



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

Text zpracovala Mgr. Veronika Švandová

# ESTERIFIKACE

## Obsah

1	Základní pojmy.....	3
1.1	Estery karboxylových kyselin.....	3
1.2	Esterifikace karboxylových kyselin .....	3
2	Příklady a chemický pokus.....	4
2.1	Příklady na procvičení.....	4
2.2	Chemický pokus – příprava ethylesteru kyseliny octové .....	4
3	Mechanismus esterifikace .....	5
4	Reakce esterů .....	5
4.1	Kyselá hydrolýza esteru .....	5
4.2	Alkalická hydrolýza esteru.....	6
5	Opakovací cvičení .....	6
6	Řešení úloh.....	7
6.1	Řešení úlohy 2.1 .....	7
6.2	Řešení praktického úkolu z 2.2 .....	7
6.3	Řešení opakovacího cvičení.....	8
7	Doplňující informace pro učitele .....	8
7.1	Estery anorganických kyselin .....	8
7.2	Poznámky k chemickému pokusu .....	9
7.3	Charakteristické vůně esterů .....	10
7.4	Mechanismus esterifikace.....	10
7.5	Alkalická hydrolýza esteru (zmýdelnění) .....	10

8	Přehled použité literatury a internetových odkazů .....	11
---	---------------------------------------------------------	----

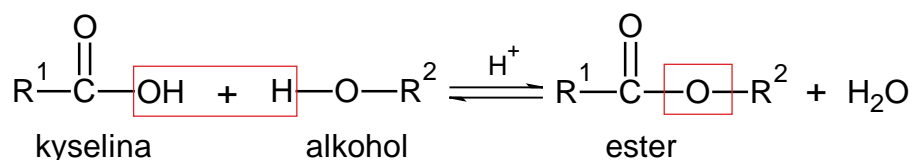
## 1 Základní pojmy

### 1.1 Estery karboxylových kyselin

**Estery<sup>1</sup> 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<sup>2</sup>** je reakce karboxylové kyseliny a alkoholu, kterou vzniká ester a voda. Reakce probíhá v silně kyselém prostředí – provádí se za přídavku silné anorganické kyseliny, nejčastěji kyseliny sírové. Jedná se o vratnou reakci.



Ze zápisu reakce je zřejmé, že kyslíkový atom ve vzniklém esteru (ve schématu vyznačený rámečkem) pochází z molekuly alkoholu. Tento fakt byl prokázán vědecky. 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.<sup>3</sup>

Esterifikace je rovnovážná reakce. Pokud chceme zvýšit výtěžek reakce, musíme rovnováhu reakce porušovat odstraňováním vzniklého esteru nebo vody. Rovnováhu je možné posunout ve prospěch esteru také tak, že jednu z výchozích látek použijeme v nadbytku. Zpětnou reakcí k esterifikaci je tzv. **kyselá hydrolyza**.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 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 - 7.1.

<sup>2</sup> Viz pozn. 1.

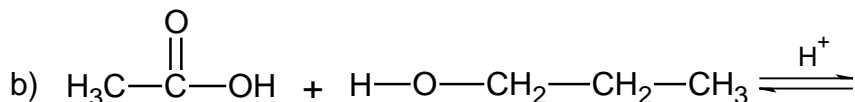
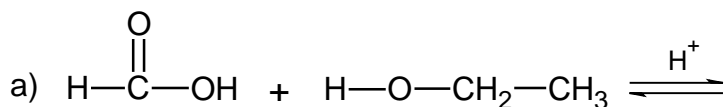
<sup>3</sup> Pro syntézu esterů terciárních alkoholů se místo karboxylové kyseliny používají acylchloridy. Vedlejším produktem reakce je chlorovodík. Více o mechanismu esterifikace viz 3 a Doplňující informace pro učitele - 7.4.

<sup>4</sup> Viz kapitola 4.1.

