

Bioorganická chemie 3



Plán přednášky:

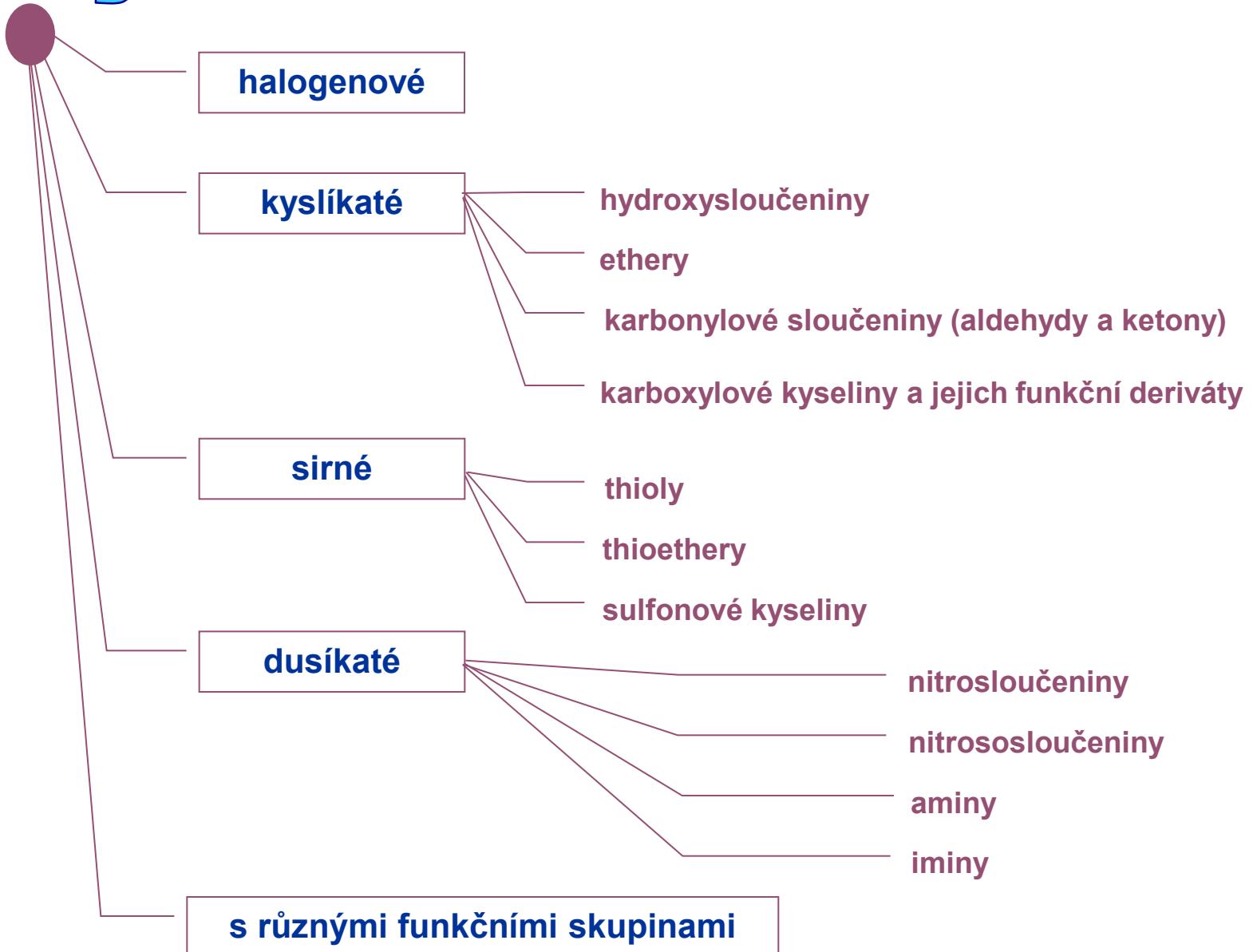
I. Deriváty uhlovodíků

Marek Procházka, FÚ UK

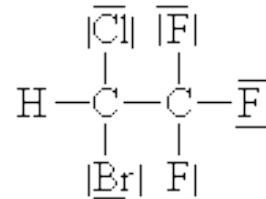
s použitím materiálů z:

D.L.Nelson, M.M.Cox: Lehninger Principles of Biochemistry, W. H. Freeman & Co.

Deriváty uhlovodíků

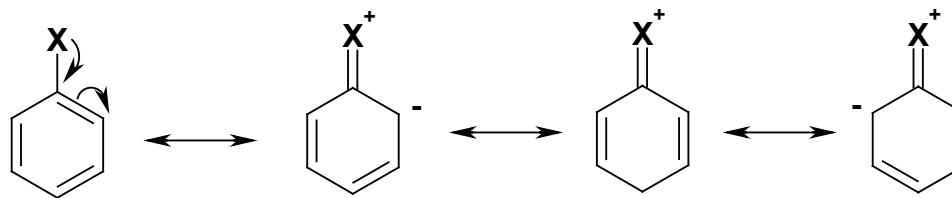


Halogenderiváty



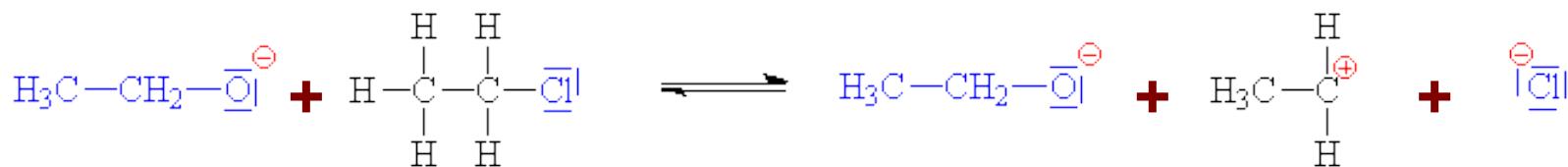
Dělávání buďteží

- názvosloví systematické (halogen-...) x radikálové (...-halogenid)
- Reaktivita: F (104kcal/mol); Cl (78kcal/mol); Br (66kcal/mol); I (53kcal/mol)
- Nukleofilní substituce – záměna halogenu za jinou fční skupinu účinkem nukleofilního činidla (mají volný el. pár),
- reaktivita v sousedství dvojné vazby – mezomerie
 - ✓ sloučeniny vinylového typu (X na C atomu s = vazbou) – substituce neprobíhá
 - ✓ sloučeniny allylového typu (nestabilní – M stabilizace kationtu) - probíhá
 - ✓ halogeny jsou substituenty I. třídy
- S_E do poloh ortho a para

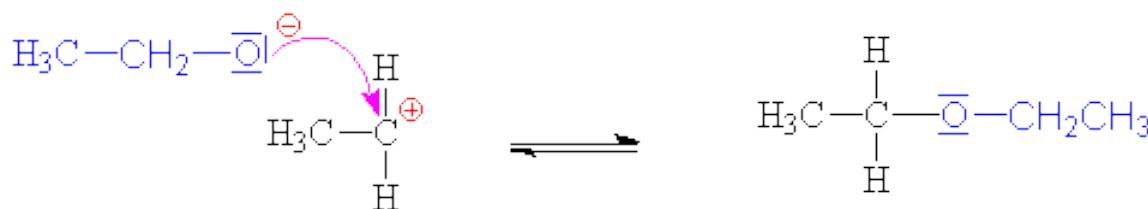


3. S_N - alkylhalogenidy

- monomolekulární x bimolekulární mechanismus
- S_{N1} - nízká koncentrace činidla, slabší nukleofilní činidlo a polární rozpouštědlo
- S_{N2} - vysoká koncentrace činidla, silné nukleofilní činidlo a nepolární rozpouštědlo.



S_{N1}



Halogenderiváty

➤ důležité sloučeniny:

- ✓ chloroform CHCl_3 (anestetické účinky) → fosgen Cl_2CO (světlo&kyslík)
- ✓ vinylchlorid (karcinogen) → PVC
- ✓ freony CCl_2F_2 , CCl_3F (velmi stabilní)
- ✓ tetrachlorethylen (chemické čištění), tetrafluorethylen (→ teflon)
- ✓ anesteze 1,1,1-trifluor-2-brom-2-chlorethan
- ✓ fungicidy, pesticidy, insekticidy

DDT (dichlorodiphenyltrichlorethane):

1874 – první příprava

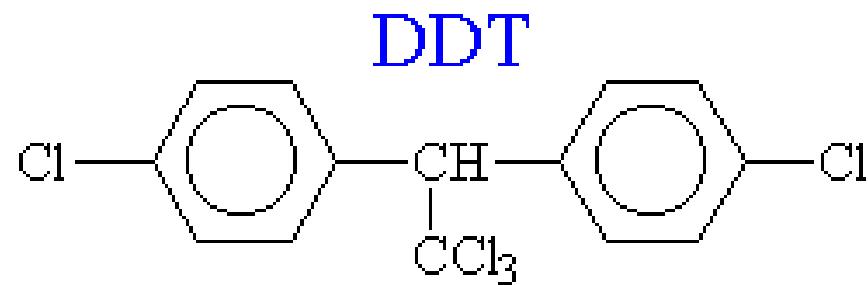
1930 – ke konci třicátých let byl objeven
insekticidní účinek

1939 – boj proti malárii a tyfu, proti zemědělským
škůdcům

rezistentní vůči biodegradaci

dospělý člověk – cca 5-10 ppm DDT

použití DDT je nyní ve většině zemí zakázáno



Dekádumbooky

Kyslíkaté deriváty

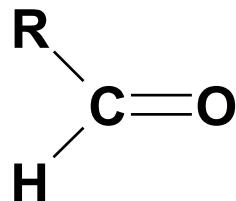


Hydroxysloučeniny:

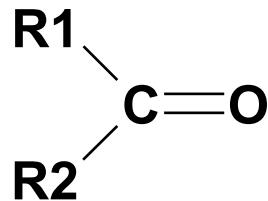
- Alkoholy, fenoly (R je aromatický)
- Jednosytné (1 OH), vícesytné (více OH)



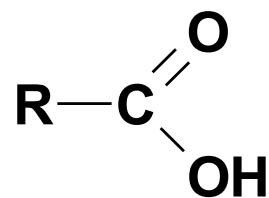
Ethery



Aldehydy

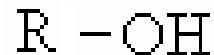


Ketony



Karboxylové kyseliny

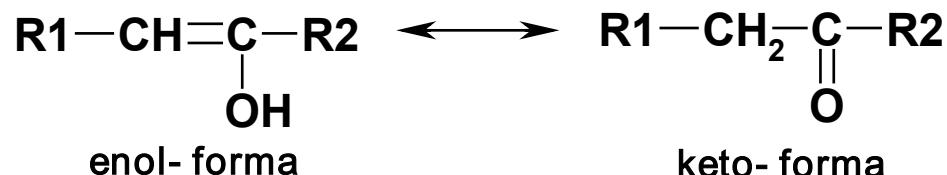
Alkoholy



➤ názvosloví systematické (hydroxy-..., ...-ol) x radikálové (...alkohol)

➤ primární, sekundární a terciární alkoholy

➤ enoly, polyoly (enol-keto izomerie)



