



Masarykova univerzita

Přírodovědecká fakulta



# Vzdělávací ikurz pro budoucí chemiky

Řešení úkolů 2. série

7. ročník (2016/2017)

**S3 – Grafit/grafen (třetí úvodní úloha)**

Autor: Zdeněk Moravec (e-mail: hugo@chemi.muni.cz)

5 bodů

1. Rozdíly v tepelné a elektrické vodivosti grafitu a diamantu vyplývají z odlišné struktury obou alotropů uhlíku. Zatímco grafit je tvořen vrstvami atomů uhlíku, kde jsou tyto atomy ve stavu hybridizace  $sp^2$ , diamant je tvořen tetraedricky uspořádanými atomy uhlíku, které jsou propojeny kovalentními vazbami. Atomy uhlíku ve vrstvách grafitu jsou také vázány kovalentními vazbami, vazebná délka je 142 pm, jednotlivé vrstvy jsou ale vázány pouze slabými van der Waalsovými interakcemi, vzdálenost vrstev je 335 pm. To je důvodem, proč u grafitu pozorujeme tzv. anizotropii vlastností. Zatímco měrný elektrický odpor ve směru vrstev je  $1,3 \times 10^{-5} \Omega \text{ m}$ , tak kolmo k vrstvám vzroste na hodnotu zhruba  $1 \Omega \text{ m}$ . Dobrá elektrická vodivost grafitu ve směru vrstev je způsobena přítomností delokalizovaných  $\pi$ -elektronů. Naproti tomu diamant, který žádné volné elektrony ve struktuře nemá, vykazuje měrný elektrický odpor  $1 \times 10^{11} \Omega \text{ m}$ , což jej řadí mezi velmi dobré izolanty.

Z hlediska tepelné vodivosti je výhodnější struktura diamantu, kde dochází k snadnému předávání tepelné energie, díky přítomnosti silných, kovalentních vazeb. Diamant je materiál s nejvyšší známou tepelnou vodivostí, její hodnota je pro přírodní diamanty větší než  $1000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , pro srovnání tepelná vodivost mědi je  $401 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  a hliníku  $205 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . Tepelná vodivost grafitu je nižší, v závislosti na čistotě se pohybuje v rozmezí  $25\text{--}470 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  (**0,5 b.**).

2. Exfoliace je metoda, která umožňuje z vrstevnatého materiálu připravit monovrstvy. V případě grafenu se jedná o metodu, kterou byl tento materiál poprvé připraven. K provedení tohoto experimentu stačí jen kousek kvalitního grafitu a lepicí páska. Z grafitu pomocí pásky odloupneme vrchní vrstvy a ty postupně ztenčujeme dalším lepením k pásce. Nakonec monovrstvu grafenu fixujeme na vhodný substrát, např. krystal křemíku. Exfoliaci diamantu provést nelze, protože se nejedná o vrstevnatý materiál (**1,0 b.**).
3. Katalyzátor vytváří s jedním nebo více reagenty nestabilní komplex, který se následně rozkládá za vzniku produktu a uvolnění katalyzátoru. Tím dojde ke změně reakční koordináty a (zpravidla) snížení hodnoty aktivační energie. Vznik komplexu a jeho rozpad, má většinou aktivační energii nižší než reakce bez katalyzátoru. V našem případě se jedná o heterogenní katalýzu, reagenty jsou plynné a katalyzátor pevný.

Asi nejnámější aplikací niklu v organické syntéze je tzv. Raneyův nikl, což je jemný prášek elementárního niklu, který se používá ke katalýze hydrogenačních reakcí (**1,0 b.**).

4. Potřebujeme těkavý zdroj křemíku a plynný oxidant, např.  $\text{SiH}_4$  a  $\text{O}_2$  nebo  $\text{SiH}_4$  a  $\text{N}_2\text{O}$  (**1,0 b.**).
5. Grafen, stejně jako grafit je složen z uhlíků ve stavu  $sp^2$ . Po oxidaci dochází ke změně na  $sp^3$  uhlík, s čímž souvisí i prostorová deformace vrstvy grafenu,  $sp^3$  uhlíky totiž preferují tetraedrickou konfiguraci s vazebným úhlem blížícím se hodnotě  $109,5^\circ$  (**0,5 b.**).
6. Se změnou hybridizace z  $sp^2$  na  $sp^3$  dochází také k rozrušení konjugovaného systému násobných vazeb a tím ze struktury grafenu vymizí pohyblivé nosiče náboje – volné elektrony. K redukci lze použít např. hydrazin, chitosan, kyselinu askorbovou, glukosu, apod. Mimo chemické redukce, lze využít i jiné postupy, např. redukci v plazmatu (**1,0 b.**).

