

**Standarta potenciāla 0,10166 V skala ar ūdens uzskaiti metāla ūdeņraža RedOks termodinamikā.**

**Termodinamiski uzskaitīta ūdens korekti Nernsta un inversie vienādojumi elektroķīmijas pus reakcijās.**

Kad ir iestājies līdzsvars tad izejvielu un produktu ķīmisko potenciālu summa ir vienāda  $\mu_{\text{Red}} + nF = \mu_{\text{Ox}} + n\mu_{e^-}$  bet katras ķīmiskās vielas ķīmiskais potenciāls ir:  $\mu = \Delta G^\circ + RT \ln(N_A)$ ,

kur  $N_A$  ir A vielas koncentrācija molu daļās.  $\Delta G^\circ$  ir dotās vielas A veidošanās no elementiem brīvā enerģija.

Tīru vielu veidošanās no elementiem brīvās enerģijas izmaiņa Hesa likumā ir  $\Delta G^\circ_{\text{Ox}}$ ,  $\Delta G^\circ_{e^-}$  un  $\Delta G^\circ_{\text{Red}}$ .

Ķīmiskā līdzsvara maisījumā  $\Delta G^\circ_{\text{Red}} + RT \ln(N_{\text{Red}}) + nF = \Delta G^\circ_{\text{Ox}} + RT \ln(N_{\text{Ox}}) + n\Delta G^\circ_{e^-} + RT \ln(N_{e^-}^n)$

No šejienes var izteikt elektroda potenciāla lielumu E:

$$E = \frac{\Delta G^\circ_{\text{Ox}} + n \cdot \Delta G^\circ_{e^-} - \Delta G^\circ_{\text{Red}}}{nF} + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \left( \frac{N_{\text{Ox}} \cdot N_{e^-}^n}{N_{\text{Red}}} \right) \text{ tīras vielas molu daļa ir } N_A = 1.$$

Elektroni savā atsevišķajā fāzē (tā saucamajā elektronu gāzē) metālā tieši arī ir tīra viela  $N_{e^-} = 1$  tāpēc

$$E = \frac{\Delta G^\circ_{\text{Ox}} + n \cdot \Delta G^\circ_{e^-} - \Delta G^\circ_{\text{Red}}}{nF} + \frac{RT}{nF} \cdot \ln N_{e^-}^n + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \left( \frac{N_{\text{Ox}}}{N_{\text{Red}}} \right) \text{ tīras vielas elektronu gāzes } \ln(N_{e^-}^n) = 0.$$

Standarta potenciāls  $E^\circ = \frac{\Delta G^\circ_{\text{Ox}} + n \cdot \Delta G^\circ_{e^-} - \Delta G^\circ_{\text{Red}}}{nF}$  veido Prigožina atraktoru brīvās enerģijas izmaiņas  $\Delta G_{\text{eq}}$

minimumu līdzsvarā mazāks  $|E^\circ nF = \Delta G_{\text{eq}} = \Delta G^\circ_{\text{Ox}} + n\Delta G^\circ_{e^-} - \Delta G^\circ_{\text{Red}}| < |\Delta G_{\text{Hess}}|$  par tīrām vielām Hesa likumā.

**Pārejot uz** decimāliem logaritmiem un termodinamisko standartu  $T=298,15$  K iegūst Nernsta vienādojums

$$\text{reakcijai : izejvielas } \underline{\text{Red}} \text{cētā forma} \rightleftharpoons \underline{\text{Ox}}^{\Delta n^+} + n e^- \text{ Oksidēto forma produkti; } E = E^\circ + \frac{0,0591}{n} \cdot \lg \left( \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]} \right).$$

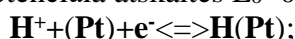
Reakcijā zaudē  $n e^-$  elektronus tātd šķīduma virzienā tiek pārvietoti  $\Delta n^+$  pozitīvi lādēti papildus joni.

Elektroni  $n e^-$  paliek metālā elektronu gāzē.  $\Delta n^+$  lādiņa pārvietošanās sistēmā produktos oksidētajā formā

$\underline{\text{Ox}}^{\Delta n^+}$  ienes ķīmiskā potenciāla elektrisko elektrona  $n e^-$  daļu  $n\mu_{\text{elektr}} = n\Delta G^\circ_{e^-} = -nFE$ , kur  $\mu_{\text{elektr}} = -FE$ .

Ūdens masas  $[\text{H}_2\text{O}] = 963/18 = 53.5$  M atlaide litrā šķīduma  $[\text{H}_2\text{SO}_4] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 1$  M ar blīvumu 1.061 g/mL

**ūdeņraža elektrodam** ir klasikā standarta potenciāla atskaites  $E^\circ = 0.0$  V vērtība Nernsta vienādojumos:



$$E = 0.0 + 0.0591 \cdot \log K^\circ_{(\text{Pt})\text{H}} = 0.0 + 0.0591 \cdot \log[\text{H}^+] = 0.0 + 0.0591 \cdot \log(1 \text{ M}) = 0.0 \text{ Volts.}$$

Termodinamiska hidroksonija jonu uzskaitē producē ūdeni:  $\text{H}_3\text{O}^+ + (\text{Pt}) + e^- \rightleftharpoons \underline{\text{H}}(\text{Pt}) + \text{H}_2\text{O}$ .

Attiecība ar ūdens uzskaiti  $[\text{H}_3\text{O}^+]/[\text{H}_2\text{O}] = 1/52,5 = X_{\text{H}_3\text{O}^+}/X_{\text{H}_2\text{O}}$  ir mol daļa klasiskā  $E^\circ = 0.0$  V  $[\text{H}^+] = 1$  M vietā

un attiecība  $[\text{H}_3\text{O}^+]/[\text{H}_2\text{O}] = 1/52,5 = X_{\text{H}_3\text{O}^+}/X_{\text{H}_2\text{O}}$  dod termodinamisko standarta potenciālu  $E^\circ_{\text{H}} = 0,10166$  V.

Tā pēc klasiski mērītais 1 M sērskābē potenciāls ir  $E = 0.0 + 0.0591 \cdot \log(1 \text{ M}) = 0$  Volti un ar ūdens-hidroksonija

katjona uzskaiti:  $E = E^\circ_{\text{H}^+} + \frac{\ln(10) \cdot R \cdot T}{F \cdot 1} \cdot \log \frac{X_{\text{H}_3\text{O}^+}}{X_{\text{H}_2\text{O}}} = E^\circ_{\text{H}^+} + 0.0591 \cdot \log(1/52.5) = 0.10166 - 0.10166 = 0.0$  Volti.

Termodinamisks standarta potenciāls ir  $E^\circ_{\text{H}} = 0.10166$  V, jo attiecība  $1 = K_{(\text{Pt})\text{H}} = \frac{X_{\text{H}_3\text{O}^+}}{X_{\text{H}_2\text{O}}}$  ir viens, tā pēc:

$$E = E^\circ_{\text{H}^+} + \frac{\ln(10) \cdot R \cdot T}{F \cdot 1} \cdot \log \frac{X_{\text{H}_3\text{O}^+}}{X_{\text{H}_2\text{O}}} = 0.10166 + 0.0591 \cdot \log(1) = 0.10166 \text{ V;}$$

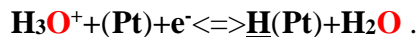
Hidroksonija reducēšana par metālu  $\underline{\text{H}}(\text{Pt})$  ūdeņradi:  $\text{H}_3\text{O}^+ + (\text{Pt}) + e^- \rightleftharpoons \underline{\text{H}}(\text{Pt}) + \text{H}_2\text{O}$  brīvās enerģijas izmaiņa ir:

$$\Delta G_{\text{eqRedH(Pt)}} = -E^\circ_{\text{H}} \cdot F \cdot 1 = -0.10166 \cdot 96485 \cdot 1/1000 = -9.81 \text{ kJ/mol.}$$

Standarta viens  $[\text{H}_3\text{O}^+]/[\text{H}_2\text{O}] = 1$  un standarta reducēšanas līdzsvara konstante ir lielāka par vienu  $K_{(\text{Pt})\text{H}_\text{Red}} = [(\text{Pt})] \cdot [e^-]/[\text{H}(\text{Pt})] = 52,3$ :

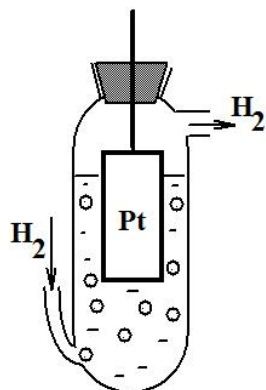
$$K_{(\text{Pt})\text{H}_\text{Red}} = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [(\text{Pt})] \cdot [e^-]/[\text{H}_2\text{O}]/[\text{H}(\text{Pt})] = \text{EXP}(-\Delta G_{\text{Alberty}}/R/T) = \text{EXP}(9809/8.3144/298.15) = 52.3;$$

I veida elektrodus metāla robežvirsmā (Pt)H / ar tā katjona  $\text{H}_3\text{O}^+$  šķīdumu pielietojums.



Hidroksonija reducēšana par metālu  $\underline{\text{H}}(\text{Pt})$   $\Delta G_{\text{eq}} = -E^\circ_{\text{H}} \cdot F \cdot 1 = 0,10166 \cdot 96485 \cdot 1/1000 = -9,81 \text{ kJ/mol}$  brīvās enerģijas izmaiņas minimums līdzsvarā ir attiecināta uz ūdens un oglekļa dioksīdu  $G_{\text{H}_2\text{O}} = G_{\text{CO}_2\text{gas}} = G_{e^-} = 0 \text{ kJ/mol}$ .

[Alberty](#) vērtības Hesa likumā ir tuvas  $\text{H}_3\text{O}^+$  reducēšanas potenciāla  $E^\circ_{\text{H}} = -0,10166 \text{ V}$  enerģijai  $\Delta G_{\text{eq}} = -9,81 \text{ kJ/mol}$ :



$$\Delta G_{\text{Hess}} = G_{\text{H}_2\text{O}} + G_{\text{H}(\text{Pt})} - (G_{\text{H}_3\text{O}^+} + G_{\text{Pt}} + G_{e^-}) = 0 + 51,05 - (22,44 + 38,375 + 0) = -9,765 \text{ kJ/mol}.$$

Platīns iegremdēts hidroksonija jonu  $[\text{H}^+] = [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{H}_2\text{SO}_4] = 1 \text{ M}$  sērskābes šķīdumā



ir klasiska ūdeņraža atskaites skalā nulle. Ūdens uzskaitē  $[\text{H}_2\text{O}] = 963/18 = 53,5 \text{ M}$  un attiecība

$$[\text{H}_3\text{O}^+]/[\text{H}_2\text{O}] = 1/52,5 = X_{\text{H}_3\text{O}^+}/X_{\text{H}_2\text{O}}$$

dod termodinamisko standarta potenciālu klasiskā  $0,0$  vietā un ir  $E^\circ_{\text{H}} = E^\circ - 0,0591 \cdot \log([\text{H}_3\text{O}^+]/[\text{H}_2\text{O}]) = 0,0 - 0,0591 \cdot \log(1/52,5) = 0,10166 \text{ V}$ .

$$\begin{array}{c} \text{klasiski } (E_{\text{H}^+/\text{H}} = -0,0591 \cdot \text{pH} \leq 0,00 \text{ V}) \quad 0,10166 \text{ V} \quad E, \text{V} \\ E_{(\text{Pt})\text{H}/\text{H}^+} = E^\circ_{\text{H}} + 0,0591 \cdot \log\left(\frac{X_{\text{H}_3\text{O}^+}}{X_{\text{H}_2\text{O}}}\right) \end{array}$$

Liela ātruma protolīzes atraktori  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,36} \text{ M}$ ,  $\text{pH} = 7,36$  un ūdens masas  $[\text{H}_2\text{O}] = 997/18 = 55,3 \text{ M}$  uzskaitē litrā veido metāla ūdeņraža (Pt)H potenciālu kā stipru reducētāju pirmā I veida elektrodu:

$$E_{\text{pH}=7,36} = 0,10166 + 0,0591 \cdot \log(10^{-7,36}/55,3) = -0,436 \text{ V}; \Delta G_{\text{eqpH},7,36} = E^\circ_{\text{H}} \cdot F \cdot 1 = -0,436 \cdot 96485 \cdot 1/1000 = -42,07 \text{ kJ/mol};$$

Termodinamiskais standarta potenciāls  $E^\circ_{\text{H}} = 0,10166 \text{ V}$  ir virs klasiskās nulle, ja hidroksonija koncentrācija ir viens mols litrā  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{H}_2\text{SO}_4] = 1 \text{ M}$  un logaritms  $\log(K_{(\text{Pt})\text{H}}) = 1/52,3$ ,  $\text{pH} = 0$  ir nulle. Metāliskis ūdeņradis ir stiprs reducētājs pie  $\text{pH} = 7,36$  un  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,36} \text{ M}$  ar  $E = 0,10166 + 0,0591 \cdot \log(10^{-7,36}/55,3) = -0,436 \text{ V}$

reducējošu potenciālu. Brīvās enerģijas izmaiņai reakcijā un saturs molā (Pt)H metālam ir secīgi:

$$\Delta G_{\text{eq}} = E^\circ_{\text{H}} \cdot F \cdot 1 = -0,436 \cdot 96485 \cdot 1/1000 = -42,1 \text{ kJ/mol}$$

un  $G_{\text{H}(\text{Pt})} = 51,05 \text{ kJ/mol}$ . [8]

Skābekļa pus reakcija:  $\text{O}_{2\text{aq}} + 4\text{H}_3\text{O}^+ + 4e^- \rightleftharpoons 6\text{H}_2\text{O}$  standarta potenciāls  $E^\circ_{\text{O}_2} = 1,485 \text{ Volti}$  producē ūdeni:

$$E_{\text{O}_2} = E^\circ_{\text{O}_2} + \frac{0,0591}{4} \cdot \lg \frac{[\text{O}_{2\text{aq}}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^4}{[\text{H}_2\text{O}]^6} = 1,485 \text{ V} + \frac{0,0591}{4} \cdot \lg \frac{[\text{O}_{2\text{aq}}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^4}{[\text{H}_2\text{O}]^6}$$

ar četrām ūdeņraža reversām reducētāja pus reakcijām:  $4(\text{Pt})\text{H} + 4\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{H}_3\text{O}^+ + 4(\text{Pt}) + 4e^-$ ;  $E^\circ_{\text{H}} = 0,10166 \text{ V}$  dod brīvās enerģijas izmaiņas

$$\text{minimumu } \Delta G_{\text{eq}} = (E^\circ_{\text{H}} - E^\circ_{\text{O}_2}) \cdot F \cdot 1 \cdot 4 = (0,10166 - 1,485) \cdot 96485 \cdot 4 = -1,383 \cdot 96485 \cdot 4/1000 = -533,9 = 2 \cdot -266,94 \text{ kJ/mol}$$

ūdens veidošanā  $\text{O}_{2\text{aq}} + 4(\text{Pt})\text{H} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$  no elementu enerģijām  $G_{\text{H}(\text{Pt})} = 51 \text{ kJ/mol}$ ,  $G_{\text{O}_{2\text{aq}}} = 329,68 \text{ kJ/mol}$  saturā:

$$\text{Zinot līdzsvara vērtību } \Delta G_{\text{eq}2\text{H}_2\text{O}} = 2G_{\text{H}_2\text{O}} - 4G_{(\text{Pt})\text{H}} - G_{\text{O}_{2\text{aq}}} = 2 \cdot 0 - (4 \cdot 51 + 329,68) = -533,9 = 2 \cdot -266,94 \text{ kJ/mol},$$

$$\text{metāla brīvā enerģija ir } G_{\text{H}(\text{Pt})} = (2G_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta G_{\text{eq}2\text{H}_2\text{O}} - G_{\text{O}_{2\text{aq}}})/4 = (2 \cdot 0 + 533,886 - 329,68)/4 = 204,2/4 = 51,05 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{Ox: } 2\text{H}_3\text{O}^+ + 2e^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_{2\text{aq}} + 2\text{H}_2\text{O}; \Delta G_{\text{Hess}, \text{H}_3\text{O}^+} = 2G_{\text{H}_3\text{O}^+} + G_{\text{H}_2\text{O}} - (G_{\text{H}_{2\text{aq}}} + 2G_{\text{H}_2\text{O}}) = 2 \cdot 22,44 - 2 \cdot 0 - 103 - 2 \cdot 0 = -58,36 \text{ kJ/mol};$$

Grafīta elektrodus atbrīvo (Pt) kristāla režģi  $E^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} = -58,36 \cdot 1000/96485/2 = -0,302 \text{ V}$ .

$$G_{\text{H}_{2\text{aq}}} = 103 \text{ kJ/mol}; \text{ Alberty dati [8]. Red: } 2(\text{Pt})\text{H} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_3\text{O}^+ + 2e^- + 2(\text{Pt}); E^\circ_{\text{H}^+} = 0,1016 \text{ V}; \text{ CRC dati [1]}$$

$$\text{Ox: } 2\text{H}_3\text{O}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_{2\text{aq}} + 2\text{H}_2\text{O}; 2(\text{Pt})\text{H} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_3\text{O}^+ + 2e^- + 2(\text{Pt}); \text{ summary } 2(\text{Pt})\text{H} \rightleftharpoons \text{H}_{2\text{aq}} + 2(\text{Pt}) + \text{H}_2\text{O};$$

$$\Delta E^\circ_{\text{eqH}_3\text{O}^+(\text{Pt})\text{H}} = 0,10166 + 0,302 = 0,40366 \text{ V}; \Delta G_{\text{eqH}_3\text{O}^+(\text{Pt})\text{H}} = \Delta E^\circ_{\text{eqH}_3\text{O}^+(\text{Pt})\text{H}} \cdot F \cdot 2 = 0,40366 \cdot 96485 \cdot 2 = 77,89 \text{ kJ/mol};$$

$$\Delta G_{\text{eqH}_3\text{O}^+(\text{Pt})\text{H}} = G_{\text{H}_{2\text{aq}}} + 2G_{(\text{Pt})\text{H}} + G_{\text{H}_2\text{O}} - 2G_{\text{H}(\text{Pt})} = 103 + 2 \cdot 51,05 + 0 - 2 \cdot 51,05 = 77,89 \text{ kJ/mol}.$$

