SLOVENSKÁ KOMISIA CHEMICKEJ OLYMPIÁDY

CHEMICKÁ OLYMPIÁDA

63. ročník, školský rok 2026/2027

Kategória EF

Domáce kolo

TEORETICKÉ ÚLOHY

ÚLOHY ZO VŠEOBECNEJ A FYZIKÁLNEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória **EF** – 63. ročník – školský rok 2026/2027

Domáce kolo

Jozef Urban

Maximálne 15 bodov (b)

Úvod

Milí súťažiaci,

úlohy chemickej olympiády kategórie EF v tomto školskom roku sú zamerané na koligatívne vlastnosti roztokov. Slovo „koligatívny“ pochádza z latinčiny a znamená „zviazaný spolu“ alebo „spojený“. Sú to také vlastnosti, ktoré nezávisia od druhu a charakteru rozpustenej látky, ale závisia od počtu častíc rozpustenej látky. Medzi tieto vlastnosti patria: zníženie tlaku nasýtených pár nad roztokom rozpustenej neprchavej látky, zvýšenie bodu varu roztoku (ebulioskopia), zníženie bodu tuhnutia roztoku (kryoskopia) a osmotický tlak.

Kvapalina vrie, ak tlak nasýtených pár nad jej hladinou dosiahne tlak vonkajší. Ak pridáme do rozpúšťadla neprchavú látku, tlak rozpúšťadla nad hladinou sa zníži, a preto roztok bude vrieť pri vyššej teplote. Zvýšenie teploty varu je priamo úmerné molalite roztoku. Konštanta úmernosti sa nazýva ebulioskopická konštanta, ktorá bola zistená experimentálne.

Inak je to pri tuhnutí roztoku. Molekuly rozpúšťadla majú náhodné, chaotické usporiadanie. Pri znižovaní teploty sa ich náhodná usporiadanosť znižuje. Napríklad molekuly vody sa „chystajú“ pri bode tuhnutia vytvoriť neskutočne krásne kryštály. Ale ak ich prepadne „cudzia“ látka, ich náhodnosť usporiadania sa zvýši. V dôsledku toho sa musí pre znovuzískanie rovnováhy medzi tuhou fázou a roztokom dosiahnuť nižšia teplota. Zníženie teploty topenia je takisto priamo úmerné molalite roztoku. Konštanta úmernosti sa nazýva kryoskopická konštanta. Príkladom je zimný posyp komunikácií soľou.

Osmóza je samovoľný prechod čistého rozpúšťadla do roztoku, ktorý je od nej oddelený polopriepustnou (semipermeabilnou) membránou. Táto membrána je priepustná len pre rozpúšťadlo; rozpustenú látku neprepustí. Prečo? Póry v membráne sú menšie ako rozmery molekúl rozpustenej látky. Osmometria je meranie osmotic-

kého tlaku. Vplyv osmotického tlaku je veľký a ľahko merateľný. Najbežnejším použitím osmometrie je meranie molárnych hmotností makromolekúl (proteíny, syntetické polyméry).

Osmóza pomáha biologickým bunkám udržiavať ich štruktúru. Bunkové membrány sú polopriepustné. Dovoľujú prenikať vode, malým molekulám a hydratovaným iónom. Prienik molekúl, ktoré sú syntetizované vnútri buniek, je membránou blokovaný. Rozdiel koncentrácií rozpustených látok vnútri bunky a v jej okolí vyvoláva osmotický tlak. Voda preniká do koncentrovanejších roztokov vo vnútri buniek a nesie so sebou malé molekuly, ktoré bunku vyživujú. Prívod vody udržuje bunky napučané, dehydratácia spôsobuje ich zmršťovanie. Tieto vplyvy sú dôležité pre každodennú lekársku prax. Aby bola dodržaná celistvosť krvných buniek, musia byť roztoky, ktoré sú injekčne aplikované do krvného riečiska pri transfúziach a vnútrožilovej výžive, izotonické s krvou. Znamená to, že musia mať rovnaký osmotický tlak ako krv. Ak je injekčne aplikovaný roztok príliš zriedený (hypotonický), nastáva tok rozpúšťadla do buniek, aby sa vyrovnal osmotický tlak. Spôsobí to prasknutie buniek a ich smrť. Ak je roztok, naopak, príliš koncentrovaný (hypertonický), vyrovnanie osmotického tlaku spôsobí tok rozpúšťadla von z buniek. Bunky sa vtedy scvrknú a zahynú.

Osmóza je základom dialýzy. Pri nej sa odstraňujú nečistoty z roztoku biologických makromolekúl.

Pri riešení úloh domáceho kola aj ďalších kôl je potrebná zručnosť vo vyjadrovaní potrebných koncentrácií a vzťahov pre koligatívne vlastnosti roztokov. Úlohy jednotlivých kôl na seba nadväzujú; domáce kolo je najnáročnejšie, lebo si môžete pomôcť, čím len chcete. Prajem veľa odhodlania a trpezlivosti.

Odporúčaná literatúra

1. A. Sirota, J. Kandráč: Výpočty v stredoškolskej chémii. 2. vyd., SNP, Bratislava, 1995.
2. https://www.truni.sk/sites/default/files/uk/f000069.pdf
3. K. Daučík a kol.: Fyzikálna chémia pre 3. ročník SPŠ chemických. Alfa, Bratislava, 1980.
4. V. Novotný a kol.: Zbierka príkladov a úloh z chémie 1. Doplnková učebnica pre SPŠ chemické a s chemickým zameraním. Alfa, Bratislava,1980.
5. Peter Atkins, Julio de Paula: Fyzikální chemie, VŠCHT Praha 2013
6. Predošlé ročníky chemickej olympiády.
7. Internetové zdroje

Úloha 1 JUNIOR (7,5 b)

Roztok vznikol rozpustením 29,2 g neznámej organickej látky v 300 g vody pri 20°C. Hustota bola 1,175 $g.cm^{-3}$. Teplota tuhnutia bola -1,15 °C.

Vyočítajte:

a) hmotnostný zlomok a hmotnostnú koncentráciu neznámej látky
b) molárnu hmotnosť neznámej látky
c) molárnu koncentráciu neznámej látky
d) teplotu varu
e) o koľko percent klesne osmotický tlak, ak do roztoku pridáme 300 g vody?

Úloha 2 JUNIOR + SENIOR (7,5 b)

Vodný roztok KCl má pri 25 °C hustotu 1,045 $g.cm^{-3}$ a molálnu koncentráciu 1,250 $mol.kg^{-1}$. Vypočítajte:

a) jeho molárnu koncentráciu
b) hmotnostnú koncentráciu
c) percentuálnu koncentráciu
d) osmotický tlak a teplotu varu
e) o koľko sa zmení osmotický tlak, ak do roztoku pridáme 50 g KCl a hustota sa pritom zvýši o 10 %?
f) prečo je výsledok osmotického tlaku v kPa a nie v Pa?

Úloha 3 SENIOR (7,5 b)

Kondenzáciou troch aminokyselín vznikol tripeptid, v ktorom sú aminokyseliny viazané peptidovou väzbou. Pri kondenzácii sa uvoľňuje molekula vody.

10 g tripeptidu Ser-Ala-Thr (serín – alanín – treonín) sa pri teplote 25 °C rozpustil v 150 g vody. Jeho hustota je približne 1,040 $g.ml^{-1}$. Tripeptid nedisociuje a jeho rozpustnosť je dostatočná na vytvorenie uvedeného roztoku.

a) určte molárnu hmotnosť tripeptidu
b) vypočítajte molárnu, molálnu, hmotnostnú koncentráciu a koncentráciu v hmot. % roztoku
c) o koľko percent sa zníži osmotický tlak, ak k roztoku pridáme 200 g vody?
d) akú má hodnotu van´t Hoffov koeficient, ak vo vodnom roztoku sú rozpustené látky B (20 % disociácia na dva ióny) a látky C (40 % disociácia na tri ióny), pričom obe látky majú rovnakú molárnu koncentráciu ?