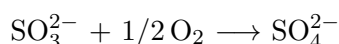
**S4 – Síra ve vinném sklepe (čtvrtá úvodní úloha)**

Autor: Štěpán Káňa (e-mail: 437047@mail.muni.cz)

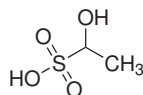
6 bodů

1. Řešení:

1. Lomená molekula s atomem síry v jejím centru.
2. Rovnice:



3. Je bez zápachu, je to princip „senzorického maskování“ nepříjemného zápachu acetaldehydu ve víně, který tam přirozeně vzniká (fermentací) a vzniká i například při skladování (zvětrávání).



4. 94–98 %  $\text{SO}_2$  vyskytuje ve formě  $\text{HSO}_3^-$ , 2–6 % ve formě molekulové.
5. E 220.

 (celkem **1,25 b.**)

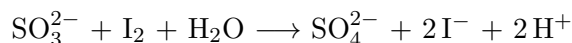
2. Řešení:

Obchodní název	Složení výrobku	Chemická rovnice vzniku $\text{SO}_2$	Dávkování přípravku	Konkrétní použití
Sírné knoty	Síra, skleněná mikrovlákna	$\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2$	1–2 plátky na 1 hl	Síření nádob a prostorů
Tekutá síra (Supersolfosol)	Vodný roztok $\text{NH}_4\text{HSO}_3$	$\text{NH}_4\text{HSO}_3 \longrightarrow \text{NH}_3$ + $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	10 ml/hl dodá 4 g/hl $\text{SO}_2$	Mošty, víno
Pyrosulfit	Disířičitan draselný	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{A} \longrightarrow$ $2 \text{SO}_2 + \text{K}_2\text{A} + \text{H}_2\text{O}$	1 g preparátu dodá přibližně 0,5 g $\text{SO}_2$	Víno, mošty

 (celkem **3,00 b.**)

3. Například zředěním vína (v poměru 1:1) (**0,25 b.**).

4. Řešení:



$$n_{jod} = 5,53 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \cdot 0,001 \text{ mol dm}^{-3} = 0,00553 \text{ mmol},$$

$$n_{jod} = n_{SO_2}$$

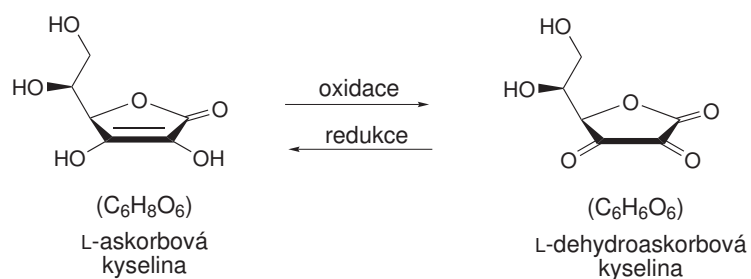
$$M(SO_2) = 64,07 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m(SO_2) = 0,3539 \text{ mg}$$

$$c_{SO_2} = \frac{0,3543 \text{ mg}}{1 \times 10^{-2} \text{ dm}^3} = 35,43 \text{ mg dm}^{-3}$$

Je zapotřebí dodat přibližně 4,57 mg/l, t.j. 228,5 mg/50 l. Vinař Osička použije 457 mg pyrosulfitu (**1,00 b.**).

5. kyselina L-askorbová, z lat. skorbut = kurděje (nemoc způsobená nedostatkem vitamínu C), předpona „a“ znamená „ne“ (**0,50 b.**).

