Kiselo-bazni indikatori

Slabe kiseline ili baze koje imaju različite boje nejonizovanog i jonizovanog oblika u rastvoru

Primer: slaba kiselina

$$HIn(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + In^-(aq)$$

nejonizovani oblik — **jonizovani oblik**

Boja rastvora indikatora zavisi od odnosa koncentracije jonizovanog i nejonizovanog oblika

$$\frac{[HIn]}{[In^-]}$$

$$\frac{[HIn]}{[In^-]} \geq 10$$

rastvor ima **boju HIn**

$$\frac{[HIn]}{[In^-]} \leq 0{,}1$$

rastvor ima **boju In^-**

$$\frac{[HIn]}{[In^-]} \approx 1$$

rastvor ima **boju** između **HIn** i **In^-**

Kiselo-bazni indikatori

$$HIn(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + In^-(aq)$$

nejonizovan i oblik

jonizovani oblik

$$K_a = \frac{[H^+]\,[In^-]}{[HIn]}$$

i boju određuje $\frac{[HIn]}{[In^-]}$

$$\frac{[HIn]}{[In^-]} = \frac{[H^+]}{K_a}$$

Boja je određena veličinom K_a i koncentracijom H^+-jona u rastvoru

Kiselo-bazni indikatori

- u rastvoru kiseline – velika $[H^+]$

$$HIn(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + In^-(aq)$$

$$\frac{[HIn]}{[In^-]} = \frac{[H^+]}{K_a} > 10$$

Bromtimol-plavo

- u rastvoru baze – mala $[H^+]$

$$HIn(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + In^-(aq)$$

$$\frac{[HIn]}{[In^-]} = \frac{[H^+]}{K_a} < 0,1$$

Kiselo-bazni indikatori

- vrednost K_a određuje pri kom pH dolazi do promene boje

$$\frac{[HIn]}{[In^-]} = \frac{[H^+]}{K_a} \approx 1$$

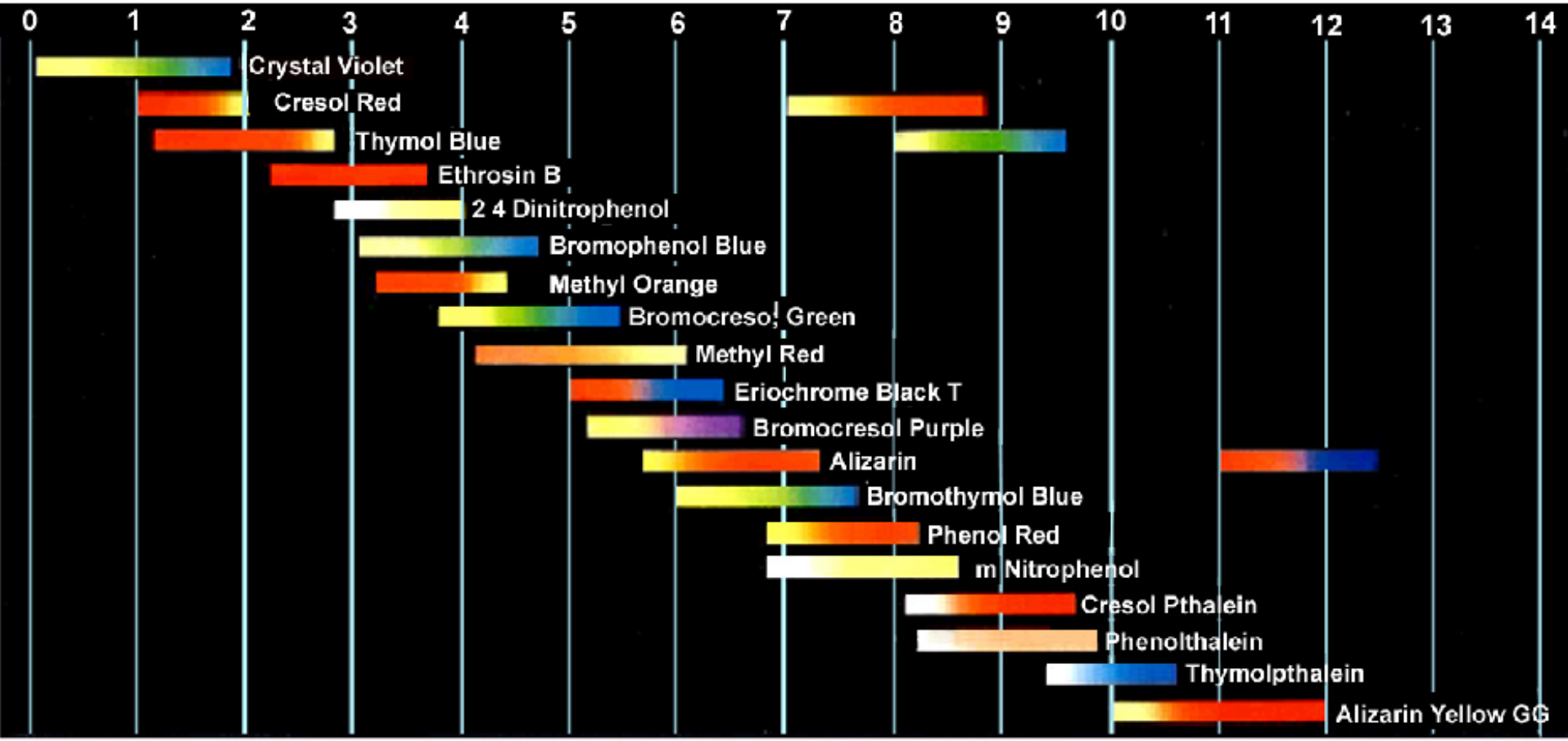
dolazi do promene boje

$$[H^+] \approx K_a \longrightarrow pH \approx pK_a$$

- za bromtimol plavo $K_a = 1 \cdot 10^{-7}$

$pK_a = 7$ ⟶ promena boje se dešava na pH ≈ 7

Kiselo-bazni indikatori



Reakcije između kiselina i baza; neutralizacija

Jonska jednačina reakcije između kisleline i baze zavisi od jačine kiseline i baze

Jaka kiselina-jaka baza

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O$$

kiselina | baza | so

$$H^+(aq) + Cl^-(aq) + Na^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq) + H_2O$$

jaka kiselina | jaka baza | joni posmatrači

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O \qquad \Delta_n H = -56 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$K = \frac{1}{K_w} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-14}} = 1 \cdot 10^{14}$$

Reakcija se odigrava do kraja

Reakcije između kiselina i baza; neutralizacija

Slaba kiselina-jaka baza

$$CH_3COOH(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow CH_3COONa(aq) + H_2O$$

kiselina — baza — so

$$CH_3COOH(aq) + Na^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + Na^+(aq) + H_2O$$

slaba kiselina — jaka baza

$$CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O$$

slaba kiselina

reakcija suprotna reakciji hidrolize acetat jona $K_b(CH_3COO^-) = 5{,}6 \cdot 10^{-10}$

$$K = \frac{1}{K_b(CH_3COO^-)} = \frac{1}{5{,}6 \cdot 10^{-10}} = 1{,}8 \cdot 10^9$$

Reakcija se odigrava do kraja

$$HA(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow A^-(aq) + H_2O$$

$\Delta_n H' \neq -56$ kJ mol^{-1}

Reakcije između kiselina i baza; neutralizacija

Podsećanje:

$$HA(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow A^-(aq) + H_2O \qquad \Delta_n H' \neq -56 \text{ kJ mol}^{-1}$$

(1) $HA(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq)$ $\quad \Delta_i H > 0$ jonizacija je endoterman proces

(2) $H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O$ $\quad \Delta_n H = -56 \text{ kJ mol}^{-1}$

---

(1) + (2) $HA(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow A^-(aq) + H_2O$ $\quad \Delta_n H' > -56 \text{ kJ mol}^{-1}$

Reakcije između kiselina i baza; neutralizacija

Jaka kiselina-slaba baza

$$HCl(aq) + NH_3(aq) \longrightarrow NH_4Cl(aq)$$

kiselina — baza — so

$$H^+(aq) + Cl^-(aq) + NH_3(aq) \longrightarrow NH_4^+(aq) + Cl^-(aq)$$

jaka kiselina — **slaba baza**

$$H^+(aq) + NH_3(aq) \longrightarrow NH_4^+(aq)$$

slaba baza

$$B(aq) + H^+(aq) \longrightarrow BH^+(aq)$$

$\Delta_n H' \neq -56$ kJ mol^{-1}

Reakcije između kiselina i baza; neutralizacija

Slično kao u slučaju slaba kiselina-jaka baza:

$$B(aq) + H^+(aq) \longrightarrow BH^+(aq) \qquad \Delta_n H' \neq -56 \text{ kJ mol}^{-1}$$

(1) $B(aq) + H_2O \rightleftharpoons BH^+(aq) + OH^-(aq)$ $\quad \Delta_i H > 0$ — jonizacija je endoterman proces

(2) $H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O$ $\quad \Delta_n H = -56 \text{ kJ mol}^{-1}$

(1) + (2) $B(aq) + H^+(aq) \longrightarrow BH^+(aq)$ $\quad \Delta_n H' > -56 \text{ kJ mol}^{-1}$

reakcija suprotna reakciji hidrolize amonijum jona $K_a(NH_4^+) = 5{,}6 \cdot 10^{-10}$

$$K = \frac{1}{K_a(NH_4^+)} = \frac{1}{5{,}6 \cdot 10^{-10}} = 1{,}8 \cdot 10^9$$

Reakcija se odigrava do kraja

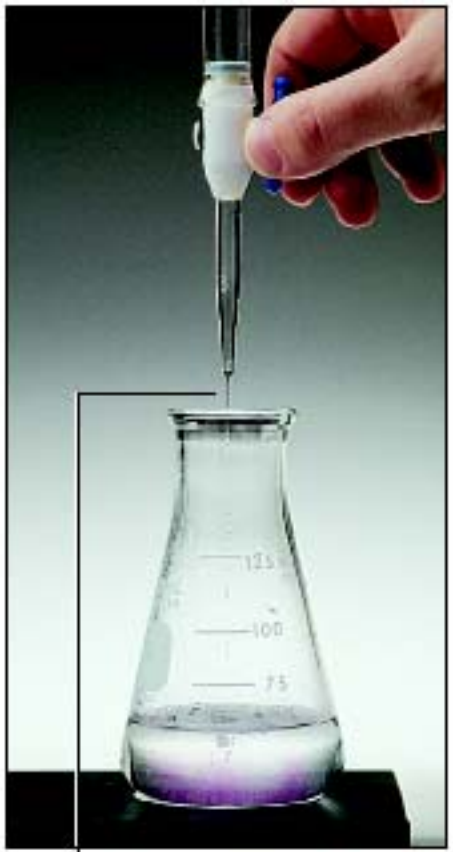
Kiselo-bazna titracija

Erlenmajer sa rastvorom sirćetne kiseline i indikatorom

Bireta sa rastvorom NaOH poznate koncentracije

Za određivanje nepoznate koncentracije ili količine rastvorene supstance
(kiseline ili baze)

Kiselo-bazna titracija



Rastvor NaOH se postepeno dodaje rastvoru CH_3COOH uz mešanje

Kiselina i baza reaguju:

$$CH_3COOH(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow CH_3COONa(aq) + H_2O$$

$$CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O$$

Kiselo-bazna titracija

Postignuta tačka ekvivalencije – promena boje indkatora

$$CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O$$

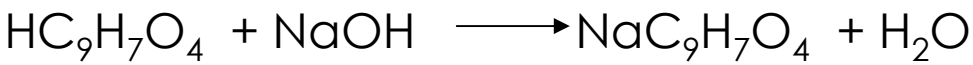
Postignuta **tačka ekvivalencije**

$$n(OH^-) = n(CH_3COOH)$$

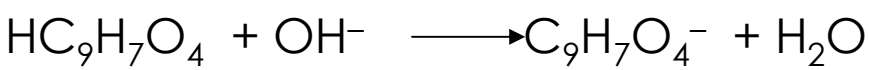
Poznata količina baze na osnovu V i c → može se izračunati nepoznata količina kiseline

Kiselo-bazna titracija

Izračunati sadržaj acetilsalicilne kisline u tableti aspirina mase 2,50 g, ako je za titraciju rastvora tablete utrošeno 25 cm^3 rastvora NaOH koncentracije 0,500 mol dm^{-3}.



$$HC_9H_7O_4 + NaOH \longrightarrow NaC_9H_7O_4 + H_2O$$



$$HC_9H_7O_4 + OH^- \longrightarrow C_9H_7O_4^- + H_2O$$

$$n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH})\, V(\text{NaOH}) = 0{,}500 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 25{\cdot}10^{-3} \text{ dm}^3 = 0{,}0125 \text{ mol}$$

stehiometrija: $n(HC_9H_7O_4) = n(\text{NaOH}) = 0{,}0125$ mol

$$m(HC_9H_7O_4) = n(HC_9H_7O_4)\, M(HC_9H_7O_4) = 0{,}0125 \text{ mol} \cdot 180{,}2 \text{ g mol}^{-1} = 2{,}25 \text{ g}$$

$$100w(HC_9H_7O_4) = \frac{m(HC_9H_7O_4)}{m(\text{tablete})} \cdot 100 = \frac{2{,}25 \text{ g}}{2{,}50 \text{ g}} \cdot 100 = 90 \text{ mas.\%}$$

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Praćenje promene pH tokom dodavanja baze kiselini ili obrnuto – **tok kiselo-bazne titracije**

Kriva zavisnosti pH od zapremine dodate baze ili kiseline – **kriva neutralizacije**

Kako odabrati pogodan indikator?

