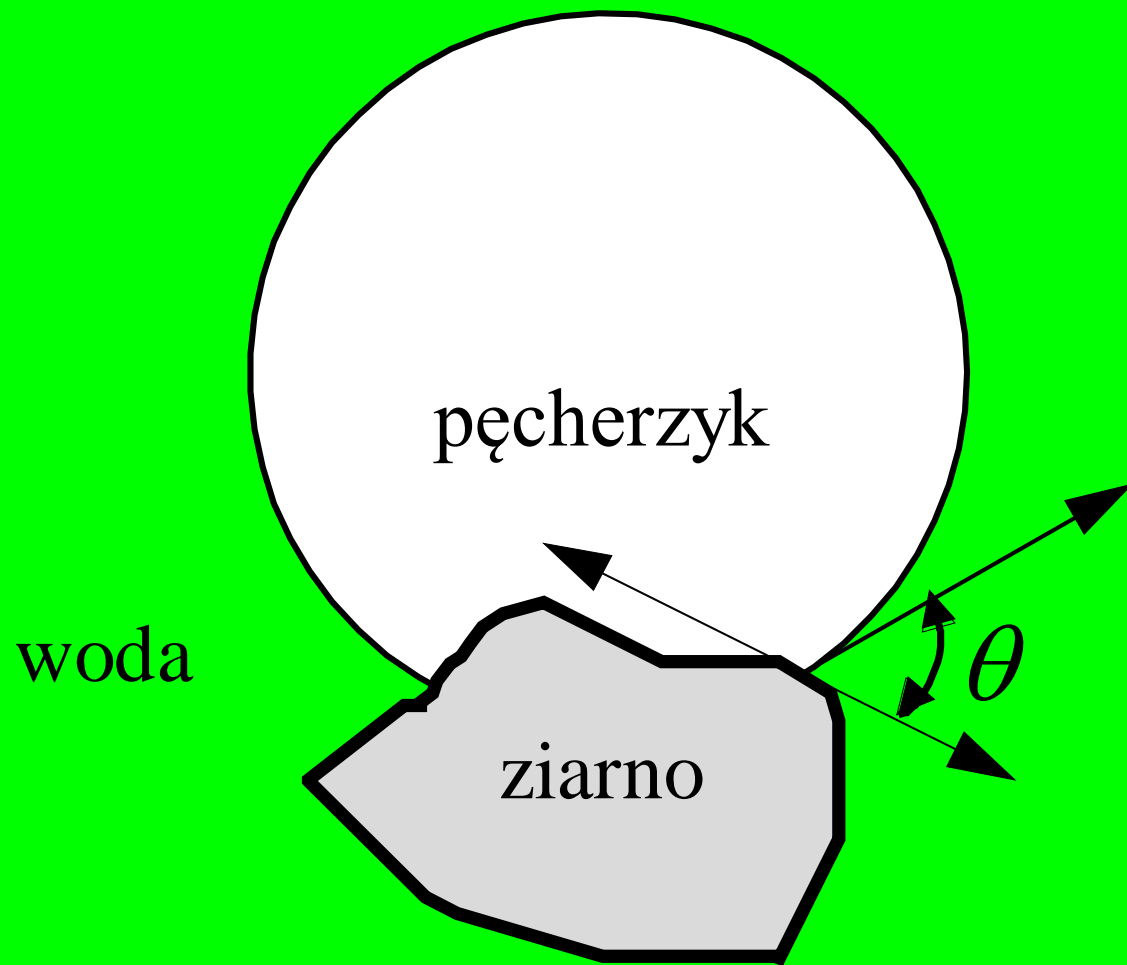
FLOTACJA

(Cecha główna - hydrofobowość)

Istota flotacji

woda





Kąt zwilżania

Kąt zwilżania wybranych substancji

(w stopniach)

Substancja	Postępujący kąt zwilżania	Substancja	Postępujący kąt zwilżania
Teflon	112	siarka	86*
Parafina	110	grafit	86
Polietylen	103	stybnit (Sb_2S_3)	84
Skóra ludzka	90	AgI	17
Naftalen	88	kalcyt	~0*
Kwas stearynowy	80	szkło	~0

Metody pomiaru



Polerowane powierzchnie	Źródło*	Ziarna	Źródło
Uwięziony pęcherzyk	Adamson, 1967	ciepło zwilżania ziarn	Neumann i Good, 1979
Siedząca kropla	Adamson, 1967	flotometria	Drzymała i Lekki, 1989a,b Drzymała, 1995; 1999a,b,c
Nachylona płytka w cieczy	Hiemenz, 1986	kształt granicy wodnej faz	Aveyard i Clint, 1995
Siła odrywania	Hiemenz, 1986	lewitacja	Li i współ., 1993
Zwilżanie płytki	Adamson, 1967	prasowany dysk	Heertjes i Kossen, 1967, He i Laskowski, 1992
Kropla na nachylonej płytce	Hiemenz, 1986	szybkość penetracji cienkiej warstwy ziarn	van Oss i współ., 1992
Profil kropli	Ralson i Newcombe, 1992	szybkość penetracji kolumny ziarn	Washburn, 1921, Crowl i Wooldridge, 1967
Rozmiar kropli	Ralson i Newcombe, 1992	uwięzionego pęcherzyka dla ziarn	Hanning i Rutter, 1989
		waga Langmuira	Clint i Tylor, 1992; Aveyard i współ., 1944
		wirówkowa	Huethorst i Leenaars, 1990
		wzniesienia kapilarnego w kolumnie ziarn bez cieczy wzorcowej	White, 1982
		wzniesienia kapilarnego w kolumnie ziarn z cieczą wzorcową	Bartell i Whitney, 1933

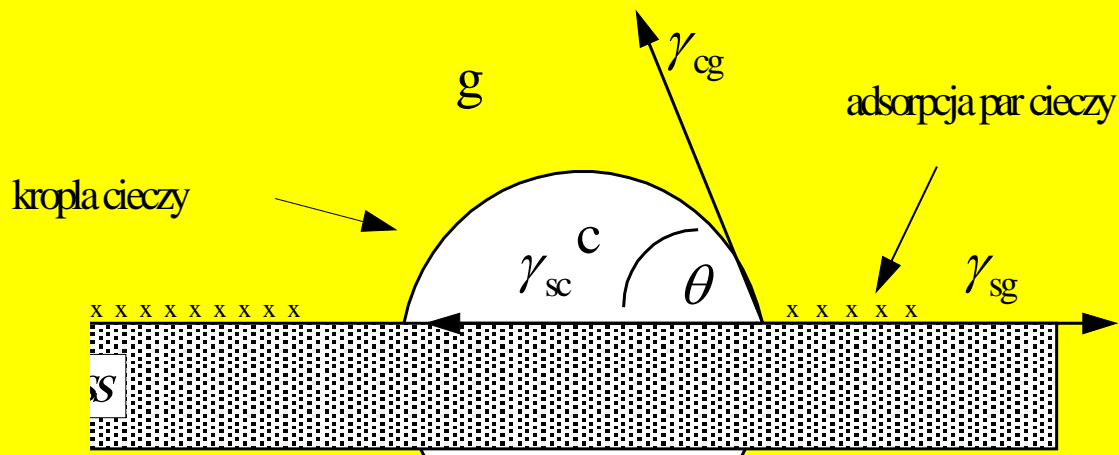
Podział substancji ze względu na hydrofobowość