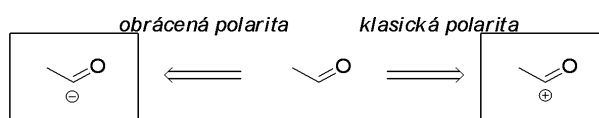


**A2 – Totální syntéza (Disconnection approach)**

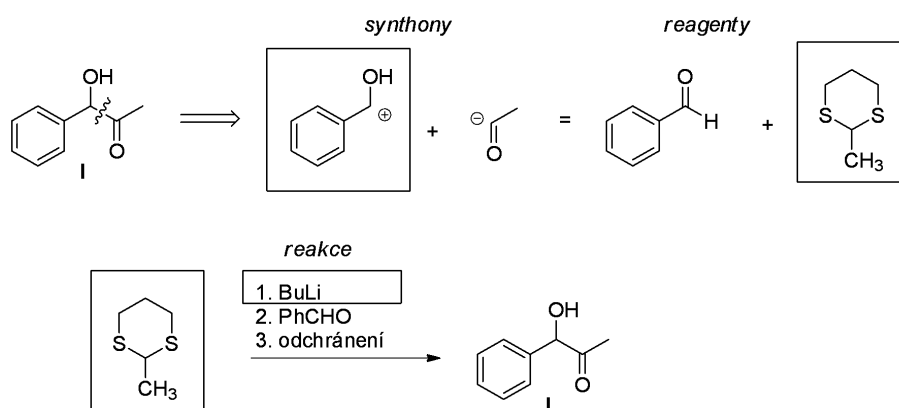
Autor: Tomáš Slanina (e-mail: Slanina.Tomas@seznam.cz)

13 bodů

1. Řešení: (1,0 b.)

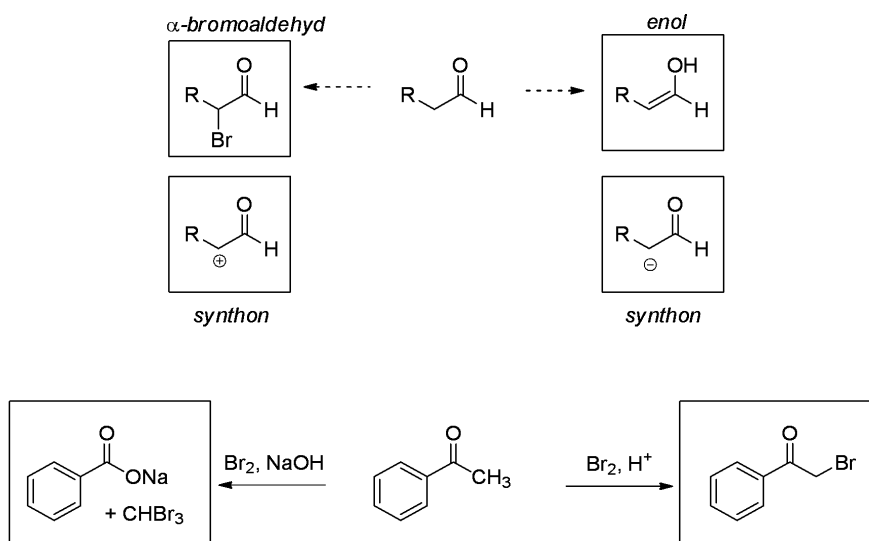


2. Řešení: (1,0 b.)

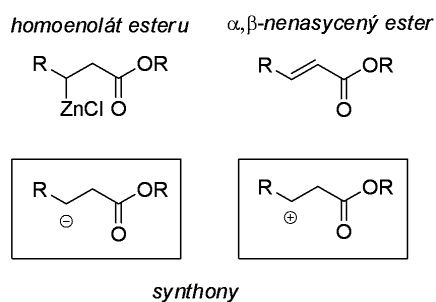

 3. Odchránění: HgO, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/I<sub>2</sub>, IBX, Dess-Martin, mCPBA, DDQ, MeI, NBS, kyselina sírová/dusičná, Selectfluor, iodoniové soli, Ag<sub>2</sub>O, Tl<sup>3+</sup>, Ce<sup>4+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, více například zde.(1)

Název reakce: Coreyova-Seebachova reakce (1,0 b.) .

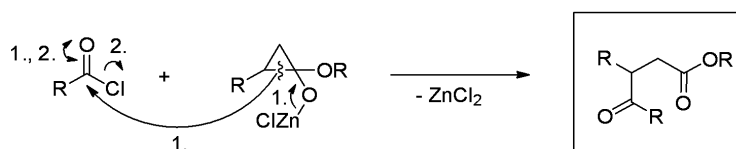
4. Řešení: (2,0 b.)