Tačka ekvivalencije – kraj reakcije neutralizacije

Završna tačka – pH pri kome indikator menja boju

Cilj:

završna tačka ~ tačka ekvivalencije

Postignuta tačka ekvivalencije – promena boje indkatora

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O$$

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O$$

Slaba kiselina-jaka baza

$$CH_3COOH(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow CH_3COONa(aq) + H_2O$$

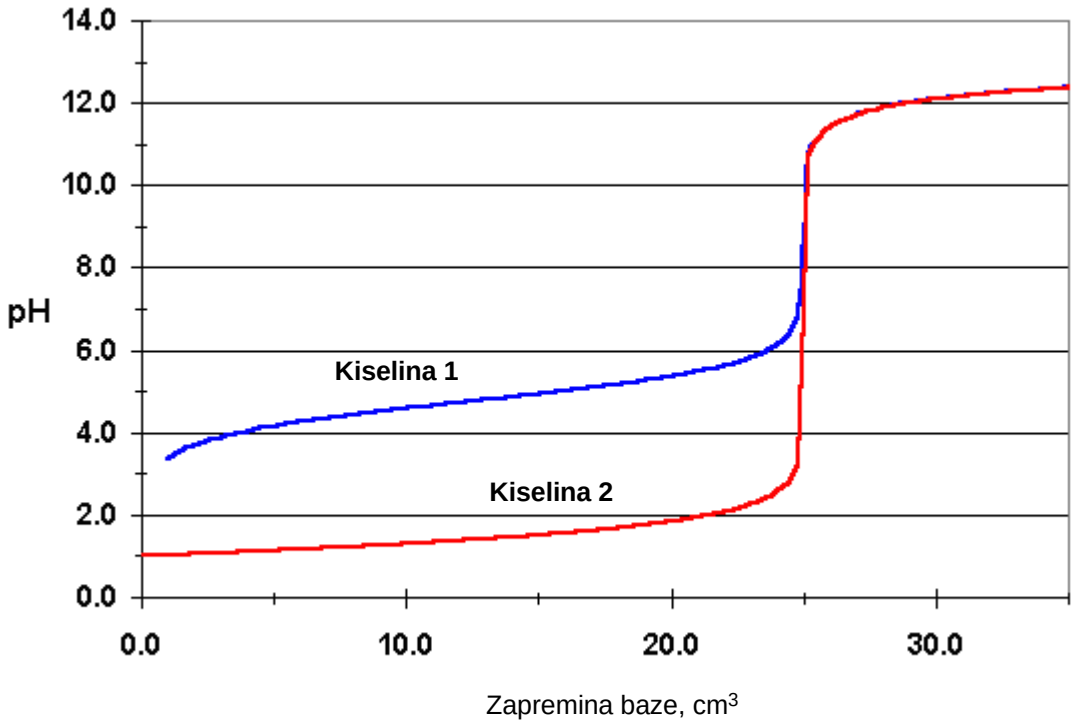
$$CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O$$

Jaka kiselina-slaba baza

$$HCl(aq) + NH_3(aq) \longrightarrow NH_4Cl(aq)$$

$$H^+(aq) + NH_3(aq) \longrightarrow NH_4^+(aq)$$

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije



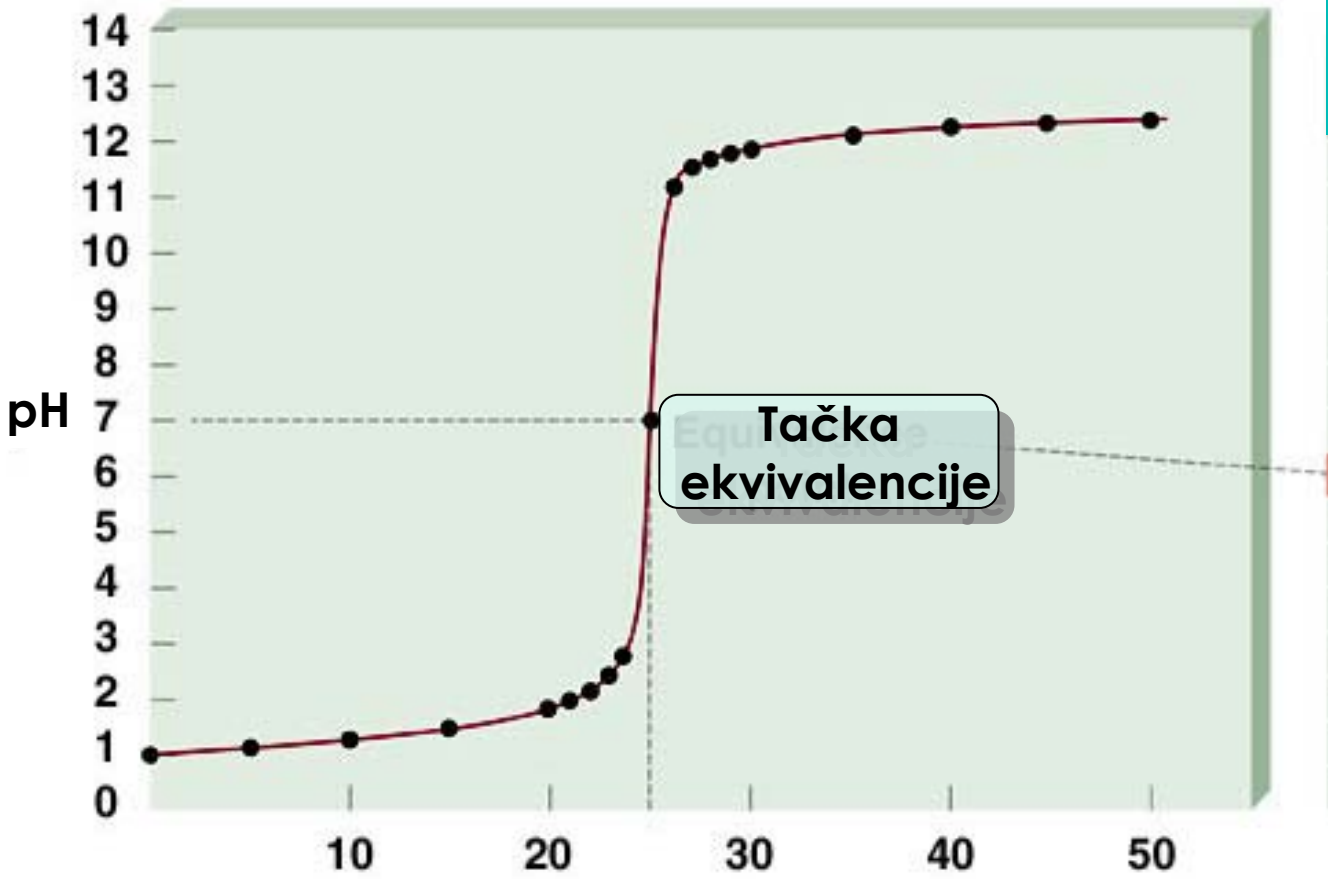
Koja je razlika izmedju kiseline 1 i kiseline 2?

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

$V(HCl) = 25{,}0\ cm^3$; $c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	1.00
5.0	1.18
10.0	1.37
15.0	1.60
20.0	1.95
22.0	2.20
24.0	2.69
25.0	7.00
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

V(HCl) = 25,0 cm^3; c(HCl) = 0,10 mol dm^{-3}

c(NaOH) = 0,10 mol dm^{-3}

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O$$

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O$$

Četiri oblasti:

1. **početni rastvor** kiseline pre dodatka baze
2. **pre postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 24,0 cm^3 NaOH)
3. **tačka ekvivalencije** – dodato 25,0 cm^3 NaOH
4. **nakon postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 26,0 cm^3 NaOH)

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

$V(HCl) = 25{,}0\ cm^3$; $c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

1. **početni rastvor** kiseline pre dodatka baze

$$HCl(aq) + H_2O \longrightarrow H_3O^+(aq) + Cl^-(aq)$$

jaka kiselina

$$[H^+] = c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$$

pH = 1,00

količina kiseline u rastvoru:

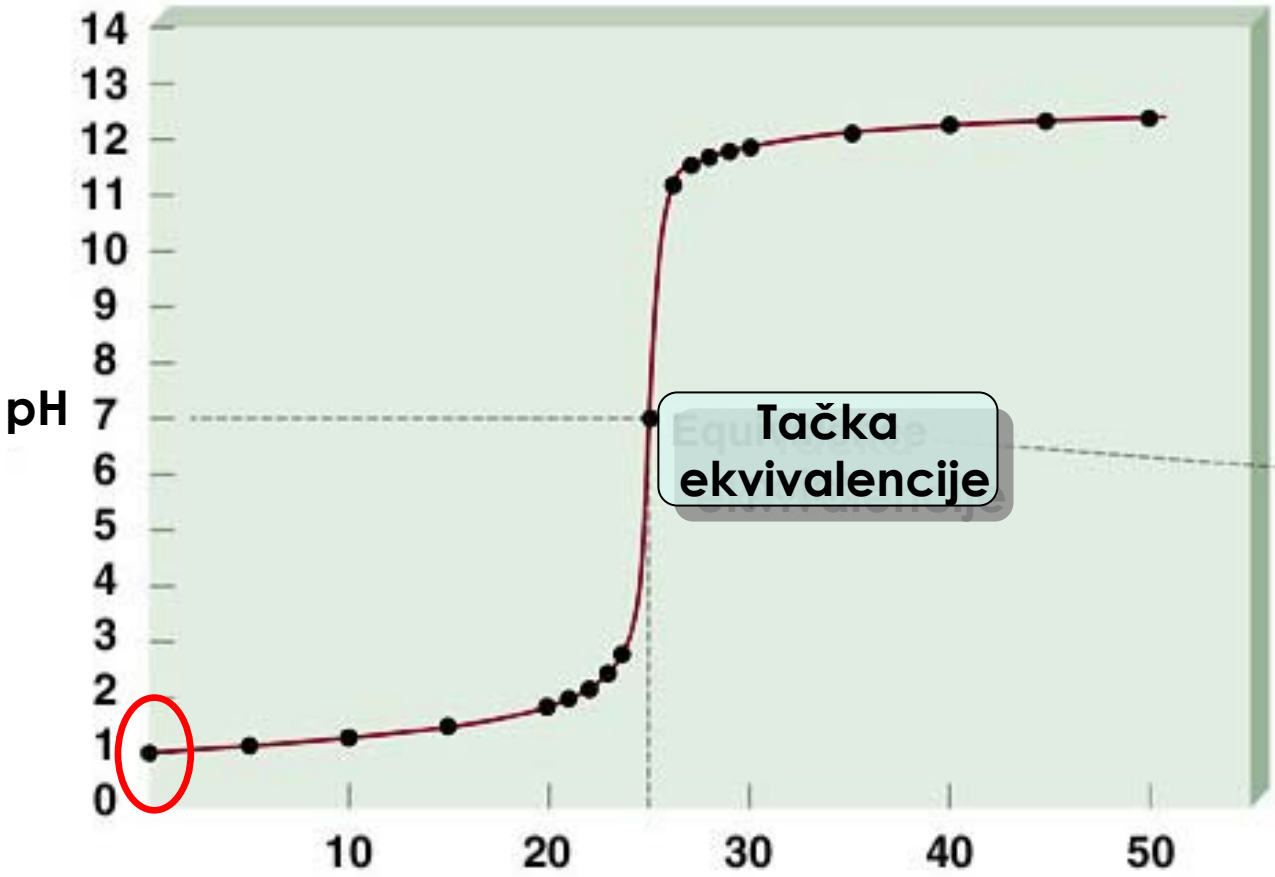
$$n(H^+)_{ukupno} = c(HCl) \cdot V(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3} \cdot 25{,}0 \cdot 10^{-3}\ dm^{-3} = 0{,}0025\ mol$$

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

$V(HCl) = 25{,}0\ cm^3$; $c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	1.00
5.0	1.18
10.0	1.37
15.0	1.60
20.0	1.95
22.0	2.20
24.0	2.69
25.0	7.00
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

$V(HCl) = 25{,}0\ cm^3$; $c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

2. **pre postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 24,0 cm^3 NaOH)

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O$$

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O$$

- dodato baze:

$n(OH^-) = c(NaOH) \cdot V(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3} \cdot 24{,}0 \cdot 10^{-3}\ dm^{-3} = 0{,}0024\ mol$

- deo kiseline je izreagovao: $n(OH^-) = n(H^+)_{proreagovalo} = 0{,}0024\ mol$

- količina preostale kiseline:

$$n(H^+) = n(H^+)_{ukupno} - n(H^+)_{proreagovalo} = 0{,}0025 - 0{,}0024 = 0{,}0001\ mol$$

