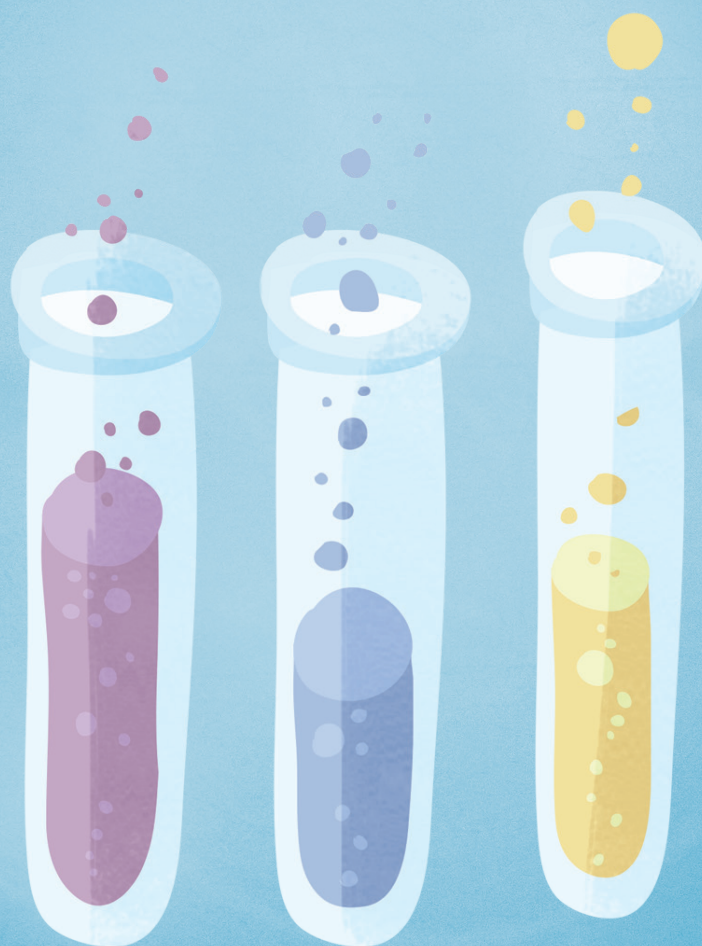


CHEMIE

BIOCHEMIE – ENZYMY



Akademie věd ČR hledá mladé vědce

OTEVŘENÁ VĚDA

AKADEMIE VĚD ČR



Úvodní list

Předmět:	Chemie
Cílová skupina:	3. či 4. ročník SŠ
Délka trvání:	90 min.
Název hodiny:	Biochemie – Enzymy
Výukový celek:	Biochemie
Vzdělávací oblast v RVP:	Člověk a příroda
Průřezová témata:	<p><u>Osobnostní a sociální výchova:</u> Žák respektuje odlišné názory jiných spolužáků i učitele. Žák rozvíjí dovednosti spojené se sociální komunikací: naslouchá učiteli, nechá si poradit. Je ochoten vyslechnout kritiku i pochvalu. Žák věnuje pozornost morálnímu jednání v celé třídě. Žák se učí zvládat neúspěch.</p> <p><u>Výchova k myšlení v evropských a globálních souvislostech:</u> Žák přijímá zodpovědnost za svá rozhodnutí. Žák si vytváří svůj vlastní názor, avšak je též ochoten přijmout názor ostatních a korigovat své původní pohledy na danou problematiku. Žák ve skupině se svými spolužáky spolu-pracuje aktivně a efektivně, vcítí se do situace a prostředí, ze kterého vycházejí jejich přístupy.</p> <p><u>Multikulturní výchova:</u> Práce ve dvojicích, popř. ve skupině, přispívá k začleňování žáků minoritních skupin do majoritní společnosti, rozvíjí vzájemnou toleranci a empatii.</p> <p><u>Environmentální výchova:</u> Žák postupuje ekologicky zodpovědným přístupem – neplýtvá chemikáliemi ani jiným materiálem. Odpad likviduje dle pokynů učitele.</p> <p><u>Mediální výchova:</u> Žák kriticky přistupuje k neověřeným zdrojům informací. Žák pravdivost hledané informace ověřuje u více zdrojů. V případě potřeby žák řádně cituje použité zdroje.</p>
Mezipředmětové vztahy:	<p>Biologie: žák popisuje úlohu enzymů v organismech.</p> <p>Matematika: žák vyjadřuje závislost rychlosti chemické reakce na koncentraci výchozí látky – graficky i vztahem.</p> <p>Práce s grafem: žák navrhuje průběhy funkcí, grafy porovnává a z matematického hlediska popisuje.</p>
Výukové metody:	<p>Metody slovní: vysvětlování, práce s textem, diskuze.</p> <p>Metoda názorně demonstrační: předvádění pokusů (učitelský experiment).</p>



Metody praktické: žákovské laborování (žákovský experiment).

**Organizační formy
výuky:**

Frontální, skupinová, párová, individuální.

Vstupní předpoklady:

Žák má základní znalosti bílkovin – složení, struktura. Rozumí pojmu denaturace bílkovin. Umí počítat koncentrace látek a pH roztoků. Má základní znalosti týkající se acidobazického děje. Rozumí pojmům kovalentní vazba, vodíková vazba, Van der Waalsovy vazby, polární a nepolární interakce, primární, sekundární, terciární a kvarterní struktura bílkovin.

Očekávané výstupy:

Žák rozliší mezi umělým katalyzátorem a biokatalyzátorem. Zhodnotí účinnost enzymu katalasy na rozklad peroxidu vodíku. Dokáže produkt (kyslík) rozkladu peroxidu vodíku. Porovná vybrané suroviny z hlediska výskytu obsahu enzymu katalasy. Popíše grafickou závislost energie na průběhu katalyzované reakce a reakce nekatalyzované. Objasní rozdíly mezi oběma grafy. Objasní strukturu enzymu. Aplikuje předchozí znalosti z učiva bílkoviny a objasní denaturaci enzymů.

Žák rozliší mezi koncentrací roztoku a množstvím látky. Na základě experimentu porovná rychlost chemické reakce v závislosti na pH a koncentraci substrátu a určí optimální pH pro enzym katalasu. Na základě znalosti o struktuře enzymu vysvětlí, jak změna pH ovlivňuje rychlost rozkladu. Posoudí, kterými jednotkami je možné měřit rychlost chemické reakce, a úvahu doloží konkrétním příkladem reakce. Navrhne matematický vztah pro výpočet rychlosti chemické reakce. Navrhne grafické vyjádření závislosti rychlosti reakce na koncentraci peroxidu vodíku. Své návrhy objasní. Předurčí, jak se navržená závislost změní, bude-li reakce katalyzována. Svůj návrh objasní. Popíše (i z matematického hlediska) skutečný graf znázorňující závislost rychlosti reakce na koncentraci substrátu a tento graf porovná se svým návrhem.

Výukové cíle:

Žák dovede provést enzymovou katalýzu peroxidu vodíku. Žák umí odhadnout vliv různých činidel na rychlost katalyzované reakce a reakci těmito činidly ovlivnit. Žák umí pracovat s grafem, který znázorňuje závislost rychlosti katalyzované reakce na koncentraci substrátu. Křivku (funkci) umí matematicky interpretovat.

Klíčové kompetence:

Kompetence k učení: Žák na základě experimentu a vypracování úkolů se učí nové poznatky a vztahy mezi nimi. Používá odbornou terminologii včetně správného chemického názvosloví. Plánuje a organizuje svůj experiment. Výsledky experimentu kriticky posuzuje a vyvozuje z nich závěry. Diskutuje o svých výsledcích s ostatními žáky a s učitelem, přijímá ocenění i radu i kritiku ze strany druhých. Žák při vypracovávání úkolů vyhledává informace z různých zdrojů informací (učebnice, školní sešit, internet, odborná kniha), informace třídí a tvořivě zpracovává.



Kompetence k řešení problémů: Žák vytváří hypotézy – navrhuje řešení a svá řešení objasní. Navržená řešení porovná s řešením jiných žáků. Interpretuje výsledky experimentu a tím i získané poznatky. Výsledky experimentu porovná s navrženou hypotézou. Navrhuje alternativní metody provádění experimentu. Při vypracovávání úkolů uplatňuje dříve získané vědomosti a dovednosti. Navrhuje různá řešení, svá řešení kriticky hodnotí a argumentuje o nich s ostatními.

Kompetence komunikativní: Žák správně a efektivně používá chemické symboly a grafická vyjádření. Správně používá odbornou terminologii. Srozumitelně zapisuje své poznatky a pozorování do pracovního listu. Formuluje a vyjadřuje svoje myšlenky a názory v logickém sledu, vyjadřuje se výstižně, souvisle a kultivovaně jak v písemném, tak ústním projevu. Žák prezentuje výsledky své práce. Žák vede srozumitelnou diskuzi o výsledcích svého experimentu s ostatními a věcně argumentuje. Efektivně využívá moderní informační technologie.

Kompetence sociální a personální: Žák spolupracuje se svými spolužáky. Vyslechne názory ostatních. Projevuje zodpovědný vztah k vlastnímu zdraví a k zdraví ostatních – nosí ochranné pomůcky, dodržuje laboratorní řád, správným způsobem likviduje laboratorní odpad.

Kompetence občanská: Žák se chová zodpovědně vůči životnímu prostředí – správným způsobem likviduje laboratorní odpad, chemikálie využívá efektivně, neplýtvá jimi ani jiným materiálem. Respektuje různorodost schopností ostatních spolužáků. V případě potřeby, a je-li to možné, pomáhá (např. vhodnou radou) ostatním spolužákům k dosažení vytčeného cíle (např. pomoci sestavit aparaturu). Žák se zodpovědně chová v laboratoři – dodržuje laboratorní pokyny. V krizové situaci a v situaci ohrožující život poskytne ostatním prvním pomoc (např. v případě požáru v chemické laboratoři).