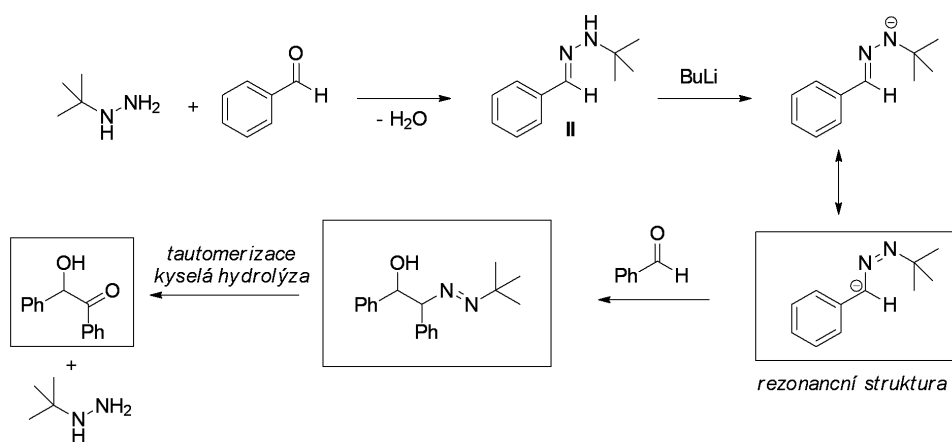
5. Řešení: (1,0 b.)



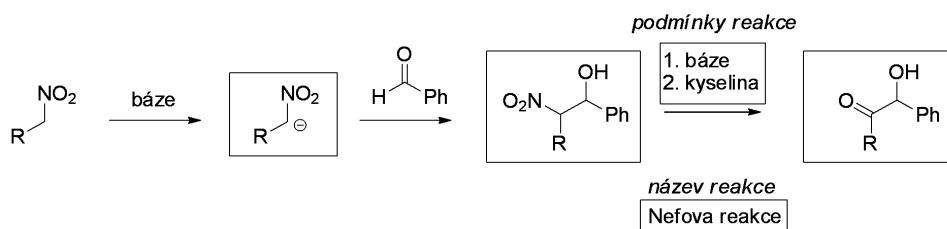
Řešení: (1,0 b.)



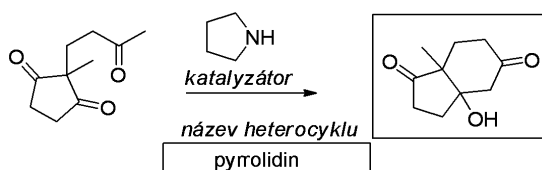
6. Řešení: (2,0 b.)



7. Řešení: (2,0 b.)

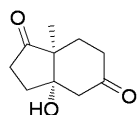


8. Řešení a): (1,0 b.)

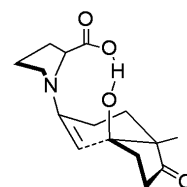


Řešení b): Reakce se jmenuje Hajosova-Parrishova-Ederova-Sauerova-Wiechertova reakce.

Použití L-prolinu je výhodné zejména proto, že se potom jedná o asymetrickou (enantioselektivní) katalýzu, kdy vzniká (téměř) pouze jeden enantiomer produktu (viz obrázek). Další výhodou je přítomnost karboxylové skupiny v molekule L-prolinu, která pomáhá v koordinaci karbonylu substrátu a zrychluje tak reakci (viz obrázek) (1,0 b.).



Enantiomerně čistý produkt reakce s L-prolinem.



Tranzitní stav reakce s L-prolinem.

## Reference

- [1] Burghardt, T. E. *J. Sulfur Chem.* **2005**, *26*, 411.

## B2 – Stopy polutantů ve vodách

Autoři: Jitka Bečanová (e-mail: [becanova@recetox.muni.cz](mailto:becanova@recetox.muni.cz))

14 bodů

Jakub Urík (e-mail: [urik@recetox.muni.cz](mailto:urik@recetox.muni.cz))

### 1. Řešení:

- (a) Existuje několik způsobů, jak dojít ke správnému odhadu. Nejjednodušší přístup je si plochu pod křivkou (což je námi požadovaný objem produkce) rozdělit na pravidelné obrazce, spočítat jejich obsah a ten sečíst.

Neotřelejší postup je k odhadu dojít vážením. To znamená graf si vytisknout (pokud možno na tvrdý papír, popř. překreslit na karton), vystříhnout a zvážit. To stejné udělat s „jednotkami“ objemu produkce (500 a 1000 t). Pak už jen hmotnost grafu přepočítat na produkci (vydělením). Ideální je všechna vážení provést s více nezávislými vzorky (grafy a jednotkami) a výsledky zprůměrovat.



průměrná hmotnost grafu produkce: 0,5328 g

průměrná hmotnost 1000 t: 0,0056 g

$$\text{objem produkce} = \frac{\text{hmotnost grafu produkce}}{\text{hmotnost 1000 t}} \cdot 1000 = 93\,718 \text{ t}$$

(0,5 b.)