Silnie hydrofobowe*		Średnio hydrofobowe		Słabo hydrofobowe		Hydrofilne** $\theta = 0$
Substancja	θ	substancja	θ	substancja	θ	substancja
1	2	3	4	5	6	7
Parafina, C_nH_{2n+2}	90+	siarczki	44–0	fluoryt, CaF_2	10–13	gips, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Teflon, C_2F_4	90+	węglík krzemu, SiC	27,6	arszenik, As_2O_3	9,3	żelazokrzem
Siarka, S	63,2	węgiel kamienny	26–0	perowskit, $CaTiO_3$	9	dolomit, $CaMg(CO_3)_2$
Rtęć, Hg	45,6	ind, In	25	szelit, $CaWO_4$	9	magnetyt, Fe_3O_4
Ge	39,7	jodargyryt, AgI	23,5	diament, C	7,9	halit, NaCl
Si	35,4	kasyteryt, SnO_2	22–	cyna, Sn	7,5	węgiel brunatny
Talk	35,2	srebro, Ag	14	kwas borny, H_3BO_3	6,4	kaolin
		ilmenit, Fe	14	grafit, C	6,2+	hematyt, Fe_2O_3
		molibdenit, MoS_2	5,9+	PbJ_2	6	kwarc, SiO_2
				złoto, Au	5	kalcyt, $CaCO_3$
				baryt, $BaSO_4$	5	anhydryt, $CaSO_4$
				korund, Al_2O_3	4	kości
				HgO	3,3	turmalin
				HgJ ₂	3	warzywa
				miedź, Cu	3	żelazo, Fe
						bursztyn
						lód, D_2O

Zależność Younga

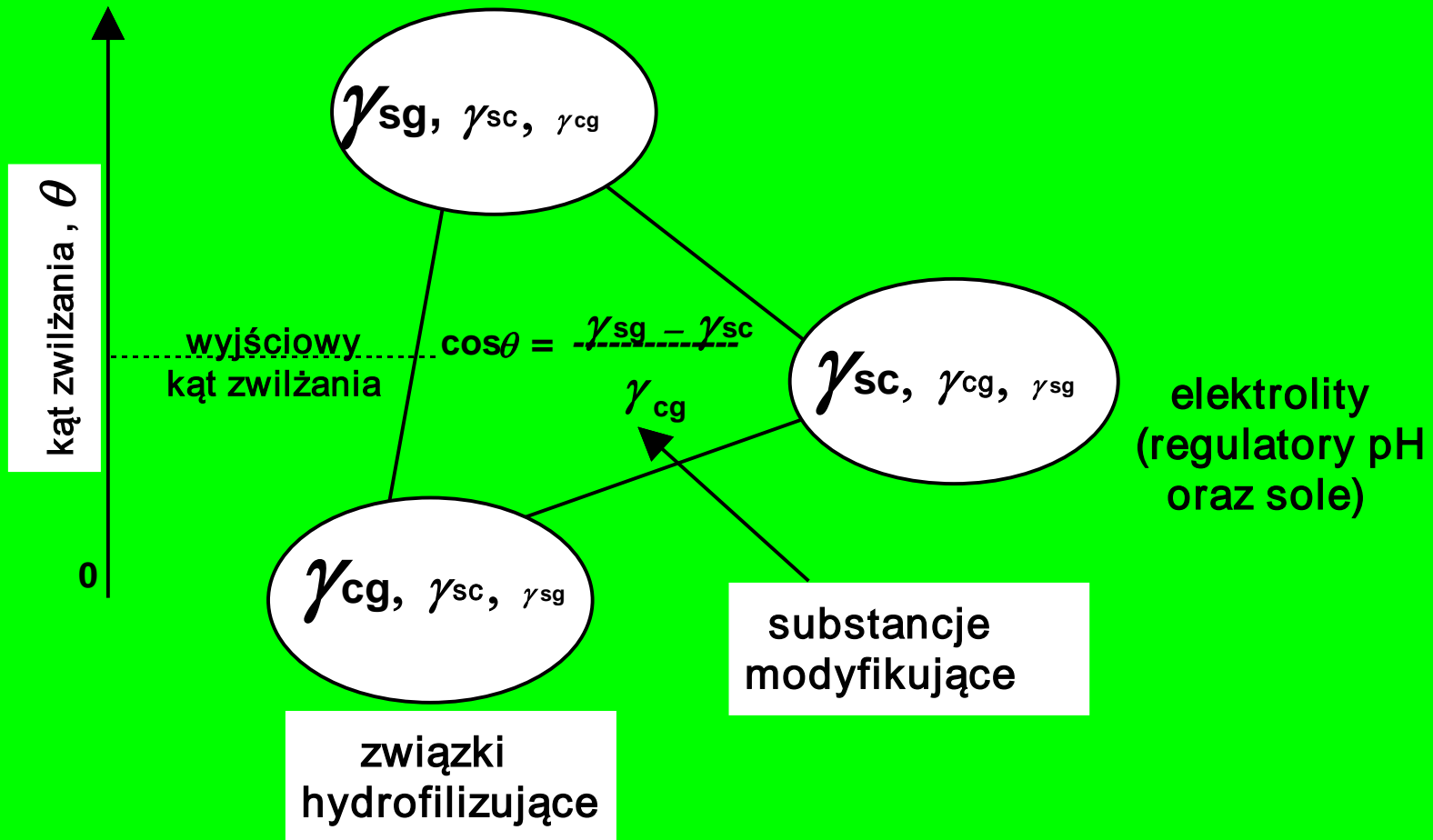
$$\gamma_{sg} = \gamma_{sc} + \gamma_{cg} \cos \theta$$

$$\gamma_s - \pi = \gamma_{sc} + \gamma_{cg} \cos \theta$$



Substancja	γ_s , mN/m	π_e , mN/m	γ_{sw} , mN/m	γ_{cg} , mN/m	$\theta_{obliczone}$	$\theta_{zmierzone}^*$
Lód	90–120	~0	22–33	72,8	0	0
Kwarc	120–135	~małe	46	72,8	~0	0
Parafina	50–68	0	51	72,8	77–91	110
Rtęć	484	~75	415	72,8	95	43–110

zw. hydrofobizujące (kolektory)