$V_{ukupno} = 25{,}0 + 24{,}0 = 49{,}0\ cm^3$

$$[H^+] = \frac{n(H^+)}{V_{ukupno}} = 2{,}04 \cdot 10^{-3}\ mol\ dm^{-3}$$

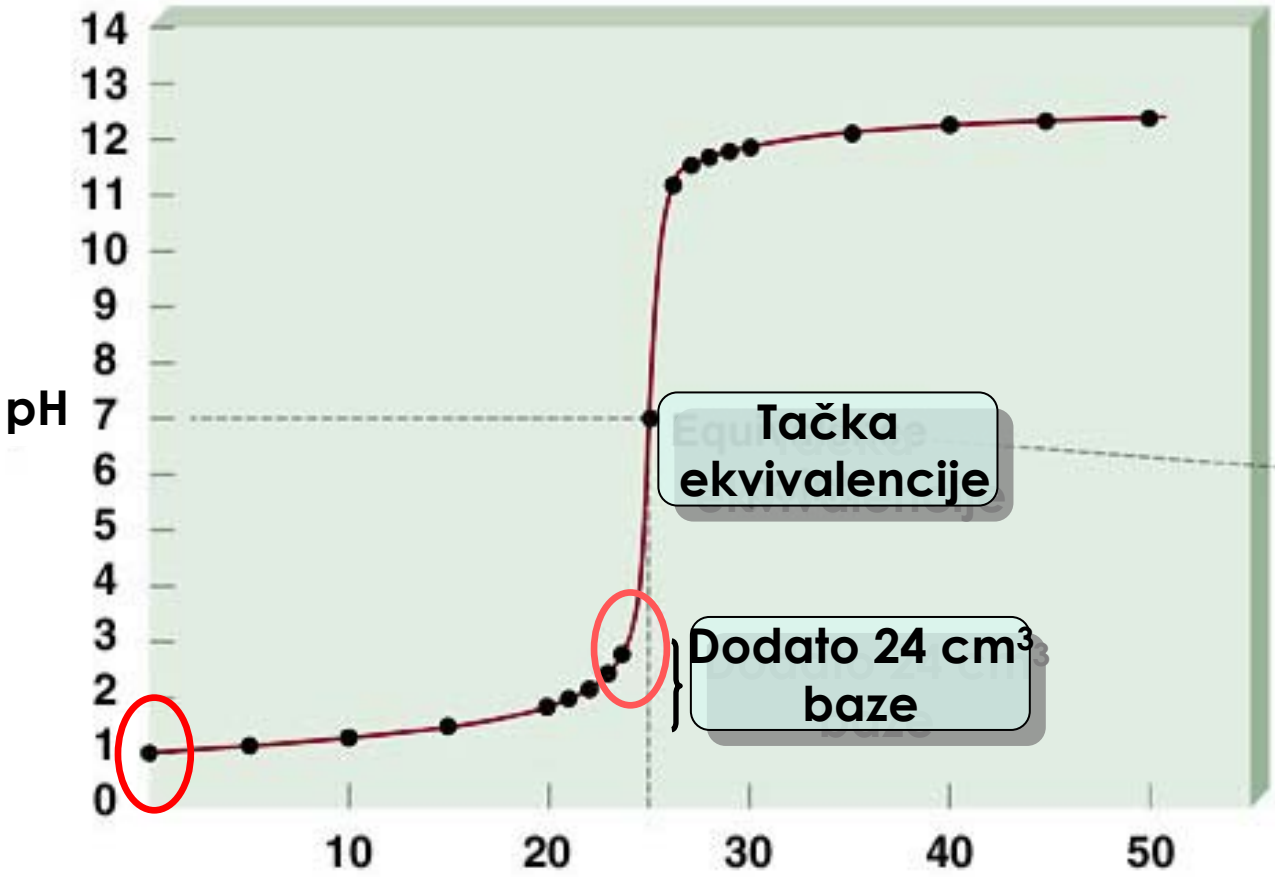
pH = 2,69

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

$V(HCl) = 25{,}0\ cm^3$; $c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	1.00
5.0	1.18
10.0	1.37
15.0	1.60
20.0	1.95
22.0	2.20
24.0	2.69
25.0	7.00
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

$V(HCl) = 25{,}0\ cm^3$; $c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O$$

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O$$

3. **tačka ekvivalencije** – dodato 25,0 cm^3 NaOH

$n(H^+) = n(OH^-)$ potpuna neutralizacija

U rastvoru su NaCl (Na^+- i Cl^--joni) i voda

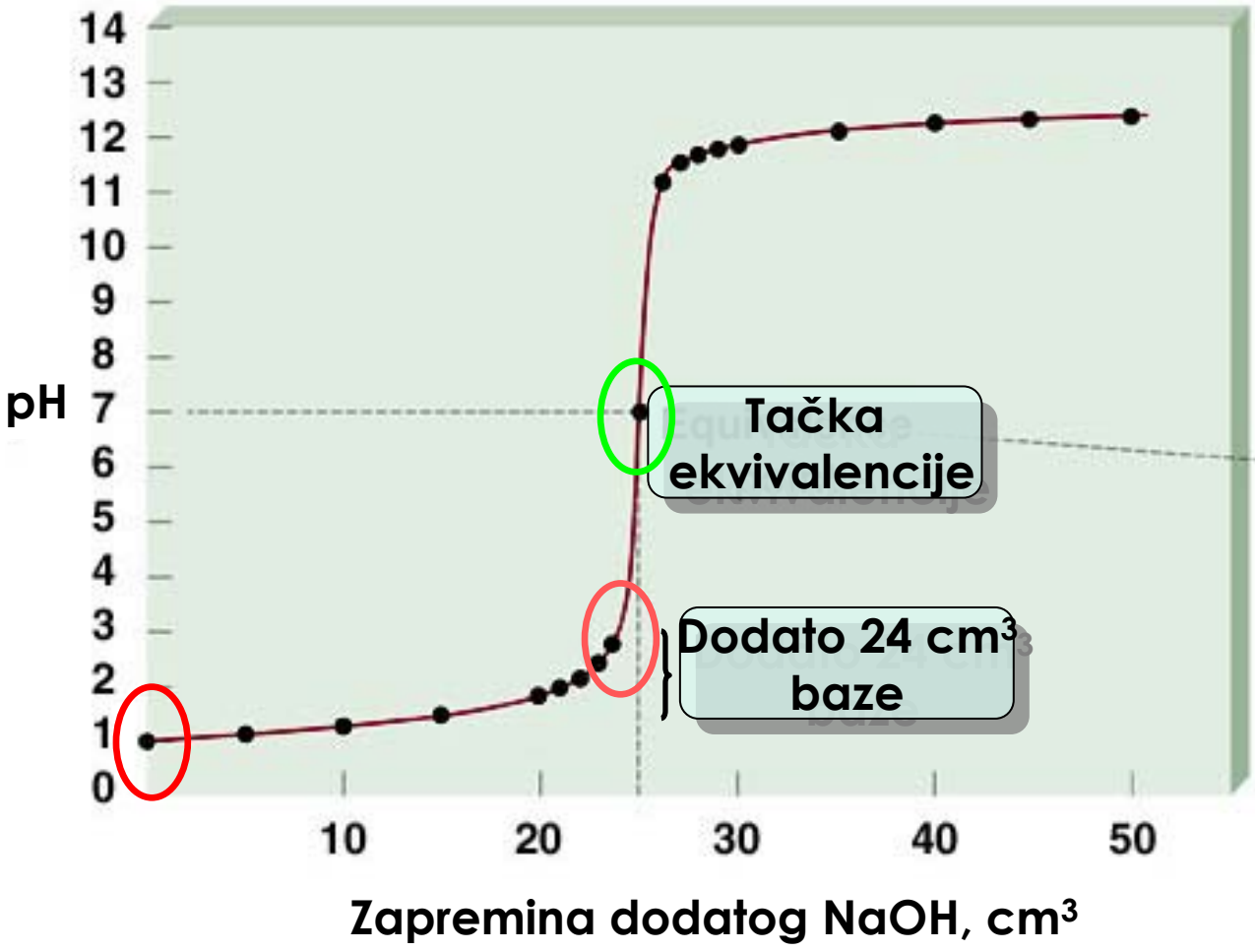
Vodeni rastvor NaCl reaguje neutralno ⟶ pH = 7

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

$V(HCl) = 25{,}0\ cm^3$; $c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	1.00
5.0	1.18
10.0	1.37
15.0	1.60
20.0	1.95
22.0	2.20
24.0	2.69
25.0	7.00
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

$V(HCl) = 25{,}0\ cm^3$; $c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O$$

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O$$

4. **nakon postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 26,0 cm^3 NaOH)

- dodato baze:

$n(OH^-)_{ukupno} = c(NaOH) \cdot V(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3} \cdot 26{,}0 \cdot 10^{-3}\ dm^{-3} = 0{,}0026\ mol$

- sva kiselina je izreagovala: $n(H^+)_{ukupno} = 0{,}0025$ mol kiseline je utrošeno

- deo baze je izreagovao: $n(OH^-)_{prpreagovalo} = n(H^+)_{ukupno} = 0{,}0025\ mol$

- količina preostale baze:

$$n(OH^-) = n(OH^-)_{ukupno} - n(OH^-)_{proreagovalo} = 0{,}0026 - 0{,}0025 = 0{,}0001\ mol$$