- (b) Rychlost je vyjádřením změny za časový úsek; v našem případě zvýšením výroby v tunách za rok. Lineární změnu lze obecně popsat rovnicí přímky:

$$y = a \cdot x + b$$

kde  $x$  je nezávisle proměnná (roky);  $y$  je závisle proměnná (objem produkce);  $b$  je úsek vytknutý přímkou na ose  $y$  (objem produkce na počátku) a  $a$  je směrnice (tj. požadovaná rychlost nárůstu).



Pokud víme, že po celou dobu je nárůst lineární, pak si směrnicí a můžeme vypočítat v jakémkoliv bodě tak, že za ostatní proměnné dosadíme příslušné hodnoty odečtené z grafu. Např. pro rok 1987:

$$b = 1500 \quad x = 10 \quad y = 4000$$

$$a = \frac{y - b}{x} = \frac{4000 - 1500}{10}$$

$$a = 250 \text{ t/rok}$$

Rychlost nárůstu je 250 t/rok (**1,0 b.**).

- (c) K poklesu ve výrobě C8 PFASs po roce 2002 došlo díky omezení výroby těchto látek největším výrobcem v USA a Evropě firmou 3M. Ta k omezení výroby přistoupila sice dobrovolně, ale v reakci na uveřejnění toxikologických studií provedených touto firmou a firmou DuPont, jejichž výsledky poukazovaly na toxické účinky těchto látek. K zákazu výroby a použití C8 PFASs (s několika výjimkami) došlo celosvětově až po roce 2009, kdy byl PFOS a jeho prekurzory zapsán na list Stockholmské úmluvy o persistentních organických polutantech, ale v té době už byla výroba ve srovnání s tou před rokem 2002 minimální (**1,0 b.**).

2. Acidobazicitu (v tomto případě kyselost) látek je vyjádřena disociační konstantou (pro kyseliny  $pK_a$ ), kterou lze najít ve volně dostupných databázích. Tato konstanta popisuje míru disociace kyseliny, tzn. její sílu. Pokud chceme tuto skutečnost vysvětlit v případě substituovaných kyselin, tak je to možné tzn. indukčním efektem. Ten popisuje změnu elektronové hustoty atomu působením substituentu s rozdílnou elektronegativitou. V případě fluorem substituovaných karboxylových kyselin dojde vlivem přítomnosti atomu fluoru na uhlíku vedle uhlíku karboxylové skupiny (nebo na sousedním uhlíku) k posunu elektronů a tedy snazší disociaci kyseliny (tzn. odtrhnutí vodíku v karboxylové skupině **protonu z karboxylové skupiny?**).

Nejkyselější je tedy kyselina perfluoroktanová, která má substituovaný uhlík hned vedle karboxylového uhlíku. Další v pořadí je kyselina 2-(perfluoroktyl)ethanová. Ta má mezi karboxylovou a substituovaným uhlíkem ještě skupinou  $\text{CH}_2$ , která částečně zeslabuje indukční efekt. Kyselina dekanová je z této skupiny kyselinou nejslabší (**2 b.**).

3. Řešení:

- (a)  $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_4\text{CF}_2\text{CH}_2\text{CHO}$   
(b)  $+ \cdot\text{OH}/- \text{H}_2\text{O}$   
(c)  $+ \text{O}_2$   
(d)  $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_4\text{CF}_2\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OH}$

(**2,5 b.**)

4. Existuje několik způsobů, jak se ke správným výsledkům dostat. Exponenciální rozpad je možné popsat několika ekvivalentními rovnicemi. Matematickými úpravami je lze mezi sebou odvozovat. V tomto vzorovém řešení použijeme vztah mezi množstvím látky  $N_t$  v čase  $t$ , původním množstvím  $N_0$  a poločasem rozpadu  $t_{0,5}$ :

$$N_t = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{0,5}}}$$

(a) Pro výpočet původního množství tedy platí:

$$N_t = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{0,5}}} \quad N_t = 3,41 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{60}{41}} = 9,40 \text{ ng/l}$$

(b) Jestli po každém čase  $t = 10$  let snížíme množství o 20 %, můžeme zapsat, že v čase  $t(1)$

$$N_{t(1)} = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{0,5}}} \cdot 0,8$$

Pak po dalších 10 letech (v čase  $t(2)$ ) platí:

$$N_{t(2)} = N_{t(1)} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{0,5}}} \cdot 0,8 = N_0 \cdot \left[\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{0,5}}}\right]^2 \cdot 0,8^2$$

