



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Inovace profesní přípravy budoucích učitelů chemie
CZ.1.07/2.2.00/15.0324

VYBRANÁ TÉMATA PRO VÝUKU CHEMIE

1. část

kolektiv autorů

Olomouc 2012

Obsah

Úvod	4
Esterifikace	5
<i>Švandová Veronika</i>	
Přírodní látky – vitaminy	15
<i>Štosová Taťána</i>	
Základní biochemické procesy	26
<i>Štosová Taťána</i>	
Návykové látky	35
<i>Kameníček Jiří</i>	
Výroba cukru	50
<i>Prášilová Jana, Kameníček Jiří</i>	
Makromolekulární látky	64
<i>Husárek Josef</i>	
Výbušniny	85
<i>Kameníček Jiří</i>	
Elektrolýza	96
<i>Šindelář Zdeněk</i>	

Úvod

Předkládaná publikace **Vybraná témata pro výuku chemie** vznikla v rámci projektu č. CZ 1.07/2.2.00/15.0324 „Inovace profesní přípravy budoucích učitelů chemie“ jako soubor tématických učebních textů z oboru chemie pro žáky středních škol, ke kterým jsou zpracovány PowerPointové prezentace pro učitele. Výukové materiály jsou koncipovány tak, aby byly použitelné přímo ve výuce chemie na středních školách. Vlastní učební text pro žáky doplňují petitem psané metodické poznámky pro učitele a rozšiřující učivo.

Zpracovaná témata:

Esterifikace, Přírodní látky, Základní biochemické procesy, Návykové látky, Výroba cukru, Makromolekulární látky a syntetické polymery, Výbušniny, Elektrolýza.

Jistá heterogenita zvolených témat z různých oblastí chemie je dána skutečností, že před jejich zpracováním byl proveden průzkum mezi učiteli chemie, jehož cílem bylo zjistit, které kapitoly či problematiku z oboru chemie by chtěli mít vyučující k dispozici v novém zpracování, ať už z důvodu jejich neuspokojivého či zastaralého stavu v dostupných učebnicích nebo dokonce pro jejich úplnou absenci, přičemž jde o velice závažná a v současnosti aktuální témata (např. návykové látky, biochemické procesy aj.). V učebním textu jsou zastoupena také přírodovědná integrovaná témata, v nichž je kladen důraz na mezipředmětové vztahy, která se však na školách mnohdy probírají izolovaně ve fyzice a v chemii, bez uvedení souvislostí (např. Elektrolýza).

Věříme, že publikace přispěje ke zkvalitnění a inovaci výuky řady kapitol chemie a doufáme, že se stane dobrým pomocníkem jak pro studenty – budoucí učitele chemie, tak i učitele ve školské praxi.

Olomouc, září 2012

Autoři

ESTERIFIKACE

Text zpracovala Mgr. Veronika Švandová

Osnova

- 1 Základní pojmy
 - 1.1 Estery karboxylových kyselin
 - 1.2 Esterifikace karboxylových kyselin
- 2 Příklady a chemický pokus
 - 2.1 Příklady na procvičení
 - 2.2 Chemický pokus – příprava ethylesteru kyseliny octové
- 3 Mechanismus esterifikace
- 4 Reakce esterů
- 5 Opakovací cvičení
- 6 Řešení úloh
 - 6.1 Řešení úlohy 2.1
 - 6.2 Řešení praktického úkolu z 2.2
 - 6.3 Řešení opakovacího cvičení
- 7 Doplnující informace pro učitele
 - 7.1 Estery anorganických kyselin
 - 7.2 Poznámky k chemickému pokusu
 - 7.3 Charakteristické vůně esterů
 - 7.4 Alkalická hydrolýza esteru (zmýdelnění)
- 8 Přehled použité literatury a internetových odkazů

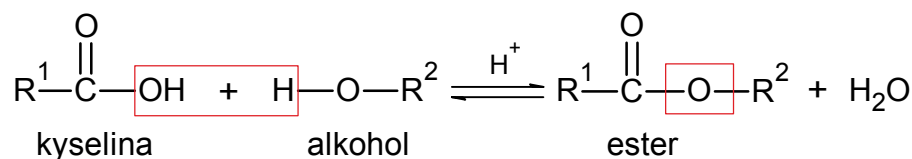
1 Základní pojmy

1.1 Estery karboxylových kyselin

Estery¹ karboxylových kyselin jsou významnou skupinou organických látek, patří mezi funkční deriváty karboxylových kyselin. Řada z nich jsou významné přírodní látky – tvoří například tuky, oleje a vosky. Některé estery mají praktický význam, používají se jako esence do potravin, na výrobu léčiv nebo rozpouštědel. Estery se nejčastěji připravují reakcí, kterou nazýváme **esterifikace**.

1.2 Esterifikace karboxylových kyselin

Esterifikace karboxylové kyseliny je reakce karboxylové kyseliny a alkoholu, kterou vzniká ester a voda. Reakce probíhá v kyselém prostředí – provádí se za přídavku silné anorganické kyseliny (má funkci katalyzátoru), nejčastěji kyseliny sírové. Jedná se o rovnovážnou reakci.



Ze zápisu reakce je zřejmé, že kyslíkový atom ve vzniklém esteru (ve schématu vyznačený rámečkem) pochází z molekuly alkoholu. Tento fakt byl prokázán experimentálně. Reakce byla uskutečněna s alkoholem obsahujícím radioaktivní izotop kyslíku a zjišťovalo se, který z produktů reakce bude radioaktivní. Ukázalo se, že radioaktivní látkou byl ester. Primární alkoholy tvoří estery snadněji než sekundární. Estery terciárních alkoholů se tímto způsobem nepřipravují.²

Esterifikace je rovnovážná (vratná) reakce. Pokud chceme zvýšit výtěžek reakce, musíme rovnováhu reakce porušovat odstraňováním vzniklého esteru nebo vody z reakční směsi. Rovnováhu je možné posunout ve prospěch esteru také tak,

¹ Mluvíme-li v tomto výukovém textu o „esterech“ či „esterifikaci“, máme na mysli estery karboxylových kyselin (není-li v textu řečeno jinak). Kromě těchto esterů existují také estery anorganických kyselin, které vznikají rovněž esterifikací - více viz Doplňující informace pro učitele kap. 7.

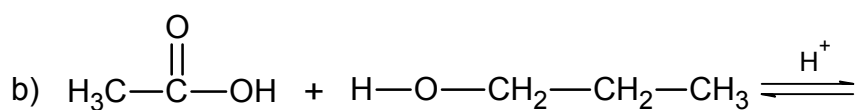
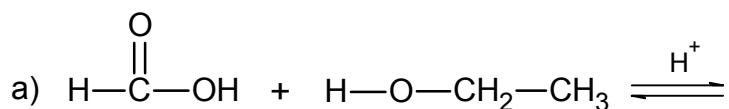
² Pro syntézu esterů terciárních alkoholů se místo karboxylové kyseliny používají acylchloridy (k reakční směsi se přidává pyridin). Vedlejším produktem reakce je chlorovodík.

že jednu z výchozích látek použijeme v nadbytku. Zpětnou reakcí k esterifikaci je tzv. **kyselá hydrolýza**.¹

2 Příklady a chemický pokus

2.1 Příklady na procvičení

Napiš produkty následujících reakcí a pojmenuj je:



2.2 Pokus – příprava ethylesteru kyseliny octové

Chemikálie: ethanol (F), kyselina octová (C), konc. kyselina sírová (C), uhličitan sodný (Xi)

Postup: Ve zkumavce smícháme 3 ml kyseliny octové a 3 ml ethanolu. Ke vzniklé směsi opatrně přidáme asi 0,5–1 ml koncentrované kyseliny sírové. Obsah zkumavky promícháme, vylejeme na hodinové sklíčko a nakonec přisypeme pevný uhličitan sodný.²

Praktický úkol:

- Zapiš rovnici reakce.
- Porovnej vůni kyseliny octové a vzniklého esteru.
- V literatuře vyhledej praktické využití vzniklého esteru.
- Proč myslíš, že přidáváme do reakční směsi uhličitan sodný?
- Vzniklý ester může být pro člověka smrtelnou látkou. Smrtelná dávka pro člověka je asi 0,5 g na každý kilogram tělesné hmotnosti. Jaké by bylo smrtelné množství (v gramech) esteru při tvé hmotnosti? Vypočítej i jeho objem. (hustota ethylesteru kyseliny octové je $\rho = 1,045 \text{ g/cm}^3$)

¹ Viz kapitola 4.

² Další možnosti provedení pokusu viz Doplňující informace pro učitele kap. 7.

- f) Na internetu vyhledej bezpečnostní list daného esteru. Jakými písmennými symboly označujeme jeho nebezpečné vlastnosti a jak tyto vlastnosti vyjádříme slovy?

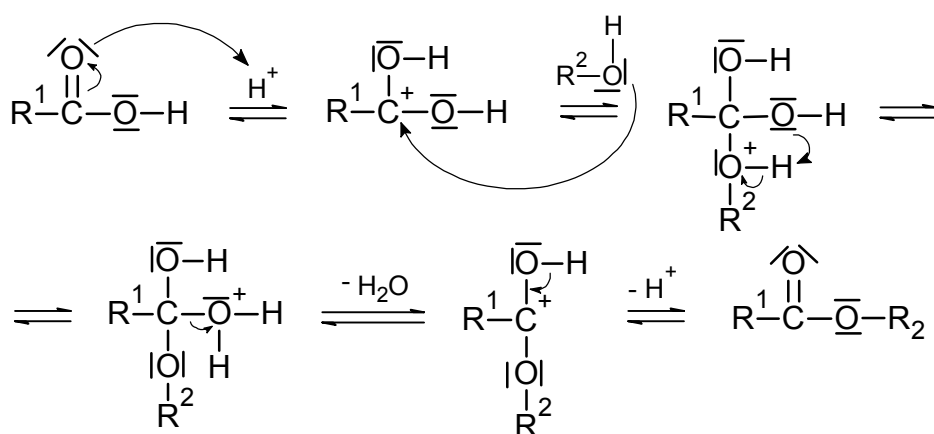
Poznámka: Řada dalších esterů jsou kapaliny příjemné vůně a používají se v potravinářství jako vonné a chuťové přísady. Například ethylester kyseliny mravenčí se používá jako rumová esence, jako ananasová esence (viz obr. 1) se používá ethylester kyseliny máselné.¹



Obr. 1 Ilustrační příklad

3 Mechanismus esterifikace

Mechanismus esterifikace je možné vyjádřit souborem rovnovážných reakcí:



Prvním krokem esterifikace je protonizace karboxylové skupiny kyseliny. Dochází tak ke zvýšení elektronového deficitu na karboxylovém uhlíku a tím k usnadnění nukleofilního útoku molekulou alkoholu.

V dalším, nejpomalejším kroku reakce, dochází ke vzniku vazby mezi atomem kyslíku alkoholu a atomem uhlíku karboxylové skupiny. Nakonec dochází k odštěpení protonu a molekuly vody za vzniku esteru.

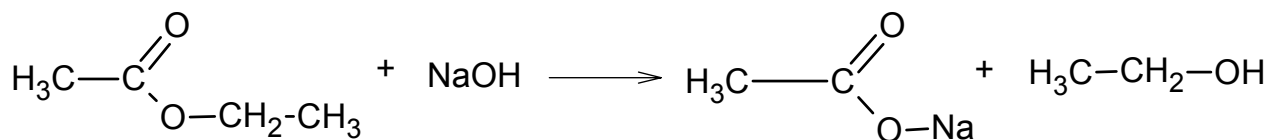
Z hlediska typu reakce je esterifikace **substitucí nukleofilní (S_N)**, která probíhá **adičně-eliminačním mechanismem**.

¹ Přehled charakteristických vůní dalších esterů uveden v kap. 7.

4 Reakce esterů

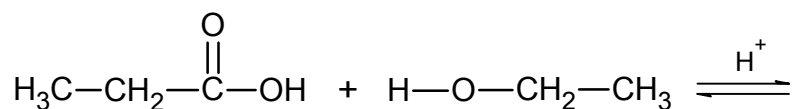
Jak již bylo uvedeno, esterifikace je rovnovážná reakce, reakce zpětná se nazývá **kyselá hydrolyza esteru**. Při této reakci vzniká opět karboxylová kyselina a alkohol.

Estery lze hydrolyzovat i v přítomnosti silných zásad (tzv. **alkalická hydrolyza**), vzniká však alkohol a sůl karboxylové kyseliny.



5 Opakovací cvičení

- 1) Co je to esterifikace? Jaké jsou výchozí látky a produkty této reakce? Za jakých podmínek může reakce probíhat?
- 2) Který z následujících alkoholů bude podléhat esterifikaci nejnadhěji?
 - a) $\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{OH}$
 - b) $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$
 - c) $\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{OH}$
- 3) Jak se nazývá zpětná reakce esterifikace?
- 4) Estery mají široké uplatnění v potravinářství. Jaké?
- 5) Produktem následující esterifikace bude:



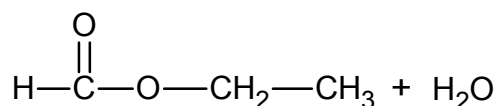
- a) propylester kyseliny octové
 - b) ethylester kyseliny octové
 - c) ethylester kyseliny propionové
- 6) Zapiš rovnici esterifikace, jejímž produktem je ethylester kyseliny benzoové.
 - 7) Co je produktem alkalické hydrolyzy esteru?
 - 8) V jedné zkumavce smícháme stejný objem ethanolu a kyseliny octové, ve druhé zkumavce smísíme stejný objem octanu ethylnatého a destilované vody. Do každé zkumavky přidáme několik kapek koncentrované kyseliny sírové a obsah zkumavek protřepeme. Jaké změny nastanou v jednotlivých zkumavkách?

- a) Obsah obou zkumavek se nezmění, nedojde k žádné reakci.
- b) V obou zkumavkách vznikne směs ethanolu, kyseliny octové, ethyl-acetátu a vody.
- c) V první zkumavce bude směs ethyl-acetátu a vody, ve druhé směs ethanolu a kyseliny octové.
- d) Obsah druhé zkumavky se nezmění, v první zkumavce dojde k esterifikaci a vznikne tam směs octanu ethylnatého a vody.

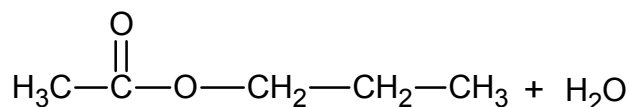
6 Řešení úloh

6.1 Řešení úlohy 2.1

- a) ethylester kyseliny mravenčí (mravenčan ethylnatý, ethyl-methanoát, ethyl-formiát) a voda



- b) propylester kyseliny octové (octan propylnatý, propyl-ethanoát, propyl-acetát) a voda



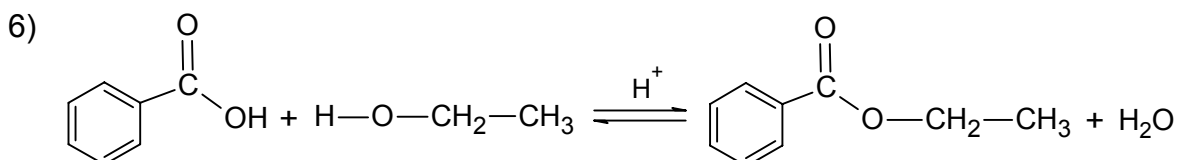
6.2 Řešení praktického úkolu z 2.2

- a)
$$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \text{H}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \xrightleftharpoons{\text{H}^+} \text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
- b) Vůně vzniklého esteru připomíná odlakovač na nehty, lak na nehty či modelářské lepidlo.
- c) Ethylester kyseliny octové se používá v laboratořích jako rozpouštědlo.
- d) Uhličitan sodný se přidává do reakce proto, aby zreagoval zbytek kyseliny octové (a sírové), který by negativně ovlivňoval vůni vzniklého produktu.
- e) Např. při hmotnosti člověka $m = 60 \text{ kg}$ je smrtelná dávka – lethal dose $\Rightarrow m_{\text{LD}} = 30 \text{ g}$, o objemu $V = m / \rho = 30 / 1,045 = 28,71 \text{ cm}^3$
Smrtelná dávka pro šedesátikilového člověka by byla $28,7 \text{ cm}^3$.

- f) Bezpečnostní list ethylesteru kyseliny octové je například na internetovém odkazu <http://www.mach-chemikalie.cz/download.php?id=96>. Ethylester kyseliny octové patří mezi látky vysoce hořlavé (F) a dráždivé (Xi).

6.3 Řešení opakovacího cvičení (kap. 5)

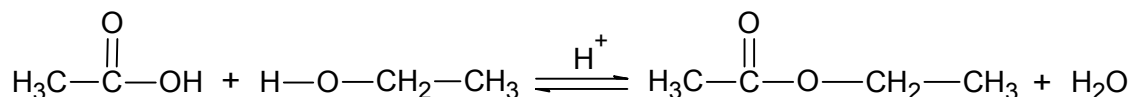
- 1) Esterifikace je reakce, kterou se připravují estery, vedlejším produktem je voda. Výchozími látkami pro tuto reakci jsou alkohol a karboxylová kyselina, reakce musí probíhat v prostředí silné kyseliny.
- 2) b)
- 3) kyselá hydrolýza
- 4) Řada esterů se používá v potravinářství jako vonné a příchutěvé přísady.
- 5) c)



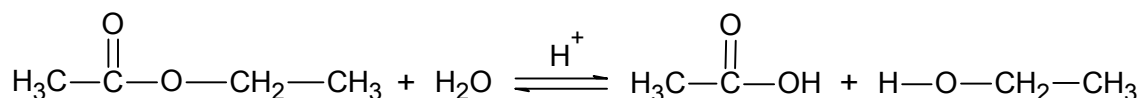
- 7) alkohol a sůl karboxylové kyseliny

- 8) c)

reakce probíhající v první zkumavce:



reakce probíhající ve druhé zkumavce:



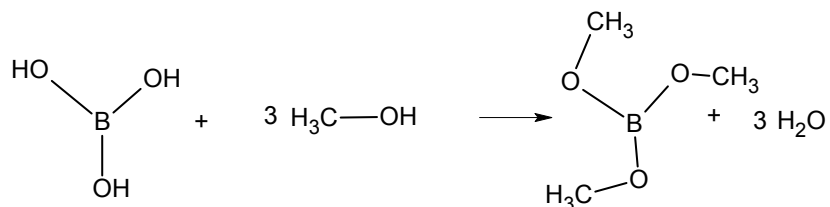
7 Doplnující informace pro učitele

7.1 Estery anorganických kyselin

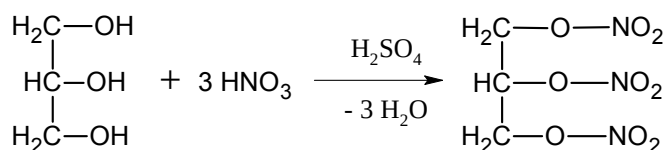
Kromě esterů karboxylových kyselin, tj. organických, existují také estery anorganických kyselin. Esterifikaci anorganických kyselin můžeme žákům zmínit, aby si uvědomili, že probíhá nejen u organických kyselin.

Reakcí kyseliny borité s methanolem, nebo ethanolem v kyselém prostředí vznikají **estery kyseliny borité**. Uvedenou reakci, jejíž provedení je velmi jednoduché, lze použít i pro odlišení

methanolu od ethanolu. Ve směsi metanol - kyselina boritá se tvoří ester i bez přidavku kyseliny sírové a ester hoří zeleně. Ve směsi ethanol - kyselina boritá bez přidavku H_2SO_4 se ester netvoří tak rychle, po zapálení reakční směsi je plamen oranžový. Po okyselení této reakční směsi konc. H_2SO_4 vzniká triethylester kyseliny borité, který hoří také zeleným plamenem.



Estery kyseliny dusičné se používají jako výbušniny. **Nitroglycerin**, ester kyseliny dusičné a glycerolu, je nejdůležitější součástí dynamitu. Používá se také v lékařství jako prostředek pro zklidnění srdečních arytmí a snižování krevního tlaku.

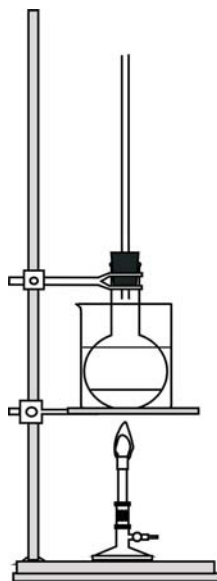


Ester kyseliny dusičné a celulosy – nitrocelulosa, je známá výbušnina.

7.2 Poznámky k chemickému pokusu (viz 2.2)

Pokud by vůně vzniklého esteru nebyla výrazná, lze zkumavku s reakční směsí, ještě před jejím vylitím na hodinové sklíčko, zahřívát (je nutné dbát na bezpečnost žáků – především brát v úvahu možné vystříknutí směsi a dodržovat tedy bezpečný odstup od žáků, použít ochranný štít).

Pro přípravu většího množství esteru je vhodné použít zpětný chladič. Do baňky s 6 ml kyseliny octové přidáme 5 ml ethanolu. Na obličej si nasadíme ochranný štít. Opatrně, za chlazení proudem vody, přilijeme 6-7 ml konc. kyseliny sírové. Baňku uzavřeme zátkou s jednoduchým zpětným chladičem (min. 60 cm dlouhá skleněná trubička) (viz obr.2) a opatrně zahříváme 7 – 10 min na vodní lázni.



Obr. 2 Esterifikace za použití jednoduchého zpětného chladiče

7.3 Charakteristické vůně esterů

7.4 Alkalická hydrolýza esteru (zmýdelnění)

$$\begin{array}{c}
 \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\text{OC}-\text{R} \\
 | \\
 \text{HC}-\text{O}-\text{OC}-\text{R} \\
 | \\
 \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\text{OC}-\text{R}
 \end{array} + 3 \text{NaOH} \longrightarrow \begin{array}{c}
 \text{H}_2\text{C}-\text{OH} \\
 | \\
 \text{HC}-\text{OH} \\
 | \\
 \text{H}_2\text{C}-\text{OH}
 \end{array} + 3 \text{R}-\text{CO}-\text{ONa}$$

tuk glycerol sodné mýdlo

1. Mareček A., Honza J.: Chemie pro čtyřletá gymnázia: 3. díl. Nakladatelství Olomouc, Olomouc 2000.
2. Škoda J., Doulík P.: Chemie 8 - učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia. Fraus, Plzeň 2006.

3. Kováč J. a kol.: Organická chémia 1. Alfa, Bratislava 1992.
4. Klouda P., Janeczková A.: Organická chemie: studijní text pro SPŠCH. Nakladatelství Pavel Klouda, Ostrava 2001.
5. Hrnčiar P.: Organická chémia. Slovenské pedagogické nakladateľstvo, Bratislava 1990.
6. Čtrnáctová H. a kol.: Chemie: sbírka úloh pro společnou část maturitní zkoušky. Tauris, Praha 2001.
7. Bárta, M.: Jak (ne)vyhodit školu do povětří: Horáková chemická kuchařka pro malé i velké experimentátory: chemické pokusy pro žáky 8. a 9. tříd, studenty středních škol a jejich nadšené učitele. Didaktis, Brno 2004.
8. Klečková, M., Šindelář Z.: Školní pokusy z anorganické a organické chemie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc 2007.
9. Čtrnáctová, H. a kol.: Chemické pokusy pro školu a zájmovou činnost. Prospektrum, Praha 2000.

Internetové odkazy:

10. Rum tuzemák [online 2011-09-15]. Dostupné z [www](http://www.la-vin.cz/rum-tuzemak-05l-375:p:20782) <<http://www.la-vin.cz/rum-tuzemak-05l-375:p:20782>>
11. Ananas, plod ananasovníku chocholatého [online 2011-09-15]. Dostupné z [www](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Pineapple_and_cross_section.jpg) <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Pineapple_and_cross_section.jpg>
12. Nitroglycerin [online 2012-04-11]. Dostupné z [www](http://cs.wikipedia.org/wiki/Nitroglycerin) <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Nitroglycerin>>

PŘÍRODNÍ LÁTKY – VITAMINY

Text zpracovala Mgr. Taťána Štosová, Ph.D

Osnova

- 1 Úvod do problematiky přírodních látek
- 2 Vitaminy
Přehled vybraných vitaminů
 - 2.1 Vitamin A – retinol
 - 2.2 Vitamin B₁ – thiamin
 - 2.3 Vitamin B₂ – riboflavin
 - 2.4 Vitamin B₆ - pyridinové deriváty
 - 2.5 Vitamin B₁₂ – kobalamin
 - 2.6 Vitamin C – kyselina L- askorbová
 - 2.7 Vitamin D – kalciferoly
 - 2.8 Vitamin E – tokoferoly
- 3 Závěr
- 4 Přehled použité literatury a internetových odkazů

1 Přírodní látky

Za přírodní látky se považují organické sloučeniny, které jsou produkty chemických reakcí probíhajících v buňkách. Některé z přírodních látek jsou jednoduché organické sloučeniny, jiné naopak velmi složité makromolekulární látky.

Přírodní látky se zpravidla dělí do skupin podle svého chemického složení a struktury nebo podle funkcí, které plní v živém organismu. Rozlišujeme tedy tzv. **energetické živiny** (lipidy, sacharidy, proteiny), **biokatalyzátory** (vitaminy, enzymy, hormony), dále **nukleové kyseliny a alkaloidy**.

2 Vitaminy

Vitaminy jsou organické sloučeniny, které již v malých koncentracích ovlivňují průběh některých chemických dějů v živém organismu. Význam vitaminů spočívá v tom, že tvoří nezbytnou součást enzymů. Z chemického hlediska patří vitaminy k různým druhům sloučenin, proto je není možné dělit podle struktury. Z tohoto důvodu se dělí nejčastěji podle rozpustnosti, a to na vitaminy rozpustné ve vodě (hydrofilní) a vitaminy rozpustné v tucích (lipofilní). Toto rozdělení navíc koresponduje s charakteristickými vlastnostmi jednotlivých vitaminů. Například hydrofilní vitaminy nedokáže organismus skladovat, proto se při nadbytečném příjmu vylučují močí. Lipofilní vitaminy jsou v organismu skladovatelné. Jejich nadbytečný příjem může vést k hypervitaminózám, které mohou vyvolat vážné poruchy (zejména u vitaminů A a D).