$V_{ukupno} = 25{,}0 + 26{,}0 = 51{,}0\ cm^3$

$$[OH^-] = \frac{n(OH^-)}{V_{ukupno}} = 1{,}96 \cdot 10^{-3}\ mol\ dm^{-3}$$

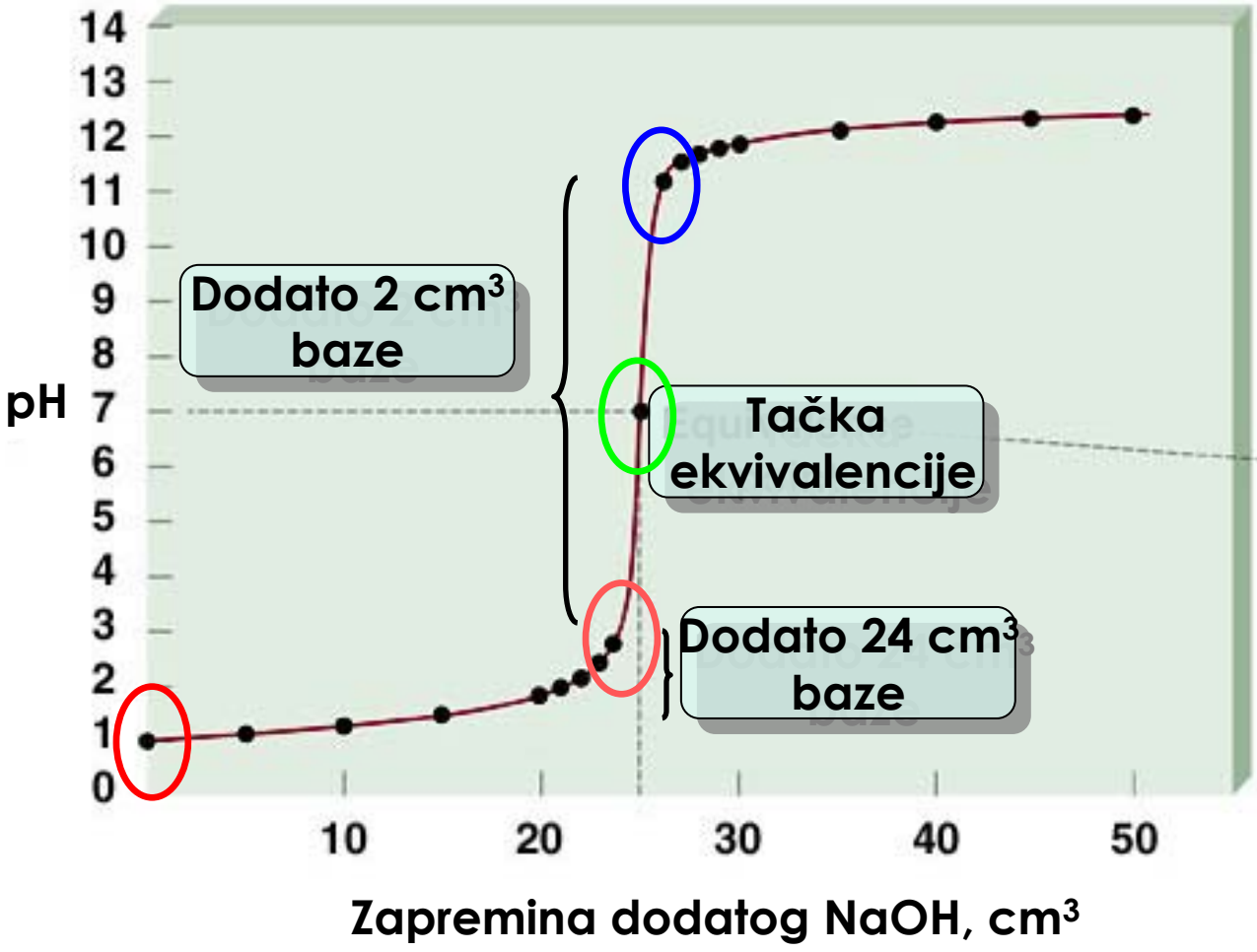
$pOH = 2{,}71$ $\quad$ $pH = 11{,}29$

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Jaka kiselina-jaka baza

$V(HCl) = 25{,}0\ cm^3$; $c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

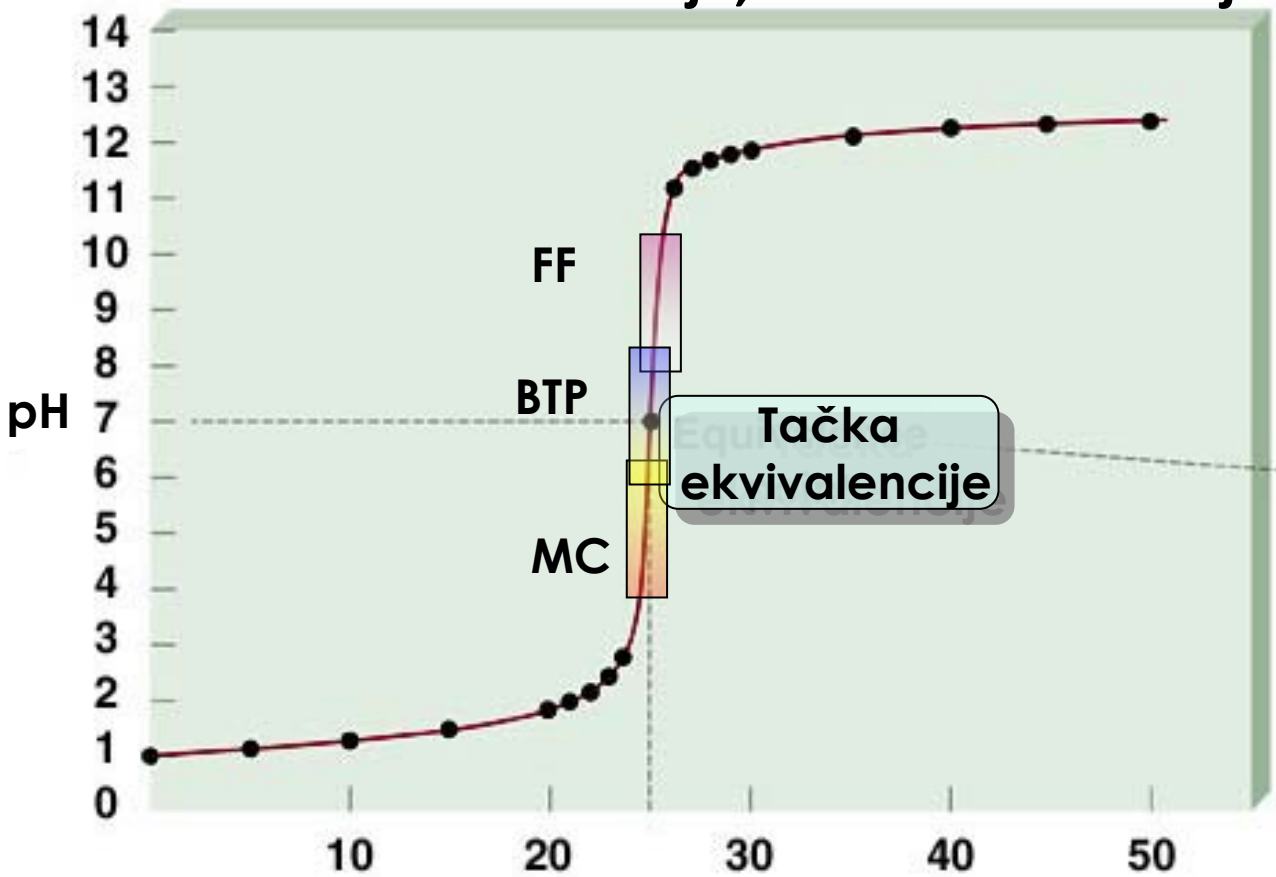
$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	1.00
5.0	1.18
10.0	1.37
15.0	1.60
20.0	1.95
22.0	2.20
24.0	2.69
25.0	7.00
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Jaka kiselina-jaka baza

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	1.00
5.0	1.18
10.0	1.37
15.0	1.60
20.0	1.95
22.0	2.20
24.0	2.69
25.0	7.00
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Zapremina dodatog NaOH, cm³

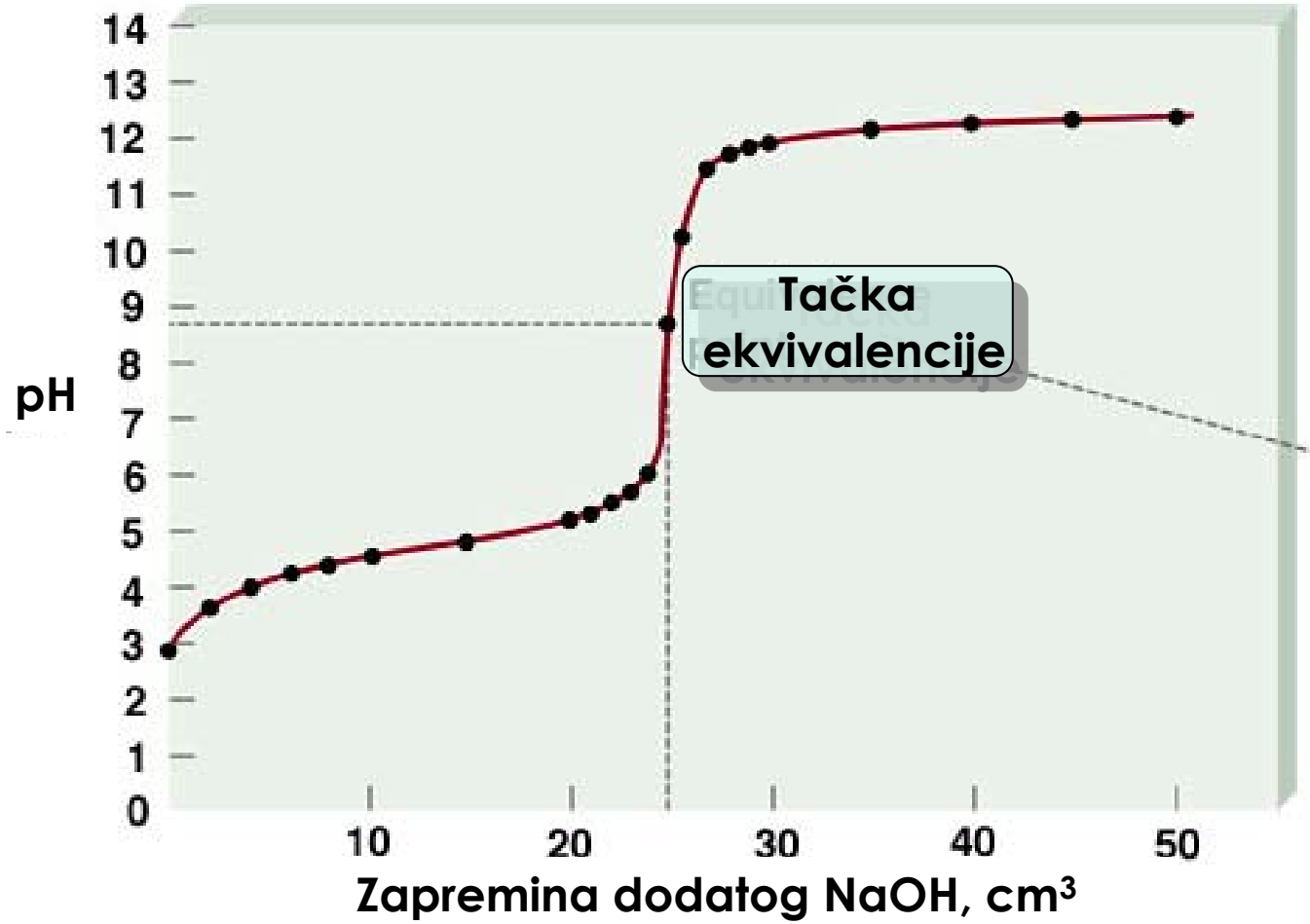
- Metil-crveno (MC): 4,4 – 6,2
- Bromtimol-plavo (BTP): 6,0 – 7,6
- Fenolftalein (FF): 8,2 – 9,8

može se koristiti bilo koji od navedenih indikatora

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	2.87
5.0	4.14
10.0	4.57
15.0	4.92
20.0	5.35
22.0	5.61
24.0	6.12
25.0	8.72
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$$CH_3COOH(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow CH_3COONa(aq) + H_2O$$

$$CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O$$

Četiri oblasti:

1. **početni rastvor** kiseline pre dodatka baze
2. **pre postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 24,0 cm^3 NaOH)
3. **tačka ekvivalencije** – dodato 25,0 cm^3 NaOH
4. **nakon postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 26,0 cm^3 NaOH)

Tok kiselo-bazne titracije; kriva

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

1. **početni rastvor** kiseline pre dodatka baze

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H_3O^+$$

Koncentracija H^+-jona određena konstantom jonizacije i koncentracijom kiseline

$$[H^+] = \sqrt{K_a\, c(CH_3COOH)}$$

$[H^+] = 1{,}34 \cdot 10^{-3}\ mol\ dm^{-3}$ *

pH = 2,87

količina kiseline u rastvoru:

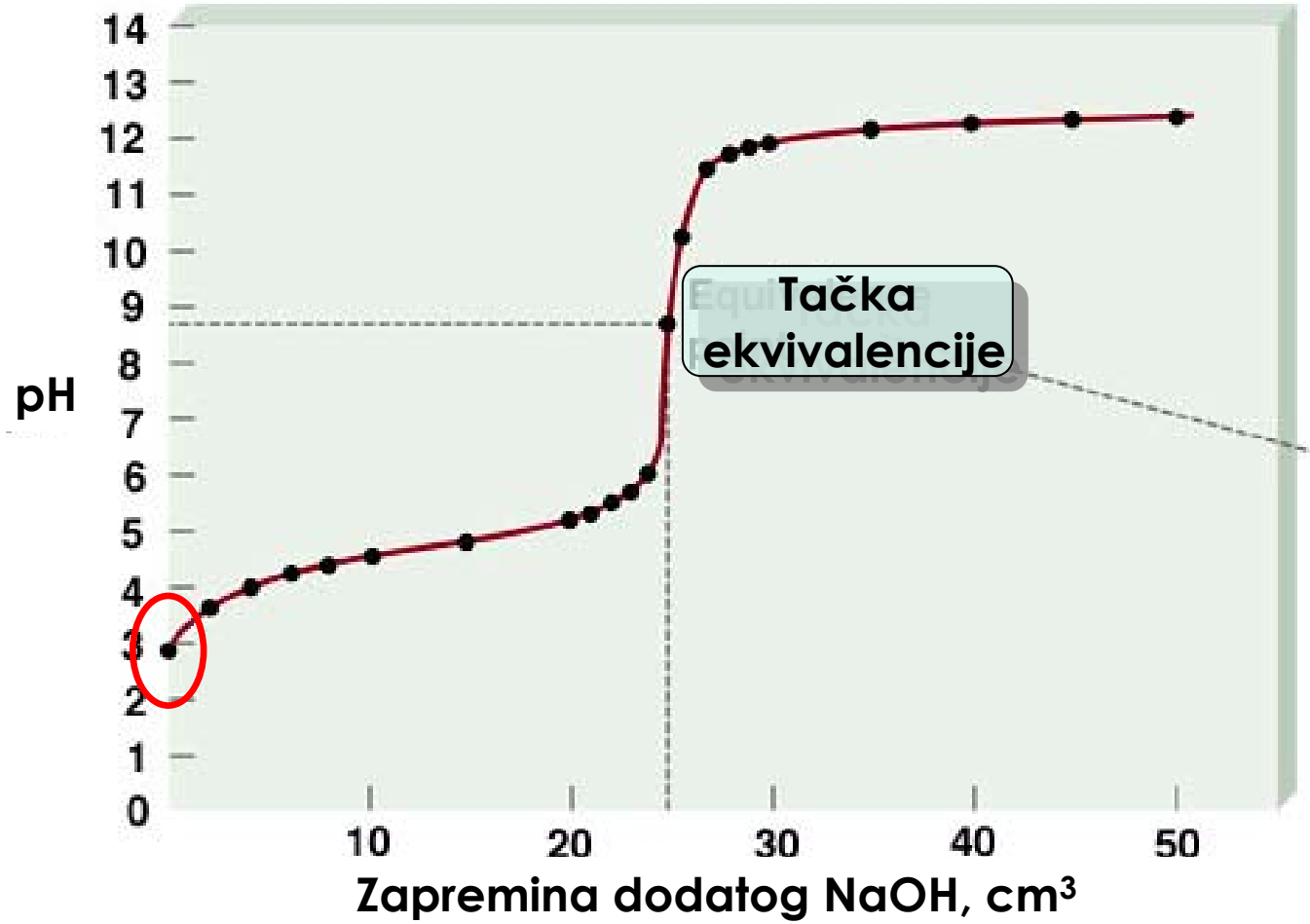
$$n(CH_3COOH)_{ukupno} = c \cdot V = 0{,}10\ mol\ dm^{-3} \cdot 25{,}0 \cdot 10^{-3}\ dm^{-3} = 0{,}0025\ mol$$

*provera za $\alpha = 1{,}34\ \% < 2\ \%$

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	2.87
5.0	4.14
10.0	4.57
15.0	4.92
20.0	5.35
22.0	5.61
24.0	6.12
25.0	8.72
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

2. **pre postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 24,0 cm^3 NaOH)

$$CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O$$

- dodato baze:

$n(OH^-) = c(NaOH) \cdot V(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3} \cdot 24{,}0 \cdot 10^{-3}\ dm^{-3} = 0{,}0024\ mol$

- deo kiseline je izreagovao: $n(CH_3COOH)_{proreagovalo} = n(OH^-) = 0{,}0024\ mol$

- količina preostale kiseline:

$\boxed{n(CH_3COOH)} = n(CH_3COOH)_{ukupno} - n(CH_3COOH)_{proreagovalo} = 0{,}0025 - 0{,}0024 = 0{,}0001\ mol$