Kompetence k podnikavosti: Žák rozvíjí svůj osobní i odborný potenciál. Uplatňuje vlastní tvořivost.

Formy a prostředky hodnocení:

Slovní hodnocení – průběžné i závěrečné; sebereflexe, vypracování úkolů.

Kritéria hodnocení:

Provedení experimentů, zapojování do diskuze, aktivita žáků, spolupráce ve skupině.

Pomůcky:

Pracovní listy, psací potřeby (min. tři odlišné barvy), pomůcky viz pracovní list, chemikálie viz pracovní list, materiály viz pracovní list, ochranné pomůcky viz pracovní list.



Časový a obsahový plán výukového celku (90 min.)

Název hodiny: Biochemie – Enzymy

Čas (min.)	Struktura výuky	Činnost učitele	Činnost žáků	Organizační formy výuky		Hodnocení	Pomůcky	Poznámka
				Výukové metody				
2	Zahájení	Pozdrav, zápis do třídní knihy, sdělení tématu a cíle hodiny	Pozdrav, vyjádření k tématu, k cíli	Frontální Diskuze		Zpětná vazba	-	-
3	Organizace hodiny	Rozdá pracovní listy, seznamuje žáky s průběhem laboratorního cvičení, kontroluje připravené pomůcky na experimenty	Procházejí pracovní list, v případě neporozumění kladou dotazy, připravují si pomůcky na experimenty	Frontální Vysvětlování, práce s textem, diskuze		Slovní hodnocení, zpětná vazba	Pracovní list	Pracovní list je uveden v příloze
5	Úvod k pokusu č. 1	Uvede pojem enzym a katalasa (nevysvětluje funkci enzymu jako katalyzátoru – na tu sami žáci přijdou na základě experimentu)	V případě nejasností kladou dotazy	Frontální Vysvětlování, diskuze		Slovní hodnocení, zpětná vazba	Pracovní list – laboratorní pokus č. 1; pomůcky, chemikálie a materiály jsou uvedeny v pracovním listu	Pracovní list je uveden v příloze
20	Pokus č. 1	Kontroluje žáky při provádění experimentu, v případě potřeby odpovídá na dotazy; klade dotazy žákům související se zjištěním, zda žáci rozumí zadání a postupu; hodnotí názory žáků, vede diskusi k dané problematice; kontroluje vyvozené závěry	Žáci ve dvojicích pracují na řešení pracovního listu; provádějí experiment; diskutují o prováděném experimentu, v případě potřeby kladou dotazy; pozorování zapisují do tabulek v pracovním listu, formulují závěry; je-li čas, pracují na úkolech v pracovním listu	Skupinová, párová Žákovský experiment, v případě potřeby též učitelský experiment (při vysvětlování), diskuze		Slovní hodnocení, zpětná vazba	Pracovní list – laboratorní pokus č. 1; pomůcky, chemikálie a materiály jsou uvedeny v pracovním listu	
5	Úvod k pokusu č. 2	Učitel vykládá učivo týkající se aktivity enzymů a čím lze aktivitu enzymu ovlivnit	V případě nejasností kladou dotazy	Frontální Vysvětlování, diskuze		Slovní hodnocení, zpětná vazba	Pracovní list – laboratorní pokus č. 2; pomůcky, chemikálie a materiály jsou uvedeny v pracovním listu	Pracovní list je uveden v příloze



20	Pokus č. 2	Kontroluje žáky při provádění experimentu, v případě potřeby odpovídá na dotazy; klade dotazy žákům související se zjištěním, zda žáci rozumí zadání a postupu, hodnotí názory žáků, vede diskusi k dané problematice; kontroluje vyvozené závěry	Žáci ve dvojicích pracují na řešení pracovního listu, provádějí experiment, diskutují o prováděném experimentu, v případě potřeby kladou dotazy; pozorování zapisují do tabulek v pracovním listu, formulují závěry; je-li čas, pracují na úkolech v pracovním listu	Skupinová, párová Žákovský experiment, v případě potřeby též učitelský experiment (při vysvětlování), diskuze	Slovní hodnocení, zpětná vazba	Pracovní list – laboratorní pokus č. 2; pomůcky, chemikálie a materiály jsou uvedeny v pracovním listu	-
15	Zadání úkolů související s laboratorním pokusem č. 1 (vypracování úkolů)	Prochází s žáky úkoly, klade doplňující dotazy, diskutuje s žáky	Žáci vypracovávají úkoly, odpovídají na dotazy učitele, diskutují	Skupinová, párová, individuální Práce s textem, diskuze	Slovní hodnocení, zpětná vazba, vypracování úkolů	Pracovní list – laboratorní pokus č. 1; pomůcky, chemikálie a materiály jsou uvedeny v pracovním listu	-
15	Zadání úkolů související s laboratorním pokusem č. 2 (vypracování úkolů)	Prochází s žáky úkoly, klade doplňující dotazy, probírá závislost rychlosti katalyzované reakce na koncentraci substrátu	Žáci vypracovávají úkoly, předpovídají závislost rychlosti katalyzované reakce na koncentraci substrátu	Skupinová, párová, individuální Práce s textem, diskuze	Slovní hodnocení, zpětná vazba, vypracování úkolů	Pracovní list – laboratorní pokus č. 2; pomůcky, chemikálie a materiály jsou uvedeny v pracovním listu	-
5	Shnutí, ukončení hodiny, úklid pracovního místa	Zopakování, hodnocení činnosti učitele i žáků, dotazy ze stran žáků, kontrola úklidu, úklid pracovního místa	Odpovídají na dotazy učitele, uklízí pracovní místo	Frontální, individuální Diskuze	Slovní hodnocení, zpětná vazba	-	-



Pracovní list pro studenta

Název: Laboratorní pokus č. 1: Seznámení s enzymy. Enzym katalasa.

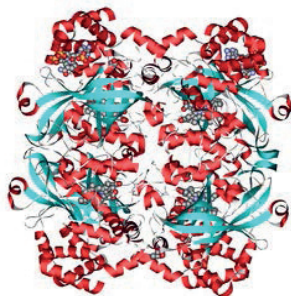
Jméno:

a) Úkol

Porovnej vliv různých „katalyzátorů“ na průběh chemické reakce. Porovnej rozklad peroxidu vodíku při styku s různými potravinami. Identifikuj plyn, který rozkladem vzniká. Pozorování zaznamenej do tabulky. Vypracuj úkoly.

b) Výklad

Katalasa je enzym ze třídy oxidoreduktas katalyzující disproportionaci peroxidu vodíku. Katalasa je přítomna ve všech živočišných orgánech (zejm. v erythrocytech a v peroxisomech jaterních buněk), v rostlinných tkáních a aerobních mikroorganismech. Její prostetickou skupinou je hem. Je mimořádně katalyticky účinná; jedna molekula enzymu může za minutu přeměnit 5 milionů molekul H_2O_2 .



Katalasa. Převzato z: <http://de.wikipedia.org/wiki/Katalase>

c) Pomůcky, chemikálie a materiály

Pomůcky: 10 větších zkumavek ve stojánku, nůž, prkénko, odměrný válec, kádinka

Chemikálie: peroxid vodíku 5% roztok

Materiály: stříbrný šperk, ocelová sponka, špejle, zápalky

Potraviny: ovoce a zelenina (syrová a uvařená brambora, kiwi, citron, mrkev, paprika, cibule, droždí,...), kuřecí (vepřová) játra (stačí malý kousek – 1 cm³)

Ochranné pomůcky: ochranný plášť, obuv, ochranné brýle a rukavice

d) Pracovní postup

1. Z donesených potravin pomocí nože vykroj vždy přibližně stejný kus ve tvaru hranolku.
2. Do větších zkumavek nalij do každé 5 cm³ 5% peroxidu vodíku.
3. První zkumavku ponech jako srovnávací. Do druhé zkumavky vprav ocelovou sponku, do třetí stříbrný šperk, do čtvrté syrovou bramboru, do páté uvařenou bramboru, do ostatních zkumavek vhod vždy po jednom z připravených hranolků potravin. Pozoruj. Pozorování zaznamenej do tabulky.
4. Do zkumavky s nejintenzivnější reakcí vsuň doutnající špejli, pozoruj.



e) Zpracování pokusu

Obsah nádoby	Ve zkumavce bylo pozorováno:	Probíhal rozklad peroxidu? (nehodící se škrtněte)	Rychlost rozkladu peroxidu (nehodící se škrtněte)
peroxid vodíku samotný		ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a stříbrný šperk		ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a ocelová sponka		ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a brambora syrová		ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a brambora uvařená		ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a		ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a		ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a		ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a		ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a		ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo

f) Závěr

1. Jak se obecně nazývají látky urychlující chemickou reakci?

.....

2. Který produkt rozkladu peroxidu jste dokázali pomocí doutnající špejle? Vysvětli.

.....

.....



3. Napiš a vyčíslí rovnici rozkladu peroxidu vodíku.

.....

4. Vyskytuje se katalasa i v živočišném organismu? Které použití peroxidu vodíku pro to svědčí?

.....

.....

.....

5. Vyskytuje se katalasa i v živočišném organismu? Které použití peroxidu vodíku pro to svědčí?

.....

.....

.....

5. Zamysli se nad rozdílem v rychlosti reakce ve zkumavce se syrovou bramborou oproti reakci ve zkumavce s bramborou uvařenou.