Před objasněním struktury vitaminů, bylo zavedeno jejich označování **písmeny abecedy**. Vitaminy se stejnými nebo podobnými fyziologickými účinky byly odlišovány **číselnými indexy**. Později byly používány **triviální názvy**. Dnes se většinou upřednostňují názvy odvozené od chemického složení jednotlivých vitaminů. Označování písmeny stále přežívá zejména v lékařské praxi a potravinářství.

Vitaminy rozpustné ve vodě

Do této skupiny řadíme především skupinu vitaminů **B** (B_1 – thiamin, B_2 – riboflavin, B_5 – kyselina pantotenová, B_6 – pyridoxin, atd.), vitamin **C** (kyselina L-askorbová) a vitamin **H** (biotin).



Obr. 1. Ilustrační obrázek vitaminů rozpustných ve vodě.

Vitaminy rozpustné v tucích

Do této skupiny řadíme vitamin **A** (retinol), vitamin **D** (skupina látek označovaných jako kalciferoly), vitamin **E** (skupina látek označovaná jako tokoferoly) a vitamin **K** (existuje opět v různých formách jako fylochinon K_1 , farnochinon K_2 atd.)



Obr. 2. Ilustrační obrázek vitaminů rozpustných v tucích.

Vitaminy si živočišný organismus většinou až na výjimky nedovede sám vytvořit. Z tohoto důvodu jsou lidé i ostatní živočichové odkázáni na jejich příjem v potravě. Přítomnost a vhodná koncentrace vitaminů v těle jsou nezbytné především pro správný růst a vývoj jedince. Nepřítomnost některého vitaminu v těle se projevuje vážnými fyziologickými poruchami a onemocněními, které se obecně označují jako **avitaminosa**. Typická avitaminosa se vyskytuje v našich podmínkách poměrně

vzácně. Častější jsou onemocnění z nedostatečného množství vitamínu tzv. **hypovitaminosa**, která má mírnější průběh než avitaminosa. Naopak nadbytečné množství některého vitamínu v těle může způsobit **hypervitaminosu**.

Přehled vybraných vitaminů

V této kapitole jsou podrobněji popsány nejvýznamnější vitaminy.

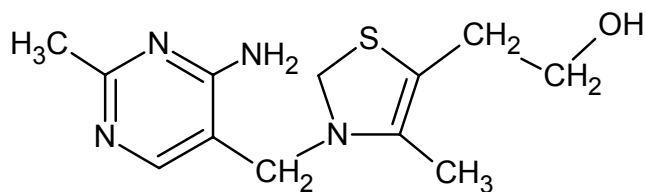
2.1 Vitamin A – retinol, z chemického hlediska se jedná o skupinu podobných látek patřící mezi tetraterpeny. Vitamin A stimuluje růst živočišných buněk, správný vývoj kosterních tkání a normální reprodukci. Je velice důležitý při zrakovém vjemu. Denní dávka pro člověka je 1 mg.

Dobrym zdrojem je zelenina a ovoce (mrkev, špenát, petržel, rajčata), rybí tuk, máslo, žloutek, játra. Avitaminosa se projevuje šeroslepostí, zastavením růstu a degenerací reprodukčních orgánů. Dlouhotrvající nedostatek vyvolává vypadávání vlasů, krvácení z nosu, bolesti kloubů. Zásoba vitamínu A je jedním z faktorů přirozené ochrany organismu před zhoubným bujením.

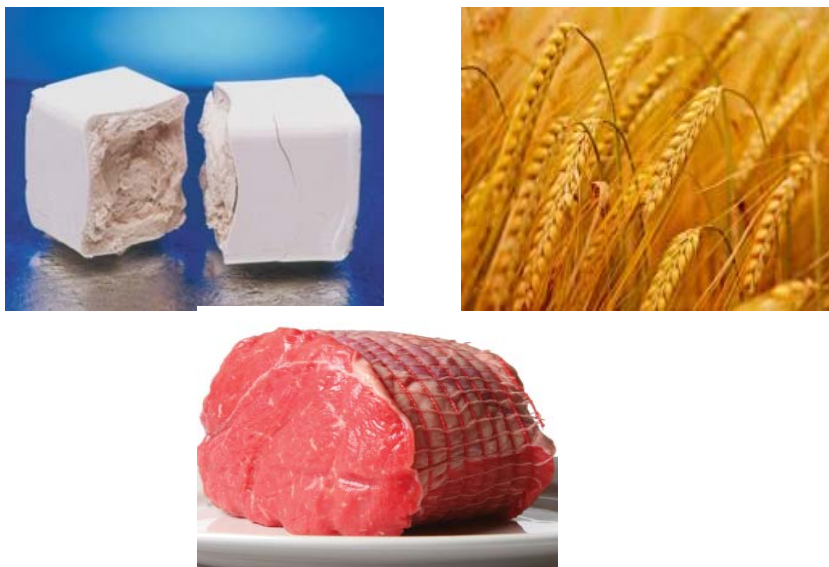


Obr. 3. Ilustrační obrázky možných zdrojů vitamínu A
zleva: komerční toboleky obsahující rybí tuk, špenát, máslo.

2.2 Vitamin B₁ – thiamin tvoří kofaktor řady enzymů. Je syntetizován střevními bakteriemi. Rozkládá se v alkalickém prostředí. Průměrná denní spotřeba pro člověka je asi 1,4 mg. Nejdůležitějšími zdroji je celozrnná mouka, luštěniny, droždí, žloutek, vnitřnosti a hovězí maso. Avitaminosa je známa jako nemoc beri-beri (osoby živené převážně loupanou rýží). Příznaky nemoci jsou rozmanité, od ztráty hmotnosti, přes poruchy nervového systému až po svalovou slabost.

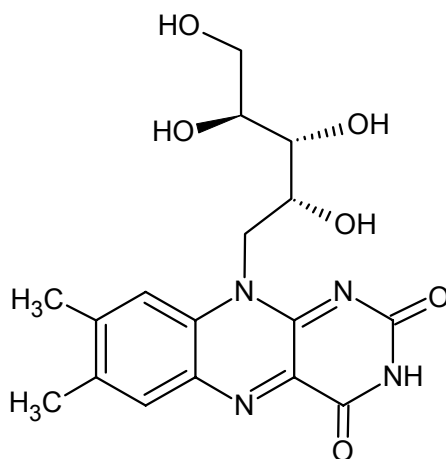


Obr. 4. Chemický vzorec vitaminu B₁



Obr. 5. Ilustrační obrázky vybraných zdrojů vitaminu B₁
zleva: droždí, obilné klasy, hovězí maso

2.3 Vitamin B₂ – riboflavin je opět součástí kofaktorů řady enzymů. Velmi citlivý na světlo. Jeho denní potřeba pro člověka činí 2 mg. Zdrojem je listová zelenina, rajčata, obilní slupky, mléko, žloutek, vnitřnosti. Avitaminosa se projevuje zánětlivými změnami sliznic a kůže, změnami oční rohovky, poruchami růstu a nervovými poruchami.



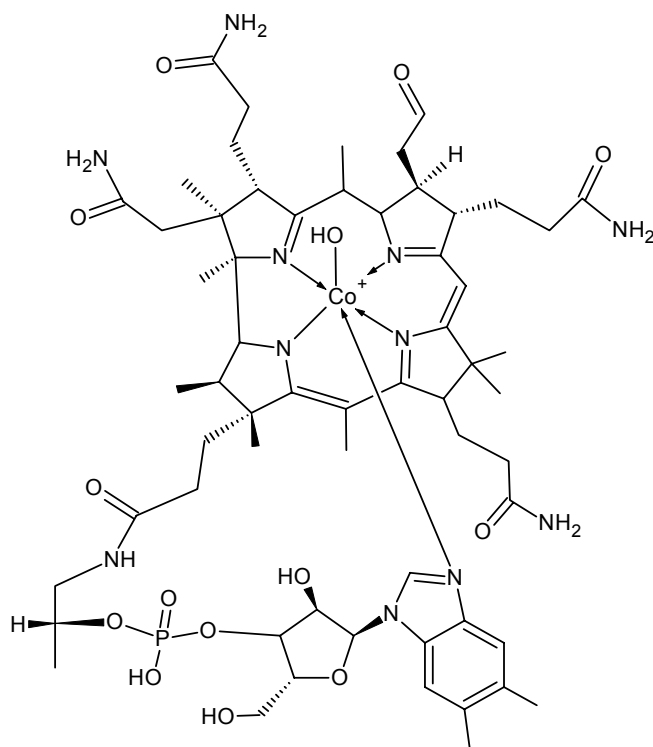
Obr. 6. Chemický vzorec vitaminu B₂



Obr. 7. Ilustrační obrázky vybraných zdrojů vitamínu B
zleva: obilniny, mléko a čerstvý sýr, droždí.

2.4 Vitamin B₆ - pyridinové deriváty, pyridoxol (pyridoxin), pyridoxal a pyridoxamin jsou to kofaktory enzymů uplatňujících se při metabolismu aminokyselin. Denní dávka pro člověka je asi 2 mg. Jsou hojně zastoupené zejména v mase, játrech, droždí, listové zelenině, celozrnné mouce. Pyridoxol je v rostlinách, ostatní v živočišných tkáních. Snadno se rozkládají světlem a teplem. Nedostatek je vzácný a způsobuje především nervové poruchy.

2.5 Vitamin B₁₂ – kobalamin, jedná se o kofaktory enzymů podílejících se na biosyntéze nukleových kyselin a metabolismu aminokyselin a bílkovin. Jsou nezbytné pro tvorbu krve a to zejména pro tvorbu červených krvinek. Denní potřeba u člověka se pohybuje kolem 3 mg. Významným zdrojem jsou vnitřnosti, především játra. Nedostatek B₁₂ je příčinou vážné až smrtelné nemoci – perniciosní anémie (nedostatek červených krvinek spojené s neurologickými komplikacemi).



Obr. 8. Chemický vzorec vitamínu B₁₂.

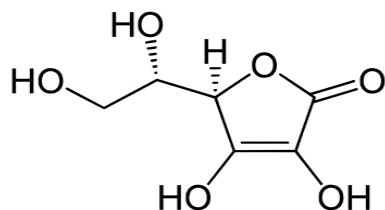


Obr. 9. Ilustrační obrázky vybraných zdrojů vitamínu B₁₂
zleva: tepelně upravená játra, mléko.

2.6 Vitamin C – kyselina L- askorbová tvoří důležitý redoxní systém, který při biochemických reakcích vystupuje jako neenzymový přenašeč vodíku. Rozkládá se vzdušným kyslíkem. Dále je kofaktorem některých enzymů, účastní se obranných mechanismů vůči chorobám a jiným poškozením. Patří mezi zachytávače volných radikálů, ale naopak v přítomnosti Fe^{3+} zvyšuje jejich tvorbu. Proto je třeba jeho přívod do těla regulovat. Doporučená denní dávka pro člověka je 50-60 mg.

Vitamin C je rozšířen v rostlinách, nejvíce v šípčích, černém rybízu, zelené paprice, citronech a pomerančích. Při nedostatku nejprve vysychá kůže, člověk

hubne, má pocit únavy a později se projevují příznaky kurdějí - podkožní krvácení, krvácení dásní, vypadávání zubů, náchylnost k infekcím.

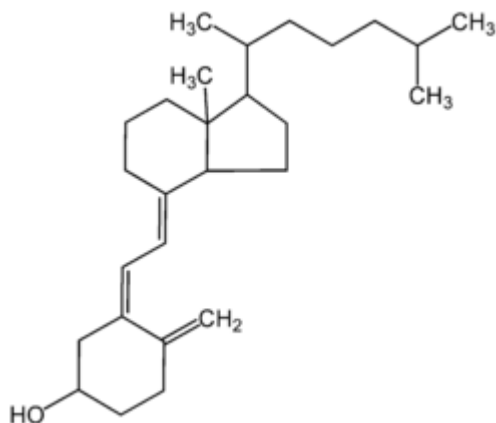


Obr. 10. Chemický vzorec vitaminu C.



Obr. 11. Ilustrační obrázky vybraných zdrojů vitaminu C
zleva: paprika, citrusové plody, šípky.

2.7 Vitamin D – steroidní hormonální prekurzory – kalciferoly: vznikají ozářením nenasycených sterolů UV zářením. U lidí se tvoří zejména v kůži. Regulují metabolismus vápníku. Svými účinky připomínají hormony. Netvoří kofaktory. Velikost denní dávky závisí na věku a intenzitě ozařování pokožky. Zdrojem provitaminů D jsou kvasnice, některé oleje a žloutek. Vitaminy D jsou ve větší míře obsaženy v jaterních tucích, másle a mléku. Nedostatek vitaminu D vyvolává poruchy metabolismu vápníku a fosforu, které vede k onemocnění zvanému rachitis (křivice).

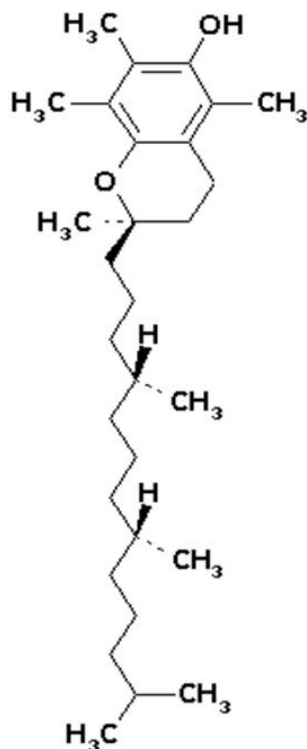


Obr. 12. Chemický vzorec vitaminu D.



Obr. 13. Ilustrační obrázky vybraných zdrojů vitamínu D
zleva: vařená vejce, plátek lososa.

2.8 Vitamin E - tokoferoly - význam není zatím přesně znám. Všeobecně se míní, že chrání lipidy před oxidací zejména pak lipidy buněčných membrán. Poškození lipidů vyvolávají hlavně volné radikály a tokoferoly tyto volné radikály zachycují. Těto vlastnosti se využívá i při stabilizaci tuků a olejů v průmyslu. Denní dávka pro člověka se pohybuje v rozmezí 15-20 mg. Hlavní zdroje jsou rostlinné oleje, olej z obilných klíčků, zelenina, luštěniny, máslo a vejce. Nejsou v rybím tuku.



Obr 14. Chemický vzorec vitamínu E



Obr. 15. Ilustrační obrázky vybraných zdrojů vitamínu E
zleva: obilné klíčky, klasy kukuřice.

3 Závěr

Vitaminy jsou nezbytnou součástí lidského těla a jsou nesmírně důležité, aby organismus mohl správně fungovat a byl chráněn vůči různým onemocněním. Vyšší potřeba vitaminů se projevuje například po nemoci, při větší psychické nebo fyzické zátěži, při oslabeném imunitním systému, těhotenství nebo u dětí a starších lidí.

Jedním z alternativních zdrojů vitaminů jsou různé potravinové doplňky. V žádném případě by však neměly být náhražkou klasické stravy, protože v potravinách jsou kromě vitaminů také pro tělo důležité živiny. Konzumovat by se měly všechny druhy potravin s obsahem jak vitaminů a minerálních látek, tak bílkovin, sacharidů a tuků.

4 Přehled použité literatury a internetových odkazů

1. Řezáčová, M. et al. *Základy biochemie lidského organismu*; Nakladatelství Karolinum: Praha, 2008.
2. Peč, P. et al. *Přehled biochemie pro studenty SŠ*, 1st ed.; Nakladatelství Olomouc s.r.o: Olomouc, 2009.
3. Berg, J. M. et al. *Biochemistry*; Company: New York, 2002

Internetové odkazy:

4. www.wikiskripta.eu/index.php/Enzymy_-_Cvičenie
5. orion.chemi.muni.cz/.../14-Kinetika-1.htm

6. www.wikiskripta.eu/.../500px-Schema-koenzym.jpg
7. http://filebox.vt.edu/users/chagedor/biol_4684/
8. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:VitaminEstructure.png>
9. <http://home.caregroup.org/clinical/altmed/interactions/Images/>
10. http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Strukt_vzorec_riboflavin.PNG
11. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Hydroxocobalamin.svg>
12. http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:L-Ascorbic_acid.svg
13. <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:VitaminEstructure.png>
14. <http://lavageanloca.blogspot.com/2008/06/corn-sprouts.html>
15. <http://www.ordinace.cz/clanek/proc-ne-pit-mleko/>
16. <http://www.drozdi.cz/clanky/bezlepkova-dieta/>
17. <http://www.mojevitaminy.cz/>
18. <http://www.digitalphoto.pl/en/photos-images/1633/>
19. <http://najmama.aktuality.sk/clanok/224729/kukurica-zdravie-farby-zlata/>
20. <http://prozeny.blesk.cz/clanek/pro-zeny-zdravi-a-hubnuti-fitness/156603/zatocte-s-celulitidou-5-5-tipu-proti-pomerancove-kuzi.html>
21. <http://lmaty.blog.cz/en/1103/vejce-a-kraslice>
22. <http://doma.nova.cz/clanek/stihlaafit/citrusy-maji-pri-hubnuti-blahodarny-ucinek.html>
23. <http://www.wellnesswa.com.au/2011/02/rosehip-tea-rosehip-mask-rosehip-oil-and-rosehip-lip-balm-a-four-way-rosehip-ritual/>
24. <http://www.bordeaux.com/us/blog/tag/spinach/>
25. <http://www.educaterer.co.uk/pedigree-beef-33-c.asp>

ZÁKLADNÍ BIOCHEMICKÉ PROCESY

Text zpracovala Mgr. Taťána Štosová, Ph.D.

Osnova

1. Základní biochemické procesy
 1. 1 Obecná charakteristika základních biochemických procesů
 1. 2 Kategorie metabolismu
2. Katabolické procesy
 2. 1 Průběh metabolismu v buňce
 2. 2 Metabolismus sacharidů
 2. 3 Metabolismus mastných kyselin
 2. 4 Metabolismus aminokyselin
3. Anabolické procesy
4. Charakteristika metabolických drah
5. Racionální výživa
6. Přehled použité literatury a internetových odkazů

1 Základní biochemické procesy

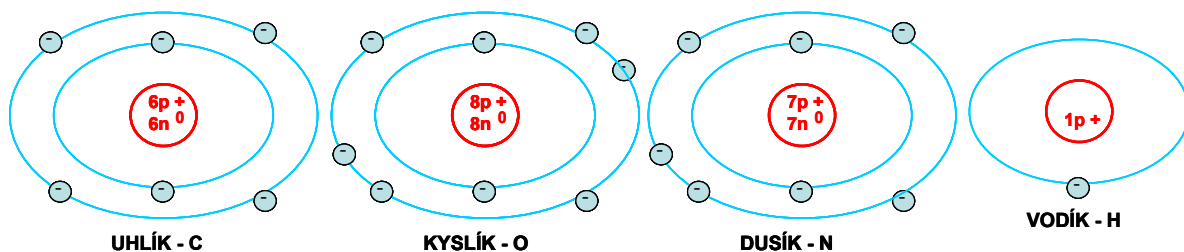
1.1 Obecná charakteristika základních biochemických procesů

V živé buňce probíhá velké množství chemických reakcí. Většina z nich se uskutečňuje současně.

Převážná část biochemických reakcí v buňce je součástí metabolických drah, které na sebe vzájemně navazují a jejichž výsledkem je jeden nebo více produktů.

Termín **metabolismus** můžeme volně přeložit jako **látková výměna**. Jedná se o soubor všech chemických procesů v organismu.

Mezi základní biogenní prvky patří **uhlík, kyslík, dusík a vodík**.



4. Schéma atomů jednotlivých biogenních prvků.

Z těchto prvků jsou také tvořeny základní živiny **sacharidy, lipidy a bílkoviny**.

1.2 Kategorie metabolismu

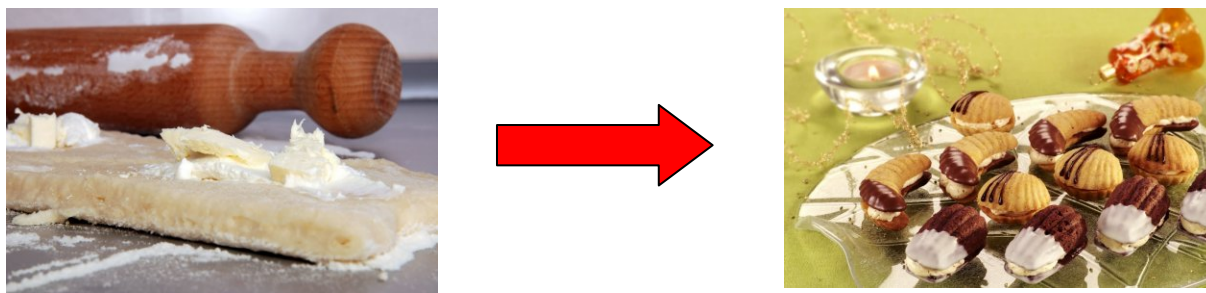
Metabolismus se tradičně dělí na dvě hlavní kategorie.

Katabolismus – převažují reakce rozkladné (degradační). Živiny a složitější látky jsou štěpeny na jednodušší a uvolňuje se energie.



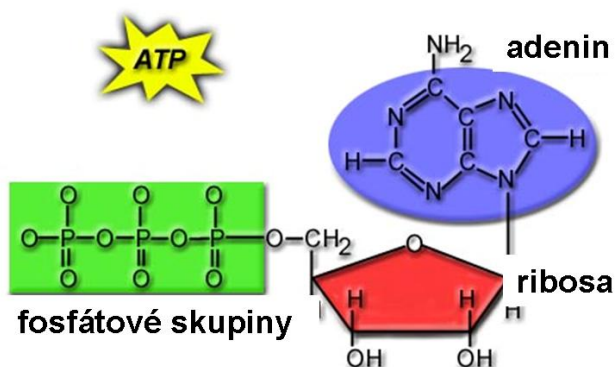
Obr. 1. Ilustrační foto ke katabolickým reakcím.

Anabolismus – převažují reakce syntetické, při kterých chemickými reakcemi vznikají složitější biomolekuly z jednoduchých komponent.



Obr. 2. Ilustrační foto k anabolickým reakcím.

Katabolické procesy poskytují energii potřebnou k procesům anabolickým. Zdrojem energie pro metabolické reakce je ATP (adenosintrifosfát).



Obr. 3. Schéma molekuly ATP.

2 Katabolické procesy

Pro získávání velkého množství energie katabolickými reakcemi jsou nejvýhodnější **tuky** (lipidy). Proto si je organismus vytváří jako zásobní formu energie.

„Spálením“ 1g tuku získáme 38,9 kJ (9,3 kcal) energie.

Spalování je chemický proces rychlé oxidace, kterým se uvolňuje chemická energie. V rozšířeném nebo přeneseném významu se jedná o biochemický proces přeměňování živin v pohybovou a tepelnou energii.

Dalším výhodným zdrojem energie je **glukosa**. Je to navíc jediná živina zpracovávaná organismem za vzniku energie i bez přístupu kyslíku.

„Spálením“ 1g glukosy získáme 17 kJ (4,1 kcal) energie.

Bílkoviny jako zdroje energie využívají organismy při zátěžových stavech.

2.1 Průběh metabolismu v buňce

Celý proces přeměny látek - metabolismu v jedné buňce je možné rozdělit do čtyř fází probíhajících v oddělených částech:

Extracelulárně (mimo buňku) probíhá:

Fáze I. Trávicí trakt → štěpení živin na základní složky a jejich transport krví

Intracelulárně (v buňce) probíhá:

Fáze II. Štěpení živin na složky citrátového cyklu → uvolnění NH_3

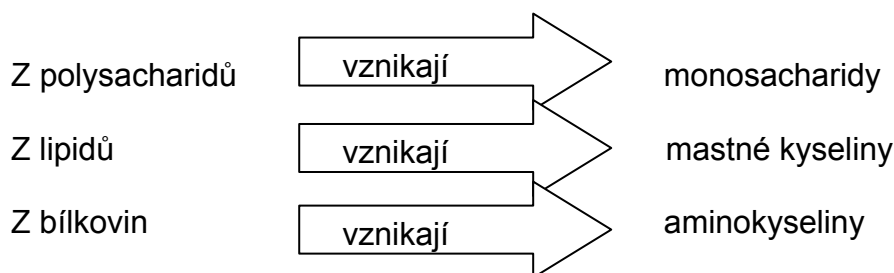
Fáze III. Citrátový cyklus → vznik redukovaných kofaktorů NADH a FADH_2
→ uvolnění CO_2

Fáze IV. Dýchací řetězec → zpracování NADH a FADH_2 → uvolnění H_2O
→ uvolnění energie → oxidativní fosforylace
→ tvorba ATP

NADH reductasa, přesněji **NADH ubichinon-reductasa** – jedná se o velký enzymatický komplex, složený z řady bílkovinných podjednotek.

Flavinadeninukleotid (FAD či FADH_2 , případně riboflavinadenosindifosfát) – jedná se o kofaktor neboli nízkomolekulární nebílkovinnou část řady enzymů. FAD je jeho oxidovaná forma, zatímco FADH_2 je jeho forma redukovaná.

Po příjmu potravy se v trávicím traktu jednotlivé živiny souhrou trávicích enzymů štěpí.



2.2 Metabolismus sacharidů

Monosacharidy se pomocí přenašečů dostávají do krve a poté do buněk. V buňce se mohou přeměnit na glukosu, a ta podléhá štěpení zvaném **glykolysa**; tímto procesem vzniká acetyl-CoA (aktivovaná kyselina octová).

Další degradace monosacharidů probíhá v mitochondriích v rámci citrátového cyklu. V reakcích cyklu vznikají dvě molekuly CO_2 , což je konečný produkt metabolismu uhlíku a kyslíku z živin.

Vodík z živin se také uvolňuje a naváže se na oxidoredukční enzymy označované jako pyridinové (NADH) a flavinové (FADH_2) dehydrogenasy.