➤ rozpustnost: do C(3) ve vodě, od C(4) v nepolárních rozpouštědlech

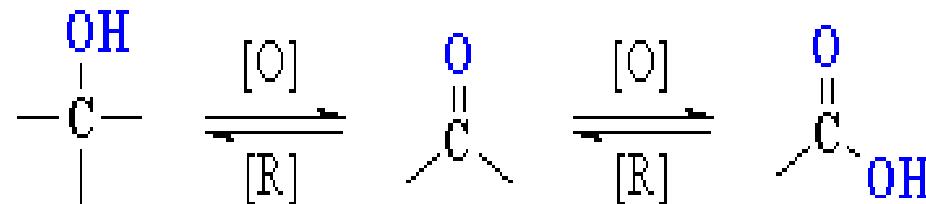
➤ $T_B > T_B$ uhlovodíků (H-můstky), OH rozdíl elektronegativit 1,4

propan (-42°C), propanol (97°C), 1,2-propandiol (187°C), 1,2,3-propantriol (290°C)

➤ $-OH \uparrow \Rightarrow T_B \uparrow$ a rozpustnost v polárních rozpouštědlech \uparrow

➤ optická izomerie (př. 2-butanol)

➤ nestálost: dvě $-OH$ na jednom C (\rightarrow aldehyd či keton; tři \rightarrow karboxykyselina)



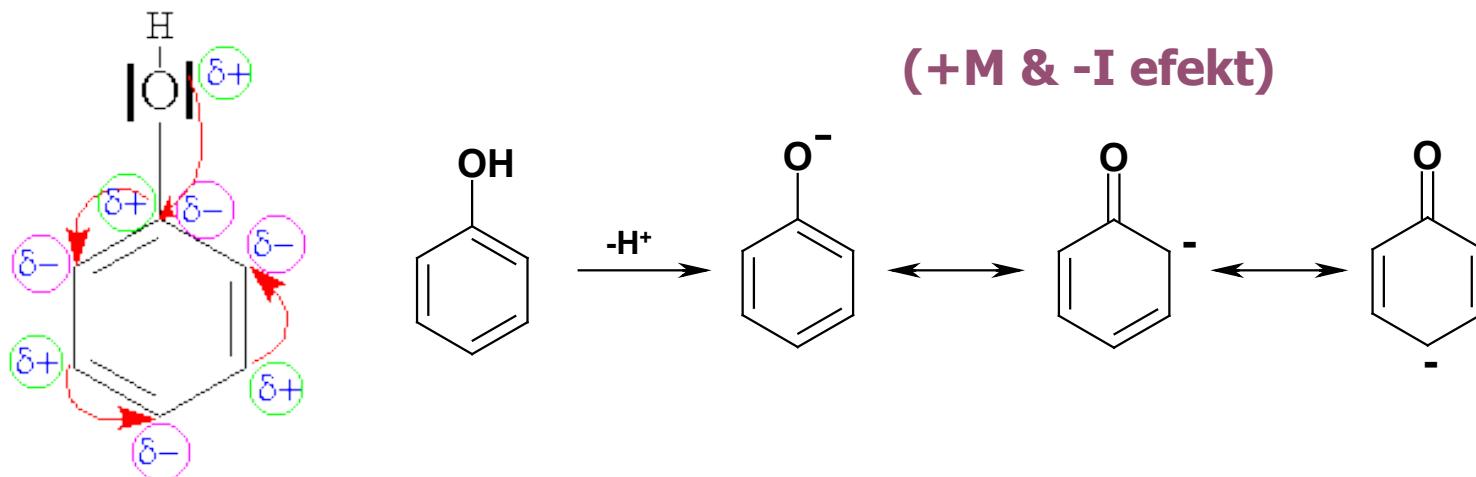
Alkoholy-kyselost

anorganické kyseliny	organické kyseliny	kyselina uhličitá	fenoly	voda	alkoholy
>1	10^{-5}	10^{-7}	10^{-10}	10^{-14}	10^{-16}

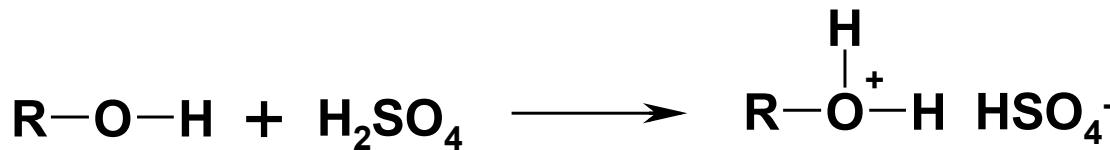
alkoholy jsou slabší kyseliny než voda, reagují jen s nejsilnějšími zásadami



fenoly jsou silnější kyseliny, fenolátový aniont je stabilizován díky mezomerii



hydroxyderiváty jsou amfoterní
díky páru volných elektronů mohou vázat vodíkový kationt (bazické chování)



➤ důležité sloučeniny:

- ✓ **methanol** (prudce jedovatý) – $T_B=65^\circ\text{C}$
- ✓ **ethanol** (opojný účinek) – $T_B=78^\circ\text{C}$
- ✓ **1-butanol** – změkčovadlo plastů, repelenty
- ✓ **glycerol** (glycerin; 1,2,3-propantriol)

glyceroltrinitrát (nitroglycerin, dynamit; 1,2,3-propantrioltrinitrát) – angina pectoris

ethylenglykol (fridex; 1,2-ethandiol)

- ✓ **nitráty** (výbušné), **sulfáty** (alkylační činidla), **fosfáty** (pesticidy, bio)

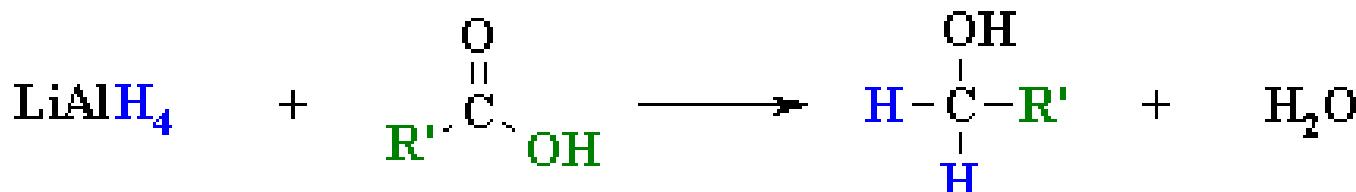
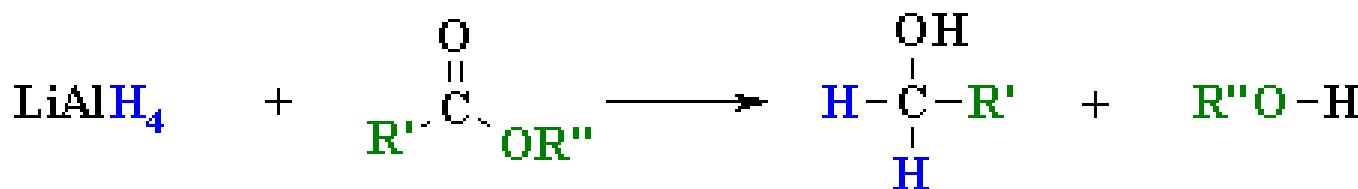
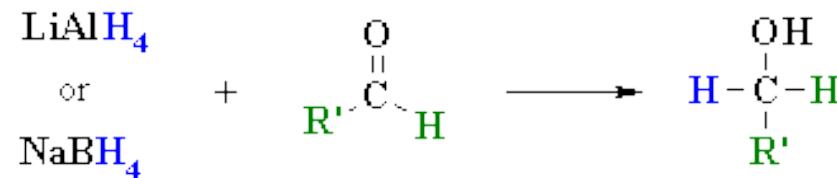
Alkoholy – příprava

➤ hydrogenace aldehydů a ketonů



➤ hydratace alkenů

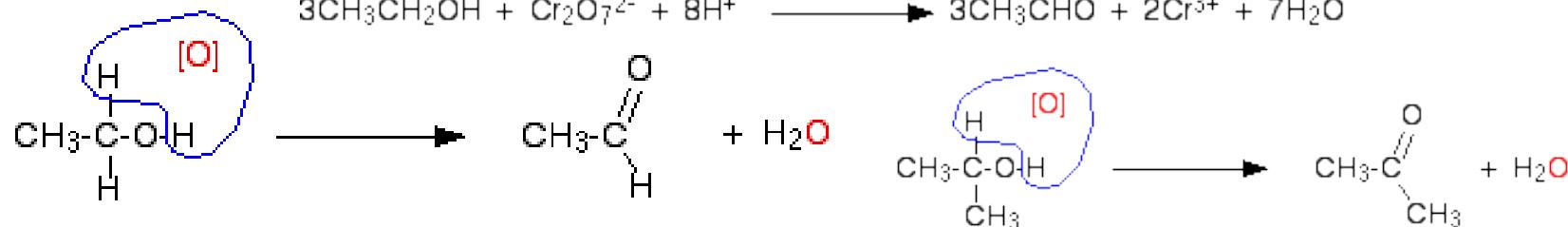
➤ hydrolýza halogenidů a esterů



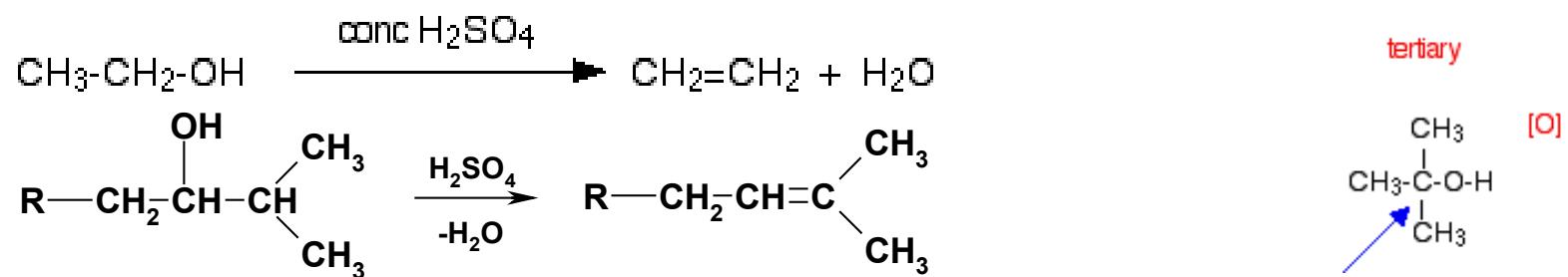
Alkoholy – chemické reakce (S_N, E)

Chemické reakce (S_N, E):

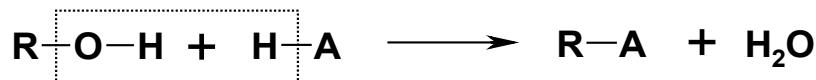
➤ oxidace



➤ dehydratace



➤ esterifikace (S_N)



s anorg.kyselinami (nitráty, sulfáty a fosfáty)

➤ kyselost – tvorba alkoholátů:

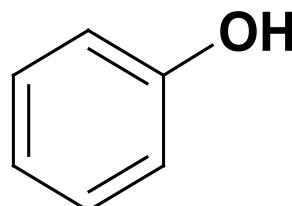


Hydroxysloučeniny – fenoly

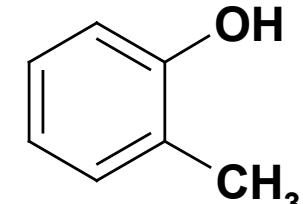
➤ názvosloví systematické (hydroxy-..., ...-ol)

➤ triviální názvosloví

➤ fenol x benzylalkohol



benzenol
(fenol)



hydroxytoluen
(kresol)