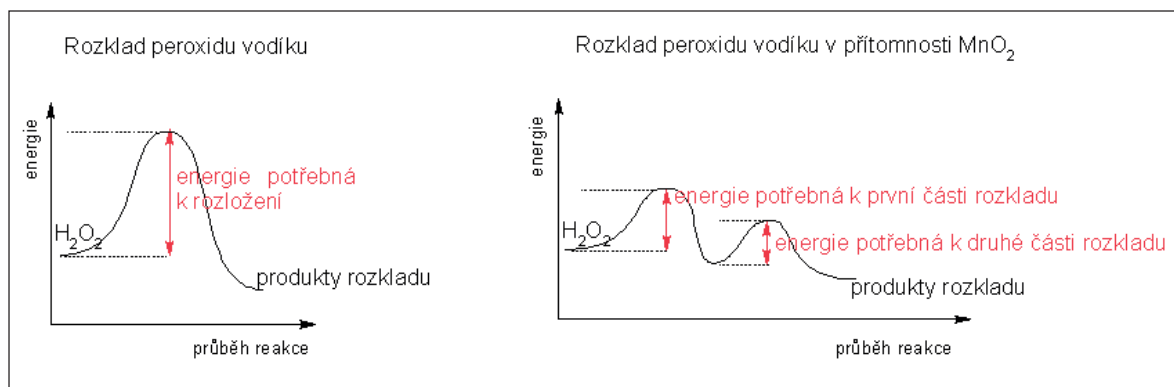
Proč reakce neprobíhala?

.....

.....

.....

6. Tyto grafy zjednodušeně ukazují, jak se mění energie během rozkladu peroxidu vodíku:



6a. Změny energie během reakce rozkladu (bez vnějších zásahů) popisuje první graf. Minimální potřebná energie, kterou musí mít molekula peroxidu, aby se rozpadla, je vyznačena v grafu červenou dvojšipkou a je poměrně vysoká. Vysvětli, proč je toto příčina velmi malé rychlosti rozpadu peroxidu vodíku – rozklad prakticky neprobíhá.

.....



.....
.....

6b. Vhodná látka (například oxid mangančitý MnO_2 nebo katalasa v bramboře) způsobí, že reakce rozkladu peroxidu probíhá jiným způsobem než obvykle. Energetické změny popisuje křivka jiného tvaru – zobrazena v druhém grafu. Na základě druhého grafu a podle vzoru v předchozí otázce se pokus vysvětlit, proč přidání takových látek urychlí rozklad peroxidu.

.....
.....
.....

6c. Reakci můžeme urychlit změnou výšky „kopečků“. Ale existuje i jiná možnost, jak by se ještě jinak dal urychlit rozklad peroxidu vodíku, pokud nemáme k dispozici oxid mangančitý či vhodný enzym?

.....
.....
.....



Název: Laboratorní pokus č. 2: Ovlivnění rychlosti katalyzované reakce – koncentrace, pH.

a) Úkol

Porovnej vliv faktorů (pH, koncentrace substrátu) na průběh katalyzované reakce. Pozorování zaznamenej do tabulky. Vypracuj úkoly.

b) Výklad

Enzymová aktivita

Činnost enzymů úzce souvisí s jejich aktivitou. Aktivita enzymů je definována jako **rychlost katalyzované reakce**. Její základní jednotkou je **katal**. 1 katal (kat) vyjadřuje množství enzymu, které způsobí přeměnu jednoho molu substrátu za sekundu.

Enzymová aktivita je ovlivněna mnoha faktory:

1. **koncentrací substrátu**
2. **teplotou**

rychlost všech reakcí, tedy i enzymově katalyzovaných, vzrůstá s rostoucí teplotou; pokud však u enzymových reakcí přestoupí teplota kritickou hodnotu, dojde k tepelné denaturaci bílkovinné molekuly enzymu a rychlost enzymové reakce začne klesat; největší aktivita enzymů je většinou při teplotě kolem 37 °C, většina enzymů ztrácí aktivitu při teplotě kolem 55–60 °C; existují však enzymy termofilních bakterií, které jsou aktivní i při 85 °C (citace Kolář, Kodíček)

3. **pH**

většina enzymů katalyticky působí jen v určité oblasti pH (tzv **pH-optimum**); tato vlastnost souvisí s disociačním stavem kyselých a bazických skupin aktivního centra; většina enzymů má pH-optimum v neutrálním či slabě kyselém prostředí, extrémních hodnot dosahuje pH-optimum trávicích enzymů (citace Kolář, Kodíček)

4. **modulátory:** (citace: Aktivita enzymů. URL: <http://projekta1fa.ic.cz/enzymy.htm>. [online]. [cit.26.8.2014])

- a. látky zvyšující rychlost enzymové reakce = **aktivátory**
- b. látky snižující rychlost enzymové reakce = **inhibitory**

Modulátory ovlivňují aktivitu enzymů tím, že se na ně váží nebo ovlivňují vazbu mezi enzymem a substrátem; některé látky napodobují substrát, a tím blokují aktivní místo; existují také látky, které změňi strukturu enzymu, a ten se stane nefunkčním.

c) Pomůcky

Pomůcky: 10 větších zkumavek ve stojánku, špejle, indikátorové papírky, nůž, prkénko, kapátko, menší odměrný válec, 3 malé kádinky

Chemikálie: peroxid vodíku 5% (lze i 10%) roztok, kyselina chlorovodíková nebo sírová 10% (lze i 20%) roztok, hydroxid sodný nebo draselný 10% roztok (lze i 20%)

Materiály: syrová brambora

Ochranné pomůcky: ochranný plášť, obuv, ochranné brýle a rukavice



d) Pracovní postup

První pokus:

1. Připrav si tři zkumavky. Do první nalij 10 ml roztoku peroxidu, do druhé 1 ml roztoku peroxidu, do třetí odlij jen 2–3 kapičky.
2. Dolij druhou i třetí zkumavku vodou, aby ve všech třech byla hladina stejně vysoko.
3. Připrav si tři stejně velké hranolky čerstvé brambory – tak velké, aby je bylo možné pohodlně vhodit do zkumavek. Do každé zkumavky vhod' jednu.
4. Pozoruj po dobu několika minut rychlost rozkladu peroxidu v jednotlivých zkumavkách, výsledky zaznamenej do tabulky č. 1.

Druhý pokus:

1. Připrav si dvě velké zkumavky, do obou nalij 2–3 ml roztoku peroxidu. První zkumavku nech tak, do druhé zkumavky přidej navíc vodu tak, aby hladina dosahovala nejméně do tří čtvrtin zkumavky.
2. Odřízni dva stejné kousky brambory, které se vejdu do zkumavek, a napíchni každou na konec špejle. Toto opatření je nutné, abychom udrželi brambory u dna, jinak by je mohl vznikající plyn nadnášet.
3. Do obou zkumavek zároveň vlož napíchnuté brambory.
4. Pozoruj a zaznamenej do tabulky č. 2 rychlost rozkladu peroxidu v obou zkumavkách.

Třetí pokus:

1. Připrav si pět zkumavek. První naplň ze čtvrtiny roztokem kyseliny, do druhé kápněte dvě kapky kyseliny, do třetí nic, do čtvrté dvě kapky roztoku hydroxidu, do páté čtvrt zkumavky roztoku hydroxidu.
2. Všechny zkumavky dolij do čtvrtiny vodou (tj. do první a poslední už žádnou vodu nepřidávej), ať je všude stejná hladina. Změř pH indikátorovými papírky a zapiš si hodnoty do tabulky.
3. Do všech zkumavek nalij stejné množství roztoku peroxidu vodíku, aby hladina sahala někam nad půlku zkumavky – u všech zkumavek stejně.
4. Uřízni pět stejných čerstvých hranolků brambory, do každé zkumavky vhod' jeden.
5. Pozoruj rychlost katalyzovaného rozkladu peroxidu, zaznamenej výsledky experimentu do tabulky č. 3.

e) Zpracování pokusu

Z *modře vyznačeného textu* vyber správnou alternativu – nehodící se škrtni nebo zakroužkuj správnou odpověď.

Tabulka č. 1: 1. pokus.

zkumavka	1.	2.	3.
rychlost reakce	nejvyšší střední nejnižší	nejvyšší střední nejnižší	nejvyšší střední nejnižší



Koncentrace peroxidu v jednotlivých zkumavkách se (ne)liší.
 Množství peroxidu v jednotlivých zkumavkách se (ne)liší.
 Rychlost reakce v jednotlivých zkumavkách se (ne)liší.

Z toho vyplývá, že rychlost této reakce (ne)může záviset na koncentraci peroxidu.
 Z toho vyplývá, že rychlost této reakce (ne)může záviset na množství peroxidu.

Tabulka č. 2: 2. pokus.

zkumavka	1. (bez vody)	2. (s vodou)
rychlost reakce	vyšší nižší	vyšší nižší

Koncentrace peroxidu v obou zkumavkách se (ne)liší.
 Množství peroxidu v obou zkumavkách se (ne)liší.
 Rychlost reakce v obou zkumavkách se (ne)liší.

Z toho vyplývá, že rychlost této reakce (ne)byla závislá na koncentraci peroxidu.
 Z toho vyplývá, že rychlost této reakce (ne)byla závislá na množství peroxidu.

Tabulka č. 3: 3. pokus – rozklad peroxidu katalasou při různém pH.

zkumavka	1.	2.	3.	4.	5.
pH					
rychlost reakce	nejvyšší vyšší střední nižší nejnižší	nejvyšší vyšší střední nižší nejnižší	nejvyšší vyšší střední nižší nejnižší	nejvyšší vyšší střední nižší nejnižší	nejvyšší vyšší střední nižší nejnižší

f) Závěr

1. Při jakém pH byla rychlost rozkladu nejvyšší?

2. Podle čeho jsi porovnával(a) rychlosti reakcí?

3. Na základě svých pozorování v pokusu popiš kvalitativně, jakým způsobem závisí rychlost enzymatického rozkladu peroxidu vodíku na jeho koncentraci (rostoucí, klesající závislost, synusoida, hyperbolická závislost,...).

4. Pokus se vysvětlit, jak změna pH ovlivňuje rychlost rozkladu – odpověz postupně na otázky:

4a. Jakou látkou je tvořen enzym katalasa?

4b. Které funkční skupiny ve struktuře (vzorci) tohoto enzymu mohou být ovlivněny změnou pH a jak?

4c. Uveď jeden příklad ovlivnění funkčních skupin.