Takto vázané vodíky v konečné fázi vstupují do dýchacího řetězce. Zde ztrácejí za uvolnění energie své elektrony za vzniku částice (H^+) a elektrony se postupně přenášejí až na kyslík, který vytvoří s H^+ molekuly vody. Zdrojem kyslíku je oxidovaný hemoglobin (oxyhemoglobin), vodík pochází z živin.

Uvolněná energie se transformuje v procesu oxidativní fosforylace do molekuly adenosintrifosfátu – makroergické sloučeniny bohaté na energii.

Sacharidy (cukry) – jsou považovány za okamžitý zdroj energie

- glukosa je zdrojem energie pro všechny buňky, její stálá hladina v krvi: 4,4–6,7 mmol/l
- při zvýšení na 10 mmol/l se glukosa objevuje v moči
- za běžných podmínek se glukosa z potravy přeměňuje přibližně z 50 % na oxid uhličitý a vodu (spalování), 30–40 % se přestavuje na tuk a 5 % se syntetizuje na glykogen
- denní potřeba glukózy: min. 160 g, denně 300–500 g (mozek 120 g, svaly v klidu 30–100 g)

2.3 Metabolismus mastných kyselin

Mastné kyseliny vytvoří v červených krvinkách – erytrocytech triacylglyceroly (triglyceridy), které se zabudují do chylomikronů a přes lymfu proniknou do krve. V krvi se z nich speciálním enzymem zvaným lipasa uvolní mastné kyseliny, které se váží na albuminy a poté prostupují přes membránu do buněk.

Mastné kyseliny jsou zpracovány v **β -oxidaci**. Jedná se o cyklus postupného odbourávání, při němž se postupně odštěpují vždy dvouuhlíkaté jednotky z mastné kyseliny, ze které vzniká acetyl-CoA. Reakce probíhá v cytosolu mitochondrie. Vzniklý acetyl-CoA vstupuje do reakcí citrátového cyklu a zbytek mastné kyseliny, jejíž kostra je kratší o dva uhlíky, znovu vstupuje do reakce, která vede k odštěpení další dvouuhlíkaté jednotky. Výsledkem je vysoký zisk energie v závislosti na velikosti uhlíkaté kostry mastné kyseliny.

Schéma β -oxidace:



Tuky (lipidy) - sloučeniny trojsytného alkoholu glycerolu s mastnými kyselinami

Význam tuků: - umožňují vitamínům A, D, E, K, které jsou lipofilní (rozpuštěné v tucích) vstup do organismu a jejich další využití

- jsou zdrojem esenciálních mastných kyselin
- tvoří zásobu energie (v podkoží se nachází až 90 % tuku)
- jsou součástí buněčných membrán (cholesterolu)

Mastné kyseliny (MK) – jedná se o vyšší monokarboxylové kyseliny, které se mohou dělit na:

1. neesenciální: tělo si je dokáže vyrobit samo (z cukrů a tuků živočišného původu), ty se dají podle charakteru vazeb dále dělit na:

- a) **nasycené** - obsahují jednoduché vazby mezi atomy uhlíku, syntetizují se v játrech (např. kys. palmitová – obsahuje 16 atomů uhlíku v molekule), kys. stearová obsahuje 18 atomů uhlíků v molekule)
- b) **nenasycené** - obsahují dvojné vazby mezi atomy uhlíku, jejich významným zdrojem je olivový olej (k. olejová – obsahuje 18 atomů uhlíku v molekule)

2. esenciální: tělo je samo vytvořit nedokáže, musí je přijímat v potravě, jejich zdrojem jsou zejména semena, rostlinné oleje, vlašské ořechy a listová zelenina (kys. linolová, kys. linolenová, kys. arachidonová) dále ryby a mořští živočichové (kys. eikosapentaneová, kys. dokosaheptaenová).

2.4 Metabolismus aminokyselin

Aminokyseliny se stejným způsobem jako monosacharidy dostávají prostřednictvím speciálních přenašečů do krve a následně do buněk. Z různorodých bílkovin získáme přibližně 20 aminokyselin.

Metabolismus aminokyselin je pro jejich vlastní různorodou strukturu komplikovanější. Základním rysem přeměny je uvolnění jejich aminoskupiny ve formě škodlivého amoniaku. Protože člověk (a primáti) jej nedovedou jednoduše vyloučit, zpracuje se **v močovinovém cyklu** na netoxickou močovinu. Zbylé uhlíkaté kostry aminokyselin se různě složitými reakcemi přeměňují na složky citrátového cyklu.

Bílkoviny (proteiny) – patří mezi základní stavební látky organismu

- bílkoviny živé hmoty se neustále obnovují (denně cca 300–500 g)
- jsou tvořeny aminokyselinami, přičemž lidské tělo využívá 20 aminokyselin, některé vytváří samo
- jedná se o vysokomolekulární látky (mají velké relativní molekulové hmotnosti) se složitým prostorovým uspořádáním
- důsledky nedostatku bílkovin:
 - chátrání těla (marasmus): zpomalení až zastavení růstu, anémie, snížení odolnosti, narušení vývoje CNS

- kwashiorkar u dětí („nafouklá bříška“), strava energeticky dostatečná, ale chudá na bílkoviny, zvětšení sleziny, jater, cirhóza

Výsledkem kompletní degradace živin jsou konečné produkty metabolismu čtyř základních biogenních prvků C, H, O, N → CO₂, H₂O, NH₃ (přeměněný na močovinu) a energie vázaná v ATP.

3 Anabolické procesy

Při anabolických procesech se živiny u zdravého člověka rozkládají na jednodušší látky. Při těchto reakcích je získávána nejen energie, ale část vzniklých produktů se využije k obnově tkání nebo tvorbě zásob. Například aminokyseliny se většinou využijí na syntézu bílkovin podle aktuálních potřeb a přebytek se odbourá. Organismus si žádné bílkoviny do zásob netvoří.

Naopak glukosu je možno v organismu uchovávat v podobě glykogenu, který se však vytváří pouze v játrech a ve svalech.

Hepatocyty (jaterní buňky) při výrazném poklesu glykémie doplňují hladinu glukosy v krvi štěpením glykogenu. Navíc jsou schopny syntetizovat glukosu z glukogenních aminokyselin, laktátu a z glycerolu uvolněného štěpením triacylglycerolů.

4 Charakteristika metabolických drah

Metabolická dráha je řada následných enzymových reakcí, vedoucích k tvorbě určitého produktu. Reakční složky, meziprodukty a produkty dráhy jsou označovány jako metabolity.

1. Metabolické dráhy jsou nevratné.

Jestliže jsou dva produkty navzájem metabolicky převoditelné, musí být dráha vedoucí od prvního k druhému produktu odlišná od dráhy vedoucí od druhého produktu k prvnímu.

2. Každá metabolická dráha obsahuje časný určující stupeň. Metabolické dráhy jsou jako celek nevratné, ale většina dílčích reakcí probíhá v blízkosti rovnovážného stavu.

3. Všechny metabolické dráhy jsou regulované.

4. Metabolické dráhy probíhají v eukaryontních organismech ve **specifických místech**.

5 Racionální výživa

Nezbytné složky potravy jsou především živiny (lipidy, sacharidy, proteiny), vitamíny, voda, minerální látky, vláknina. Jejich optimální procentuální zastoupení v potravě činí: cukry 60 %, tuky 25 %, bílkoviny 15 %.

Obecně lze vyjádřit potřebu příjmu bílkovin jako 1 gram na 1 kilogram váhy těla. U dětí a těhotných žen o něco více. Rostlinné a živočišné bílkoviny jsou odlišné struktury (esenciální aminokyseliny nejsou v rostlinných bílkovinách). To je tedy jeden z důvodů, proč je vegetariánství nevhodné pro děti.

Existují výkyvy ve správném poměru přijímání živin. Z těchto výkyvů vyplývají různé patologie: hladovění, podvýživa, otylost, obezita, mentální anorexie a bulimie.

Nutriční tabulky najdete např. na adrese: <http://bic.lucy.cz/energeticke-tabulky.php>

6 Přehled použité literatury a internetových odkazů

1. Řezáčová, M.; et al. *Základy biochemie lidského organismu*; Nakladatelství Karolinum: Praha, 2008.
2. Peč, P.; et al. *Přehled biochemie pro studenty SŠ*, 1st ed.; Nakladatelství Olomouc s.r.o: Olomouc, 2009.
3. Berg, J. M.; et al. *Biochemistry*; Company: New York, 2002.

Internetové odkazy:

4. <http://www.ustboniface.mb.ca/cusb/abernier/biologie/Module1/Images/atp.jpg>
5. http://nd01.jxs.cz/951/848/df6dd214b1_31960153_o2.jpg
6. <http://129.123.92.202/isotope/>
7. <http://www.google.cz/imgres?imgurl>
8. <http://www.google.cz/imgres?imgurl>
9. <http://www.projektalfa.g6.cz/olygos2.gif>
10. http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Fat_structural_formulae.png
11. http://nd01.jxs.cz/511/885/60aec9185e_35721065_o2.jpg

12. http://www.wikidoc.org/images/5/50/-Metabolism_790px_partly_labeled.png&imgrefurl
13. www.mojerama.cz/.../rama-idea/vitaminy.jpg DHA (kyselina dokosaheptaenová),
ALA (kyselina alfa-linolenová)--omega-3 nenasycené mastné kyseliny
14. <http://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/js07/fyzio/texty/ch02.html>
15. <http://www.zdravavyziva.cz/zdrava-vyziva3.jpg&imgrefurl>
16. <http://bic.lucy.cz/energeticke-tabulky.php>
17. http://www.nspka.cz/NSPKA_prirucky/2012/laboratorni_prirucka_OKBHorlova/WIAAH.htm

NÁVYKOVÉ LÁTKY

Text zpracoval Prof. RNDr. Jiří Kameníček, CSc.

Osnova

- 1 Úvod do problematiky návykových látek, definice drogy, rozdělení látek
- 2 Legální návykové látky
 - 2.1 Alkohol
 - 2.2 Tabák a kouření
- 3 Nelegální návykové látky
 - 3.1 Látky kanabisového typu (marihuana, hašiš)
 - 3.2 Halucinogeny (LSD; atropin; mezkalin)
 - 3.3 Látky se stimulačním účinkem (kokain, amfetaminy aj.)
 - 3.4 Látky s tlumivým účinkem (sedativa-benzodiazepiny, barbituráty aj.)
 - 3.5 Opiáty (morfin, heroin aj.)
 - 3.6 Těkavé (inhalační) látky (toluen, aceton)
- 4 Zásady prevence a první pomoci při aplikaci návykové látky
- 5 Legislativa týkající se návykových látek
- 6 Přehled použité literatury
- 7 Témata referátů

1 Úvod

Definice návykové látky („drogy“): jde o aplikaci jakékoliv látky přírodního či syntetického původu, ovlivňující psychiku člověka a vyvolávající potřebu opakovaného použití (recidivy), takže uživatel se na ní stává závislý („drogová závislost“).

Vzhledem ke skutečnosti, že v posledních letech vidíme zvýšený rozsah tohoto fenoménu, který zasahuje čím dál tím mladší skupiny mládeže se všemi nepříznivými důsledky (zdravotními, ekonomickými i společenskými – rozvrat osobnosti, asociální a protizákonné chování, nutnost léčby), je nanejvýš aktuální zavčas varovat žáky ve škole před tímto nebezpečím (tzv. **toxikománie**).

Na vzniku závislosti se podílejí zejména tyto faktory:

- droga - typ vlastní substance, působící na psychiku
- člověk - zejména typ jeho osobnosti (zvýšené riziko pro neurotické, nezdrženlivé, nesebejisté jedince s absencí zájmů a zálib, sportu atd.)
- prostředí - problematické rodinné zázemí, vliv „party“

Většinou při vzniku závislosti působí kombinace výše uvedených příčin.

Průběh závislosti:

- zprvu jde o zvědavost, vyzkoušet si nový zážitek, zahnat stres, únavu, „vyřešit“ problémy s učením, partnerskými vztahy apod.
- postupný návyk na drogu, opakované užívání, zvyšující se tolerance na drogu (neplatí u alkoholu)
- abstinenční příznaky při vynechání dávky (pocení, třes, zvracení, průjem ...).

Psychická závislost (kouření) – lze překonat silnou vůlí.

Fyzická závislost (heroin) – při absenci drogy těžké zdravotní následky, popř. i smrt.

- zdravotní a sociální konsekvence (rozpad rodiny, odchod partnera, ztráta zaměstnání, sebevražedné pokusy aj.)

Je nutné nebýt nevšimavý k jasným příznakům počínající závislosti – změny chování, náhlé bezdůvodné zhoršení prospěchu, ztráta zájmů a přátel, zavírání se na delší dobu na WC, shánění financí (krádeže), modřiny a vpichy na těle ...

Způsoby aplikace drog:

- perorálně (tablety, prášek, roztok) – např. pervitin, extáze

- dýchacím ústrojím (kouření – marihuana; šňupání – kokain; inhalace par – toluen)
- intravenózně (injekčně – heroin; zvýšené riziko přenosu infekcí, chorob – žloutenka, AIDS)
- jiné způsoby (čípky, náplasti ...)

2 Legální návykové látky

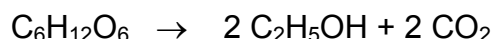
2.1 Alkohol, „líh“ (chemicky: ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

Alkohol je státem tolerovanou drogou a lze jej běžně od určitého věku (18-21 let) koupit ve formě alkoholických nápojů v obchodech.

Pozn.: Alkoholy obecně obsahují $-\text{OH}$ skupinu na alifatickém řetězci; pozor na záměnu ethanolu za methanol CH_3OH (možnost výskytu v různých po domácky pálených produktech!), který je prudce jedovatý – při požití hrozí oslepnutí, smrt! Alkoholismus je historicky jednou z nejstarších drogových závislostí a pokusy o jeho vymýcení (viz prohibice v USA, Rusku) vždy vedly pouze k rozmachu černého trhu.

Alkohol působí na centrální nervový systém, a to zpočátku stimulačně, dále pak tlumivě.

Pro potravinářské účely se vyrábí lihovým kvašením plodin, obsahujících cukr (melasa z cukrové řepy, brambory, obilí, různé druhy ovoce) za působení enzymu (zymasa):



Průmyslově se ethanol vyrábí hydratací ethenu:



Pro chemické užití (např. jako rozpouštědlo) se alkohol **denaturuje**, tj. záměrně se k němu přidávají zapáchající látky (např. deriváty merkaptanů, pyridinu, methanol, benzín), aby nebyl požitelný.

100% alkohol nelze získat destilačně (s vodou tvoří při obsahu 96% tzv. **azeotropní směs**, která má konstantní teplotu varu); pouze chemicky vázáním vody užitím sikativ (silikagel).

Požívání alkoholu vede k nevratnému poškození vnitřních orgánů (játra – cirhóza; žaludek – vředy), oslabení imunity, poruchám paměti, depresím a halucinacím; u těhotných žen k poškození plodu. Léčení alkoholika předpokládá jeho spolupráci a

je zdoluhavé (ústavní forma 6 - 12 měsíců) a ne vždy úspěšné. Pro vyléčeného platí 100% zákaz alkoholu a doživotní bezvýjimečná abstinence!

Z hlediska konzumace alkoholu rozlišujeme:

- abstinenti ... nepijí vůbec či zcela výjimečně v symbolickém množství
- příležitostní konzumenti ... pijí „s mírou“, nepravidelně, nejsou skoro nikdy opilí
- nadměrní konzumenti ... pijí trvale přes míru, ztrácejí kontrolu, často opilí
- alkoholici ... s chorobnou závislostí – nekontrolovatelné pití, abstinenci příznaky

Resorpce (odbourávání) alkoholu

Odbourávání alkoholu je individuální (u mužů cca 2x rychlejší než u žen, závisí i na hmotnosti osoby). Orientačně lze počítat s odbouráním max. 0,15-0,2 ‰ alkoholu v krvi za hodinu.

Vzorec pro výpočet promile alkoholu v krvi: $\text{‰} = m_A(\text{g}) / M(\text{kg}) \cdot k$

kde m_A ... hmotnost čistého alkoholu (g)

M ... hmotnost člověka (kg)

k ... koeficient (0,7 pro muže, 0,6 pro ženy)

Vzorový příklad:

Vypočítejte, kdy budeme moci sednout za volant, vypijeme-li 2 piva 11° o obsahu alkoholu 4% obj. a k tomu 3 „panáky“ vodky po 50 ml 40% alkoholu (hustota ethanolu je $\rho = 0,78 \text{ g/cm}^3$).

výpočet (přibližně):

a) 2 piva 11° (4%obj.) tzn. 1000ml obsahuje cca 40 ml čistého alkoholu,

$$\text{tj. } m_A = \rho \cdot V = 0,78 \cdot 40 = 31,2 \text{ g}$$

b) 3 „panáky“ (alkohol 40% obj.) tzn. 150ml obsahuje 60 ml čistého alkoholu,

$$\text{tj. } m_A = \rho \cdot V = 0,78 \cdot 60 = 46,8 \text{ g}$$

CELKEM: 78 g čistého alkoholu

V krvi bude naměřeno: $78 / 80 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ ‰}$ alkoholu (počítáno na 80 kg muže),

který se bude odbourávat min. 7 - 9 hodin (!)

$78 / 60 \cdot 0,6 = 2,2 \text{ ‰}$ alkoholu (počítáno na 60 kg ženu),

který se bude odbourávat min. 11 - 14 hodin (!)

Pozn.: Uvedený příklad je pouze ilustrační a je nutné počítat s časovou rezervou a individuálními odchylkami.

Vhodné téma referátu: č. 2 - 6

2.2 Tabák a kouření

V současné době spolu s alkoholem jediná státem tolerovaná droga.

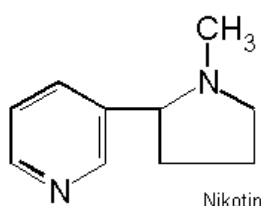
Historie: kouření dýmky u Indiánů;

v Evropě začíná od 16. stol.; největší rozvoj od 2.pol. 19. stol. se sériovou výrobou cigaret.

Látky obsažené v tabáku:

Hlavní roli hraje alkaloid nikotin:

3-(1-methylpyrrolidin-2-yl)pyridin



Obr.1 Tabák : (*Nicotiana tabacum*)

Nikotin je bezbarvá olejovitá kapalina, rozpustná ve vodě, která na vzduchu hnědne (oxiduje se na kyselinu nikotinovou). Dráždí centrální nervovou soustavu, zvyšuje krevní tlak i sekreci žláz. Ve větších dávkách působí křeče až ochrnutí dýchacího centra a smrt.

Další látky v tabáku: alkaloidy *normikotin*, *anabasin*, *nikotyrin*, *nikotellin* ... a mnoho dalších.

Tabákový kouř dále obsahuje toxické zplodiny hoření (aromáty, CO, NO_x, HCN; v cigaretovém papíře je obsažen radioizotop ²¹⁰Po).

Jen část škodlivých látek se zachytí na filtru; zbytek se dostává do organismu dýchacími cestami. Je prokázána souvislost mezi rakovinou dýchacích cest a kouřením (varování na každé krabičce cigaret).

Problémem je, že kouření se stále posouvá do nižších věkových skupin a do ženské populace (cca 1/3 kuřáků jsou ženy) a negativní účinky se bagatelizují („vždyť kouří i doktoři“...).

Způsoby boje proti kouření:

Reklama (moderní je nekouřit), osvěta (někdy dost drastická - rentgenové snímky plic kuřáka), legislativní omezení (zákazy kouření v restauracích, zvyšování ceny).

Terapie:

Při odvykání se uplatňuje řízená aplikace nikotinu ve formě žvýkačky, náplastí, elektronická cigareta, apod.

Závěr:

Jde o ošklivý zlozvyk, jehož se těžce dotýčný (obvykle až po fatálních zdravotních problémech) zbavuje. Četnost recidivy je velmi značná.

Vhodné téma referátu: č. 6

3 NELEGÁLNÍ NÁVYKOVÉ LÁTKY

3.1. Látky kanabisového typu

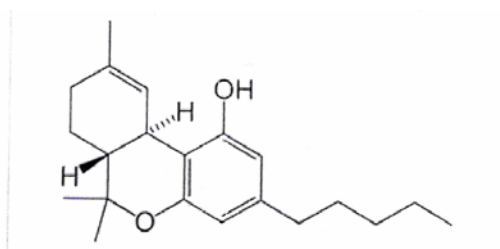
Pochází z rostliny *Cannabis sativa* (konopí seté). Konopí se zneužívá nejčastěji k nelegální výrobě **marihuany** a **hašiše**.

Konopí je původem z Kašmíru, je to jedna z nejstarších kulturních plodin. Je užívána k výrobě pevných provazů a lan, oleje ze semen.



Obr. 2 Konopí seté.

Účinnou látkou je THC (tetrahydrocannabinol $C_{21}H_{30}O_2$):



Chemicky: (-)-(6aR, 10aR)-6,6,9-trimethyl-3-pentyl-6a,7,8,10a-tetrahydro-6H-benzo[c]chromen-1-ol

Marihuana (obsahuje cca 10 % THC)

se připravuje fermentačním procesem z mladých listů a květů konopí.

Na trhu je ve formě zelenošedých sušených listů nebo slisovaných tyčinek („jive“).

Hašiš („haš“, „kiff“, „ládo“, s obsahem až 40 % THC)

je ze samičích květů konopí, jež obsahují hodně pryskyřice s typickým zápachem (existují různé druhy, např. **charos** - čistá pryskyřice, **ganja** - z květů, **bhang** - ze semen...). Distribuuje se ve formě hnědých mastných lisovaných kostek či placek.

Aplikace: kouřením cigaret (marihuana) či dýmkou (hašiš), možno i perorálně.

Příznaky intoxikace: rychlý nástup účinku (minuty) – zrychlení tepu, sucho v ústech, uvolnění, euforie, snové obluzení, halucinace, trvající hodiny.

Při dlouhodobém pravidelném užívání zpomalení myšlení, poruchy paměti, schizofrenie, riziko zhoubných nádorů dýchacího systému.

Jde pouze o psychickou, nikoli fyzickou závislost (nehrozí abstinenční syndrom)

Marihuana patří mezi tzv. „**měkké**“ drogy – otázka „přestupní stanice“ k „**tvrdým**“ drogám je nejednoznačná. V některých státech (Holandsko, Izrael) není marihuana zakázána! Řada lidí po tom volá i u nás. Možnost kontrolovaného léčebného využití (potlačení nevolnosti při chemoterapii rakoviny, roztroušené sklerózy, parkinsonismu, apod.).

Vhodné téma referátu: č. 7

3.2. Halucinogeny

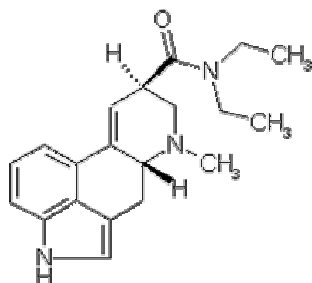
Tyto látky obecně deformují vnímání reality a navozují falešné (především zrakové, ale i sluchové, čichové) představy.

Existuje více než 150 rostlin, ze kterých lze získat halucinogeny. Známý už od starověku (věštiny – Théby, Delfy).

Dělení dle chemického složení:

- a) Indolové deriváty (např. LSD, *psilocin*, *harmin*)
- b) Piperidinové a tropanové látky (*atropin*, *skopolamin*)
- c) Fenylethylaminové deriváty (*mezkalin*)

ad a) LSD = diethylamid kyseliny lysergové – obsažen v námelu (parazit na žitě)



LSD



Obr. 3 Námeli

Námeli vytváří parazitní houba *Paličkovice nachová* (viz Obr. 3); ve středověku řada otrav „Ignis sacer“ (Svatý oheň). Od r. 1962 Timothy Leary (hnutí Hippies) – užívání LSD.

Aplikace ve formě napuštěných papírků („blotter“).

Účinky: Během krátké doby předměty mění tvar i barvu, zpomalení času, dezorientace, fobie.

Do této skupiny drog dále patří:

Psilocin a psilocybin (obsaženy v houbičce
Lysohlávka kopinatá – viz Obr. 4)

Další zástupci:

Harmin, *harmalin* (Latinská Amerika),
Bufotenin (ropuší jed); *ibogain* (Gabun, Afrika)



Obr. 4 Lysohlávka

ad b) Atropin – v rulíku zlomocném a semenech durmanu. Rozšíření zorniček!

Aplikace: většinou formou výluhu. Působí jako blokátory acetylcholinu (halucinace).

Další: *Skopolamin*, *hyoscyamin* (obsaženy v blínu), *fencyklidin* (disociativní anestetikum)

ad c) Mezkalin (3,4,5-trimethoxyfenylethylamin) v kaktusech (*Lophophora Williamsii*), Mexiko

Aplikace: perorálně i kouřením, účinky podobné jako LSD.

Všechny drogy této skupiny působí pouze psychickou závislost!

Vhodné téma referátu: č. 8

3.3. Stimulanty

Jde o přírodní (kokain) i syntetické (amfetaminy) látky, navozující stimulační (povzbudivý) účinek, odstranění únavy, snížení potřeby spánku, euforii, schopnost empatie (soucítění).

a) Kokain („koks“, „crack“, „rock“, „sníh“)

Bílý prášek nahořklé chuti, patří mezi tropanové alkaloidy.

Koka pravá (viz Obr. 5)

rostlina známa už v říši Inků; v Evropě od 16. stol.; do r. 1903 obsažena i ve známém nápoji Coca Cola



Obr. 5 Koka

Aplikace: šňupání nosem, kouřením i injekčně.

Účinky: třes, pocení, sucho v ústech, rozšíření zornic, zvýšení tlaku, lesk v očích, pálení kůže. Vyvolává pocit euforie, při předávkování útlum dýchání, smrt.

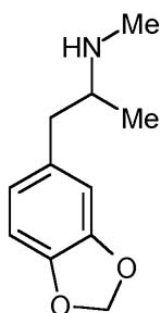
Kokain je jednou z nejdražších tvrdých dog s extrémní psychickou závislostí.

b) Amfetaminy – obsahují dusíkatý atom mimo cyklus.