Takhle můžeme pokračovat až k času  $t(6)$ . Obecně platí:

$$N_{t(x)} = N_0 \cdot \left[\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{0,5}}}\right]^x \cdot 0,8^x$$

$$N_{t(6)} = N_0 \cdot \left[\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{0,5}}}\right]^6 \cdot 0,8^6 = 9,40 \cdot \left[\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{10}{41}}\right]^6 \cdot 0,8^6 = 0,89 \text{ ng/l}$$

(c) Množství v neznámém čase  $t$  je 1 % původního, takže platí:

$$N_t = N_0 \cdot 0,01$$

Chceme-li opět použít stejnou rovnici, po dosazení získáme<sup>1</sup>:

$$0,01 \cdot N_0 = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{0,5}}}$$

$$t = 41 \cdot \log_{0,5} 0,01 = 272,4 \text{ let}$$

**(4,0 b.)**

5. Pro výpočet poměru je potřeba nejprve jednotky koncentrací převést tak, aby jejich poměrem vzniklo bezrozměrné číslo (např. pg/m<sup>3</sup>). Následně je nutné vytvořit správný poměr ( $K_{AW}$  znamená air/water tj. vzduch/voda):

$$c_w(\text{PFOS}) = 1,7 \frac{\text{ng}}{\text{dm}^3} = 1,7 \frac{1000 \text{ pg}}{0,001 \text{ m}^3} = 17 \times 10^5 \frac{\text{pg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{c_a}{c_w}(\text{PFOS}) = \frac{2,4}{1,7 \times 10^6} = 1,41 \times 10^{-6}$$

<sup>1</sup>Pro výpočet logaritmu s libovolným základem lze použít excel, funkci =LOG(hodnota;základ)

$$c_w(\text{PFOA}) = 0,6 \frac{\text{ng}}{\text{dm}^3} = 0,6 \frac{1000 \text{ pg}}{0,001 \text{ m}^3} = 6 \times 10^5 \frac{\text{pg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{c_a}{c_w}(\text{PFOA}) = \frac{7,1}{6 \times 10^5} = 1,18 \times 10^{-5}$$

Poté toto číslo porovnat s rovnovážným rozdělovacím koeficientem  $K_{AW}$  uvedeným v tabulce. Při porovnání je vidět, že vypočítané poměry pro obě látky jsou nižší. To znamená, že koncentrace ve vodě (číslo v čitateli zlomku) je vyšší (nebo koncentrace ve vzduchu je nižší), než odpovídá rovnovážnému stavu.

Z toho vyplývá, že systém není v rovnováze a že látky se nacházejí je vyšší, než rovnovážné koncentraci ve vodě, tudíž se dá dovodit, že zdrojem látek pro vzduch je voda.

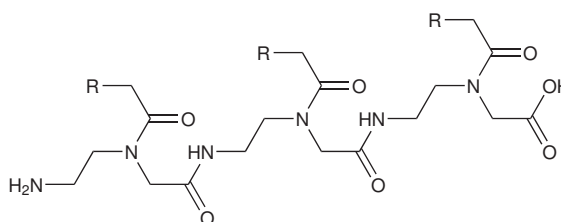
Tento výpočet je zjednodušující a a to především z následujících důvodů: při výpočtu bereme v úvahu pouze dvě složky (voda a vzduch) složitějšího systému a zanedbává rozdělování látek v prostředí mezi další složky systému (sediment, biota). Zároveň nebere v úvahu transformaci látek v jednotlivých složkách jako například (bio) degradaci, (de)sorpci a další, která ovlivňují reálnou koncentraci těchto látek v jednotlivých složkách systému (**3,0 b.**).

## C2 – Základní stavební kameny

Autor: Petr Stadlbauer (e-mail: silchemix@centrum.cz)

14 bodů

1. Páteř PNA není tvořena (deoxy)ribosou a kyselinou fosforečnou, ale *N*-(2-aminoethyl)glycinem, jenž polymerizuje tvorbou peptidové vazby. Na tuto páteř jsou báze připojeny pomocí -CO-CH<sub>2</sub>- můstku (obrázek 1) (**0,5 b.**).