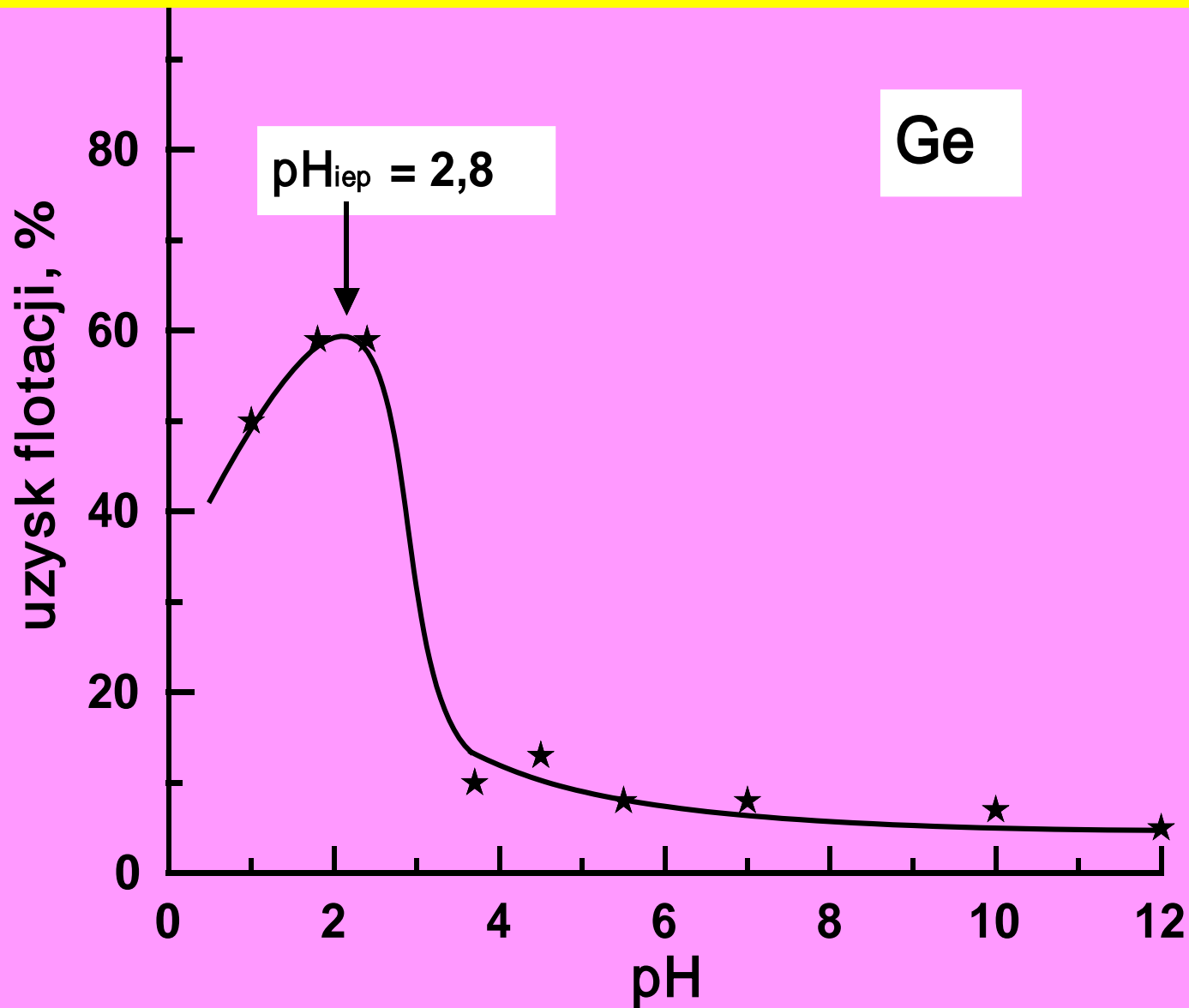
elektrolity
(regulatory pH
oraz sole)

substancje
modyfikujące

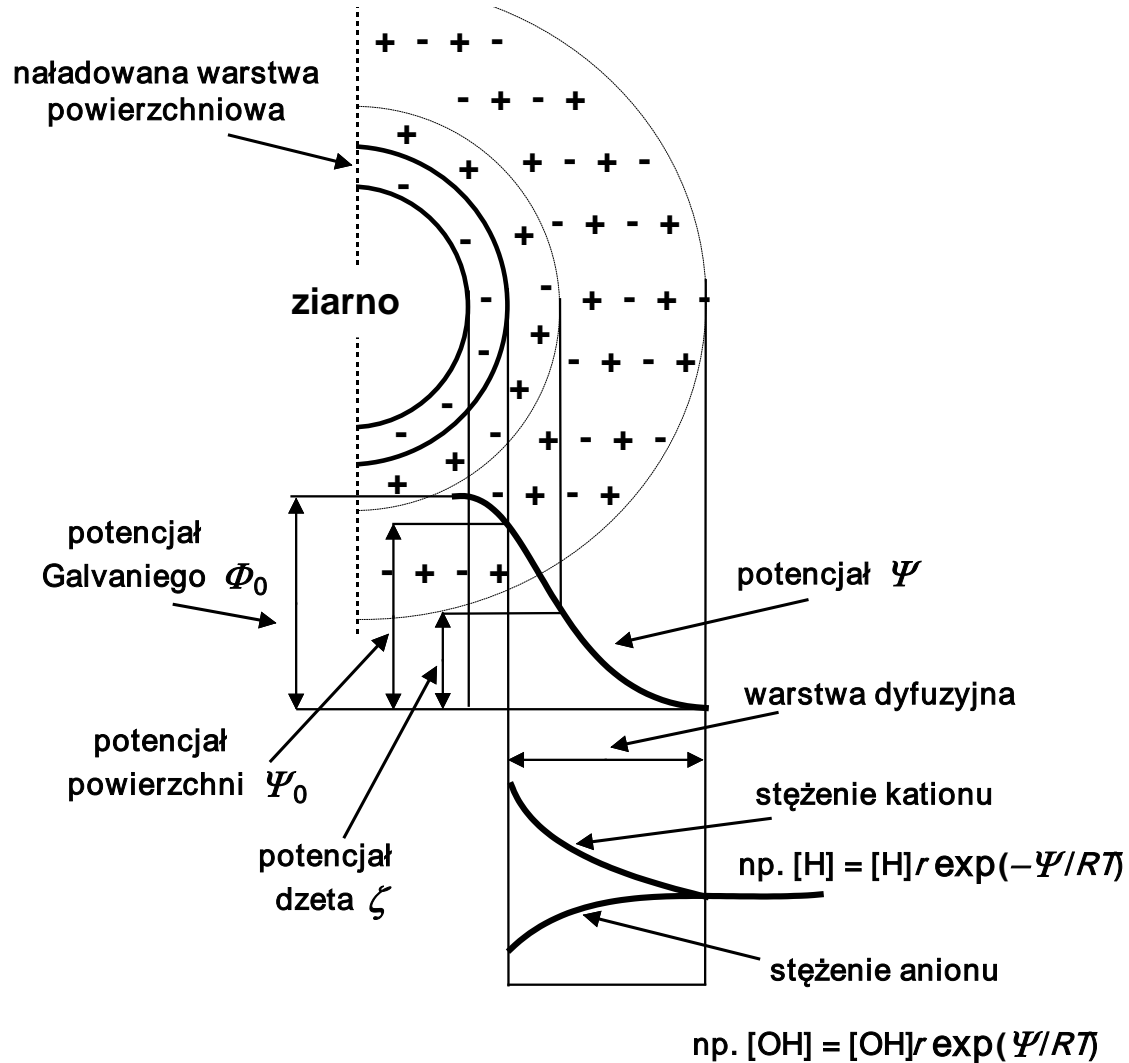
związki
hydrofilizujące

Wpływ pH (właściwości elektrycznych)

na flotację

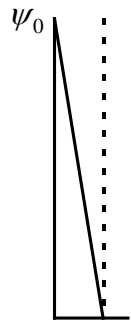
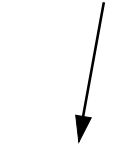


budowa elektrycznej warstwy podwójnej



Modele ewp

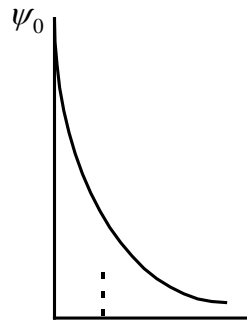
Hinholza
(kondensator płaski)