Původně užívány jako léčiva, později zjištěny nežádoucí účinky na psychiku a návykovost. Při delší konzumaci dochází k deformaci osobnosti („amfetaminová psychóza“). Jde o jeden z nejnebezpečnějších druhů toxikománie z hlediska agresivity a vedlejších účinků (poškození ledvin, jater) s vysokou psychickou a částečně i fyzickou závislostí.

Aplikace: prášek (tablety); injekčně roztok; účinky podobné kokainu.

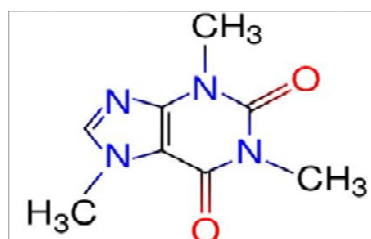
Zástupci: Metamfetamin („**pervitin**“), fenmetrazin, MDMA („**extáze**“):



extáze = N-methyl-3,4-methylenedioxyamphetamin

c) Methylxanthiny

Jde o povzbuzující látky obsažené v kávě, kakau, čaji. Působí na svalstvo, stimuluje srdeční činnost, sekreci žaludečních šťáv. V malých dávkách–zvýšení bdělosti, potlačení únavy; větší dávky (nad 200 mg denně) působí nespavost, psychické potíže, osteoporózu (odvápňení kostí).



Nejznámější zástupce: kofein (1,3,7-trimethylxanthin)

Kromě kofeinu jsou v kávě a čaji: **theofylin** (1,3-dimethylxanthin), **theobromin** (3,7-dimethylxanthin).

Do této skupiny dále patří:

- závislost **kathového typu** (žvýkání listů rostliny *Catha edulis*, rozšířeno kolem Rudého moře)
- **betel** (z palmy Areka obecná, obsahuje **arekaidin**) – v Thajsku (červené zbarvení jazyka)

Vhodné téma referátu: č. 9, 10

3.4. Sedativa

Jde o látky s tlumivým účinkem na centrální nervovou soustavu. Podporují spánek, navozují zklidnění, zmírňují úzkost. Při předávkování – celková anestezie až smrt.

a) Barbituráty

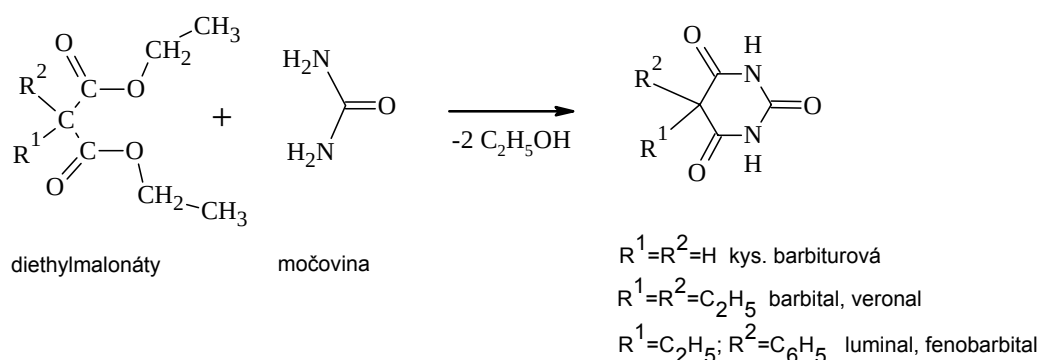
jsou starší skupinou látek a dříve se užívala jako léčiva. Pozor – už desetinásobek léčebné dávky může být smrtelný (riziko předávkování, neexistence účinného antidota).

Aplikace: tablety

Zástupci: **Veronal** (diethylbarbiturová kyselina), **Luminal** (5-fenyl-5-ethylbarbiturová kys.)

Meproamat

Fyzická závislost, nebezpečný abstinenční syndrom.



b) Benzodiazepiny

Novější preparáty - od sedmdesátých let vytlačily předchozí z trhu.

Výhody: menší riziko předávkování, existence účinného antidota (Flumazenil).

Příklady: **Diazepam** (*Valium*)

Flunitrazepam (*Rohyphnol*, Obr. 6)

Midazolam (*Dormicum*)

Způsobují těžkou fyzickou i psychickou závislost!

Užití při předoperační přípravě apod.

V poslední době se však čím dál tím více při léčbě fobií upřednostňuje psychoterapie.



Obr. 6 Rohyphnol

c) Další sedativa

Příklady: **Azapirony** (*Buspiron*), léčení dlouhodobých úzkostí

Cyklopyrolony (*Zopiklon*), hypnotikum 3. generace, proti epilepsii

Imidazopyridin (*Zolpidem*), svalová relaxace

Mezi sedativa patří také: **Thaloimid** (*Contergan*) – teratogenní účinky na plod při užívání v těhotenství

Kava-kava – přírodní sedativum z pepřovníku opojného (*N. Guinea*)

Vhodné téma referátu: č. 11

3.5. Opiáty

Jedná se o velmi tvrdé drogy, pocházející ze šťávy nezralých makovic (*opium*, *morfin*) a jejich syntetické deriváty (*heroin*).

Morfium bylo známo jako lék tlumící bolest (**analgetikum**) a bylo využíváno např. při ošetřování zraněných vojáků ve válce.

Opium se získává z lepkavé šťávy naříznutých makovic, která na vzduchu hnědne; ztuhlá se seškrabe, dosuší a uhněte do cihlíček.

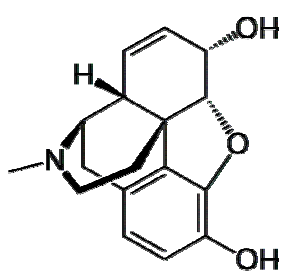


Obr. 7 Mák setý (*Papaver somniferum*)

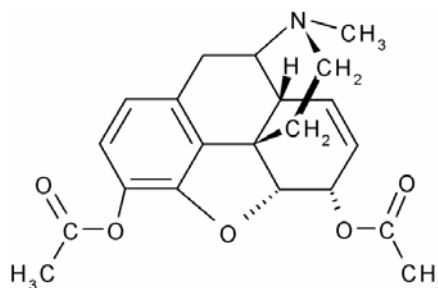
Opium je směs, obsahující desítky alkaloidů fenathrenového typu (morfin) a izochinolinového typu (papaverin). Existují různé druhy opia („galí“, „chandu“, „dross“ aj.).

Aplikace: nejvíce kouřením v dýmkách, popř. cigaretách, řidčeji perorálně. Většina opia se zpracovává na čisté alkaloidy:

Morfin, **kodein** (methylnorfin), **heroin** (3,6-diacetylmorfin)



morfin



heroin

Aplikace: injekčně, výjimečně perorálně

Účinky: Jedny z nejtvrdších drog, extrémně silná fyzická i psychická závislost!

Projevují se zúžením zorniček (na velikost špendlíkové hlavičky); po počáteční euforii působí poruchy paměti, apatii, celkový rozvrat osobnosti, totální impotenci.

Těžký abstinenční syndrom vrcholí po cca 48 hodinách a připomíná silnou chřipku; dále zahrnuje zvracení, průjem, šílené svědění pokožky.

Terapie je možná jen ústavní formou s nevalnou šancí na vyléčení.

Dnes existuje řada syntetických derivátů látek tohoto typu; některé z nich mají potlačené návykové účinky a užívají se dokonce i k protidrogové léčbě (např. **metadon**).

Vhodné téma referátu: č. 12

3.6. Solvencia (těkavé a inhalační látky)

Jde o tzv. „čichání“, tj. aplikaci par těkavé kapaliny (plynu) do dýchacího ústrojí.

Nejčastěji zneužívané látky:

- alifatické uhlovodíky (ethyn, propan, butan, hexan)
- cyklické a aromatické uhlovodíky (cyklopropan, toluen, xyleny)
- směsi uhlovodíků (benzin, nafta)
- halogenderiváty (tetrachlormethan, chloroform, trichlorethylen, ethylchlorid, freony)
- kyslíkaté deriváty (aceton, butanon, dimethylether, methylacetát, methyl-*terc* butylether MTBE, oxid dusný aj.).

Úkol: Napište chemické vzorce inhalačních látek!

Aplikace: čicháním - inhalací par výše uvedených látek (tzv. „sniffing“) nosem i ústy.

Účinky: rychlý nástup – euforie, závrať, „ztráta hmotnosti“, postupné upadání do spánku.

Symptomy: dilatace zornic, slzení, výtok z nosu, zvracení, pokles hmotnosti, třes ...

Důsledky: zhoršení paměti, pokles inteligence, těžké deprese, rozpad osobnosti, poruchy krvetvorby, nevratné poškození sliznic.

Nebezpečí:

- zadušení např. při přetáhnutí igelitového pytlíku přes hlavu pro zvýšení účinku;
- nevratného poškození vnitřních orgánů (ledviny, játra) až smrt při polknutí látky;
- jde o jedny z nejlevnějších a nejdostupnějších látek, které si každý snadno opatří („drogy hloupých“).
- jedná se o silnou psychickou závislost se sklony k recidivě.

Vhodné téma referátu: č. 13

4 PREVENCE A PRVNÍ POMOC

Při prevenci je rozhodující, aby se na problém co nejdříve vůbec přišlo (všímatost k symptomům toxikománie).

Typické příznaky:

- náhlá změna chování (předrážděnost, deprese, ztráta zájmů)
- zhoršený prospěch, ztráta přátel
- úbytek hmotnosti, zdravotní problémy, vpichy
- potřeba peněz, krádeže, střet se zákonem

Prevence:

snaha předejít závislosti zejména u mladých lidí a u rizikových skupin:

- výchova v rodině, zájem o dítě
- výchova ve škole, upozornění na rizika
- sport, aktivní trávení volného času ...

První pomoc:

se neliší od první pomoci např. při nehodě, tj. je nutno se postarat o zachování základních životních funkcí a rychlou lékařskou pomoc.

Léčení:

je postaveno na bázi dobrovolnosti – dlouhodobá záležitost včetně ústavní léčby, riziko recidivy. Absolutní nutnost doživotní abstinence!

Při problémech:

V Olomouci existuje **P-centrum**, Lafayettova 9, Olomouc, tel. 585221983,

<http://www.p-centrum.cz>

p-centrum@p-centrum.cz

5 LEGISLATIVA

Samotné užívání drog není trestné; trestné je jejich držení, výroba, distribuce!

Důležitý pro policii je pojem tzv. „malého“ množství zadržené drogy:

- při něm jde jen o přestupek s pokutou do 15000 Kč;
- při větším množství pak už o trestný čin s možností vězení až na 5 let

Za malé množství se považuje např.

konopí - 5 rostlin; marihuana - 15 g sušiny; extáze - 4 tablety, LSD - 5 papírků;
kokain - 1 gram; pervitin - 2 gramy

Vybrané trestní sazby

- za distribuci drog mladistvým až 10 let vězení
- při způsobení těžké újmy na zdraví až 15 let
- „vařiči“ do 5 let
- za pouhé neoznámení výše uvedených činů hrozí až 3 roky!

Problém:

Zákon postihuje zpravidla jen dealery a „menší ryby“, zatímco velcí distributoři a producenti jsou chyceni spíše výjimečně. Navíc se stále objevují nové deriváty, které dosud nejsou na seznamech zakázaných látek.

Zákony, pojednávající o drogách:

- č.140/1961 Sb. (trestní zákon)
- č. 200/1990 (přestupkový zákon)
- č. 332/1997 (zacházení, skladování, likvidace)
- č. 167/1998 (o návykových látkách)
- č. 379/2005 (prevence toxikomanie)

Vyhláška č. 62/1989 (seznam psychotropních látek)

Sdělení č.462/1991 (prekurzory omamných a psychotropních látek)

6 Témata referátů

1. Vznik, nebezpečí a důsledky toxikomanie, analýza příčin
2. Problematika alkoholu, sekundární následky, alkohol za volantem
3. Výroba piva
4. Výroba vína
5. Výroba destilátů
6. Tabák a kouření – historie, pěstování, druhy, postup výroby cigaret
7. Marihuana a hašiš
8. Halucinogeny
9. Stimulancia

- 10. Methylxanthiny
- 11. Sedativa
- 12. Opiáty
- 13. Inhalační látky (solvencia)
- 14. Legislativa - přehled a komentář platných zákonů týkajících se návykových látek

7 Přehled použité literatury a internetových odkazů

- 1/ M. Wenke: Farmakologie, Avicenum 1986
- 2/ I.Bečková, P.Višňovský: Farmakologie drogových závislostí, Karolinum 1999
- 3/ P.Višňovský, I.Bečková: Bludný kruh toxikománií, EIA Hradec Králové 1998
- 4/ M.Wenke, M. Mráz, S. Hynie: Farmakologie pro lékaře, Avicenum 1984
- 5/ J. Mann: Jedy, drogy, léky, Academia Praha 1996
- 6/ www.members.tripod.com/%7EMartinMV/drogy.html
- 7/ www.odrogach.cz

VÝROBA CUKRU

Text zpracovali Mgr. Jana Prášilová a Prof. RNDr. Jiří Kameníček, CSc.

Osnova

- 1 Historie a současnost cukrovarnictví v České republice
- 2 Rostliny využívané pro výrobu cukru
 - 2.1 Cukrová řepa a cukrová třtina
 - 2.2 Chemické složení cukrové řepy
- 3 Výrobní etapy
 - 3.1 Mechanická úprava řepy
 - 3.2 Získávání difúzní šťávy
 - 3.3 Čištění difúzní šťávy
 - 3.4 Odpařování lehké šťávy, vznik těžké šťávy a cukroviny
 - 3.5 Získání surového cukru a jeho čištění
 - 3.6 Zpracování bílé cukroviny
- 4 Doplnující informace pro učitele
- 5 Přehled použité literatury a internetových zdrojů

1 Historie a současnost cukrovarnictví v České republice

Cukr je surovinou, která nás doprovází v běžném životě na každém kroku. Mnozí z nás si hned ráno osladí čaj či kávu kostkou cukru. Pojďme se nyní podívat, jak se cukr vyrábí a kde se kostka cukru vlastně vzala.

Nejprve si udělejme krátkou zastávku u historie cukrovarnictví na území České republiky.

- v roce 1787 byla založena první rafinerie (závod na čištění cukru) v klášteře na Zbraslavi u Prahy, čistil se zde dovážený třtinový cukr
- v roce 1841 vytvořil ředitel rafinerie v Dačicích první kostku cukru, do této doby se v domácnostech používaly tzv. cukrové homole

V 19. století fungovalo na našem území přes 150 cukrovarů, v současné době (rok 2011) u nás cukr vyrábí pouze 7 cukrovarů.

2 Rostliny využívané pro výrobu cukru

2.1 Cukrová řepa a cukrová třtina

Výroba cukru z cukrové třtiny byla známa po celá staletí. V našich krajích však pro pěstování této rostliny nejsou vhodné podmínky (pěstuje se v tropickém a subtropickém pásmu). Z místních plodin je pro výrobu cukru vhodná cukrová řepa.

Cukrová řepa (*Beta vulgaris*)



Obr. 1 Cukrová řepa

- dvouletá plodina
- cukr se hromadí v bulvách
- obsah sacharosy 16–20 %
- skladuje se a zpracovává (do 48 h)

Cukrová třtina (*Saccharum officinarum*)

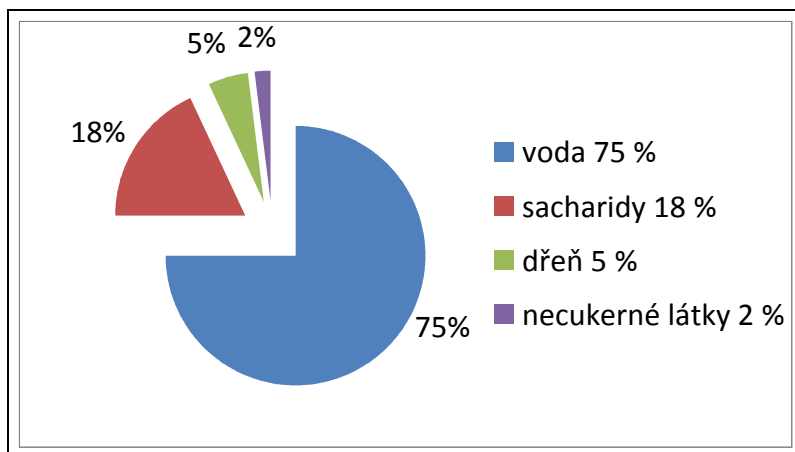


Obr. 2 Cukrová třtina

- víceletá travina
- cukr se hromadí ve stvolu
- obsah sacharosy 13–17 %

2.2 Složení cukrové řepy

Podrobněji se zaměříme na cukrovou řepu, z níž se u nás cukr vyrábí. V bulvách cukrové řepy se nachází kromě cukru i další látky. Jejich obsah významně ovlivňuje technologický proces a produkci cukru. Průměrné složení uvádí Obr. 3.

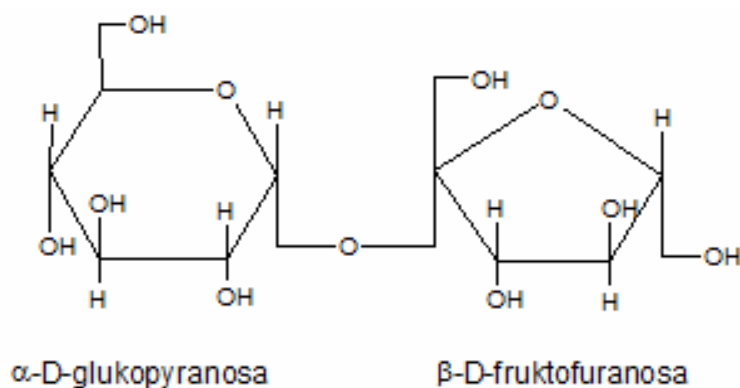


Obr. 3 Průměrné složení cukrové řepy

Sacharidy

Nejdůležitějším sacharidem a konečným produktem výroby je SACHAROSA.

Sacharosa patří mezi disacharidy; její molekula je tvořena zbytkem molekuly glukosy a molekuly fruktosy, které jsou navzájem spojeny glykosidickou vazbou (viz obr. 4). Je to krystalická bílá látka dobře rozpustná ve vodě. Má výraznou sladkou chuť a používá se jako sladidlo. Patří mezi opticky aktivní látky a neredukující sacharidy.



Obr. 4 Vzorec sacharosy

Dřeň

Součástí dřeně bulvy řepy je celulóza a hemicelulóza (polysacharidy), pektinové látky¹, bílkoviny a saponiny². Tyto látky jsou nežádoucí a mohou znesnadňovat výrobní proces, způsobují problémy např. při filtraci.

Necukerné látky (šťáva obsahující necukerné látky)

Z necukerných látek obsahuje šťáva aminokyseliny, amidy, bílkoviny, organické zásady, enzymy, soli organických kyselin (kyseliny mravenčí, octové, šťavelové, citronové). Rozhodující negativní vliv na krystalizaci cukru mají minerální látky (popeloviny).

3 Výrobní etapy

Výrobu cukru můžeme rozdělit do několika fází:

1. Mechanická úprava řepy
2. Získávání difúzní šťávy
3. Čištění difúzní šťávy
4. Odpařování lehké šťávy, vznik těžké šťávy a cukroviny
5. Získání surového cukru a jeho čištění
6. Výroba bílého cukru

¹ pektin – makromolekulární látka, jejímž základem jsou sacharidy, nachází se např. v ovoci, způsobuje rosolovatění ovocných šťáv a zavařenin

² rostlinný glykosid (derivát sacharidů) tvořící pěnivý roztok ve vodě

Tab. 1: Přehled fyzikálních a chemických pochodů aplikovaných při výrobě cukru v jednotlivých etapách výroby

Etapa	Fyzikálně-chemické pochody	Vstup látek (suroviny)	Výstup látek (produkty)
Mechanická úprava řepy	rozpustnost	bulvy cukrové řepy	řepné řízky
Získávání difúzní šťávy	- koagulace bílkovin - difúze	- řepné řízky - horká voda	difúzní šťáva - vyslazené řepné řízky
Čištění difúzní šťávy	- neutralizace difúzní šťávy - srážení necukerných látek - saturace - filtrace sraženin	- difúzní šťáva Ca(OH)_2 CO_2	lehká šťáva - saturační kaly
Odpařování lehké šťávy, vznik těžké šťávy a cukroviny	- odpařování - krystalizace	lehká šťáva	těžká šťáva I. cukrovina
Získání surového cukru a jeho čištění	- odstřeďování - odpařování - krystalizace - vykrývání - filtrace - adsorpce	I. cukrovina - surový cukr - voda Ca(OH)_2 - adsorbent	surový cukr - zelený sirob II. cukrovina zadinový cukr - melasa bílá cukrovina

3.1 Mechanická úprava řepy

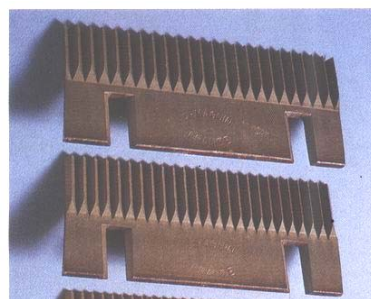
Cíl:

- očištění řepy
- rozřezání řepy na řízky

Při podzimním výletu do přírody můžeme na polích vidět zemědělce sklízějící cukrovou řepu. Na polích se řepa zbaví chrástu (zelených listů) a nahrubo očistí od hlíny. Po dopravení do cukrovaru je řepa důkladně očištěna vodou od zbývajících hlíny, kamení, písku a kořínků pomocí **řepných splavů**¹ a **řepných praček**². Voda z řepy odkape na **třasadlu**³. Výtah dopraví řepu na automatickou váhu a z ní putuje řepa do **řezačky**⁴, která nařeže bulvu na řízky (obr. 5, 6) s trojúhelníkovým profilem.



Obr. 5 Řepné řízky



Obr. 6 Nože řezačky

Otázka: Proč se řepa porcuje na řízky trojúhelníkového profilu?

Účelem rozřezání bulvy na řízky je zvětšit povrch (styčnou plochu) řepy pro následnou difúzi cukru z buněk pletiva. Trojúhelníkový profil byl vyhodnocen jako nejvhodnější tvar pro optimální vyluhovatelnost cukru.

3.2 Získávání difúzní šťávy

Cíl:

- vyluhování cukru (sacharosy) z buněk pletiva řepných řízků
- získání difúzní šťávy

Sacharosa se nachází uvnitř buněk pletiva řepných řízků. Membrána buněk sacharosu volně ven z buňky nepustí, proto je nutné řízky luhovat horkou vodou. Od 60°C začínají bílkoviny membrány buněk koagulovat a ty se tak stávají pro cukr lépe propustné.

¹ řepný splav – betonový kanál, do kterého je napouštěna voda, která unáší řepu k pračce

² řepná pračka – zařízení na odstranění hlíny, kamení a kořínků; proti proudu vody je přiváděna řepa, kameny a další odpad odpadávají ze dna pračky

³ třasadlo – kmitající se síto k odstranění vody

⁴ řezačka – zařízení se sadou nožů, rozporcuje řepu na řízky s trojúhelníkovým profilem

Otázka: Co je to KOAGULACE?

Koagulace (shlukování) je postupné uspořádávání jednotlivých částic do jiného prostorového umístění. V našem případě dochází ke koagulaci bílkovin membrány buněk vlivem zvýšené teploty. Vyzkoušet si koagulaci můžete i doma – stačí si usmažit vajíčka k snídani.

Vyluhování řízky se děje v zařízeních zvaných **difuzéry**¹. Řízky jsou v nich přiváděny proti proudu horké vody. Řízky nově přiváděné do difuzéru jsou promývány nejsladší vodou a na řízky zbavené cukru stéká voda čistá, čímž jsou zajištěny optimální podmínky difúze. Z difuzéru odtéká difúzní šťáva jako nakyslá kapalina tmavé barvy.

Otázka: Co je to DIFÚZE?

Tvrdíme-li, že látka difunduje, pak se její částice v roztoku pohybují z míst o vyšší koncentraci částic do míst s nižší koncentrací částic.

Po vyluhování se řízky označují jako **vyslazené řízky**. Ty se dále zpracovávají - suší, popř. lisují a využívají se jako krmivo nebo v kvasném průmyslu (výroba alkoholu).

3.3 Čištění difúzní šťávy

Cíl:

- odstranění necukerných látek z difúzní šťávy
- neutralizace difúzní šťávy
- získání tzv. lehké šťávy

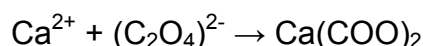
Spolu se sacharosou difunduje z buněk i velké množství necukerných látek (viz složení řepy). Tyto látky jsou nežádoucí a ztěžují výrobní proces (např. krystalizaci cukru, filtraci atd.)

Čištění probíhá ve dvou fázích:

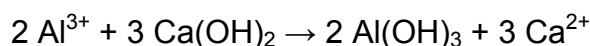
1. Čeření difúzní šťávy
2. Saturace šťávy

Při **čeření** se k difúzní šťávě vyhřáté na 90°C přivádí postupně 1,5 – 2% vápenné mléko - roztok Ca(OH)_2 . Ca^{2+} ionty reagují s necukernými látkami za vzniku nerozpustných vápenatých solí, které lze následně odfiltrovat a šťávu tak vyčistit. Příklad reakci Ca^{2+} iontů s kyselinou šťavelovou uvádí následující rovnice.

¹ difuzér – velká nádoba s vyhřívaným pláštěm, do které jsou z jedné strany přiváděny řepné řízky, ze strany druhé horká voda



Obdobnou roli hrají i ionty OH^- . Neutralizují volné kyseliny a s Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} ionty reagují za vzniku nerozpustných hydroxidů, které lze rovněž odfiltrovat.

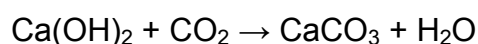


Vápenné mléko je ke šťávě přidáváno i z dalších důvodů. Pro další technologický proces je třeba neutralizovat kyselou reakci difúzní šťávy a v poslední řadě je vápenným mlékem šťáva desinfikována.

