



**59. ročník**

**2022/2023**

**ŠKOLNÍ KOLO**

**Kategorie C**

---

**Teoretická část – Zadání**

20 bodů

**TEORETICKÁ ČÁST****20 BODŮ****Autoři****Mgr. Erik Kalla**

*Střední průmyslová škola chemická Brno, Vranovská, p. o.  
Ústav chemie, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno*

**Mgr. Radek Matuška**

*Střední průmyslová škola chemická Brno, Vranovská, p. o.*

**Recenze****doc. RNDr. Václav Slovák, Ph.D.**

*Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita*

Milí soutěžící!

I v letošním ročníku chemické olympiády kategorie C se můžete těšit na úlohy, které asi běžně v hodinách chemie neřešíte. Tématem letošního ročníku bude konvenční i alternativní energetika a jak se na ně dívat z pohledu chemie. V úlohách se budeme zaměřovat na chemii uhlíku (jak v anorganické tak organické chemii), základy termochemie, související stechiometrické výpočty a významně se dotkneme také elektrochemie, která tvoří základ pro porozumění galvanickým a palivovým článkům. Budete seznámeni s problematikou fosilních paliv, alternativních zdrojů energie nebo třeba biopalivy. Abyste úspěšně vyřešili všechny úlohy, měli byste si projít zejména tyto oblasti chemie:

- Anorganická chemie uhlíku a jeho základních sloučenin (oxidy, kyseliny, sloučeniny s kyanidovou skupinou)
- Organická chemie uhlíku, resp. uhlovodíků velmi okrajově (alkany, alkeny, paliva, methanol, ethanol)
- Určení oxidačního čísla v anorganických i organických sloučeninách
- Základní termochemické výpočty (výpočty reakčních enthalpií, použití Hessova zákona apod.)
- Chemické výpočty (stechiometrické výpočty, výpočty týkající se složení směsí i výpočty týkající se chemických reakcí, nezapomeňte na výpočty s plyny s použitím stavové rovnice ideálního plynu)
- Chemie biopaliv (zejm. bionafta, bioethanol)
- Ovlivnění chemické rovnováhy (Le Chatelierův princip)
- Základy elektrochemie (pojmy oxidace a redukce, katoda a anoda, přehled o elektrolytickém a galvanickém článku, redoxní potenciál a výpočet napětí článku)
- Základní pojmy z elektřiny (náboj, proud, napětí, výkon a účinnost).

Jako každý rok, i letos nebude primárně testováno velké množství faktografických znalostí, spíše po vás budeme chtít používat selský rozum a v navazujících kolech uplatnit znalosti, které jste nabyli v kolech předchozích. Přesto vám bude v každém kole nápomocný vzorečkovník.

Hodně zdaru a chuť do řešení chemické olympiády včetně jiných kategorií vám přejí autoři.

**Doporučená literatura:**

Literatura je pouze orientační, libovolné další knižní či jiné literatuře se nebraňte:

- 1) J. Toužín, Stručný přehled chemie prvků, 1. vydání, Masarykova univerzita, Brno 2008, kapitola 6
- 2) C. E. Housecroft, A. G. Sharpe, Anorganická chemie, 4. vydání, VŠCHT Praha 2014, kapitola 14
- 3) Greenwood N. N., Earnshaw A.; Chemie prvků I. Informatorium, Praha 1993, kapitola o uhlíku
- 4) D. A. Skoog et al: Analytická chemie, VŠCHT Praha 2019, str. 415-430 (úvod do elektrochemie)
- 5) J. Honza, A. Mareček; Chemie pro čtyřletá gymnázia, 1. díl, kapitoly 6 (obecná chemie, termodynamika) a 4 (anorganická chemie, prvky XIV. skupiny)
- 6) J. Honza, A. Mareček; Chemie pro čtyřletá gymnázia, 2. díl, kapitoly 1 (obecná chemie, elektrochemie) a 3, 4 (organická chemie, uhlovodíky s jednoduchými a dvojnými vazbami)
- 7) Vacík J. a kol.; Přehled středoškolské chemie. SPN, Praha 1999
- 8) Atkins P., De Paula J.; Fyzikální chemie, 9. vydání, VŠCHT Praha 2010, kapitoly 1.1.2, 2.2.1, 2.2.2
- 9) Internetové zdroje vztahující se ke zdrojům energie a dalším kapitolám