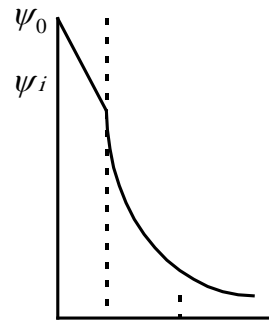
σ_0 $-\sigma_0$
H⁺
OH⁻

Sterna-warstwy
(sztywnej i rozmytej)

Gouy-Chapmana
(warstwy rozmytej)

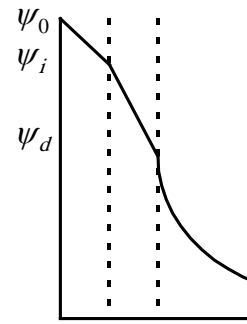


σ_0 $\sigma_d \rightarrow$
H⁺
OH⁻



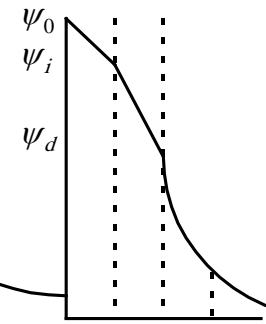
σ_0 σ_i $\sigma_d \rightarrow$
H⁺
OH⁻

Grahana
(niejswiężących)



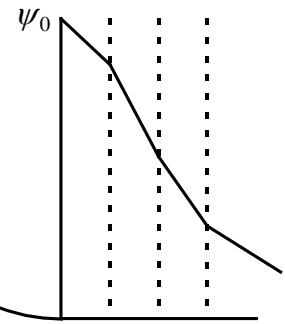
σ_0 σ_i $\sigma_d \rightarrow$
H⁺ K⁺
OH⁻ A⁻

potrójnej
warstwy



σ_0 σ_i σ_j $\sigma_d \rightarrow$
H⁺ K⁺ K⁺ H₂O
OH⁻ A⁻ A⁻ H₂O

poczwórnj
warstwy



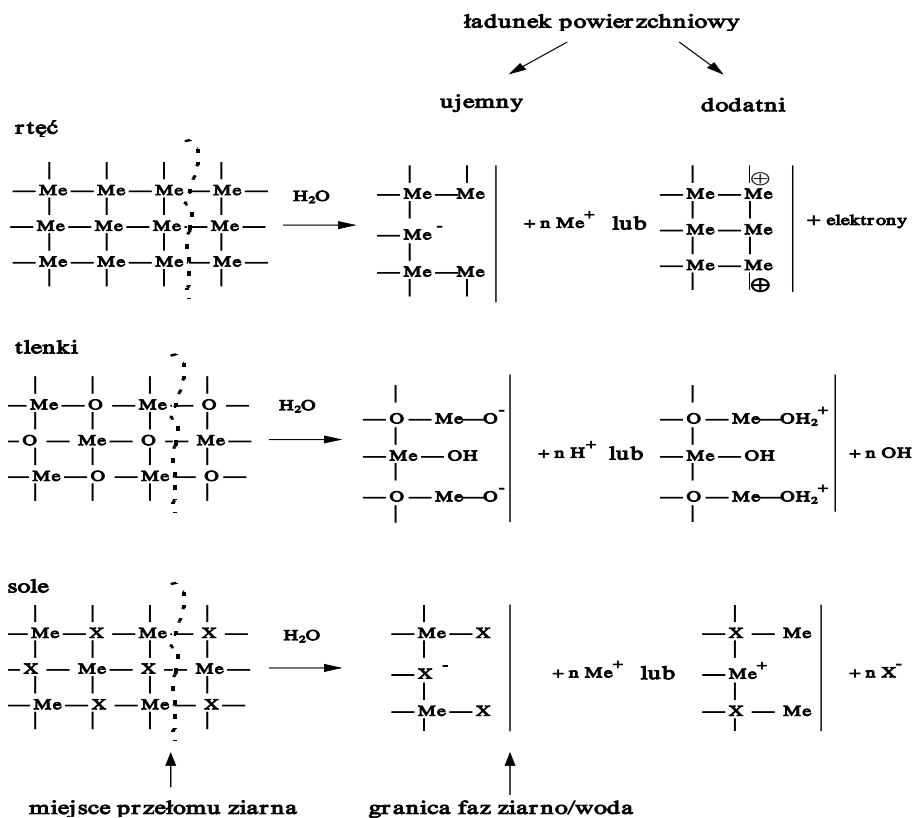
$$\sigma_0 = \varepsilon \varepsilon_0 \kappa \psi_0$$

kondensator płaski

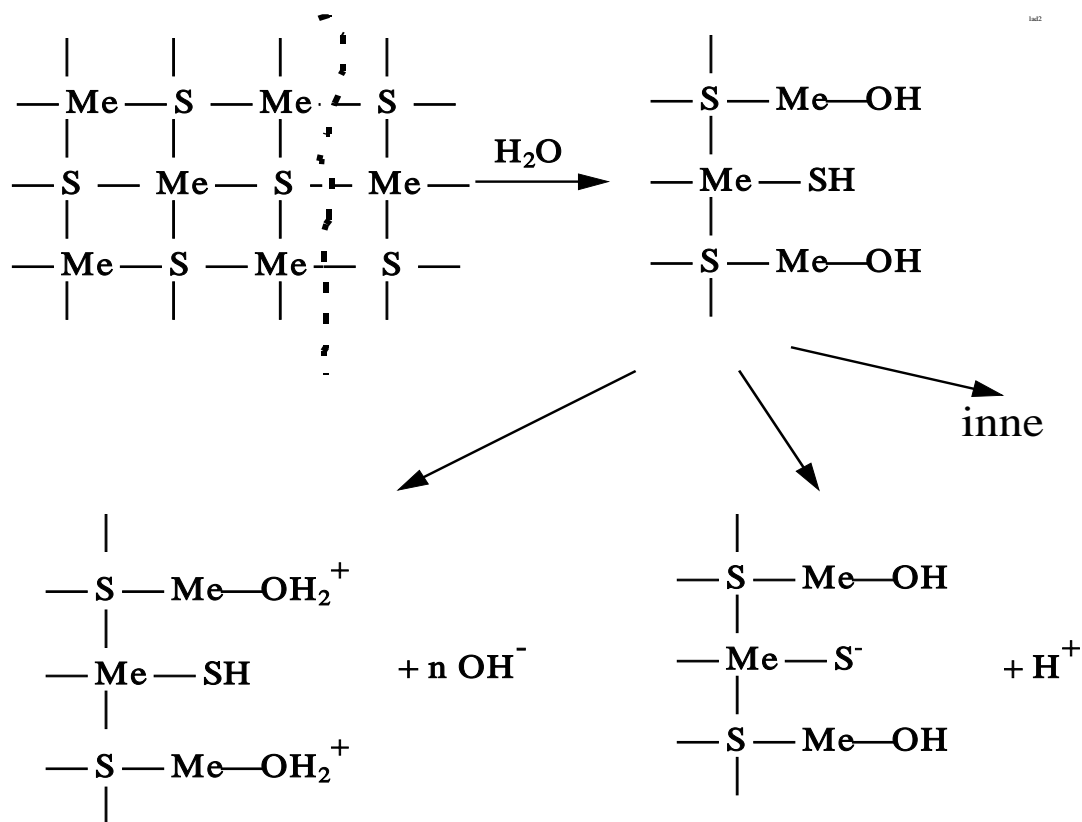
$$\sigma_d = \frac{-2\kappa kT\varepsilon_0\varepsilon}{ze} \sinh\left(\frac{ze_0\psi_0}{2kT}\right)$$