## 2 Příklady a chemický pokus

### 2.1 Příklady na procvičení

Napiš produkty následujících reakcí a pojmenuj je:



### 2.2 Chemický pokus – příprava ethylesteru kyseliny octové

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

**Postup:** Vyučující smíchá ve zkumavce 3 ml kyseliny octové a 3 ml ethanolu. Ke vzniklé směsi opatrně přidá asi 0,5 - 1 ml koncentrované kyseliny sírové. Obsah zkumavky promíchá, vyleje na hodinové sklíčko a nakonec přisype pevný uhličitan sodný.<sup>5</sup>

#### 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. Jaká by byla smrtelná dávka tohoto esteru při Tvé váze? Vypočítej objem tohoto množství ( $\rho_{\text{ethylester kyseliny octové}} = 1,045 \text{ g/cm}^3$ ).
- Na Internetu vyhledej bezpečnostní list daného esteru. Jakými písmennými zkratkami označujeme jeho nebezpečné vlastnosti a jak tyto vlastnosti nazýváme?

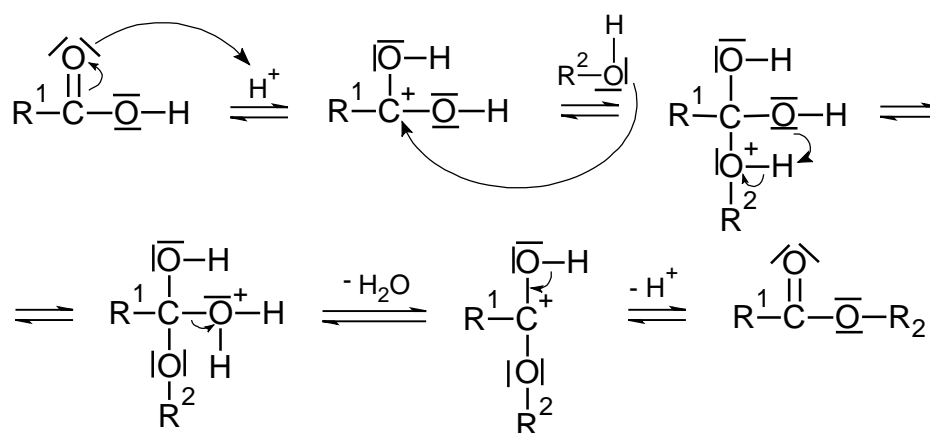
<sup>5</sup> Další možnosti provedení pokusu viz Doplňující informace pro učitele – 7.2.

**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 se používá ethylester kyseliny máselné.<sup>6</sup>



### 3 Mechanismus esterifikace

Mechanismus esterifikace je možné vyjádřit souborem rovnovážných reakcí:



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

V dalším, nejpomalejším kroku reakce, dochází ke vzniku vazby mezi atomem kyslíku alkoholu a atomem uhlíku karboxylové skupiny.<sup>7</sup>

Nakonec dochází k odštěpení protonu a molekuly vody za vzniku esteru.

## 4 Reakce esterů

### 4.1 Kyselá hydrolýza esteru

Jak už jsme řekli, esterifikace je vratná reakce a reakce zpětná se nazývá **kyselá hydrolýza esteru**. Při této reakci vzniká opět karboxylová kyselina a alkohol.

<sup>6</sup> Přehled charakteristických vůní dalších esterů uveden v Doplňujících informacích pro učitele – 7.3.

<sup>7</sup> Více viz Doplňující informace pro učitele - 7.4.

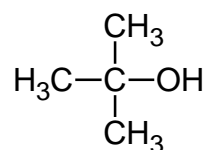
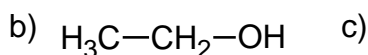
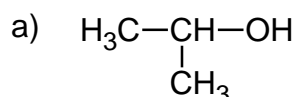
## 4.2 Alkalická hydrolýza esteru

Estery lze hydrolyzovat i v přítomnosti silných zásad (tzv. alkalický hydrolýza), vzniká však alkohol a sůl karboxylové kyseliny.<sup>8</sup>

## 5 Opakovací cvičení

1) Co je to esterifikace? Jaké jsou výchozí látky a produkty této reakce? Za jakých podmínek může reakce probíhat?

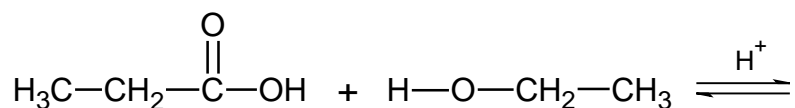
2) Který z následujících alkoholů bude podléhat esterifikaci nejnadhěji?