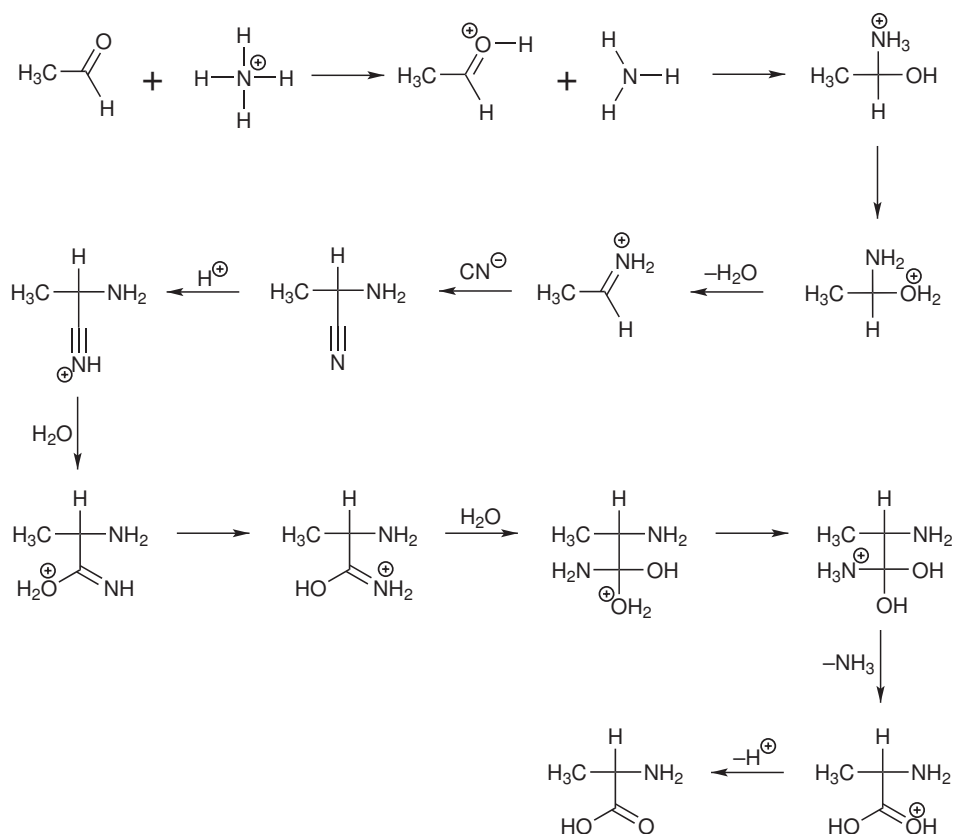


**Obr. 1:** Molekula PNA tvořená třemi jednotkami, R je nukleobáze

2. Civilizace, Civilization, Sid Meier's Civilization (**0,5 b.**).
3. Millerův-Ureyův experiment měl sloužit k demonstraci toho, že z jednoduchých plynů mohly na rané Zemi vzniknout složitější organické látky vhodné pro vznik života. Centrální částí celého experimentu byla směs plynného vodíku, methanu, amoniaku a vodní páry, kterou neustále probíhaly elektrické výboje, simulující blesky. Část aparatury byla chlazená a kondenzát byl shromažďován. Do systému byla také neustále dodávána horká vodní pára. Po týdnu neustálého průběhu byl experiment zastaven a analýza ukázala přítomnost množství organických látek, mimo jiné pěti proteinogenních aminokyselin. Pozdější reanalýza ukázala přítomnost více než dvaceti aminokyselin (**1 b.**).
4. Hmotnost Země nebyla (a stále není) dostatečná k tomu, aby její gravitace byla schopna molekulární vodík udržet v atmosféře. Určitá část molekul vodíku v nejvyšších vrstvách atmosféry má vždy dostatečnou kinetickou energii k tomu, aby dosáhla únikové rychlosti, a tak opustila zemskou atmosféru do kosmu. Nezáleží tedy na tom, jaké bylo chemické složení atmosféry (**0,6 b.**).
5. UV záření. Jednak hvězdy typu Slunce vyzařují ve svém raném věku více UV záření než po několika miliardách let činnosti, a hlavně tehdy na Zemi neexistoval ochranný štít v podobě ozonové vrstvy, protože atmosféra neobsahovala molekulární kyslík, z něhož by se ozon tvořil. Ten se do ní dostal až později vytrvalou činností mikroorganismů provádějících fotosyntézu (**0,5 b.**).
6. Sloučenina **A** je kyanovodík HCN (**0,25 b.**).
7. V zadání tohoto úkolu se nedopatřením objevila nejednoznačnost, kdy látka **A** vstupovala do syntézy aminokyseliny **B** na dvou místech – na samotném počátku, před reduktivní homologizací, a poté ve formě amonné soli reakcí s acetaldehydem – a nebylo explicitně řečeno, ze kterého z těchto dvou bodů se má vycházet. Jako správné řešení byla samozřejmě uznávána celá syntéza od počátku, ale i syntéza vycházející až od acetaldehydu, což byl i můj původní záměr. Lze tak usuzovat z nepřiliš detailního popisu první části syntézy po acetaldehyd, zatímco dále byly reakce jasně definovány. Bodována tedy byla pouze syntéza