- količina acetatnog jona koji je nastao u reakciji

$\boxed{n(CH_3COO^-)} = n(CH_3COOH)_{proreagovalo} = n(OH^-) = 0{,}0024\ mol$

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

2. **pre postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 24,0 cm^3 NaOH)

$$CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O$$

U rastvoru se nalazi neproreagovala kiselina i nastali acetatni joni

$n(CH_3COOH) = 0{,}0001\ mol$

$V_{ukupno} = 25{,}0 + 24{,}0 = 49{,}0\ cm^3$

$$[CH_3COOH] = \frac{n(CH_3COOH)}{V_{ukupno}} = 2{,}04 \cdot 10^{-3}\ mol\ dm^{-3}$$ neproreagovala kiselina

$n(CH_3COO^-) = 0{,}0024\ mol$

$$[CH_3COO^-] = \frac{n(CH_3COO^-)}{V_{ukupno}} = 4{,}90 \cdot 10^{-2}\ mol\ dm^{-3}$$ nastali acetatni joni

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

2. **pre postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 24,0 cm^3 NaOH)

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H_3O^+$$

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-]\,[H_3O^+]}{[CH_3COOH]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

nastali acetatni joni utiču na jonizaciju kiseline – puferski sistem

$$[H_3O^+] = \frac{K_a\ [CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]} = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot 2{,}04 \cdot 10^{-3}}{4{,}90 \cdot 10^{-2}} = 7{,}49 \cdot 10^{-7}\ mol\ dm^{-3}\ *$$

pH = 6,12

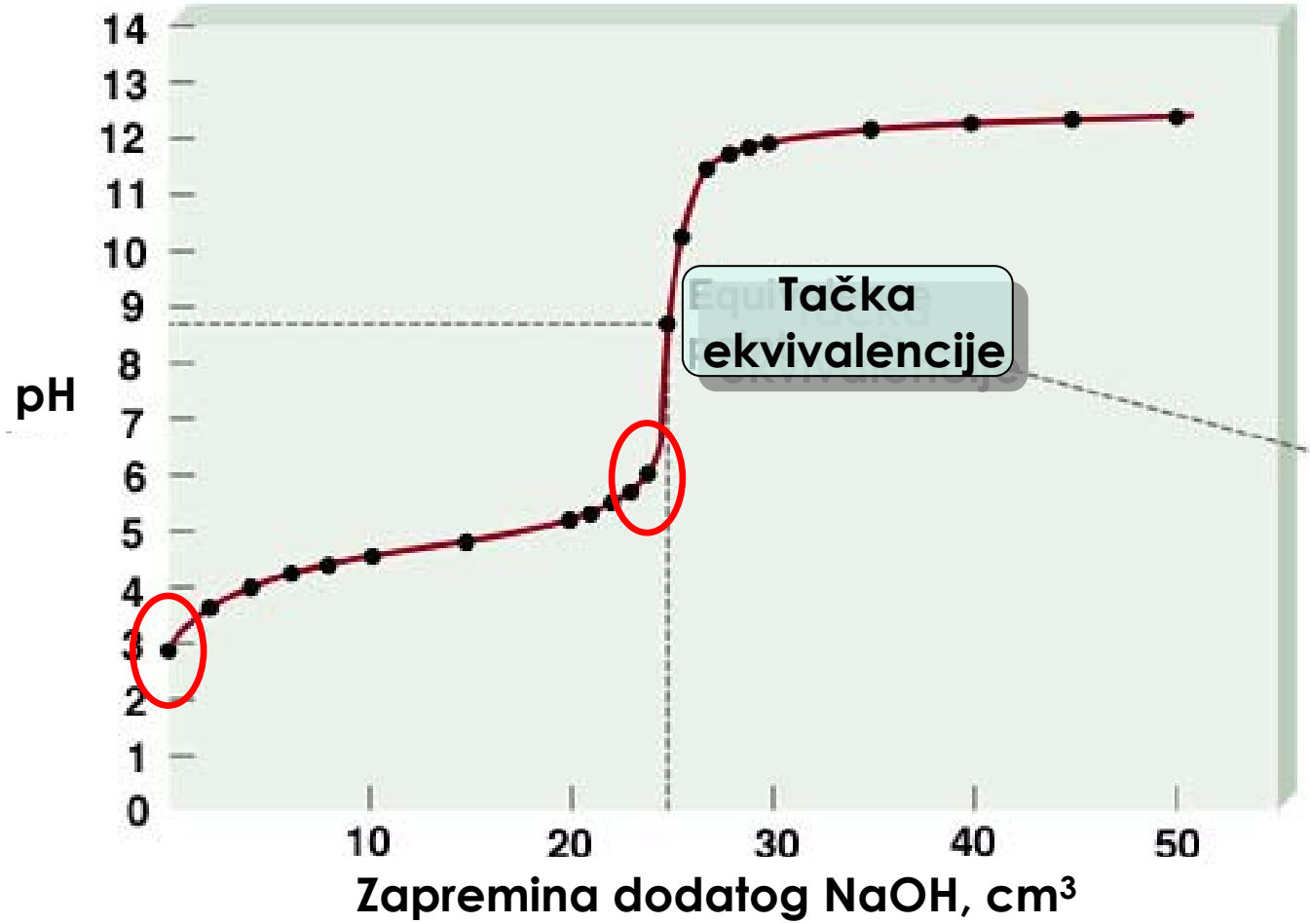
(u slučaju jaka kiselina-jaka baza u ovom trenutku pH = 2,69)

*provera za α

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	2.87
5.0	4.14
10.0	4.57
15.0	4.92
20.0	5.35
22.0	5.61
24.0	6.12
25.0	8.72
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

3. **tačka ekvivalencije** – dodato 25,0 cm^3 NaOH

$$CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O$$

$n(CH_3COOH) = n(OH^-) = 0{,}0025\ mol$ potpuna reakcija

U rastvoru su CH_3COONa (CH_3COO^-- i Na^+-joni i voda)

CH_3COONa reaguje bazno zbog hidrolize acetatnog jona

$n(CH_3COOH) = n(OH^-) = 0{,}0025\ mol = n(CH_3COO^-)$

$V_{ukupno} = 25{,}0 + 25{,}0 = 50{,}0\ cm^3$

$$[CH_3COO^-] = \frac{n(CH_3COO^-)}{V_{ukupno}} = 5{,}00 \cdot 10^{-2}\ mol\ dm^{-3}$$

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

3. **tačka ekvivalencije** – dodato 25,0 cm^3 NaOH

$$CH_3COO^-(aq) + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + OH^-(aq)$$

$$K_b = K_h = \frac{[OH^-][CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]} = \frac{K_w}{K_a(CH_3COOH)} = \frac{1\cdot10^{-14}}{1{,}8\cdot10^{-5}} = 5{,}6\cdot10^{-10}$$

$$[OH^-] = \sqrt{K_b\,[CH_3COO^-]} = 5{,}29\cdot10^{-6}\ mol\ dm^{-3}\ *$$

pOH = 5,28

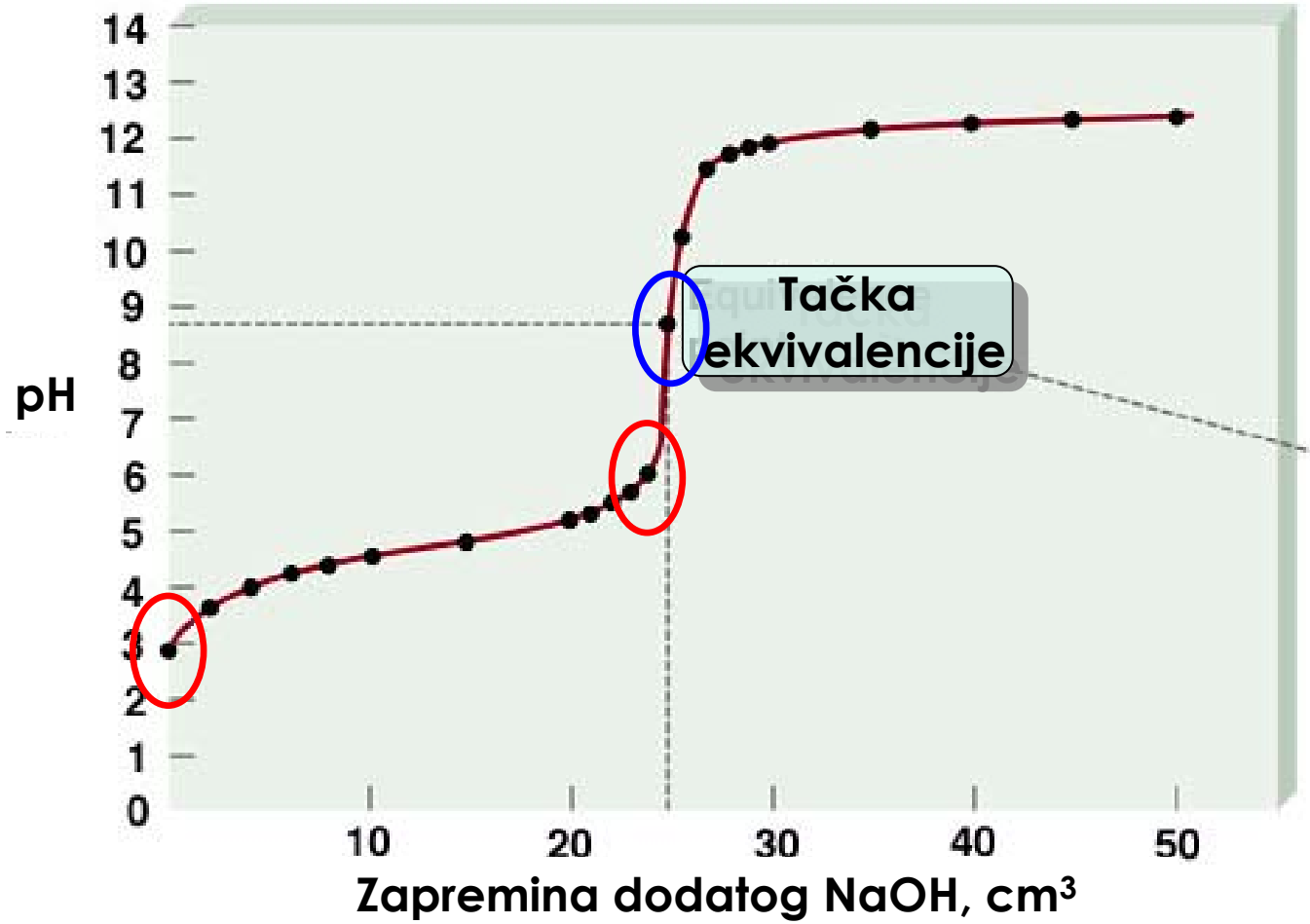
pH = 8,72

*provera za h = 0,0106 % < 2 %

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	2.87
5.0	4.14
10.0	4.57
15.0	4.92
20.0	5.35
22.0	5.61
24.0	6.12
25.0	8.72
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

4. **nakon postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 26,0 cm^3 NaOH)

$$CH_3COOH(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow CH_3COO^-(aq) + H_2O$$

- dodato baze:

$$n(OH^-)_{ukupno} = c(NaOH) \cdot V(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3} \cdot 26{,}0 \cdot 10^{-3}\ dm^{-3} = 0{,}0026\ mol$$

- sva kiselina je izreagovala: $n(H^+)_{ukupno} = 0{,}0025$ mol kiseline je utrošeno

- deo baze je izreagovao: $n(OH^-)_{proreagovalo} = n(H^+)_{ukupno} = 0{,}0025$ mol

- količina preostale baze:

$$n(OH^-) = n(OH^-)_{ukupno} - n(OH^-)_{proreagovalo} = 0{,}0026 - 0{,}0025 = 0{,}0001\ mol$$