Platīna kristāla enerģija  $G_{(\text{Pt})}$  ir aprēķināta lietojot [Alberty](#) datus [8] un Hesa likumu  $\Delta G_{\text{Hess}, \text{sp}, (\text{Pt})\text{H}} = 77,89 \text{ kJ/mol}$ :

$$2G_{(\text{Pt})} = \Delta G_{\text{eqH}_3\text{O}^+(\text{Pt})\text{H}} - G_{\text{H}_{2\text{aq}}} + 2G_{\text{H}(\text{Pt})} = 77,89 - 103,24 + 2 \cdot 51,05 = 76,75 = 2 \cdot 38,375 \text{ kJ/mol}$$

Šķīdības enerģija  $O_{2\text{gas}} + H_2O \xrightarrow{\text{Aquaporins}} O_{2\text{aq}}$  palielinās produktiem par  $G_{O_2\text{šk}} = 26,58 \text{ kJ/mol}$ :

$$[O_{2\text{aq}}]/[O_{2\text{gas}}] / [H_2O] = K_{\text{šk}} = 2,205 \cdot 10^{-5}. G_{O_2\text{šk}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{šk}}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(2,205 \cdot 10^{-5}) = 26,58 \text{ kJ/mol}.$$

$$O_{2\text{aq}} + 2H_{2\text{aq}} \Rightarrow 2H_2O; \Delta G_{\text{Hess}H_2O_{\text{aq}}} = (2G_{H_2O} - (2G_{H_{2\text{aq}}} + G_{O_{2\text{aq}}})) / 2 = (2 \cdot 0 - (2 \cdot 103 + 330)) / 2 = -268 \text{ kJ/mol};$$

$$O_{2\text{gas}} + 2H_{2\text{gas}} \Rightarrow 2H_2O; \Delta G_{\text{Hess}H_2O_{\text{BioChem}}} = (2G_{H_2O} - (2G_{H_{2\text{gas}}} + G_{O_{2\text{gas}}})) / 2 = (0 - (2 \cdot 85,64 + 303)) / 2 = -237,19 \text{ kJ/mol} [8]$$

$$G_{O_{2\text{gas}}} / 2 = G_{H_2O} - (\Delta G_{\text{Hess}H_2O} + G_{H_{2\text{gas}}}) = 0 - (-237,19 + 85,64) = 151,55 \text{ kJ/mol}; G_{O_{2\text{gas}}} = 2 \cdot 151,55 = 303 \text{ kJ/mol}; \text{Alberty} [1,8]$$

$$H_{2\text{gas}} + H_2O \Rightarrow H_{2\text{aq}}; \text{Šķīdība destilētā ūdenī } \Delta G_{H_2\text{šk}Alberty} = G_{H_{2\text{aq}}} - G_{H_{2\text{gas}}} - G_{H_2O} = 103,24 - 85,64 - 0 = 17,6 \text{ kJ/mol};$$

$$[H_{2\text{aq}}] / [H_{2\text{gas}}] / [H_2O] = K_{\text{šk}} = \text{EXP}(-\Delta G_{H_2\text{šk}Alberty} / R / T) = \text{EXP}(-17600 / 8,3144 / 298,15) = 0,0008253. [8] \text{ Alberty}$$

$$[H_{2\text{aq}}] = K_{\text{šk}} \cdot [H_2O] = 0,0008253 \cdot 55,3 = 0,004564 \text{ M, ja } H_{2\text{gas}} \text{ tīras gāzes mol daļa ir viens } [H_{2\text{gas}}] = 1.$$

$$\text{Bioķīmijas vidē šķīdība palielinās } \Delta G_{H_2\text{šk}Biochemistry} = G_{H_{2\text{aq}}} - G_{H_{2\text{gas}}} - G_{H_2O} = 103,24 - 85,64 - 85,6 = -68 \text{ kJ/mol};$$

$$[H_{2\text{aq}}] / [H_{2\text{gas}}] / [H_2O] = K_{\text{šk}Biochemistry} = \text{EXP}(-\Delta G_{H_2\text{šk}Biochemistry} / R / T) = \text{EXP}(68000 / 8,3144 / 298,15) = 10^{11,9}. [8]$$

$$[H_{2\text{aq}}] = K_{\text{šk}Biochemistry} \cdot [H_2O] = 10^{11,9} \cdot 55,3 = 10^{13,6} \text{ M, ja } H_{2\text{gas}} \text{ tīras gāzes mol daļa ir viens } [H_{2\text{gas}}] = 1.$$

Ūdeņraža šķīdības platīna kristāliskajā režģī:  $H_{2\text{aq}} + 2(\text{Pt}) \Leftrightarrow 2(\text{Pt})H + H_2O$ ; Hesa brīvās enerģijas izmaiņa

aprēķināta no [Alberty RA.](#) [8] datiem bioķīmiskajā termodinamikā:

$$\Delta G_{\text{Hess}_{\text{šk}}(\text{Pt})H} = 2G_{(\text{Pt})H} + G_{H_2O} - (G_{H_{2\text{aq}}} + 2G_{(\text{Pt})}) = 2 \cdot 51,05 + 0 - (103,24 + 2 \cdot 38,375) = -77,89 \text{ kJ/mol} \text{ 54. lpp.}$$

Ūdeņraža šķīdība (Pt) kristālā ir patvaļīga, jo šķīdības konstante lielāka par vienu:

$$K_{\text{šk}(\text{Pt})H} = [H_2O] \cdot [(\text{Pt})H]^2 / [H_{2\text{aq}}] \cdot [(\text{Pt})]^2 = \text{EXP}(-\Delta G_{(\text{Pt})H} / R / T) = \text{EXP}(77890 / 8,3144 / 298,15) = 4,42 \cdot 10^{13}. [8]$$

$2(\text{Pt})H + H_2O \Leftrightarrow H_{2\text{aq}} + 2(\text{Pt})$ ; Metāls ūdeņradis vāji šķīstošs un šķīdības konstante ir mazāka par vienu:

$$\Delta G_{\text{Hess}_{\text{šk}}H_2} = G_{H_{2\text{aq}}} + 2G_{(\text{Pt})} - (2G_{(\text{Pt})H} + G_{H_2O}) = 103,24 + 2 \cdot 38,375 - (2 \cdot 51,05 + 0) = 77,89 \text{ kJ/mol}. [8]$$

$$K_{\text{šk}(\text{Pt})H} = [H_{2\text{aq}}] \cdot [(\text{Pt})]^2 / [H_2O] \cdot [(\text{Pt})H]^2 = \text{EXP}(-\Delta G_{\text{šk}(\text{Pt})H} / R / T) = \text{EXP}(-77890 / 8,3144 / 298,15) = 2,26 \cdot 10^{-14}. [8]$$

Piesātināta metāliska ūdeņraža attiecība  $[(\text{Pt})H] / [(\text{Pt})] = 24839$ . Metāla ūdeņraža (Pt)H šķīdība

$$2(\text{Pt})H + H_2O \Leftrightarrow H_{2\text{aq}} + 2(\text{Pt}); \text{ir niecīga: } [H_{2\text{aq}}] = K_{\text{šk}(\text{Pt})H} \cdot [H_2O] = 2,26 \cdot 10^{-14} \cdot 55,3 = 1,25 \cdot 10^{-12} \text{ M.}$$

$$H_{2\text{gas}} + H_2O \Rightarrow H_{2\text{aq}}; \text{Šķīdība destilētā ūdenī } 0,000155 \text{ g}/100\text{g}_{H_2O}, \text{ blīvums } 0,996 \text{ g/L},$$

Koncentrācija ir  $[H_{2\text{aq}}] = 0,000155 / 2 / 100,000155 \cdot 996 = 0,0007719 \text{ M}, [1] \text{ CRC}$

$$\text{šķīdības konstante } K_{\text{šk}CRC} = [H_{2\text{aq}}] / [H_2O] = 0,0007719 / 55,3 = 0,000013958;$$

$$\text{brīvās enerģijas izmaiņa } \Delta G_{\text{šk}CRC} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{šk}CRC}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(0,000013958) = 27,7 \text{ kJ/mol}.$$

Platīna kristāliskais režģis piesātināts ar ūdeņradi uztur šķīdību ūdenī  $[H_{2\text{aq}}] = 10^{-(11,9)} \text{ M}$  vairāk kārt mazāku koncentrāciju par  $0,0007719 \text{ M}$  un bioķīmijas  $G_{H_2O} = 85,6 \text{ kJ/mol}$  vidē  $[H_{2\text{aq}}] = 10^{13,6} \text{ M}$  gāzveida piesātinātu šķīdumu.  $[H_{2\text{gas}}] = 0,0007719 \text{ M} / 4,42 / 10^{-(12)} \text{ M} = 1,75 \cdot 10^8$ . ir ūdeņraža mol daļa. Tas ir pietiekoši platīna piesātināšanai līdz mol daļai viens  $[(\text{Pt})H] = 1$ .

$$\text{Klasiski mērīts potenciāls } E_{\text{klasiski}(\text{Pt})H} = E_{o_{\text{klasiski}}} + \log([H_3O^+]) = 0 - 0,0591 / 1 \cdot \log(1) = 0 \text{ V}$$

$$\text{pie pH} = -\log([H_3O^+]) = -\log(1 \text{ M}) = 0;$$

$$\text{Termodinamiski mērīts } E_{(\text{Pt})H} = E^\circ_{(\text{Pt})H} + 0,0591 / 1 \cdot \log([H_3O^+] / [H_2O]) = 0,10166 + 0,0591 / 1 \cdot \log(1 / 52,5) = 0 \text{ V.}$$

$$\text{Glikozes termodinamiskais standarta potenciāls } E^\circ_{C_6H_{12}O_6} = 0,259 \text{ V plus ūdens } 0,0591 / 24 \cdot \log(1 / [H_2O]^{42})$$

uzskaitē un mīnus skalas atskaites punkts  $E^\circ_{(P)H} = 0,10166 \text{ V}$  ir klasiskais standarts  $E_{o_{C_6H_{12}O_6}} = -0,0229 \text{ V}$ .

$$E_{o_{C_6H_{12}O_6}} = E^\circ_{C_6H_{12}O_6} - 0,10166 + 0,0591 / 24 \cdot \log(1 / [H_2O]^{42}) = 0,259 - 0,10166 + 0,0591 / 24 \cdot \log(1 / 55,3^{42}) = -0,0229 \text{ V}.$$

Skatīt Tabulā 1. un Tabulā 2. [1-24]

Nernsta standarta elektrodu potenciāli E° ūdeņraža (Pt)H nulles un termodinamiskā 0,10166 Volti skalā.

Ele ments	Reaktanti reducētā forma	Oksidētā forma produkti	+ e <sup>-</sup> skaits	Ūdens atlaide klasiskā nulle E <sub>o</sub> ,	Ūdens uzskaitē + nulle E <sub>oH<sub>2</sub>O</sub>	Termodinamiskā skala 0,10166 V
<b>H</b>	(Pt)H + H <sub>2</sub> O	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + (Pt)+	1	klasiskā nulle <b>0</b>	0,103	<b>0,10166</b>
	(Pt)H + OH <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O + (Pt)+	1	-0,828	-0,931	-0,829
	H <sub>2aq</sub> +2H <sub>2</sub> O	2H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> graphite	2	-0,096	-0,199	-0,301
<b>O</b>	6H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub> (g) + 4 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	4	1,229	1,383	1,485
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub> aquea <sup>-</sup> + 2 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	1	1,276	1,379	1,481
	4H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + 2 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	1,776	1,982	2,084
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	O <sub>2aq</sub> + 2 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	0,695	0,798	0,900
<b>N</b>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + 2OH <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	2	0,010	-0,041	0,060
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + 3 H <sub>2</sub> O	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 2 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	0,940	1,094	1,196
<b>Br</b>	NO(g) + 2H <sub>2</sub> O	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup>	3	0,960	1,140	1,242
	NH <sub>3</sub> + 9OH <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 6H <sub>2</sub> O	8	-0,120	-0,197	-0,096
	2Br <sup>-</sup>	Br <sub>2</sub>	2	1,087	1,087	1,189
<b>Bi</b>	Bi <sup>3+</sup> + 9 H <sub>2</sub> O	BiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 6 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	1,800	2,263	2,365
<b>Mn(H<sup>+</sup>)</b> <b>(H<sub>2</sub>O)</b> <b>(OH)</b>	Mn <sup>2+</sup> + 12H <sub>2</sub> O	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 8 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	5	1,510	1,760	1,860
	MnO <sub>2</sub> ↓ + 4OH <sup>-</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	3	0,600	0,531	0,633
	MnO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1	0,558	0,558	0,660
<b>Pb</b> <b>S</b>	Pb <sup>2+</sup> + 6 H <sub>2</sub> O	PbO <sub>2</sub> (s) + 4 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	1,455	1,764	1,866
	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 3 H <sub>2</sub> O	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 2 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	0,200	0,354	0,456
	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 2OH <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + H <sub>2</sub> O	2	-0,930	-0,981	-0,880
	S <sup>2-</sup>	S(s)	2	-0,480	-0,480	-0,37834
	H <sub>2</sub> S + 2 H <sub>2</sub> O	S(s) + 2 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	0,245	0,348	0,450
	2S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	S <sub>4</sub> O <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	2	0,080	0,080	0,182
<b>Fe</b>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	1	0,770	0,770	0,872
<b>Ag</b>	Ag	Ag <sup>+</sup>	1	0,799	0,799	0,901
<b>I</b>	2I <sup>-</sup>	I <sub>2</sub>	2	0,540	0,540	0,642
<b>Cu</b>	Cu	Cu <sup>2+</sup>	2	0,337	0,337	0,439
<b>F</b>	2F <sup>-</sup>	F <sub>2</sub>	2	2,870	2,870	2,972
<b>Cl</b>	2Cl <sup>-</sup>	Cl <sub>2</sub>	2	1,360	1,360	1,462
	3 H <sub>2</sub> O + Cl <sup>-</sup>	OCl <sup>-</sup> + 2 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	1,490	1,644	1,746
<b>Cr</b>	2Cr <sup>3+</sup> + 21 H <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> + 14 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	6	1,330	2,051	2,153
	Cr(OH) <sub>3</sub> (s) + 5OH <sup>-</sup>	CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4H <sub>2</sub> O	3	-0,130	-0,267	-0,166
<b>C</b>	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	2CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	-0,490	-0,387	-0,285
<b>Cr</b>	Cr	Cr <sup>3+</sup>	3	-0,744	-0,744	-0,642
<b>Zn</b>	Zn	Zn <sup>2+</sup>	2	-0,763	-0,763	-0,661
<b>Al</b>	Al + 4OH <sup>-</sup>	AlO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	3	-2,330	-2,364	-2,263
<b>H, C</b>	Ubiquinol+2H <sub>2</sub> O	Ubiquinone+2H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	0,459	0,562	0,664
	Succinate <sup>2-</sup> +2H <sub>2</sub> O	Fumarate <sup>2-</sup> +2H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	0,445	0,548	0,650
	AscorbicAcid+2H <sub>2</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>6</sub> +2H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	0,390	0,493	0,595
	glycolate+2H <sub>2</sub> O	Glyoxylate+2H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	2	0,324	0,427	0,529
	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH+H <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO+H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + H <sup>-</sup>	(H <sup>+</sup> +2e <sup>-</sup> )	0,190	0,241	0,343
	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> + 42 H <sub>2</sub> O	24H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> +6H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> +6HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24	0,0702	0,2504	0,352

Reakcijā O<sub>2</sub>aquea+2H<sub>2</sub>aquea=>2H<sub>2</sub>O ; 2ΔG<sub>HessH<sub>2</sub>Oaquea</sub>=2GH<sub>2</sub>O-(2GH<sub>2</sub>aquea+G<sub>O<sub>2</sub>aquea</sub>)=(0-(2\*103+330))/2=2\*-268 kJ/mol;

Skābekļa pus reakcija: O<sub>2</sub>aquea+4H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>+4e<sup>-</sup><=>6H<sub>2</sub>O standarta potenciāls E°<sub>o<sub>2</sub></sub>=1,485 Volti producē ūdeni:

E<sub>o<sub>2</sub></sub>=E°<sub>o<sub>2</sub></sub>+0,0591/4•log([O<sub>2</sub>aquea]\*[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]<sup>4</sup>/[H<sub>2</sub>O]<sup>6</sup>)=1,485 V+0,0148•log([O<sub>2</sub>aquea]\*[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]<sup>4</sup>/[H<sub>2</sub>O]<sup>6</sup>) ar četrām

ūdeņraža reducētāja pus reakcijām: 4(Pt)H+4H<sub>2</sub>O<=>4H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>+4(Pt)+4e<sup>-</sup> ; E°<sub>H</sub>=0,10166 V dod brīvās enerģijas

izmaiņu ΔG<sub>eq</sub>=(E°<sub>H</sub>-E°<sub>o<sub>2</sub></sub>)•F•1•4=(0,10166-1,485)\*96485\*4=-1,383\*96485\*4/1000=-533,9=2\*266,94 kJ/mol

ūdens veidošanā O<sub>2</sub>aquea+4(Pt)H=>2H<sub>2</sub>O no elementu enerģijām G<sub>H(Pt)</sub>=51 kJ/mol, G<sub>O<sub>2</sub>aq</sub>=329,68 kJ/mol saturā:

ΔG<sub>eq</sub>=(E°<sub>H</sub>-E°<sub>o<sub>2</sub></sub>)•F•1•4=(0,10166-1,485)\*96485\*4=-1,383\*96485\*4/1000=-533,9 kJ/mol .