4d. Jak se ovlivnění enzymu projeví v reakci s peroxidem vodíku?

4e. Proč toto ovlivnění enzymu způsobí změnu rychlosti reakce?

.....

.....

.....

.....

.....

5. Kterými z následujících jednotek můžeme **měřit rychlost chemické reakce**? U každé použitelné jednotky napiš konkrétní **příklad** (rovnici) nebo obecný typ reakce (např. „reakce uhličitanu s kyselinou“), při níž je vhodné měřit rychlost právě v těchto jednotkách, a **vysvětli**, proč je to vhodné.

g/s

m/s

l/s

A

mol/l.s

s

6.* Uvažuj reakci rozkladu peroxidu vodíku **bez účasti katalyzátoru** (z dřívějšíka už víš, že za normální teploty se sice pětiprocentní peroxid prakticky nerozkládá, u vyšších koncentrací však začne být rozklad velice patrný) – pokus se navrhnout jednoduchý **matematický vztah** pro závislost rychlosti rozkladu, resp. vzniku bublin (v) na koncentraci peroxidu (C_{peroxid}). Závislost také **zakresli** do připraveného grafu.

Matematické vyjádření závislosti:

Grafické znázornění závislosti:



7.* V předchozí otázce jsi navrhl(a) nějaký typ závislosti rychlosti rozkladu na koncentraci látky. **Vysvětli na molekulární úrovni** (z hlediska chování molekul), proč si myslíš, že je navržený matematický vztah „rozumný“ a mohl(a) by odpovídat realitě.

.....



.....

.....

.....

8.* Víme už, že použití katalyzátoru **zvyšuje rychlost** reakce oproti průběhu bez katalyzátoru. Pouze na základě této informace (**nehledej nic v literatuře!**) nakresli do grafu v otázce 6 **další funkci** – znázorňující závislost rychlosti rozkladu peroxidu na jeho koncentraci při použití katalyzátoru.

Obě závislosti v grafu **popiš** (přímo do grafu nebo je odliš barevně a přidej vysvětlivky), ať je jasné, co je s katalyzátorem a co bez.

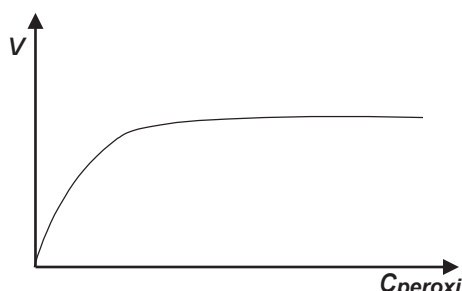
.....

.....

.....

.....

9.* Nyní se podívej na skutečný tvar závislosti rychlosti rozkladu na koncentraci peroxidu při použití enzymu.



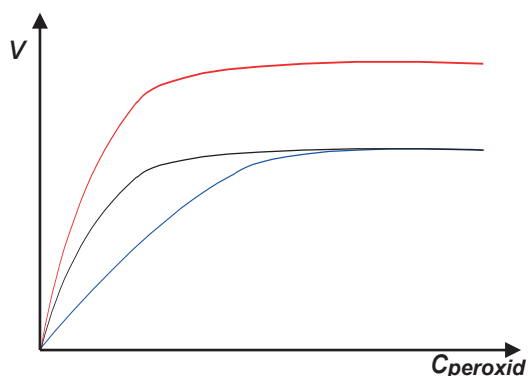
Popiš, čím se liší od hypotetické závislosti, kterou jsi navrhl(a) v předchozí otázce, a jak se tato odlišnost projeví v průběhu reakce (co budeme pozorovat jiného, než kdyby platila tebou navržená závislost z otázky 6). Vysvětli na molekulární úrovni (z hlediska chování molekul), co by mohlo být důvodem tohoto zvláštního tvaru.

.....

.....

.....

10.* Následující graf zachycuje tři různé závislosti rychlosti rozkladu peroxidu na koncentraci, a to pro tři odlišné enzymy. Vidíš, že křivky se liší tvarem. Interpretuj, co to bude znamenat za odlišnost v průběhu reakce (co budeme pozorovat jiného, čím se budou reakce navenek lišit).



Rozklad při použití **červeného enzymu** se bude od rozkladu s použitím **černého enzymu** lišit v tom, že

Rozklad při použití **modrého enzymu** se bude od rozkladu s použitím **černého enzymu** lišit v tom, že

Použitá literatura:

1. BÖHMOVÁ, H., TEPLÁ, M. *Chemie IV – Biochemie. Návody pro samostatnou laboratorní činnost talentovaných žáků*. URL: <http://www.talnet.cz>. [online]. [cit. 26. 8. 2014].
2. KODÍČEK, M. *Biochemické pojmy: výkladový slovník*. Praha: VŠCHT Praha, 2007. URL: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002/ebook.html. [online]. [cit. 26. 8. 2014].
3. KOLÁŘ, K., KODÍČEK, M., POSPÍŠIL, J. *Chemie II (organická a biochemie) pro gymnázia*. Praha: SPN, 2000.
4. SOFROVÁ, D., TICHÁ, M. a kol. *Biochemie – základní kurz*. Praha: skripta UK, 1993.
5. ŠULCOVÁ, R., BÖHMOVÁ, H. *Netradiční experimenty z organické a praktické chemie*. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 2007.
6. VODRÁŽKA, Z. a kol. *Enzymologie*. Praha: VŠCHT, 1998b.
7. VOET, D. J., VOET, J. G. *Biochemistry*, 4th ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
8. Jak probíhá enzymová reakce? URL: <http://www.chesapeake.cz/chemie/download/skripta/biochemie.pdf>. [online]. [cit. 26. 8. 2014].
9. Katalytické působení enzymů. URL: www.ceskolipska.cz/files/11/enzymologie.doc. [online]. [cit. 26. 8. 2014].

Převzaté obrázky:

1. Katalasa. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Katalase> [online]. [cit. 26. 8. 2014].
2. Kvasinky URL: [online]. <http://mobile.kreacionismus.cz/content/kvasinky-se-adaptuji-nevyvijej> [cit. 26. 8. 2014].



Pracovní list pro pedagoga

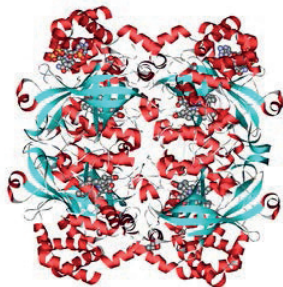
Název: Laboratorní pokus č. 1: Seznámení s enzymy. Enzym katalasa.

a) Úkol

Porovnej vliv různých „katalyzátorů“ na průběh chemické reakce. Porovnej rozklad peroxidu vodíku při styku s různými potravinami. Identifikuj plyn, který rozkladem vzniká. Pozorování zaznamenej do tabulky. Vypracuj úkoly.

b) Výklad

Katalasa je enzym ze třídy oxidoreduktas katalyzující disproporcionaci peroxidu vodíku. Katalasa je přítomna ve všech živočišných orgánech (zejm. v erytrocytech a v peroxisomech jaterních buněk), v rostlinných tkáních a aerobních mikroorganismech. Její prostetickou skupinou je hem. Je mimořádně katalyticky účinná; jedna molekula enzymu může za minutu přeměnit 5 milionů molekul H_2O_2 .



Katalasa. Převzato z: <http://de.wikipedia.org/wiki/Katalase>

c) Pomůcky, chemikálie a materiály

Pomůcky: 10 větších zkumavek ve stojánku, nůž, prkénko, odměrný válec, kádinka (na přelití roztoku peroxidu vodíku ze zásobní lahve)

Chemikálie: peroxid vodíku 5% roztok (lze i méně či více koncentrovaný)

Materiály: stříbrný šperk (starší řetízek, prstýnek, náušnice... během pokusu se jim nic nestane!), ocelová sponka, špejle, zápalky

Potraviny: ovoce a zelenina (syrová a uvařená brambora, kiwi, citron, mrkev, paprika, cibule, droždí...), kuřecí (vepřová) játra (stačí malý kousek – 1 cm^3)

Ochranné pomůcky: ochranný plášť, obuv, ochranné brýle a rukavice

d) Pracovní postup

1. Z donesených potravin pomocí nože vykroj vždy přibližně stejný kus ve tvaru hranolku.
2. Do větších zkumavek nalij do každé 5 cm^3 5% peroxidu vodíku.
3. První zkumavku ponech jako srovnávací. Do druhé zkumavky vprav ocelovou sponku, do třetí stříbrný šperk, do čtvrté syrovou bramboru, do páté uvařenou bramboru, do ostatních zkumavek vhod' vždy po jednom z připravených hranolků potravin. Pozoruj. Pozorování zaznamenej do tabulky.
4. Do zkumavky s nejintenzivnější reakcí vsuň doutnající špejli, pozoruj.



e) Zpracování pokusu

Obsah nádoby	Ve zkumavce bylo pozorováno:	Probíhal rozklad peroxidu?	Rychlost rozkladu peroxidu (nehodící se smažte)
peroxid vodíku samotný	nic	ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a stříbrný šperk	bublínky na povrchu	ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a ocelová sponka	nic (někdo může pozorovat vznik bublinek)	ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a brambora syrová	intenzivní vznik bublinek	ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a brambora uvařená	malý vznik bublinek	ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a kuřecí játra	velmi intenzivní vznik bublinek	ano ne	velmi bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a kiwi	intenzivní vznik bublinek	ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a mrkev	vznik bublinek	ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a jablko	vznik bublinek	ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a rajče	vznik bublinek	ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo
peroxid vodíku a cibule	vznik bublinek	ano ne	bouřlivá reakce rychlá pomalejší nic se nedělo



f) Závěr

1. Jak se obecně nazývají látky urychlující chemickou reakci?

Katalyzátory

2. Který produkt rozkladu peroxidu jste dokázali pomocí doutnající špejle? Vysvětli.

Kyslík – byl to plyn podporující hoření, protože žhnoucí špejle v bublině zazářila.