**VZOREČKOVNÍK**

Stechiometrický koeficient  $\alpha$  prvku A ve sloučenině:

$$\alpha = \frac{w_A}{A_r(A)}$$

Hmotnostní zlomek látky  $i$ :

$$w_i = \frac{m_i}{m_{\text{celkem}}}$$

Stavová rovnice ideálního plynu:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

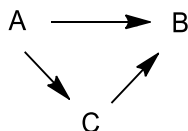
Standardní reakční enthalpie:

$$\Delta_r H^\circ = \sum_{\text{produkty}} \nu \cdot \Delta_f H^\circ - \sum_{\text{reaktanty}} \nu \cdot \Delta_f H^\circ$$

Lavoisier-Laplaceův zákon:

$$\Delta H_{A \rightarrow B} = -\Delta H_{B \rightarrow A}$$

Hessův zákon (obecně):



$$\Delta H_{A \rightarrow B} = \Delta H_{A \rightarrow C} + \Delta H_{B \rightarrow C}$$

Standardní napětí článku:

$$E^\circ = \sum E^\circ \text{ všech poloreakcí ve směru, ve kterém ve článku probíhají}$$

Vztah mezi prací ( $W$  / J) a výkonem ( $P$  / W):

$$W = P \cdot t$$

Elektrický náboj ( $q$  / C):

$$q = I \cdot t$$

Elektrické napětí ( $U$  / V):

$$U = \frac{W}{q}$$

Účinnost:

$$\eta = \frac{W_{\text{využitelná}}}{W_{\text{celková}}}$$

Důležité konstanty a převody jednotek

Avogadrova konstanta:

$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Molární plynová konstanta:

$$R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Faradayova konstanta:

$$F = 96\,485 \text{ C mol}^{-1}$$

Termodynamická teplota:

$$(T / \text{K}) = (t / ^\circ\text{C}) + 273,15$$

**Úloha 1 Uhlík anorganicky i organicky I – oxidy****4 body**

Jedním z témat, které vás bude provázet celým ročníkem chemické olympiády této kategorie, je (an)organická chemie uhlíku. Ale nemusíte se bát, z té organické části to budou opravdu jen základy často související s anorganickou nebo obecnou chemií. Uhlík je totiž (hlavně pro organické chemiky) vším.

V první „kapitole“ se zastavíme u oxidů uhlíku.

- 1) Napište názvy a vzorce dvou nejběžnějších oxidů uhlíku, následně nakreslete jejich strukturní elektronové vzorce. Nezapomeňte na dodržení oktetového pravidla.**

Jeden ze zmíněných oxidů (v oxidačním stupni +II) lze připravit dehydratací kyseliny mravenčí HCOOH nebo šťavelové (COOH)<sub>2</sub>.

- 2) Napište rovnice odpovídající laboratorní přípravě oxidu zmíněného výše z obou organických kyselin. Jaký katalyzátor se při reakcích využívá?**
- 3) Jaké je oxidační číslo uhlíku v kyselině mravenčí a šťavelové?**
- 4) Uveďte rovnici laboratorní přípravy oxidu v oxidačním stavu +IV. K dispozici máte kyselinu chlorovodíkovou a uhličitan draselný.**

Zmíněné dva oxidy uhlíku nejsou jediné, které tento prvek vytváří.

- 5) Nakreslete strukturní elektronový vzorec suboxidu uhlíku C<sub>3</sub>O<sub>2</sub> a u každého atomu uhlíku určete jeho oxidační číslo.**

Suboxid uhlíku vzniká dehydratací kyseliny malonové CH<sub>2</sub>(COOH)<sub>2</sub> oxidem fosforečným.