$V_{ukupno} = 25{,}0 + 26{,}0 = 51{,}0\ cm^3$

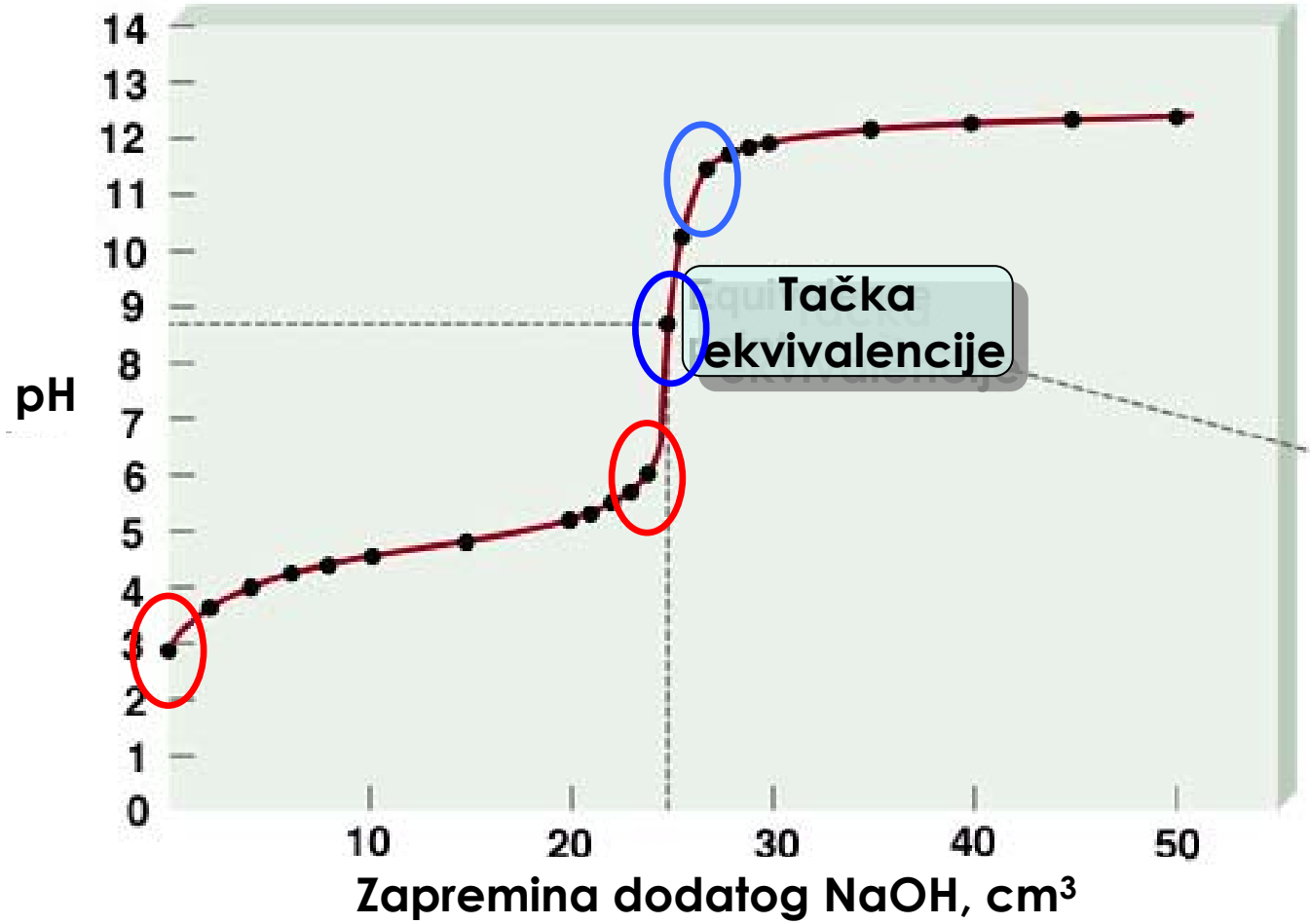
$$[OH^-] = \frac{n(OH^-)}{V_{ukupno}} = 1{,}96 \cdot 10^{-3}\ mol\ dm^{-3}$$

$pOH = 2{,}71$ $\boxed{pH = 11{,}29}$

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba kiselina-jaka baza $V(CH_3COOH) = 25{,}0\ cm^3$; $c(CH_3COOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

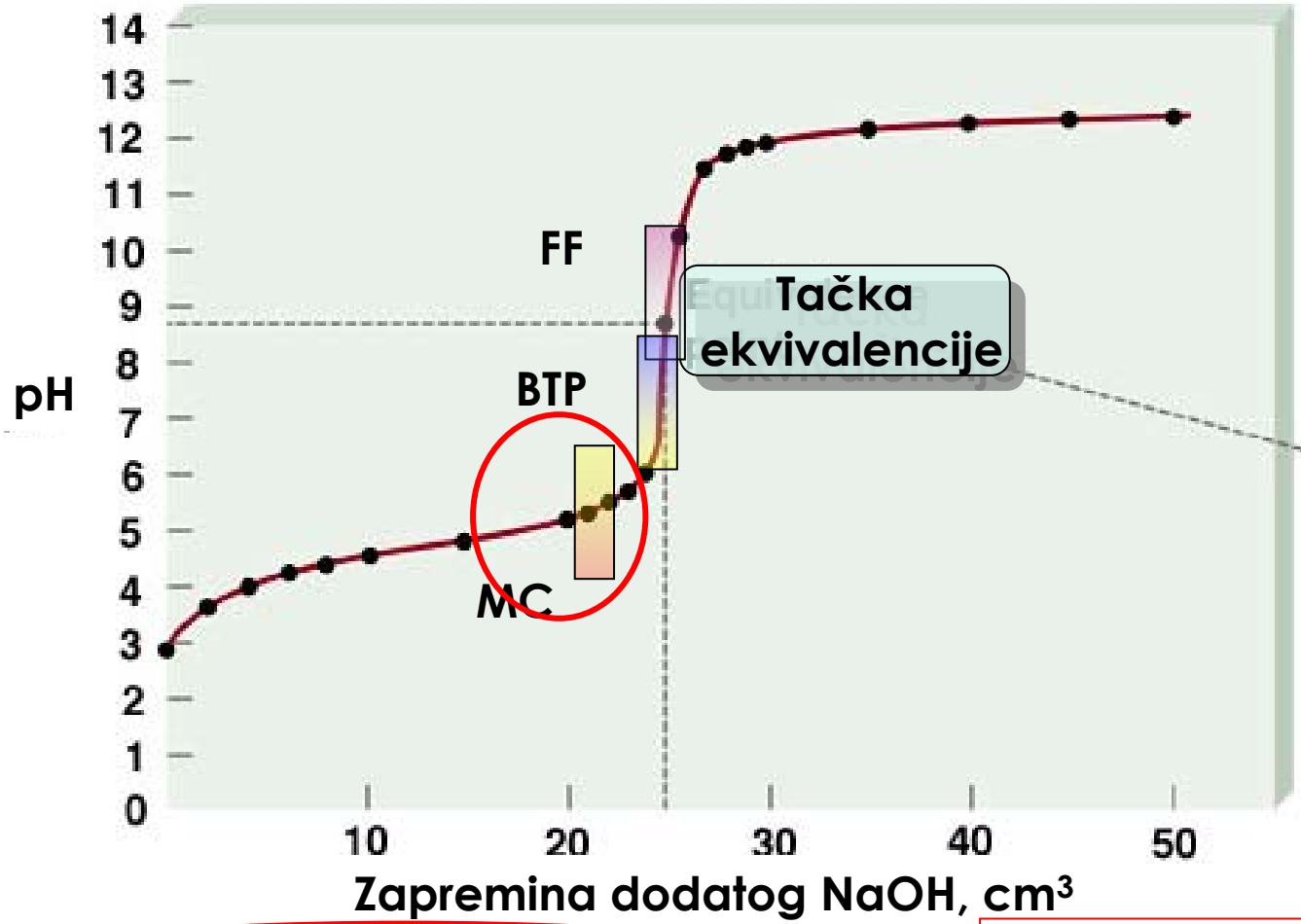
$c(NaOH) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	2.87
5.0	4.14
10.0	4.57
15.0	4.92
20.0	5.35
22.0	5.61
24.0	6.12
25.0	8.72
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Slaba kiselina-jaka baza

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije



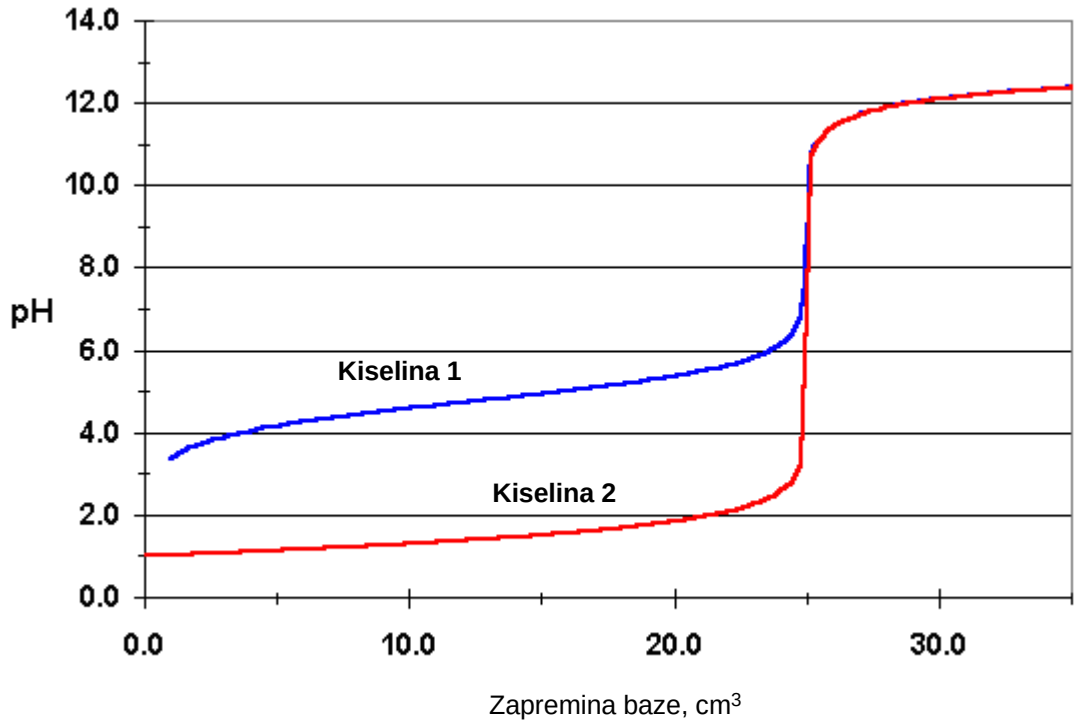
Zapremina NaOH, cm³	pH
0.0	2.87
5.0	4.14
10.0	4.57
15.0	4.92
20.0	5.35
22.0	5.61
24.0	6.12
25.0	8.72
26.0	11.29
28.0	11.75
30.0	11.96
35.0	12.22
40.0	12.36
45.0	12.46
50.0	12.52

Metil-crveno (MC): 4,4 – 6,2 → ne može se koristiti

Bromtimol-plavo (BTP): 6,0 – 7,6

Fenolftalein (FF): 8,2 – 9,8

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije



Jaka kiselina-jaka baza

Slaba kiselina-jaka baza

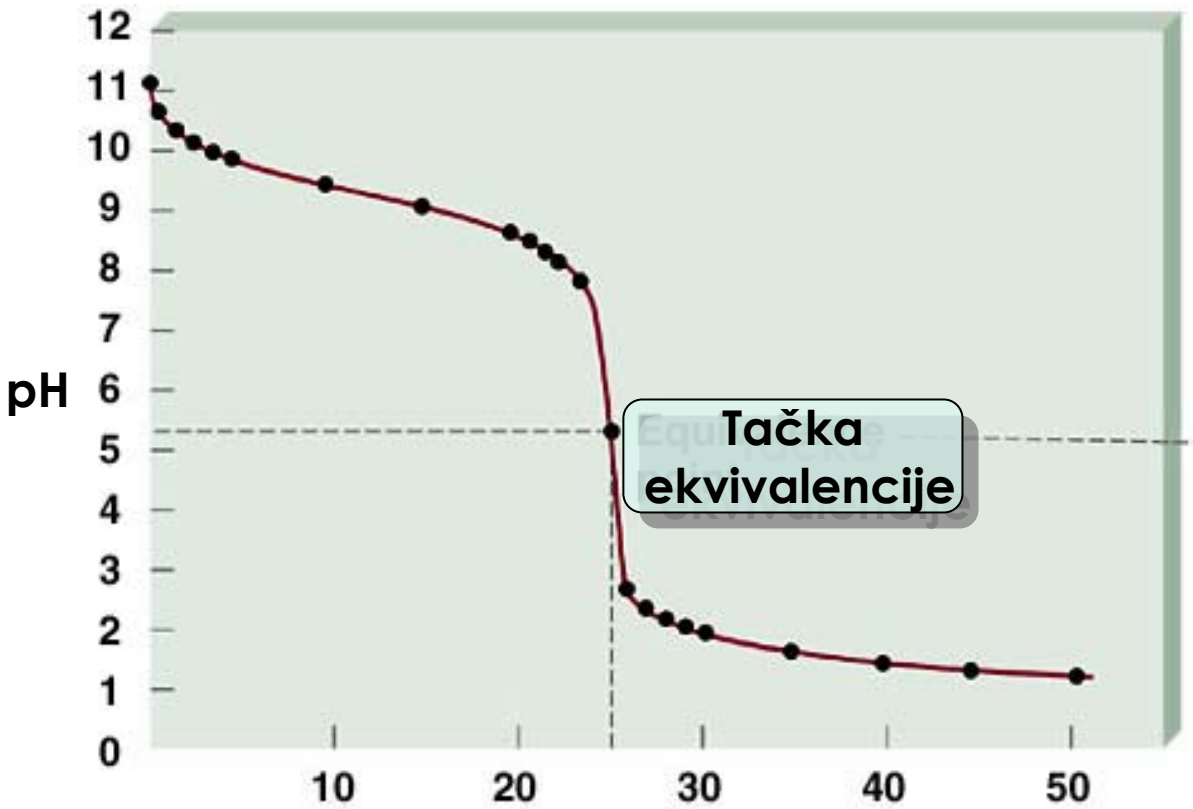
Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba baza-jaka kiselina

$V(NH_3)$ = 25,0 cm^3; $c(NH_3)$ = 0,10 mol dm^{-3}

$c(HCl)$ = 0,10 mol dm^{-3}

$$NH_3(aq) + HCl(aq) \longrightarrow NH_4Cl(aq) + H_2O$$



Zapremina HCl, cm^3	pH
0.0	11.13
5.0	9.86
10.0	9.44
15.0	9.08
20.0	8.66
22.0	8.39
24.0	7.88
25.0	5.28
26.0	2.70
28.0	2.22
30.0	2.00
35.0	1.70
40.0	1.52
45.0	1.40
50.0	1.30

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba baza-jaka kiselina

$V(NH_3)$ = 25,0 cm^3; $c(NH_3)$ = 0,10 mol dm^{-3}

$c(HCl)$ = 0,10 mol dm^{-3}

$$NH_3(aq) + HCl(aq) \longrightarrow NH_4Cl(aq) + H_2O$$

$$NH_3(aq) + H^+(aq) \longrightarrow NH_4^+(aq)$$

Četiri oblasti:

1. **početni rastvor** baze pre dodatka kiseline
2. **pre postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 24,0 cm^3 HCl)
3. **tačka ekvivalencije** – dodato 25,0 cm^3 HCl
4. **nakon postizanja tačke ekvivalencije** (npr. dodato 26,0 cm^3 HCl)

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba baza-jaka kiselina

$V(NH_3)$ = 25,0 cm^3; $c(NH_3)$ = 0,10 mol dm^{-3}

c(HCl) = 0,10 mol dm^{-3}

1. početni rastvor baze pre dodatka kiseline

Koncentracija OH^--jona određena konstantom jonizacije i koncentracijom baze

$$NH_3(aq) + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq) \qquad K_b(NH_3) = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

$$[OH^-] = \sqrt{K_b\, c(NH_3)} = 1{,}34 \cdot 10^{-3}\ \text{mol dm}^{-3}$$

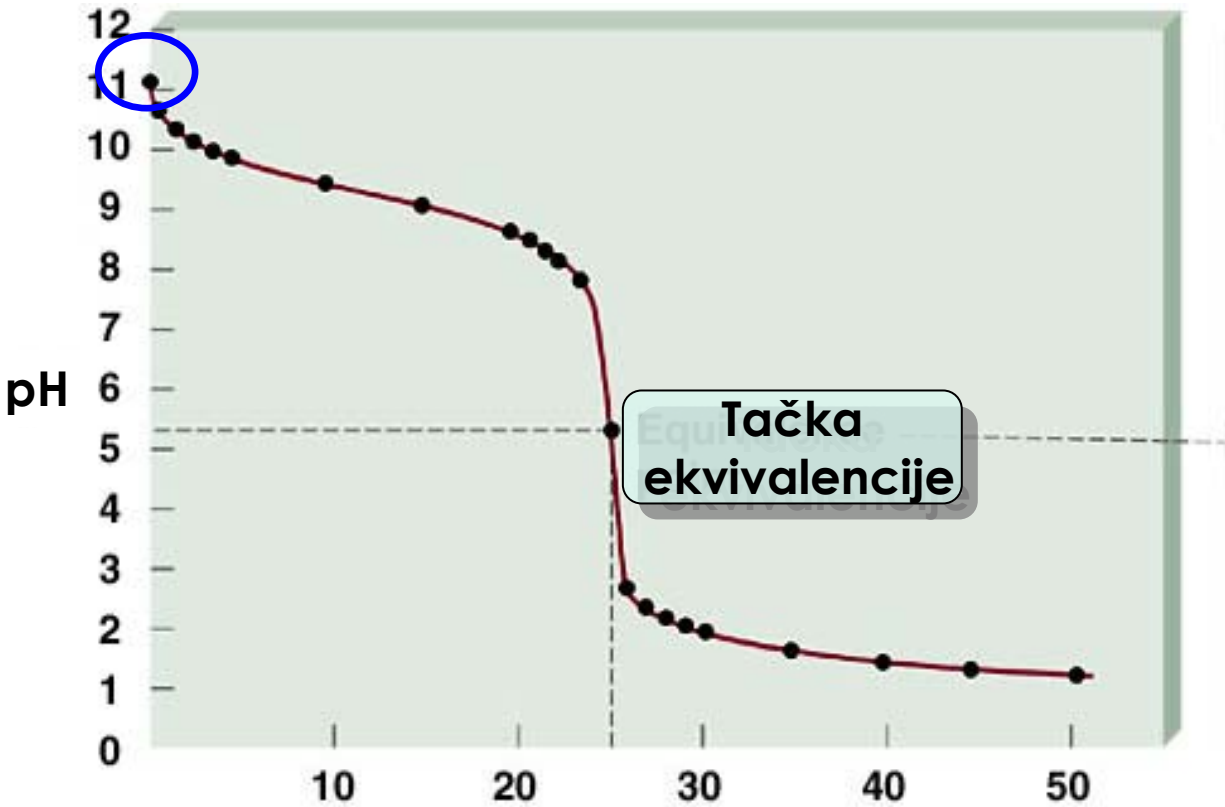
pOH = 2,87 ⟶ pH = 11,13

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba baza-jaka kiselina

$V(NH_3)$ = 25,0 cm^3; $c(NH_3)$ = 0,10 mol dm^{-3}

$c(HCl)$ = 0,10 mol dm^{-3}



Zapremina HCl, cm^3	pH
0.0	11.13
5.0	9.86
10.0	9.44
15.0	9.08
20.0	8.66
22.0	8.39
24.0	7.88
25.0	5.28
26.0	2.70
28.0	2.22
30.0	2.00
35.0	1.70
40.0	1.52
45.0	1.40
50.0	1.30

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba baza-jaka kiselina

$V(NH_3)$ = 25,0 cm^3; $c(NH_3)$ = 0,10 mol dm^{-3}

c(HCl) = 0,10 mol dm^{-3}

2. pre postizanja tačke ekvivalencije (npr. dodato 24,0 cm^3 HCl)

$$NH_3(aq) + HCl(aq) \longrightarrow NH_4Cl(aq) + H_2O$$

$$NH_3(aq) + H^+(aq) \longrightarrow NH_4^+(aq)$$

Puferski rastvor

U rastvoru i neproreagovali NH_3 i nastali NH_4^+-joni koji utiču na jonizaciju baze:

$$NH_3(aq) + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

NH_4^+-joni nastali u r-ji neutralizacije

neproreagovala baza

$$K_b = \frac{[NH_4^+]\,[OH^-]}{[NH_3]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

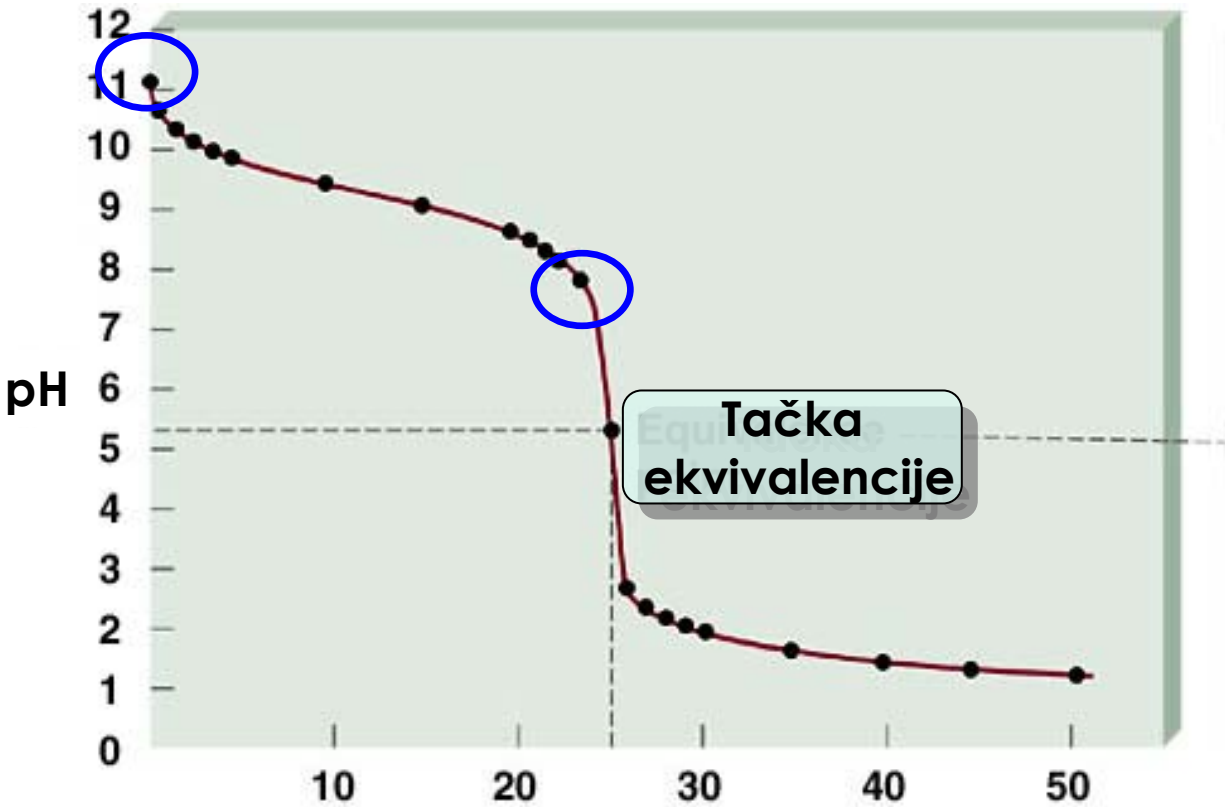
pH = 7,88

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba baza-jaka kiselina

$V(NH_3)$ = 25,0 cm^3; $c(NH_3)$ = 0,10 mol dm^{-3}

c(HCl) = 0,10 mol dm^{-3}



Zapremina HCl, cm^3	pH
0.0	11.13
5.0	9.86
10.0	9.44
15.0	9.08
20.0	8.66
22.0	8.39
24.0	7.88
25.0	5.28
26.0	2.70
28.0	2.22
30.0	2.00
35.0	1.70
40.0	1.52
45.0	1.40
50.0	1.30

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba baza-jaka kiselina

$V(NH_3)$ = 25,0 cm^3; $c(NH_3)$ = 0,10 mol dm^{-3}

c(HCl) = 0,10 mol dm^{-3}

3. tačka ekvivalencije – dodato 25,0 cm^3 HCl

$$NH_3(aq) + H^+(aq) \longrightarrow NH_4^+(aq)$$

Sva baza je izreagovala; nema viška kiseline ili baze

U rastvoru su NH_4Cl (NH_4^+- i Cl^--joni) i voda

Vodeni rastvor NH_4Cl reaguje kiselo zbog hidrolize NH_4^+-jona

$$NH_4^+(aq) + H_2O \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$$

$$K_a = K_h = \frac{[H_3O^+][NH_3]}{[NH_4^+]} = \frac{K_w}{K_b(NH_3)} = \frac{1\cdot10^{-14}}{1{,}8\cdot10^{-5}} = 5{,}6\cdot10^{-10}$$

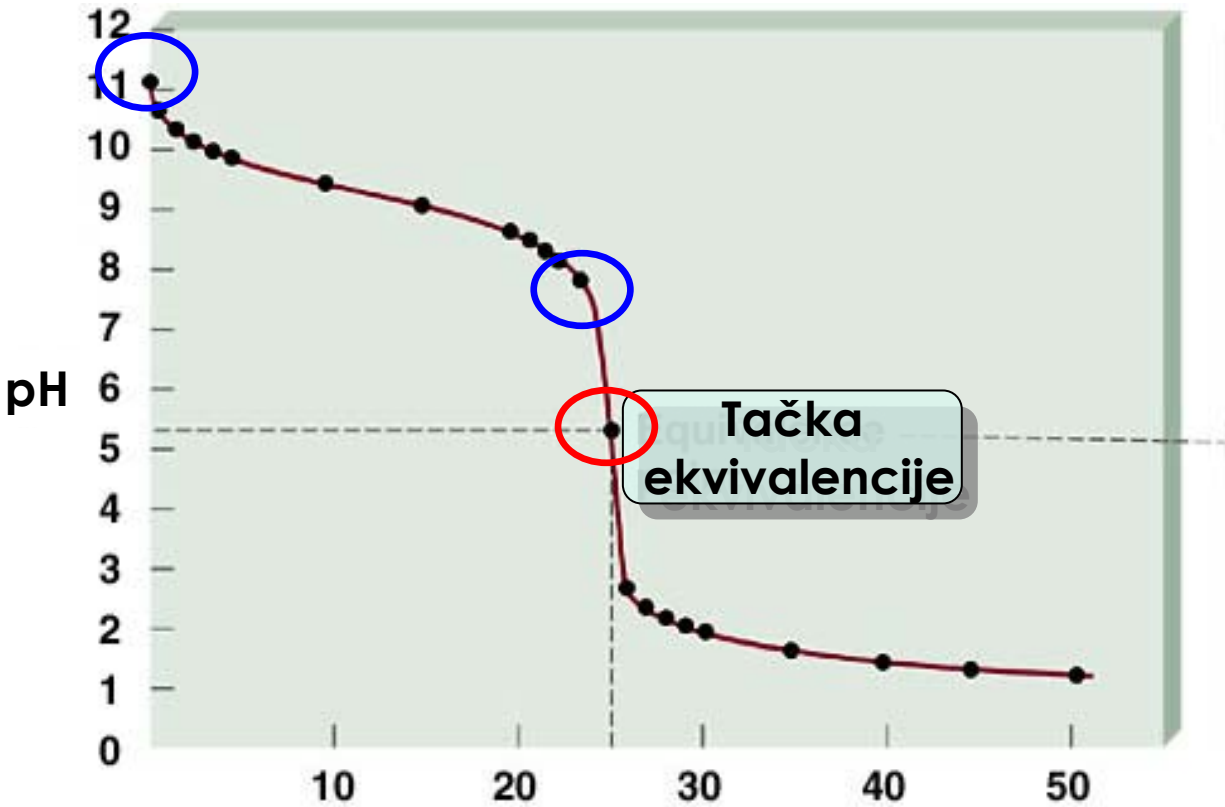
$$[H^+] = \sqrt{K_a\, c(NH_4^+)}$$

pH = 5,28

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba baza-jaka kiselina $V(NH_3) = 25{,}0\ cm^3$; $c(NH_3) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