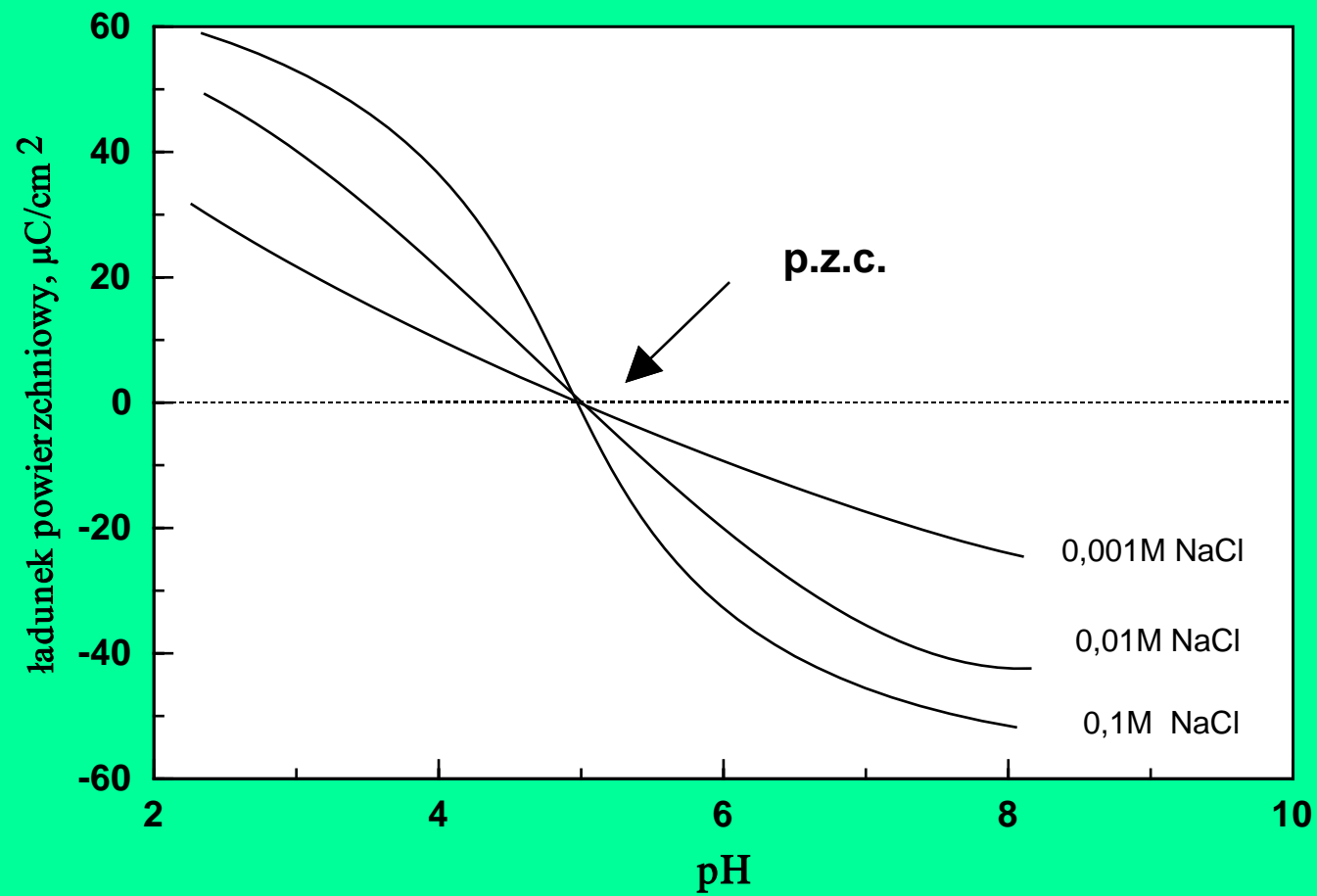
kondensator rozmyty

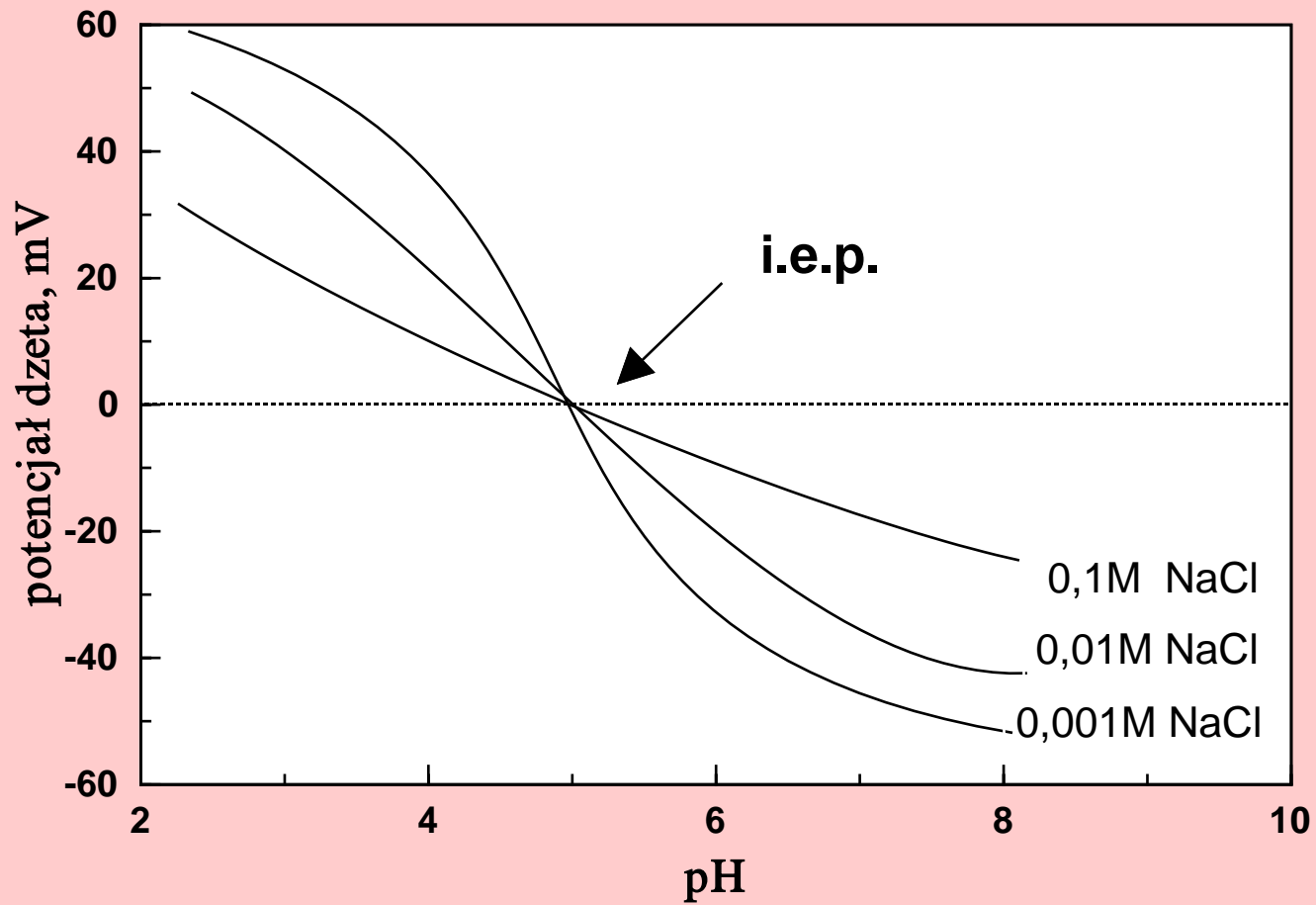
Formowanie się ładunku elektrycznego



Formowanie się ładunku elektrycznego







Wartości punktu zerowego ładunku (pzc) i punktu izoelektrycznego (iep) dla różnych substancji w roztworach wodnych. Zbiór pzc i iep dla wielu substancji można znaleźć w pracy Parksa (1965)

Substancja	pH _{pzc}	pH _{iep}
Kwarc, SiO ₂	<5	1,54
Kwas oleinowy, C ₁₇ H ₃₃ COOH		2,0
Kasyteryt, SnO ₂	<5,5	2,0–5,5
Siarka, S	–	2,1
Siarczki, MeS	–	2,1–7,0
Lód, D ₂ O	7,0 ±0,5	3,0–3,5
Węglowodory, C _n H _{2n+2}	6,3	3,3
Powietrze, O ₂ +N ₂ +CO ₂	–	3,5
Diament, C	–	3,5
Bakterie (Nocardia)	–	3,5
Rutyl, TiO ₂	4,8–5,3	
Ilmenit, FeTiO ₃	5,6	
Hematyt, Fe ₂ O ₃	6,5–8,5	4,8–8,7
Baryt, BaSO ₄	–	6,0–8,1
Tenoryt, CuO	6,5–8,5	6,0–7,6
Dolomit, (Ca,Mg)CO ₃	–	7,5
Magnezyt, MgCO ₃		7,5
Korund, Al ₂ O ₃	9,1	
Peryklaz, MgO		12,0