- 6) Napište rovnici přípravy suboxidu uhlíku z kyseliny malonové.**
- 7) Nakreslete strukturní elektronový vzorec kyseliny malonové a u každého atomu uhlíku určete jeho oxidační číslo.**

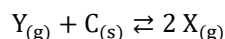
**Úloha 2 Jdeme si hrát s plynem!****4 body**

O oxidech uhlíku jste si už trochu přečetli, pojďme je tedy využít v praxi. Jeden jak druhý (ty 2 nejdůležitější) nacházejí uplatnění v energetice. Oba dva jsou zastoupeny v určitém poměru v generátorovém plynu (označován také jako chudý generátorový plyn) a ve vodním plynu.

Generátorový plyn, obsahující 70 hm. %  $N_2$ , 25 hm. % **X** a 5 hm. % **Y**, se vyrábí v pecích, kdy se vzduch prohání přes vrstvu rozžhaveného koksu.

- 1) Jakým plynným látkám odpovídá sloučenina X a Y, pokud víte, že ve 100 g generátorového plynu při tlaku 1 bar a teplotě 25 °C plyn X zaujímá objem 22 dm<sup>3</sup> a plyn Y objem 2,8 dm<sup>3</sup>?**

Při tvorbě oxidů uhlíku dochází k ustavení rovnováhy popsanou schématem níže



a tato reakce (zleva doprava) je popsána standardní změnou enthalpie  $\Delta_r H^\circ = 172,6 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

- 2) Z hodnoty enthalpie určete tepelné zabarvení reakce – jedná se o reakci endotermickou nebo exotermickou? Vysvětlíte oba pojmy a zdůvodněte vaše rozhodnutí.**
- 3) Na jakou stranu (kvalitativně, nikoliv výpočtem) je posunuta rovnováha reakce při teplotě 400 °C (nízká teplota) a při teplotě 1000 °C (vysoká teplota)? Zdůvodněte.**
- 4) Jak by se posunula rovnováha uvedené reakce, pokud bychom zvýšili tlak? Zdůvodněte.**

Vodní plyn naopak vzniká vhnáním vodní páry do pece.

- 5) Uveďte rovnici reakce popisující prostup vodní páry přes rozžhavený koks.**

Oba zmíněné oxidy uhlíku vznikají přímou reakcí uhlíku (koksu) se vzduchem. Jejich vznik je ovlivněn (ne)přítomností dostatečného množství vzduchu a teplotou reakce.

- 6) Znáte-li hodnoty  $\Delta H^\circ$  pro spalování koksu, vypočítejte  $\Delta H^\circ$  pro postupnou reakci, kdy dochází ke spalování X na Y. Jaké bude tepelné zabarvení reakce, tj. rozhodněte, zda je reakce exotermická či endotermická.**



**Úloha 3      Bio****4 body**

Mezi biopaliva řadíme všechna paliva, která se cíleně vyrábí z biomasy. Nepatří sem tedy fosilní paliva, např. ropa nebo zemní plyn. Jako biomasu označujeme souhrn všech látek obsažených ve všech živých organismech, přičemž nejrozšířenější je biomasa rostlinného původu.

V současné době jsou na trhu produkována zejména dvě biopaliva – bionafta a bioethanol. Vůbec nejpoužívanější je nyní bionafta, kterou můžeme charakterizovat převážně jako směs methylesterů nenasycených mastných kyselin rostlinného původu. Tyto methylestery vznikají tzv. transesterifikací.

- 1) **Vysvětlete pojem transesterifikace.**
- 2) **Napište vzorce a názvy látek, které figurují jako výchozí látky pro přípravu bionafty.**
- 3) **Na základě předešlých dvou otázek napište rovnici vzniku methylesteru kyseliny olejové transesterifikací z příslušných výchozích látek. Při reakci vzniká ještě jeden produkt. Napište jeho název.**
- 4) **Co musí splňovat mastná kyselina, aby byla nenasycenou?**

Naopak bioethanol vzniká pomocí alkoholového kvašení z biomasy. Jeho základní složkou je ethanol, který ovlivňuje v palivu jednu technickou veličinu vztahující se ke kvalitě paliva v zážehových motorech.

- 5) **Jak se tato veličina nazývá, jak byste ji charakterizovali a jaký efekt zde hraje ethanol?**

Ethanol zároveň působí „ekologicky“, jelikož snižuje emisi skleníkových plynů.