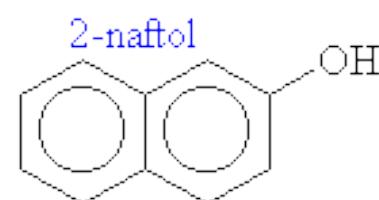
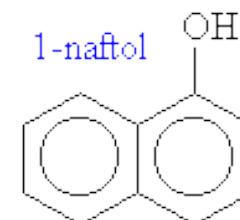
➤ rozpustné ve vodě

➤ vysoké $T_B \Rightarrow$ pevné látky

➤ kyselejší než alkoholy \Leftarrow stabilizace aniontu mezomerií

➤ důležité sloučeniny:

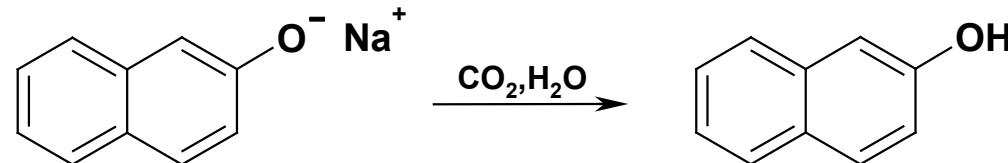
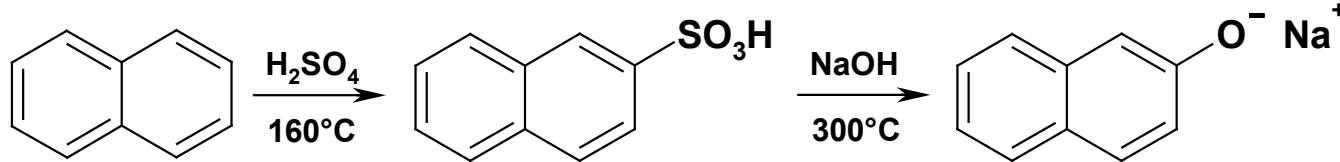
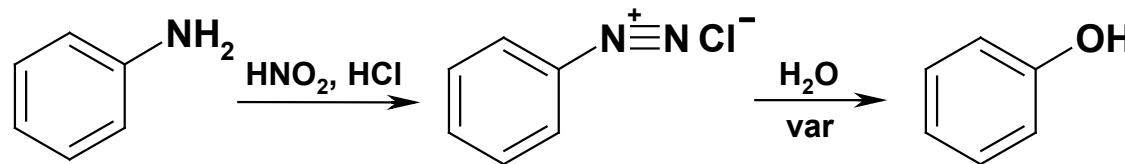
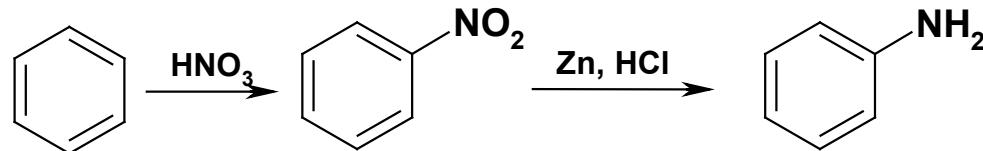
- ✓ fenol – bezbarvá krystalická látka, široké průmyslové použití – výroba plastů
- ✓ o-, m-, p-kresol (hydroxytoluen) – dezinfekční účinky
- ✓ 1-naftol, 2-naftol – barviva
- ✓ resorcin (1,3 - benzendiol) – jeho 4-hydroxylderivát je antiseptikum, dermatologie
- ✓ pentachlorfenol (ochrana dřeva proti houbám)
- ✓ kyselina pikrová (2,4,6-trinitrofenol) - výbušnina
- ✓ hydrochinony – barviva, fotografické vývojky



Fenoly

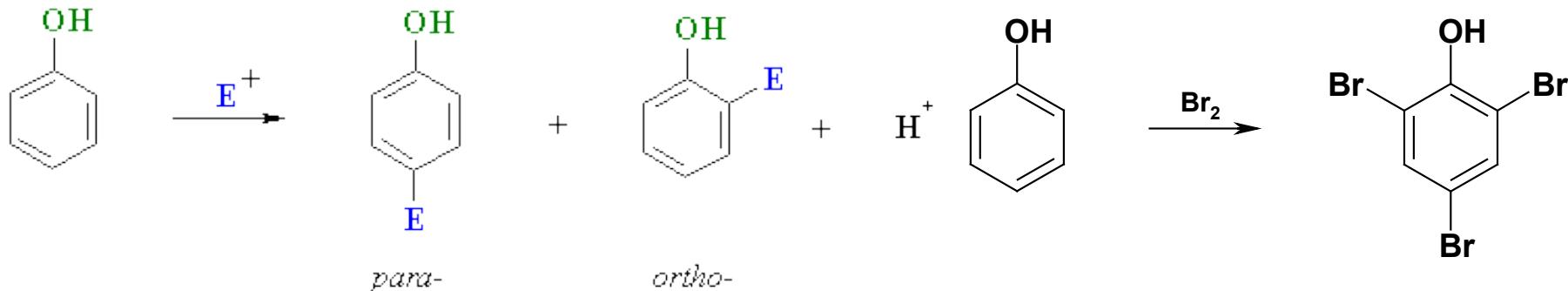
➤ příprava:

skupinu OH nelze zavést na aromatické jádro přímo elektrofilní substitucí
syntézy se provádí přes skupiny, které lze za OH zaměnit



Fenoly

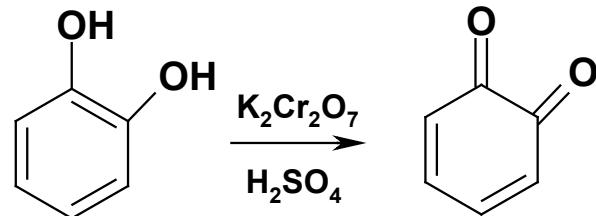
➤ reaktivita (S_E – substituent 1.řádu):



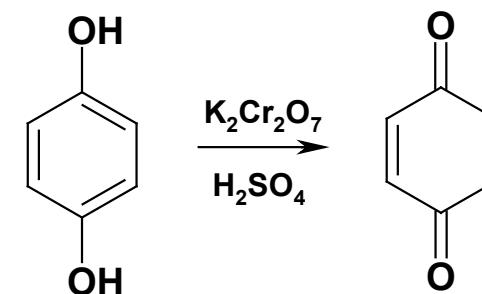
✓ tvorba fenolátů



✓ oxidace (\rightarrow chinony)

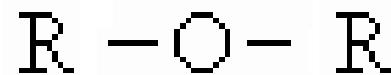


pyrocatechol
1,2-benzene diol
o - benzene diol



hydroquinone 1,4-benzochinon
1,4-benzene diol žlutý
p - benzene diol 1,3 NE

Ethery



- názvosloví systematické (alkoxy-...) x radikálové (...ether)
- radikálové reakce s kyslíkem (vzduch & světlo → výbušné peroxidu)
- O – konjugace s aromatickým jádrem (dioxany)

➤ důležité sloučeniny:

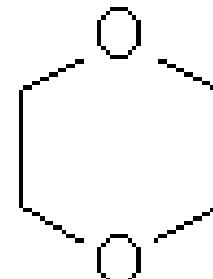
✓ diethylether (ether) – narkotikum

✓ dioxan (rozpuštědlo), jedovatý

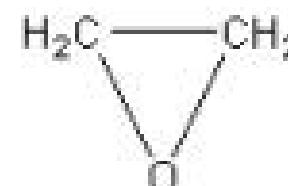
✓ ethylenoxid - plyn, (karcinogen)

✓ furan

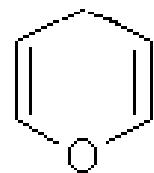
✓ pyran



1,4-dioxan



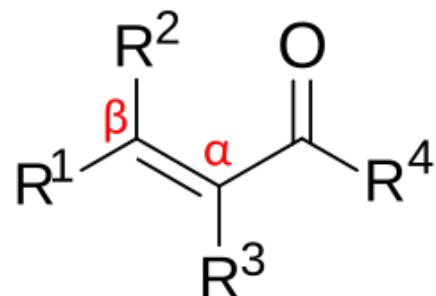
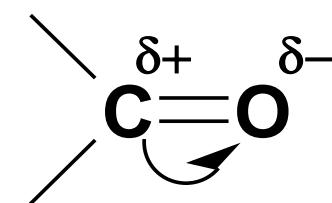
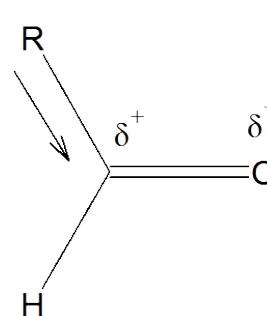
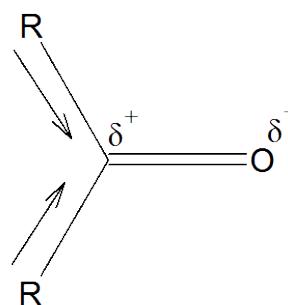
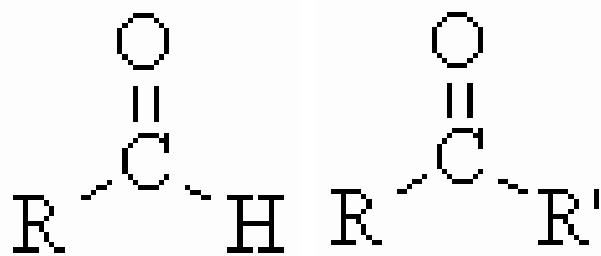
ethylenoxid



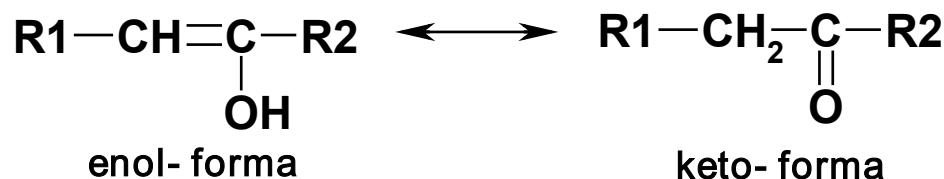
Karbonylové sloučeniny

Denkayutbukti

- aldehydy x ketony
 - názvosloví systematické (oxo-..., ...-al, -on) x radikálové (...aldehyd, ...keton)



- kladný indukční efekt – aldehydy jsou reaktivnější než ketony, kyselost – α -uhlík je kyselý
 - rozpustnost: do C(2) v polárních, od C(3) v nepolárních rozpouštědlech
 - $T_B < T_B$ alkoholů
 - keto-enol izomerie (tautomerie)



Karbonylové sloučeniny

Dekanát chemického inženýrství
Dekanát chemického inženýrství

➤ důležité sloučeniny:

- ✓ methanal (**formaldehyd**, 40% vodný roztok - formalin) – dezinfekce, konzervace biomateriálu, plasty
- ✓ methanal → hexamethylentriamin (**urotropin, hexa**, pevný líh, $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$) – výroba hexagenu
- ✓ acetaldehyd (ethanal), akrylaldehyd (propenal)
- ✓ benzaldehyd (benzenkarbaldehyd) – syntéza barviv a léčiv, mandlový olej
- ✓ aceton (propanon) – rozpouštědlo
- ✓ cyklohexanon – příprava jeho oximu a kyseliny adipové → výroba silonu a nylonu

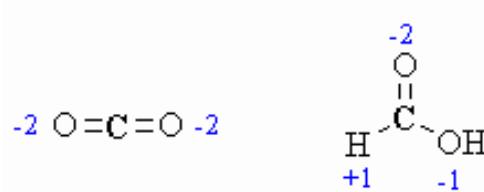
Karbonylové sloučeniny

příprava:

- redukce chloridů karboxylových kyselin (aldehydy): $\text{R}-\text{COCl} + \text{H}_2 \rightarrow \text{HCl} + \text{R-CHO}$
- zahřívání Ca či Ba solí karboxykyselin: $(\text{CH}_3-\text{COO})_2\text{Ca} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CO-CH}_3 + \text{CaCO}_3$
- oxidace primárních, resp. sekundárních alkoholů

chemické reakce (aldehydy):

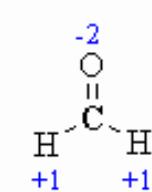
➤ oxidace



$$\begin{aligned} \text{C} &= -(-2 - 2) \\ &= +4 \end{aligned}$$

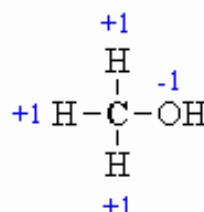
most CO bonds

➤ redukce



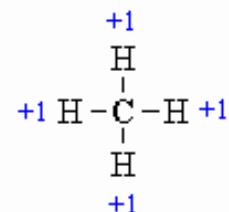
$$\begin{aligned} \text{C} &= -(-2 - 1 + 1) \\ &= +2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C} &= -(-2 + 1 + 1) \\ &= 0 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{C} &= -(-1 + 1 + 1 + 1) \\ &= -2 \end{aligned}$$

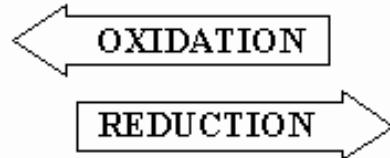
+1



$$\begin{aligned} \text{C} &= -(+1 + 1 + 1 + 1) \\ &= -4 \end{aligned}$$

most CH bonds

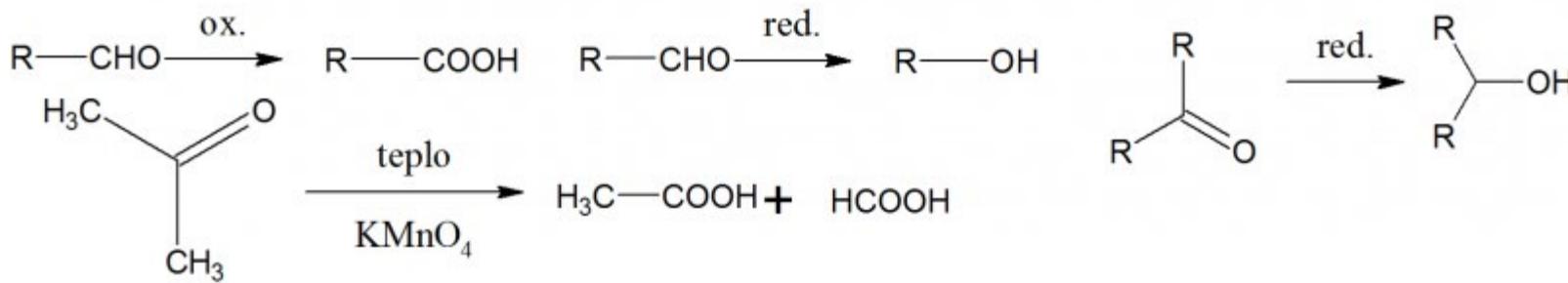
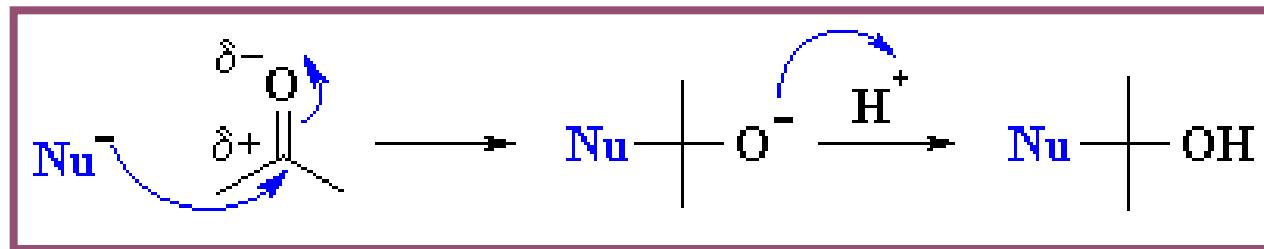
➤ A_N



Karbonylové sloučeniny

chemické reakce:

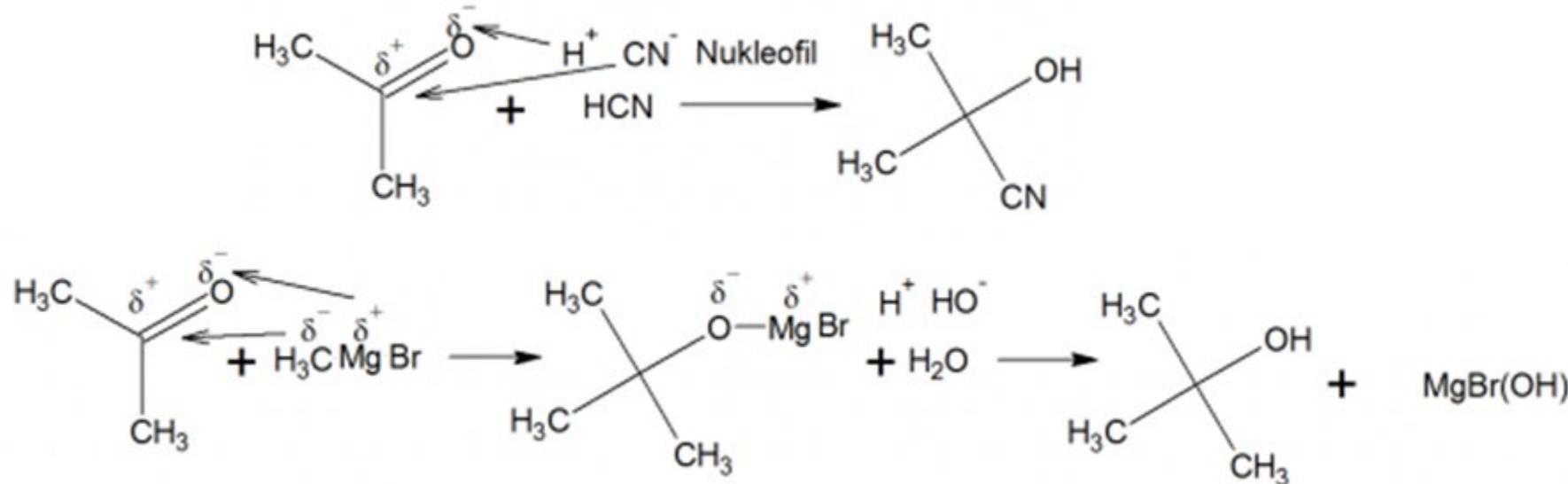
- schopnost adice klesá od formaldehydu přes ostatní aldehydy ke ketonům (delší zbytky snižují kladným indukčním efektem parciální kladný náboj na karbonylovém uhlíku, u ketonů je efekt dvojnásobný)
- oxidace u aldehydů probíhá snadno i se slabými oxidačními činidly, u ketonů hůře a jenom silnými oxidačními činidly (HNO_3) nebo vůbec
- redukce – z aldehydu vzniká primární alkohol, z ketonu sekundární alkohol



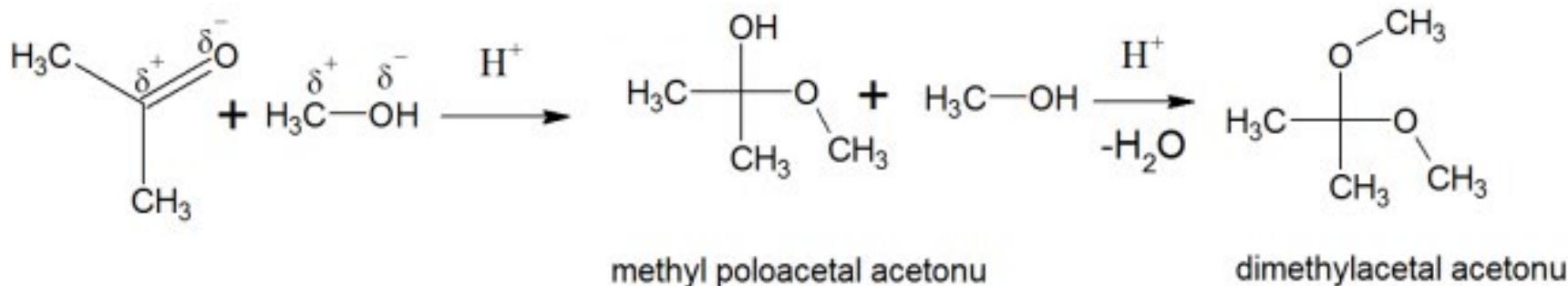
Karbonylové sloučeniny – A_N

Dochází k navázání záporně nabitého iontu (př. CN⁻) na uhlík a k zániku dvojné vazby na kyslík.

Příkladem nukleofilní adice jsou i reakce s Grygnardovými sloučeninami.