Odczynniki flotacyjne

KOLEKTORY

dla hydrofobizacji

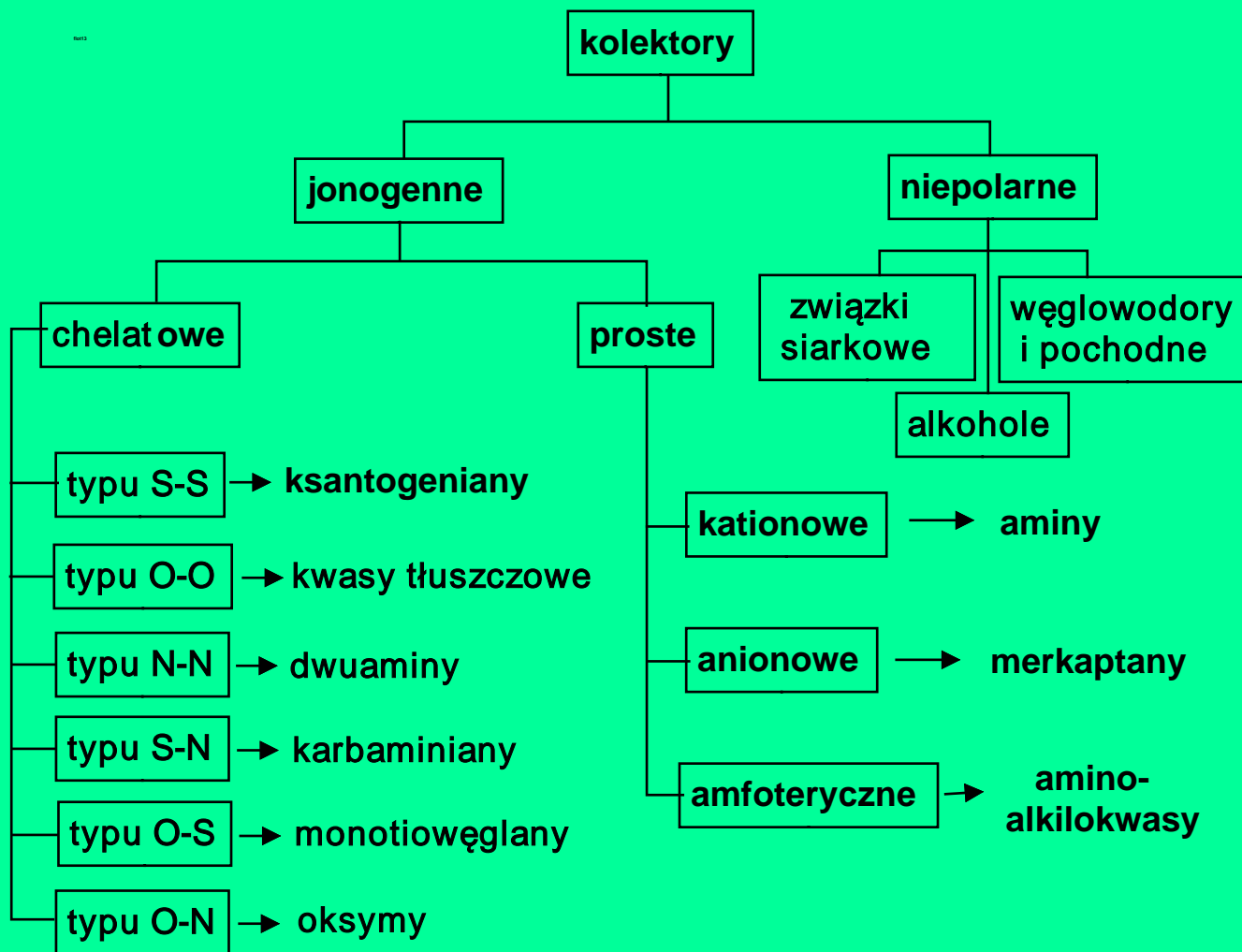
SPIENIACZE

dla piany

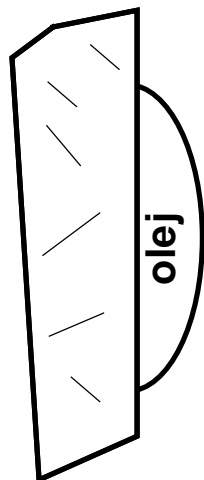
MODYFIKATORY

dla zwiększenia efektu

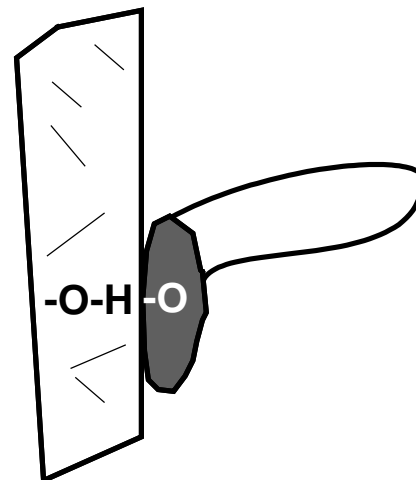