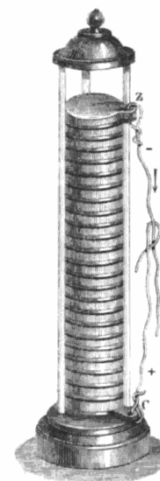
- 6) **Napište rovnici spalování ethanolu. V čem spočívá ono snížení emisí a ekologičnost? Berte v potaz roli vzniklého tepla, nikoliv pouze počty vznikajících molů plynů.**

**Úloha 4 Energie sbalená na cesty: Zinko-uhlíkový článek****4 body**

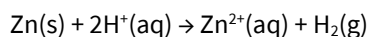
Baterie neboli galvanické články jsou elektrochemická zařízení, která mají jedinečnou schopnost „uchovávat“ energii ve formě elektrického náboje. Pokud galvanické články zapojíme do spotřebiče, probíhá v nich elektrochemická reakce (tedy redoxní reakce, při které dochází k pohybu elektronů) a energie v článku uchovaná se tak začne přenášet do elektrického obvodu, ve kterém je článek zapojen. Doslova „energie sbalená na cesty“.

Bateriových galvanických článků je celá plejáda a zásadní roli při jejich vývoji a porozumění hráli a hrají chemici s vzhledem do fyziky. Bylo tomu tak za dob Alessandra Volty, který v roce 1800 sestrojil první galvanický článek, a je tomu tak i dnes, kdy vyvíjíme vysokokapacitní bateriové články např. pro elektromobily či další aplikace v každodenním životě. A protože interdisciplinarita do moderní chemie patří, budeme se galvanickým článkům věnovat i v letošním ročníku Chemické olympiády. I mezi vámi jsou totiž budoucí vývojáři, a dost možná ti, kteří pomohou k prudkému rozvoji elektromobility díky konstrukcím baterií.

Prvním galvanickým článkem byl, jak jsme již zmínili, tzv. Voltův sloup, který sestrojil Alessandro Volta. Původně jej nesestrojil jako zdroj elektrické energie ale jako experiment, kterým se snažil vyvrátit představu Luigiho Galvaniho, který tvrdil, že elektrická energie je živočišného původu (k tomuto názoru dospěl při pitvě žabích stehýnek, která se při dotyku skalpele stahovala). Voltův sloup sestával z měděných a zinkových plechů, které byly proloženy kůží napuštěnou kyselým roztokem (velmi pravděpodobně vitriolem, resp. kyselinou sírovou).



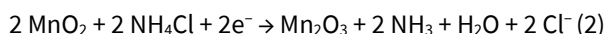
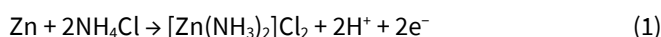
Ve Voltově sloupu dochází v podstatě k reakci mezi kyselým elektrolytem a zinkovými plechy:



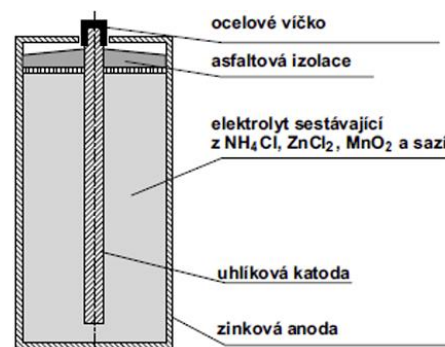
- 1) **Napište vyčíslené chemické rovnice poloreakcí, které v článku probíhají. Označte, která z reakcí je oxidace a která redukce. Ke každé poloreakci napište, zda probíhá na katodě či anodě.**
- 2) **Mimochodem, jak je v elektrochemii definovaná katoda a anoda?**
- 3) **Jakou polaritu má katoda, resp. anoda v galvanickém článku? Liší se nějak polarita katody a anody v článku elektrolytickém?**
- 4) **Jaké elektromotorické napětí (potenciály jednotlivých poloreakcí vyhledejte v literatuře) poskytuje**
  - a) **jeden znázorněný Voltův článek?**
  - b) **celý Voltův sloup, který se skládal s dvaceti těchto článků zapojených sériově?**

Samozřejmě dnešní články už vypadají diametrálně jinak. Nejběžnějším článkem, se kterým se dnes setkáte, když si jdete koupit baterku, je tzv. suchý Léclancheův resp. zinko-uhlíkový článek. Jedná se o článek, který se skládá ze zinkové anody, která zároveň tvoří plášť baterie. Zinkový plášť je naplněn elektrolytem, který se primárně skládá z chloridu amonného s malým množstvím  $\text{ZnCl}_2$  a sazí. Vnitřní část pak dále tvoří oxid manganičitý, do kterého je umístěna uhlíková katoda spojená s ocelovým víčkem.