3. Napiš a vyčíslí rovnici rozkladu peroxidu vodíku.



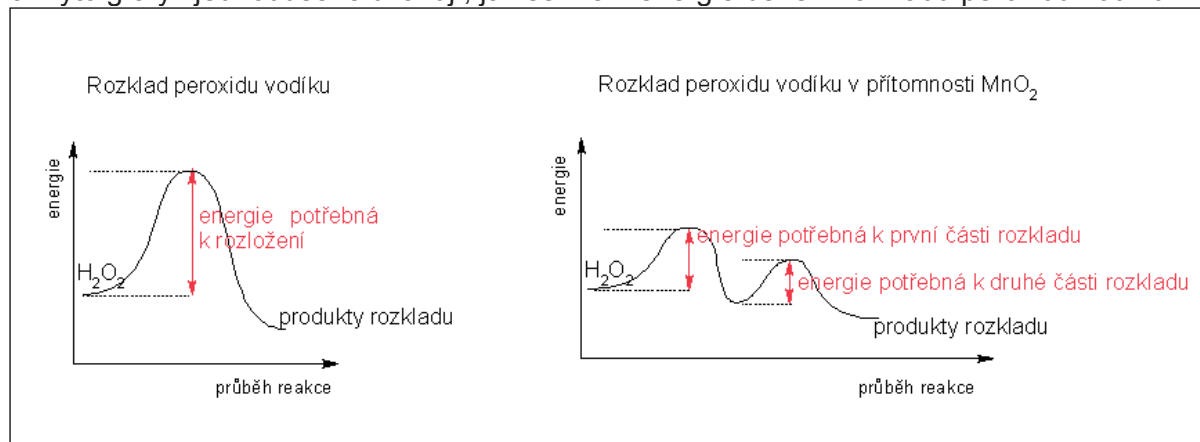
4. Vyskytuje se katalasa i v živočišném organismu? Které použití peroxidu vodíku pro to svědčí?

Mohla by se vyskytovat v krvi, protože peroxid vodíku se používá jako dezinfekce při povrchových zranění – v krvavé ráně taky pění.

5. Zamysli se nad rozdílem v rychlosti reakce ve zkumavce se syrovou bramborou oproti reakci ve zkumavce s bramborou uvařenou. Proč reakce neprobíhala (probíhala velmi pomalu)?

Otázka směřuje k denuraci enzymů – enzym katalasa je bílkovinné povahy. Varem došlo ke ztrátě biologické funkce. Vyšší struktury enzymu byly narušeny. Primární struktura nebyla narušena.

6. Tyto grafy zjednodušeně ukazují, jak se mění energie během rozkladu peroxidu vodíku:



6a. Změny energie během reakce rozkladu (bez vnějších zásahů) popisuje první graf. Minimální potřebná energie, kterou musí mít molekula peroxidu, aby se rozpadla, je vyznačena v grafu červenou dvojšipkou a je poměrně vysoká. Vysvětli, proč je toto příčina velmi malé rychlosti rozpadu peroxidu vodíku – rozklad prakticky neprobíhá.

Za normální teploty mají molekuly určité rozdělení energií. Molekul s tak vysokou energií je málo, jen málo se jich tedy může v daný okamžik rozpadnout a málo rozpadnutých molekul za určitý čas znamená malou rychlost reakce.

6b. Vhodná látka (například oxid manganičitý MnO_2 nebo katalasa v bramboře) způsobí, že reakce rozkladu peroxidu probíhá jiným způsobem než obvykle. Energetické změny popisuje křivka jiného tvaru – zobrazena v druhém grafu. Na základě druhého grafu a podle vzoru v předchozí otázce se pokus vysvětlit, proč přidání takových látek urychlí rozklad peroxidu.



Molekula potřebuje mnohem menší energii (dvojšipky jsou kratší) k rozkladu. Tuto energii má za normální teploty mnohem víc molekul než v předchozím případě. Proto je hodně molekul připravených k rozpadu a mnoho rozpadajících se molekul za určitý čas znamená větší rychlost reakce.

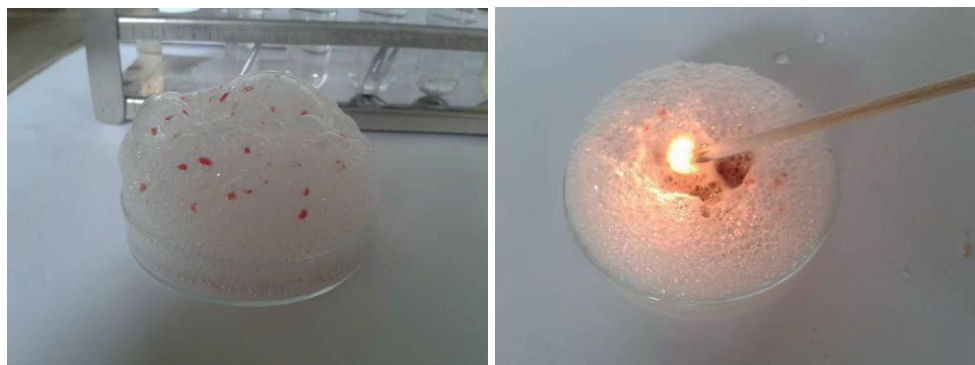
6c. Reakci můžeme urychlit změnou výšky „kopečků“. Ale existuje i jiná možnost, jak by se ještě jinak dal urychlit rozklad peroxidu vodíku, pokud nemáme k dispozici oxid manganičitý či vhodný enzym?

Místo snížení kopce můžeme zvýšit energii molekul, aby mohly překonat kopec tím, že zvýšíme teplotu (například, jsou i jiné formy dodání energie).

Fotografie:



Zleva: roztok peroxidu (10%), stříbrný šperk, syrová brambora, uvařená brambora, jablko, rajče, mrkev.



Vepřová játra na Petriho misce s 10% roztokem peroxidu vodíku + důkaz vznikajícího kyslíku (rozhoření doutnající špejle).



Název: Laboratorní pokus č. 2: Ovlivnění rychlosti katalyzované reakce – koncentrace, pH.

a) Úkol

Porovnej vliv faktorů (pH, koncentrace substrátu, teplota) na průběh katalyzované reakce. Pozorování zaznamenej do tabulky. Vypracuj úkoly.

b) Výklad

Enzymová aktivita

Činnost enzymů úzce souvisí s jejich aktivitou. Aktivita enzymů je definována jako **rychlost katalyzované reakce**. Její základní jednotkou je **katal**. 1 katal (kat) vyjadřuje množství enzymu, které způsobí přeměnu jednoho molu substrátu za sekundu.

Enzymová aktivita je ovlivněna mnoha faktory:

1. **koncentrací substrátu**
2. **teplotou**

rychlost všech reakcí, tedy i enzymově katalyzovaných, vzrůstá s rostoucí teplotou; pokud však u enzymových reakcí přestoupí teplota kritickou hodnotu, dojde k tepelné denaturaci bílkovinné molekuly enzymu a rychlost enzymové reakce začne klesat; největší aktivita enzymů je většinou při teplotě kolem 37 °C, většina enzymů ztrácí aktivitu při teplotě kolem 55–60 °C; existují však enzymy termofilních bakterií, které jsou aktivní i při 85 °C (citace Kolář, Kodíček)

3. **pH**

většina enzymů katalyticky působí jen v určité oblasti pH (tzv **pH-optimum**); tato vlastnost souvisí s disociačním stavem kyselých a bazických skupin aktivního centra; většina enzymů má pH-optimum v neutrálním či slabě kyselém prostředí, extrémních hodnot dosahuje pH-optimum trávicích enzymů (citace Kolář, Kodíček)

4. **modulátory:** (citace: Aktivita enzymů. URL: <http://projektaifa.ic.cz/enzymy.htm>. [online]. [cit.26.8.2014])

- a. látky zvyšující rychlost enzymové reakce = **aktivátory**
- b. látky snižující rychlost enzymové reakce = **inhibitory**

Modulátory ovlivňují aktivitu enzymů tím, že se na ně váží nebo ovlivňují vazbu mezi enzymem a substrátem; některé látky napodobují substrát a tím blokují aktivní místo; existují také látky, které změní strukturu enzymu, a ten se stane nefunkčním.

c) Pomůcky

Pomůcky: 10 větších zkumavek ve stojánku, špejle, indikátorové papírky, nůž, prkénko, kapátko, menší odměrný válec (**nemusí být**), 3 malé kádinky (**na přelití roztoků ze zásobních lahví**)

Chemikálie: peroxid vodíku 5% (lze i 10%) roztok, kyselina chlorovodíková nebo sírová 10% (lze i 20%) roztok, hydroxid sodný nebo draselný 10% roztok (lze i 20%)

Materiály: syrová brambora, led

Ochranné pomůcky: ochranný plášť, obuv, ochranné brýle a rukavice



d) Pracovní postup

První pokus:

5. Připrav si tři zkumavky. Do první nalij 10 ml roztoku peroxidu, do druhé 1 ml roztoku peroxidu, do třetí odlij jen 2–3 kapičky.
6. Dolij druhou i třetí zkumavku vodou, aby ve všech třech byla hladina stejně vysoko.
7. Připrav si tři stejně velké hranolky čerstvé brambory – tak velké, aby je bylo možné pohodlně vhodit do zkumavek. Do každé zkumavky vhod' jednu.
8. Pozoruj po dobu několika minut rychlost rozkladu peroxidu v jednotlivých zkumavkách, výsledky zaznamenej do tabulky č. 1.