KOLEKTORY



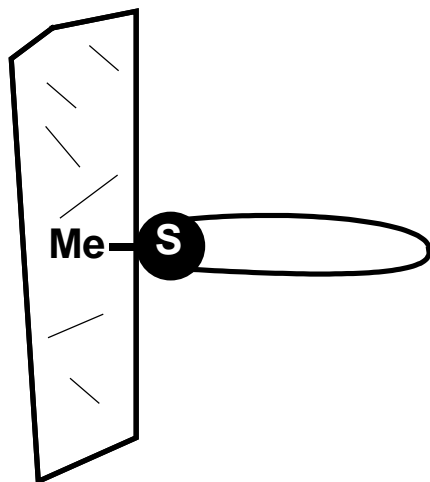
a



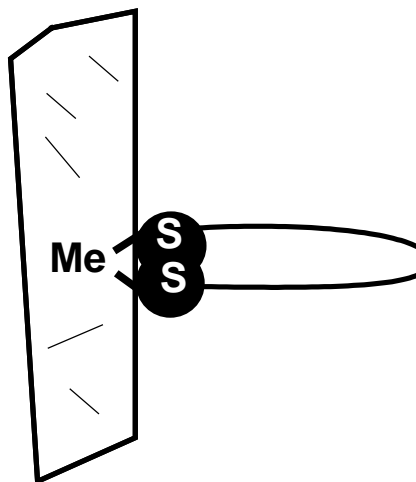
b



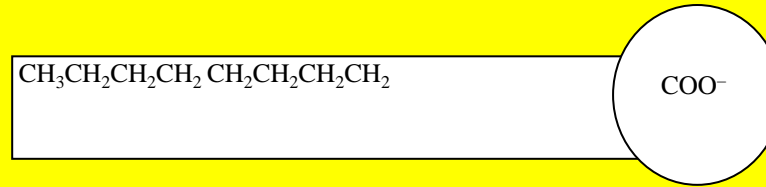
c



d

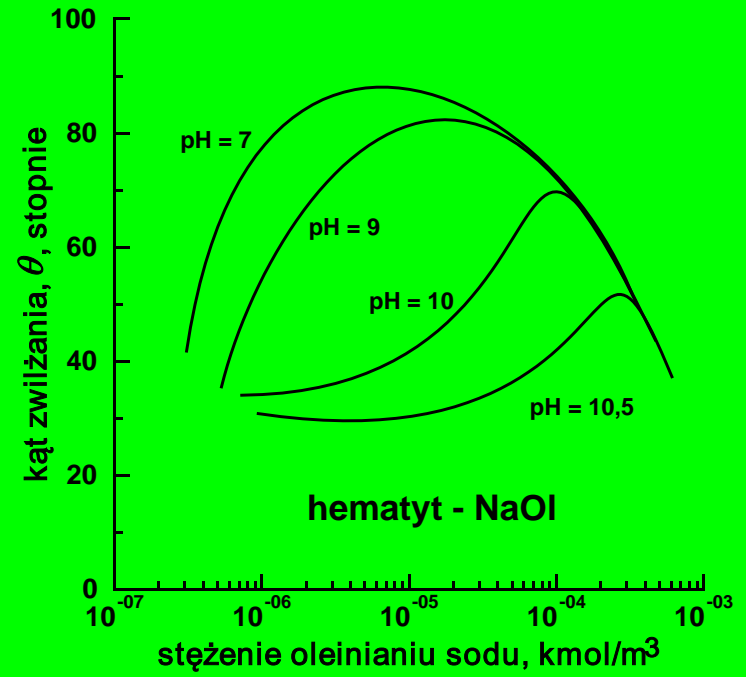
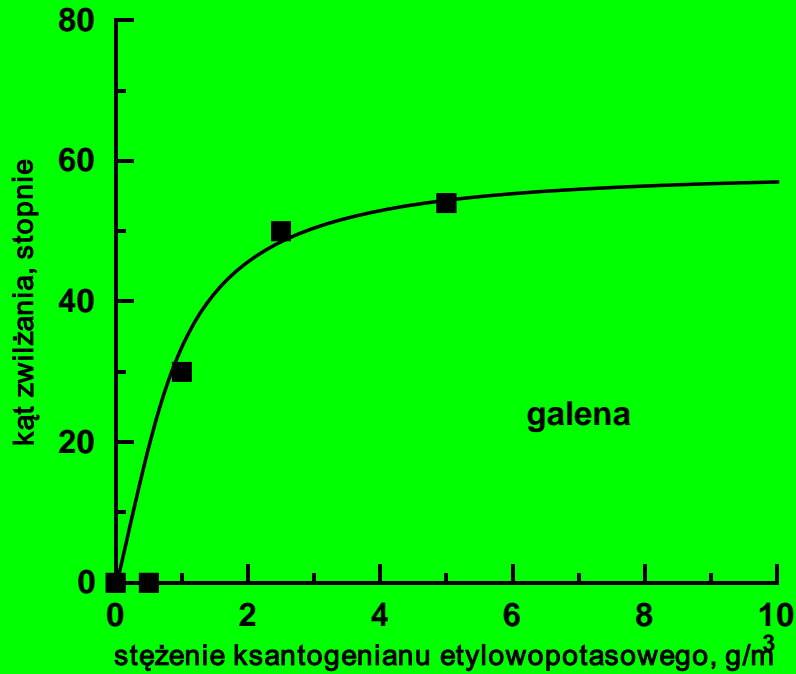