Na označenie príslušných veličín používajte tieto symboly:

A rozpúšťadlo B rozpustená látka C, D, ... ďalšie rozpustené látky

m(A)	hmotnosť rozpúšťadla	g
m(B)	hmotnosť rozpustenej látky	g
m	celková hmotnosť zmesi (roztoku)	g
n(A)	látkové množstvo rozpúšťadla	mol
n(B)	látkové množstvo rozpustenej látky	mol
n	celkové látkové množstvo zmesi (roztoku)	mol
V	celkový objem roztoku	dm^3
x(A)	mólový zlomok rozpúšťadla	
x(B)	mólový zlomok rozpustenej látky	
w(A)	hmotnostný zlomok rozpúšťadla	
w(B)	hmotnostný zlomok rozpustenej látky	
c	molárna koncentrácia rozpustenej látky	$mol.dm^{-3}$
c_m	hmotnostná koncentrácia rozpustenej látky	$g.dm^{-3}$
m_m	molálna koncentrácia rozpustenej látky	$mol.kg^{-1}$ rozpúšťadla
R	plynová konštanta ideálneho plynu	8,314 $J.mol.K^{-1}$
i	van´t Hoffova konštanta	
Π	osmotický tlak	kPa
α	stupeň disociácie	
T	termodynamická teplota	K
ΔH_{rozp}	zmena entalpie pri rozpúšťaní	$J.mol.K^{-1}$
ΔH_{var}	zmena entalpie pri vyparovaní	$J.mol.K^{-1}$
T_v	teplota varu	K
T_t	teplota topenia	K
p	celkový tlak nasýtených pár	Pa
p(A)	parciálny tlak rozpúšťadla	Pa
ρ	hustota roztoku	$g.cm^{-3}$
K_K	kryoskopická konštanta vody	1,86 $K.kg.mol^{-1}$
K_E	ebulioskopická konštanta vody	0,513 $K.kg.mol^{-1}$
M_r(KCl)		74,551

ÚLOHY Z ORGANICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória **EF** – 63. ročník – školský rok 2026/2027

Domáce kolo

Eva J. Tomečková

Maximálne 10 bodov (b)

Úvod

Témou tohtoročnej chemickej olympiády sú bielkoviny. Z hľadiska organickej chémie sa bližšie pozrieme na reakcie súvisiace s tvorbou peptidovej väzby a syntetickou prípravou bielkovín. Časť úloh bude taktiež zameraná na reakcie karboxylových kyselín a ich názvoslovím.

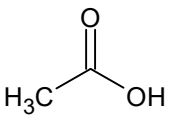
Tip: Úlohy jednotlivých kôl na seba nadväzujú. Pred riešením vyšších kôl je preto vhodné si zopakovať úlohy z kôl predošlých.

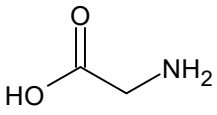
Odporúčaná literatúra

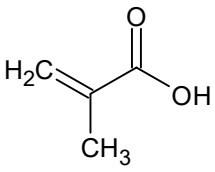
1. Súčasné učebnice organickej chémie používané na školách.
2. J. McMurry: Organická chemie (český preklad), VUTIUM , 2007.
3. J. Široká: *Chémia pre 2. ročník SPŠCH*, Proxima Press, Bratislava, 2010.
4. Voľne dostupné informácie na internete.

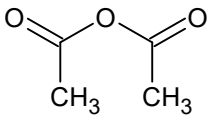
Úloha 1 (1,2 b) Názvoslovie karboxylových kyselín

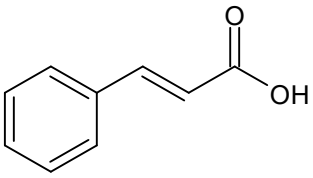
Pomenujte nasledovné zlúčeniny systematickým názvom:

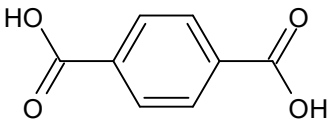












Úloha 2 (1 b) Peptidová väzba

Doplňte nasledujúci text:

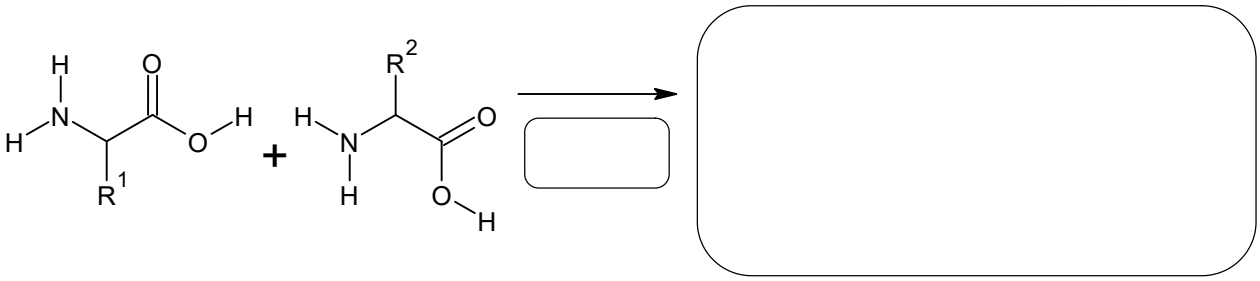
Základný reťazec v bielkovinách je tvorený prepojením **A** funkčnej skupiny prvej aminokyseliny a **B** funkčnej skupiny druhej aminokyseliny pričom vzniká peptidová väzba. V organickej chémii sa pre túto väzbu používa aj názov **C**, ktorý označuje aj vznikajúcu skupinu zlúčenín.

A –

B –

C –

Napíšte reakciu vzniku dipeptidu z nasledujúcich dvoch aminokyselín:



Úloha 3 (1,5 b) Chemické a fyzikálne vlastnosti bielkovín

Označte, či je tvrdenie pravdivé alebo nesprávne. Chybné tvrdenie opravte.

a) Amidová väzba je planárna a má obmedzenú rotáciu, pretože väzba C–H má čiastočný charakter dvojnej väzby.

b) Vodíkové mostíky nemajú vplyv na stabilizáciu konformácie bielkovín vo vodnom prostredí.

c) Atómy dusíku v amidovej väzbe nemajú bázický charakter.

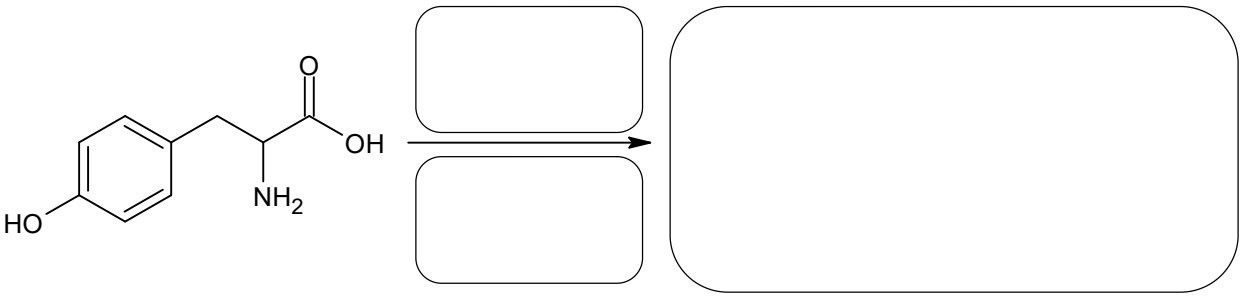
d) Na bielkovinách rozpoznávame O-koniec a C-koniec, ktoré označujú hydroxy a karboxylovú skupinu na koncoch polypeptidového reťazca.

e) Všetky bielkoviny sú rozpustné vo vode.

Úloha 4 (1 b) Dôkaz bielkovín

Rozpustné bielkoviny je možné kvalitatívne dokázať v roztoku pomocou jednoduchej dôkazovej reakcie nazývanej xantoproteínová reakcia.

Doplňte podmienky / činidlo a produkt tejto reakcie:

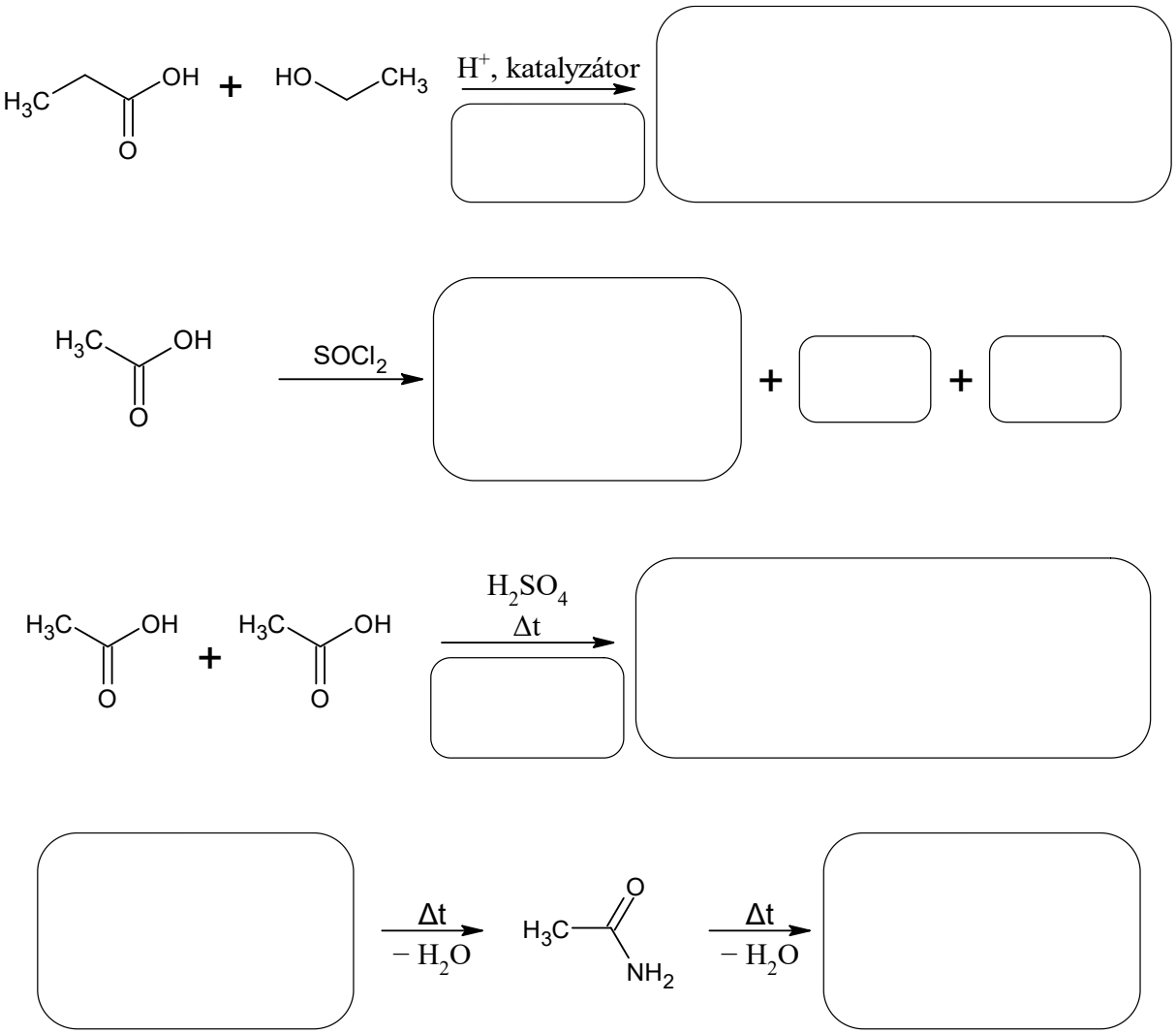


Názov tejto reakcie je odvodený od zafarbenia produktu. O akú farbu sa jedná?

Reakcia prebieha len na určitých postranných reťazcoch aminokyselín. Čo majú spoločné?

Úloha 5 (1,8 b) Reakcie karboxylových kyselín

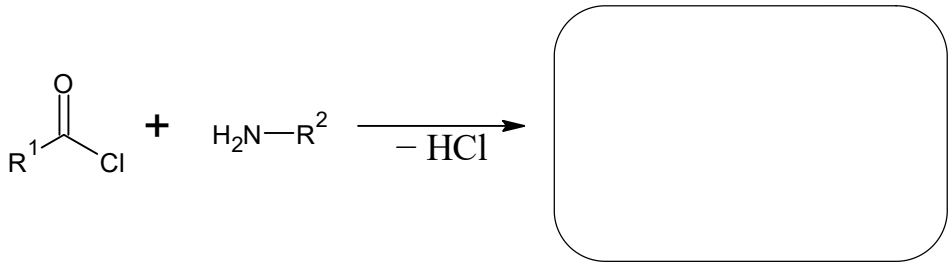
Doplňte chýbajúce zlúčeniny:



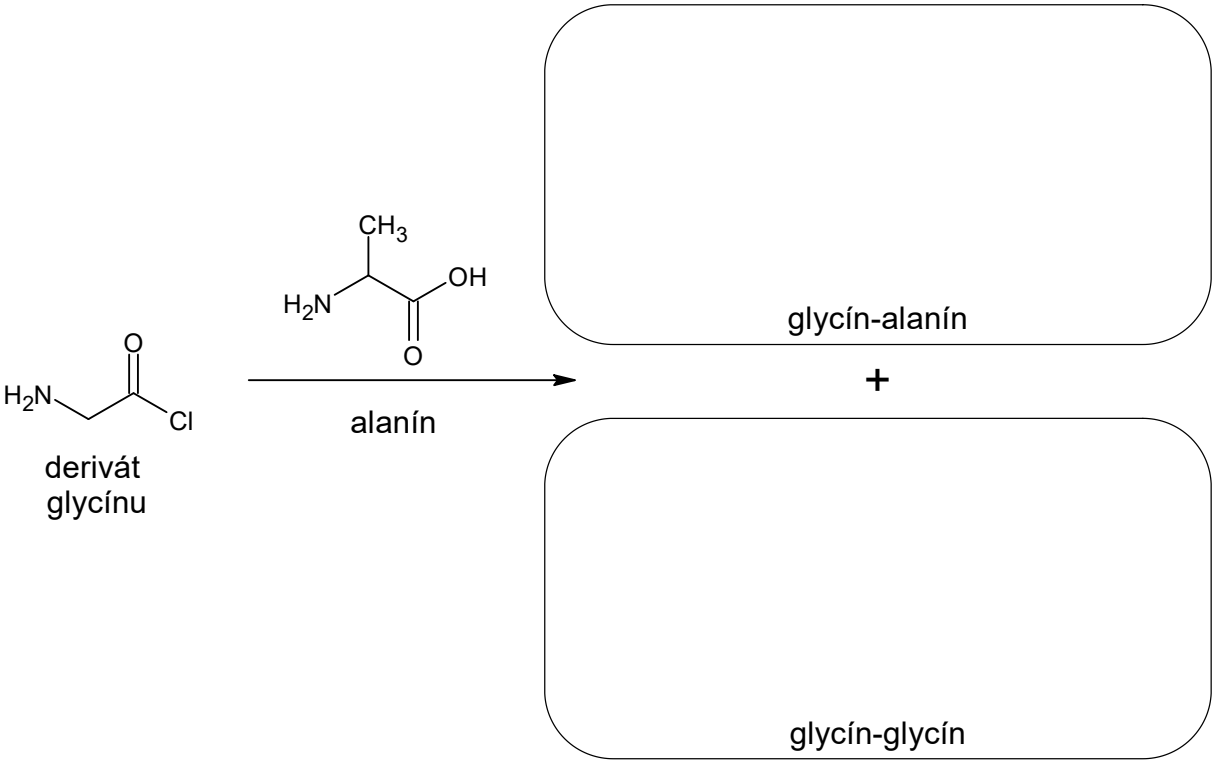
Úloha 6 (3,5 b) Syntéza peptidov

Doplňte chýbajúce produkty:

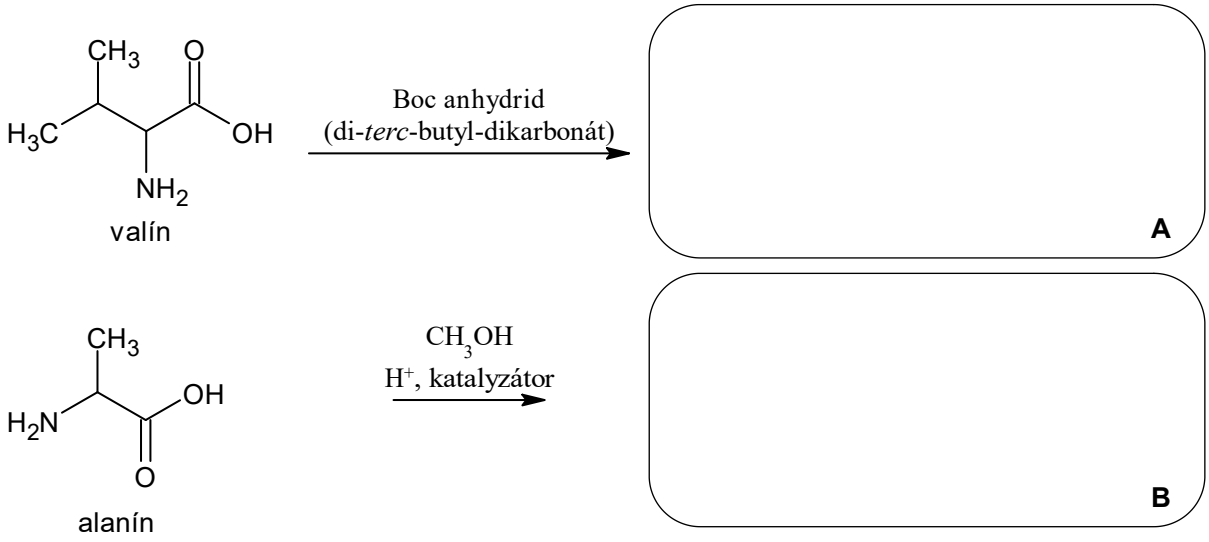
Jednoduchý amid je možné pripraviť reakciou amínu s acylchloridom:



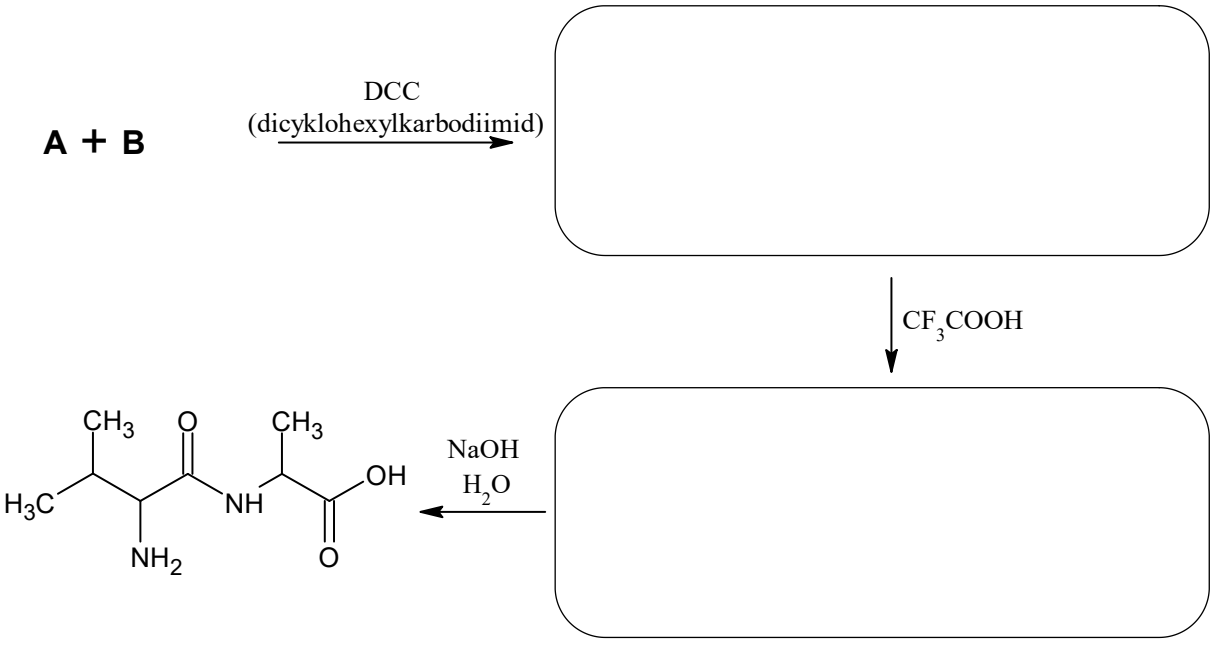
Avšak, pri tomto postupe nemusí vznikať len jeden produkt, najmä pri reakcii derivátov aminokyselín:



Syntetická príprava peptidov je zložitejšia, pretože je nutné vytvoriť väzby medzi konkrétnymi funkčnými skupinami aminokyselín v špecifickom poradí. K tomu, aby bola zabezpečená reakcia správnych skupín, je možné využiť chránenie skupín.



Po ochránení žiadúcich skupín je umožnená len žiadúca reakcia, v tomto prípade vznik dipeptidu valín-alanín, pred získaním tohto finálneho produktu je však nutné odstrániť chrániace skupiny.



ÚLOHY Z CHÉMIE PRÍRODNÝCH LÁTOK A BIOCHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória **EF** – 63. ročník – školský rok 2026/2027

Domáce kolo

Ladislav Blaško

Maximálne 15 bodov (b)

Konštanty aminokyselín potrebné na riešenie úloh sú uvedené v tabuľke v prílohe.

Úvod

V tomto ročníku chemickej olympiády sú úlohy z biochémie venované vlastnostiam aminokyselín a ich premene na fyziologicky účinné látky, dôkazovým reakciám aminokyselín a bielkovín, primárnu a sekundárnu štruktúru proteínov a metódy separácie aminokyselín.

Aminokyseliny sú základné stavebné jednotky bielkovín. Každá aminokyselina obsahuje aminoskupinu, karboxylovú skupinu a charakteristický bočný reťazec, ktorý určuje jej vlastnosti. Z približne dvadsiatich proteinogénnych aminokyselín sa vytvárajú všetky bielkoviny v ľudskom organizme. Aminokyseliny sa navzájom spájajú peptidovou väzbou a vytvárajú dlhé reťazce nazývané proteíny alebo bielkoviny. Bielkoviny patria medzi najvýznamnejšie organické látky v živých organizmoch. Niektoré aminokyseliny si telo dokáže vytvoriť samo, zatiaľ čo esenciálne aminokyseliny musíme prijímať potravou. Medzi zdroje esenciálnych aminokyselín patria mäso, ryby, vajcia, mliečne výrobky, strukoviny a orechy. Funkcia bielkovín závisí od ich priestorovej štruktúry.

Primárna štruktúra predstavuje poradie aminokyselín v reťazci. Sekundárna štruktúra vzniká usporiadaním reťazca do ľudskému oku povedomých tvarov ako napríklad α-helix alebo β-skladaný list. Terciárna štruktúra predstavuje trojrozmerné usporiadanie jednej bielkovinovej molekuly. Kvartérna štruktúra vzniká spojením viacerých bielkovinových reťazcov do jedného funkčného celku.

Bielkoviny plnia v organizme stavebnú, ochrannú, transportnú, regulačnú aj zásobnú funkciu. Sú súčasťou enzýmov, hormónov a protilátok, ktoré zabezpečujú správne fungovanie organizmu. Bez dostatočného príjmu bielkovín by nebol možný rast, obnova buniek ani správna činnosť svalov. Preto sú aminokyseliny a bielkoviny nevyhnutné pre život všetkých živých organizmov. Ich význam spočíva v tom, že za-

bezpečujú stavbu tela, priebeh metabolických procesov a udržiavanie zdravia človeka.

Pre úspešné zvládnutie úloh je potrebné naštudovať hlavne tieto oblasti:

1. Proteinogénne aminokyseliny, ich názvy, trojpísmenové, jednopísmenové skratky, vlastnosti a štruktúra, dôkazové reakcie aminokyselín, proteínov a bielkovín. (JUNIOR)
2. Peptidová väzba, jej vznik a štruktúra, určenie izoelektrickéko bodu aminokyselín a peptidov, určenie náboja peptidov v závislosti od pH. (JUNIOR + SENIOR)
3. Metódy separácie aminokyselín a peptidov (elektroforéza, ionexy). Biosyntéza fyziologicky účinných látok z aminokyselín. (SENIOR)

Poznámka: Pri riešení úloh použite potrebné konštanty aminokyselín, ktoré sú uvedené v tabuľke 1 v prílohe.

Odporúčaná literatúra

1. J. Kmeťová, M. Skoršepa, M. Vydrová: Chémia pre 3. ročník gymnázia so štvorročným štúdiom a 7. ročník gymnázia s osemročným štúdiom, Vydavateľstvo Matice slovenskej, Martin, 2011.
   (učebnica je dostupná vo formáte pdf na www.eaktovka.sk po bezplatnej registrácii)
2. Z. Vodrážka: Biochemie, Nakladatelství Academia, Praha, 2007.
3. R. K. Murray a kol.: Harperova biochemie, 3. české vydání, H&H, 1998.
4. K. Barna: Úvod do lekárskej chémie, Vydavateľstvo Osveta, Martin, 1975.
5. M. Kodíček: Biochemie, chemický pohled na biologický svět, VŠCHT Praha, 2022
6. Sedlák, Danko, Varhač, Paulíková, Podhradský: Praktické cvičenia z biochémie, UPJŠ Košice, 2020
   (skriptá sú dostupné na internete vo formáte pdf na https://unibook.upjs.sk/img/cms/2020/tip/prakticke-cvicenia-z-biochemie.pdf)
7. Učebnice podľa vlastného výberu a dostupnosti, hodnoverné internetové zdroje.

Úloha 1 (JUNIOR, 7b)

Aminokyseliny možno deliť podľa štruktúry uhlíkového reťazca na alifatické, aromatické, heterocyklické a hydroxyaminokyseliny, pričom významným kritériom je aj poloha aminoskupiny, podľa ktorej rozlišujeme α-, β- a ďalšie aminokyseliny. Z hľadiska fyzikálnych vlastností sú aminokyseliny kryštalické látky s vysokou teplotou topenia, vo vode sa správajú ako amfolyty a pri určitom pH existujú prevažne vo forme zwitteriónov, čo určuje ich izoelektrický bod.