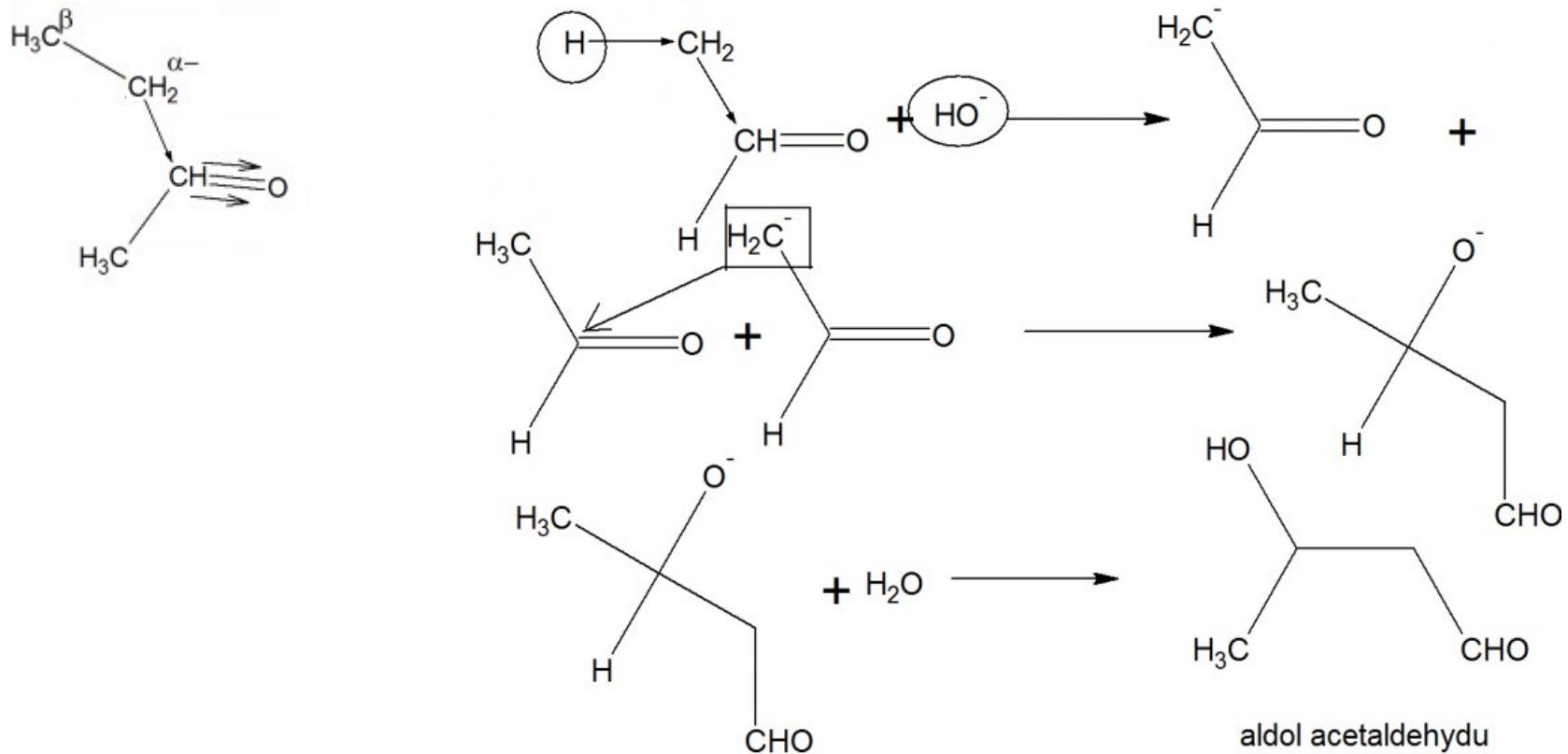


tvorba (polo)acetalů

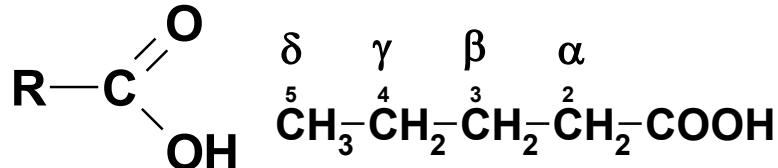


Karbonylové sloučeniny - A_N

aldolová kondenzace – A_N: jedna molekula aldehydu účinkem báze odštěpí α -proton (kyselý) a vzniklý karbanion se aduje na druhou molekulu aldehydu.



Karboxylové kyseliny



➤ názvosloví systematické (...-ová kyselina, ...-karboxylová kyselina) x triviální

➤ acyly

➤ nasycené, nenasycené, aromatické, vícesytné, funkční a substituční deriváty

rozpustnost: do C(2) v polárních, od C(3) v nepolárních rozpouštědlech

➤ $T_B >> T_B$ alkoholů (vícesytné a aromatické – krystalické látky)

➤ **kyselost** – $pK = -\log(K_a)$ – $pK \sim 5$

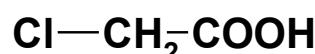
➤ stabilizace aniontu rezonancí – delokalizace náboje mezi oběma kyslíky

substituenty dodávající elektrony (+I efekt)

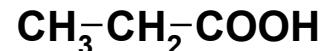


4,75

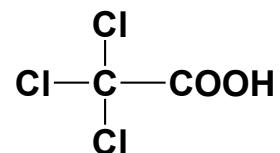
substituenty odčerpávající elektrony (-I efekt)



2,81



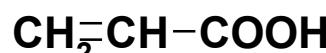
4,80



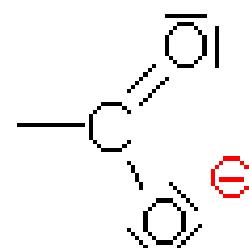
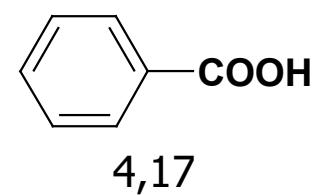
0,08

násobné vazby nebo aromatický systém

(M efekt, -COOH je substituent II. třídy)



4,26

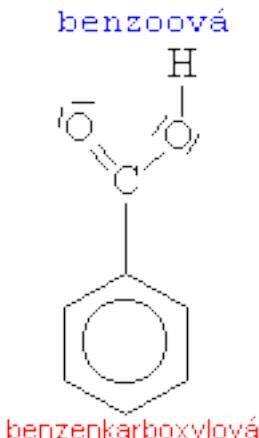


Karboxylové kyseliny

➤ důležité karboxylové kyseliny:

- ✓ C1 – kyselina mravenčí – formyl – formiát
- ✓ C2 – octová – acetyl – acetát (octan)
- ✓ C3 – propionová – propionyl – propionát
- ✓ C4 – máselná – butyryl – butyrát
- ✓ C5 – valerová – valeryl – valerát
- ✓ C6 – kapronová – kaproyl - kapronát
- ✓ C12 – laurová
- ✓ C14 – myristová
- ✓ C16 – palmitová – palmityl – palmitát
- ✓ C18 – stearová – stearyl – stearát (stearan)

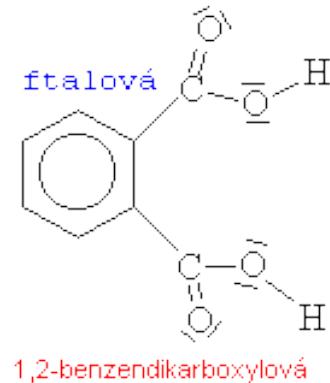
- ✓ kyselina akrylová (propenová)
- ✓ kyselina methakrylová (2-methylpropenová)
- ✓ kyselina krotonová (cis/trans 2-butenová)
- ✓ kyselina benzoová – benzoyl – benzoát (benzoan)



Karboxylové kyseliny

➤ důležité dikarboxylové kyseliny:

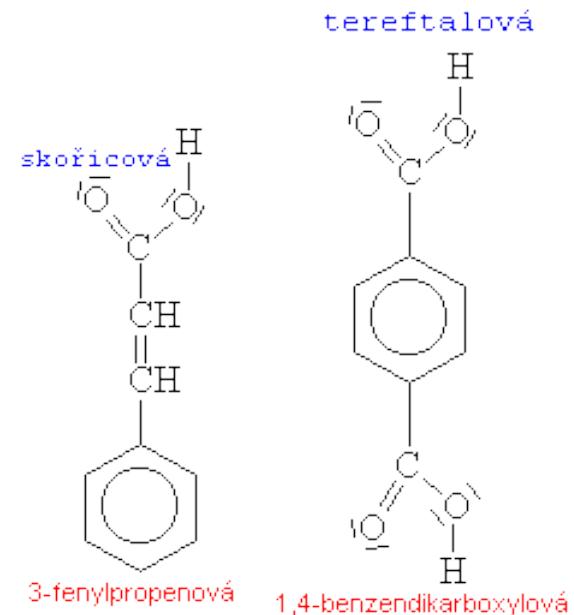
- ✓ C2 – št'avelová, oxalová – oxaryl – oxalát (št'avelan)
- ✓ C3 – malonová – malonyl – malonát
- ✓ C4 – jantarová – sukcinyl – sukcinát
- ✓ C5 – glutarová – glutaryl – glutarát
- ✓ C6 – adipová – adipyl – adipát



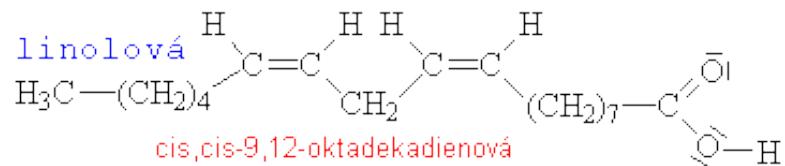
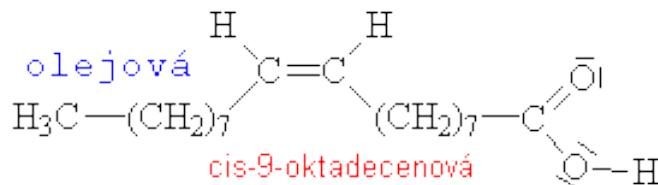
- ✓ kyselina maleinová (cis-butendiová)
- ✓ kyselina fumarová (trans-butendiová)
- ✓ olejová, linolová, linolenová

➤ důležité sloučeniny :

- ✓ kyselina mravenčí – konzervant
- ✓ kyselina octová – nejdůležitější – estery příjemné vůně
- ✓ ostatní široké použití v průmyslu



Karboxylové kyseliny



Příprava karboxylových kyselin:

- ozonolýza alkynů a alkenů
- hydrolýza nitrilů
- oxidace alkoholů, aldehydů
- oxidace uhlovodíků
- hydrolýza esterů

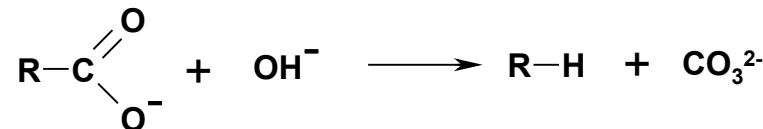
Karboxylové kyseliny

chemické reakce (S_N):

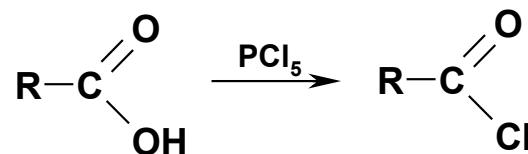
➤ neutralizace (kyselost – tvorba solí) $R-COOH + NaOH \longrightarrow R-COONa$

➤ redukce (nesnadno): $R-COOH \rightarrow R-CHO$

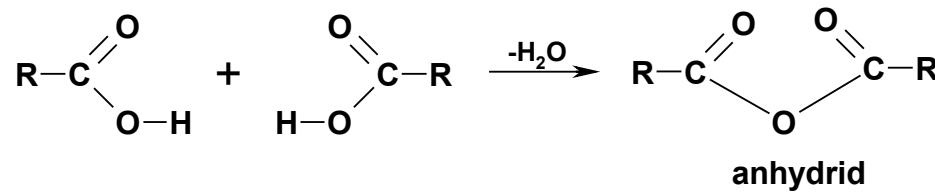
➤ dekarboxylace:



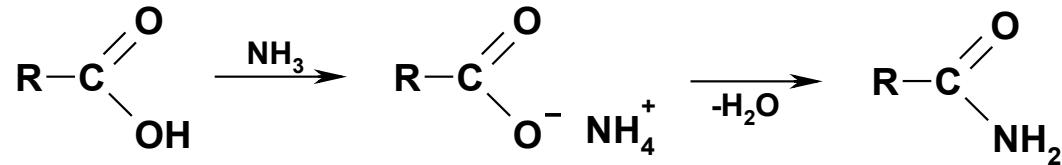
➤ tvorba acylhalogenidů



➤ tvorba anhydridů



➤ tvorba amidů



chemické reakce (S_N):