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 hydrolýzy 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, ethylacetátu a vody.

c) V první zkumavce bude směs octanu ethylnatého a vody, ve druhé směs ethanolu a kyseliny octové.

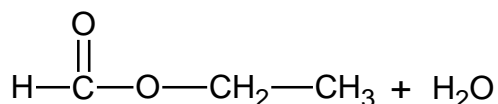
<sup>8</sup> Více viz Doplňující informace pro učitele – 7.5.

- d) Obsah druhé zkumavky se nezmění, v první zkumavce dojde k esterifikaci a vznikne tam směs octanu ethylatého a vody.

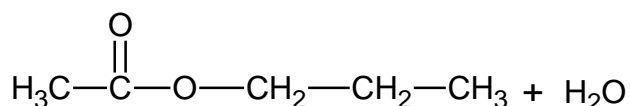
## 6 Řešení úloh

### 6.1 Řešení úlohy 2.1

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



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

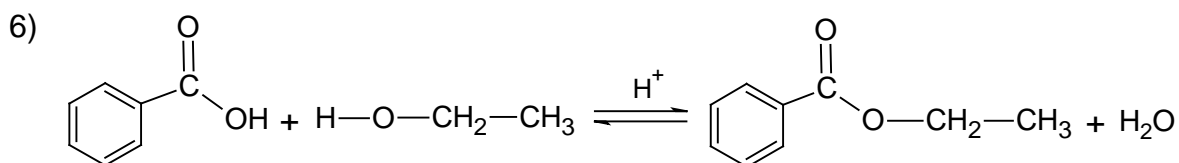


### 6.2 Řešení praktického úkolu z 2.2

- 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)  $m = 60 \text{ kg} \Rightarrow m_{\text{LD}} = 30 \text{ g}$   
 $V = m / \rho = 30 / 1,045 = 28,71 \text{ cm}^3$
- 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

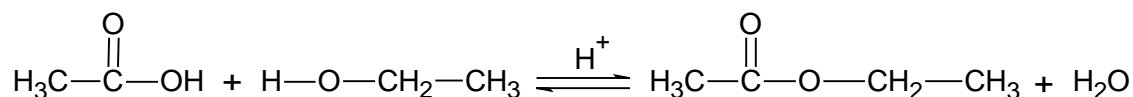
- 1) Esterifikace je reakce, kterou se připravují estery, vedlejším produktem je voda. Výchozími látkami pro tuto reakci jsou alkohol a karboxylová kyselina, reakce musí probíhat v prostředí silné kyseliny.
- 2) b)
- 3) kyselá hydrolýza
- 4) Řada esterů se používá v potravinářství jako vonné a příchutěvé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



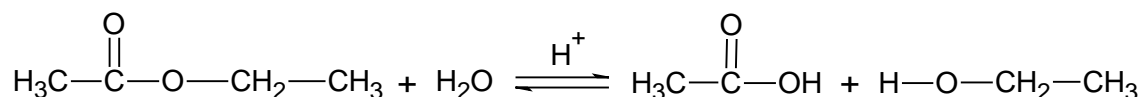
- 7) alkohol a sůl karboxylové kyseliny

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 a podpořit tak jejich vědomí, že u anorganických látek probíhá nejen neutralizace (která bývá žáky často vnímána jako jediný typ reakce anorganických sloučenin).

Reakcí kyseliny borité s methanolem, nebo ethanolem v kyselém prostředí vznikají **estery kyseliny borité**. Uvedenou reakci, jejíž provedení je velmi jednoduché, lze použít pro odlišení methanolu od ethanolu – po zapálení vzniklé směsi hoří methylester kyseliny borité zeleně, zatímco směs s ethanolem hoří oranžovým 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 arytmií a snižování krevního tlaku. Významnou výbušninou je také **nitrocelulóza**.

## 7.2 Poznámky k chemickému pokusu

V závěru reakce je možné k reakční směsi přisypat buď uhličitán či hydrogenuhličitán sodný.