Podľa charakteru bočného reťazca ich delíme na nepolárne, polárne bez náboja, kyslé a zásadité aminokyseliny, pričom tieto vlastnosti ovplyvňujú ich rozpustnosť, reaktivitu aj úlohu v štruktúre proteínov.

1.1 Napíšte triviálny názov, štruktúrny vzorec, trojpísmenový a jednopísmenový kód proteinogénnej aminokyseliny, ktorá má nepolárny uhľovodíkový zvyšok a obsahuje síru.

1.2 Valín a leucín majú približne rovnakú hodnotu izoelektrického bodu. Vysvetlite prečo.

1.3 +Napíšte triviálny názov a nakreslite štruktúrny vzorec (bez stereodeskriptorov), trojpísmenový a jednopísmenový symbol jednej zásaditej proteinogénnej aminokyseliny.

1.4 Nakreslite štruktúrny vzorec leucínu pri pH = 6,01.

Dôkazové reakcie aminokyselín a bielkovín sú založené na reakcii postranného reťazca aminokyseliny s príslušným činidlom.
K roztoku octanu olovnatého pridávame roztok hydroxidu sodného, kým sa vzniknutá zrazenina práve nerozpustí. Do roztoku pridáme pár kvapiek roztoku vajcového bielka a zahrejeme. V prípade pozitívnej reakcie zmes sčernie - vylúči sa látka A.

1.5 Ktorý prvok nachádzajúci sa v aminokyseline uvedeným pokusom dokážeme?

1.6 Ktoré aminokyseliny poskytujú uvedenú reakciu?

1.7 Napíšte vzorec látky A. Skráteným iónovým zápisom napíšte vznik látky A.

Ľudský vlas je tvorený keratínom. Keratín patrí medzi fibrilárne bielkoviny nerozpustné vo vode a v roztokoch solí. Sekundárna štruktúra keratínu je α-helix. Tri závity sú tvorené jedenástimi aminokyselinovými zvyškami (desiatimi peptidovými väzbami).

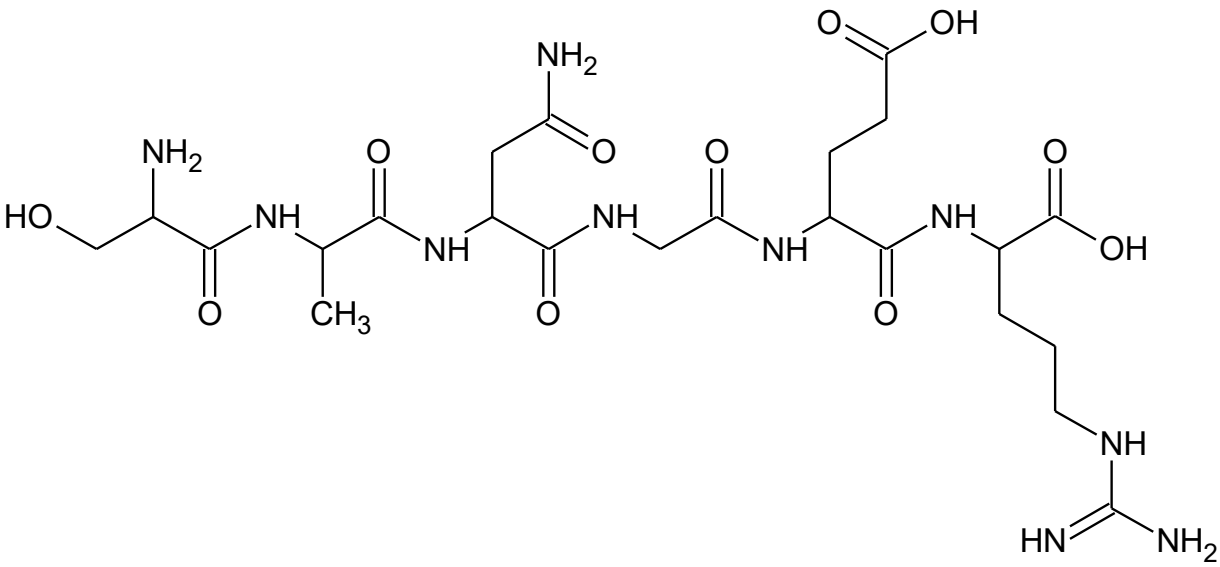
Dĺžka troch závitov je 1,62 nm. Rýchlosť syntézy peptidových väzieb je 30 peptidových väzieb za sekundu.

1.8 Vypočítajte dĺžku vlasov, ktoré narastú za tri roky. Výsledok uveďte v centimetroch a zaokrúhlite na celé číslo. Predpokladáme, že rýchlosť rastu vlasov je počas sledovaného obdobia rovnaká.

Úloha 2 (JUNIOR + SENIOR, 8b)

Najdôležitejšou chemickou reakciou aminokyselín je vznik peptidov. Peptidová väzba vzniká kondenzačnou reakciou medzi karboxylovou skupinou jednej aminokyseliny a aminoskupinou druhej aminokyseliny za odštiepenia jednej molekuly vody. Výsledná väzba –CO–NH– má čiastočný charakter dvojitej väzby v dôsledku rezonancie, čo obmedzuje rotáciu okolo väzby a zvyšuje stabilitu molekuly. Opakovaním tejto reakcie vznikajú polypeptidové reťazce, ktoré sa následne skladajú do priestorových štruktúr určujúcich biologickú funkciu proteínov. Vo vzniknutom peptide má prvá aminokyselina voľnú $–NH_2$ skupinu a posledná má voľnú –COOH skupinu. Schopnosť aminokyselín vytvárať peptidové väzby je preto základom existencie všetkých bielkovín a života na molekulovej úrovni.

2.1 Napíšte triviálne názvy aminokyselín z ktorých je zložený oligopeptid na obrázku:



2.2 V oligopeptidovom reťazci je ukryté meno významného biochemika, ktorému boli udelené dve Nobelove ceny za chémiu. Prepíšte uvedený oligopeptid jednopísmenovým symbolom aminokyselín a zistite meno významného biochemika.

2.3 Prepíšte uvedený oligopeptid trojpísmenovým symbolom aminokyselín a napíšte triviálny názov štvrtej aminokyseliny oligopeptidu.

Biologickú funkciu a vlastnosti peptidov a proteínov jednoznačne určuje primárna štruktúra, t.j. poradie aminokyselín v štruktúre. Pri určitej hodnote pH, ktoré označujeme ako izoelektrický bod pI, hodnoty kladného a záporného náboja v molekule AK sa vyrovnajú a molekula má výsledný náboj rovný nule. Ak má AK len dve disociovateľné skupiny, platí $pI = \frac{pK_1 + pK_2}{2}$. Pre každú aminokyselinu môžeme vypočítať hodnotu izoelektrického bodu pI a určiť počet elektricky nabitých skupín v závislosti od pH prostredia. Primárna štruktúra má teda vplyv aj na hodnotu izoelektrického bodu peptidov a na celkový elektrický náboj peptidu v závislosti od pH prostredia.

2.4 Reakciou fenylalanínu a treonínu môžu vzniknúť dva dipeptidy. Dipeptid X a dipeptid Y. Nakreslite ich štruktúrne vzorce.

2.5 Z reakčnej zmesi sme izolovali dipeptid X a zistili sme, že jeho izoelektrický bod je pI = 5,97. Napíšte jeho vzorec pomocou trojpísmenových symbolov aminokyselín.

2.6 Nakreslite štruktúrny vzorec dipeptidu Y v izoelektrickom bode.

2.7 Vypočítajte izoelektrický bod dipeptidu Y.

Úloha 3 (SENIOR, 7b)

Oddeľovanie peptidov podľa pH prostredia využíva skutočnosť, že peptidy majú amfotérny charakter a ich celkový elektrický náboj závisí od stupňa protonácie ionizovateľných funkčných skupín. Pri zmene pH sa mení náboj amino-, karboxylových a niektorých postranných skupín aminokyselín, čím sa menia fyzikálno-chemické vlastnosti peptidov, najmä ich rozpustnosť a mobilita.

V izoelektrickom bode (pI) je výsledný náboj peptidu nulový, preto má minimálnu pohyblivosť v elektrickom poli a často aj najnižšiu rozpustnosť. Separácia pod-

ľa pH prostredia patrí medzi najúčinnejšie metódy analýzy peptidov a proteínov, pretože umožňuje rozlíšiť aj molekuly s veľmi podobnou štruktúrou.

Z prírodného materiálu sme izolovali zmes dvoch peptidov:

Peptid X: Gly-Ile-Val-Lys

Peptid Y: Phe-Val-Asn-Gln

Peptidy chceme rozdeliť. pH zmesi sme preto upravili na pH = 5 a zmes sme naniesli na katexovú kolónu.