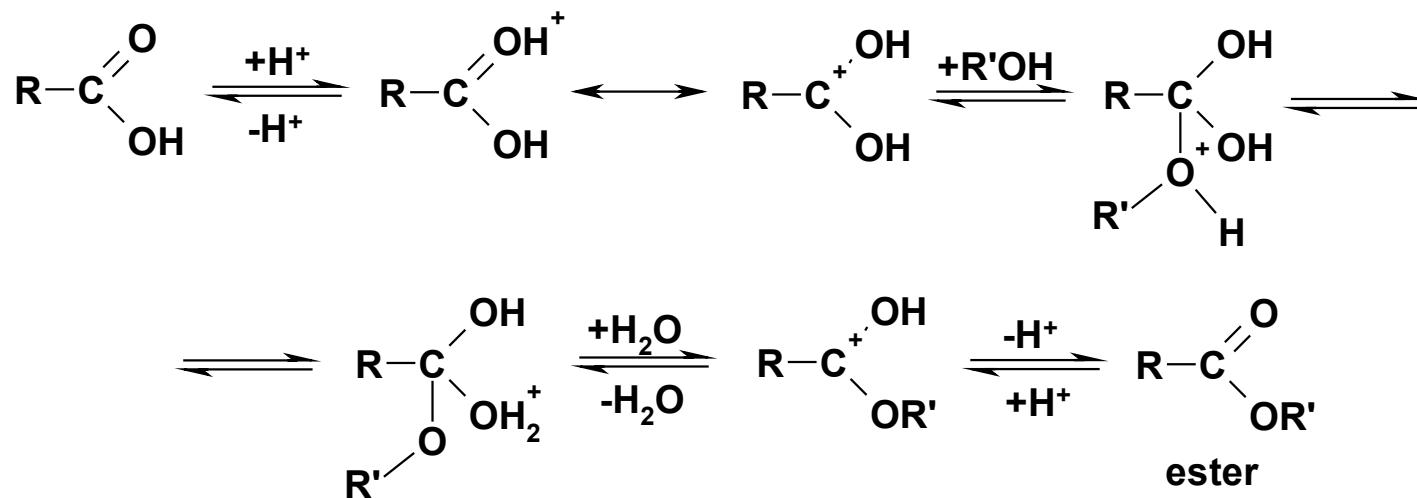
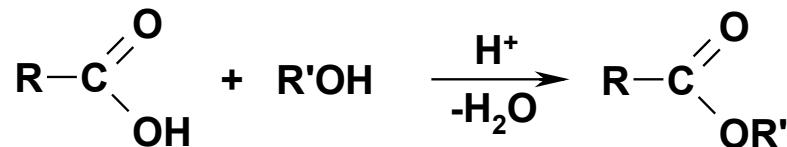
esterifikace - reakce kyselin s alkoholy za vzniku esterů

- bez katalýzy kyselinami probíhá pomalu

- snadnost esterifikace klesá v řadě

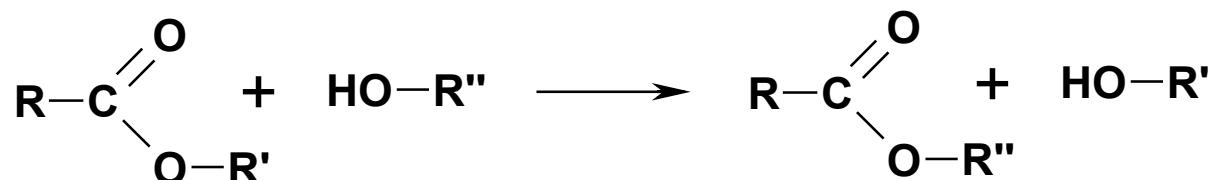
primární > sekundární > terciární alkoholy

- fenoly přímo esterifikovat nelze



chemické reakce (S_N):

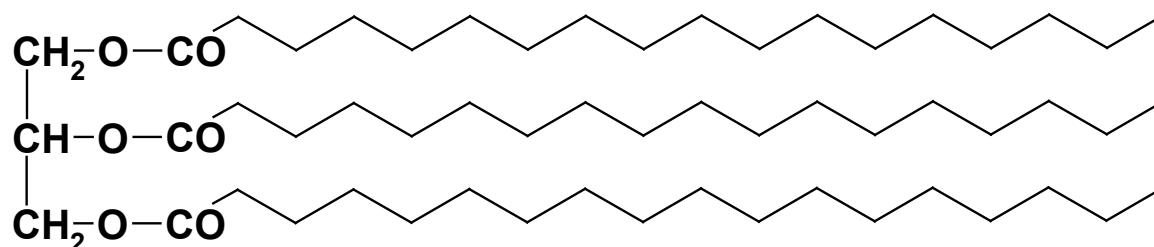
➤ reesterifikace



➤ ESTERY:

nižší body varu než kyseliny (nemají vodíkové můstky)

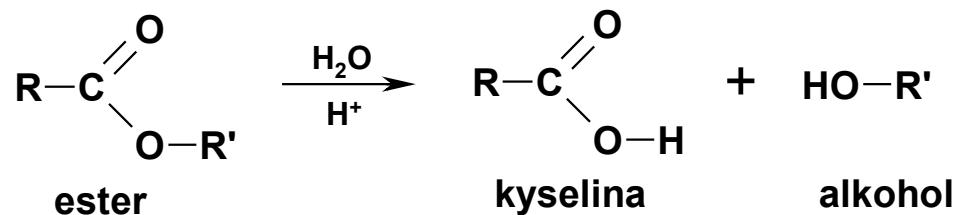
- některé příjemně voní (feromony)
- estery vyšších mastných kyselin s glycerolem jsou tuky a oleje



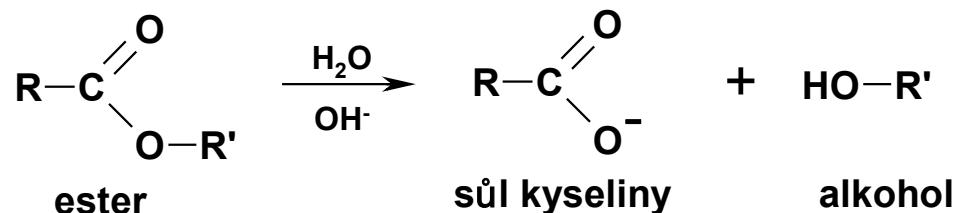
chemické reakce (S_N):

➤ esterifikace

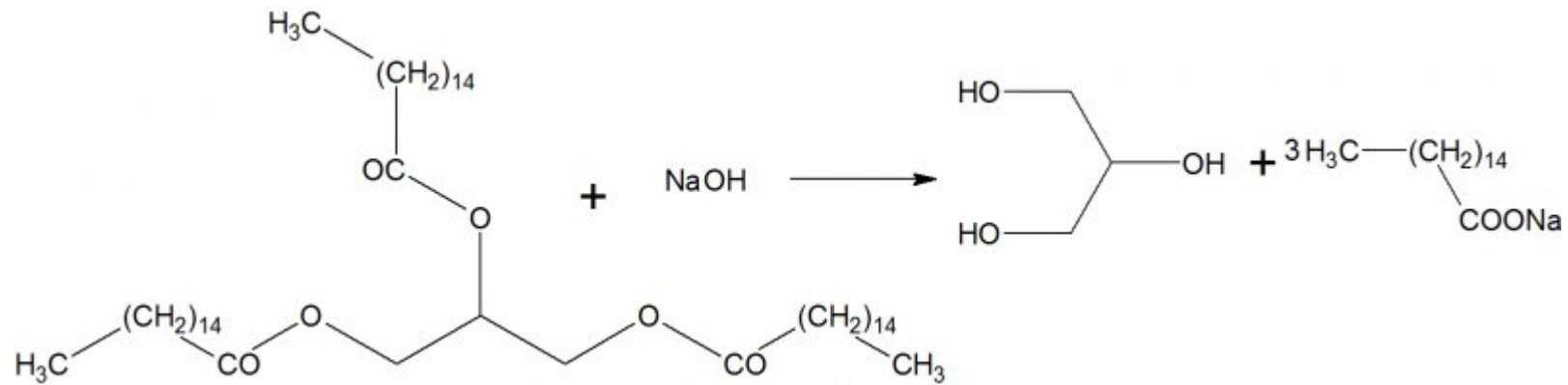
✓ kyselá hydrolýza esterů



✓ alkalická hydrolýza esterů (zmýdelnění)



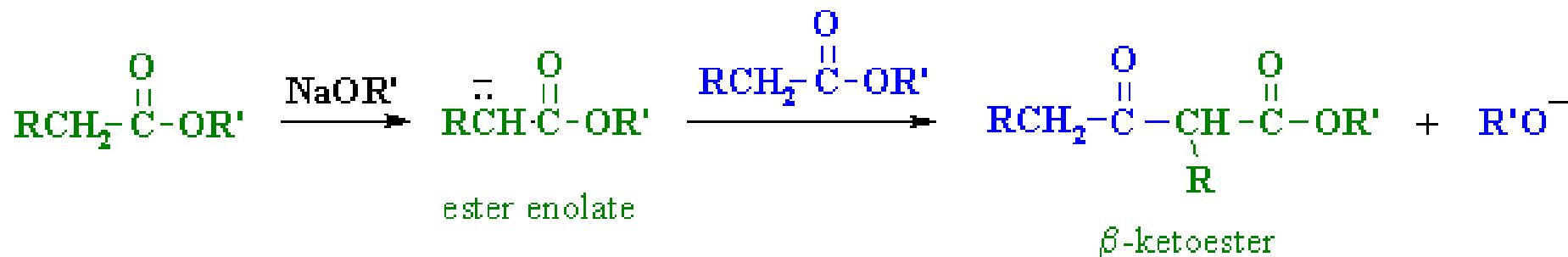
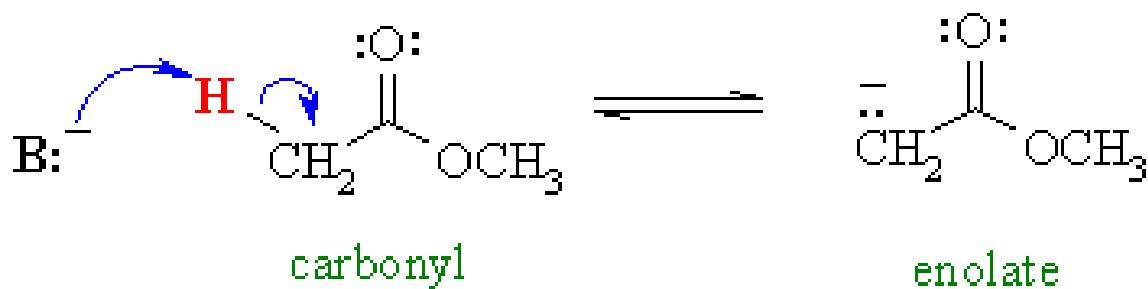
Mýdla jsou sodné nebo draselné soli vyšších karboxylových kyselin



chemické reakce (S_N):

➤ Claisenova kondenzace

(analog. aldolová kondenzace)



Látky s více funkčními skupinami

- funkční x substituční deriváty
- funkční deriváty karboxylových kyselin:

- ✓ acylhalogenidy
- ✓ estery
- ✓ laktony (vnitřní estery)
- ✓ anhydrydy
- ✓ amidy
- ✓ nitrily
- ✓ laktamy
- ✓ imidy ...