Budowa kolektora



ogon
(hydrofobowy)

głowa
(hydrofilowa)



Przykładowe kolektory niepolarne

Typ kolektora	Przykłady
Węglowodory i pochodne	olej napędowy, nafta, heptan, benzen, halogenopochodne węglowodorów
Związki siarkowe	dwuksantogen $(R-O-C(=S)-S-)_2$ ksantogenian mrówkowy $R-O-C(=S)-S-C(=O)-O-R'$, dwusiarczki alkilowe $R-S-S-R$
Alkohole i pochodne	alkilofenylo(polietoksy)alkohole (Triton, Tergitol), alkilofenole, wyższe alkohole

Przykładowe kolektory jonogenne proste

Kolektor	Przykłady
kationowe	
Aminy pierwszorzędowe* R-NH ₂	dodecyloamina C ₁₂ H ₂₅ -NH ₂ lub C ₁₂ H ₂₅ -NH ₂ ·HCl (C ₁₂ H ₂₅ -N ⁺ H ₃ Cl ⁻)
Aminy drugorzędowe* R-(R')N-H	di-n-amyloamina, (C ₅ H ₁₁) ₂ -NH
Aminy trzeciorzędowe* R-(R')N-R''	tri-n-amyloamina, (C ₅ H ₁₁) ₃ -N
Sole amoniowe (aminy czwartorzędowe)	$\begin{array}{c} \text{R}' \\ \diagdown \\ \text{N}^+ \\ \diagup \\ \text{R} \end{array} \begin{array}{c} \text{R}'' \\ \diagup \\ \text{R}'' \\ \diagdown \end{array} \text{Cl}^-$
Diaminy oraz triaminy	diamina R-NH-(CH ₂) _x -NH ₂
Sole pirydynowe	
Sole morfoliniowe	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{R} \text{ NH} \quad \text{O}^+ \text{Cl}^- \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \end{array}$
Sole sulfoniowe	$\begin{array}{c} \text{R}' \\ \diagdown \\ \text{S}^+ \\ \diagup \\ \text{R} \end{array} \begin{array}{c} \text{R}'' \\ \diagup \\ \text{Cl}^- \\ \diagdown \end{array}$
anionowe	
Merkaptany, R-SH	z powodu nieprzyjemnego zapachu nie stosuje się w praktyce przemysłowej
amfoteryczne	
Kwas N-dodecylo-2-aminopropionowy	C ₁₂ H ₂₅ -N ⁺ H ₂ -(CH ₂) ₂ -COO ⁻
Inne	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{COONa}^{\text{Cl}^-}$ $\text{C}_{12}\text{H}_{25}-\text{N}(\text{CH}_2-\text{COONa})_2, \text{R}-(\text{CH}_3)_2\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{COO}^- \text{ (alkilobetaina)}$

* W praktyce stosuje się zwykle ich chlorowodorki: R-NH₂·HCl.

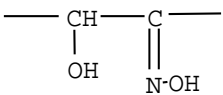
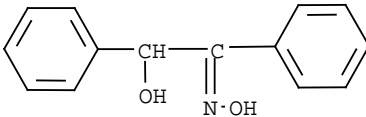
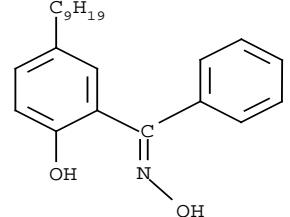
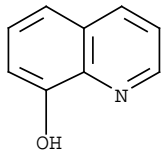
. Wybrane kolektory chelatujące typu O–O

Kolektor	Wzór	Przykłady
Pochodne kwasu węglowego (kwasy tłuszczowe)	$R-COOH$	kwasy oleinowy (olej talowy), linolowy, linolenowy, stearynowy
Pochodne kwasu siarkowego (siarczany)	$R-O-SO_3H$	dodecylosiarczan
Pochodne kwasu siarkowego (sulfoniany)	$R-SO_3H$	dodecylosulfonian
Pochodne kwasu fosforowego (fosforany)	$(RO)_2-P(O)-OH$	kwasy dwualkilofosforowy
Pochodne kwasu fosfonowego (fosfoniawy, difosfoniawy)	$(RO)-(R)P(O)-OH$ $R-(PO_3H_2)_2$ (difosfonian)	kwasy dwualkilofosfonowy, Flotol-7, 9 (kwasy 1-hydroksyalkilidie- ne-1,1-difosfonowy)
Pochodne kwasu fosfinowego (fosfiniany)	$(R)_2-P(O)-OH$	kwasy dwualkilofosfinowy
Nitrozofenylohydroksyloamina (sól amonowa)	$(Ar-N(O^-)-N=O)NH_4$	kupferron
Salicyloaldehyd	$OH-Ar-CHO$	salicyloaldehyd
Nitrozonaftole	$ON-nA-OH$	α -nitrozo- β -naftol, β -nitrozo- α -naftol
Nitrozofenole	$R-(OH)Ar(OH)-NO$	nitrozoalkilorezorcynal
Barwniki organiczne		alizaryna i jej pochodne
Kwasy hydroksamowe	$R-CO-NH-OH$	kwasy benzohydroksamowy, hydrok- samian oktylowo-potasowy, IM-50 (C7-C9)

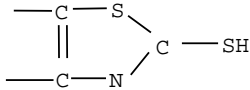
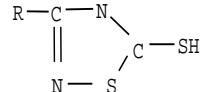
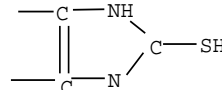
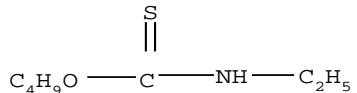
Wybrane kolektory chelatujące typu S-S

Kolektor	Wzór	Przykłady
Ksantogeniany (ditiowęglany)	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \text{C} - \text{O}- \\ \\ \text{S} \end{array}$	ksantogenian etylowo-potasowy (R-OCSSK)
Tioksantogeniany (trójtiowęglany)	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \text{C} - \text{S}- \\ \\ \text{S} \end{array}$	
Ditiofosforany	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \text{P}(\text{OR})_2 \\ \\ \text{S} \end{array}$	aerofloaty ((RO) ₂ P(=S)-SK)
Ditiofosfiniany	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \text{P} \text{R}_2 \\ \\ \text{S} \end{array}$	
Ditiokarbaminiany	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \text{C} - \text{NR}_2 \\ \\ \text{S} \end{array}$	

Wybrane kolektory chelatujące typu O–N

Kolektor	Wzór	Przykłady
Oksymy		<p>α-benzoinooksym</p>  <p>dwumetyloglioksym</p>
Hydroksyoksymy (LIX-y)		<p>LIX65N</p> 
8-hydroksychinolina i jej pochodne		8-hydroksychinolina (oksyna)

Wybrane kolektory chelatujące typu S–N

Kolektor	Wzór
Merkaptobenzotriazole	 <p>(flotagen)</p>
Merkaptotiodiazole	
Tiotetrahydroglokzalina	
Mono- oraz ditiokarbaminiany	
Fenylotiomocznik	