Zinot līdzsvara vērtību ΔG<sub>eq2H<sub>2</sub>O</sub>=2GH<sub>2</sub>O-4G<sub>(Pt)H</sub>-G<sub>O<sub>2</sub>aquea</sub>=2\*0-(4\*G<sub>(Pt)H</sub>+329,68)=-533,9=2\*-266,94 kJ/mol ,

metāla brīvā enerģija ir G<sub>H(Pt)</sub>=(2GH<sub>2</sub>O-ΔG<sub>eq2H<sub>2</sub>O</sub>-G<sub>O<sub>2</sub>aquea</sub>)/4=(2\*0+533,886-329,68)/4=204,2/4=51,05 kJ/mol ;

Ox: 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>+2e<sup>-</sup><=>H<sub>2</sub>aq+2H<sub>2</sub>O; ΔG<sub>Hess\_H<sub>3</sub>O+</sub>=2GH<sub>3</sub>O+2G<sub>e<sup>-</sup></sub>-(GH<sub>2</sub>aq+2GH<sub>2</sub>O)=2\*22,44-2\*0-103,24-2\*0=-58,36 kJ/mol;

Grafīta elektrod oksidē ūdeņradi atbrīvojot (Pt) kristāla režģi E°<sub>H<sub>3</sub>O+</sub>=-58,36\*1000/96485/2=-0,302 V

**Red:** 2(Pt)H+2H<sub>2</sub>O<=>2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>+2e<sup>-</sup>+2(Pt); E°<sub>H+</sub>=0,1016 V; **Ox+Red** summā ir 2(Pt)H<=>H<sub>2</sub>aq+2(Pt);

2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>+H<sub>2</sub>O+2e<sup>-</sup><=>H<sub>2</sub>aq+2H<sub>2</sub>O; (Pt)H+2H<sub>2</sub>O<=>2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>+2e<sup>-</sup>+2(Pt); 2(Pt)H+H<sub>2</sub>O<=>H<sub>2</sub>aq+2(Pt);

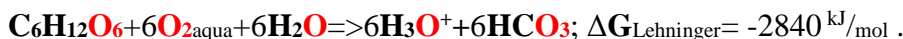
ΔE°<sub>Hess\_šk\_(Pt)H</sub>=0,10166+0,302=-0,40366 V; ΔG<sub>Hess\_šk\_(Pt)H</sub>=ΔE°<sub>H<sub>3</sub>O+</sub>•F•2=0,40366\*96485\*2=77,89 kJ/mol;

ΔG<sub>Hess\_sp\_(Pt)H</sub>=GH<sub>2</sub>aq+2G<sub>(Pt)</sub>-2G<sub>H(Pt)</sub>=103,24+2\*G<sub>(Pt)</sub>-2\*51,05=77,89 kJ/mol un platīna režģa enerģija ir:

G<sub>(Pt)</sub>=38,4 kJ/mol , jo 2G<sub>(Pt)</sub>=ΔG<sub>Hess\_sp\_(Pt)H</sub>-GH<sub>2</sub>aq+2G<sub>H(Pt)</sub>=-77,89-103,24+2\*51,05=76,75=2\*38,4 kJ/mol .

Red-Ox sistēmu <b>Tabula 2.</b>	Standarta potenciāls E°	klasiskais;	Termodinamiskais,	
Īzevielas reducētā forma=>produkti oksidētā forma+n e <sup>-</sup> Dati[1-24].		Ūdens atlaide klasiskā nulle E <sub>o</sub> ,	Ūdens uzskaitē + nulle E <sub>oH2O</sub>	Termodinamiskā skala 0,10166 V
<b>OH<sup>-</sup> = HO + e<sup>-</sup></b>	CRC	2,020	2,020	2,122
<b>4 H<sub>2</sub>O = H<sub>2</sub>O<sub>2(aqua)</sub> + 2 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2 e<sup>-</sup></b>	Suchotina	1,776	1,982	2,084
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O = O<sub>2(aqua)</sub><sup>-</sup> + 2 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + e<sup>-</sup></b>	David Harris	1,276	1,379	1,481
<b>6 H<sub>2</sub>O = O<sub>2(aqua)</sub> + 4 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 4 e<sup>-</sup></b>	Suchotina	1.51	1.76	+1.86
<b>HNO<sub>2</sub> + 4H<sub>2</sub>O = NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + 3H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>	University Alberta	1,229	1,383	1,485
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + 3 H<sub>2</sub>O = NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + 2 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>	David Harris	0,928	1,133	1,235
<b>Hydroquinone + 2H<sub>2</sub>O = p-quinone + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>		0,835	0,990	1,091
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2(aqua)</sub> + 2H<sub>2</sub>O = O<sub>2(aqua)</sub> + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>	University Alberta	0,699	0,802	0,904
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2(aqua)</sub> + H<sub>2</sub>O = O<sub>2(aqua)</sub> + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + H<sup>+</sup> (H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup>)</b>	University Alberta	0,695	0,798	0,899
<b>Fe<sup>2+</sup> = Fe<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup></b>	University Alberta	0,695	0,746	0,848
<b>Ubiquinol + 2H<sub>2</sub>O = Ubiquinone + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>		0,769	0,769	0,871
<b>Succinate<sup>2-</sup> + 2H<sub>2</sub>O = Fumarate<sup>2-</sup> + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>		0,459	0,562	0,664
<b>ButyrylCoA + 2H<sub>2</sub>O = CrotonylCoA + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>		0,445	0,548	0,650
<b>AscorbicAcid + 2H<sub>2</sub>O = C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>6</sub> + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b> DC.	Harris	0,399	0,502	0,604
<b>glycolate + 2H<sub>2</sub>O = Glyoxylate + H<sup>+</sup> (H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup>) + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b> ;	D.C.Harris 25°C	0,390	0,493	0,595
<b>Fe<sup>2+</sup> = Cytochrome F Fe<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup></b>	David Harris	0,324	0,427	0,529
<b>[Fe<sup>II</sup>(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup> = [Fe<sup>III</sup>(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> + e<sup>-</sup></b>	University Alberta	0,365	0,365	0,467
<b>Malate<sup>2-</sup> + 2H<sub>2</sub>O = Oxalo-acetate<sup>2-</sup> + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>		0,356	0,356	0,457
<b>Fe<sup>2+</sup> = Cytochrome a3 Fe<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup></b>		0,248	0,351	0,453
<b>Lactate<sup>-</sup> + H<sub>2</sub>O = Pyruvate<sup>-</sup> + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + H<sup>+</sup> (H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup>)</b>		0,350	0,350	0,452
<b>FADH<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>O = FADfree + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b> ;		0,229	0,281	0,382
<b>CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> + 2H<sub>2</sub>O = glycolate + H<sup>+</sup> (H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup>) + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b> ;	D.C.Harris 25°C	0,195	0,298	0,400
<b>C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> + 4H<sub>2</sub>O = 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 6H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 6HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + 24 e<sup>-</sup></b> ;	6. lpp.	0,161	0,263	0,365
<b>H<sub>2</sub>S<sub>aq</sub> + 2 H<sub>2</sub>O = S<sub>rombic</sub> + 2 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b> ;	CRC 2010	0,0701	0,2503	0,3521
<b>CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH + H<sub>2</sub>O = CH<sub>3</sub>CHO + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + H<sup>+</sup> (H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup>)</b> ;	KortlyShucha	0,142	0,245	0,347
<b>Fe<sup>2+</sup> = Cytochrome a Fe<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup></b>		0,190	0,241	0,343
<b>2GlutathSH + 2H<sub>2</sub>O = GlutaS-Sthione + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>		0,2900	0,2900	0,3917
<b>HS<sup>-</sup> + 2H<sub>2</sub>O = S<sub>rhb</sub> + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>	University Alberta	0,1841	0,2871	0,3888
<b>Fe<sup>2+</sup> = Cytochrome c Fe<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup></b>		0,1739	0,2769	0,3786
<b>LipSHSH + 2H<sub>2</sub>O = LipoicAcidS-S + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>		0,2540	0,2540	0,3557
<b>Fe<sup>2+</sup> = Cytochrome c1 Fe<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup></b>		0,1241	0,2271	0,3288
<b>β-OH Butyrate<sup>-</sup> + 2H<sub>2</sub>O = AcetoAcetate<sup>-</sup> + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>		0,2200	0,2200	0,3217
<b>isocitrate<sup>2-</sup> + 2H<sub>2</sub>O = α-Ketoglutarate<sup>2-</sup> + CO<sub>2</sub> + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>		0,0681	0,1711	0,2728
<b>Nernsts H<sub>2aq</sub> + 2H<sub>2</sub>O ⇌ 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + H<sub>2</sub>O + 2e<sup>-</sup></b> ;	ΔG <sub>Hess_H3O+</sub> = -58,12 kJ/mol	0,0341	0,1371	0,2388
<b>Ox inverse: 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup> ⇌ H<sub>2aq</sub> + 2H<sub>2</sub>O</b> ;	ΔG <sub>Hess_H2aq</sub> = -58,12 kJ/mol	0,0963	0,1993	0,3020
<b>H<sub>2aq</sub> + 2(Pt) ⇌ 2(Pt)H + H<sub>2</sub>O</b> ; 2(Pt)H + H <sub>2</sub> O = 2(Pt + e <sup>-</sup> + H <sup>+</sup> ) + H <sub>2</sub> O ;		-0,0963	-0,1993	-0,3020
<b>H(Pt) + H<sub>2</sub>O = H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + (Pt) + e<sup>-</sup></b> ; [H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ] = 1 M pH=0 classic zero		0,0461	0,0976	0,1993
<b>Luciferin + OH<sup>-</sup> = ?luciferin + CO<sub>2(aqua)</sub> + OH<sup>-</sup> + 3H(3H<sup>+</sup> + 3e<sup>-</sup>) + e<sup>-</sup></b> ;		<b>0,0</b> ; [H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ] = 1 M	0,103	<b>0,10166</b>
<b>Fe<sup>2+</sup> = Cytochrome b Fe<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup></b>		0,0000	0,0000	0,1017
<b>CH<sub>3</sub>CHO + 3H<sub>2</sub>O = CH<sub>3</sub>COOH + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>	Suchotina	0,0770	0,0770	0,1787
<b>Glycaldeh3-P<sup>2-</sup> + H<sub>2</sub>O + HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 13PGlycerate<sup>4-</sup> + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + H<sup>+</sup> (H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup>)</b> ;		-0,1180	0,0365	0,1382
<b>NADPH = NADP<sup>+</sup> + H<sup>+</sup> (H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup>)</b> ;		-0,1314	-0,0799	0,0218
<b>NADH = NAD<sup>+</sup> + H<sup>+</sup> (H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup>)</b> ;	David Harris	-0,1170	-0,1170	-0,0153
<b>O<sub>2(aqua)</sub> = O<sub>2(aqua)</sub> + e<sup>-</sup></b>	Suchotina	-0,1130	-0,1130	-0,0113
<b>Ferredoxin Fe<sup>2+</sup> = Ferredoxin Fe<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup></b>		-0,2450	-0,2450	-0,1433
<b>C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> + 4H<sub>2</sub>O = 2C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub> + 4H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 4e<sup>-</sup></b>	Stryer	-0,4320	-0,4320	-0,3303
<b>S<sup>2-</sup> = S<sub>rombic</sub> + 2 e<sup>-</sup></b> ;	CRC 2010	-0,5427	-0,4397	-0,3380
<b>HS<sup>-</sup> + OH<sup>-</sup> = S<sub>rombic</sub> + H<sub>2</sub>O + 2e<sup>-</sup></b> ;	CRC 2010	-0,4763	-0,4763	-0,3746
<b>H(Pt) + OH<sup>-</sup> = H<sub>2</sub>O + (Pt) + e<sup>-</sup></b>	Suchotina	-0,4780	-0,5295	-0,4278
<b>Ubiquinol6 + 2H<sub>2</sub>O = Ubiquinone6 + 2H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup></b>	CRC 2012	-0,8280	-0,9310	-0,8293
<b>OH<sup>-</sup> = HO + e<sup>-</sup></b>	CRC	-1,0500	-0,9470	-0,8453

Bio-degviela **glikoze**  $C_6H_{12}O_6$ , bioķīmiskais ūdens  $6H_2O$  un skābekļa  $6O_{2\text{aqua}}$  enerģija  $\Delta G_{\text{Lehninger}}=2840 \text{ kJ/mol}$  oksidēšanā tiek lietota jonu koncentrācijas gradientu  $6HCO_3^-$  un  $6H_3O^+$  ģenerēšanai:



Ģenerētie  $6HCO_3^- + 6H_3O^+$  joni cauri membrānu akvaporīnu kanāliem virza  $6O_{2\text{aqua}} + 6H_2O$  osmozē pretēji koncentrācijas gradientiem bet lejup pa gradientiem cauri membrānu bikarbonātu un protonu kanāliem transportē  $6HCO_3^- + 6H_3O^+$  jonus.

Kvazi līdzsvaru virzošais neatgriezeniskais dzinējs fotosintēze akumulē brīvo enerģiju produktos:

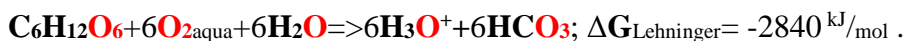


Lietojot Hesa likumu  $2840 \text{ kJ/mol} = G_{C_6H_{12}O_6} + 6 \cdot G_{O_2\text{Homeostasis\_arterial}} + 6 \cdot G_{H_2O\_Biochem} - (6 \cdot G_{H_3O^+} + 6 \cdot G_{HCO_3^-})$ , Brīvās enerģijas saturs vienā molā glikozes aprēķināms Hesa likumā lietojot Alberty [8] un [15] datus:

$$G_{C_6H_{12}O_6} = 2840 - 6 \cdot G_{O_2\text{Homeostasis\_arterial}} - 6 \cdot G_{H_2O\_Biochem} + (6 \cdot G_{H_3O^+} + 6 \cdot G_{HCO_3^-}) = 2268.8 \text{ kJ/mol}.$$

Tādā brīvā glikozes enerģija ir  $G_{C_6H_{12}O_6} = 2840 - 6 \cdot 78.08 - 6 \cdot 85.64 + 6 \cdot 68.52 = 2840 - 468,48 - 513,84 + 411,12 = 2268.8 \text{ kJ/mol}$ .

Brīvā enerģija kvazi līdzsvarā aprēķina lietojot Lehningera datus [6]  $-2840 \text{ kJ/mol}$  potenciālam



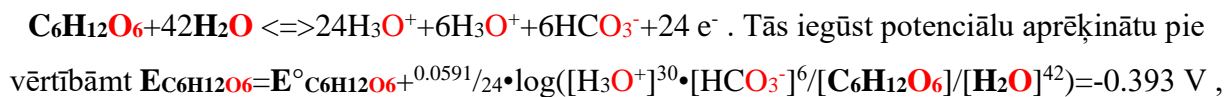
$O_{2\text{aqua}} + 4H_3O^+ + 4e^- \rightleftharpoons 6H_2O$  termodinamiskais standarta [potenciāls](#)  $E^\circ_{O_2} = 1.485 \text{ V}$  veido arteriālo potenciālu:

$$E_{O_2} = E^\circ_{O_2} + \frac{0.0591}{4} \cdot \log\left(\frac{[O_{2\text{aqua}}] \cdot [H_3O^+]^4}{[H_2O]^6}\right) = 1.485 + \frac{0.0591}{4} \cdot \log\left(\frac{6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-7.36 \cdot 4}}{55.346^6}\right) = 0.833 \text{ Volti}.$$

$$\text{Potenciālu starpība ir } \Delta E = \Delta G_{\text{eq}}/F/n = (E_{C_6H_{12}O_6} - E_{O_2}) = -2840000/96485/24 = (E_{C_6H_{12}O_6} - 0.833) = -1.226 \text{ V}.$$

Tā aprēķināms glikozes potenciāls oksidēšanai:  $E_{C_6H_{12}O_6} = \Delta E + E_{O_2} = -1,226 + 0,833 = -0.393 \text{ V}$  no Lehningera datiem:  $-2840 \text{ kJ/mol} = \Delta G_{\text{Lehninger}} = \Delta E \cdot F \cdot n = (E_{C_6H_{12}O_6} - E_{O_2}) \cdot F \cdot n = (-0.3934 - 0.833) \cdot F \cdot n = -1,2264 \cdot 96485 \cdot 24 = -2840$ ;

Glikozes  $C_6H_{12}O_6$  oksidēšanas pusreakcija un sešu skābekļu molekulu reducēšanas pusreakcijas. Lehninger a  $-2840 \text{ kJ/mol}$  enerģijas izmaiņas potenciāls  $E_{C_6H_{12}O_6} = -0.393 \text{ Volti}$  glikozes oksidēšanai:



Tās iegūst potenciālu aprēķinātu pie vērtībām  $E_{C_6H_{12}O_6} = E^\circ_{C_6H_{12}O_6} + \frac{0.0591}{24} \cdot \log\left(\frac{[H_3O^+]^{30} \cdot [HCO_3^-]^6}{[C_6H_{12}O_6] \cdot [H_2O]^{42}}\right) = -0.393 \text{ V}$ ,

$[H_3O^+] = 10^{-(7.36)} \text{ M}$ ,  $[HCO_3^-] = 0,0154 \text{ M}$ ,  $[C_6H_{12}O_6] = 5 \cdot 10^{(-3)} \text{ M}$  un ūdenim  $[H_2O] = 55,346 \text{ M}$ :

$$-0.393 \text{ V} = E^\circ_{C_6H_{12}O_6} + \frac{0.0591}{24} \cdot \log\left(10^{(-7.36 \cdot 30)} \cdot 0,0154^6 / 5 / 10^{(-3)} / 55,346^{42}\right).$$

$$E^\circ_{C_6H_{12}O_6} = -0.393 - \frac{0.0591}{24} \cdot \log\left(10^{(-7.36 \cdot 30)} \cdot 0,0154^6 / 5 / 10^{(-3)} / 55,346^{42}\right) = 352 \text{ V}.$$

Oksidējot  $C_6H_{12}O_6 + 42H_2O \rightleftharpoons 24H_3O^+ + 6H_3O^+ + 6HCO_3^- + 24e^-$ ; standarta potenciāla  $E^\circ_{C_6H_{12}O_6} = 352 \text{ Volti}$ .