Otázka: Co je to NEUTRALIZACE?

Neutralizace je reakce kyseliny a zásady, při níž vzniká sůl a voda. V našem případě reaguje vápenné mléko (zásada) s kyselinami přirozeně obsaženými v řepě (viz složení řepy).

Dále šťáva pokračuje do **saturačního zařízení**¹, ve kterém probíhá saturace oxidem uhličitým. Saturace se provádí k odstranění přebytečných Ca^{2+} iontů. Do saturačního zařízení je vháněn oxid uhličitý; vzniká uhličitán vápenatý, který lze odfiltrovat (na **kalolisech**² či jiných filtrech). Reakci uvádí následující rovnice.



Otázka: Co je to SATURACE?

Saturace, neboli sycení. V našem případě nasycení roztoku oxidem uhličitým, který reaguje s přebytečnými Ca^{2+} ionty v roztoku za vzniku uhličitanu vápenatého.

Výsledkem etapy je tzv. lehká šťáva, zbytky sraženin na filtrech se nazývají saturační kaly.

3. 4 Odpařování lehké šťávy, vznik těžké šťávy a cukroviny

Cíl:

- zahuštění lehké difúzní šťávy ke krystalizaci (získá těžké šťávy)
- získání tzv. cukroviny (směs krystalků cukru a matečného sirobu)

¹ saturační zařízení (saturák) – válcovitá nádoba s míchadlem u dna, přívodem šťávy, přívodem oxidu uhličitého a odvodem šťávy. V horní části nádoby je komín pro odvod plynů.

² kalolis - filtrační lis určený k tlakové filtraci kapalin, obsahující řadu rámců s napnutými plachetkami. Pracuje diskontinuálně (střídavě). Rámce s plachetkou zanesené kalem jsou periodicky čištěny, zatímco v jiném přístroji probíhá filtrace.

Lehká šťáva má světle žlutou barvu a je téměř zbavena všech nežádoucích látek. V roztoku je rozpuštěna sacharosa (přibližně 12-15 %) a již velmi malý podíl necukerných látek. Sacharosu z roztoku izolujeme krystalizací. Lehkou šťavu je třeba zahustit ke krystalizaci – odpařit přebytečnou vodu. Zahušťování ke krystalizaci se provádí ve **vakuových odparkách**¹. Objem šťávy se zmenší přibližně na čtvrtinu původního objemu a získá se tzv. těžká šťáva (zahuštěná) s obsahem 60 % cukru.



Obr. 7 Soustava odparek

Otázka: Co je to ODPAROVÁNÍ? Proč se využívá práce za sníženého tlaku?

Odpařování patří mezi dělicí metody látek. Rychlost odpařování a jeho účinnost závisí na velikosti povrchu odpařovaného roztoku, na rychlosti odtahu vzniklých par a především na teplotě a tlaku. Teplotu varu roztoku můžeme snížit právě za použití vakua (sníženého tlaku). Ušetříme tím energii potřebnou pro zahřívání šťávy.

Těžká šťáva je dále zahušťována ve **varostrojích**² neboli zničích. Ve varostrojích se šťáva zahřívá a odpařuje se zbytek vody tak dlouho, až začne cukr ve šťávě krystalovat. Krystalizace cukru se dokončí v zařízeních zvaných **krystalizátor**.

Otázka: Co je to KRYSTALIZACE? Za jakých podmínek vykrystaluje cukr ze šťávy?

Krystalizace patří mezi základní chemické operace, pomocí nichž lze oddělit složky směsi. „Aby mohla sacharosa krystalovat, je třeba vytvořit přesycený cukerný roztok. V technických cukerných roztocích za přítomnosti necukerných látek je rozpustnost sacharosy obvykle vyšší. Přesycený cukerný roztok se připraví např. tím způsobem, že se rychle zchladí nasycený roztok technický. Z roztoku se ihned nevytloučí krystaly cukru a takový roztok pak obsahuje více rozpuštěného cukru, než odpovídá nasycenému roztoku. Tento přebytečný cukr vykrystaluje, přidají-li se k roztoku krystalky cukru (roztok se očkuje).“ [1]

3. 5 Získání surového cukru a jeho čištění

Cíl:

- oddělení krystalů cukru z cukroviny
- očištění surového cukru

¹ vakuová odparka - soustava několika sériově zapojených těles vyhříváných parou. První těleso je vyhříváno parou o teplotě 130°C, voda vypařená v prvním tělese se vede do dalšího tělesa jako tzv. brýdová pára atd. Výpary z poslední odparky se ochlazují studenou vodou, čímž vzniká podtlak a tím se snižuje tlak v odparkách.

² varostroj - nádoba s trubkovou topnou komorou a míchadlem

- zpracování matečného sirobu na další podíl cukru
- příprava bílé cukroviny

Krystalky sacharosy je třeba oddělit od matečného sirobu. K tomuto účelu se využívají **odstředivky**¹. Oddělený cukr má žlutavou barvu a je nazýván surovým cukrem (v obchodech se zdravou výživou si můžete zakoupit i surový cukr). Oddělený matečný roztok se nazývá zelený sirob.

Zelený sirob se zpracuje na méně kvalitní (tzv. zadinový) cukr a odpadním produktem je tzv. melasa (obr. 8), která ještě obsahuje menší podíl cukru a lze ji využít jako krmivo, popř. po zkvašení k výrobě lihu.

Surový řepný cukr se příliš nehodí k přímé spotřebě – jeho krystaly jsou žluté a lepivé. Je třeba je očistit. Surový cukr se čistí promýváním vodou v odstředivkách. Následuje filtrace cukerného roztoku přes bavlněné, polyamidové či kovové tkaniny a porézní materiály z keramiky.

Poslední úpravou je odbarvení cukerného roztoku. K tomuto účelu se využívá metody **adsorpce**. Jako absorbenty jsou využívány ionexy, aktivní uhlí či hlinky. Výsledný cukerný roztok s krystalky cukru se nazývá bílá cukrovina.

Otázka: Co je to ADSORPCE? Na jakém principu absorbenty fungují?

Z fyzikálního hlediska se jedná o poutání látky pomocí van der Waalsových sil na povrchu vhodného adsorbentu (aktivní uhlí, silikagel). V případě tzv. chemisorpce jsou látky poutány na povrch adsorbentu chemickými vazbami.



Obr. 8 Melasa

¹ odstředivka (centrifuga) - sestává z dvouplášťové komory, vevnitř je buben se sítem. Do bubnu se napustí cukrovina a buben se roztočí. Vlivem odstředivé síly procházejí kapky sirobu přes síto bubnu a cukr zůstává uvnitř.

3. 6 Zpracování bílé cukroviny

Bílá cukrovina se dále zpracovává krystalizací na krystalový cukr, kostkový cukr a cukr moučku. Dříve se vyráběly i cukrové homole, dnes slouží pouze jako suvenýr.

4 Doplnující informace pro učitele

Kapitola 1. Historie a současnost cukrovarnictví v České republice

Výroba bílého cukru byla po dlouhou dobu tajena. První technologii zpracoval v roce 1764 francouzský chemik Duhamel de Monceau. První kostkový cukr u nás byl vyroben v Dačicích v roce 1841. Patent získal roku 1843 ředitel rafinerie J. Ch. Rada. Čeští cukrovarníci se nemálo zasloužili o rozvoj rafinace cukru a kvalita našich cukrovarnických výrobků byla obecně uznávanou normou.

- vzhledem k vysoké ceně třtinového cukru se cukrovarníci pokoušeli vyrobit cukr z jiných plodin, mimo jiné i z řepy
- v roce 1829 byl založen první průmyslový cukrovar v Kostelním Vydří (okres Jindřichův Hradec)
- v období 1831 – 1945 nastal boom v zakládání cukrovarů u nás, plně fungovalo přes 150 cukrovarů
- po roce 1990 fungovalo již pouze 60 cukrovarů, po roce 2004 zbylo pouhých 10 cukrovarů

7 fungujících cukrovarů (2011):

- Odštěpný závod Opava - Vávrovice
- Ředitelství a závod Hrušovany nad Jevišovkou
- Cukrovar Dobruška
- Cukrovar České Meziříčí
- Cukrovar Vrbátky, a.s.
- Cukrovar Prosenice
- Litovelská cukrovarna, a.s.

Kapitola 2. Rostliny využívané pro výrobu cukru

Zařazení cukrové řepy do systému rostlin

říše:	Plantae – rostliny
oddělení:	Magnoliophyta – rostliny krytosemenné
třída:	Rodopsida – vyšší dvouděložné rostliny
řád:	Caryophyllales – hvozdíkotvaré
čeleď:	Chenopodiaceae – mečíkovité
rod:	Beta – řepa
druh:	Beta vulgaris – řepa obecná

Zařazení cukrové třtiny do systému rostlin:

říše:	Plantae – rostliny
oddělení:	Magnoliophyta – rostliny krytosemenné
třída:	Liliopsida – rostliny jednoděložné

řád: Poales – lipnicotvaré
čeleď: Poaceae – lipnicovité
rod: Saccharum – třtina
druh: Saccharum officinarum – třtina cukrová

Podkapitola 3. 3 Čištění difúzní šťávy

Po první saturaci je odfiltrován kal buď na zařízeních zvaných kalolis, nebo na jiných typech filtračních zařízení. Ve šťávě je obsažen i hydrogenuhličitán vápenatý, který se následným vyvařením rozloží na uhličitán, který je možno odfiltrovat. Děj je zapsán pomocí následující rovnice.



Pro maximální snížení vápenatých iontů v difúzní šťávě se provádí druhá saturace oxidem uhličitým. Neodstraní-li se vápenaté soli dokonale, odparka se rychle inkrustuje. Vápenaté soli v cukerných šťávách působí obtíže při vaření cukrovin, zvyšují množství melasy a tím ztráty cukru.

Druhá saturace se provádí při teplotě 95 – 98°C a oxidem uhličitým se saturuje až do dosažení pH 9 – 9,5. Při druhé saturaci vzniká hydrogenuhličitán vápenatý, ten se odstraňuje vyvařováním na tzv. **vyvařováku**, kde se šťáva zahřívá na teplotu 100°C.

Podkapitola 3. 4 Odpařování lehké šťávy, vznik těžké šťávy a cukroviny

Při zahušťování ve varostrojích se vytvoří směs krystalů a matečného roztoku (sirobu) tzv. I. cukrovina. Přibližně ¾ cukru vykrystalizuje. Zbytek cukru zůstává v roztoku. Růst krystalů se kontroluje tzv. cukroskopem („lupa“) popř. se využívá automatické kontroly elektrické vodivosti. Vodivost roztoku klesá s rostoucí koncentrací cukru v roztoku.

Podkapitola 3. 5 Získávání surového cukru a jeho čištění

Získávání čisté cukroviny je mnohem složitější proces, v textu je popsán pouze jednoduše. Ve skutečnosti se proces popsáný v textu několikrát opakuje. Cukrovina se několikrát čistí, svařuje, nechá se krystalovat a odstřeďuje.

Podkapitola 3. 6 Zpracování bílé cukroviny – Výroba krystalového cukru

Bílá cukrovina se odstředí a získaný krystalový cukr se smíchá s nasyceným cukerným roztokem za vzniku tzv. umělé cukroviny. Umělá cukrovina se odstředí, vykrývá parou nebo vodou a získá se konečný produkt – krystalový cukr.

Krystalový cukr je třeba vysušit. K sušení se využívá vzduch ohřátý na 70°C nebo tzv. fluidní metoda. Při fluidní metodě jsou krystalky na roštu zespod profukovány proudem vzduchu, dojde k odstranění vlhkosti, ochlazení krystalků a zároveň odprášení cukru. Vysušený cukr krystal se třídí na sítěch dle velikosti zrn, plní se do jutových nebo papírových pytlů.

Otázka: Jaký je rozdíl mezi krystalovým cukrem a krupicovým cukrem?

„Cukr krystal - nejméně 70 % krystalů cukru má velikost 0,4 - 0,2 mm.

Cukr krupice - nejméně 70 % krystalů cukru má velikost 0,16 – 0,8 mm a maximálně 5 % krystalů cukru má velikost nad 1 mm.“[2]

Výroba kostkového cukru

K výrobě kostek se používá kostková moučka, která vznikla ze speciálně upravené cukroviny, nebo netříděný krystalový cukr. Tento materiál se vlhčí vodou a cukerným roztokem, lisuje se na tyčinky, které se vysuší a rozsekají na kostky. Možné je přímé lisování do formy kostek.

Vyrábějí se kostky různých velikostí, kvádry i kostky ve tvaru karetních symbolů, tzv. cukr bridž.

Výroba moučkového cukru

Materiálem pro výrobu moučkového cukru je krystalový cukr s malými zrny nebo zbytky kostkového cukru. Tento cukr se rozdrtí na mlýnech. Mlýnice musí být umístěna v samostatném objektu mimo ostatní části cukrovaru nebo alespoň oddělena železnými vraty. Opatření jsou nutná z důvodu vzniku výbušného cukerného prachu.

Aby se zabránilo tvrdnutí a rozpouštění cukerné moučky při skladování, přidává se k cukru modifikovaný škrob. Zrnka škrobu případnou vlhkost pojmu.

Výroba cukrových homolí

V dřívějších dobách se cukr pro domácí použití vyráběl ve formě homolí (obr. 9). Dnes je již toto zboží vyráběno pouze jako suvenýr pro turisty.

Lité homole se vyráběly tak, že se horká cukrovina nalévala do forem z ocelového plechu, na špičce opatřených otvorem. Forma s cukrovinou se nasadila na hřebík vyčnívající ze dna vozíku, na který se homole skládaly po ztuhnutí cukroviny. Po ztuhnutí se homoly sejmuly ze hřebíků a vložily do homolové odstředivky, ve které se dokonale očistily. Dokonale bílá homole se pak vyrazila z ocelové formy a vysušila v sušárně. Vysušené homole se očistily, ofrézovaly u spodu a zabalily do papíru.

Lisované homole se vyráběly lisováním nepatrně ovlhčené moučky v lisu. Pak se homole sušily a upravily jako homole lité.



Obr. 9 Cukrové homole

5 Přehled použité literatury a internetových odkazů

1. Pelikán, M., Hřivna, L., Humpola, J.: *Technologie sacharidů*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno 1999.
2. Cukrovary a lihovary TTD, [online 2011-04-27]. Dostupné z [www <http://www.cukrovarytttd.cz/caste-otazky/caste-otazky/>](http://www.cukrovarytttd.cz/caste-otazky/caste-otazky/)
3. Neiser, J.: *Základy chemických výrob: Vysokoškolská učebnice pro studenty pedagogických a přírodovědeckých fakult studijního oboru 76-12-8 učitelství všeobecně vzdělávacích předmětů*. Praha 1988.
4. Kraus, J.: *Nový akademický slovník cizích slov: kolektiv autorů pod vedením Jiřího Krause*. Academia, Praha 2007.
5. Andrlík, K., Petrů, F.: *Základy chemických výrob*. SPN, Praha 1965.
6. Kopřiva, J.: *Chemie pro III. ročník gymnázií (1. díl)*. SPN, Praha 1979.
7. Moravskoslezské cukrovary a.s., [online 2011-4-27]. Dostupné z [www <http://www.agrana.cz>](http://www.agrana.cz)
8. Cukrovar Vrbátky, a.s., [online 2011-4-27]. Dostupné z [www <http://www.cukrovarvrbatky.cz>](http://www.cukrovarvrbatky.cz)
9. Hanácká potravinářská společnost, a.s., [online 2011-4-27]. Dostupné z [www <http://www.hps.cz>](http://www.hps.cz)

Zdroje obrázků:

- Obrázek 3: Cukrová řepa [online 2011-12-2]. Dostupné z [www <www.tvujdum.cz>](http://www.tvujdum.cz)

- Obrázek 4: Cukrová třtina [online 2011-2-5]. Dostupné z [www](http://www.spriinc.org) <www.spriinc.org>
- Obrázek 6: Vzorec sacharosy [online 2011-2-5]. Dostupné z [www](http://www.nejlevnejsidoplanky.cz/nejlevnejsidoplanky/5-Zajimavosti/6-Sacharidy) <<http://www.nejlevnejsidoplanky.cz/nejlevnejsidoplanky/5-Zajimavosti/6-Sacharidy>>
- Obrázek 7: Řepné řízky [online 2011-2-5]. Dostupné z [www](http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=376) <<http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=376>>
- Obrázek 8: Nože řezačky [online 2011-4-21]. Dostupné z [www](http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/VLP/Foto/Foto.htm) <<http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/VLP/Foto/Foto.htm>>
- Obrázek 9: Kalolis [online 2011-4-21]. Dostupné z [www](http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/VLP/Foto/Foto.htm) <<http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/VLP/Foto/Foto.htm>>
- Obrázek 10: Plachetka se saturačním kalem [online 2011-4-21]. Dostupné z [www](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kalolis) <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kalolis>>
- Obrázek 11: Systém odparek [online 2011-4-15]. Dostupné z [www](http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/VLP/Foto/Foto.htm) <<http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/VLP/Foto/Foto.htm>>
- Obrázek 12: Varostroj [online 2011-4-15]. Dostupné z [www](http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/VLP/Foto/Foto.htm) <<http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/VLP/Foto/Foto.htm>>
- Obrázek 13: Odstředivka [online 2011-4-21]. Dostupné z [www](http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=380) <<http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=380>>
- Obrázek 14: Melasa [online 2011-4-21]. Dostupné z [www](http://www.nazeleno.cz/bio/zdrava-vyziva-2/bily-cukr-trtinovy-cukr-nebo-prirodni-sladidla.aspx) <<http://www.nazeleno.cz/bio/zdrava-vyziva-2/bily-cukr-trtinovy-cukr-nebo-prirodni-sladidla.aspx>>
- Obrázek 15: Výroba cukrových homolí [online 2011-4-27]. Dostupní z [www](http://www.cukrovaryttd.cz) <<http://www.cukrovaryttd.cz>>
- Obrázek 16: Cukrové homole [online 2011-3-26]. Dostupné z [www](http://johnmadjackfuller.homestead.com/Sugarloaf.htm) <<http://johnmadjackfuller.homestead.com/Sugarloaf.htm>>

MAKROMOLEKULÁRNÍ LÁTKY, SYNTETICKÉ POLYMERY

Text zpracoval RNDr. Josef Husárek, Ph.D.

Osnova

- 1 Úvod do problematiky makromolekulárních látek
 - 1.1 Základní pojmy
 - 1.2 Klasifikace polymerů
 - 1.3 Složení, struktura a obecné vlastnosti syntetických polymerů
 - 1.3.1 Stavební a strukturní jednotka
 - 1.3.2 Faktory ovlivňující vlastnosti syntetických polymerů
- 2 Syntéza polymerních látek
 - 2.1 Polymerace
 - 2.1.1 Přehled některých polymerů vyráběných homopolymerací
 - 2.1.2 Polymery vyráběné kopolymerací
 - 2.2 Polykondenzace
 - 2.3 Polyadice
- 3 Užití plastů
 - 3.1 Recyklace odpadů z plastů
 - 3.2 Třídění plastových odpadů
- 4 Doplnující informace pro učitele
- 5 Přehled použité literatury a internetových odkazů

1 Úvod do problematiky makromolekulárních látek

Přírodní materiály jako je například dřevo, bavlna, vlna, kůže a slonovina používali lidé po tisíce let. Teprve s rozvojem vědy a s nástupem moderních analytických metod se začali lidé zajímat o strukturu těchto materiálů a snažili se tyto dary přírody nahradit podobnými materiály, které budou mít srovnatelné užité vlastnosti.

Kolem roku 1907 se podařilo Baekelandovi synteticky vyrobit první umělý polymer, který byl pojmenován jako bakelit a který vzápětí našel významné technické využití v elektrotechnice jako izolant. Po dobu následujících desetiletí se polymery staly středem zájmu mnoha chemiků, kteří připravili nové polymery na základě syntézy malých organických molekul.

Velmi brzy se poznalo, že syntetické polymery svými vlastnostmi mohou nahradit nejen přírodní polymery, ale často i materiály kovové, keramiku i sklo. S ohledem na skutečnost, že se syntetické polymery vyrábějí z relativně levných a dostupných surovin a že mají výhodné chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti, vysokou stálost a odolnost vůči přírodnímu prostředí, našly využití zejména ve stavebnictví, v elektrotechnice, v automobilovém a textilním průmyslu, na výrobu předmětů běžné spotřeby, obalů, lepidel, laků a nátěrových hmot. Nutno poznamenat, že zmíněná stálost a odolnost vůči přírodnímu prostředí nutí v současné době společnost k zodpovědnějšímu používání a recyklaci výrobků ze syntetických polymerů a také k syntéze nových typů materiálů, které se po svém komerčním využití stanou součástí přírodního cyklu a životní prostředí zatíží jen minimálně.

1.1 Základní pojmy

Makromolekuly jsou molekulové systémy složené z velkého počtu atomů vázaných chemickými vazbami do dlouhých řetězců. Tyto řetězce tvoří pravidelně se opakující části, které nazýváme **stavební** neboli **monomerní** jednotky. Počet stavebních jednotek vázaných v makromolekule je zpravidla různý a uvádí se pomocí **polymeračního stupně (n)**, který může mít hodnotu 10 až 10^6 . Sloučeniny s nízkým polymeračním stupněm ($n < 10$) se nazývají **oligomery**, s vyšším polymeračním stupněm ($n > 10$) to jsou **polymery**.

1.2 Klasifikace polymerů

Polymer lze rozdělit podle několika kritérií.

Podle svého původu na:

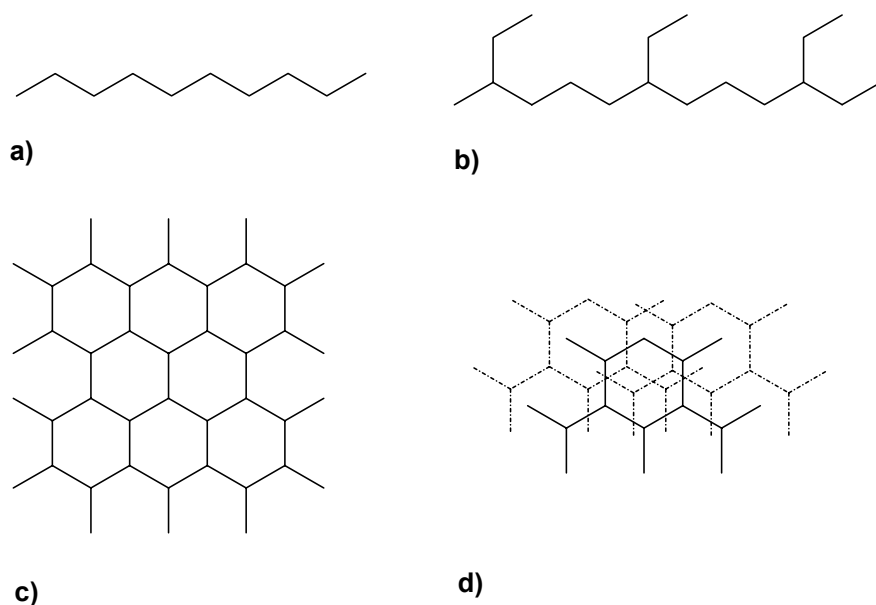
- a) přírodní polymery** – vznikají v rostlinách či v živočišných organismech složitými biochemickými procesy (např. bílkoviny, polysacharidy, nukleové kyseliny),
- b) syntetické polymery** – vyrábějí se z jednoduchých organických sloučenin reakcemi, při nichž se velký počet molekul výchozích látek spojuje v makromolekulu (např. polystyren, polyethylen, bakelit).

Syntetické polymery rozdělujeme:

- podle typu chemických reakcí, kterými vznikají, na:
 - a)** polymery připravené polymerací,
 - b)** polymery připravené polykondenzací,
 - c)** polymery připravené polyadicí.

- podle tvaru makromolekulárního řetězce na polymery (Obr. 1):
 - a)** lineární,
 - b)** rozvětvené,
 - c)** plošně zesíťované,
 - d)** prostorově zesíťované.

- podle struktury a fyzikálních kritérií na:
 - a)** termoplasty – zahříváním měknou, stávají se plastickými a mohou se opakovaně tvarovat (např. polyethylen, polypropylen),
 - b)** termosety – přechodně tvárné, zahříváním se chemicky mění a tím ztrácejí plastičnost; mají molekulu trojrozměrně zesíťovanou, jsou tvrdé, netavitelné a nerozpustné ve většině rozpouštědel (např. bakelit),
 - c)** elastomery – pružné, účinkem vnější síly se deformují a poté opět zaujmají původní tvar, zahříváním měknou; mají dlouhé a velmi málo propojené řetězce (např. syntetický kaučuk).



Obr. 1 Znázornění makromolekulárního řetězce polymeru:

a) lineárního, **b)** rozvětveného, **c)** plošně zesíťovaného, **d)** prostorově zesíťovaného.

1.3 Složení, struktura a obecné vlastnosti syntetických polymerů

1.3.1 Stavební a strukturní jednotka

Jak bylo již napsáno v předešlém textu, syntetické polymery se skládají ze strukturně složitých makromolekul, které většinou tvoří atomy uhlíku a vodíku. Ve skeletu makromolekuly mohou být také přítomny i jiné prvky, jako jsou například kyslík, dusík, síra nebo křemík. Přítomnost některého z těchto prvků může významně ovlivnit vlastnosti syntetického polymeru a jeho následné praktické využití.

Pro lepší pochopení již tak složité problematiky si nejprve vysvětlíme tři základní pojmy, jako jsou **monomer**, **stavební** a **strukturní jednotka**.

Monomer – výchozí látka, jejíž molekuly se mohou spojovat v makromolekuly.

Stavební jednotka (mer, monomerní jednotka) – pravidelně se opakující část makromolekuly, která má stále stejné složení.

Strukturní jednotka – představuje nejjednodušší uspořádání stavebních jednotek ve struktuře makromolekuly.

Některé makromolekulární látky mají totožnou stavební a strukturní jednotku (např. polyethylen, Schéma 1). Tyto makromolekulární látky nazýváme obecně jako **homopolymery**. Pokud se však strukturní jednotka makromolekulárních látek skládá z odlišných stavebních jednotek, pak se jedná o **kopolymery** (např. butadien-styrenový kaučuk, Schéma 2).