Redoxní poloreakce, které probíhají v článku, lze zapsat následujícími chemickými rovnicemi:



Jmenovité napětí tohoto článku činí 1,5 V a najdeme jej v klasických AA, AAA, C a D bateriích různé velikosti, případně ve složených člancích s jmenovitým napětím 4,5 V (tzv. plochá baterie) a 9 V („devítivoltovka“). Nevýhodou tohoto článku je, že uvedené reakce probíhají pouze jednosměrně a článek tak není nabíjecí.



- 5) **Objasněte, která z poloreakcí probíhá na katodě a která na anodě. Určete rovněž jejich polaritu.**
- 6) **Zapište, jaká celková reakce probíhá v zinko-uhlíkovém článku při jeho vybíjení.**

- 7) Kolik jednoduchých zinko-uhlíkových článků najdeme v ploché baterii a devítivoltové baterii?
- 8) Z jakého důvodu se do elektrolytu přidávají saze nebo grafit?
- 9) Co se děje se zinkovým pláštěm v průběhu vybíjení baterie? Může to souviset se známým „vytečením“ baterie? Pokuste se jev „vytečení“ vysvětlit.

Důležitou vlastností každého článku je jeho teoretická specifická kapacita náboje  $c_{s,q}$ . Jedná se v podstatě o množství elektronů, které článek může poskytnout do obvodu, v němž je zapojen. Běžně se uvádí v jednotkách mAh g<sup>-1</sup>. Pokud víme, že elektrický náboj  $q$  lze vypočítat jako součin vybíjecího proudu a času, po který je tento proud poskytován, tedy  $q = I \cdot t$ , pak je vlastně údaj mAh g<sup>-1</sup> jednotkou množství náboje na gram aktivních složek baterie. A co je to ta aktivní složka baterie? Hmotnost aktivních složek baterie je součet hmotností všech látek v baterii, které se účastní vybíjecí reakce. Velikost článků je pak daná hlavně jejich kapacitou (nejmenší kapacitu mají „mikrotužkové“ baterie AAA, nejvyšší pak články typu D – velké tlusté baterie).

- 10) Vypočítejte, jaká je teoretická specifická kapacita náboje pro zinko-uhlíkové baterie.
- 11) Jaká je hmotnost aktivních složek v článku typu D, který má nominální kapacitu 10200 mAh?