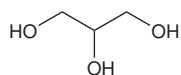
z acetaldehydu. Všechna čest patří těm řešitelům, kteří si s vágním popisem první části syntézy lámali hlavu a nějakým způsobem ji vyřešili (cest je více). Za toto nedopatření bych se chtěl omluvit a doufám, že se nenašel nikdo, koho by první část syntézy odradila od řešení celého úkolu.

Aminokyselinou **B** je alanin. Reakční schéma od acetaldehydu a kyanidu amonného k alaninu je na obrázku 2. Nebylo třeba kreslit úplně všechny intermediáty (to bychom mohli jít do nekonečného přibližování), stačilo, když bylo zřejmé, co, kde a jak spolu reaguje (**1,1 b.**).



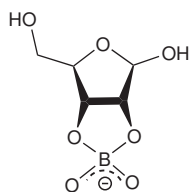
**Obr. 2:** Syntéza alaninu z acetaldehydu a kyanidu amonného

8. Látka **C** je glycerol, propan-1,2,3-triol (obrázek 3). Jedná se o alkohol, který je základem jednoduchých a velké většiny složených lipidů (**0,45 b.**).



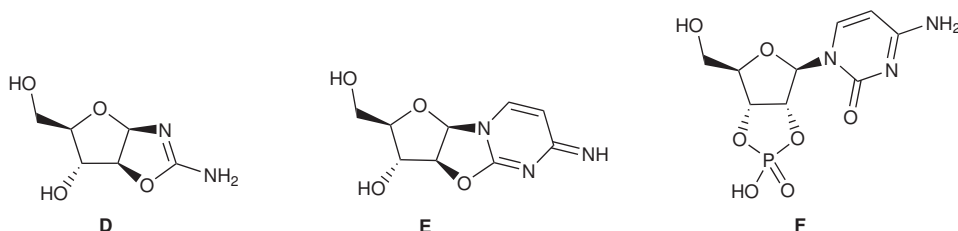
**Obr. 3:** Glycerol

9. Formosová reakce bez přítomnosti borátů poskytuje celou škálu sacharidů, a to i větvených, bez jakékoli preference k ribose. Po vyčerpání formaldehydu z reakční směsi začnou sacharidy reagovat navzájem a vzniká ještě složitější hnědá směs látek. Boráty mají dvojitý efekt. Jednak váží a stabilizují glyceraldehyd, který je intermediátem na cestě k ribose, a jednak stabilizují samotnou ribosu. V obou případech se vytváří stabilní komplex (obrázek 4), který chrání sacharid před nežádoucími reakcemi (**2 b.**).



Obr. 4: Komplex ribosy s borátem

10. Formamid je za běžného tlaku při pokojové teplotě kapalinou, jeho bod varu je  $210^{\circ}\text{C}$  a jeho tenze par je několikanásobně nižší než tenze par vody při stejné teplotě. Pakliže byl atmosférický tlak na rané Zemi vyšší, byl by jeho bod varu rovněž ještě vyšší. Když budeme vycházet ze stavu, kdy je na zemském povrchu kaluž se směsí vody a formamidu a tato směs se volně odpařuje nebo zahřívá (například v důsledku nedaleké geologické činnosti), pravděpodobně (bude záležet na přesném složení plynu nad kapalinou a na [ne]idealitě kapalně směsi) se nejprve odpaří množství vody a zůstane koncentrovaný formamid. Teplota ale nesmí vystoupat příliš, pak by mohlo dojít nejen k úplnému odpaření formamidu, ale i k jeho tepelnému rozkladu. Je i možný i opačný proces, tedy že z plynu zkondenzovaly kapičky formamidu ještě v době, kdy voda zůstávala ve formě páry (**2 b.**).
11. Adenin (**0,5 b.**).
12. Sloučeniny **D**, **E** a **F** jsou vyobrazeny na obrázku 5. Stereochemii nebylo třeba kreslit, stejně tak byly uznávány všechny rozumné (de)protonizované stavy. Nukleová báze ve sloučenině **F** je cytosin (**4,6 b.**).


 Obr. 5: Sloučeniny **D**, **E** a **F**