- funkční deriváty karbonylových sloučenin:

- ✓ iminy $R-CH=NH$
- ✓ oximy $R-CH=NH-OH$
- ✓ hydrazony $R-CH=NH-NH_2$

Látky s více funkčními skupinami

➤ substituční deriváty:

- ✓ ketokyseliny (α -keto \Rightarrow dekarboxylace)



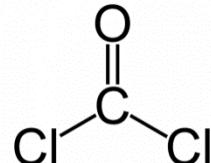
- ✓ halogenkyseliny (-I efekt \Rightarrow kyselost)

- ✓ aminokyseliny (α -amino, amfionty)

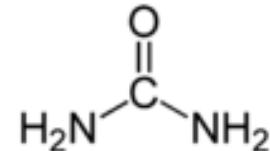
- ✓ hydroxykyseliny (γ - či δ -laktony)

- ✓ hydroxyderiváty karbonylových sloučenin (γ - či δ -cyklické hemiacetály)

- ✓ deriváty kyseliny uhličité : fosgen

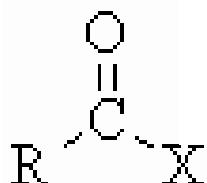


- močovina



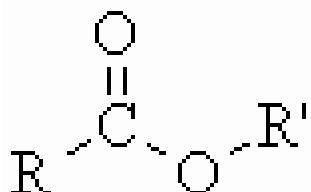
Funkční deriváty karboxylových kyselin

➤ acylhalogenidy

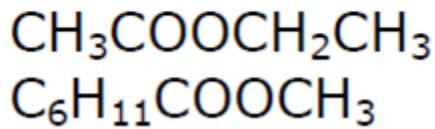


ad. 1. uhlovodík + *oylhalogenid*
ad. 2. uhlovodík + *karbonylhalogenid*
 CH_3COCl
ethanoylchlorid nebo *acetylchlorid*

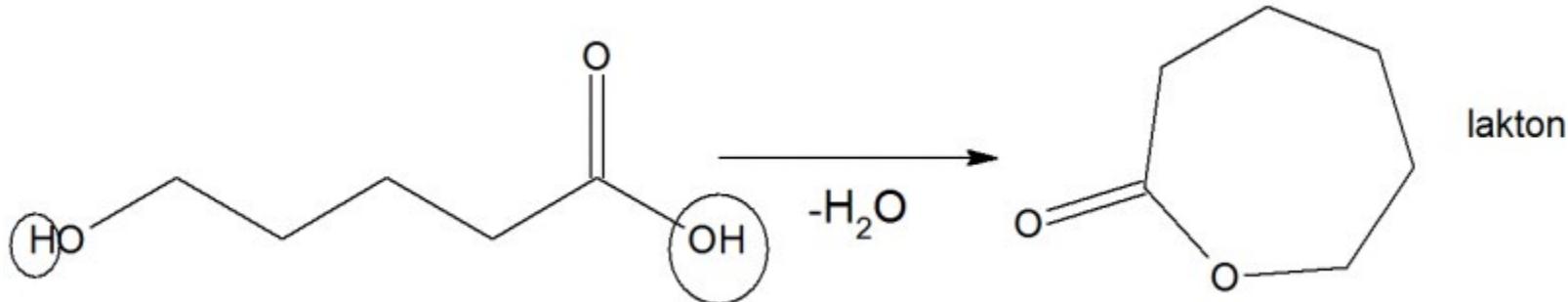
➤ estery



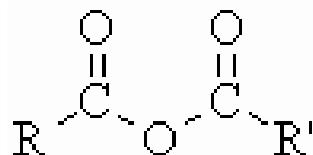
ad. 1. radikál - uhlovodík + *oát*
ad. 2. radikál - uhlovodík + *karboxylát*



ethyl-ethanoát nebo *ethyl-acetát*
methyl-cyklohexankarboxylát

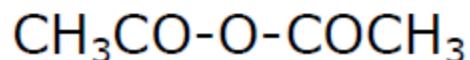


► anhydrydy



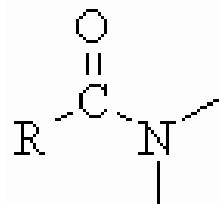
uhlovodík + *anhydrid*

uhlovodík + *karboxanhydrid*



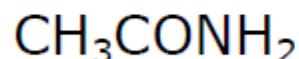
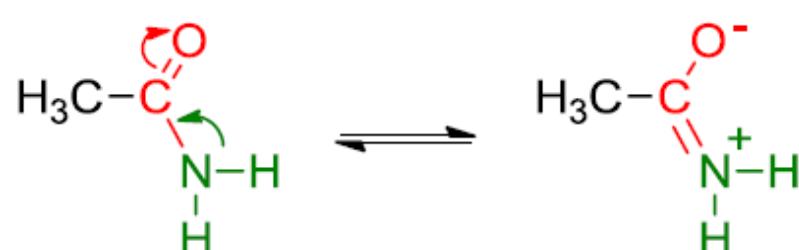
ethananhidrid nebo acetanhidrid

► amidy



ad. 1. uhlovodík + *amid*

ad. 2. uhlovodík + *karboxamida*

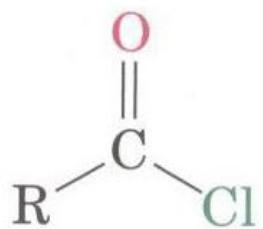


ethanamid nebo acetamid

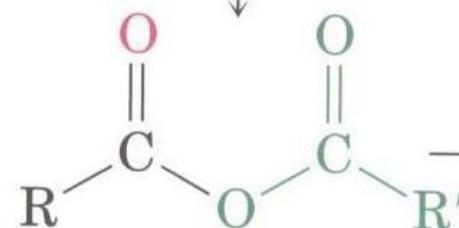
cyklohexankarboxamid

kapalné nebo krystalické látky, s vysokými body tání a varu, díky tvorbě vodíkových můstků. Reagují s nukleofily (hydrolýza na karboxylové kyseliny). Amidy je možné redukovat na aminy.

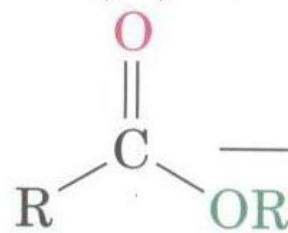
reaktivnější



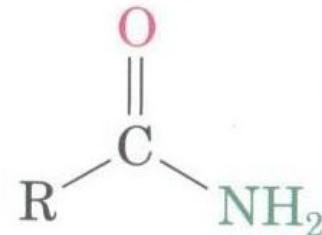
acylchlorid



anhydrid



ester



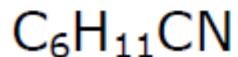
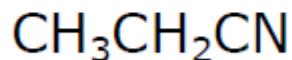
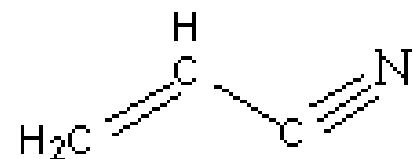
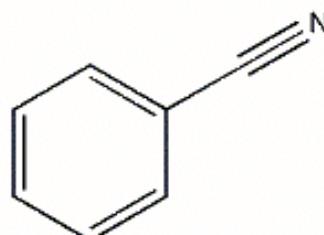
amid

méně
reaktivní

Funkční deriváty karboxylových kyselin

Nitrily

- funkční skupina -C≡N
- názvosloví ad. 1. uhlovodík + *nitril*
 ad. 2. uhlovodík + *karbonitril*

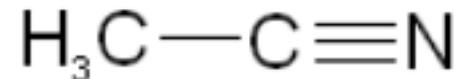


propan*nitril*

cyklohexan*karbonitril*

- dehydratace amidů

- hydratace (+H₂O): R-CN → R-CONH₂ → R-COOH

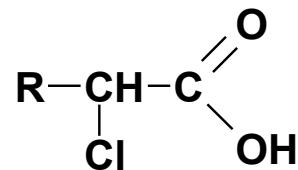


- silně polární charakter

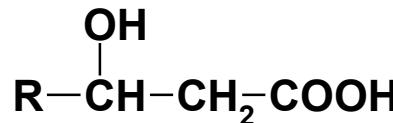
- nejvýznamnější akrylonitril, acetonitril, benzonitril

Substituční deriváty karboxylových kyselin

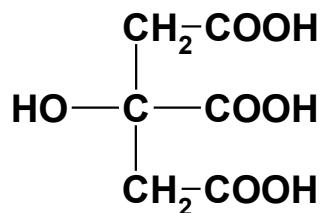
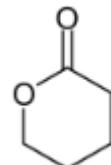
➤ halogenkyseliny



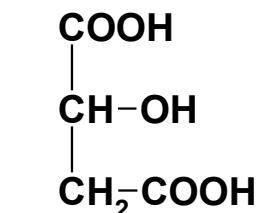
➤ hydroxykyseliny



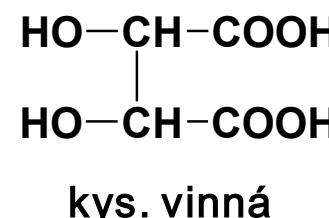
Vnitřní estery =
laktony



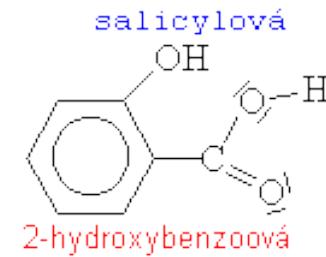
kys. citronová



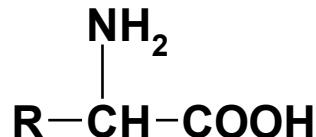
kys. jablčná



kys. vinná



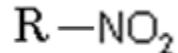
➤ aminokyseliny



Kys. acetylsalicylová =
aspirin

Dusíkaté deriváty-Nitrosloučeniny

➤ názvosloví systematické (nitro-...)



primární, sekundární, terciární

➤ silně polární character, záporný indukční efekt, záporný mezomerní efekt

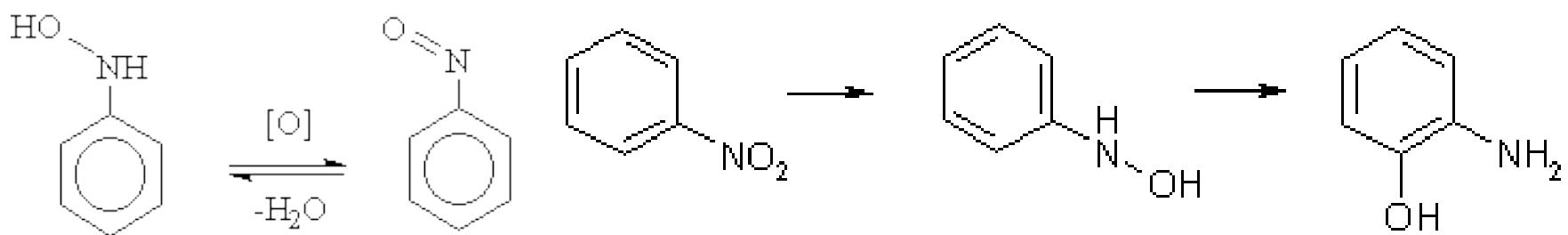
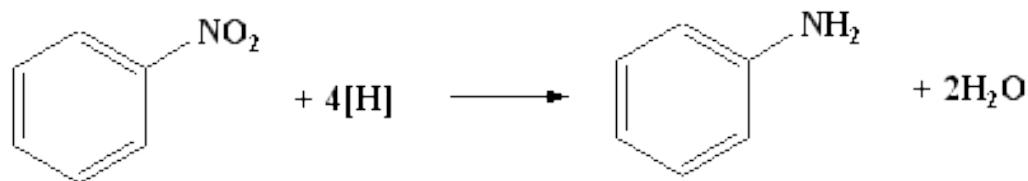
➤ aromatické nitrosloučeniny – vysokovroucí kapaliny či tuhé látky příjemné vůně

➤ příprava - nitrace benzenu nitrační směsí (substituent 2.řádu)

➤ chemické reakce:

➤ S_E

➤ redukce (amin, hydroxylamin)