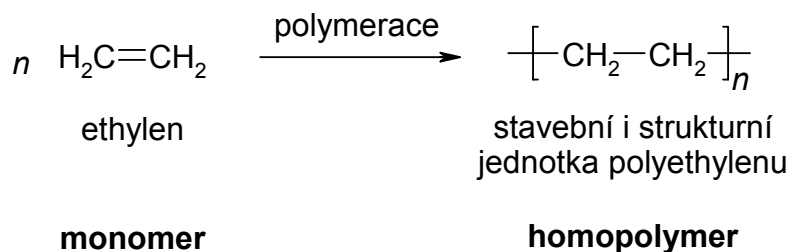


Schéma 1

Grafické znázornění strukturní jednotky homopolymeru (polyethylen).

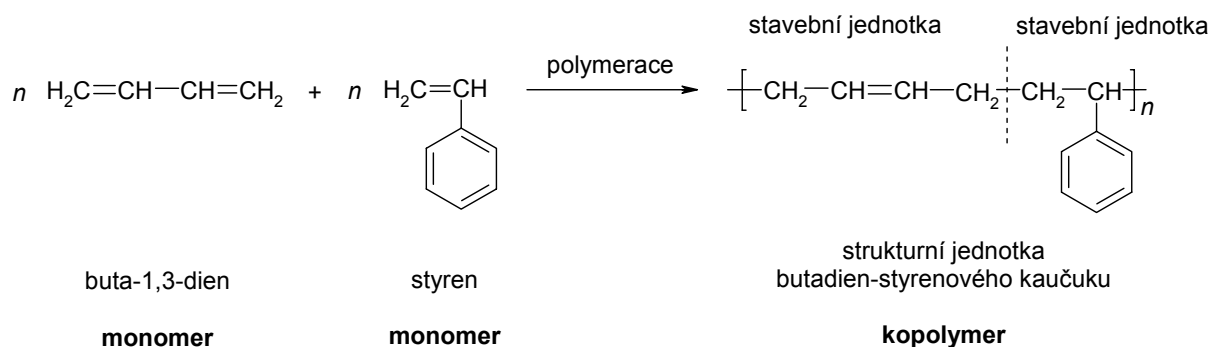


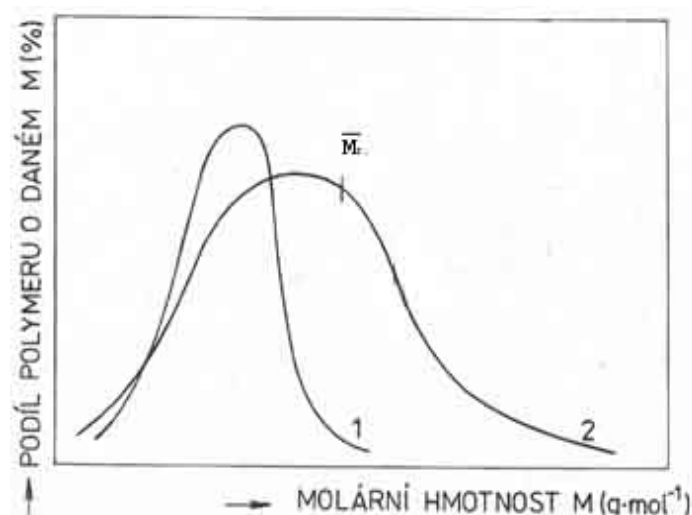
Schéma 2

Grafické znázornění strukturní jednotky kopolymeru (butadien-styrenový kaučuk).

1.3.2 Faktory ovlivňující vlastnosti syntetických polymerů

Vztah mezi chemickým složením, strukturou a vlastnostmi látek platí jak pro malé organické molekuly, tak i pro makromolekulární sloučeniny. Jedním z činitelů ovlivňujících vlastnosti polymerů je **velikost makromolekul**. Polymery, které tvoří malé makromolekuly, mají nižší polymerační stupeň (n), kratší řetězec a tím i nižší relativní molekulovou hmotnost. Při běžné teplotě jsou kapalné, lepkavé, rozpustné v organických rozpouštědlech. Naopak čím je řetězec delší, tím má polymer vyšší relativní molekulovou hmotnost, je pevnější a lépe odolává rozpouštědlům.

Polymery obecně nejsou chemická individua, ale jsou to směsi, obsahující makromolekuly různých velikostí. Tato vlastnost vede k pojmu „průměrná relativní molekulová hmotnost“ a v zásadě vyjadřuje kvantitativně stupeň polymerace. Mnohem lépe tuto skutečnost popisuje tzv. **distribuční křivka**, která graficky vyjadřuje distribuci (rozdělení) četnosti molekul s určitou konkrétní relativní molekulovou hmotností v dané směsi. Grafické vyjádření je na Obr. 2.



Obr. 2 Distribuční křivka (převzato z [8])

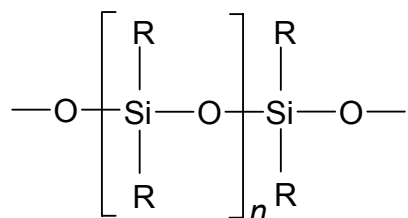
1 - úzká, 2 - široká distribuční křivka, $\overline{M}_n$ - průměrná relativní molekulová hmotnost.

V praxi se snažíme o přípravu polymerů s úzkou distribuční křivkou, protože takové polymery mají obvykle lepší užité vlastnosti.

Tvar makromolekul určuje rozpustnost v polárních nebo nepolárních rozpouštědlech a chování polymeru za zvýšené teploty. Lineární polymery jsou při vyšší teplotě měkké a rozpustné ve většině organických rozpouštědel. Rozvětvené a prostorově zesíťované polymery se zahříváním chemicky mění, ztrácejí plastičnost a mají omezenou rozpustnost.

Energie chemické vazby mezi atomy prvků v řetězci patří mezi další významné činitele, které určují vlastnosti a použitelnost polymerů. Pokud jsou vazby mezi atomy v řetězci makromolekuly pevné, energie těchto chemických vazeb bude vysoká a polymer bude stabilní. Příkladem mohou být **silikony**, u kterých se pravidelně střídají v řetězci atomy křemíku a kyslíku (Obr. 3, energie vazby Si–O je 444,1 kJ/mol). V důsledku vysoké energie vazby Si–O budou stálejší, na rozdíl od

polymerů složených jen z atomů uhlíku, u kterých energie chemické vazby dosahuje mnohem nižší hodnoty (energie vazby C–C je 347,8 kJ/mol). Silikony mají dobré elektroizolační vlastnosti, odolávají extrémně vysokým i nízkým teplotám a také jsou vodou nesmáčlivé. Těchto vlastností se využívá k výrobě mazacích olejů, vazelín, past pro údržbu strojů nebo také k výrobě impregnačních či leštících přípravků pro úpravu povrchu obuvi, sportovního oblečení, karosérie aut apod.



Obr. 3 Strukturní jednotka silikonů

(R = organický uhlovodíkový zbytek, např. –CH₃, –C₂H₅).

Mezi řetězci makromolekul mohou rovněž působit **mezimolekulární síly**. Příkladem jsou vodíkové můstky, prostřednictvím kterých se zvyšuje soudružnost polymeru, pevnost, teplota tání nebo odolnost proti rozpouštědlům. Vodíkové můstky se nacházejí například u polyamidů.

2 Syntéza polymerních látek

Chemické reakce, kterými vznikají syntetické polymery, se nazývají **polyreakce**. Podle průběhu se dají dělit na **řetězové**, při kterých dochází k postupnému spojování molekul monomerů v dlouhé řetězce, a na **stupňovité**, u kterých se monomery nejprve slučují v menší či větší celky a ty se pak vzájemně spojují ve velké makromolekuly. V praxi se polyreakce dělí na **polymerace**, **polykondenzace** a **polyadice**.

2.1 Polymerace

Polymerace je chemická reakce, při níž se velký počet molekul monomeru spojuje v makromolekulu syntetického polymeru, přičemž nevzniká žádný vedlejší produkt. Pokud se polyreakce zúčastňuje pouze jeden typ monomeru, pak hovoříme o **homopolymeraci**. Naopak **kopolymerací** se rozumí takové polymerace,

při kterých reagují dva a více různých monomerů. V obou případech je nutné, aby výchozí látky (monomery) měly přítomnu alespoň jednu dvojnou vazbu.

2.1.1 Přehled některých polymerů vyráběných homopolymerací

Polyethylen

- zkratka: PE,
- Piktogram („recyklovatelný materiál“):



HDPE



LDPE

(vysokohustotní PE)

(nízkohustotní PE)

(high density PE)

(low density PE)

- vlastnosti: bílá, poloprůsvitná, na dotek matná, pružná a houževnatá látka; má vynikající elektroizolační vlastnosti; termoplastická látka, která se dá tvarovat na požadované výrobky,
- použití: obaly na potraviny, fólie, nádobí, hračky, lahve na chemikálie, hadice, izolace elektrických kabelů, ve zdravotnictví na výrobu umělých cév aj.,
- monomer: ethen (ethylen).

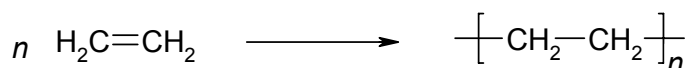


Schéma 3

Polymerace ethenu.

Polypropylen

- zkratka: PP,
- piktogram:



- vlastnosti: podobné jako u PE, je však pevnější; odolný teplotám do 160 °C,
- použití: obalový materiál, nádobí, izolace elektrických kabelů, ve zdravotnictví na výrobu injekčních stříkaček a předmětů, které se dají při teplotách nad 60 °C sterilizovat (zbavovat choroboplodných zárodků), na výrobu vláken do provazů a lan aj.,
- monomer: propen (propylen).

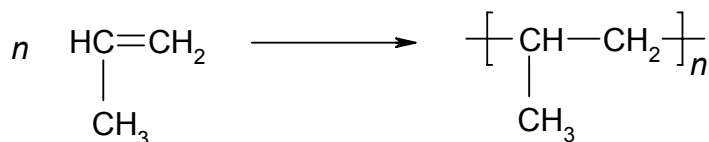


Schéma 4

Polymerace propenu.

Poly(vinylchlorid)

- zkratka: PVC,



PVC

- piktogram:

- vlastnosti: termoplastická látka, která se dá dobře tepelně tvarovat (měkne při 80°C); odolný vůči kyselinám i hydroxidům,
- použití: *neměkčený PVC* (tzv. Novodur) se používá na výrobu vodovodních trubek, tyčí či desek; *měkčený PVC* (tzv. Novoplast) na výrobu igelitu, fólií, plášťů do deště, hraček, filmů, ubrusů, lahví, umělých kožešin aj.,
- monomer: vinylchlorid.

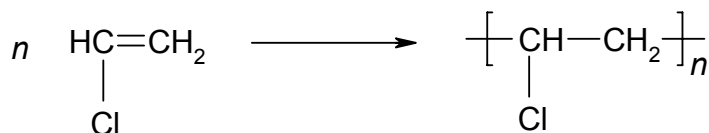


Schéma 5

Polymerace vinylchloridu.

Polystyren

- zkratka: PS,



- piktogram:

- vlastnosti: tvrdý, pevný, ale křehký; odolává kyselinám a zásadám, termoplast, rozpustný v organických rozpouštědlech (aldehydy, ketony, benzín), zvukový a nízkoteplotní izolátor,

- použití: na výrobu spotřebního zboží, obalů, hřebenů, misek, lžiček, kelímků od jogurtů; pěnový PS jako tepelný, popř. izolační materiál ve stavebnictví a chladiřnictví aj.,
- monomer: styren (vinylbenzen).

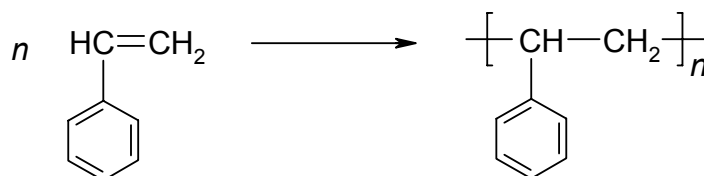


Schéma 6
Polymerace styrenu.

Poly(tetrafluoretylen)

- zkratka: PTFE,
- obchodní název: Teflon,
- vlastnosti: nehořlavý, nejedovatý termoplast, chemicky velmi odolný (odolává i horké lučavce královské),
- použití: speciální laboratorní technika, kostní náhrady v chirurgii, kuchyňské nádobí aj.,
- monomer: tetrafluorethen (tetrafluorethylen).

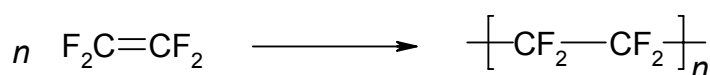


Schéma 7
Polymerace tetrafluorethenu.

Polybutadienový kaučuk

- zkratka: BR,
- dřívější název: Buna,
- vlastnosti: elastomer, vysoká pevnost v tahu, vysoce odolný proti oděru, vzniku trhlin,
- použití: výroba pneumatik,

- monomer: buta-1,3-dien,
- patří do skupiny syntetických kaučuků; vyrábí se polymerací konjugovaných dienů, u kterých se v molekule pravidelně střídá jednoduchá a dvojná vazba,
- syntetické kaučuky jsou základní surovinou pro výrobu *pryží*, nesprávně označovaných jako *guma*; pryž vzniká z kaučuku vulkanizací, což je děj, při kterém za tepla a v přítomnosti vulkanizačního činidla (síra, sirné sloučeniny) dojde ke vzniku polysulfidických můstků mezi makromolekulami kaučuku a k tvorbě řídké trojrozměrné polymerační sítě; čím déle vulkanizace probíhá, tím více můstků vzniká, výsledná pryž je tvrdší a odolnější proti stárnutí vlivem vzdušné oxidace, viz Obr. 4.

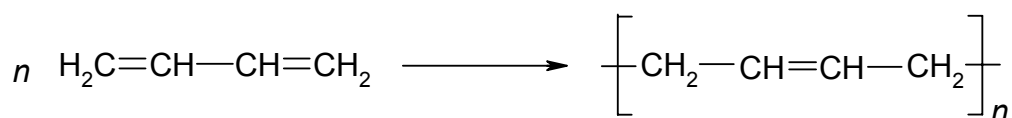
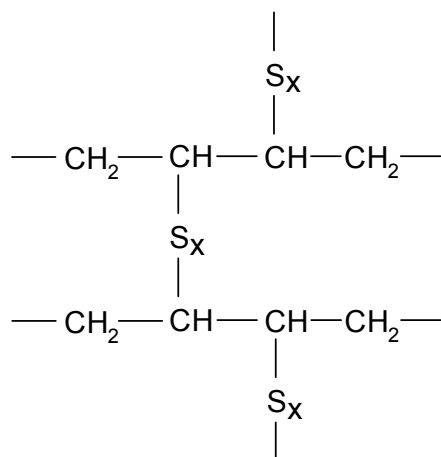


Schéma 8

Polymerace buta-1,3-dienu.



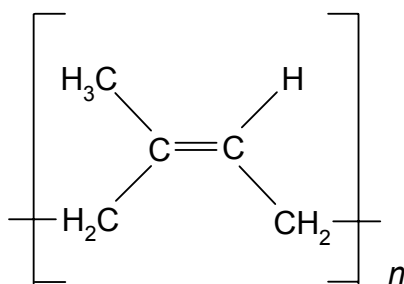
Obr. 4 Zesíťovaná struktura vulkanizovaného kaučuku ($x = 2-6$).

- *přírodní pryž* se vyrábí vulkanizací *krepy*, která vzniká opakovaným sušením a vodním loužením sraženiny z latexového mléka a kyseliny mravenčí; zdrojem latexového mléka je tropický strom Kaučukovník brazilský (Obr. 5),
- po chemické stránce odpovídá přírodní kaučuk z kaučukovníku polyisoprenu v *cis*-konfiguraci (Obr. 6),

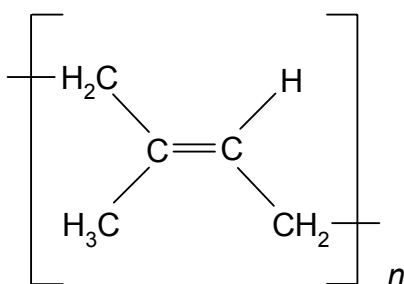
- *Gutaperča* je rovněž přírodní materiál pocházející ze stromu *Palaquium gutta*, chemicky se jedná o praktický čistý *trans*-izomer polyisoprenu (Obr. 7), který má mnohem menší pružnost než kaučuk.



Obr. 5 Odkapávající latexové mléko z dřeviny kaučukovníku (převzato z [13]).



Obr. 6 Strukturní jednotka přírodního kaučuku (*cis*-izomer).



Obr. 7 Strukturní jednotka gutaperči (*trans*-izomer).

2.1.2 Polymery vyráběné kopolymerací

Polymerace, které se účastní dva nebo více různých monomerů s násobnou vazbou, označujeme jako **kopolymerace**. Mezi polymery vyráběné kopolymerací bychom mohli zařadit velkou skupinu látek, u kterých výsledný makromolekulární řetězec obsahuje stavební jednotky obou monomerů v různém pořadí nebo poměru.

Dají se tak vyrobit různé syntetické kaučuky (butadien-styrenový kaučuk, butadien-akrylonitrilový kaučuk aj.) s vhodnými mechanickými vlastnostmi, jako jsou např. pevnost a pružnost.

Butadien-styrenový kaučuk

- zkratka: SBR,
- dřívější název: Krallex, Buna S,
- vlastnosti: elastomer, vysoká pevnost v tahu, vysoce odolný proti oděru, vzniku trhlin,
- použití: výroba pneumatik, latexů (nátěrové a spojovací hmoty),
- monomery: buta-1,3-dien, styren (viz Schéma 2).

2.2 Polykondenzace

Polykondenzace je polyreakce, při které dochází k reakci molekul dvou různých monomerů, z nichž každý obsahuje nejméně dvě reaktivní funkční skupiny (např. $-OH$). Na rozdíl od polymerace má stupňovitý průběh, při kterém se monomery nejprve slučují v menší či větší celky, které se pak vzájemně spojují v obrovské makromolekuly. Ve výrobní praxi to představuje značnou výhodu, neboť tak můžeme z reakční směsi kdykoliv izolovat makromolekuly s různou délkou řetězce a tím i s různými fyzikálními vlastnostmi. Stupňovité polykondenzační reakce se od řetězových polymeračních reakcí liší i z termodynamického hlediska, jsou to obvykle endotermické děje, u kterých musíme do reakční soustavy dodávat teplo. Na rozdíl od polymerace vzniká při polykondenzaci vždy vedlejší produkt, jako je nejčastěji voda, amoniak nebo chlorovodík.

Mezi polymery vznikající polykondenzací patří například polyestery, polyamidy, fenolformaldehydové a močovinoformaldehydové pryskyřice.

Polyestery se vyrábějí z dvojsytných alkoholů a dikarboxylových kyselin. Používají se k výrobě textilních materiálů (např. tesil, terylen), nejčastěji ve směsi s přírodními vlákny (vlna, bavlna). Tyto materiály jsou pevné, pružné, nemačkové, rychle schnoucí a odolné vůči molům i plísním. Nevýhodou je jejich hořlavost, schopnost nabíjet se statickou elektřinou a malá schopnost pohlcovat pot.

Z polyesterů se rovněž zhotovují lana, fotografické filmy nebo plastové lahve (PET, Schéma 9). Významné jsou i **polyesterové sklolamináty** (polyesterové pryskyřice vyztužené skelnými vlákny), neboť mají velkou pevnost, dobré elektroizolační vlastnosti a odolávají chemikáliím. Používají se k výrobě automobilových karosérií, letadel, střešních krytin, potrubí v chemických provozech aj.

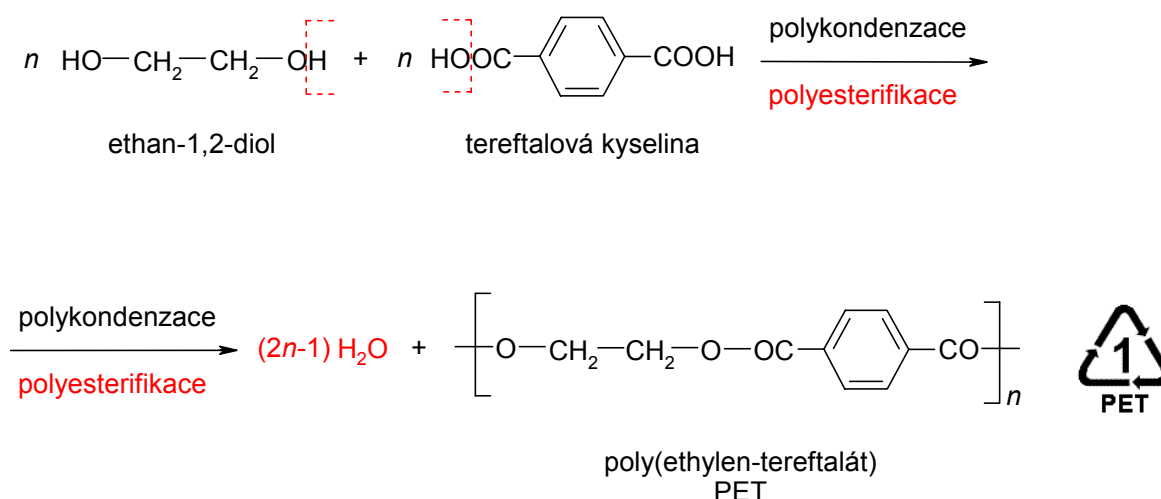
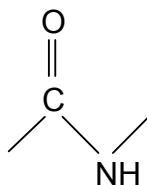


Schéma 9

Polykondenzace ethan-1,2-diolu a tereftalové kyseliny.

Polyamidy jsou další významné polykondenzáty. Připravují se polykondenzací diaminů s dikarboxylovými kyselinami (např. polykondenzát *Nylon*) nebo polymerací cyklických amidů (např. polykondenzát *Silon*; na jeho přípravě se podílel slavný český chemik Otto Wichterle, který je více znám v souvislosti s objevem měkkých kontaktních očních čoček). Molekuly polyamidů obsahují peptidickou vazbu (Obr. 8), která se v řetězcích pravidelně opakuje, tudíž můžeme tyto látky považovat za syntetickou obdobu bílkovin.



Obr. 8 Peptidická vazba.

Materiály z polyamidů jsou velmi pevné, tvrdé a málo se opotřebovávají. Pro tyto vlastnosti se používají k výrobě ozubených kol a ložisek, dále k výrobě textilních vláken, užitkových předmětů, fólií aj.

Fenolformaldehydové pryskyřice (fenoplasty) jsou ze všech plastů nejdéle známé. V roce 1907 připravil L. H. Baekeland první fenoplast kondenzací fenolu s formaldehydem. Uvedená polykondenzace může probíhat v kyselém i zásaditém prostředí. V případě kyselého prostředí vzniká lineární polykondenzát, který se nazývá *Novolak* (Schéma 10). Je to termoplast, který je rozpustný v řadě organických rozpouštědel a používá se k výrobě nátěrových hmot a lepidel.

Uskuteční-li se kondenzace v zásaditém prostředí, bude konečným produktem nerozpustná a netavitelná pryskyřice známá pod obchodním názvem *Bakelit* (má již hustě zesíťovanou strukturu). Používá se na výrobu spotřebního materiálu a především v elektrotechnice.

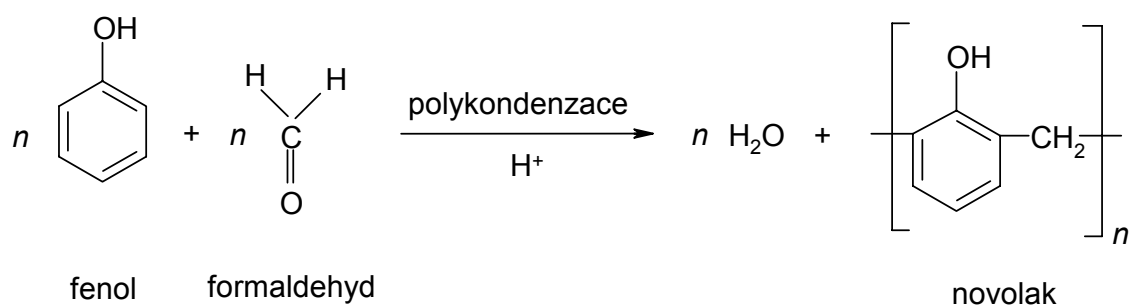


Schéma 10

Polykondenzace fenolu a formaldehydu.

Močovinoformaldehydové pryskyřice (aminoplasty) vznikají polykondenzací močoviny nebo jejích derivátů s formaldehydem. Jsou to bezbarvé látky, které se dají libovolně barvit, a proto se hojně využívají k výrobě spotřebního zboží, nátěrových látek, tmelů, lepidel, elektrotechnických výrobků, k obkládání nábytku aj. V praxi jsou známy např. pod názvem *Umakart* (horní vrstva).

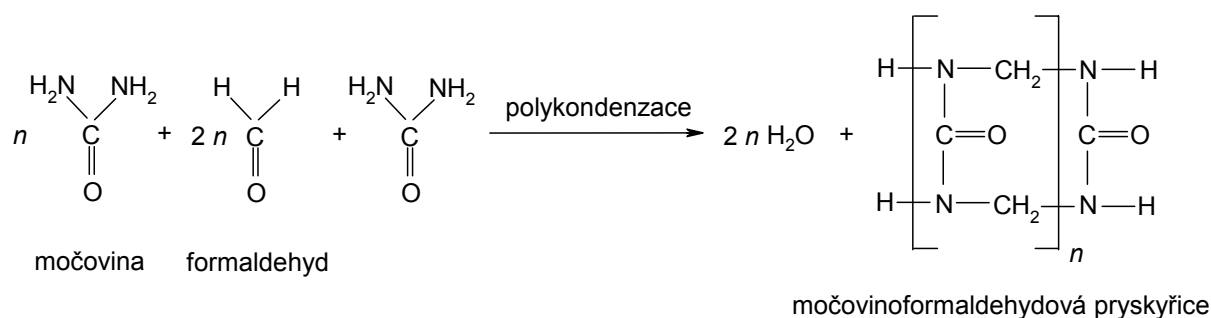


Schéma 11

Polykondenzace močoviny a formaldehydu.