3.1 Zistite náboj peptidu X a peptidu Y pri pH = 5. Uveďte postup riešenia.

3.2 Ktorý peptid sa zachytí na kolóne? Podarí sa nám zmes peptidov pri pH = 5 rozdeliť?

Po čiastočnej hydrolýze proteínu sme získali tri peptidy:

Peptid A: Glu-Ala-Gly

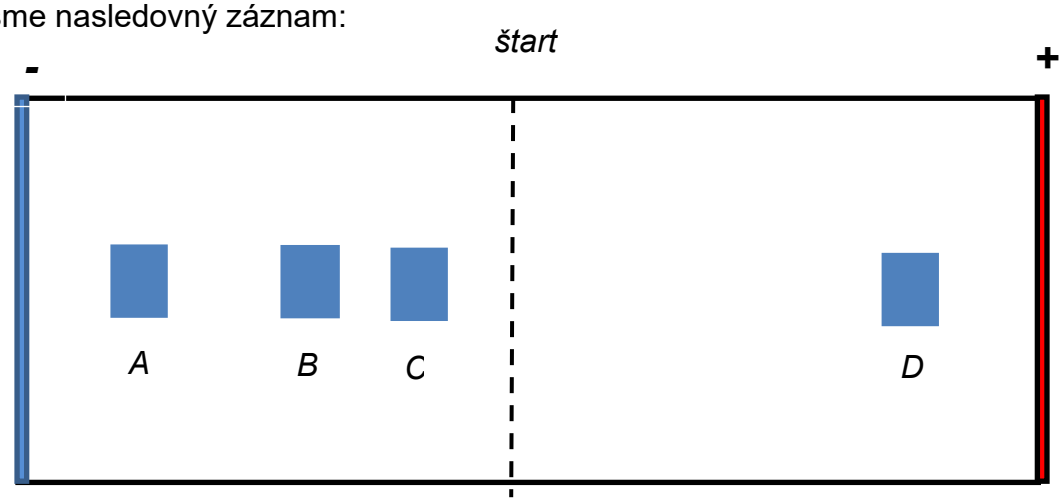
Peptid B: Tyr-Lys-Gly

Peptid C: Gly-Ala-Ser

3.3 Vyznačte náboje na aminokyselinách peptidov A, B, C pri pH = 7 a vypočítajte celkový náboj peptidov A, B, C pri uvedenom pH.

3.4 Nakreslite záznam, ktorý by sme získali elektroforézou zmesi peptidov A, B, C pri pH = 7 a peptidy sme zviditeľnili roztokom ninhydrínu.

Peptid Lys-Asp-Arg-Gly sme podrobili úplnej hydrolýze koncentrovanou kyselinou chlórovodíkovou a pH zmesi sme upravili na pH = 5. Zmes sme pri pH = 5 podrobili elektroforéze a aminokyseliny sme zviditeľnili roztokom ninhydrínu. Získali sme nasledovný záznam:



3.5 K písmenám A, B, C, D priraďte triviálne názvy kyselín.

Kolagén je najrozšírenejší fibrilárny proteín živočíchov a človeka, ktorý tvorí základ spojivových tkanív, ako sú šľachy, väzy, chrupavky, kosti a koža. Jeho primárna štruktúra je charakteristická opakujúcim sa motívom Gly–X–Y, kde X býva najčastejšie prolín a Y 4-hydroxyprolín, pričom glycín sa vyskytuje v každej tretej pozícii a umožňuje vznik stabilnej trojzávitnice. Hydroxylácia prolínu na 4-hydroxyprolín je katalyzovaná prolínhydroxylázou a vyžaduje prítomnosť vitamínu C ako kofaktora na udržanie Fe^{2+} v aktívnom centre enzýmu. 4-hydroxyprolín stabilizuje trojitú špirálu kolagénu prostredníctvom vodíkových väzieb a významne zvyšuje jej stabilitu. Nedostatok vitamínu C vedie k poruche hydroxylácie prolínu, tvorbe nestabilného kolagénu a vzniku skorbutu, ktorý sa prejavuje krvácaním ďasien, zlým hojením rán a zvýšenou lámavosťou ciev.

3.6 Napíšte reakčnú schému vzniku 4-hydroxyprolínu v organizme živočíchov a človeka.

Histamín je biogénny amín vznikajúci dekarboxyláciou aminokyseliny histidínu, ktorú katalyzuje enzým histidíndekarboxyláza za účasti koenzýmu pyridoxalfosfátu (vitamín B_6). V organizme človeka reguluje zápalové a alergické reakcie, sekréciu žalúdočnej kyseliny, neurotransmisiu aj funkcie imunitného systému. Je známy ako látka, ktorá je zodpovedná za alergické reakcie organizmu.

3.7 Napíšte reakčnú schému vzniku histamínu v organizme človeka.

Príloha

Tabuľka 1: Hodnoty pI a pK_A aminokyselín

Názov aminokyseliny	**pI**	**pK_{A1} (α-COOH)**	**pK_{A2} (α-$^+NH_3$)**	**pK_{A3} (R)**
Alanín	6,11	2,35	9,87	-
Cysteín	5,00	1,92	10,70	8,37
Kyselina asparágová	2,85	1,99	9,90	3,90
Kyselina glutámová	3,15	2,10	9,47	4,07
Fenylalanín	5,49	2,20	9,31	-
Glycín	5,97	2,34	9,60	-
Histidín	7,60	1,80	9,33	6,04
Izoleucín	6,05	2,32	9,76	-
Lyzín	9,60	2,16	9,06	10,54
Leucín	6,01	2,33	9,74	-
Metionín	5,74	2,13	9,28	-
Asparagín	5,41	2,14	8,72	-
Prolín	6,30	1,95	10,64	-
Glutamín	5,65	2,17	9,13	-
Arginín	10,76	1,82	8,99	12,48
Serín	5,68	2,19	9,21	-
Treonín	6,53	2,63	10,43	-
Valín	6,00	2,39	9,74	-
Tryptofán	5,89	2,46	9,41	-
Tyrozín	5,64	2,20	9,21	10,46

ÚLOHY Z TECHNOLÓGIE

Chemická olympiáda – kategória **EF** – 63. ročník – školský rok 2026/2027

Domáce kolo

Matúš Tomášik

Maximálne 15 bodov (b)

Úvod

Papier dnes považujeme za samozrejmú súčasť každodenného života. Od vzniku písma ľudia zapisovali informácie na rôzne dostupné materiály, napríklad palmové listy, kôru stromov, voskové a hlinené tabuľky, neskôr papyrus alebo pergamen. Vynález papiera je pripisovaný čínskemu úradníkovi Cchaj Lunovi, ktorý okolo roku 105 n. l. zdokonalil výrobu papiera z rastlinných vlákien.