$c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina HCl, cm^3	pH
0.0	11.13
5.0	9.86
10.0	9.44
15.0	9.08
20.0	8.66
22.0	8.39
24.0	7.88
25.0	5.28
26.0	2.70
28.0	2.22
30.0	2.00
35.0	1.70
40.0	1.52
45.0	1.40
50.0	1.30

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba baza-jaka kiselina

$V(NH_3)$ = 25,0 cm^3; $c(NH_3)$ = 0,10 mol dm^{-3}

c(HCl) = 0,10 mol dm^{-3}

4. nakon postizanja tačke ekvivalencije (npr. dodato 26,0 cm^3 HCl)

$$NH_3(aq) + H^+(aq) \longrightarrow NH_4^+(aq)$$

Sva baza je izreagovala

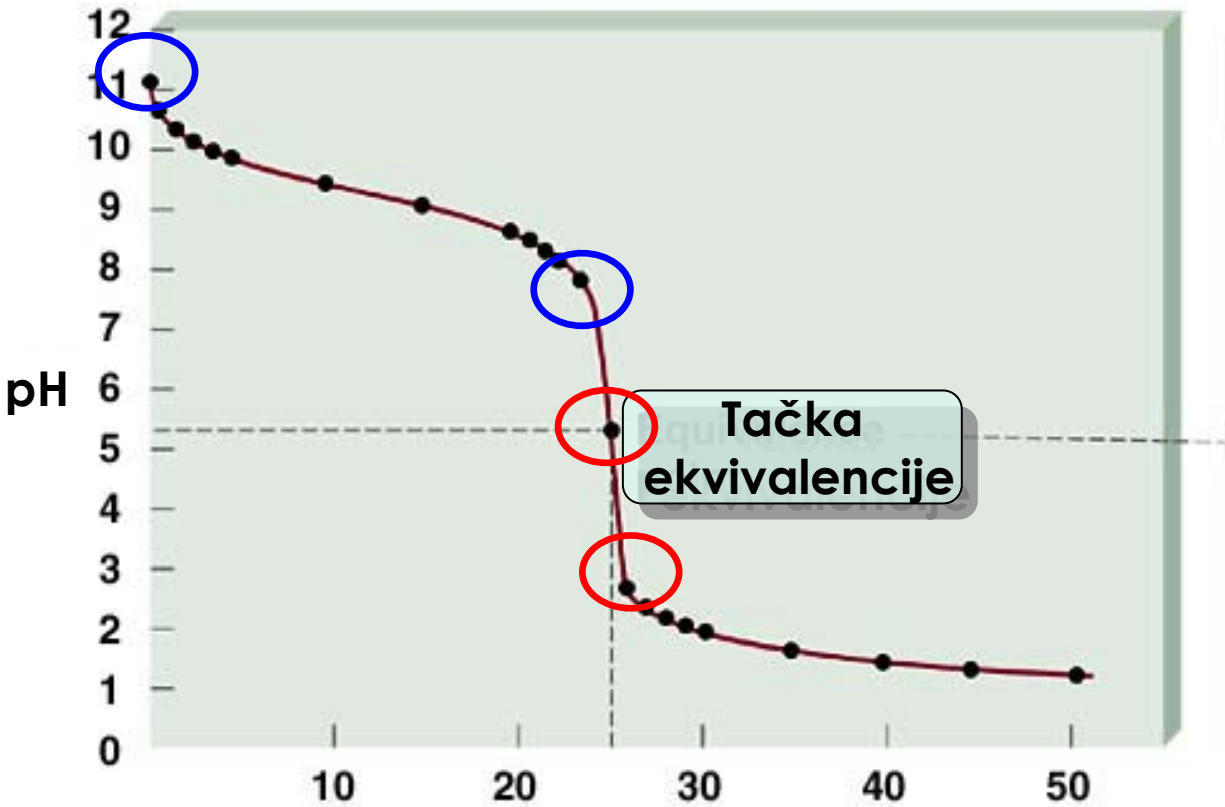
Rastvor reaguje kiselo usled prisustva viška kiseline, dok se koncentracija H^+-jona nastalih hidrolizom NH_4^+-jona može zanemariti

pH = 2,70

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije

Slaba baza-jaka kiselina $V(NH_3) = 25{,}0\ cm^3$; $c(NH_3) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$

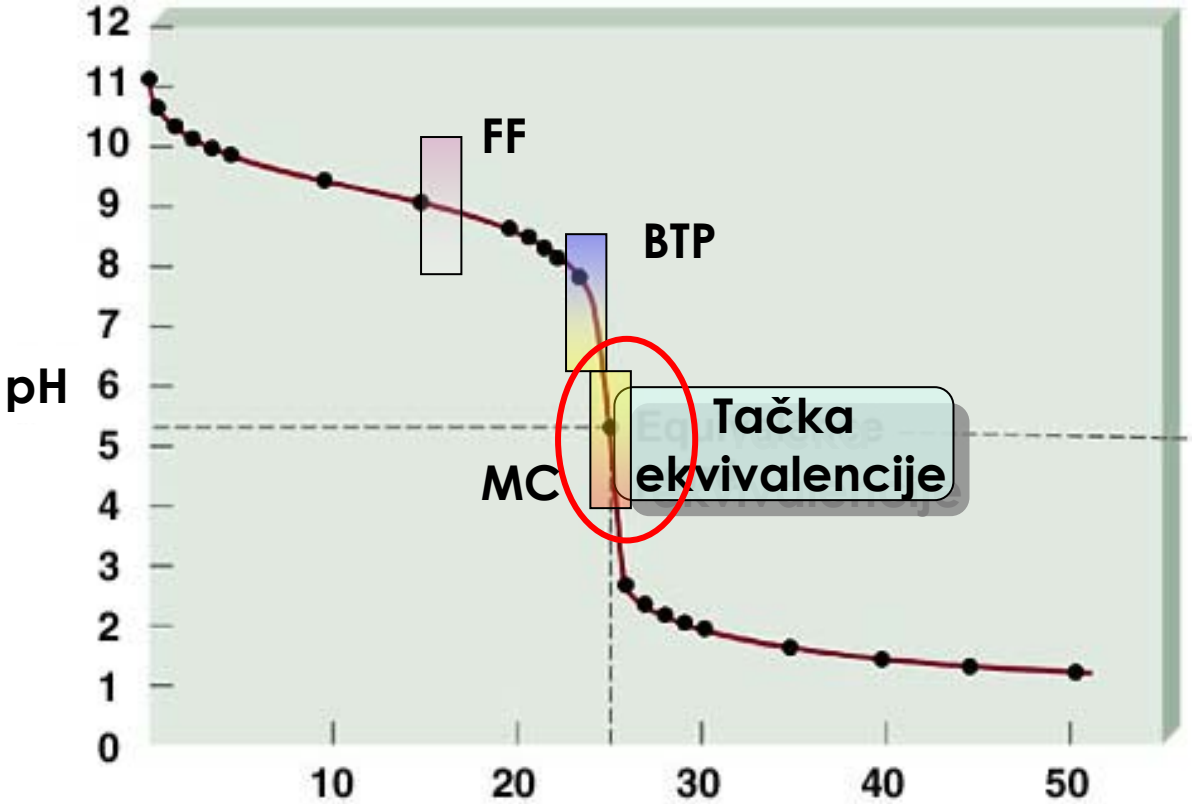
$c(HCl) = 0{,}10\ mol\ dm^{-3}$



Zapremina HCl, cm^3	pH
0.0	11.13
5.0	9.86
10.0	9.44
15.0	9.08
20.0	8.66
22.0	8.39
24.0	7.88
25.0	5.28
26.0	2.70
28.0	2.22
30.0	2.00
35.0	1.70
40.0	1.52
45.0	1.40
50.0	1.30

Slaba baza-jaka kiselina

Tok kiselo-bazne titracije; kriva neutralizacije



Zapremina HCl, cm^3	pH
0.0	11.13
5.0	9.86
10.0	9.44
15.0	9.08
20.0	8.66
22.0	8.39
24.0	7.88
25.0	5.28
26.0	2.70
28.0	2.22
30.0	2.00
35.0	1.70
40.0	1.52
45.0	1.40
50.0	1.30

Metil-crveno (MC): 4,4 – 6,2 → najpogodniji indikator

Bromtimol-plavo (BTP): 6,0 – 7,6

Fenolftalein (FF): 8,2 – 9,8

Luisova definicija kiselina i baza

Tri modela kiselina i baza

Model	Kiselina	Baza
Arenijus	daje H^+	daje OH^-
Brenšted-Lori	donor H^+	akceptor H^+
Luis	akceptor elektronskog para	donor elektronskog para

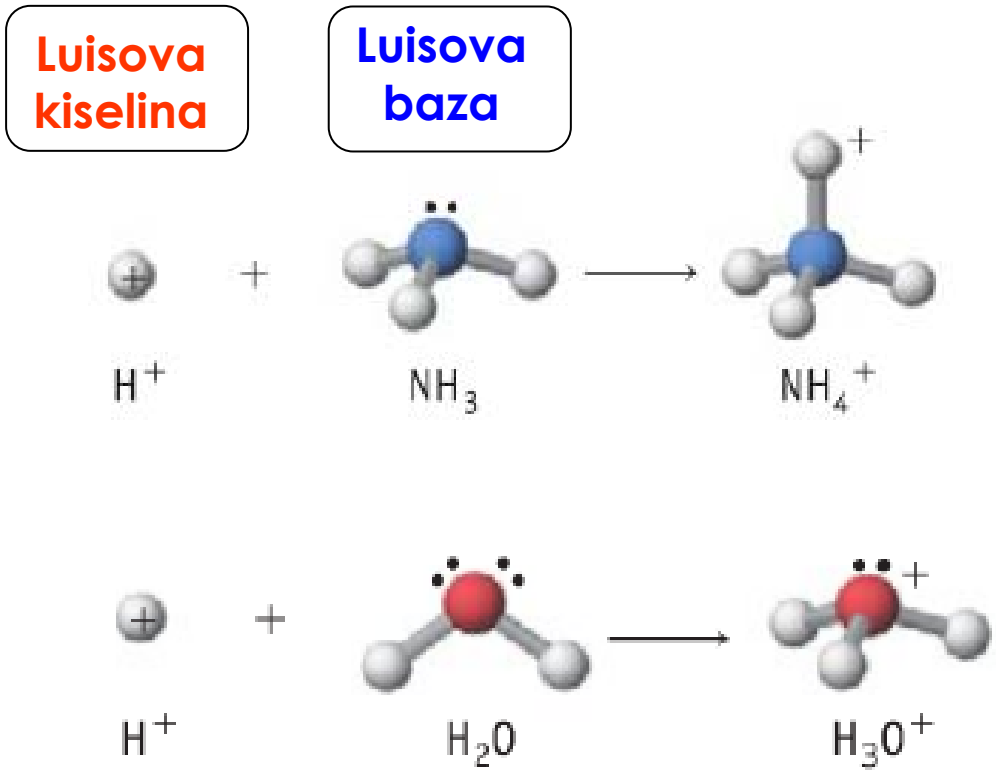
Kiselina je supstanca koja se ponaša kao **akceptor elektronskog para**

Baza je supstanca koja se ponaša kao **donor elektronskog para**

Luisova definicija kiselina i baza

Kiselina je supstanca koja se ponaša kao **akceptor elektronskog para**

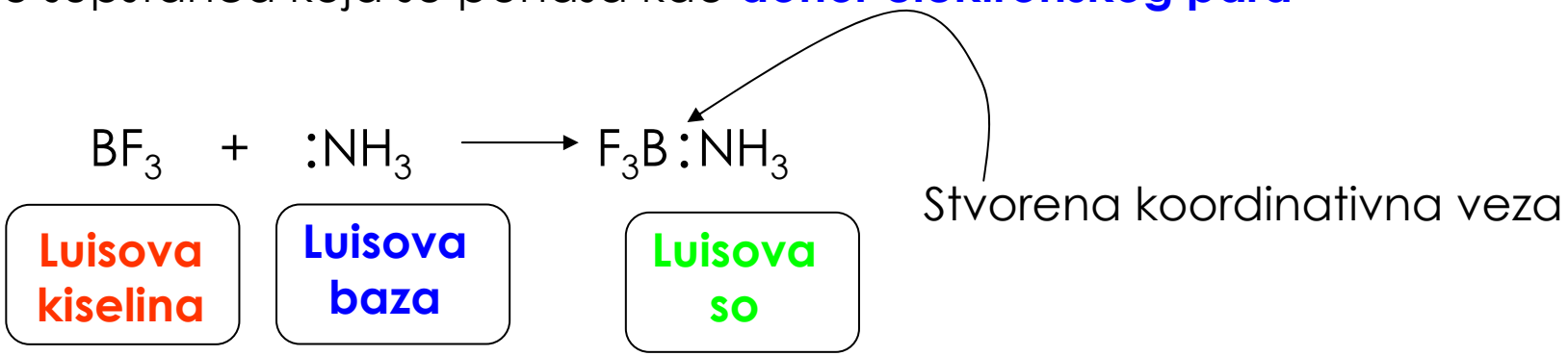
Baza je supstanca koja se ponaša kao **donor elektronskog para**



Luisova definicija kiselina i baza

Kiselina je supstanca koja se ponaša kao **akceptor elektronskog para**

Baza je supstanca koja se ponaša kao **donor elektronskog para**



Metalni joni kao Luisove kiseline – stvaranje kompleksnih jona