2.3 Polyadice

Polyadice je polyreakcí molekul dvou různých monomerů, které obsahují odlišnou reaktivní funkční skupinu. Jeden z monomerů musí obsahovat takovou funkční skupinu, která obsahuje slabě kyselý vodík (např. –OH), který může následně uvolnit. Tento vodík se přesune na druhý monomer, což umožní spojení obou monomerů v jeden celek. Polyadice mohou mít řetězový i stupňovitý průběh, při kterém nevzniká žádný vedlejší produkt. Polyadici si ukážeme na syntéze *polyurethanu* (Schéma 12). Polyurethany jsou materiály lehké a pevné používající se k výrobě syntetických vláken, molitanu, náhražek kůží a lepidel.

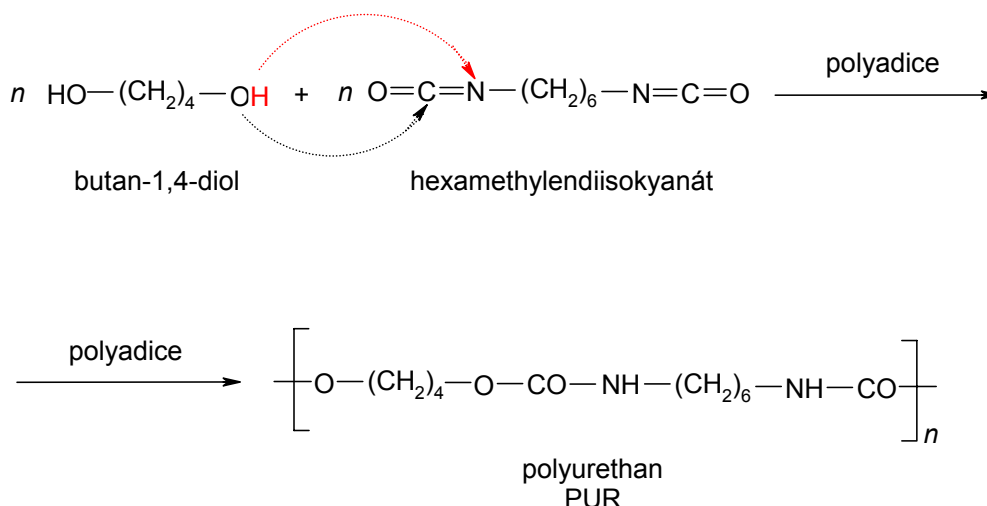


Schéma 12

Polyadice butan-1,4-diolu a hexamethylendiisokyanátu.

3 Užití plastů

Plasty představují početnou a stále se rozšiřující skupinu materiálů, jejichž podstatu tvoří syntetické polymery. V zájmu zlepšení některých vlastností plastů se k základním syntetickým polymerům přidávají různé přísady, jako jsou pigmenty (obarvují plasty), stabilizátory (zvyšují životnost plastů) nebo změkčovadla (zlepšují mechanické vlastnosti plastů).

Jednou z oblastí, kde plasty zaujímají téměř monopolní postavení a doprovází denně život každého z nás, je obalová technika. Tyto obaly z plastů postupně vytlačily klasické materiály, jako jsou například sklo nebo papír. Největší uplatnění v tomto smyslu našly polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), poly(ethylen-tereftalát) (PET) a poly(vinylchlorid) (PVC) díky svým zejména mechanickým vlastnostem nebo odolnosti k vodě či mikroorganismům. Nutno poznamenat, že výrobky z těchto polymerů mají tzv. krátký životní cyklus a stávají se nevýhodné v okamžiku, kdy doslouží. Proto jsme stále naléhavěji nabádáni k důslednému třídění odpadů, mezi které výrobky z plastů neodmyslitelně patří.

3.1 Recyklace odpadů z plastů

Recyklací se v tomto slova smyslu rozumí vrácení plastového odpadu do procesu, ve kterém vznikl. Lze ji považovat za strategii, která opětovným využíváním odpadů šetří přírodní zdroje a současně omezuje zatěžování prostředí škodlivinami. Recyklace polymerního odpadu je dosud v České republice jen na nízké úrovni. Uvádí se, že se v současné době recykluje něco málo přes 20 % vyrobených plastů. Většina polymerního odpadu tak končí na skládkách, kde může přežívat desetiletí bez podstatných změn. Proti této nelichotivé statistice bojují nejen ekologická hnutí, ale i úřady, které mají danou problematiku v náplni práce. Pro tyto účely byla vyrobena řada televizních upoutávek, informativních letáků nebo uspořádány různé soutěže pro žáky a studenty škol, které mají oslovit a především naučit společnost, jak nakládat nejen s polymerními odpady.

3.2 Třídění plastových odpadů

Plastové odpady patří do kontejneru žluté barvy (Obr. 9). Pojmem „plastové odpady“ v tomto případě myslíme PET lahve od nápojů, kelímky, plastové tašky, sáčky, fólie, obaly od pracích, čisticích a kosmetických přípravků, obaly od CD disků, pěnový polystyren a další výrobky z plastů (je třeba sledovat nálepky na žlutých kontejnerech, neboť záleží na podmínkách a technickém vybavení třídících linek ve vašem městě). PET lahve se do kontejneru dávají sešlápnuté s utáhnutým víčkem a etiketou (ta bude odstraněna při dotřídění). Plastové lahve nesmí být v žádném případě znečištěné. Pokud chceme vytrdit kelímky od potravin (např. od jogurtů), nemusíme je vymývat, stačí jen jejich obsah vyškrábnout lžičkou (kelímky jsou vymývány až při následném dotřídění).

Do kontejnerů na plasty nepatří novodurové trubky, guma, molitan, textil z umělých vláken, linolea, pneumatiky a obaly od nebezpečných látek (od motorového oleje, chemikálií, barev).

Průměrná česká domácnost vyhodí za rok asi 150-200 kg odpadů. Pokud odpady třídíme a dáváme je do barevných kontejnerů (žlutý kontejner na plasty, bílý a zelený na sklo, modrý na papír, oranžový na nápojové kartony), umožníme tak recyklaci více než třetiny tohoto množství. Za rok tak lze vytrdit až 30 kg papíru, 25 kg plastů a 15 kg skla.

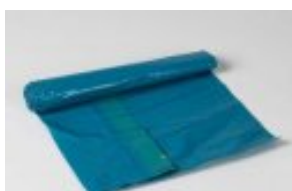


Obr. 9 Kontejner na plasty (převzato z [14]).

Recyklované plasty slouží k výrobě například izolačních tvárnic, řady stavebních a zahradních prvků (ploty, zatravňovací dlažba, protihlukové zábrany či zahradní kompostéry), fleesových oděvů z PET (sportovní dresy, nákupní tašky aj.), pytlů, koberců a spousty dalších výrobků (Obr. 10).



a) fleesový oděv



b) taška



c) sportovní dres

Obr. 10 Výrobky z recyklovaných plastů (a-c, převzato z [14,15]).

Nadějí do budoucna jsou tzv. biodegradovatelné (biologicky rozložitelné) polymery. Tyto materiály se mohou ve vhodném prostředí vlivem mikroorganismů rozložit až na vodu a oxid uhličitý, popřípadě na jiné ekologicky přijatelné produkty. V současné době se vyrábí několik syntetických polymerů, které splňují kritéria biodegradovatelnosti. K nejvýznamnějším patří kyselina polymléčná (PLA) využívaná na výrobu lékařských nití, které se v organismu pacienta samy časem rozloží.

4 Doplnující informace pro učitele

Problematika makromolekulárních látek a především syntetických polymerů nepatří u studentů gymnázií mezi příliš oblíbené pasáže ve výuce chemie. Pro tyto účely vznikl tento text, který má shrnout nejzákladnější poznatky z této problematiky a také posloužit jako doprovodný text k tematicky vytvořené powerpointové prezentaci.

Nutno poznamenat, že oba dokumenty nemají za úkol omezit tvůrčí přístup učitele chemie ve výkladu zpracované látky, naopak je vítána jakákoliv improvizace v metodickém či jejím obsahovém pojetí. Především by se měl učitel chemie opřít o již zavedené kurikulum ve vzdělávací oblasti Člověk a příroda a přizpůsobit výuku konkrétnímu učebnímu plánu chemie a také ŠVP gymnázia.

Vzhledem k tomu, že téma plastů je nedílnou součástí environmentální výchovy, která se v rámci RVP pro gymnázia stala významným průřezovým tématem, doporučuje se vysvětlovat látku v kontextu přírodovědných i společenských oborů. Je tudíž žádoucí, aby studentům nebyly poskytnuty pouze odborné informace o chemii plastů, ale také fakta související s problematikou odpadů, jejich tříděním a s opakovaným využitím recyklovatelných plastů. Z tohoto důvodu se doporučuje využít formy projektové výuky. Projekt může být realizován v rámci jedné třídy

nebo více tříd gymnázia. Tématem projektu může být například historie plastů, plasty v životě moderního člověka, „Wichterleho“ kontaktní čočky, vliv plastů na životní prostředí, plasty jako konstrukční materiál aneb výrobky z plastového odpadu, správné třídění odpadů, jak se obejít bez obalů aj. Úkolem projektu je vytvoření posteru či prezentace, která je společným dílem každé řešitelské skupiny. Úspěšná realizace takového projektu závisí na kreativitě, nápadech, aktivní spolupráci studentů, chuti pracovat a spolupodílet se na tématu nejen ve vyučování, ale i formou domácí práce. Rovněž je zapotřebí využití školní knihovny a internetu, učebny popřípadě laboratoře chemie a také spolupráce s vedením školy i s učiteli fyziky, biologie (ekologie), výtvarné výchovy aj.

Poznámka autora textu k názvům polymerních látek: „Mezinárodní unie pro čistou a aplikovanou chemii IUPAC nevydává příkazy ani jiná právně závazná nařízení, ale jen doporučení jak tvořit systematické názvy látek včetně polymerů. Chemická veřejnost se může rozhodnout, zda se bude či nebude těmito doporučeními řídit. Nomenklatura doporučení IUPAC pro oblast polymerů respektují skutečnost, že polymery jsou běžně pojmenovávány jednak na základě monomerů, ze kterých jsou připravovány, a jednak na základě konstitučních skupin obsažených v jejich makromolekulách. V mnoha případech jsou názvy bez kulatých závorek nepřípustné. Kulaté závorky se používají v názvech především k oddělení části názvu se specifickými strukturními znaky, aby se struktura vyjádřila co nejsrozumitelněji. Doporučuji čtenářům tohoto textu prostudovat publikaci autorů *Fikr J. a Kahovec J.* (ref. 11), ve které je stručně a přehledně vysvětleno tvoření názvů organických sloučenin i polymerů“.

5 Přehled použité literatury a internetových odkazů

1. Prokopová I.: Makromolekulární chemie. VŠCHT, Praha 2007.
2. Ducháček V., Prokopová I., Dobiáš J.: Bicheze 15, 21 (2006).
3. Ducháček V.: Bicheze 14, 22 (2005).
4. Ducháček V.: Bicheze 13, 232 (2004).
5. Devínsky F. a kol.: Organická chémia pre farmaceutov. OSVETA, Martin 2001.
6. Blažek J., Fabini J.: Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření. SPN, Praha 1999.
7. Ducháček V.: Základní pojmy z chemie a technologie polymerů, jejich mezinárodní zkratky a obchodní názvy. VŠCHT, Praha 1996.
8. Nálepa K.: Stručné základy chemie a fyziky polymerů. UP, Olomouc 1993.
9. Vacík J. a kol.: Přehled středoškolské chemie. SPN, Praha 1993.
10. Čársky J. a kol.: Chemie pro III. ročník gymnázií. SPN, Praha 1986.
11. Fikr J., Kahovec J.: Názvosloví organické chemie (3. vyd.). Rubico, Olomouc 2008.

Internetové odkazy:

12. Šulcová R.: Přírodovědné projekty [online 2011-04-15]. Dostupné z [www <http://rena.sulcova.sweb.cz/prirodovedne_projekty/Prirodovedne_projekty.pdf>](http://rena.sulcova.sweb.cz/prirodovedne_projekty/Prirodovedne_projekty.pdf)
13. Surový kaučuk odkapávající z kaučukovníku [online 2011-04-11].
Dostupné z [www <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b3/Latex_dripping.JPG/220px-Latex_dripping.JPG>](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b3/Latex_dripping.JPG/220px-Latex_dripping.JPG)
14. Kontejner na plasty. Výrobky z recyklovaných plastů [online 2011-04-08].
Dostupné z [www <http://www.jaktridit.cz/>](http://www.jaktridit.cz/)
15. Výrobky z recyklovaných plastů [online 2011-04-08]. Dostupné z [www <http://img.aktualne.centrum.cz/320/30/3203037-dres-z-pet-lahvi.jpg>](http://img.aktualne.centrum.cz/320/30/3203037-dres-z-pet-lahvi.jpg)
16. Vohlídal J.: Proč a jak správně nazývat polymery [online 2012-10-28].
Dostupné z [www <http://www.natur.cuni.cz/~vohlidal/mch/Nazvy%polymeru.doc>](http://www.natur.cuni.cz/~vohlidal/mch/Nazvy%polymeru.doc)

VÝBUŠNINY

Text zpracoval: Prof. RNDr. Jiří Kameníček, CSc.

Osnova

1 Úvod do problematiky výbušnin

1.1 Historie, základní pojmy

1.2 Klasifikace výbušnin

2 Syntéza a použití výbušnin

2.1 Nitrate

2.2 Trhaviny

2.3 Střeliviny

...

2.4. Třaskaviny

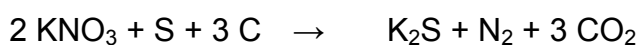
3 Přehled použité literatury a internetových odkazů

1 Úvod

1.1. Historie, základní pojmy

Výbušniny definujeme obecně jako látky, které jsou schopny velmi rychlé (explozivní) přeměny během zlomku sekundy. Při výbuchu probíhá chemická reakce (rozklad látky) a uvolňuje se přitom zpravidla velké množství tepla a různých plynů (např. N₂, CO, CO₂, H₂O, O₂, HCl, SO₂ aj.)

Z historie je známo, že až do konce 80. let 19. stol. byl jedinou významnou výbušninou tzv. černý střelný prach. Jde o jemnou směs draselného ledku, síry a dřevného uhlí; při explozi probíhá reakce (zjednodušeno)*:



Významným mezníkem pro výrobu výbušnin byl objev nitračních reakcí; nitrosloučeniny však byly vesměs velmi nestabilní a jejich výroba i distribuce velmi problematická (např. nitroglycerin snadno nečekaně exploduje i nárazem!) Převratným rokem ve výrobě výbušnin ve velkém byl až r. 1869, kdy švédský chemik Alfréd Nobel (zakladatel známé Nobelovy nadace) vyřešil problém stabilizace nitroglycerinu jeho nasáknutím do vhodného nosiče (křemelina). Takto upravený nitroglycerin pak exploduje až po vhodné iniciaci, např. roznětkou. Ohromný rozvoj průmyslu výbušnin nastal v období první a zejména pak druhé světové války.

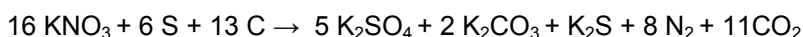
Každá výbušnina je charakterizována řadou fyzikálně-chemických parametrů. Mezi nejdůležitější patří:

- a) Detonační rychlost v - u běžně používaných látek ve vojenství bývá v rozmezí 6000–8000 m/s; u průmyslových trhavin do 5000 m/s**
- b) Uvolněná energie při výbuchu Q – s hodnotami dnes většinou nad 900 kcal/kg

Např. pro výše uvedený černý střelný prach jsou tyto hodnoty $v = 400$ m/s; $Q = 600\text{--}800$ kcal/kg.

Mezi základní požadavky na komerčně vyráběné výbušniny patří dále fyzikální i chemická stabilita (stálost v teplotním rozmezí -30 až +40°C); necitlivost k vnějším podnětům (bezpečnost při zacházení); dostupnost/cena výchozích látek potřebných k výrobě a bezpečnost výroby.

* Přesnější reakce výbuchu dle Bertholleta:



** Je-li $v < 330$ m/s (rychlost zvuku), jde o tzv. deflagraci;

při $v > 330$ m/s se pak jedná o detonaci

1.2 Klasifikace výbušnin

Výbušniny lze dělit podle různých hledisek*:

I. Podle způsobu použití:

- a) Trhaviny (málo citlivé, k výbuchu je nutná roznětka) – např. dynamit
- b) Střeliviny (prachy, k výstřelu střely z hlavně) – např. bezdýmý prach
- c) Třaskaviny (citlivé na náraz, jiskru; užití jako rozbušky) – např. azidy

II. Podle chemického složení:

Chemická individua

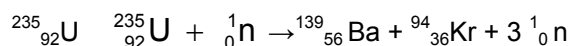
- a) Nitrosloučeniny (obsahují R_3C-NO_2) – např. trinitrotoluen TNT
- b) Estery HNO_3 (s alkoholy, $R_3C-O-NO_2$) – např. nitroglycerin
- c) Nitraminy (obsahují R_2N-NO_2) – např. hexogen
- d) Výbušné soli kyselin – např. od HNO_3 , $HClO_3$, $HClO_4$
- e) Sloučeniny azoimidu (obsahují skupinu N_3^-) – např. AgN_3
- f) Ostatní (acetylidy, fulmináty aj.)

Směsi (např. amatoly: TNT + NH_4NO_3 + hexogen)

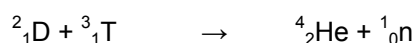
III. Dle konzistence:

- pevné (krystalické či práškovité) – např. kyselina pikrová
- kapalné (nitroglycerin)
- polotekuté a plastické (Semtex)

* Máme na mysli tzv. „klasické výbušniny“, používané jak k válečným, tak i k mírovým účelům. Dnešní vojenství ovšem disponuje i moderními zbraněmi, založenými na řetězové štěpné reakci uranu $^{235}_{92}U$ (atomová bomba), např.:



popř. využívající spojování lehčích jader („slévání“ jader - vodíková bomba), např.



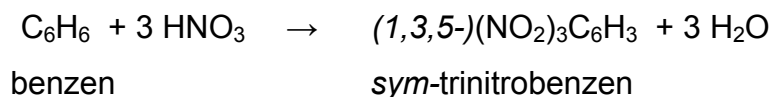
s nebývale mohutnými účinky (např. atomová bomba v Hirošimě měla ekvivalent cca 30 kt TNT!).

2 Syntéza a použití výbušnin

2.1 Nitrace

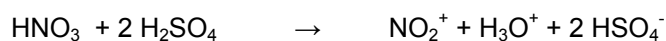
Principem nitračních reakcí je vpravování funkční skupiny $-\text{NO}_2$ do molekul (organických) látek pomocí tzv. nitrační směsi (= směs konc. $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$).

Význam mají především aromatické nitroderiváty, např.



Poznámka.

Zjednodušená interpretace, že kyselina sírová pouze „váže“ vzniklou vodu, je nepřesná – ve skutečnosti jde o tzv. elektrofilní substituci, kdy zpočátku probíhá reakce



a takto vzniklý nitroniový kation je vlastním elektrofilním činidlem, atakujícím aromatické jádro (kyselina sírová se tedy účastní reakce!).

Nitrační reakce probíhají ochotněji u derivátů benzenu (fenol, toluen); přitom je nutno vzít v potaz známá substituční pravidla na aromatickém jádře:

- substituenty I. třídy jako např. $-\text{CH}_3$, $-\text{OH}$ řídí substituci do poloh *ortho*-, *para*-,
- substituenty II. třídy jako $-\text{NO}_2$ řídí substituci do poloh *meta*-.

Přesné složení nitrační směsi se volí podle typu nitrované látky a stupně nitrace (u vyšších nitroderivátů pracujeme zpravidla v přebytku kyseliny dusičné).

Vlastní reakce probíhá za intenzivního míchání a chlazení ve speciálních kotlích (nitrátory) s dvojitým pláštěm. Při nitracích je nutno dodržovat přísná bezpečnostní pravidla – hrozí např. přehřátí směsi a následný výbuch!

Přehled nejznámějších a nejvíce používaných nitrolátek a jejich explozivních reakcí je uveden v následujících kapitolách.

2.2 Trhaviny

Jde o největší skupinu výbušnin, poměrně málo citlivých k jednoduchým podnětům (tření, náraz). K detonaci jsou přiváděny pomocí rozbušky (roznětky, detonátoru). Používají se jak k účelům mírovým (kamenolomy, doly, tunely), tak i válečným (náplně granátů, min, bomb).

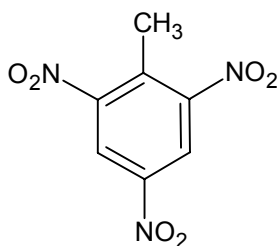
Než probereme nejznámější zástupce této skupiny, je třeba zdůraznit, že z hlediska terminologie lze jako skutečné nitroderiváty označovat pouze sloučeniny, mající nitroskupinu vázanou přímo na uhlík (obsahují vazbu C – NO₂).

a) Nitrosloučeniny

Praktický význam mají pouze aromatické nitrolátky.

Nejvíce používané sloučeniny:

„**Tritol**“, **TNT**; IUPAC: 2,4,6-trinitrotoluen ($v = 7400 \text{ m/s}$; $Q = 950 \text{ kcal/kg}$)



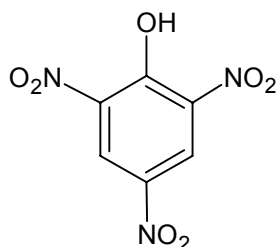
Výroba: Nitrací toluenu do 3. stupně.

Vlastnosti: nažloutlé jehlice, teplota tání 80°C.

Referenční látka pro ekvivalent atomových bomb (viz str. 3).

Pozn.: Během II. světové války vyrábělo Německo cca 4000 tun TNT měsíčně!

„**Ekrazit**“, **kyselina pikrová**; IUPAC: 2,4,6-trinitrofenol ($v = 7000 \text{ m/s}$; $Q = 1000 \text{ kcal/kg}$):

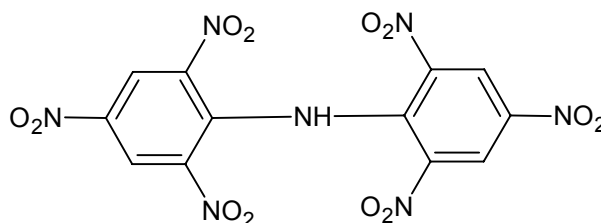


Výroba: Nitrací fenolu do 3. stupně.

Vlastnosti: Žluté krystalky nahořklé chuti, teplota tání 122°C, tvoří soli (výbušný pikrát amonný). Užíván mj. do dělostřeleckých granátů.

„**Hexyl**“, **sym-hexanitrodifenylamin**; též dipikrylamin;

dle IUPAC: 2,4,6-trinitro-N-(2,4,6-trinitrophenyl)anilin, ($v = 7100 \text{ m/s}$; $Q = 1040 \text{ kcal/kg}$);



Výroba: Kompletní nitrací difenylaminu.

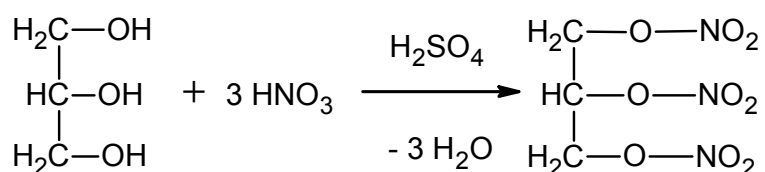
Vlastnosti: Žluté jehličky, více citlivé k nárazu (používaný např. jako náplň torpéd).

b) Nitroestery

Jedná se o sloučeniny s vazbou $-\text{CH}_2-\text{O}-\text{NO}_2$, vznikající esterifikační reakcí např. vícesytných alkoholů s HNO_3 . Nejznámější látky:

Nitroglycerin (správně: trinitrát glycerolu), $v = 8000 \text{ m/s}$; $Q = 1500 \text{ kcal/kg}$

Nitroglycerin se vyrábí úplnou nitrací glycerolu:



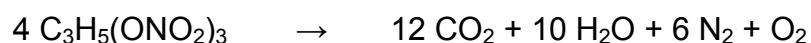
Vlastnosti: Bezbarvá jedovatá viskózní kapalina nasládlé chuti, nerozpustná ve vodě.

Pozor! Hrozí nebezpečí explozivního rozkladu zahřátím nad 50°C či nárazem !

Vyrobený nitroglycerin se zpracovává na dynamit (nasáklý v křemelině v poměru 3:1) nebo na bezdýmý střelný prach (viz střeliviny).

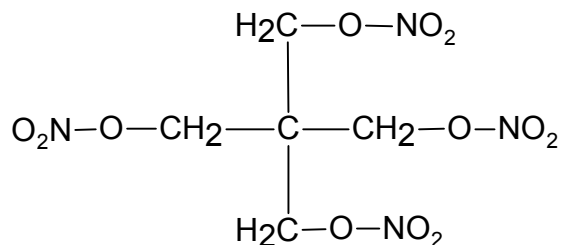
Výroba u nás: Semtín u Pardubic, přísná bezpečnostní opatření (bunkry s lehkými střechami, omezení ruční manipulace).

nitroglycerin – rovnice výbušné reakce



Kromě nitroglycerínu existuje řada nitroesterů dvoj- až čtyřsytných alkoholů (glykolů) s podobnými vlastnostmi.