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

Někteří autoři [8, 9] doporučují při zahřívání zkumavku s reakční směsí chladit a to pomocí:

- a) chladicího prstu (vsunout do zahřívané zkumavky menší zkumavku naplněnou studenou vodou, která poslouží jako chladič) a v takovém případě provést zahřívání po dobu 5 až 10 min a následně jej vylít do kádinky s vodou,
- b) jednoduchého zpětného chladiče (baňku uzavřít zátkou, kterou prochází trubice asi 1 m dlouhá – viz obrázek) a v takovém případě zahřívát 10 min na vodní lázni a následně jej vylít do kádinky se zahřátým nasyceným roztokem chloridu sodného ve vodě.



Obr. 1 Esterifikace za použití jednoduchého zpětného chladiče

Pro přípravu většího množství esteru je vhodné použít zpětný chladič: do baňky s 6 ml kyseliny octové přidat 5 ml ethanolu. Opatrně, za chlazení proudem vody, přilévat 7 ml konc. kyseliny sírové. Obličej si chránit štítem. Baňku uzavřít zátkou a vložit do ní jednoduchý zpětný chladič (viz obrázek) a opatrně zahřívát 7 – 10 min. Potom zaměnit zpětný chladič za vzdušný sestupný a oddestilovat asi 5 ml kapaliny. Přisypat ½ lžičky uhličitánu sodného, čímž se vysolí ethylester kyseliny octové, který vytvoří oddělenou vrstvu nemísitelnou s vodou.

### 7.3 Charakteristické vůně esterů

Alkohol	Kyselina	Ester	Vůně
methanol	k. salicylová	methylester kyseliny salicylové	karamel
methanol	k. máselná	methylester kyseliny máselné	ananas
ethanol	k. máselná	ethylester kyseliny máselné	broskve
ethanol	k. benzoová	ethylester kyseliny benzoové	karafiáty
ethanol	k. mravenčí	ethylester kyseliny mravenčí	rum
ethanol	k. octová	ethylester kyseliny octové	rozpouštědla <sup>9</sup>
butan-1-ol	k. octová	butylester kyseliny octové	ovoce
butan-1-ol	k. propionová	butylester kyseliny propionové	rum
pentan-1-ol	k. benzoová	pentylester kyseliny benzoové	ambra
pentan-1-ol	k. octová	pentylester kyseliny octové	ovoce
pentan-1-ol	k. salicylová	pentylester kyseliny salicylové	orchideje
pentan-1-ol	k. máselná	pentylester kyseliny máselné	meruňky
oktan-1-ol	k. octová	oktylester kyseliny octové	pomeranče

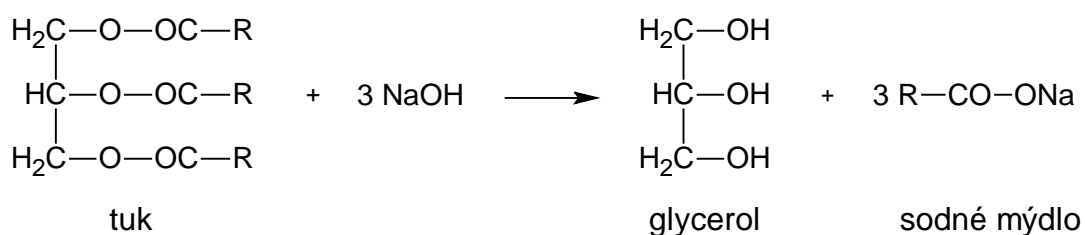
### 7.4 Mechanismus esterifikace

Z hlediska typu reakce je esterifikace **substitucí nukleofilní (S<sub>N</sub>)**, která probíhá **adičně-eliminačním mechanismem**.

Mechanismus reakce s terciárními alkoholy je jiný, než reakce uvedená pro studenty. Kyslík v esteru, který spojuje část molekuly pocházející z kyseliny s částí molekuly pocházející z terciárního alkoholu, není z alkoholu, ale z kyseliny.

### 7.5 Alkalická hydrolýza esteru (zmýdelnění)

Alkalická hydrolýza esterů patří mezi průmyslově významné reakce – využívá se při výrobě mýdel. Základní surovinou pro výrobu mýdel jsou estery vyšších mastných kyselin s glycerolem, které jsou hlavní součástí tuků.



<sup>9</sup> modelářská lepidla, laky na nehty

## 8 Přehled použité literatury a internetových odkazů

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. Bacardi rum [online 2011-09-15]. Dostupné z [www <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Bacardi.jpg>](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Bacardi.jpg)
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)