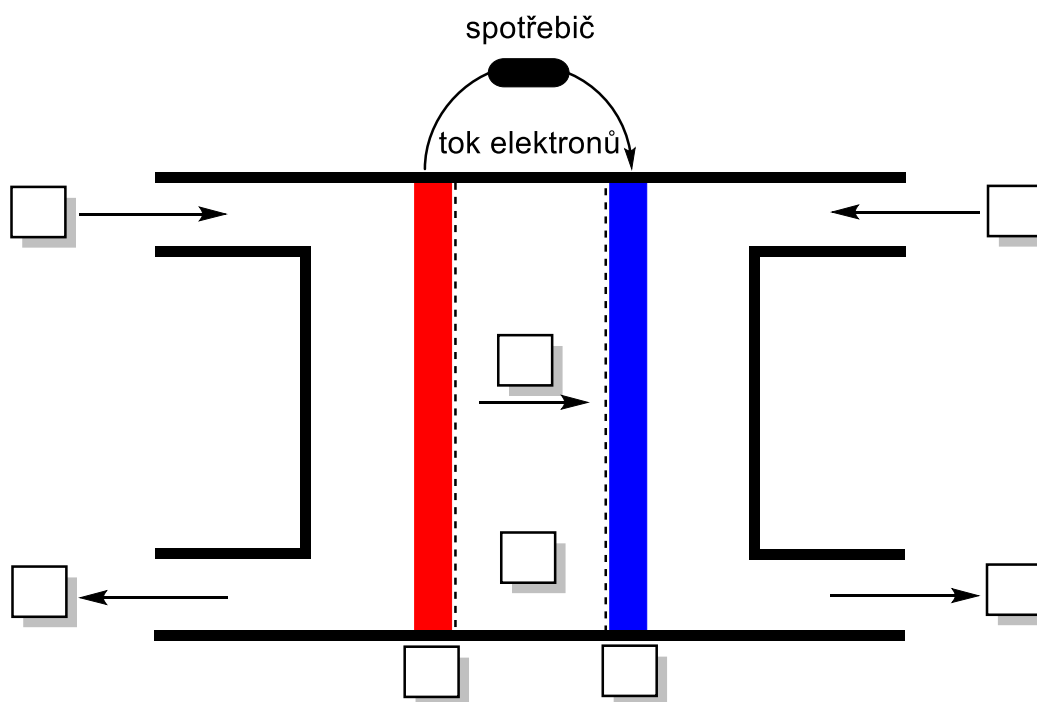


**Úloha 5 Palivový článek na vodík****4 body**

O palivových článcích se v současnosti hovoří jako o možných alternativních zdrojích elektrické energie např. pro elektromotory v automobilech. V zásadě se jedná o zařízení, která jsou velmi podobná galvanickým článkům, které jsme poznali v minulé úloze. Rozdíl oproti galvanickému článku spočívá pouze v tom, že elektrochemická reakce v palivovém článku probíhá pouze tehdy, je-li plněn palivem a oksyličovadlem. Pokud je přísun paliva a oksyličovadla přerušen, pak se logicky reakce v palivovém článku zastaví a dále neprodukuje žádné napětí ani proud.

Obrovskou výhodou palivového článku při generování elektrické energie je, oproti např. generátoru, fakt, že palivový článek produkuje elektrickou energii přímo v souvislosti s v něm probíhající chemickou reakcí a nedochází tak ke ztrátám při převodu tepelné energie na mechanickou a té pak na elektrickou, jako je tomu např. u klasických generátorů. Provoz palivových článků je tak ekonomičtější. V současnosti ale ještě palivové články naráží na některé technologické těžkosti (např. neexistence vhodných katalyzátorů pro elektrody, konstrukce elektrod a elektrolytů, případně nemožnost produkovat některá paliva pro palivové články, např. vodík, ekologicky).

Typický vodíkový palivový článek pracuje na principu spalování vodíku v kyslíku v souladu s následujícím schématem:



1) Do uvedeného schématu doplňte písmena označující:

- |               |                                |
|---------------|--------------------------------|
| a) elektrolyt | e) přívod paliva               |
| b) tok $H^+$  | f) výfuk nezreagovaného paliva |
| c) katodu     | g) přívod vzduchu              |
| d) anodu      | h) výfuk vzduchu se spalinami  |

2) Napište vyčíslenou chemickou rovnici celkového děje, který v palivovém článku probíhá.

3) Napište rovnice poloreakcí, které probíhají na katodě a anodě a vyhledejte jejich redoxní potenciály.

4) Kolik palivových článků musí být umístěno v automobilu, aby byly schopné pohánět elektromotor s požadovaným napětím 350 V?

Účinnost klasických spalovacích motorů se podle konstrukce pohybuje kolem 20–30 %. Naproti tomu účinnost produkce vodíku je přibližně 70 %, účinnost palivového článku 80 % a účinnost samotného elektromotoru pak 95 %.

- 5) **Vypočítejte, jaká je účinnost provozu hypotetického elektromobilu s pohonem na palivový článěk se zahrnutím produkce vodíku.**

Vidíte, že účinnost takového automobilu je v porovnání se spalovacím motorem daleko vyšší. Co nás tedy limituje v tom začít vodík jako palivo používat? Je to jeho produkce.

- 6) **Jakým způsobem se průmyslově vyrábí velmi čistý vodík?**
- 7) **Jaký je předpoklad toho, aby provoz hypotetického auta na vodík byl ekologičtější, než klasický spalovací motor?**