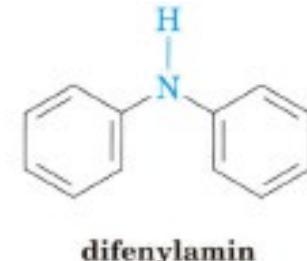
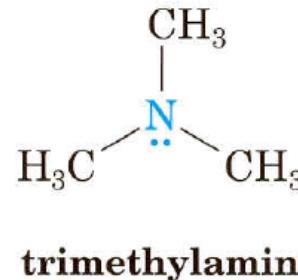
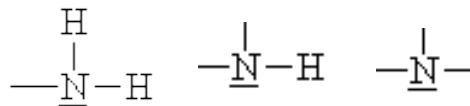
➤ důležité sloučeniny:

✓ nitrobenzen – rozpouštědlo, výroba anilinu

✓ 2,4,6-trinitrotoluen – tritol – TNT

Dusíkaté deriváty - Aminy

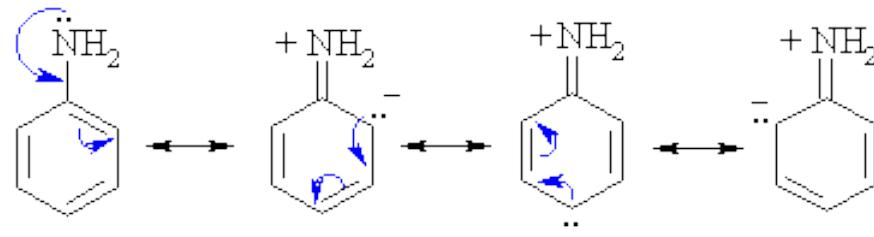
- názvosloví systematické (amino-..., ...-amin) x radikálové (...-amin) x triviální
- deriváty amoniaku – primární, sekundární a terciární



- nukleofilní, bazický charakter,
- záporný indukční efekt, kladný mezomerní efekt
- rozpustné ve vodě do C(6), $T_B > T_B(\text{alkan})$, vodíkové můstky

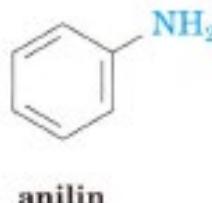
➤ příprava:

- ✓ $\text{NH}_3 + \text{R-Cl} \rightarrow \text{R-NH}_2 + \text{HCl}$
- ✓ redukce nitro- a nitroso-slučenin
- ✓ redukce nitrilů



➤ důležité sloučeniny:

- ✓ anilin – barviva, léky, krémy na boty
- ✓ 1,4-benzendiamin (p-fenylendiamin) - vývojky

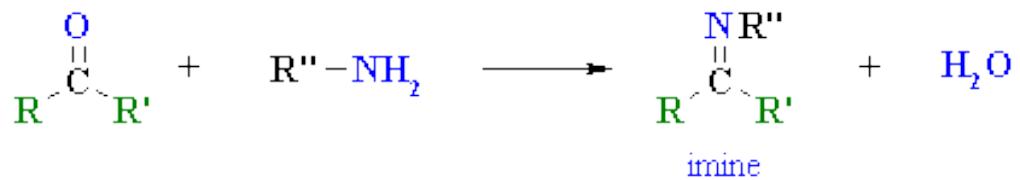
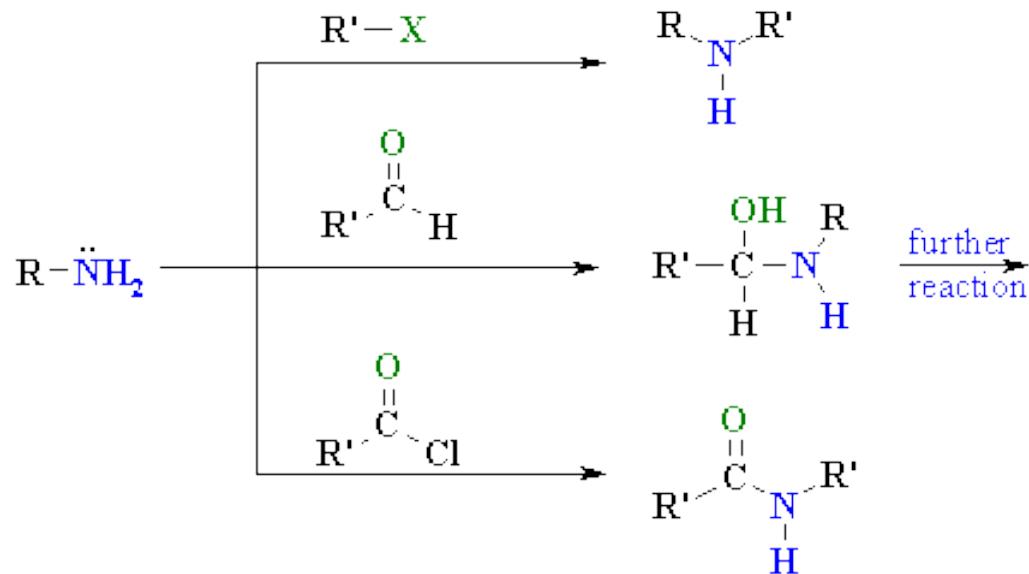


Dusíkaté deriváty - Aminy

chemické reakce (substituent 1.řádu):

✓ A_N

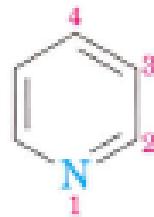
✓ S_N



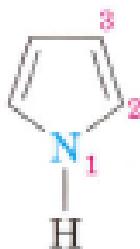
Dusíkaté deriváty - Aminy

chemické reakce (A_N, S_N, E, substituent 1.řádu):

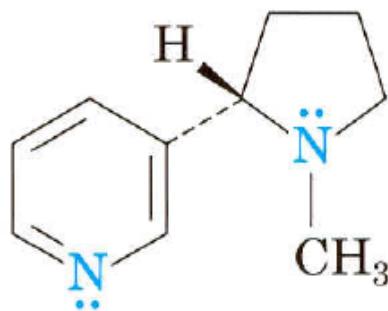
- ✓ oxidace: R-NH₂ → R-NHOH → R-NO → R-NO₂
- ✓ diazotace – diazoniové soli (prim.aminů – nestabilní → N₂, arylaminů – stabilní)
- ✓ tvorba solí – kvarterní amoniové soli: (CH₃)₄N⁺Cl⁻ + AgOH → kvarterní amoniová base (CH₃)₄N⁺OH⁻



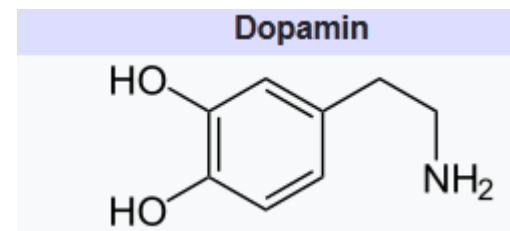
pyridin



pyrrol



nikotin



Amidy versus Aminy

➤ amidy funkční deriváty karboxykyselin

➤ amidy x aminy

✓ oxidace: NE x ANO

✓ redukce: ANO x NE

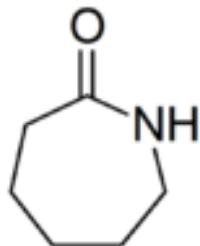
✓ T_B : \uparrow (krystal.) x \downarrow

✓ rozpustnost ve vodě: \uparrow x \downarrow

✓ neutrální x basické

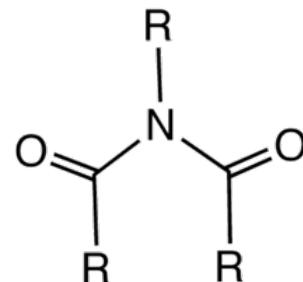
➤ amidy x imidy x laktamy x AMINY

Laktam-vnitřní amid



kaprolaktam

Imid



Sirné deriváty

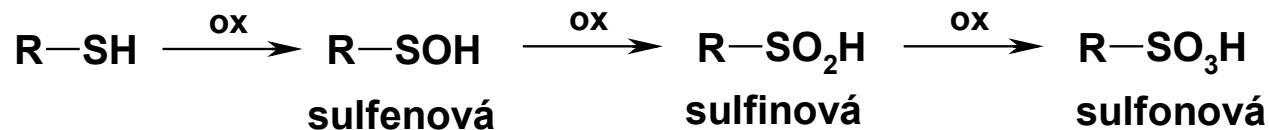


methan methylmerkaptan

- analogie s kyslíkatými deriváty – thio-
- thioly – thioalkoholy (merkaptany) - ...-thiol, merkapto-... / ...-hydrosulfid
–SH (nižší T_B než alkoholy, ethanthiol 35°C, kyselejší než alkoholy)

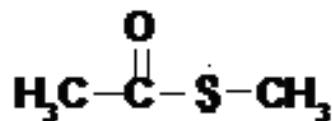
Skunk vylučuje směs dvou thiolů, které silně zapáchají...

- silnou oxidací (HNO_3 , KMnO_4) vzniká řada kyselin



- thioethery – ...-sulfid –S–

- thioestery



- disulfidy (x peroxidy) –S–S–

- sulfonové kyseliny (nejkyselejší org. kyseliny) – SO_3H

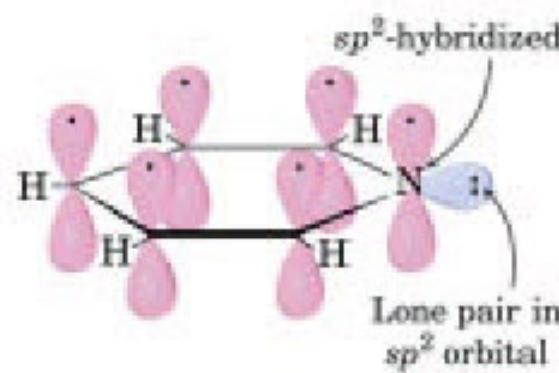
Heterocyklické sloučeniny

➤ biologická důležitost:

✓ DNA & RNA

✓ proteiny

✓ enzymy, koenzymy



➤ léčiva

➤ aromatický charakter

Chemie heterocyklických sloučenin zahrnuje téměř polovinu všech sdělení v odborném tisku v oblasti organické chemie. Příčinou tohoto rozmachu není jen **přítomnost různých heterocyklických systémů v živočišných** (např. v nukleových kyselinách, bílkovinách, enzymech) a **rostlinných organismech** (např. alkaloidy, barviva), kde mohou hrát významnou roli v celé řadě důležitých biochemických transformací, ale mnohdy i jejich **široký biologický účinek**. Ten nalezl uplatnění v celé řadě aplikací jako jsou **léčiva, pesticidy, fungicidy, herbicidy, aj.** Rozmanitost struktur heterocyklických sloučenin umožnila připravovat i nové typy materiálů, které nalezly uplatnění v elektronice jako **vodivé polymery, světlo emitující diody, kapalné krystaly, atd.**

Heterocyklické sloučeniny

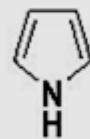
common azoles - five-membered aromatic nitrogen heterocycles



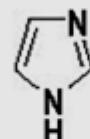
furan



thiophene



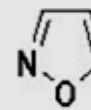
pyrrole



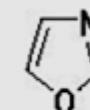
imidazole



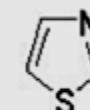
pyrazole



isoxazole

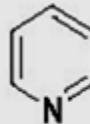


oxazole

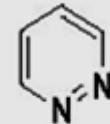


thiazole

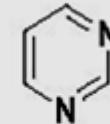
common azines - six-membered aromatic nitrogen heterocycles



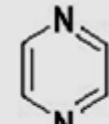
pyridine



pyridazine



pyrimidine
(DNA/RNA base)



pyrazine