Skābekļa reducēšanas:  $6 \cdot (O_{2\text{aqua}} + 4H_3O^+ + 4e^- \rightleftharpoons 6H_2O)$ ; standarta potenciāls  $E^\circ_{O_2} = 1.485 \text{ Volti}$  dod brīvo enerģijas

$$\text{izmaiņu } \Delta G^\circ_{\text{eq}} = \Delta E^\circ \cdot F \cdot n = (E^\circ_{C_6H_{12}O_6} - E^\circ_{O_2}) \cdot F \cdot n = (0,352 - 1,485) \cdot F \cdot n = -1,2264 \cdot 96485 \cdot 24 = -2623,6 \text{ kJ/mol}.$$

Līdzsvara  $C_6H_{12}O_6 + 6O_{2\text{aqua}} + 6H_2O \rightleftharpoons 6H_3O^+ + 6HCO_3^-$

standarta brīvās enerģijas izmaiņas  $\Delta G_{\text{eqStandart}} = -2623,6 \text{ kJ/mol}$  konstante ir lielāka par vienu:

$$K_{\text{eqStandart}} = \frac{[HCO_3^-]^6 [H_3O^+]^6}{[C_6H_{12}O_6] \cdot [O_2]^6 [H_2O]^6} = \text{EXP}(-\Delta G_{\text{eqStandart}}/R/T) = \text{EXP}(2623600/8,3144/298,15) = e^{1058} = 10^{460}.$$

Homeostāzes konstante ar vērtībām  $[H_3O^+] = 10^{(-7.36)} \text{ M}$ ,  $[HCO_3^-] = 0,0154 \text{ M}$ ,  $[C_6H_{12}O_6] = 5 \cdot 10^{(-3)} \text{ M}$ ,

ūdenim  $[H_2O] = 55,346 \text{ M}$  un  $\Delta G_{\text{Lehninger}} = 2840 \text{ kJ/mol}$  ir lielāka par standartu  $K_{\text{eqHomeostāze}} = 10^{498} > 10^{460} = K_{\text{eqStandart}}$ :

$$K_{\text{eqHomeostāze}} = \frac{[HCO_3^-]^6 [H_3O^+]^6}{[C_6H_{12}O_6] \cdot [O_2]^6 [H_2O]^6} = \text{EXP}(-\Delta G_{\text{eqHomeostasis}}/R/T) = \text{EXP}(2840000/8,3144/298,15) = e^{1146} = 10^{498}.$$

Nernsta potenciāla studijas  $5(\text{Pt})\text{H} + \text{MnO}_4^-$  uzskaitot hidroksioniju  $\text{H}_3\text{O}^+$  un ūdeni  $\text{H}_2\text{O}$ .

Oksidētāja reducēšanas inversais Nernsta potenciāls:  $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}_3\text{O}^+ + 5e^- = \text{Mn}^{2+} + 12\text{H}_2\text{O}$ ;  $E^\circ_{\text{MnO}_4} = 1.86 \text{ V}$ .

Reducētāja oksidēšanas Nernsta potenciāls:  $5(\text{Pt})\text{H} + 5\text{H}_2\text{O} = 5\text{H}_3\text{O}^+ + 5e^-$ ;  $E^\circ_{\text{H}} = 0,10166 \text{ V}$

Elektronu balansēšana  $+ne^- = 5e^- = -ne^-$  summārajā Red-Ox reakcijā:  $5(\text{Pt})\text{H} + \text{MnO}_4^- + 3\text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 7\text{H}_2\text{O}$ .

$$E_{\text{MnO}_4} = -E^\circ + \frac{0.0591}{4} \cdot \lg \frac{[\text{H}_2\text{O}]^{12} \cdot [\text{Mn}^{2+}]}{[\text{MnO}_4^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^8} = -1.86 \text{ V} + \frac{0.0591}{4} \cdot \lg \frac{[\text{H}_2\text{O}]^{12} \cdot [\text{Mn}^{2+}]}{[\text{MnO}_4^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^8}; [\text{H}_2\text{O}] = 55,3 \text{ M} = \frac{996 \text{ g/L}}{18 \text{ g/mol}}$$

$$E_{\text{H}} = E^\circ_{\text{H}} + 0,0591 \cdot \lg \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{O}]} = 0,10166 \text{ V} + 0,0591 \cdot \lg \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{O}]} ;$$

Viela	$\Delta H^\circ_{\text{H}}$ , kJ/mol	$\Delta S^\circ_{\text{H}}$ , J/mol/K	$\Delta G^\circ_{\text{H}}$ , kJ/mol	$\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta G^\circ_{\text{Mn}^{2+}} + 7\Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - 3\Delta G^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - \Delta G^\circ_{\text{MnO}_4^-} - 5\Delta G^\circ_{(\text{Pt})\text{H}} = -1049 \text{ kJ/mol}$
$\text{H}_2\text{O}$	-285,85	69,9565	-237,191	$-228,1 + 7 \cdot (-237,191) - (3 \cdot (-213,2746) - 447,2 + 5 \cdot 99,13/2) = -1049 \text{ kJ/mol}$
$\text{H}_2\text{O}$	<b>-286,65</b>	<b>-453,188</b>	<b>-151,549</b>	Biochem. Thermodyn, Alberty, 2006, Massachusetts Technology Inst.
$\text{H}_3\text{O}^+$	-285,81	-3,854	-213,2746	CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2010, D.Lide
$\text{H}_2(\text{aq})$	23,4	-130	99,13	$\Delta G_{\text{eq}} = -800 \text{ kJ/mol}$ ; $\Delta G_{\text{Hess}} = -1049 \text{ kJ/mol}$
$\text{MnO}_4^-$	-541,4	-191,2	-447,2	izteiksmē $5(\text{Pt})\text{H} + \text{MnO}_4^- + 3\text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 7\text{H}_2\text{O}$ kā absolūti
$\text{Mn}^{2+}$	-220,8	-73,6	-228,1	lielumi $ \Delta G_{\text{eq}} = -800 \text{ kJ/mol}  <  \Delta G_{\text{Hess}} = -1049 \text{ kJ/mol} $ ;

Ūdens koncentrācija  $[\text{H}_2\text{O}]^{12}$  pakāpē 12 ir iekļauta standarta potenciāla vērtībā  $E^\circ = 1,51 \text{ V}$  kā logaritms:

$$E^\circ_{\text{MnO}_4} = E^\circ + 0,0591/5 \cdot \log(1/[\text{H}_2\text{O}]^{12}) = 1,51 + 0,0591/5 \cdot \log(1/55,3^{12}) = 1,76 + 0,0591/5 \cdot \log(1/55,3^{12}) = 1,859 \text{ V};$$

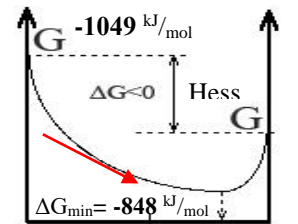
$$\Delta G_{\text{eqOxRed}} = (E^\circ_{\text{H}} + E^\circ_{\text{MnO}_4}) \cdot F \cdot 1 \cdot 5 = (0,10166 - 1,86) \cdot 96485 \cdot 5 = -1,758 \cdot 96485 \cdot 5 = -848 \text{ kJ/mol}$$

$$K_{\text{eq}} = \exp(-\Delta G_{\text{eqOxRed}}/R/T) = \exp(848,3/8,3144/298,15) = \exp(342,2) = 4,08 \cdot 10^{148};$$

Eksotermiska un eksoergiska  $\text{MnO}_4^-$  reducēšanas ar metālisku  $5(\text{Pt})\text{H}$  Hesa brīvās enerģijas izmaiņa negatīva  $\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta G_{\text{OxRed}} = -1049 \text{ kJ/mol}$ , bet minimizējas sasniedzot līdzsvara maisījumu  $\Delta G_{\text{min}} = \Delta G_{\text{eq}} = -848 \text{ kJ/mol}$ ;

$$4,08 \cdot 10^{148} = K_{\text{eq}} = \frac{[\text{H}_2\text{O}]^7 \cdot [\text{Mn}^{2+}]}{[(\text{Pt})\text{H}]^5 \cdot [\text{MnO}_4^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^3};$$

Brīvās enerģijas izmaiņas minimums  $\Delta G_{\text{min}}$  ir Prigožina atraktors. Brīvās enerģijas izmaiņas minimuma sasniegšanā iestājas līdzsvars.



izejvielas  $5\text{A} + \text{B} + 3\text{C}$  50%  $\text{D} + 8\text{E}$   
 produkti  $\text{Mn}^{2+} + 7\text{H}_2\text{O}$

**Nernsta potenciāla  $\text{O}_{2\text{aq}}/\text{H}_2\text{O}$  red-oks sistēmas acidozes oksidatīvā stresa bioķīmiskais mehānisms**  
 (pastiprinoties oksidētāja spēkam potenciāla E vērtībā)

Piezīme: Oksidatīvā stresā norisinās **neenzimātiskas** oksidēšanās reakcijas daudzveidīgos ķēdes reakciju un paralēlos produktos, sagraujot organismu! Iznīcinoši bīstami dzīvībai!

Ūdens vidē (asins plazmā) skābeklis ir stiprs oksidētājs **1,485 V** atbilstoši pus reakcijai:

$$G_{\text{O}_{2\text{aq}}} = G_{\text{O}_{2\text{gas}}} + G_{\text{O}_{2\text{šk}}} = 303,1 + 26,58 = 330 \text{ kJ/mol}; \text{O}_{2\text{aq}} + 4\text{H}_3\text{O}^+ + 4e^- \rightleftharpoons 6\text{H}_2\text{O}$$

oksidētā forma brīvie elektroni reducētā forma

$$G_{\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-} = G_{\text{H}_3\text{O}^+} + G_{\text{OH}^-} = 22,44 + 77,36 = 99,8 \text{ kJ/mol of } \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-;$$

Bioķīmija skābekļa  $\text{O}_{2\text{aq}}$  brīvo enerģijas saturu  $G_{\text{O}_{2\text{aq}}} = 329,7 \text{ kJ/mol}$  samazina līdz  $G_{\text{O}_{2\text{Bio}}} = 78,08 \text{ kJ/mol}$ .

Arteriālo asiņu koncentrācija  $[\text{O}_{2\text{aq}}] = 6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$  un pH=7,36 koncentrācija  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,36} \text{ M}$ .

$$E_{\text{O}_2} = E^\circ + 0,0591/4 \cdot \log([\text{O}_{2\text{aq}}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^4 / [\text{H}_2\text{O}]^6) = 1,485 + 0,0591/4 \cdot \log(6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-29,44} / 55,346^6) = 0,833 \text{ Volti.}$$

Samazināts  $\Delta E_{\text{arterial}} = E^\circ - E_0 = 1,485 - 0,833 = -0,652 \text{ V}$ ;  $\Delta G_{\text{arterial}} = \Delta E_{\text{H}_2\text{O}} \cdot F \cdot n = -0,652 \cdot 96485 \cdot 4/1000 = -251,6 \text{ kJ/mol}$ .

Šķīdība nulles vērtību  $\text{O}_{2\text{gas AIR}} + \text{H}_2\text{O Aquaporins} \Rightarrow \text{O}_{2\text{Blood}}$  palielina produktu līmenī  $G_{\text{O}_{2\text{šk}}} = 26,58 \text{ kJ/mol}$ :

$$\frac{[\text{O}_{2\text{aq}}]}{[\text{O}_{2\text{gas}}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = K_{\text{šk}} = 2,205 \cdot 10^{-5}. G_{\text{O}_{2\text{šk}}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{šk}}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(2,205 \cdot 10^{-5}) = 26,58 \text{ kJ/mol.}$$

Brīvo enerģiju protolīze samazina  $G_{\text{O}_{2\text{arteriāla}}} = G_{\text{O}_{2\text{aq}}} + G_{\text{O}_{2\text{šk}}} + \Delta G_{\text{arteriāla}} = 303,1 + 26,58 - 251,6 = 78,08 \text{ kJ/mol}$  un skābeklis kļūst uguns drošs bioķīmiskais oksidants, veidojot arteriālo koncentrāciju  $[\text{O}_{2\text{aq}}] = 6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$  kā bioenerģētiski drošu uzturētu izooksijas normu. [3];

Skābekļa šķīdības Prigožina atraktors brīvās enerģijas izmaiņa Hesa likumā ir eksotermiska, endoerģiska



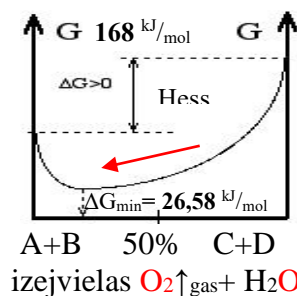
$$\Delta G_{\text{Hess\_šķīdība}} = \Delta G^\circ_{\text{O}_{2\text{aqua}}} - \Delta G^\circ_{\text{O}_{2\text{gas}}} - \Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}} = 16,4 - (0 - 151,549) = 168 \text{ kJ/mol}; \text{ endoerģiska};$$

$$\text{Alberty } [8]; \Delta G_{\text{Hess\_Alberty}} = G_{\text{O}_{2\text{aqua}}} - G_{\text{O}_{2\text{gas}}} - G_{\text{H}_2\text{O}} = 330 - 303 - 0 = 27 \text{ kJ/mol};$$

$\Delta G_{\text{šķ}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{šķ}}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(2,205 \cdot 10^{-5}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot 6,414 = 26,58 \text{ kJ/mol}$   
 $[\text{O}_2]$  šķīdības Hesa brīvās enerģijas izmaiņa ir pozitīva  $\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta G_{\text{šķīdība}} = 168 \text{ kJ/mol}$ , bet minimizējas  $\Delta G_{\text{min}} = \Delta G_{\text{šķ}} = 26,58 \text{ kJ/mol}$  sasniedzot šķīdības līdzsvara maisījumu:

$$K_{\text{šķ}} = \frac{[\text{O}_{2\text{aqua}}]}{[\text{O}_{2\text{gais}}][\text{H}_2\text{O}]} = 2,205 \cdot 10^{-5} = 10^{-4,66}.$$

Brīvās enerģijas izmaiņas minimums  $\Delta G_{\text{min}}$  ir Prigožina atraktors.



**produkti**  $\text{H}_2\text{O}_{\text{Asinis}} + \text{O}_{2\text{aqua-Asinis}}$ .

Brīvās enerģijas izmaiņas minimuma sasniegšanā iestājas līdzsvars. [53. lapas puses](#):

Nulles osmolārā  $C_{\text{osm}}=0 \text{ M}$  un jonu  $I=0 \text{ M}$  koncentrācija destilētā ūdenī no gaisa 20,95% šķīdība ir:

$$[\text{O}_{2\text{ūdens}}] = K_{\text{šķ}} \cdot [\text{O}_{2\text{gas}}] \cdot [\text{H}_2\text{O}] = 2,205 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2095 \cdot 55,3 = 2,5567 \cdot 10^{-4} \text{ M}.$$

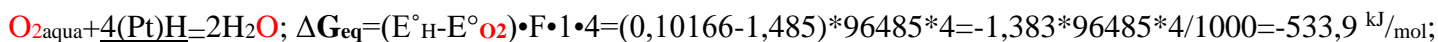
ELSEVIER, Rotating Electrode Method and Oxygen reduction Electrocatalysts, 2014, p.1-31,

1. WeiXinga, MinYinb, QingLvb, YangHub, ChangpengLiub, JiujunZhangc. Tīra 1atm mol daļa ir  $[\text{O}_{2\text{gas}}] = 1$ .

Osmolārā  $C_{\text{osm}}=0,305 \text{ M}$ , jonu spēka  $I=0,25 \text{ M}$ , gaisa skābekļa 20,95% apstākļos izšķīst  $[\text{O}_{2\text{aqua}}] = 9,768 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ .

Tā pēc fizioloģiskā līdzsvara konstante ir  $K_{\text{O}_{2\text{asinis}}} = [\text{O}_{2\text{aqua}}]/[\text{O}_{2\text{gais}}] = 9,768 \cdot 10^{-5}/0,2095 = 4,663 \cdot 10^{-4} = 10^{-3,3314}$ .

Arteriālo  $[\text{O}_{2\text{aqua}}] = 6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$  un venozo  $[\text{O}_{2\text{aqua}}] = 0,426 \cdot 10^{-5} \text{ M}$  koncentrāciju nodrošina  $\text{p}K_{\text{O}_{2\text{asinis}}} = 3,3314$  skābekļa molekulām osmozē pretēji koncentrācijas gradientam šķērsojot akvaporīnu kanālus membrānās.

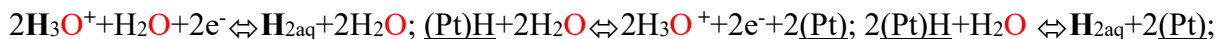
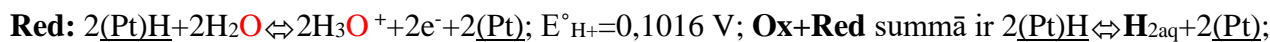


Zinot līdzsvara vērtību  $\Delta G_{\text{eq}2\text{H}_2\text{O}} = 2G_{\text{H}_2\text{O}} - 4G_{(\text{Pt})\text{H}} - G_{\text{O}_{2\text{aqua}}} = 2 \cdot 0 - (4 \cdot G_{(\text{Pt})\text{H}} + 329,68) = -533,9 = 2 \cdot (-266,94) \text{ kJ/mol}$ ,

metāla brīvā enerģija ir  $G_{\text{H}(\text{Pt})} = (2G_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta G_{\text{eq}2\text{H}_2\text{O}} - G_{\text{O}_{2\text{aqua}}})/4 = (2 \cdot 0 + 533,886 - 329,68)/4 = 204,2/4 = 51,05 \text{ kJ/mol}$ ;



**Nernsta** un grafitā elektroda potenciāls  $E^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} = -58360/96485/2 = -0,302 \text{ V}$  oksidē ūdeņradi atbrīvojot (Pt) kristāla režģi.