Druhý pokus:

5. Připrav si dvě velké zkumavky, do obou nalij 2–3 ml roztoku peroxidu. První zkumavku nech tak, do druhé zkumavky přidej navíc vodu tak, aby hladina dosahovala nejméně do tří čtvrtin zkumavky.
6. Odřízni dva stejné kousky brambory, které se vejdu do zkumavek, a napíchni každou na konec špejle. Toto opatření je nutné, abychom udrželi brambory u dna, jinak by je mohl vznikající plyn nadnášet.
7. Do obou zkumavek zároveň vlož napíchnuté brambory.
8. Pozoruj a zaznamenej do tabulky č. 2 rychlost rozkladu peroxidu v obou zkumavkách.

Třetí pokus:

6. Připrav si pět zkumavek. První naplň ze čtvrtiny roztokem kyseliny, do druhé kápněte dvě kapky kyseliny, do třetí nic, do čtvrté dvě kapky roztoku hydroxidu, do páté čtvrt zkumavky roztoku hydroxidu.
7. Všechny zkumavky dolij do čtvrtiny vodou (tj. do první a poslední už žádnou vodu nepřidávej), ať je všude stejná hladina. Změř pH indikátorovými papírky a zapiš si hodnoty do tabulky.
8. Do všech zkumavek nalij stejné množství roztoku peroxidu vodíku, aby hladina sahala někam nad půlku zkumavky – u všech zkumavek stejně.
9. Uřízni pět stejných čerstvých hranolků brambory, do každé zkumavky vhod' jeden.
10. Pozoruj rychlost katalyzovaného rozkladu peroxidu, zaznamenej výsledky experimentu do tabulky č. 3.

e) Zpracování pokusu

Z *modře vyznačeného textu* vyber správnou alternativu – nehodící se škrtni nebo zakroužkuj správnou odpověď.

Tabulka č. 1: 1. pokus.

zkumavka	1.	2.	3.
rychlost reakce	nejvyšší střední nejnižší	nejvyšší střední nejnižší	nejvyšší střední nejnižší



Koncentrace peroxidu v jednotlivých zkumavkách se (ne)liší.
 Množství peroxidu v jednotlivých zkumavkách se (ne)liší.
 Rychlost reakce v jednotlivých zkumavkách se (ne)liší.

Z toho vyplývá, že rychlost této reakce (ne)může záviset na koncentraci peroxidu.
 Z toho vyplývá, že rychlost této reakce (ne)může záviset na množství peroxidu.

Tabulka č. 2: 2. pokus.

zkumavka	1. (bez vody)	2. (s vodou)
rychlost reakce	vyšší nižší	vyšší nižší
Koncentrace peroxidu v obou zkumavkách se (ne)liší. Množství peroxidu v obou zkumavkách se (ne)liší. Rychlost reakce v obou zkumavkách se (ne)liší.		
Z toho vyplývá, že rychlost této reakce (ne)byla závislá na koncentraci peroxidu. Z toho vyplývá, že rychlost této reakce (ne)byla závislá na množství peroxidu.		

Tabulka č. 3: 3. pokus – rozklad peroxidu katalasou při různém pH.

zkumavka	1.	2.	3.	4.	5.
pH	kyselé (1–2)	slabě kyselé (3–5)	neutrální (6–7)	slabě zásadité (8–9)	zásadité (11–14)
rychlost reakce	nejvyšší vyšší střední nižší nejnižší	nejvyšší vyšší střední nižší nejnižší	nejvyšší vyšší střední nižší nejnižší	nejvyšší vyšší střední nižší nejnižší	nejvyšší vyšší střední nižší nejnižší

f) Závěr

1. Při jakém pH byla rychlost rozkladu nejvyšší?

V slabě zásaditém či neutrálním (také možno v slabě kyselém – jak komu vyjde).

2. Podle čeho jsi porovnával(a) rychlosti reakcí?

Podle toho, jak brzy a jak rychle vznikaly bubliny.

3. Na základě svých pozorování v pokusu popiš kvalitativně, jakým způsobem závisí rychlost enzymatického rozkladu peroxidu vodíku na jeho koncentraci (rostoucí, klesající závislost, synusoida, hyperbolická závislost,...).

Závislost je rostoucí, s rostoucí koncentrací roste rychlost rozkladu, někdo může pozorovat dokonce přímou úměrnost.

4. Pokus se vysvětlit, jak změna pH ovlivňuje rychlost rozkladu – odpověz postupně na otázky:

4a. Jakou látkou je tvořen enzym katalasa?

4b. Které funkční skupiny ve struktuře (vzorci) tohoto enzymu mohou být ovlivněny změnou pH a jak?

4c. Uveď jeden příklad ovlivnění funkčních skupin.



4d. Jak se ovlivnění enzymu projeví v reakci s peroxidem vodíku?

4e. Proč toto ovlivnění enzymu způsobí změnu rychlosti reakce?

a) Katalasa je látka bílkovinné povahy.

b) Funkční skupiny – OH, NH₂

c) Může docházet k protonaci a deprotonaci funkčních skupin na bílkovině – OH, NH₂, NH₃⁺, COOH...

d) + e) Skupiny se mohou účastnit reakce s peroxidem (v aktivním centru), tj. jejich změna se projeví na rychlosti reakce (peroxid už se k nim nebude moci vázat), nebo se může změnit konformace bílkoviny, což také ovlivní rychlost, protože peroxid se bude vázat špatně kvůli nevhodnému tvaru bílkoviny.

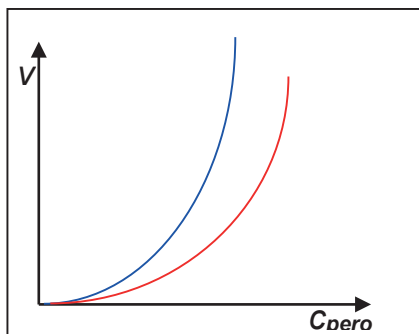
5. Kterými z následujících jednotek můžeme **měřit rychlost chemické reakce**? U každé použitelné jednotky napiš konkrétní **příklad** (rovnici) nebo obecný typ (např. „reakce uhličitanu s kyselinou“) reakce, při níž je vhodné měřit rychlost právě v těchto jednotkách, a **vysvětl**, proč je to vhodné.

g/s	Ano, vzniká-li třeba sraženina, lze ji po určitém čase zvážit.
m/s	Ne, ničeho nevznikají „metry“.
l/s	Ano, vzniká-li třeba plyn, lze jej jímat a měřit objem v čase.
A	Ano, vznikají-li ionty, lze měřit proud – náboj za čas.
mol/l.s	Ano, titrací lze měřit změny koncentrace produktu v čase.
s	Ano, lze měřit čas do dosažení nějakého jevu – třeba změny barvy indikátoru („jodové hodiny“ nebo jak se ta reakce jmenuje) atd.

6. Uvažuj reakci rozkladu peroxidu vodíku **bez účasti katalyzátoru** (z dřívějšíka už víš, že za normální teploty se sice pětiprocentní peroxid prakticky nerozkládá, u vyšších koncentrací však začne být rozklad velice patrný) – pokus se navrhnout jednoduchý **matematický vztah** pro závislost rychlosti rozkladu, resp. vzniku bublin (v) na koncentraci peroxidu (C_{peroxid}). Závislost také **zakresli** do připraveného grafu.

Matematické vyjádření závislosti: **např. $v = k \cdot n \cdot (n-1)$, je-li koncentrace n částic na litr**

Grafické znázornění závislosti: **Graf je znázorněn červenou křivkou.**



Modrá křivka znázorňuje průběh s katalyzátorem (odpověď na otázku 8).

7. V předchozí otázce jsi navrhl(a) nějaký typ závislosti rychlosti rozkladu na koncentraci látky. **Vysvětl na molekulární úrovni** (z hlediska chování molekul), proč si myslíš, že je navržený matematický vztah „rozumný“ a mohl(a) by odpovídat realitě.

Je-li koncentrace n částic na litr, má jedna částice v litru $(n-1)$ partnerů, se kterými se může v daný okamžik srazit, a těchto částic je n , takže celkem $n \cdot (n-1)$, ještě je potřeba dělit dvěma (protože jsou to různé částice), ale to se schová do konstanty – v konstantě by bylo také schované, jak dostupné jsou pro danou částici ostatní částice, jak náročné je „srazit se správně“ atd. – a jestli je tedy při dané koncentraci reakce spíš rychlá nebo spíš pomalá.

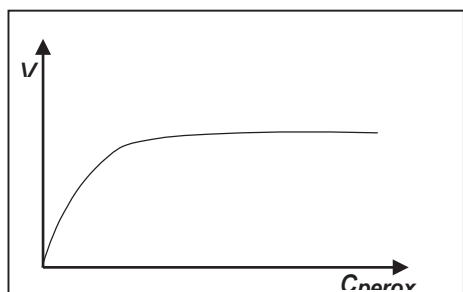


8. Víme už, že použití katalyzátoru **zvyšuje rychlost** reakce oproti průběhu bez katalyzátoru. Pouze na základě této informace (**nehledej nic v literatuře!**) nakresli do grafu v otázce 6 **další funkci** – znázorňující závislost rychlosti rozkladu peroxidu na jeho koncentraci při použití katalyzátoru.

Obě závislosti v grafu **popiš** (přímo do grafu nebo je odliš barevně a přidej vysvětlivky), ať je jasné, co je s katalyzátorem a co bez.

V každém bodě bude funkční hodnota vyšší (modrá křivka), protože se rychlost zvýšila katalyzátorem.

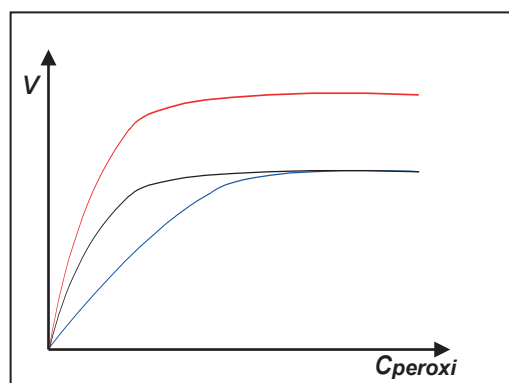
9. Nyní se podívej na skutečný tvar závislosti rychlosti rozkladu na koncentraci peroxidu při použití enzymu.