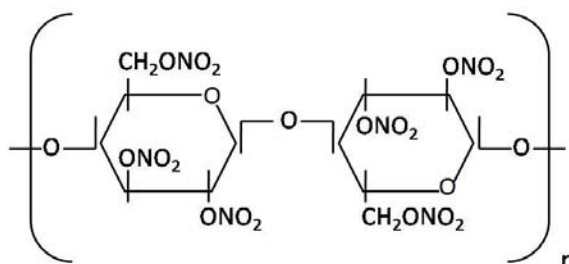
Nejznámější z nich je tzv. pentrit (pentaerythrit-tetranitrát) $v = 8000 \text{ m/s}$; $Q = 1530 \text{ kcal/kg}$:



Na bázi pentritu s butadienstyrenovým kaučukem jsou založeny tzv. plastické trhaviny (Semtex).

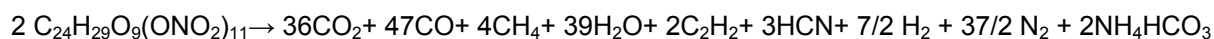
Nitrocelulosa (nitrát celulosy) $v = 7000 \text{ m/s}$; $Q = 950\text{-}1025 \text{ kcal/kg}$

Nitrocelulosa vzniká nitrací polysacharidu celulosy (velmi čisté) do obsahu cca 14% dusíku (což odpovídá „trinitrátu“ celulosy):



Historie: 1845 Schönbein – nitrace bavlny („střelná bavlna“).

Nitrocelulosa – rovnice výbušné reakce



c) Nitraminy

Jde o sloučeniny, obsahující funkční skupinu $=\text{N}-\text{NO}_2$.

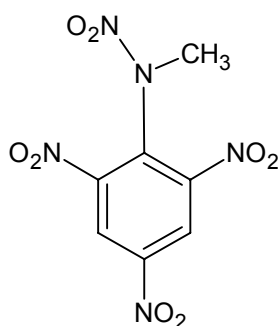
Jsou známy jak alifatické, tak aromatické i heterocyklické látky tohoto typu.

(Dále se dělí na primární: $\text{R}-\text{NH}-\text{NO}_2$ a sekundární: $\text{R}_1\text{R}_2-\text{N}-\text{NO}_2$)

Nejdůležitější zástupci:

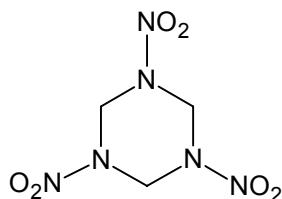
Tetryl (2,4,6-trinitrofenyl-methyl-nitramin; IUPAC: *N*-methyl-*N*,2,4,6-tetranitroanilin)

$v = 7500 \text{ m/s}$; $Q = 1100 \text{ kcal/kg}$:



Hexogen (cyklotrimethylentritramin; IUPAC: 1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin)

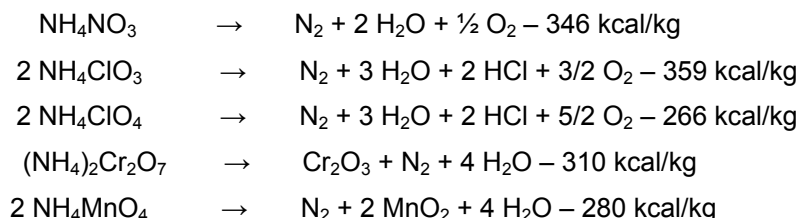
$v = 8000 \text{ m/s}$; $Q = 1390 \text{ kcal/kg}$:



d) Výbušné soli kyselin

K výbušným solím patří zejména amonné soli kyseliny dusičné, chlorečné, chloristé, (di)chromany a manganistany.

Výbušné soli – rovnice vybraných výbušných reakcí



2.3 Střeliviny („střelné prachy“)

Střeliviny patří mezi výbušné směsi, sloužící k vystřelení náboje z hlavně v důsledku mohutného tlaku plynů, vzniklých při explozi. Jak již bylo zmíněno v úvodu, patří sem i klasický černý střelný prach (první popis R. Bacon r. 1249)*, jehož složení se v čase měnilo a ustálilo se na 75 % KNO₃ (NaNO₃ nelze použít pro hygroskopičnost), 15 % dřevného uhlí a 10 % síry.

K výrobě je nutné použít jemně práškované velmi čisté komponenty. Při výrobě se suroviny melou, mísí v dřevěných bubnech, zvlhčují a zhutňují a nakonec lisují mezi měděnými deskami pod tlakem 30 at; výsledný produkt se granuluje nebo lisuje do válečků o průměru cca 3 cm. Výroba je velmi nebezpečná – snadno může dojít k explozi vyvolané i např. statickou elektřinou. Černý prach se používal jako výmetná náplň, roznětka, zápalnice s časovým zpožděním apod.

Bezdýmný střelný prach ($v = 3800 - 7000 \text{ m/s}$; $Q = 700 - 950 \text{ kcal/kg}$)

Jeho výroba vychází z nitrocelulosity a nitroglycerinu. Problémem při použití byl obrovský tlak při explozi, který může vést až k roztržení hlavně. Proto se nitrocelulosa zpočátku rozpouštěla v organických rozpouštědlech (ether, aceton), po jejichž odpaření vznikne „blána“, hořící pomaleji. R. 1888 A. Nobel navrhl rozpouštět nitrocelulosu v nitroglycerinu (vznikl tzv. „balistit“), takže běžná hlaveň děla „vydržela“ až 1700 výstřelů; přidavkem nitrodiglykolu se výdrž zvýšila až přes 10 000 výstřelů.

Bezdýmný střelný prach je poměrně nestabilní**; jeho stabilitu lze zvýšit přidavkem difenylaminu nebo MgO. Vyrobený prach se expeduje ve formě malých šupinek či destiček nebo se lisuje do tyčinek (viz Obr. 1).

* První velké použití černého prachu u dělostřelectva se datuje r. 1346 v bitvě u Kresčaku;

** Byla zaznamenána řada katastrof (1905 exploze prachu na japonském křižníku Mikasa; 1907 výbuch muničního skladiště Jena aj.)



Obr. 1 Bezdýmý střelný prach (vlevo – náplň střely do samopalů; vpravo – dělostřelecký prach ve formě slisované trubičky). Pro názornost na obrázku uprostřed kancelářská sponka.

2.4 Třaskaviny

Do této skupiny patří celá řada různorodých chemických sloučenin (fulmináty, azidy, acetylidy). Jde o látky, vybuchující po iniciaci (např. zahřátím, nárazem, elektrickou jiskrou). Slouží jako rozbušky (roznětky) pro hlavní nálož trhaviny.

a) Fulmináty

Tyto látky se odvozují od kyseliny třaskavé (fulminové) $[\text{C}\equiv\text{N}-\text{OH}]$, která není známa volná, pouze ve formě solí. Nejdéle známý je fulminát rtuti („třaskavá“ rtuť): $\text{Hg}(\text{ONC})_2$. Jde o šedobílou látku, málo rozpustnou ve vodě, lépe v alkoholu.

Rovnice výbušné reakce: $\text{Hg}(\text{ONC})_2 \rightarrow \text{Hg} + 2 \text{CO} + \text{N}_2 - 357 \text{ kcal/kg}$ ($v = 6500 \text{ m/s}$)

Velmi podobné vlastnosti má i třaskavé stříbro $\text{Ag}(\text{ONC})$, které je však dražší a méně užívané.

b) Azidy

Jsou to soli azoimidu (HN_3 , těkavá jedovatá kapalina pronikavého zápachu).

Nejpoužívanější jsou:

Azid olovnatý $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ – nažloutlá látka, stabilní do 75°C , méně citlivá k nárazu, více ke tření.

Rovnice rozkladu: $\text{Pb}(\text{N}_3)_2 \rightarrow \text{Pb} + 3 \text{N}_2$

Azid stříbrný AgN_3 má podobné vlastnosti.

Azid měďnatý $\text{Cu}(\text{N}_3)_2$ je extrémně citlivý i na dotyk!

c) Acetylidy

Tyto třaskaviny se odvozují od ethynu $\text{HC}\equiv\text{CH}$ náhradou atomů vodíku kovem.

Praktický význam má **acetylid měďný** $\text{Cu-C}\equiv\text{C-Cu}$ a stříbrný $\text{Ag-C}\equiv\text{C-Ag}$.

Rovnice rozkladu: $\text{Ag}_2\text{C}_2 \rightarrow 2 \text{Ag} + 2 \text{C}$ (se vzdušným kyslíkem další reakce na oxidy)

Jde o krystalické látky nerozpustné ve vodě, vybuchující nárazem či zahřátím.

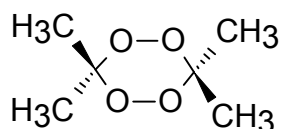
d) Ostatní třaskaviny

Do této skupiny látek lze zařadit:

Tetranitrid tetrasíry S_4N_4 – oranžové krystalky, vybuchující nárazem, zahřátím

Jododusík $\text{NI}_3 \cdot n\text{NH}_3$ je hnědočervená látka, explodující i pouhým dotykem (!)

Peroxosloučeniny (i samotný konc. H_2O_2), např. peroxoaceton



Bertholetovo třaskavé stříbro Ag_3N , citlivé i na sebemenší mechanický impuls

Pozor! Tato látka může vzniknout i při Tollensově reakci (Ag-zrcátko) při vyschnutí obsahu zkumavky - pak hrozí při čištění zkumavky exploze!



3 Jednoduché ilustrační pokusy

Všechny dále uvedené experimenty je možné provádět pouze v digestoři za asistence a pod odborným dohledem učitele a za použití ochranných prostředků (obličejový štít)!

a) Příprava černého střelného prachu a jeho vlastnosti

Na papíře důkladně promícháme směs: malou lžičku KNO_3 , půl lžičky jemně práškové síry a čtvrt lžičky rozetřeného dřevěného uhlí. Tuto směs nasypeme do železné misky na písku a zapálíme špejlí. Pozorujeme prudkou exotermní reakci.

b) Hoření střelné bavlny

Střelná bavlna je vlastně nitrát celulosy, který lze připravit reakcí chomáčku vaty (1 g) s nitrační směsí (10 cm³ konc. H₂SO₄ + 10 cm³ konc. HNO₃) v kádince po dobu cca 20 min.

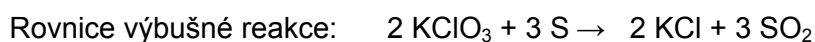


Obr. 2. Hoření nitrocelulosity

Vatu potom vyjmeme, propereme vodou a volně usušíme. Kousek produktu zapálíme a pozorujeme, jak prudce shoří (viz obr. 2).

c) Exploze směsi chlorečnanu s práškovou sírou (fosforem)

Pouhým volným přesypáváním na papíře bez doteku smícháme malá množství (jen na špičku špachtle!) KClO₃ a stejné množství práškové síry (nebo červeného fosforu). Směs opatrně zabalíme do tenkého papíru, položíme na pevnou podložku (betonová dlažba) a úderem kladívka přivedeme k explozi.



4 Přehled použité literatury a internetových odkazů

Literatura:

Urbaňski T.: Chemie a technologie výbušnin I – III, SNTL Praha 1958.

Babák Z., Vrábel Z.: Chemie – vybrané kapitoly, scrpt. VA Brno, 1994.

Klečková M., Šindelář Z.: Školní pokusy z anorganické a organické chemie, UP Olomouc, 2007.

Internetové odkazy:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDbu%C5%A1nina>

<http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/vybusnin/vybusnin.htm>

ELEKTROLÝZA

Text zpracoval Doc. RNDr. Zdeněk Šindelář, CSc.

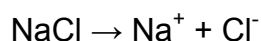
Osnova

- 1 Úvod do problematiky elektrochemie
 Základní pojmy
- 2 Elektrolýza
 - 2.1 Elektrolýza chloridu zinečnatého a sodného
 - 2.2 Elektrolýza roztoku měďnaté soli
 - 2.3 Faradayovy zákony
- 3 Přehled použité literatury a internetových odkazů

1 Úvod do problematiky elektrochemie

1.1 Základní pojmy

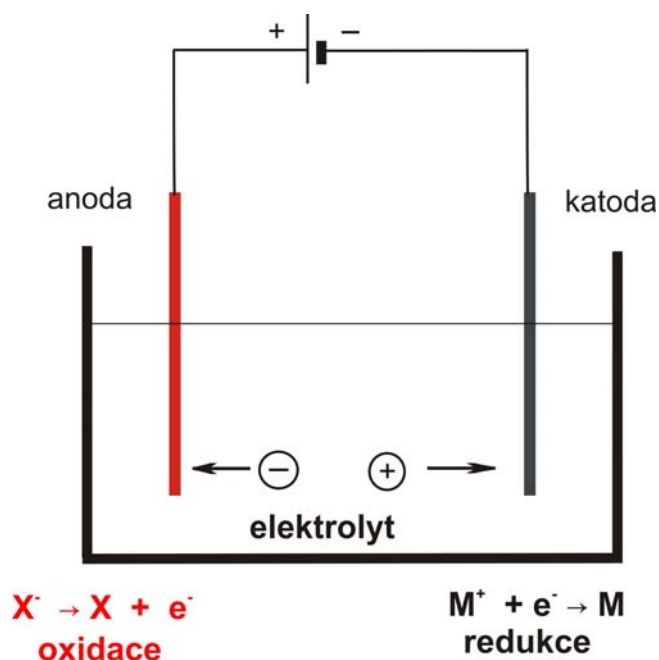
Elektrochemií rozumíme obor chemie, který se zabývá procesy, probíhajícími na **rozhraní** mezi **elektrodou** a **elektrolytem**. Elektrodou je zpravidla vodič 1. druhu (kov – např. měď, rtuť, železo, nikl, chrom, platina ale i uhlík ve formě grafitu). Volba materiálu elektrody souvisí s chemickými vlastnostmi elektrolytu a se změnami, ke kterým v elektrolytu dochází. Elektrolytem je roztok nebo i tavenina látky, která má schopnost disociovat na volné ionty. Takovou látkou je například chlorid sodný, jehož vodný roztok, nebo jeho tavenina jsou **elektrolyty**. Je to sloučenina, ve které jsou atomy vázány chemickou vazbou, která má výrazně iontový charakter. Elektrolyty jsou také vodiči elektrického proudu a označujeme je jako vodiče 2. druhu. Elektrolytickou disociaci (rozpad látky na ionty v tavenině a ve vodném roztoku) zapíšeme rovnicí:



Schopnost látek disociovat v roztoku popisujeme pojmem **síla elektrolytu**. V případě NaCl se jedná o silný elektrolyt, tedy prakticky všechny rozpuštěný chlorid sodný je ve vodném roztoku disociován na ionty, které jsou tak od sebe odděleny a jsou obklopeny molekulami rozpouštědla, v našem případě molekulami vody. Říkáme, že ionty jsou ve vodných roztocích hydratovány.

2 Elektrolýza

Elektrolýzu lze chápat jako děj, při kterém **dochází na elektrodách vložených do elektrolytu k chemickým změnám, způsobených průchodem elektrického proudu z vnějšího zdroje**. V tomto případě budeme většinou volit takové elektrody, které nebudou podléhat během procesu změnám (budou chemicky inertní). Na obr. 1 je znázorněn schematicky pokus, který nám pomůže pochopit, jaké děje během elektrolýzy probíhají.



Obr. 1 Elektrolyzér

Ve schématu vidíme jednotlivé elektrody, které nesou označení podle toho, ke kterému **pólu zdroje stejnosměrného napětí** jsou připojeny. V případě elektrolýzy, je elektroda připojená ke kladnému pólu zdroje označována jako **anoda**, protože k ní **elektromigrací** putují ionty opačné polaritý – tedy záporně nabitě **anionty**. **Anoda** je elektroda, na které probíhá **vždy oxidace** (bez ohledu na polaritu elektrod). K zápornému pólu zdroje je připojena **katoda**, ke které analogicky putují kladně nabitě částice – **kationty**. **Katoda** je elektroda, na které probíhá **vždy redukce** (opět bez ohledu na polaritu elektrod). Elektromigrace je tedy pohyb nabitých částic usměrněný vlivem elektrického pole.

Před zapojením zdroje jsou koncentrace všech složek elektrolytu v každém místě roztoku stejné (jak víme, roztok je homogenní směs). Po zapnutí zdroje se začnou ionty, v důsledku přítomnosti elektrického pole, pohybovat k opačně nabitě elektrodě. Když dospějí až k jejímu povrchu, vybijí se a produkt se buď vyloučí na příslušné elektrodě, případně ihned reaguje s dalšími složkami elektrolytu nebo přímo s elektrodou. V důsledku toho se však sníží koncentrace vybíjených iontů v blízkosti elektrody a přísun nových iontů k elektrodě začíná být řízen **difúzí**. Ionty difundují do míst s nižší koncentrací ve snaze obnovit homogenní prostředí.

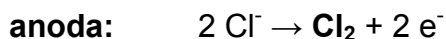
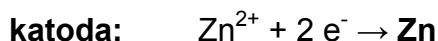
Procesy probíhající v blízkosti elektrod nejsou jednoduché a závisejí silně na dalších faktorech. Jedním z důležitých faktorů je, zda budeme elektrolyt během elektrolýzy **míchat**, protože **konvekce** (proudění) má velký vliv na průběh celého procesu.

Velmi důležité je také, zda oddělíme anodový a katodový prostor přepážkou, která umožní průchod elektrického proudu elektrolyzérem a přitom zabrání promíchávání vzniklých produktů elektrolyzy v blízkosti elektrod. Tato přepážka se nazývá **diafragma**, a bývá to obvykle porézní keramický materiál. Mohou to být, podle účelu ale různé jiné materiály na bázi plastických hmot, polymerní gely nebo například celofán.

Jak již bylo řečeno, aby mohl elektrolyzérem protékat elektrický proud, musíme na elektrody vložit elektrické napětí. Minimální napětí, které způsobí, že začne systémem protékat elektrický proud, označujeme jako **rozkladné napětí**; jeho velikost souvisí úzce s pojmem **elektrochemický článek**. Velikost proudu, který zařízením prochází, závisí rovněž na mnoha faktorech. Velký vliv mají zejména velikost **plochy elektrod** a **koncentrace elektrolytu**. Velikost proudu vztažená na jednotku plochy (obvykle cm^2) označujeme pojmem **proudová hustota** [$\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$]. Proudová hustota a složení (koncentrace) elektrolytu rozhodujícím způsobem ovlivňují konečné složení produktů elektrolyzy.

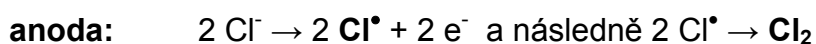
2.1. Elektrolyza ZnCl_2 a NaCl

Průběh elektrolyzy vodného roztoku chloridu zinečnatého můžeme zapsat následovně:



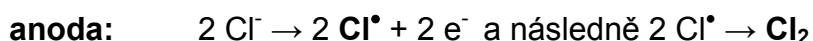
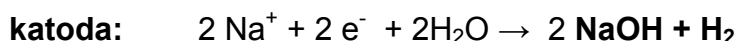
Produkty procesu jsou plynný chlor a zinek jako volný kov.

Elektrolyza však může mít i značně komplikovaný průběh, který je silně závislý na podmínkách provedení. Příkladem může být elektrolyza chloridu sodného. Budeme-li při odděleném katodovém a anodovém prostoru v inertní atmosféře elektrolyzovat taveninu chloridu sodného, získáme kovový sodík a plynný chlor:



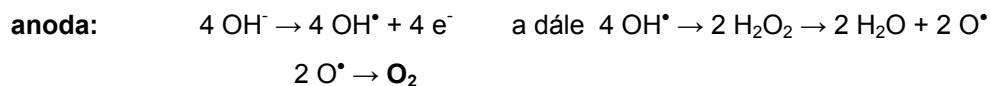
Všimněme si, že složení elektrolytu (taveniny) se nijak významně nemění, vylučují se ekvivalentní množství chloru a sodíku.

Při elektrolyze vodného roztoku NaCl je situace složitější. V případě oddělených prostorů elektrod bude v katodovém prostoru docházet k vyredukování vodíku, protože elektron přenesený na ion sodný přechází ihned na molekulu vody:



Při tomto procesu se ale významně mění složení elektrolytu, postupně mizí z roztoku chloridový ion, který je nahrazen aniontem OH^- .

Po vyčerpání chloridových iontů bude pokračovat elektrolyza za vzniku kyslíku z vybitých iontů hydroxidových:



Pokud provedeme elektrolyzu na rtuťové elektrodě (-) s oddělenými elektrodovými prostory, bude se na **katodě** pouze redukovat sodík, který se rtutí vytvoří amalgám. Na **anodě** se bude opět vylučovat chlor. Po vypnutí elektrického zdroje se začne z amalgámu vylučovat sodík a reagovat s vodou za vzniku vodíku a hydroxidu sodného. Proces je umožněn velkým **přepětím** vodíku na rtuťové elektrodě.

Při elektrolyze s neoddělenými prostory elektrod za **míchání a chlazení elektrolytu**:
Primární procesy na elektrodách jsou stejné jako v předchozím případě, ale následuje reakce:



Produktem procesu je vodný roztok směsi **chloridu** a **chlornanu sodného**.

Nebudeme-li elektrolyt chladit, dojde k disproportionaci NaClO :

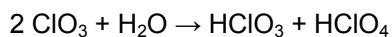
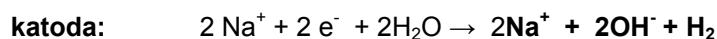


nebo



Konečným produktem je vodný roztok směsi **chloridu** a **chlореčnanu sodného**.

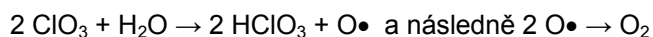
Poznamenejme ještě, že elektrolyzou roztoků chlореčnanu za silného chlazení (teplota by neměla překročit příliš přes 20°C) s použitím platinových elektrod, získáme **roztoky chloristanů**:



s následnou neutralizací: $2 \text{ NaOH} + \text{HClO}_3 + \text{HClO}_4 \rightarrow \text{NaClO}_3 + \text{NaClO}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$

Proces je umožněn velkým přepětím platinové elektrody ke kyslíku.

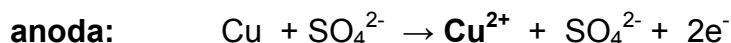
Při vyšších teplotách dochází k reakci



a na anodě dojde k vylučování kyslíku. V tomto případě jsou produkty elektrolyzy stejné jako při elektrolyze vody okyselené zředěnou kyselinou sírovou tj. vodík a kyslík.

2.2. Elektrolýza roztoku měďnaté soli CuSO₄

Elektrolýza měďnaté soli ve vodném roztoku s využitím měděných elektrod (anoda i katoda jsou ze stejného materiálu, tedy z mědi) vede k vylučování mědi na katodě z roztoku za současného doplňování měďnatých iontů z rozpouštěné anody:



Výsledkem je přenos materiálu anody (surové mědi) na katodu (čistá měď).

Tento postup se v praxi využívá k elektrolytickému čištění surové mědi. Získá se tak kov vysoké čistoty.

Poznámka: pod anodou se usazují anodové kaly (nečistoty v anodě obsažené), které jsou zdrojem dalších prvků, které doprovázejí v přírodě měď - zejména Ag, Au, platinové kovy. Rozkladné napětí takového roztoku (např.: CuSO₄ slabě okyseleného kyselinou sírovou pro potlačení hydrolytických procesů), je velmi nízké. Virtuální pokus je možno snadno provést nebo simulovat na přiloženém programu. Vážením elektrod po provedeném experimentu a měřením času a proudu je navíc možno ověřit platnost Faradayových zákonů.

2.3. Faradayovy zákony elektrolýzy

1. Faradayův zákon vyjadřuje množství (hmotnost) látky, která vznikne při průchodu stejnosměrného elektrického proudu za určitou dobu:

$$m = A \cdot I \cdot t$$

kde m – hmotnost vyloučené látky,

A - konstanta (tzv. **elektrochemický ekvivalent**),

I - elektrický proud,

t - čas

Protože elektrický náboj $Q = I \cdot t$, můžeme výraz zkráceně zapsat **$m = A \cdot Q$** .

2. Faradayův zákon formuluje výraz pro výpočet **elektrochemického ekvivalentu A** . Slovně ho lze vyjádřit větou, že **látková množství vyloučená stejným nábojem jsou chemicky ekvivalentní**. Potom platí:

$$A = \frac{M}{z \cdot F}$$

kde M - molární hmotnost,

z - počet vyměňovaných elektronů při elektrodovém ději,

F je Faradayova konstanta ($F = 9,6485 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$), která je číselně rovna elektrickému náboji, potřebného k vyloučení 1/z molu látky.

Konečný výraz pro výpočet množství látky přeměněné průchodem elektrického proudu po danou dobu lze tedy zapsat ve tvaru:

$$m = \frac{M}{z \cdot F} \cdot I \cdot t$$

Poznámka: je zásadně důležité dosadit do vzorce veličiny ve správných jednotkách. Požadujeme-li výsledek m [g] pak musíme dosazovat I [A], t [s].

Příklad:

Kolik g Cu se vyloučí na katodě při rafinaci mědi průchodem proudu 1 A po dobu 300 s?

Řešení:

Protože, na přeměnu jednoho iontu Cu^{2+} na čistou měď potřebujeme vyměnit 2 elektrony, (viz kap. 2.2, $z = 2$), dostaneme po dosazení (relativní atomová hmotnost mědi je 63,54) do vztahu pro m

Výsledek: $m = 0,099 \approx 0,1 \text{ g}$ mědi.

Výpočet probíhá automaticky např. při spuštění přiložené animace (viz. 2.4.; ovládání je intuitivní).

Na závěr je ještě třeba zmínit, že technický (dohodnutý) směr proudu (fyzika, elektrotechnika) je vždy od kladného k zápornému pólu zdroje a je tedy opačný než pohyb elektronů.

3 Přehled použité literatury a internetových odkazů

Všechny animace použité k doplnění toto textu jsou k dispozici zde:

http://google.iastate.edu/search?q=cache:ndvLO9akz9cJ:www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/animationsindex.htm+electrolysis&output=xml_no_dtd&client=default_frontend&proxystylesheet=default_frontend&ie=UTF-8&access=p&oe=ISO-8859-1

Ostatní informace potřebné k hlubšímu pochopení pojmu elektrolýza najde čtenář např. v základní učebnici fyzikální chemie:

<http://www.vscht.cz/fch/cz/pomucky/BREVALL.pdf>