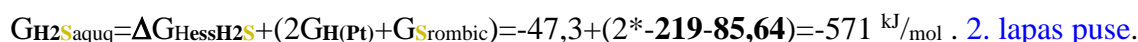
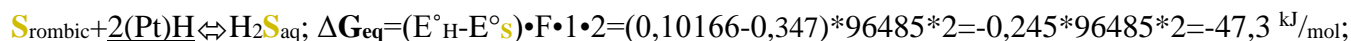
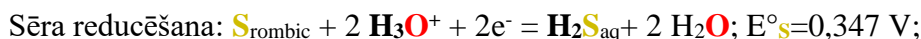


$$\Delta E^\circ_{\text{Hess\_sp\_}(\text{Pt})\text{H}} = 0,10166 - (-0,302) = 0,40366 \text{ V}; \Delta G_{\text{Hess\_sp\_}(\text{Pt})\text{H}} = \Delta E^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} \cdot F \cdot 2 = 0,40366 \cdot 96485 \cdot 2 = 77,894 \text{ kJ/mol};$$

$$\Delta G_{\text{Hess\_sp\_}(\text{Pt})\text{H}} = G_{\text{H}_{2\text{aq}}} + 2G_{(\text{Pt})\text{H}} - 2G_{\text{H}(\text{Pt})} = 103,24 + 2 \cdot G_{(\text{Pt})\text{H}} - 2 \cdot 51,05 = 77,894 \text{ kJ/mol}.$$

Platīna kristāla režģa enerģija ir izskaitļota pret atskaites skalas nulles vērtībām  $G_{\text{H}_2\text{O}} = G_{\text{CO}_{2\text{gas}}} = G_{\text{e}^-} = 0 \text{ kJ/mol}$ :

$$2G_{(\text{Pt})\text{H}} = \Delta G_{\text{Hess\_sp\_}(\text{Pt})\text{H}} - G_{\text{H}_{2\text{aq}}} + 2G_{\text{H}(\text{Pt})} = 77,894 - 103,24 + 2 \cdot 51,05 = 76,75 = 2 \cdot 38,4 \text{ kJ/mol}.$$





## Nernsta potenciālu $O_{2(aq)} / H_2O$ | $(Pt)H$ / un $H_2O_2 / H_2O$ | $H_2O_2 / O_2$ studijas

Ox oksidētāja reaģenta pus reakcija:  $O_{2(aq)} + 4H_3O^+ + 4e^- \rightleftharpoons 6H_2O$  ;

Red reducētāja reaģenta pus reakcija:  $4(Pt)H + 4H_2O \rightleftharpoons 4H_3O^+ + 4e^-$  ; metālisks ūdeņradis  $G_{H(Pt)} = 51,05 \text{ kJ/mol}$   
 $O_{2(aq)} + 4(Pt)H \rightleftharpoons 2H_2O$  ;  $\Delta G_{eqOxRed} = 2G_{H_2O} - 4G_{H(Pt)} - G_{O_{2(aq)}} = (2 \cdot 0 - 4 \cdot 51,05 - 329,68) = -533,886 \text{ kJ/mol}$

$E_{O_2} = E^\circ_{O_2} + 0,0591/4 \cdot \lg([O_{2(aq)}] \cdot [H_3O^+]^4 / [H_2O]^6) = 1,485 + 0,0591/4 \cdot \lg([O_{2(aq)}] \cdot [H_3O^+]^4 / [H_2O]^6)$  ;

$E_H = E^\circ + 0,0591 \cdot \lg([H_3O^+] / [H_2O]) = 0,10166 \text{ V} + 0,0591 \cdot \lg([H_3O^+] / [H_2O])$  ;

Gas  $O_{2(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons 2H_2O$  ;  $\Delta G_{Hess2H_2O} = 2\Delta G^\circ_{H_2O} - (2\Delta G^\circ_{H_2(g)} + \Delta G^\circ_{O_{2(g)}}) = 2 \cdot (-273,19) - (2 \cdot 0 + 0) = -546,38 \text{ kJ/mol}$

$O_{2(aq)} + 2H_{2(aq)} \rightleftharpoons 2H_2O$  ;  $\Delta G_{Alberty2H_2O} = 2G_{H_2O} - 2G_{H_{2(aq)}} - G_{O_{2(aq)}} = 2 \cdot 0 - (2 \cdot 103,24 + 329,68) = -536,4 \text{ kJ/mol}$  ;

Hydrogen energy  $G_{H_{2(aq)}} = 103 \text{ kJ/mol}$  of Alberty R.A. Biochemical Thermodynamic's 1-463, (2006).

Viela	$\Delta H^\circ_H, \text{kJ/mol}$	$\Delta S^\circ_H, \text{J/mol/K}$	$\Delta G^\circ_H, \text{kJ/mol}$
$H_2O$	-285,85	69,9565	-237,191
$H_2O$	<b>-286,65</b>	<b>-453,188</b>	<b>-151,549</b>
$H_3O^+$	-285,81	-3,854	-213,2746
$H_{2(aq)}$	23,4	-130	99,13
$O_{2(aq)}$	<b>-11,70</b>	<b>-94,2</b>	<b>16,4</b>
$O_{2(aq)}$	-11,715	110,876	16,4

$\Delta G_{Hess}/2 = (2\Delta G^\circ_{H_2O} - 4\Delta G_{(Pt)H} - \Delta G^\circ_{O_{2(aq)}}) / 2 = -689 / 2 = -344,521 \text{ kJ/mol}$  ;  
 $= (2 \cdot (-237,191) - (4 \cdot 51,05 + 16,4)) / 2 = -689 / 2 = -344,5 \text{ kJ/mol}$ . CRC 2010

$\Delta G_{eq} = -533,886 \text{ kJ/mol}$  ;  $\Delta G_{Hess} = -689 \text{ kJ/mol}$

reakcijā  $4(Pt)H + O_{2(aq)} \rightleftharpoons 2H_2O$  ; kā absolūti

lielumi  $|\Delta G_{eq}| = -533,9 \text{ kJ/mol} < |\Delta G_{Hess} = -689 \text{ kJ/mol}|$  ;

Water concentration  $[H_2O]^6$  as logarithm extracted of  $E^\circ_{classic} = 1,229 \text{ V}$   
 Thermodynamic to hydrogen reference  $E^\circ = 1,383 + 0,10166 = 1,485 \text{ V}$

$E^\circ_{O_2} = 1,485 \text{ V}$  ;  $E_{O_2} = E^\circ_{O_2} + 0,0591/4 \cdot \lg(1/[H_2O]^6) - 0,10166 = 1,229 \text{ V}$  ;  $[H_2O] = 996 \text{ g/L}^{-1} / 18 \text{ g/mol} = 55,3 \text{ M}$  ;

$\Delta G_{eqOxRed} = (E^\circ_H - E^\circ_{O_2}) \cdot F \cdot n = (0,10166 - 1,485) \cdot 96485 \cdot 4 = -1,383 \cdot 96485 \cdot 4 = -533,886 = 2 \cdot -266,9 \text{ kJ/mol}$  ;

$K_{eq2H_2O} = K_{OxRed} = \exp(-\Delta G_{OxRed} / RT) = \exp(533886 / 8,3144 / 298,15) = \exp(215,4) = 3,42 \cdot 10^{93}$  ;

$G_{H(Pt)} = (2G_{H_2O} - \Delta G_{eq2H_2O} - G_{O_{2(aq)}}) / 4 = (2 \cdot 0 + 533,886 - 329,68) / 4 = 204,2 / 4 = 51,05 \text{ kJ/mol}$

Eksotermiska, eksoergiska  $O_{2(aq)}$  reducēšana ar metālu ūdeņradi

$4(Pt)H$  un  $H_2O_2$  dismutēšanas Hesa brīvās enerģijas izmaiņa negatīva

$\Delta G_{Hess2H_2O} = -546,38 \text{ kJ/mol}$  ,  $\Delta G_{Hess-H_2O_2} = -480,22 \text{ kJ/mol}$  , bet minimizējas

sasniedzot līdzsvaru  $\Delta G_{eq2H_2O} = -534 \text{ kJ/mol}$  un  $\Delta G_{eqStandard} = -228,6 \text{ kJ/mol}$  maisījuma

konstanti  $K_{eq2H_2O} = 3,42 \cdot 10^{93}$  ..... un  $K_{eqStandard} = 1,108 \cdot 10^{40}$  .....

Minimums  $\Delta G_{min}$  ir Prigožina attractors. Brīvās enerģijas izmaiņas minimuma sasniegšanā iestjas līdzsvara stāvoklis.

Red  $H_2O_2 + 2H_2O - 2e^- = O_{2(aq)} + 2H_3O^+$  ;  $E^\circ_{H_2O_2} = 0,899 \text{ V}$  Alberta University ;

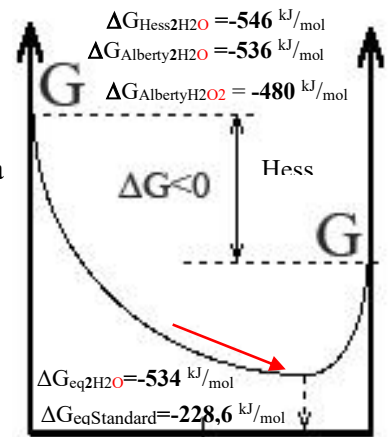
$[H_2O_2] = 1 \text{ M}$  koncentrācijas vidē  $pH = 7,36$  .

Oks  $H_2O_2 + 2H_3O^+ + 2e^- = 4H_2O$  ;  $E^\circ_{Ox} = 2,084 \text{ V}$  Suhotina ;

$2H_2O_{2(aq)} \rightleftharpoons O_{2(aq)} + 2H_2O + Q + \Delta G$  ;

Izejvielas  $4(Pt)H + O_{2(aq)}$  un produkti  $2H_2O$

Izejvielas  $2H_2O_{2(aq)}$  un produkti  $O_{2(aq)} + 2H_2O$



4A+B 50% 2D

2A 50% B+2C

$\Delta G_{eqStandard} = (E_{Red} - E_{Ox}) \cdot F \cdot n = (0,899 - 2,084) \cdot 96485 \cdot 2 = (-1,185) \cdot 96485 \cdot 2 = -228,6 \text{ kJ/mol}$  ;

$K_{eqStandard} = \frac{[O_2]_{aq} \cdot [H_2O]^2}{[H_2O_2]_{aq}^2} = K_{H_2O_2} = \exp(-\Delta G_{eq} / RT) = \exp(228573 / 8,3144 / 298,15) = 1,108 \cdot 10^{40}$  .....

$E_{O_{H_2O_2}} = E^\circ_{H_2O_2} + 0,0591/2 \cdot \lg([O_{2(aq)}] \cdot [H_3O^+]^2 / [H_2O_2] / [H_2O]^2) = 0,899 + 0,0591/2 \cdot \lg(6 \cdot 10^{(-5)} \cdot 10^{(-7,36 \cdot 2)} / 1 / 55,3^2) = 0,2363 \text{ V}$

$E_{O_{Ox}} = E^\circ_{H_2O_2Ox} + 0,0591/2 \cdot \lg([H_2O_2] \cdot [H_3O^+]^2 / [H_2O]^4) = 2,084 + 0,0591/2 \cdot \lg(1 \cdot 10^{(-7,36 \cdot 2)} / 55,3^4) = 1,443 \text{ V}$

BioChem:  $\Delta G_{eqBioChem} = (E_{Red} - E_{Ox}) \cdot F \cdot n = (0,2363 - 1,443) \cdot 96485 \cdot 2 = (-1,207) \cdot 96485 \cdot 2 = -232,86 \text{ kJ/mol}$

$\Delta G_{Alberty} = G_{O_2BioChem\_arterij} + 2 \cdot G_{H_2O} - 2 \cdot G_{H_2O_2} = 78,08 + 2 \cdot 85,64 - 2 \cdot 364,79 = -480,22 \text{ kJ/mol}$  ; [Alberty](#)

1.  $\Delta H_{Hess} = \Delta H^\circ_{O_2} + 2\Delta H^\circ_{H_2O} - 2\Delta H^\circ_{H_2O_2} = -11,7 - 2 \cdot 286,65 - (2 \cdot -191,99) = -201,02 \text{ kJ/mol} = -11,7 - 2 \cdot 285,85 - (2 \cdot -191,17) = -201,06 \text{ kJ/mol}$

2.  $\Delta S_{izkliede} = -\Delta H_H / T = -(-201,02) / 298,15 = 674,2 \text{ J/mol/K}$  ;  $\Delta S_{izkliede} = -\Delta H_H / T = -(-201,06) / 298,15 = 674,36 \text{ J/mol/K}$  ;

$\Delta S_{Hess} = \Delta S^\circ_{O_2} + 2\Delta S^\circ_{H_2O} - 2\Delta S^\circ_{H_2O_2} = -94,2 + 2 \cdot -453,188 - (2 \cdot -481,688) = -37,2 \text{ J/mol/K}$  ;

$\Delta S_{Hess} = \Delta S^\circ_{O_2} + 2\Delta S^\circ_{H_2O} - 2\Delta S^\circ_{H_2O_2} = 110,876 + 2 \cdot 69,9565 - (2 \cdot 143,9) = -37 \text{ J/mol/K}$  ;

2.  $\Delta S_{kopēja} = \Delta S_H + \Delta S_{izkliede} = -37,2 + 674,2 = 637 \text{ J/mol/K}$  ;  $\Delta S_{kopēja} = -37,011 + 674,36 = 637,35 \text{ J/mol/K}$  ;

4.  $\Delta G_{Hess} = \Delta H_H - T \cdot \Delta S_H = -201,02 - 298,15 \cdot -0,0372 = -189,9 \text{ kJ/mol}$  **exoergic spontaneous**.

$\Delta G_{Hess} = \Delta H_H - T \cdot \Delta S_H = -201,06 - 298,15 \cdot -0,037 = -190 \text{ kJ/mol}$  ;

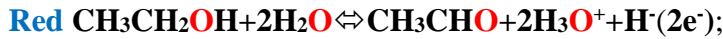
$T \cdot \Delta S_{kopēja} = 0,637 \cdot 298,15 = 189,9 \text{ kJ/mol}$  ;  $T \cdot \Delta S_{kopēja} = 0,63735 \cdot 298,15 = 190 \text{ kJ/mol}$  ;

**Nernsta potenciāla** studijas reducējot ar vitamīnu B<sub>3</sub> etanālu H<sub>3</sub>CCH=O un oksidējot H<sub>3</sub>CCH<sub>2</sub>OH etanolu



ΔG<sub>Hess</sub>=ΔG°H<sub>3</sub>O+ΔG°CH<sub>3</sub>CHO+ΔG°NADH-ΔG°CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH-ΔG°H<sub>2</sub>O-ΔG°NAD<sup>+</sup>=159,1 kJ/mol;

ΔG<sub>Hess</sub>=32,2824+1175,5732-151,549-(75,2864+1059,11-237,191)=159,1 kJ/mol endoergiska;



E°<sup>2</sup>H<sub>2</sub>O=0,190+0,0591/2\*log([H<sub>2</sub>O]<sup>2</sup>)=0,343 V ;

Novērtētajā balansā n=2=m ar elektronu skaitu 2e<sup>-</sup>ΔE° izteiksmē E°<sup>2</sup>H<sub>2</sub>O elektronu donors mīnus E°<sup>1</sup> elektronu akceptors, jo NAD<sup>+</sup> akceptē elektronus no etanola:

E°<sup>2</sup>H<sub>2</sub>O=0,190-0,0591/2\*log([H<sub>2</sub>O]<sup>2</sup>)=0,190+0,02955\*log(55,3333)=0,190+0,0515=0,343 V ; -

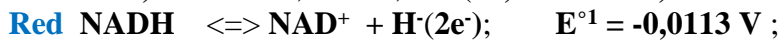
ΔE°=E°<sup>2</sup>H<sub>2</sub>O-E°<sup>1</sup>=0,343-(-0,0113)=0,3545 V, n=2; ΔG<sub>eq</sub>=ΔE°•F•n=0,3545 V•2 mol•96485 C/mol=68,408 kJ/mol ;

ΔG<sub>eq</sub>=-R•T•ln(K<sub>eq</sub>)=68,408 kJ/mol; K<sub>eq</sub>= $\frac{[NADH] \cdot [CH_3CHO] \cdot [H_3O^+]}{[NAD^+] \cdot [CH_3CH_2OH] \cdot [H_2O]}$  = e<sup>-ΔG<sub>eq</sub>/R•T</sup> = e<sup>-68408 / (8,314•298,15)}</sup> = 1,036•10<sup>-12</sup>=10<sup>-11,985</sup>



ΔG<sub>Hess</sub>=ΔG°CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH+ΔG°H<sub>2</sub>O+ΔG°NAD<sup>+</sup>-ΔG°H<sub>3</sub>O-ΔG°CH<sub>3</sub>CHO-ΔG°NADH = -159,1 kJ/mol;

ΔG<sub>Hess</sub>=75,2864+1059,11-237,191-(32,2824+1175,5732-151,549)=-159,1 kJ/mol endoergiska;



Novērtētajā balansā n = 2 = m ar elektronu skaitu 2e<sup>-</sup>ΔE° izteiksmē E°<sup>1</sup> elektronu donors mīnus E°<sup>2</sup>H<sub>2</sub>O elektronu akceptors, jo ethanāls akceptē elektronus no NADH dotajā piemērā:

E°<sup>2</sup>H<sub>2</sub>O=0,190-0,0591/2\*log([H<sub>2</sub>O]<sup>2</sup>)=0,190+0,02955\*log(55,3333)=0,190+0,0515=0,2415 V

ΔE°=E°<sup>1</sup>-E°<sup>2</sup>H<sub>2</sub>O=-0,113-0,2415=-0,3545 V, n=2; ΔG<sub>eq</sub>=ΔE°•F•n=0,3545 V•2 mol•96485 C/mol=-68,408 kJ/mol ;

ΔG<sub>eq</sub>=-R•T•ln(K<sub>eq</sub>)=-68,408 kJ/mol; K<sub>eq</sub>= $\frac{[NAD^+] \cdot [CH_3CH_2OH] \cdot [H_2O]}{[NADH] \cdot [CH_3CHO] \cdot [H_3O^+]}$  = e<sup>-ΔG<sub>eq</sub>/R•T</sup> = e<sup>-(-68408) / (8,314•298,15)}</sup> = 9,65•10<sup>11</sup>=10<sup>11,985</sup>.