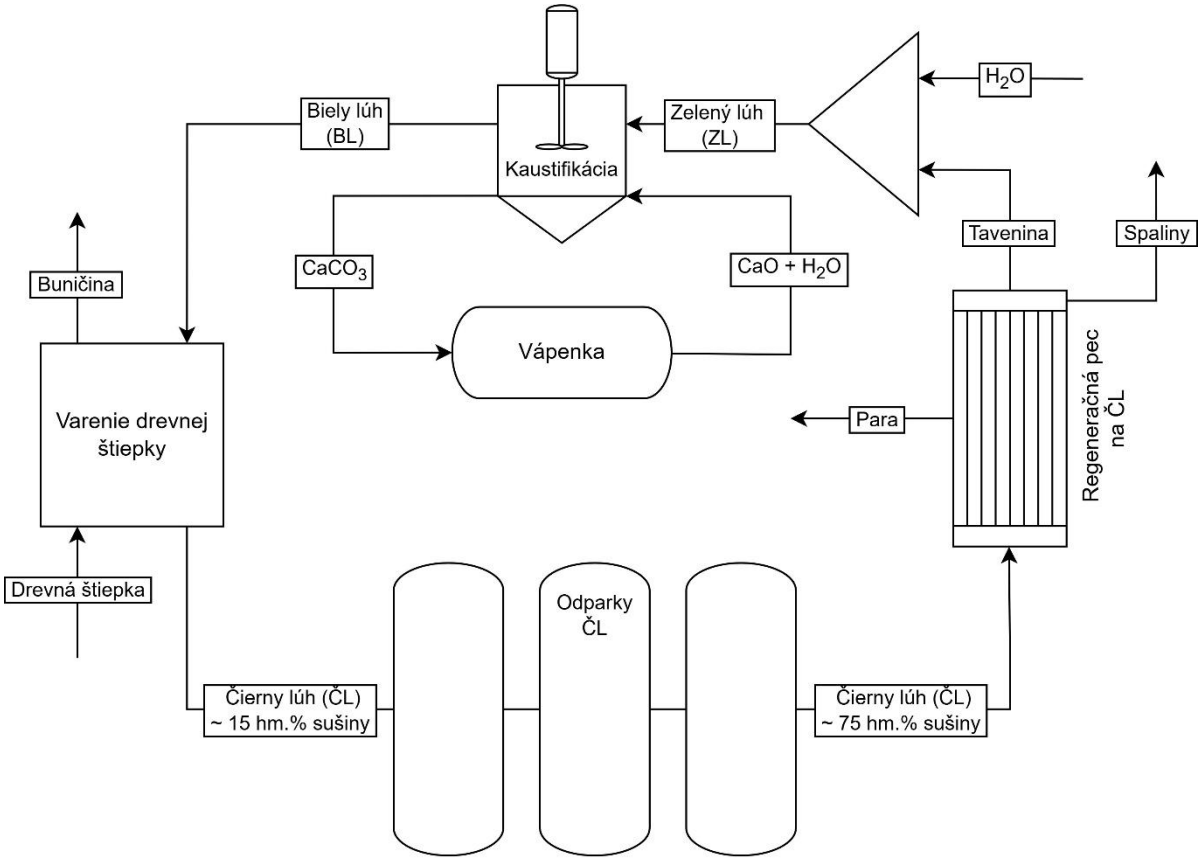
V súčasnosti sa papier vyrába predovšetkým z buničiny získanej z dreva ihličnatých a listnatých stromov. Buničina sa z dreva získava odstraňovaním lignínu (delignifikáciou). Najvýznamnejším chemickým spôsobom získavania buničiny je sulfátový (Kraftov) proces, pri ktorom sa drevná štiepka varí v roztoku hydroxidu sodného a sulfidu sodného, označovanom ako biely lúh. Po oddelení buničiny zostáva varný roztok obsahujúci rozpustené organické látky z dreva a anorganické soli, označovaný ako čierny lúh. Čierny lúh sa následne zahusťuje v odparke a privádza do regeneračnej pece, kde sa spália organické látky a vzniknutá tavenina anorganických solí sa rozpustí vo vode za vzniku tzv. zeleného lúhu. V následnom procese kaustifikácie sa uhličitan sodný obsiahnutý v zelenom lúhu reakciou s hydroxidom vápenatým prevedie na hydroxid sodný, čím sa získa biely lúh, ktorý sa opätovne použije pri varení štiepky. Vedľajším produktom pri kaustifikácii je uhličitan vápenatý, ktorý sa vo vápenke rozkladá na oxid vápenatý a oxid uhličitý. Pálené vápno sa následne rozpúšťa vo vode za vzniku vápenného mlieka, ktoré sa opätovne použije pri kaustifikácii. Schéma Kraftovho procesu je znázornená na Obr. 1.

Úlohy z technológie 63. ročníka chemickej olympiády kategórie EF budú zamerané na jednotlivé čiastkové procesy sulfátového spôsobu varenia drevnej štiepky:

1. Úlohy v kategórii JUNIOR budú zamerané na riešenie materiálových bilancií zariadení s chemickou reakciou. Pre úspešné absolvovanie všetkých súťaž-

ných kôl je dôležité osvojiť si pojmy, ako rozsah chemickej reakcie, stupeň premeny reaktanta (konverzia) a koeficient nadbytku reaktanta.

2. Úlohy pre kategóriu SENIOR sú založené na riešení materiálových a entalpických bilancií odparky na čierny lúh. Pre úspešné absolvovanie jednotlivých súťažných kôl je potrebné vedieť správne zvoliť bilančné hranice systému a zostaviť príslušné materiálové a entalpické bilancie, ako aj vypočítať entalpiu prúdu vzhľadom k zadanému referenčnému stavu.
3. Spoločná téma úloh pre kategóriu JUNIOR a SENIOR je zameraná na ekonomiku procesov pri výrobe papiera. Súťažiaci by mal rozumieť základným ekonomickým ukazovateľom, ako sú investičné a prevádzkové náklady, zisk, úspora nákladov a jednoduchá doba návratnosti investície.



Odporúčaná literatúra:

1. SIXTA, H., ed. *Handbook of Pulp. Volume 1*. Weinheim: Wiley-VCH, 2006. ISBN 978-3-527-30999-3. Dostupné online: https://www.lcrl.ppc.ubc.ca/files/2013/01/2006-Pulp-Handbook.pdf
2. STELTENPOHL, P., JANOŠOVSKÝ, J., MIHAĽ M. *Materiálové bilancie*, Bratislava: Spektrum, 2023. ISBN 978-80-227-5310-4.
3. GRACZOVÁ E., TIMÁR P. *Energetické bilancie*, Bratislava: Spektrum, 2021. ISBN 978-80-227-5082-0.
4. Daučík, K. a kol. *Chemické laboratórne tabuľky*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1984.

Úloha 1 JUNIOR (10b)

Čierny lúh sa po zahustení v odparke privádza do regeneračnej pece, kde dochádza k materiálovému a energetickému zhodnoteniu surovín. Po zahustení obsahuje čierny lúh 75 hm.% sušiny. Analýzou sa zistilo nasledovné elementárne zloženie sušiny čierneho lúhu: C – 35,8 % hm., H – 3,6 % hm., N – 0,1 % hm., O – 34,1 % hm., S – 4,6 % hm., Na – 19,6 % hm., K – 1,8 % hm., Cl – 0,5 % hm. Na spaľovanie sa používa vzduch s vlhkosťou 1,4 hm.%. Obsah kyslíka vo vzduchu je 23 hm.% a obsah dusíka je 75,6 hm.%. Predpokladajte úplnú konverziu všetkých reagujúcich zložiek. Predpokladajte, že spaliny budú obsahovať vodnú paru, oxid uhličitý, kyslík a dusík. V tavenine vychádzajúcej z pece odchádza 316,4 kg/h uhličitanu sodného, 89,5 kg/h sulfidu sodného, 8,4 kg/h síranu sodného, sulfid draselný a chlorid sodný.

Vypočítajte:

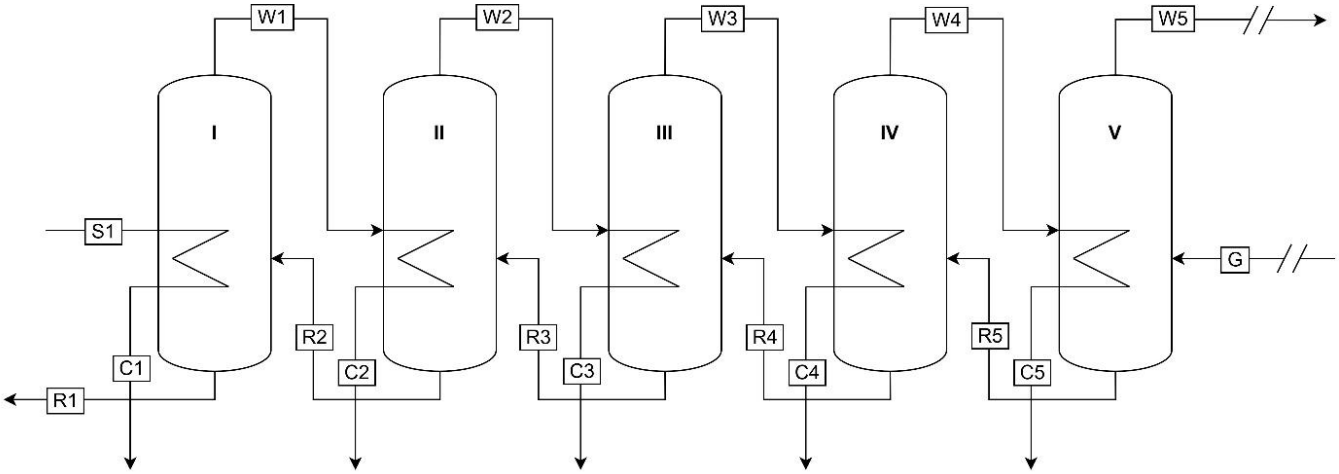
a) hmotnostný tok sulfidu draselného a chloridu sodného v tavenine,
b) celkový hmotnostný tok taveniny a jej zloženie v hm.%,
c) množstvo uhlíka viazaného v Na_2CO_3 a množstvo uhlíka, ktoré sa spáli,
d) objemový prietok spaľovacieho vzduchu za normálnych podmienok, ak sa kyslík privádza v 20 %-nom nadbytku oproti stechiometrickému množstvu (uvedomte si, že elementárny kyslík sa do systému privádza v čiernom lúhu
   a je obsiahnutý aj v zlúčeninách odchádzajúcich v tavenine),
e) objemový prietok spalín za normálnych podmienok (0 °C, 101 325 Pa), ak stredná mólová hmotnosť spalín je 27,4 kg/kmol.
f) emisie CO_2 v spalinách v t/deň.