Popiš, čím se liší od hypotetické závislosti, kterou jsi navrhl(a) v předchozí otázce, a jak se tato odlišnost projeví v průběhu reakce (co budeme pozorovat jiného, než kdyby platila tebou navržená závislost z otázky 6). Vysvětli na molekulární úrovni (z hlediska chování molekul), co by mohlo být důvodem tohoto zvláštního tvaru.

Chová se asymptoticky – rychlost se nezvyšuje do nekonečna, ale jen do určité hodnoty – co ještě stačí enzym zvládnout zkatalyzovat za určitý čas. Pak už zvyšování koncentrace nepomůže, protože enzym nestíhá.

10. Následující graf zachycuje tři různé závislosti rychlosti rozkladu peroxidu na koncentraci, a to pro tři odlišné enzymy. Vidíš, že křivky se liší tvarem. Interpretuj, co to bude znamenat za odlišnost v průběhu reakce (co budeme pozorovat jiného, čím se budou reakce navenek lišit).



Rozklad při použití **červeného enzymu** se bude od rozkladu s použitím **černého enzymu** lišit v tom, že **rychlost rozkladu je v každém bodě vyšší, enzym je „šikovnější“, lze také dosáhnout vyšší maximální rychlosti.**

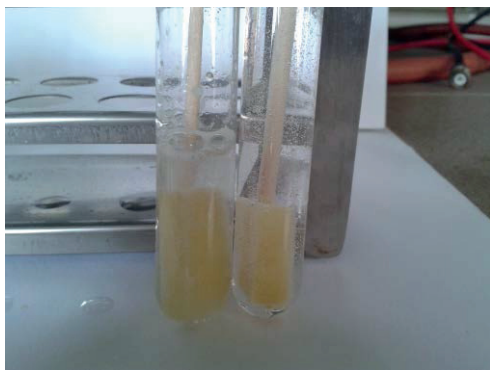
Rozklad při použití **modrého enzymu** se bude od rozkladu s použitím **černého enzymu** lišit v tom, že **maximální rychlosti se dosáhne až při vyšší koncentraci, rychlost roste s koncentrací pomaleji – v každém bodě až do dosažení maxima je nižší, je to méně „šikovný“ enzym.**



Fotografie:



Pokus č. 1



Pokus č. 2



Pokus č. 3





Bezpečnostní opatření

Prostudujte **bezpečnostní list – peroxid vodíku 5%**.



Výstražný symbol(y) nebezpečnosti:

Signální slovo: Varování

Piktogram: Vykřičník (Pro látky a směsi, které dráždí pokožku, oči nebo dýchací cesty.)

Standardní věty o nebezpečnosti:

H319 Způsobuje vážné podráždění očí.

Pokyny pro bezpečné zacházení:

P221 Proveďte preventivní opatření proti smíchání s hořlavými materiály.

P305 + P351 + P338 PŘI ZASAŽENÍ OČÍ: Několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyjměte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování.

P302 + P352 PŘI STYKU S KŮŽÍ: Omyjte velkým množstvím vody a mýdla.

P314 Necítíte-li se dobře, vyhledejte lékařskou pomoc/ošetření.

P281 Používejte požadované osobní ochranné prostředky.



Prostudujte **bezpečnostní list – kyselina chlorovodíková 0,2-1 mol/l**.



Výstražný symbol(y) nebezpečnosti:

Signální slovo: Varování

Piktogram: Vykřičník (Pro látky a směsi, které dráždí pokožku, oči nebo dýchací cesty.)

Korozivní účinky (Pro látky a směsi, které na kovy působí korozivně, leptají pokožku a/nebo jsou vysoce škodlivé pro oči.)

Standardní věty o nebezpečnosti:

H290	Může být korozivní pro kovy.
H315	Dráždí kůži.
H319	Způsobuje vážné podráždění očí.
H335	Může způsobit podráždění dýchacích cest.

Pokyny pro bezpečné zacházení:

P101	Je-li nutná lékařská pomoc, mějte po ruce obal nebo štítek výrobku.
P102	Uchovávejte mimo dosah dětí.
P103	Před použitím si přečtěte údaje na štítku.
P261	Zamezte vdechování prachu/dýmu/plynu/mlhy/par/aerosolů.
P280	Používejte ochranné rukavice / ochranný oděv / ochranné brýle / obličejový štít.
P234	Uchovávejte pouze v původním obalu.
P305 + P351 + P338	PŘI ZASAŽENÍ OČÍ: Několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyjměte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování.
P405	Skladujte uzamčené.
P501	Obsah/nádobu likvidujte v souladu s místními/regionálními/národními/mezinárodními předpisy.



Prostudujte **bezpečnostní list – hydroxid sodný čistý**.



Výstražný symbol(y) nebezpečnosti:

Signální slovo: Nebezpečí

Standardní věty o nebezpečnosti:

H314 Způsobuje těžké poleptání kůže a poškození očí.

H290 Může být korozivní pro kovy

Pokyny pro bezpečné zacházení:

P280 Používejte ochranné rukavice / ochranný oděv / ochranné brýle / obličejový štít.

P310 Okamžitě volejte toxikologické informační středisko nebo lékaře.

P305 + P351 + P338 Při zasažení očí: Několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyjměte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování.



Prostudujte **bezpečnostní list – síran měďnatý pentahydrát čistý.**



Výstražný symbol(y) nebezpečnosti:

Signální slovo: Varování

Standardní věty o nebezpečnosti:

- | | |
|------|---|
| H302 | Zdraví škodlivý při požití. |
| H319 | Způsobuje vážné podráždění očí. |
| H315 | Dráždí kůži. |
| H410 | Vysoce toxický pro vodní organismy s dlouhodobými účinky. |

Pokyny pro bezpečné zacházení:

- | | |
|--------------------|---|
| P273 | Zabraňte uvolnění do životního prostředí. |
| P302 + P352 | PŘI STYKU S KŮŽÍ: Omyjte velkým množstvím vody a mýdla. |
| P305 + P351 + P338 | PŘI ZASAŽENÍ OČÍ: Několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyjměte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování. |



Opakování

Název: Biochemie – Enzymy

Jméno:

1. Jaká je funkce enzymů v organizmech? (2 body)

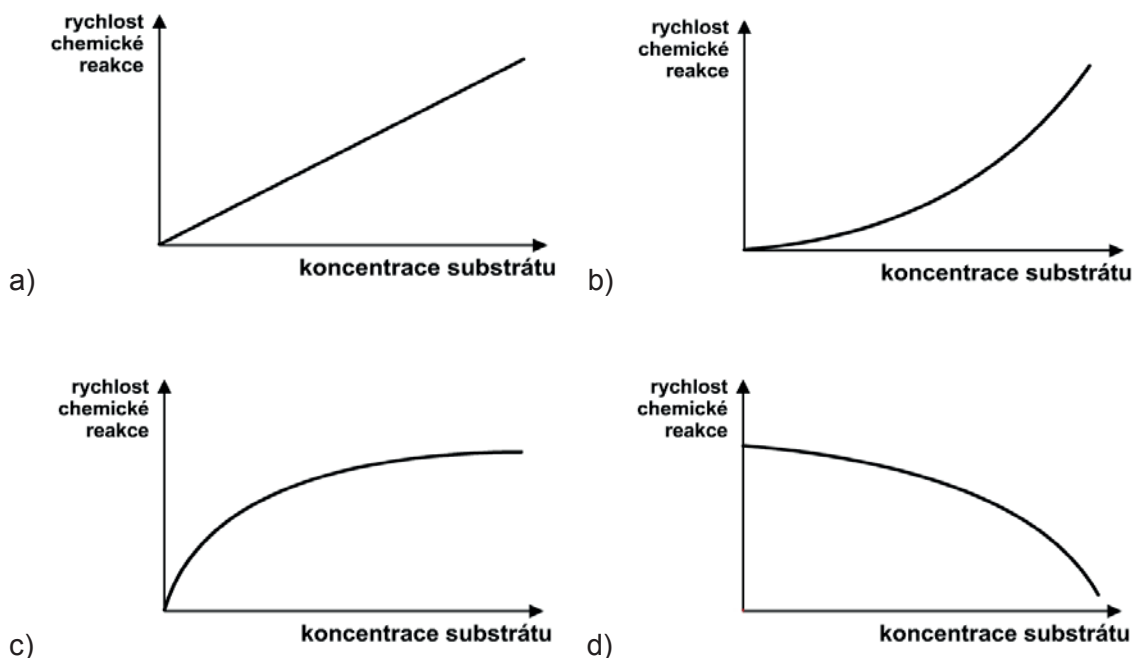
.....

.....

2. Uveď organizmus, který nevyužívá enzymatického působení. (1 bod)

.....

3. Který z grafů znázorňuje závislost rychlosti katalyzované chemické reakce na koncentraci substrátu? (1 bod)



4. Čím lze zvýšit rychlost katalyzované reakce? Uveď alespoň tři faktory. (3 body)

a) b) c)

5. Uveď alespoň tři denaturační činidla. (3 body)

a) b) c)



6. Napiš a vyčíslí rovnici rozkladu peroxidu vodíku. Který enzym tuto reakci katalyzuje? (2 body)

Název enzymu: (1 bod)

7. Popiš, jak v chemické laboratoři dokazujeme vznik kyslíku. (2 body)

.....

.....