Aerobā organismā O<sub>2</sub>aqua NADH oksidāze reda attiecību [NAD<sup>+</sup>]/[NADH]=10<sup>6</sup>;

ΔG<sub>Homeostāze</sub>=68,408+ R•T•ln(10<sup>6</sup>•1/1•10<sup>-7,36</sup>/55,3)=68,408-86,2= -17,8..... kJ/mol.

[NAD<sup>+</sup>]/[NADH]=10<sup>3</sup>; ΔG<sub>Homeostāze</sub>=68,408-69,08= -0,676..... kJ/mol.

Līdzsvars novirzīts izejvielās kā aerobā konstante K<sub>eq</sub>=10<sup>-11,985</sup> un ir inversa anaerobi produktos konstantē K<sub>eq</sub>=10<sup>11,985</sup>. Aerobā endotermiskā un endoergiskā etanola

oksidēšanā Hesa likuma brīvās enerģijas izmaiņa ir pozitīva ΔG<sub>Hess</sub>=159..... kJ/mol un asimetriski negatīva etanāla anaerobai reducēšanai ΔG<sub>Hess</sub>=-159..... kJ/mol, bet

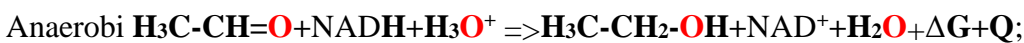
minimizējas sasniedzot līdzsvaru ΔG<sub>min</sub>=ΔG<sub>eq</sub>=68,4..... kJ/mol aerobi izejvielas

un asimetriski anaerobi ΔG<sub>min</sub>=ΔG<sub>eq</sub>=-68,4..... kJ/mol sasniedzot līdzsvara produkti

maisījumu ar asimetriskām konstantēm 10<sup>-11,985</sup>=K<sub>eq</sub> un 10<sup>11,985</sup>=K<sub>eq</sub>.

Prigožina atraktors ir brīvās enerģijas izmaiņas absolūts minimums ΔG<sub>min</sub> sasniedzot

līdzsvaru: ΔG<sub>min</sub>=68,4..... kJ/mol = |ΔG<sub>eq</sub>| < |ΔG<sub>Hess</sub>| =159..... kJ/mol.



reducēšana labvēlīgi ΔG<sub>eq</sub>=ΔE°•F•n=-0,3545 V•2 mol•96485 C/mol=-68,408..... kJ/mol.

Anaerobā etanola oksidēšana nelabvēlīga zemās O<sub>2</sub>aqua koncentrācijas hipoksijā, bet etanāla reducēšana par etanolu labvēlīga [H<sub>3</sub>CCH<sub>2</sub>OH]/[H<sub>3</sub>CCH=O]=1/10 homeostāzē

ar NADH reduktāzes enzīmu kā negatīva brīvās enerģijas izmaiņa

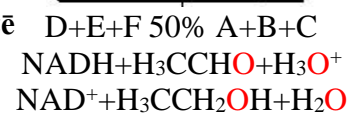
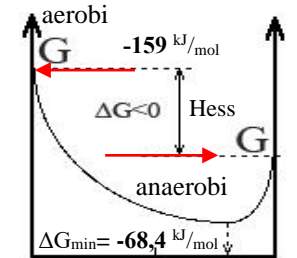
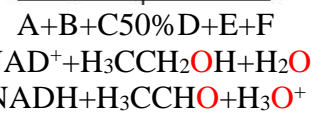
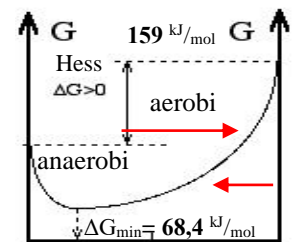
ΔG<sub>Homeostāze</sub>=-27,86..... kJ/mol

Anaerobā attiecība homeostāzē virs c labvēlīga reducēšanai:

ΔG<sub>Homeostāze</sub>=-68,41+8,3144•298,15•ln(K<sub>Homeostāze</sub>)=-68,41+40,54 = -27,86..... kJ/mol

ΔG<sub>Homeostāze</sub>=-68,41+8,3144•298,15•ln( $\frac{1}{10} \frac{1}{10} \frac{55,333}{10^{-7,36}}$ )=-27,86 kJ/mol; K<sub>Homeostāz</sub>= $\frac{[NAD^+] \cdot [CH_3CH_2OH] \cdot [H_2O]}{[NADH] \cdot [CH_3CHO] \cdot [H_3O^+]}$

[NADH]/[NAD<sup>+</sup>]=1/770; ΔG<sub>Homeostāze</sub>=68,408+8,3144•298,15•ln(700/1•1/1•55,3457/10<sup>-7,36</sup>)=0,028 kJ/mol.



Liela ātruma protolīzes peroksīda jonu sadursmē  $\text{HOO}^\bullet \gg \text{OOH}$  ir liela  $E_a = 79000 \text{ J/mol}$  aktivācijas enerģija un jonu  $\text{HOO}^\bullet \Rightarrow \text{Fe}^{3+}$  sadursmē aktivācijas enerģija ir maza  $E_a = 29 \text{ J/mol}$ . Producējot  $\omega = 6$ ,  $\omega = 3$  taukskābes, skābekli, ūdeni un siltumu:



$$\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta G^\circ_{\text{O}_2} + 2\Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - 2\Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2} = 16,40 + 2*(-237,191) - (2*(-134,03)) = -189,9 \dots \text{kJ/mol} \text{ eksoergiski}$$

$$\Delta G_{\text{HessAlberty}} = G^\circ_{\text{O}_2} + 2G^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - 2G^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2} = 303,1 + 2*(0) - (2*364,79) = -426,5/2 \text{ kJ/mol} = -213,25 \dots \text{kJ/mol} \text{ eksoergiski}$$

Viela	$\Delta H^\circ_H, \text{kJ/mol}$	$\Delta S^\circ_H, \text{J/mol/K}$	$\Delta G^\circ_H, \text{kJ/mol}$
$\text{H}_3\text{O}^+$	-285,81	-3,854	-213,275
$\text{O}_2(\text{aq})$	-11,715	110,876	16,4
$\text{O}_2(\text{aq})$	<b>-11,70</b>	<b>-94,2</b>	<b>16,40</b>
$\text{H}_2\text{O}$	-285,85	69,9565	-237,191
$\text{H}_2\text{O}$	<b>-286,65</b>	<b>-453,188</b>	<b>-151,549</b>
$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$	<b>-191,99</b>	<b>-481,688</b>	<b>-48,39</b>
$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$	-191,17	143,9	-134,03
$\text{H}_2\text{O}_2(l)$	-237,129	69,91	-237,129

$$1. \Delta H^\circ_{\text{Hess}} = \sum \Delta H^\circ_{\text{produkti}} - \sum \Delta H^\circ_{\text{izejvielas}}; \quad 3. \Delta G^\circ_{\text{Hess}} = \Delta H^\circ_H - T \cdot \Delta S^\circ_H;$$

Miščenko 1968, Himia, Leningrad

$$\text{CRC 2010}; \quad 2. \Delta S^\circ_{\text{Hess}} = \sum \Delta S^\circ_{\text{produkti}} - \sum \Delta S^\circ_{\text{izejvielas}}$$

$$\Delta H_{\text{Hess}} = \Delta H^\circ_{\text{O}_2} + 2\Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - 2\Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2} = -201,02 \dots = -201,06 \dots \text{kJ/mol}$$

$$= -11,7 - 2*286,65 - (2*(-191,99)) = -201,02 \dots \text{kJ/mol} \text{ eksoergiska..}$$

$$= -11,7 - 2*285,85 - (2*(-191,17)) = -201,06 \dots \text{kJ/mol}$$

BiochemThermodynamic 2006 Massachusetts Technology institute University Alberta 1997.

$$3. \Delta S_{\text{kopēja}} = \Delta S_H + \Delta S_{\text{izkļiedēta}} = -37,2 + 679,725 = 642,525 \dots \text{J/mol/K}$$

$$2. \Delta S = -\Delta H_H/T = -(-201,02)/298,15 = 674,2 \dots \text{J/mol/K}; \quad \Delta S_{\text{izkļiede}} = -\Delta H_H/T = -(-201,06)/298,15 = 674,36 \dots \text{J/mol/K};$$

$$\Delta S_{\text{Hess}} = \Delta S^\circ_{\text{O}_2} + 2\Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - 2\Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2} = -94,2 + 2*453,188 - (2*481,688) = -37,2 \dots \text{J/mol/K};$$

$$\Delta S_{\text{Hess}} = \Delta S^\circ_{\text{O}_2} + 2\Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - 2\Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2} = 110,876 + 2*69,9565 - (2*143,9) = -37 \dots \text{J/mol/K};$$

$$2. \Delta S_{\text{kopēja}} = \Delta S_H + \Delta S_{\text{izkļiede}} = -37,2 + 674,2 = 637 \dots \text{J/mol/K} \quad \Delta S_{\text{kopēja}} = -37,011 + 674,36 = 637,35 \dots \text{J/mol/K};$$

$$4. \Delta G_{\text{Hess}} = \Delta H_H - T \cdot \Delta S_H = -201,02 - 298,15 * -0,0372 = -189,9 \dots \text{kJ/mol} \text{ exoergic} \dots \text{šķontaneous} \dots$$

$$\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta H_H - T \cdot \Delta S_H = -201,06 - 298,15 * -0,037 = -190 \dots \text{kJ/mol};$$

$$T \cdot \Delta S_{\text{kopēja}} = 0,637 * 298,15 = 189,9 \dots \text{kJ/mol}; \quad T \cdot \Delta S_{\text{kopēja}} = 0,63735 * 298,15 = 190 \dots \text{kJ/mol};$$

Pus reakciju RedOx Nernsta reducēšanas un oksidēšanas elektronu balanss  $2 e^-$  pie  $\text{pH} = 7,36$ ,  $[\text{O}_{\text{aq}}] = 6 * 10^{-5} \text{ M}$

$$E_{\text{Red}} = E^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2} + 0,0591/2 * \lg([\text{O}_{\text{aq}}] * [\text{H}_3\text{O}^+]^2 / [\text{H}_2\text{O}_2] / [\text{H}_2\text{O}]^2) = 0,899 + 0,0591/2 * \lg(6 * 10^{-5} * 10^{(-7,36*2)} / 1/55,3^2) = 0,2363 \text{ V}$$

$$E_{\text{Ox}} = E^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2/\text{Ox}} + 0,0591/2 * \lg([\text{H}_2\text{O}_2] * [\text{H}_3\text{O}^+]^2 / [\text{H}_2\text{O}]^4) = 2,084 + 0,0591/2 * \lg(1 * 10^{(-7,36*2)} / 55,3^4) = 1,443 \text{ V}$$

$$\text{Red: } \text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2 e^-; \quad E^\circ_{\text{Red}} = E^\circ_{\text{RedH}_2\text{O}_2} = 0,899 \text{ V} \quad \text{Albertas University classic } E_o = 0,694 \text{ V};$$

$$\text{Ox: } \text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2 e^- = 4 \text{H}_2\text{O}; \quad E^\circ_{\text{Ox}} = E^\circ_{\text{OxH}_2\text{O}_2} = 2,084 \text{ V} \quad \text{Suhotina classic } E_o = 1,776 \text{ V}$$



hidroksonijam un peroksīda: anjonam:  $G_{\text{H}_2\text{O}_2} = 364,8 \text{ kJ/mol}$ ;  $G_{\text{H}_3\text{O}^+} + G_{\text{HOO}^\bullet} = 22,44 + 418,32 = 440,76 \text{ kJ/mol}$  brīvā

enerģija novērtēta attiecībā pret nulli ūdenim un oglekļa dioksīdam  $\text{CO}_2(\text{gas})$ :  $G_{\text{H}_2\text{O}} = G_{\text{CO}_2(\text{gas})} = 0 \text{ kJ/mol}$ ;

$$\Delta G_{\text{min}} = \Delta G_{\text{eqStandart}} = (E^\circ_{\text{RedH}_2\text{O}_2} - E^\circ_{\text{OxH}_2\text{O}_2}) * F * n = (0,899 - 2,084) * 96485 * 2 = (-1,185) * 96485 * 2 = -228,7 \text{ kJ/mol};$$

$$K_{\text{eqStandart}} = \frac{[\text{O}_2]_{\text{aq}} \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{aq}}^2} = K_{\text{H}_2\text{O}_2} = \exp(-\Delta G_{\text{eq}}/R/T) = \exp(228670/8,3144/298,15) = 1,15 * 10^{40} \dots$$

$$\text{Homeostāzē } \Delta G_{\text{eqBioChem}} = (E_{\text{Red}} - E_{\text{Ox}}) * F * n = (0,2363 - 1,443) * 96485 * 2 = (-1,206) * 96485 * 2 = -232,8 \dots \text{kJ/mol};$$

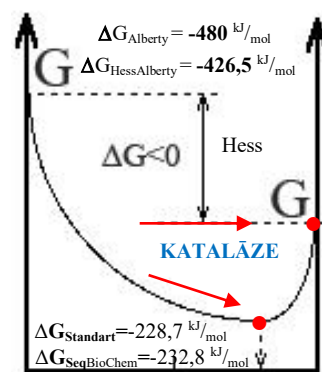
$$\Delta G_{\text{Alberty}} = G_{\text{O}_2(\text{Biochem}_\text{arterijā})} + 2 * G_{\text{H}_2\text{O}(\text{BioChemistry})} - 2 * G_{\text{H}_2\text{O}_2} = 78,08 + 2 * 85,64 - 2 * 364,79 = -480,22 \text{ kJ/mol}; \quad \text{Alberty}$$

Eksotermiska, eksoergiska  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$  dismutēšanas Hesa brīvā enerģijas izmaiņa  $\Delta G_{\text{Alberty}}$ ,  $\Delta G_{\text{HessAlberty}}$  ir negatīva  $-480 \dots \text{kJ/mol}$ ,  $-426,5 \dots \text{kJ/mol}$ , bet minimizējas  $\Delta G_{\text{eqStandart}} = -228,7 \dots \text{kJ/mol}$  sasniedzot līdzsvaru maisījuma konstanti

$$K_{\text{eq}} = 1,15 * 10^{40} \dots$$

Lešateljē princips ir Prigožina atraktors brīvās enerģijas izmaiņas minimums  $\Delta G_{\text{min}}$  līdzsvarā. Liela ātruma protolīzes atraktori  $\text{pH} = 7,36$ , skābeklis 20,95% gaisā atrodas

līdzsvara stāvoklī, kamēr neatgriezeniskā homeostāze turpinās, jo ir nelīdzsvara stāvoklis. Prigožina atraktors Nobela prēmija ķīmijā 1977. gadā. KATALĀZE izdzēs peroksīda molekulas  $\text{H}_2\text{O}_2$  līdz 100%  $\omega = 6$ ,  $\omega = 3$  taukskābju  $\text{C}_{20:4}$  iznākumam elongācijas sintēzē peroksisomās. KATALĀZES reaktivitāte ir nepieciešams neatgriezeniskas homeostāzes Brauna molekulārs dzinējs evolūcijai un izdzīvošanai.



A+A 50% B+2C  
izejvielas  $2\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$   
produkti  $\text{O}_2(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}$

## Stikla $\text{SiO}_2 \downarrow // // \text{SiO}_2 // \downarrow \text{SiO}_2$ membrānas elektrods un pH mērīšana

Stikla elektrods ir parasti lietotais elektrods šķīduma pH noteikšanai. Tas pieskaitāms membrānu elektrodiem, bet tā potenciāls veidojas uz silīcija dioksīda ( $\text{SiO}_2$ ) kristaliskās virsmas silīcijskābes protolīzes reakcijā  $\text{SiO}_2\text{-SiO}_3\text{H} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \downarrow \text{SiO}_2\text{-SiO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ . Stikla elektroda potenciāla rašanās izskaidrojama sekojoši.

Uz stikla virsmas atrodas silīcijskābes anjonu funkcionālās grupas  $\downarrow \text{SiO}_2\text{-SiO}_3^-$ . Uz plāna kristaliska stikla membrānas virsmas protonē ūdeni (piemēram, sālskābē HCl) iestājas protolītiskais līdzsvars starp kristālisku silīcijskābi  $\text{SiO}_2\text{-SiO}_3\text{H}$  un silikāta anjonu grupas  $\text{SiO}_2\text{-SiO}_3^-$ . Silīcijskābe ir ūdenī nešķīstoša skābe un ļoti vājš elektrolīts:  $\text{SiO}_2\text{-SiO}_3\text{H} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \downarrow \text{SiO}_2\text{-SiO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ .

Tā kā kristāliskai membrānai ir iekšējās virsmas līdzsvars un uz ārējās membrānas virsmas ir ārējais līdzsvars, kurš ir mainīgs no mērāmās vides  $\text{H}^+$  koncentrācijas testa ekšperimentos.