Pozn.: Ako základ výpočtu zvoľte 1 t/h sušiny v privádzanom čiernom lúhu. Pri výpočtoch z chemickej reakcie zapíšte rovnice prebiehajúcich dejov.

Úloha 2 SENIOR (10 b)

Aby čierny lúh po varení drevnej štiepky mohol vstúpiť do regeneračnej pece, je potrebné ho zahustiť na približne 75 hm.% sušiny. Na zahusťovanie roztokov sa v praxi používajú odparky. Podľa počtu stupňov rozlišujeme odparky jednostupňové a viacstupňové. Viacstupňové odparky fungujú na princípe postupného zahusťovania, pričom na ohrev jednotlivých stupňov sa využíva kondenzačné teplo štiavnej pary vznikajúcej v predchádzajúcom stupni, čím sa výrazne znižuje spotreba čerstvej

ohrevnej pary. Podľa smeru prúdenia zahusťovaného roztoku vzhľadom na smer prúdenia ohrevnej pary rozlišujeme súprúdne a protiprúdne usporiadanie. Pri súprúdnom usporiadaní prúdi zahusťovaný roztok aj ohrevná para rovnakým smerom. Pri protiprúdnom usporiadaní je zahusťovaný roztok privádzaný do posledného člena odparky, zatiaľ čo čerstvá ohrevná para sa privádza do prvého člena. Tlak v odparke pri protiprúdnom usporiadaní postupne klesá od prvého k poslednému stupňu, čím sa znižuje aj teplota varu roztoku v danom stupni odparky.



Obr. 2 Schéma päťstupňovej protiprúdnej odparky na čierny lúh.

V päťstupňovej protiprúdnej odparke sa zahusťuje 100 t/h čierneho lúhu s obsahom 15 hm.% sušiny. Čierny lúh sa privádza do piateho stupňa odparky pri teplote 60 °C. Teplota varu roztoku pri tlaku 20 kPa je 63,1 °C. Zahustený čierny lúh následne vstupuje do štvrtého stupňa pracujúceho pri tlaku 60 kPa, kde sa obsah sušiny zvýši na 23 hm.%. Teplota varu roztoku pri tomto tlaku je 88,5 °C. Piaty stupeň je ohrievaný štiavnou parou zo štvrtého stupňa. Táto para v piatom stupni skondenzuje a odovzdá svoje kondenzačné teplo zahusťovanému roztoku. Štvrtý stupeň je ohrievaný štiavnou parou z tretieho stupňa, ktorá má teplotu 103,6 °C a tlak 100 kPa. Tepelné straty v piatom aj štvrtom stupni predstavujú 2 % z tepla dodaného štiavnou parou.

a) Zostavte celkovú materiálovú bilanciu bilancovaného systému a materiálovú bilanciu sušiny v systéme.

Vypočítajte:

b) hmotnostný tok čierneho lúhu opúšťajúceho štvrtý stupeň odparky (*vychádzajte z bilancie sušiny v systéme*),

c) hmotnostný tok štiavnej pary vznikajúcej vo štvrtom stupni odparky (*vychádzajte z materiálovej a entalpickej bilancie štvrtého a piateho stupňa*),

d) hmotnostný tok a obsah sušiny čierneho lúhu opúšťajúceho piaty stupeň odparky (*vychádzajte z materiálovej bilancie štvrtého stupňa*),

e) hmotnostný tok štiavnej pary vznikajúcej v piatom stupni (*vychádzajte z celkovej materiálovej bilancie piateho stupňa*),

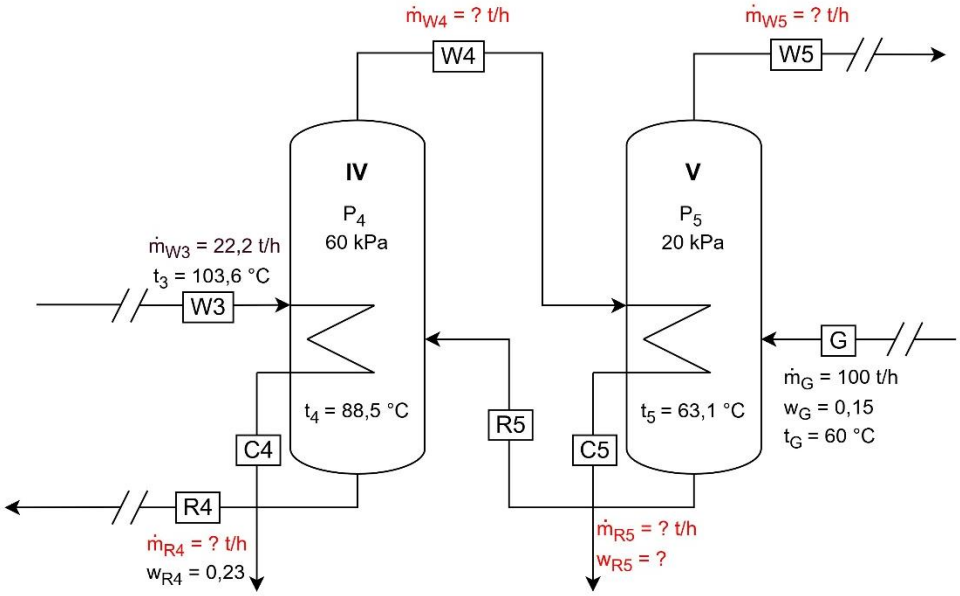
f) množstvo tepla, ktoré je schopné odovzdať štiavna para privádzaná na ohrev štvrtého stupňa, ak jej hmotnostný prietok je 22,2 t/h (uvedomte si, že hmotnostný prietok ohrevnej, resp. šitavnej pary sa rovná prietoku kondenzátu).

Výpočtová schéma je zobrazená na Obr. 3. Pri výpočtoch použite parametre prúdov uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tab. 1 Parametre materiálových prúdov.

Parameter	***Hodnota***
Stredná špecifická tepelná kapacita prúdu, $\bar{c}_p$ [kJ·kg^{-1}·K^{-1}]:	
Surovina, prúd G	*3,87*
Čierny lúh zo štvrtého stupňa, R4	*3,71*
Čierny lúh z piateho stupňa, R5	*3,81*
Špecifická entalpia prúdu, h [kJ·kg^{-1}]:	
Štiavna para z tretieho stupňa, W3	*2579,4*
Štiavna para zo štvrtého stupňa, W4	*2553,5*
Štiavna para z piateho stupňa, W5	*2510,9*
Kondenzát, C4	*313,0*
Kondenzát, C5	*255,4*

Pozn.: Entalpie jednotlivých prúdov sú počítane vzhľadom k referenčnému stavu: 25 °C a kvapalné skupenstvo.



Úloha 3 JUNIOR, SENIOR (5 b)

Papierenský závod prevádzkuje päťstupňovú odparku na zahusťovanie čierneho

Obr. 3 Výpočtová schéma k úlohe 2.

lúhu. Súčasná technológia spotrebuje 0,3 t čerstvej pary na 1 t spracovávaného čierneho lúhu. Závod uvažuje nad modernizáciou odparky s cieľom znížiť spotrebu ohrevnej pary na 0,22 t/t čierneho lúhu. Investícia do modernizácie predstavuje 8 000 000 €.

Vypočítajte:

a) ročnú spotrebu ohrevnej pary pred a po modernizácii odparky, ak závod spracováva 100 t/h čierneho lúhu a odparka pracuje 8 000 h/rok,
b) ročné náklady na výrobu ohrevnej pary pred a po modernizácii, ak cena ohrevnej pary je 35 €/t,
c) čistú ročnú finančnú úsporu po modernizácii, ak ročné náklady na údržbu nového zariadenia predstavujú 150 000 €/rok,
d) jednoduchú dobu návratnosti investície podľa vzťahu:

$$t_N = \frac{I}{\Delta C}$$

kde I sú investičné náklady a ΔC je čistá ročná úspora po modernizácii. Rozhodnite, či je modernizácia ekonomicky výhodná, ak vedenie papierne požaduje návratnosť investície do 5 rokov.

Autori: Ing. Jozef Urban, Ing. Eva Jazmína Tomečková, Mgr. Ladislav Blaško, Ing. Matúš Tomášik.

Recenzenti: Mgr. Patrik Hollý, Ing. Alena Vojtasová, Bc. Tomáš Iliaš, Ing. Ľudmila Glosová.

Redakčná úprava: Ing. Anna Ďuricová, PhD.(vedúca autorského kolektívu)

Slovenská komisia Chemickej olympiády

Vydal: NIVAM, Bratislava 2026