Virknē saslēgtu līdzsvaru konstanšu reizinājums veido membrānas līdzsvara konstanti  $K_{\text{iekšs}} \bullet K_{\text{ārējs}} = K_{\text{membr}}$ :

$$K_{\text{iekšs}} = \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{iekšs}}}; \quad K_{\text{ārējs}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{ārējs}}}{[\text{H}_2\text{O}]}; \quad K_{\text{iekšs}} \bullet K_{\text{ārējs}} = K_{\text{membr}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{ārējs}}}{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{iekšs}}};$$

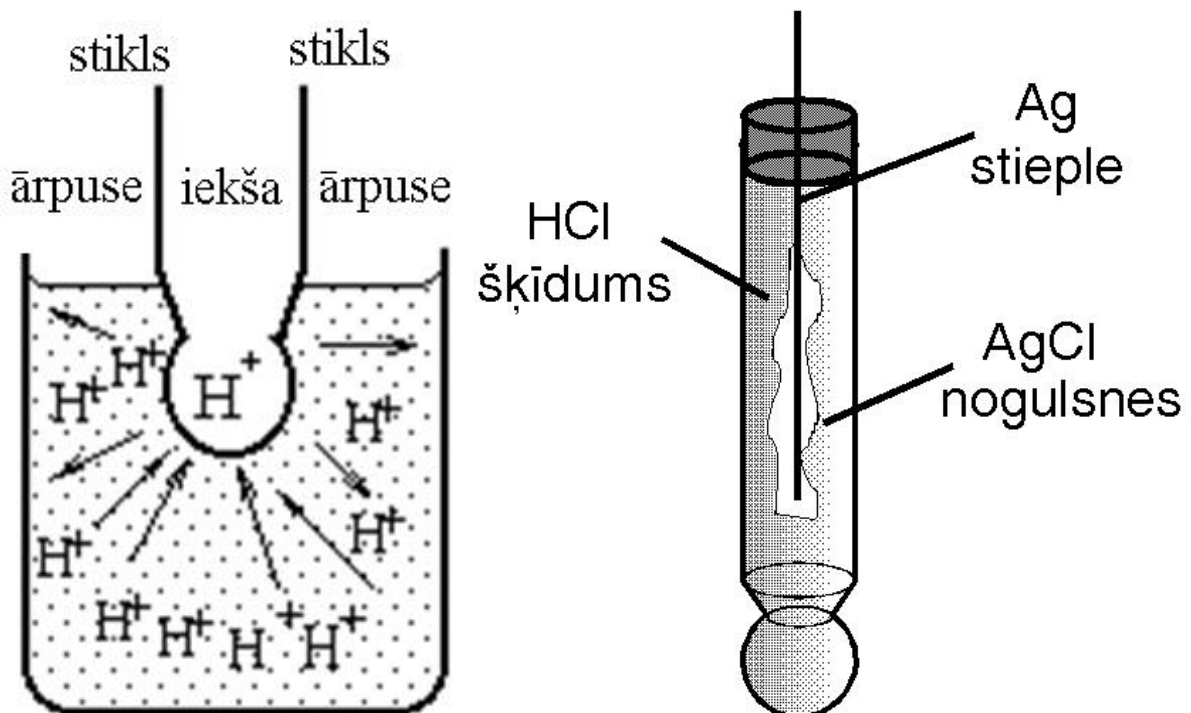
$$E_{\text{membr}} = \frac{0,0591}{n} \log \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{ārējs}}}{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{iekšs}}} = 0,0591 (\log[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{ārējs}} - \log[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{iekšs}}) = E_{\text{const}} - 0,0591 \bullet \text{pH} \quad (24)$$

kur  $n=+1$  ūdeņraža jona lādiņš  $\text{H}^+$ , bet logaritms no koncentrāciju attiecības ir logaritmu no koncentrācijām starpība. Jonu koncentrācija membrānas iekšpusē mainās un ir konstanta  $E_{\text{const.}} = -0,0591 \bullet \log[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{iekšs}}$ .

Membrānas potenciāls ir atkarīgs tikai no šķīduma ūdeņraža joniem  $\text{H}_3\text{O}^+_{\text{ārējs}}$  vai  $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+_{\text{ārējs}}]$ .

$$E_{\text{membr}} = E_{\text{const.}} + 0,0591 \bullet \log[\text{H}_3\text{O}^+_{\text{outer.}}] \quad (24)$$

Praktiski lietojama stikla elektroda uzbūves shēma parādīta attēlā. Stikla caurulītes galā ir izveidots plāns stikla pūslītis, kas kalpo par stikla membrānu. Stikla elektroda iekšpusē ieliets HCl šķīdums ar zināmu koncentrāciju. Ārpusi iegremdē pētāmajā šķīdumā nomēra šķīduma pH.



Stikla membrāna  $\text{HSiO}_3\text{-SiO}_2 \downarrow // // \text{SiO}_2 // \downarrow \text{SiO}_2\text{-SiO}_3\text{H}$  un elektroda komplekts ar sudraba stiepli.

Elektrisko kontaktu ar stikla membrānu iekšējā šķīdumā iegremdē sudraba stiepli, kas izveido otrā veida elektroda potenciālu  $E_{AgCl \text{ iekš}}$  virknē ar membrānas potenciālu  $E_{membr.} + E_{AgCl \text{ iekš}}$ . Potenciāls ir atkarīgs tikai no ārējā – pētāmā šķīduma pH, jo sālskābes koncentrācija ir konstanta. EDS (elektro dzinēja spēku) mēra noslēgtai elektriskai ķēdei. To panāk ārējā šķīdumā iemērcot salīdzināšanas elektrodu ar standarta potenciālu  $E_{AgCl}$ . Elektriskā ķēde noslēdzas pie pH-metra kontakta šķailēm:

Kopējais EDS potenciāls sastāv no 3 virknē saslēgtiem elektrodiem no 3 daļām:

- 1) stikla elektroda iekšpusē izveidotā AgCl elektroda potenciāla  $E_{AgCl \text{ iekš}}$ ;
- 2) stikla membrānas elektrods  $E_{membr.} = E_{const.} + 0,0591 \bullet \log[H_3O^{+}_{outer}] = E_{const.} - 0,0591 \bullet pH$  (24).;
- 3) alīdzināšanas elektrods ar standarta potenciālu  $E_{AgCl}$ .

Saskaitot nemainīgo saskaitāmo daļas summā iegūst jaunu konstanti :  $E'_{const.} = (E_{AgCl} + E_{AgCl \text{ iekš}} E_{const.})$

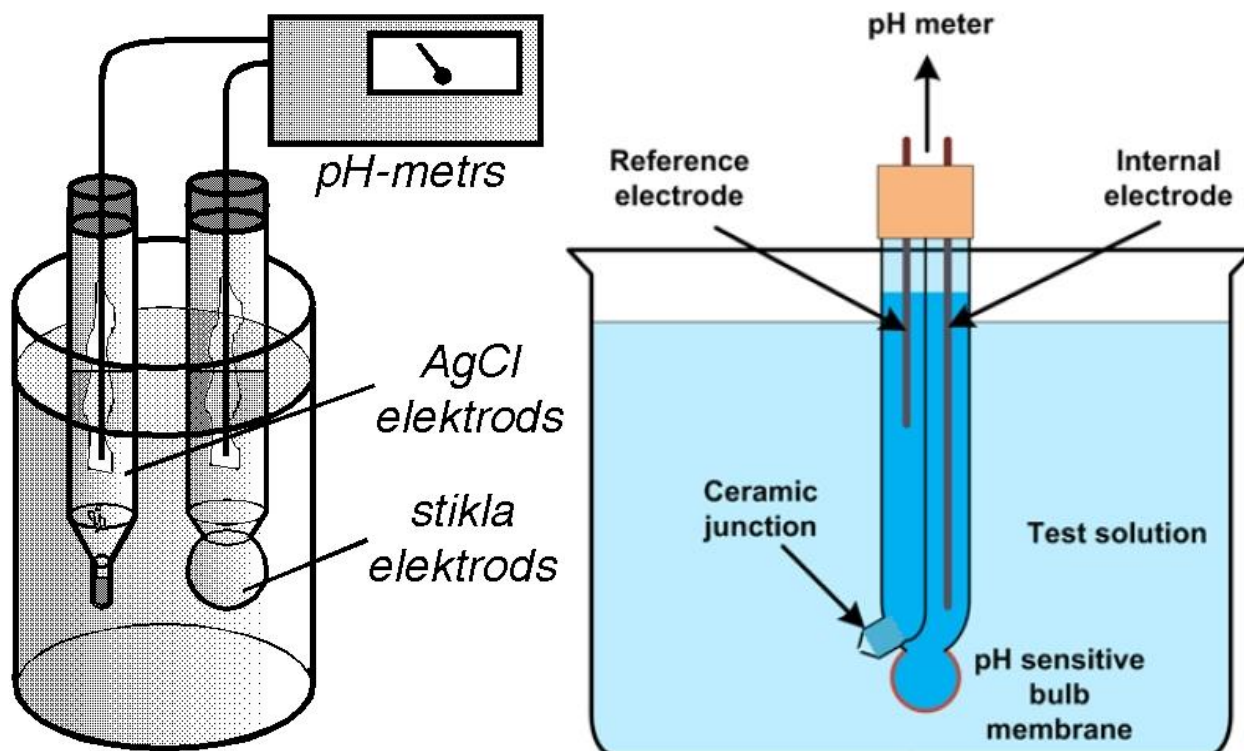
$$EDS = E_{AgCl} + E_{membr.} + E_{AgCl \text{ iekš.}} = (E_{AgCl} + E_{AgCl \text{ iekš}} E_{const.}) + 0,0591 \cdot \lg [H_3O^{+}_{ārēj.}] = E'_{const.} - 0,0591 \bullet pH \quad (25)$$

$$EDS = E'_{const.} - 0,0591 \bullet pH \quad (26)$$

Nomērītais elektro dzinēja spēks (EDS) ir proporcionāls ārējā šķīduma pH vērtībai.

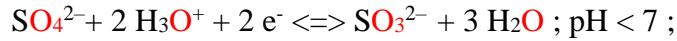
pH mērīšanai ar stikla elektrodu ir vairākas priekšrocības:

- 1) stikla elektrods ir lietojams visā nepieciešamajā pH intervālā (no pH = 0 līdz pH = 14);
- 2) mērījumi ir ļoti precīzi (līdz 0,01 pH vienībai);
- 3) mērījumi nav atkarīgi no oksidētāju, reducētāju un olbaltumvielu klātbūtnes šķīdumā;
- 4) pieslēdzot pH-metru pašrakstītājam, var nepārtraukti kontrolēt pH izmaiņas pētāmajā sistēmā.



Šķīduma pH mērīšana ar kombinēto stikla un sudraba hlorīda elektrodu EDS pāri

**Nernsta potenciāla  $\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_3^{2-}$  red-oks sistēmas īpašības skābā  $\text{H}_3\text{O}^+$  ūdens un baziskā  $\text{OH}^-$  vidē (oksidētāja šķējas pasriprināšanās ar potenciāla  $E$  palielināšanos acidozē)**



$$E^\circ = E_o + 0,0591/2 * \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^3) = +0,20 \text{ V} ; E^\circ = E_o - 0,0591/2 * \lg([\text{H}_2\text{O}]^3) = \mathbf{0,3545 \text{ V}} ;$$

$$E^\circ_{\text{SO}_4} = E^\circ + 0,10166 + 0,0591/2 * \lg([\text{H}_2\text{O}]^3) = 0,2 + 0,10166 + 0,02955 * \lg(55,3^3) = \mathbf{0,45615 \text{ V}} ;$$

$$E_{\text{SO}_4} = E^\circ_{\text{SO}_4} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{SO}_4^{2-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{SO}_3^{2-}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^3} = \mathbf{0,456 \text{ V}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{SO}_4^{2-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{SO}_3^{2-}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^3}$$

Pie  $\text{pH}=7$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}$  ;  $0,02955 * \lg([\text{H}_3\text{O}^+]^2/[\text{H}_2\text{O}]^3) = 0,02955 * \lg(10^{-7*2}/55,3^3) = \mathbf{-0,56819 \text{ V}}$

$$E_{\text{SO}_4} = \mathbf{0,456 - 0,5682} + 0,02955 * \lg \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{SO}_3^{2-}]} = \mathbf{-0,1122} + 0,02955 * \lg \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{SO}_3^{2-}]} ;$$



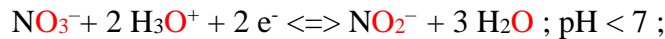
$$E^\circ_{\text{SO}_4} = E^\circ + 0,10166 - 0,0591/2 * \lg([\text{H}_2\text{O}]) = -0,93 + 0,10166 - 0,02955 * \lg(55,3) = -0,981 + 0,10166 = \mathbf{-0,87984 \text{ V}} ;$$

$$E_{\text{SO}_4} = E^\circ_{\text{SO}_4} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{SO}_4^{2-}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{SO}_3^{2-}] \cdot [\text{OH}]^2} = \mathbf{-0,87984 \text{ V}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{SO}_4^{2-}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{SO}_3^{2-}] \cdot [\text{OH}]^2}$$

Pie  $\text{pOH}=7$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}$  ;  $0,02955 * \lg([\text{H}_2\text{O}]/[\text{OH}]^2) = 0,02955 * \lg(55,3/10^{-7*2}) = \mathbf{+0,4651975 \text{ V}}$

$$E_{\text{SO}_4} = \mathbf{-0,8798} + \mathbf{0,46519763} + 0,02955 * \lg([\text{SO}_4^{2-}]/[\text{SO}_3^{2-}]) = \mathbf{-0,4146} + 0,02955 * \lg([\text{SO}_4^{2-}]/[\text{SO}_3^{2-}]) ;$$

**Nernsta potenciāla  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$  red-oks sistēmas īpašības skābā  $\text{H}_3\text{O}^+$  ūdens un baziskā  $\text{OH}^-$  vidē (oksidētāja šķējas pasriprināšanās ar potenciāla  $E$  palielināšanos acidozē)**



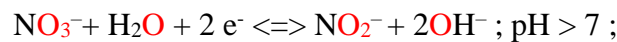
$$E^\circ = E_o + 0,0591/2 * \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^3) = +0,94 \text{ V} ; E_o = E^\circ - 0,0591/2 * \lg([\text{H}_2\text{O}]^3) = 0,99 \text{ V} ;$$

$$E^\circ_{\text{NO}_3} = E^\circ + 0,10166 + 0,0591/2 * \lg([\text{H}_2\text{O}]^3) = 0,94 + 0,10166 + 0,02955 * \lg(55,3^3) = 0,99 + 0,10166 = \mathbf{1,093 \text{ V}} ;$$

$$E_{\text{NO}_3} = E^\circ_{\text{NO}_3} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{NO}_3^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{NO}_2^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^3} = \mathbf{1,093 \text{ V}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{NO}_3^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{NO}_2^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^3}$$

Pie  $\text{pH}=7$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}$  ;  $0,02955 * \lg([\text{H}_3\text{O}^+]^2/[\text{H}_2\text{O}]^3) = 0,02955 * \lg(10^{-7*2}/55,3^3) = \mathbf{-0,56819 \text{ V}}$

$$E_{\text{NO}_3} = \mathbf{1,093 - 0,5682} + 0,02955 * \lg \frac{[\text{NO}_3^-]}{[\text{NO}_2^-]} = \mathbf{0,525} + 0,02955 * \lg \frac{[\text{NO}_3^-]}{[\text{NO}_2^-]} ;$$



$$E^\circ = E_o + 0,0591/2 * \lg([\text{H}_2\text{O}]) = 0,01 \text{ V} = E^\circ ; E_o = E^\circ - 0,0591/2 * \lg([\text{H}_2\text{O}]) = 0,01 + 0,02955 * \lg(55,3) = 0,0615 \text{ V} ;$$

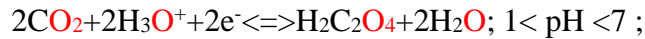
$$E^\circ_{\text{NO}_3} = E^\circ + 0,10166 - 0,0591/2 * \lg([\text{H}_2\text{O}]) = 0,01 + 0,10166 + 0,02955 * \lg(55,3) = 0,0615 + 0,10166 = \mathbf{0,16316 \text{ V}} ;$$

$$E_{\text{NO}_3} = E^\circ_{\text{NO}_3} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{NO}_3^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{NO}_2^-] \cdot [\text{OH}]^2} = \mathbf{0,16316 \text{ V}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{NO}_3^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{NO}_2^-] \cdot [\text{OH}]^2}$$

Pie  $\text{pOH}=7$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}$  ;  $0,02955 * \lg([\text{H}_2\text{O}]/[\text{OH}]^2) = 0,02955 * \lg(55,3/10^{-7*2}) = \mathbf{+0,46519763 \text{ V}}$

$$E_{\text{NO}_3} = \mathbf{0,16316} + \mathbf{0,46519763} + 0,02955 * \lg([\text{NO}_3^-]/[\text{NO}_2^-]) = \mathbf{0,527} + 0,02955 * \lg([\text{NO}_3^-]/[\text{NO}_2^-]) ;$$

**Nernsta potenciāla  $2\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  red-oks sistēmas īpašības skābā  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ūdens vidē**  
(oksidētāja šķējas pasriprināšanās ar potenciāla  $E$  palielināšanos acidozē)



$$E^\circ = E_o + 0,0591/2 \cdot \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^2) = -0,49 \text{ V}; E_o = -0,49 - 0,0591/2 \cdot \lg(1/55,3^2) = -0,387 \text{ V};$$

$$E^\circ_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} = E^\circ + 0,10166 + 0,0591/2 \cdot \lg([\text{H}_2\text{O}]^2) = -0,49 + 0,10166 - 0,02955 \cdot \lg(1/55,3^2) = \mathbf{-0,285 \text{ V}};$$

$$E_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} = E^\circ_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{CO}_2]^2 \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2} = \mathbf{-0,285 \text{ V}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{CO}_2]^2 \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2}$$

Pie  $\text{pH}=7, [\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}; 0,02955 \cdot \lg([\text{H}_3\text{O}^+]^2/[\text{H}_2\text{O}]^2) = 0,02955 \cdot \lg(10^{-7 \cdot 2}/55,3^2) = \underline{-0,5167 \text{ V}}$

$$E_{\text{SO}_4} = \mathbf{-0,285} - \underline{0,5167} + 0,02955 \cdot \lg \frac{[\text{CO}_2]^2}{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]} = \mathbf{-0,8017} + 0,02955 \cdot \lg \frac{[\text{CO}_2]^2}{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]};$$

**Nernsta potenciāla  $\text{NO}_3^- / \text{NH}_3$  red-oks sistēmas īpašības skābā  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ūdens vidē**  
(oksidētāja šķējas pasriprināšanās ar potenciāla  $E$  palielināšanos acidozē)



$$E^\circ = E_o + 0,0591/8 \cdot \lg([\text{H}_2\text{O}]^6) = -0,12 \text{ V}; E_o = -0,12 - 0,0591/8 \cdot \lg([\text{H}_2\text{O}]^6) = \mathbf{-0,1972 \text{ V}};$$

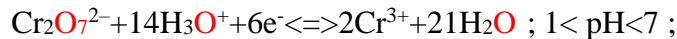
$$E^\circ_{\text{NO}_3^-/\text{NH}_3} = E^\circ + 0,10166 - 0,02955/4 \cdot \lg(55,3^6) = -0,12 + 0,10166 - 0,0772 = -0,1972 + 0,10166 = \mathbf{-0,09554 \text{ V}};$$

$$E_{\text{NO}_3^-/\text{NH}_3} = E^\circ_{\text{NO}_3^-/\text{NH}_3} + \frac{0,0591}{8} \cdot \lg \frac{[\text{NO}_3^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^6}{[\text{NH}_3] \cdot [\text{OH}^-]^9} = \mathbf{-0,0955 \text{ V}} + \frac{0,0591}{8} \cdot \lg \frac{[\text{NO}_3^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^6}{[\text{NH}_3] \cdot [\text{OH}^-]^9}$$

Pie  $\text{pOH}=7, [\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}; 0,02955/4 \cdot \lg([\text{H}_2\text{O}]^6/[\text{OH}^-]^9) = 0,02955/4 \cdot \lg(55,3^6/10^{-7 \cdot 9}) = \underline{+0,5427 \text{ V}}$

$$E_{\text{NO}_3^-/\text{NH}_3} = \mathbf{-0,0955} + \underline{0,5427} + 0,02955/4 \cdot \lg \frac{[\text{NO}_3^-]}{[\text{NH}_3]} = \mathbf{0,4427} + 0,02955/4 \cdot \lg \frac{[\text{NO}_3^-]}{[\text{NH}_3]};$$

**Nernsta potenciāla  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / 2\text{Cr}^{3+}$  red-oks sistēmas īpašības skābā  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ūdens vidē**  
(oksidētāja šķējas pasriprināšanās ar potenciāla  $E$  palielināšanos acidozē)



$$E^\circ = E_o + 0,0591/6 \cdot \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^{21}) = 1,33 \text{ V}; E_o = 1,33 - 0,0591/6 \cdot \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^{21}) = 1,6905 \text{ V};$$

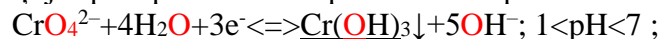
$$E^\circ_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}} = E^\circ + 0,10166 - 0,0591/6 \cdot \lg(1/55,3^{21}) = 1,33 + 0,10166 + 0,3605 = 1,6905 + 0,10166 = \mathbf{1,7921 \text{ V}};$$

$$E_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}} = E^\circ_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}} + \frac{0,0591}{6} \cdot \lg \frac{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^{14}}{[\text{Cr}^{3+}]^2 \cdot [\text{H}_2\text{O}]^{21}} = \mathbf{1,6905 \text{ V}} + \frac{0,0591}{6} \cdot \lg \frac{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^{14}}{[\text{Cr}^{3+}]^2 \cdot [\text{H}_2\text{O}]^{21}}$$

Pie  $\text{pH}=7, [\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}; 0,02955/3 \cdot \lg([\text{H}_3\text{O}^+]^{14}/[\text{H}_2\text{O}]^{21}) = 0,02955/3 \cdot \lg(10^{-7 \cdot 14}/55,3^{21}) = \underline{1,3258 \text{ V}}$

$$E_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}} = \mathbf{1,6905} + \underline{1,3258} + 0,02955/3 \cdot \lg \frac{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]}{[\text{Cr}^{3+}]^2} = \mathbf{3,0164} + 0,02955/3 \cdot \lg \frac{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]}{[\text{Cr}^{3+}]^2};$$

**Nernsta potenciāla  $\text{CrO}_4^{2-} / \text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow$  red-oks sistēmas īpašības skābā  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ūdens vidē**  
(oksidētāja šķējas pasriprināšanās ar potenciāla  $E$  palielināšanos acidozē)



$$E^\circ = E_o + 0,0591/3 \cdot \lg([\text{H}_2\text{O}]^4) = -0,13 \text{ V}; E_o = -0,13 - 0,0591/3 \cdot \lg([\text{H}_2\text{O}]^4) = -0,13 - 0,0591/3 \cdot \lg(55,3^4) = -0,2673 \text{ V};$$

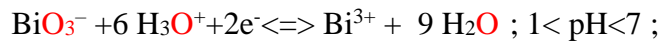
$$E^\circ_{\text{CrO}_4^{2-}/\text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow} = E^\circ + 0,10166 - 0,0591/3 \cdot \lg(55,3^4) = -0,13 + 0,10166 - 0,1373267 = -0,2673 + 0,10166 = \mathbf{-0,1657 \text{ V}};$$

$$E_{\text{CrO}_4^{2-}/\text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow} = E^\circ_{\text{CrO}_4^{2-}/\text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow} + \frac{0,0591}{3} \cdot \lg \frac{[\text{CrO}_4^{2-}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^4}{[\text{Cr}(\text{OH})_3] \cdot [\text{OH}^-]^5} = \mathbf{-0,1657 \text{ V}} + \frac{0,0591}{3} \cdot \lg \frac{[\text{CrO}_4^{2-}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^4}{[\text{Cr}(\text{OH})_3] \cdot [\text{OH}^-]^5}$$

Pie  $\text{pOH}=7, [\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}; 0,0591/3 \cdot \lg([\text{H}_2\text{O}]^4/[\text{OH}^-]^5) = 0,0591/3 \cdot \lg(55,3^4/10^{-7 \cdot 5}) = \underline{+0,8268 \text{ V}}$

$$E_{\text{CrO}_4^{2-}/\text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow} = \mathbf{-0,1657} + \underline{0,8268} + 0,0591/3 \cdot \lg \frac{[\text{CrO}_4^{2-}]}{[\text{Cr}(\text{OH})_3]} = \mathbf{+0,7483} + 0,0591/3 \cdot \lg \frac{[\text{CrO}_4^{2-}]}{[\text{Cr}(\text{OH})_3]};$$

**Nernsta potenciāla  $\text{BiO}_3^- / \text{Bi}^{3+}$  red-oks sistēmas īpašības skābā  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ūdens vidē**  
(oksidētāja šķējas pasriprināšanās ar potenciāla  $E$  palielināšanos acidozē)



$$E^\circ = E_0 + 0,0591/2 \cdot \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^9) = 1,80 \text{ V}; E_0 = 1,80 - 0,0591/2 \cdot \lg(1/55,3^9) = 2,2635 \text{ V};$$

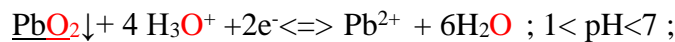
$$E^\circ_{\text{BiO}_3^-/\text{Bi}^{3+}} = E^\circ + 0,10166 + 0,0591/2 \cdot \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^9) = 1,8 + 0,10166 - 0,02955 \cdot \lg(1/55,3^9) = 2,2635 + 0,10166 = \mathbf{2,365 \text{ V}};$$

$$E_{\text{BiO}_3^-/\text{Bi}^{3+}} = E^\circ_{\text{BiO}_3^-/\text{Bi}^{3+}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{BiO}_3^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^6}{[\text{Bi}^{3+}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^9} = \mathbf{2,365 \text{ V}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{BiO}_3^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^6}{[\text{Bi}^{3+}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^9}$$

Pie  $\text{pH}=7$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}$ ;  $0,02955 \cdot \lg([\text{H}_3\text{O}^+]^6/[\text{H}_2\text{O}]^9) = 0,02955 \cdot \lg(10^{-7 \cdot 6}/55,3^9) = \underline{-1,7046 \text{ V}}$

$$E_{\text{BiO}_3^-/\text{Bi}^{3+}} = \mathbf{2,365 - 1,7046 + 0,02955 \cdot \lg \frac{[\text{BiO}_3^-]}{[\text{Bi}^{3+}]}} = \mathbf{0,6604 + 0,02955 \cdot \lg \frac{[\text{BiO}_3^-]}{[\text{Bi}^{3+}]}}$$

**Nernsta potenciāla  $\text{PbO}_2 \downarrow / \text{Pb}^{2+}$  red-oks sistēmas īpašības skābā  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ūdens vidē**  
(oksidētāja šķējas pastiprināšanās ar potenciāla  $E$  palielināšanos acidozē)



$$E^\circ = E_0 + 0,0591/2 \cdot \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^6) = 1,80 \text{ V}; E_0 = 1,8 - 0,0591/2 \cdot \lg(1/55,3^6) = 2,109 \text{ V};$$

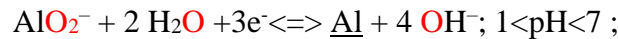
$$E^\circ_{\text{PbO}_2 \downarrow/\text{Pb}^{2+}} = E^\circ + 0,10166 - 0,0591/2 \cdot \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^6) = 1,8 + 0,10166 - 0,02955 \cdot \lg(1/55,3^6) = 2,109 + 0,10166 = \mathbf{2,21066 \text{ V}};$$

$$E_{\text{PbO}_2 \downarrow/\text{Pb}^{2+}} = E^\circ_{\text{PbO}_2 \downarrow/\text{Pb}^{2+}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{PbO}_2 \downarrow] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^4}{[\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^6} = \mathbf{2,2106 \text{ V}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{PbO}_2 \downarrow] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^4}{[\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^6}$$

Pie  $\text{pH}=7$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}$ ;  $0,02955 \cdot \lg([\text{H}_3\text{O}^+]^4/[\text{H}_2\text{O}]^6) = 0,02955 \cdot \lg(10^{-7 \cdot 4}/55,3^6) = \underline{-1,1364 \text{ V}}$

$$E_{\text{PbO}_2 \downarrow/\text{Pb}^{2+}} = \mathbf{2,2106 - 1,1364 + 0,02955 \cdot \lg \frac{[\text{PbO}_2 \downarrow]}{[\text{Pb}^{2+}]}} = \mathbf{0,9726 + 0,02955 \cdot \lg \frac{[\text{PbO}_2 \downarrow]}{[\text{Pb}^{2+}]}}$$

**Nernsta potenciāla  $\text{AlO}_2^- / \text{Al} \downarrow$  red-oks sistēmas īpašības skābā  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ūdens vidē**  
(oksidētāja šķējas pasriprināšanās ar potenciāla  $E$  palielināšanos acidozē)



$$E^\circ = E_0 + 0,0591/3 \cdot \lg([\text{H}_2\text{O}]^2) = -2,35 \text{ V}; E_0 = E^\circ - 0,0591/3 \cdot \lg(55,3^2) = -2,4187 \text{ V};$$

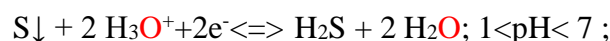
$$E^\circ_{\text{AlO}_2^-/\text{Al} \downarrow} = E^\circ + 0,10166 - 0,0591/3 \cdot \lg([\text{H}_2\text{O}]^2) = -2,35 + 0,10166 - 0,0591/3 \cdot \lg(55,3^2) = -2,4187 + 0,10166 = \mathbf{-2,317 \text{ V}};$$

$$E_{\text{AlO}_2^-/\text{Al} \downarrow} = E^\circ_{\text{AlO}_2^-/\text{Al} \downarrow} + \frac{0,0591}{3} \cdot \lg \frac{[\text{AlO}_2^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{Al} \downarrow] \cdot [\text{OH}^-]^4} = \mathbf{-2,317 \text{ V}} + \frac{0,0591}{3} \cdot \lg \frac{[\text{AlO}_2^-] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{Al} \downarrow] \cdot [\text{OH}^-]^4}$$

At  $\text{pOH}=7$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}$ ;  $0,0591/3 \cdot \lg([\text{H}_2\text{O}]^2/[\text{OH}^-]^4) = 0,0591/3 \cdot \lg(55,3^2/10^{-7 \cdot 4}) = \underline{+0,6203 \text{ V}}$

$$E_{\text{AlO}_2^-/\text{Al} \downarrow} = \mathbf{-2,317 + 0,6203 + 0,0591/3 \cdot \lg \frac{[\text{AlO}_2^-]}{[\text{Al} \downarrow]}} = \mathbf{+1,6967 + 0,0591/3 \cdot \lg \frac{[\text{AlO}_2^-]}{[\text{Al} \downarrow]}}$$

**Nernsta potenciāla  $\text{S} \downarrow / \text{H}_2\text{S}$  red-oks sistēmas īpašības skābā  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ūdens vidē**  
(oksidētāja šķējas pasriprināšanās ar potenciāla  $E$  palielināšanos acidozē)



$$E^\circ = E_0 + 0,0591/2 \cdot \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^2) = 0,142 \text{ V}; E_0 = 0,142 - 0,0591/2 \cdot \lg(1/55,3^2) = 0,245 \text{ V};$$

$$E^\circ_{\text{S} \downarrow/\text{H}_2\text{S}} = E^\circ + 0,10166 + 0,0591/2 \cdot \lg(1/[\text{H}_2\text{O}]^2) = 0,142 + 0,10166 - 0,02955 \cdot \lg(1/55,3^2) = 0,245 + 0,10166 = \mathbf{0,3467 \text{ V}};$$

$$E_{\text{S} \downarrow/\text{H}_2\text{S}} = E^\circ_{\text{S} \downarrow/\text{H}_2\text{S}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{S}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{H}_2\text{S}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2} = \mathbf{0,3467 \text{ V}} + \frac{0,0591}{2} \cdot \lg \frac{[\text{S}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{H}_2\text{S}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2}$$

Pie  $\text{pH}=7$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=55,3 \text{ M}$ ;  $0,02955 \cdot \lg([\text{H}_3\text{O}^+]^2/[\text{H}_2\text{O}]^2) = 0,02955 \cdot \lg(10^{-7 \cdot 2}/55,3^2) = \underline{-0,5167 \text{ V}}$

$$E_{\text{S} \downarrow/\text{H}_2\text{S}} = \mathbf{0,3467 - 0,5167 + 0,02955 \cdot \lg \frac{[\text{S}]}{[\text{H}_2\text{S}]}} = \mathbf{-0,17 + 0,02955 \cdot \lg \frac{[\text{S}]}{[\text{H}_2\text{S}]}}$$



## Literatūra.

1. [David R. Lide. CRC Handbook of Chemistry and Physics .90th ed. Taylor and Francis Group LLC; 2010 .](#)
2. Prigogine I, Defey R. Chemical Thermodynamics. Longmans Green & co ©; 1954.
3. Prigogine I, Nicolis G. Self-Organization in Non-Equilibrium Systems. Wiley, 1977.
4. [Prigogine I. Time, Structure and Fluctuations. Lecture, The Nobel Praise in Chemistry; 1977.](#)
5. [Kuman M. New light on the attractors creating order out of the chaos. \*Int J Complement Alt Med.\* \*\*11\(6\)\*\*, 337, \(2018\) ;](#)
6. [Nelson DL, Cox MM. Lehninger Principles of Biochemistry. 5<sup>th</sup> ed. New York: W.H. Freeman and company; 2008.](#)
7. [Xing W, Yin G, Zhang J. Rotating Electrode Method and Oxygen Reduction Electrocatalysts. \*Elsevier\*; 6 \(2014\) .](#)
8. [Alberty RA. Biochemical Thermodynamic's : Applications of Mathematics. John Wiley & Sons, Inc. 1-463, \(2006\).](#)
9. [Pinard MA, Mahon B, McKenna R. Probing the Surface of Human Carbonic Anhydrase for Clues towards the Design of Isoform Šķecific Inhibitors. \*BioMed Research International\*; \*\*2015\*\*, 3 \(2015\).](#)
10. Kotz JC, Purcell KF. Chemistry and chemical reactivity. Saunders College Publishing; 1991.
11. [White VM. THE CARBON CYCLE, ISOTOPES, AND CLIMATE I and II. Lectures 37, 38; 2003 .](#)
12. [Hanania J, Pomerantz C, Stenhouse K, Toor J, Donev J. Carbon cycle. University of Calgary's 2020 .](#)
13. [Der wohltemperierte Planet. \*Der Šķiegel.\* 2007 Nr.19:148-154. German .](#)
14. [Kaksis A. The Biošķhere Self-Organization Attractors drive perfect order homeostasis reactions to link bioenergetic with functionally activate oxygen and carbon dioxide molecules. 7th International Conference on New Trends in Chemistry September 25-26, 2021.27-32.](#)
15. [Kaksis A. Thermodynamics – Equilibrium – Homeostasis. Riga Stradin's University. 2021.](#)
16. Loach, P.A. (I 976) In Handbook of Biochemistry and Molecular Biology,
17. 3rd edn (Fasman, G.D. ed.), Physical and Chemical Data, Vol. 1, pp. 122-130 e, CRC Press,
18. A.M. Suchotina, Handbook of Electro-Chemistry, Petersburg ,1981."Chimia"©
19. S.Kortly and L.Shucha. Handbook of chemical equilibria in analytical chemistry. 1985.EllisHorwood Ltd.©
20. University Alberta Data Tables Molar Thermodynamic Properties of Pure Substances 1997.  
<http://www.vhem.ualberta.ca/>
21. Boca Raton, FL. Free **FAD**; FAD bound to a šķecific flavo-protein (for example succinate dehydrogenase) a different **E°**
22. David A. Harris, "Bio-energetic at a Glance". **b** Blackwell Science Ltd ©, 1995, p.116.
23. Daniel C. Harris, "Quantitative chemical analysis". W.H.Freeman and Company ©, 5th ed.1999, p545
24. E. Newton Harvey, "The oxidation-reduction potential of the Luciferin-Oxyluciferin system". *JGP.*1927, p385