Celkem bodů z 15, tj. %, známka



Opakování – řešení pro pedagoga

Název: Biochemie – Enzymy

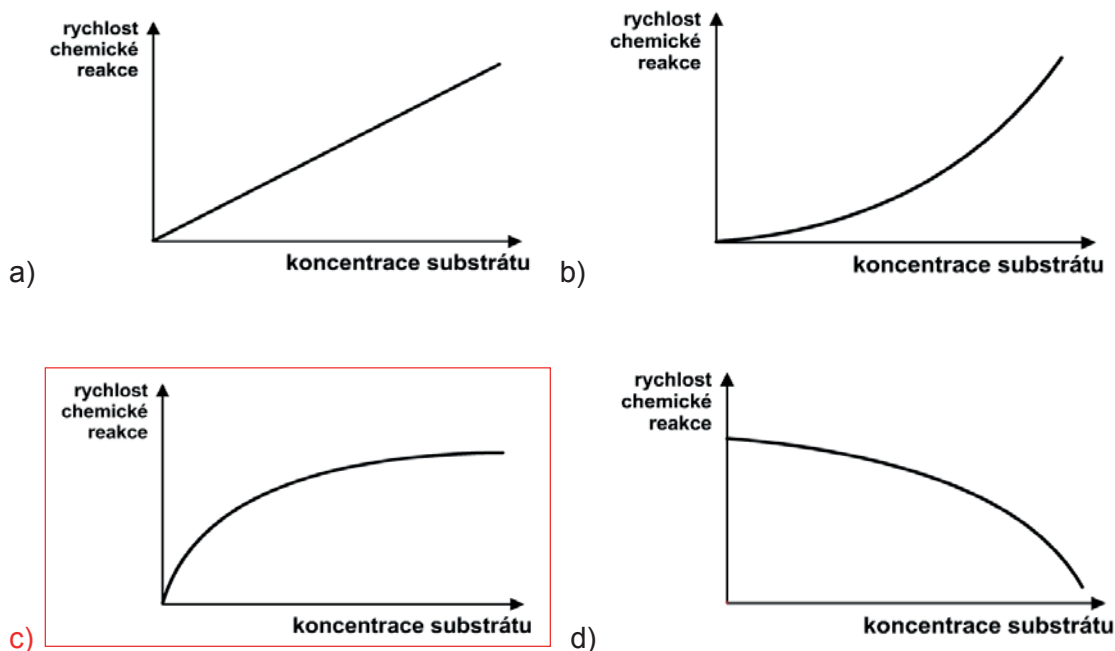
1. Jaká je funkce enzymů v organizmech? (2 body)

Enzymy působí jako katalyzátory. Usnadňují průběh reakcí, které by vůbec nemohly probíhat. Probíhá-li ale reakce s enzymem, průběh reakce je značně ulehčen, neboť katalyzovaná reakce probíhá jiným mechanismem než nekatalyzovaná reakce s podstatně nižší aktivační energií.

2. Uveď organismus, který nevyužívá enzymatického působení. (1 bod)

Všechny organismy obsahují enzymy.

3. Který z grafů znázorňuje závislost rychlosti katalyzované chemické reakce na koncentraci substrátu? (1 bod)



4. Čím lze zvýšit rychlost katalyzované reakce? Uveď alespoň tři faktory. (3 body)

a) volbou optimálního pH b) volbou optimální teploty c) zvýšením koncentrace substrátu
Dále lze uvést: přítomností aktivátoru

5. Uveď alespoň tři denaturační činidla. (3 body)

a) vysoké či nízké pH b) vysoká teplota c) detergenty

Nebo též: nepolární rozpouštědla (aceton); koncentrované roztoky některých solí, především těžkých kovů, roztok skalice modré,...

6. Napiš a vyčíslí rovnici rozkladu peroxidu vodíku. Který enzym tuto reakci katalyzuje? (2 body)



Název enzymu: **katalasa** (1 bod)

7. Popiš, jak v chemické laboratoři dokazujeme vznik kyslíku. (2 body)

Příložením doutnající špejle, která se rozhoří, protože kyslík podporuje hoření.

Celkem bodů z 15, tj. %, známka

Návrh hodnocení:

15 až 13,5 bodů	100 % až 90 %	1
13 až 11,5 bodů	89 % až 75 %	2
11 až 8,5 bodů	74 % až 55 %	3
8 až 6 bodů	54 % až 40 %	4
5,5 a méně bodů	méně než 39 %	5



Teoretické podklady k tematickému celku

Enzymy

Obsah:

- Co jsou enzymy
- Funkce enzymů
- V čem enzymy předčí umělé katalyzátory?
- Specifita enzymů
- Klasifikace a názvosloví enzymů
- Struktura enzymu
- Mechanismus katalytického působení enzymu
- Rozdělení enzymů
- Enzymová aktivita
- Co ovlivňuje enzymovou aktivitu?
- Ireverzibilní inhibice
- Reverzibilní inhibice
- Regulační enzymy
- Denaturace enzymů
- Vratná denaturace – vysolování enzymů
- Funkce enzymů během trávení
- Charakteristika vybraných enzymů
- Použitá literatura

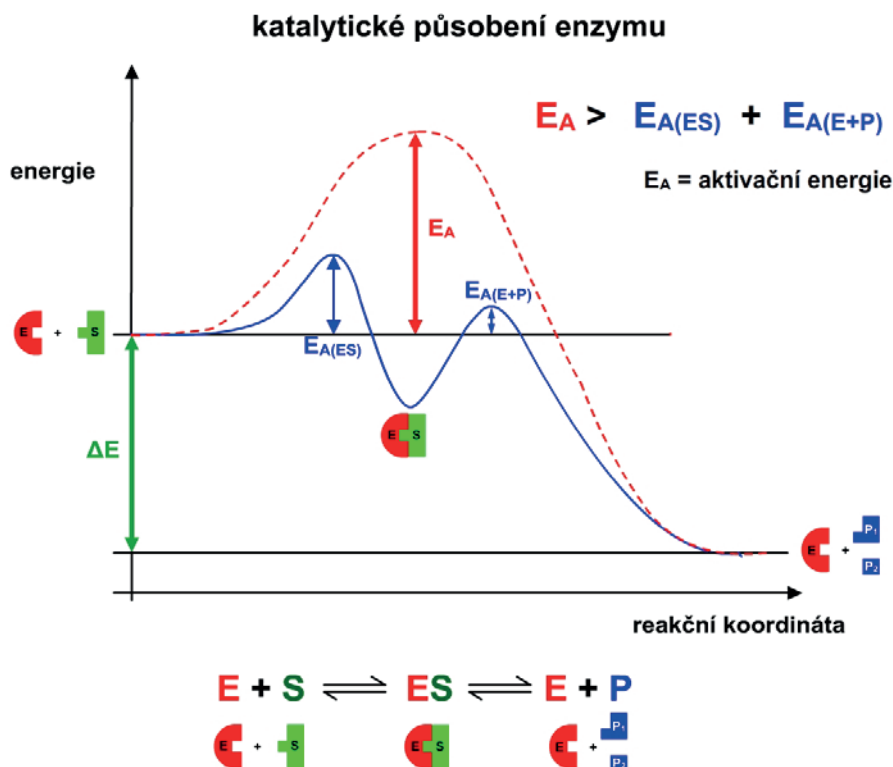
Co jsou enzymy

V každé buňce probíhá současně mnoho set různých chemických reakcí. Buňka ovládá tyto reakce pomocí **biokatalyzátorů** (enzymů). Enzymy se tedy podílejí na řízení a koordinaci vysoce integrovaného souboru chemických reakcí v organismu.

Enzymy nacházíme ve všech živých systémech a předpokládá se, že i jednodušší buňky obsahují přes 3 000 enzymů, které řídí rychlosti prakticky všech reakcí v nich probíhajících. Existující počet enzymů se odhaduje na miliardy.^(citace Vodrážka 1998b)

Funkce enzymů

Hlavní funkce enzymů je **katalytická**. Enzymy umožňují průběh takových reakcí, které by v lidském těle za normálních podmínek neprobíhaly, neboť většina biochemických reakcí má příliš vysokou **aktivační energii E_A** (= minimální energie potřebná pro uskutečnění termické reakce). Probíhá-li ale reakce s enzymem, průběh reakce je značně ulehčen, neboť katalyzovaná reakce probíhá jiným mechanismem s podstatně nižší aktivační energií.^(citace Vodrážka 1998b, Sofrová)



Obrázek 1: Závislost energie na průběhu chemické reakce. Červeně je znázorněn průběh nekatalyzované reakce; modře reakce katalyzované. E – enzym; S – substrát; ES komplex enzym-substrát; P₁ a P₂ – produkty; E_A – aktivační energie.

V čem enzymy předčí umělé katalyzátory?

- Enzymy jsou oproti umělým katalyzátorům **účinnější**. Jediná molekula enzymu je schopna během jedné sekundy přeměnit až 5×10^4 molekul substrátu, výjimečně i více. To odpovídá značným reakčním rychlostem, které až o několik řádů převyšují rychlosti dějů realizovaných umělými katalyzátory. (citace Vodrážka 1998b)
- Pracují většinou za **mírných podmínek** (teplota 20–40 °C, tlak 0,1 MPa, pH většinou kolem 7). (citace Vodrážka 1998b)
- Jejich účinek lze snadno **regulovat**, a to dokonce na několika úrovních.
- Nezanedbatelnou předností enzymů při jejich průmyslových aplikacích je i jejich **netoxičnost**, na rozdíl od umělých katalyzátorů, které jsou většinou toxické. (citace Vodrážka 1998b)

Specifita enzymů

Enzymy vykazují:

- **účinkovou (reakční) specifitu**, tzn. určitý enzym katalyzuje pouze jednu z mnoha možných přeměn substrátu. (citace Vodrážka 1998b)
- **substrátová specifitu**, tzn. každý enzym obvykle katalyzuje pouze určitou reakci určitého substrátu (výchozí látky). Některé enzymy katalyzují přeměnu jen jediného substrátu – poté vykazují tzv. **absolutní specifitu** (např. ureasa). Jiné enzymy katalyzují skupiny substrátů téhož typu, tzn., že vykazují tzv. **skupinovou specifitu**.



Existují i enzymy s **relativní skupinovou specifitou**, které jsou nejméně specifické.
(citace Vodrážka 1998b)

- **stereospecifitu**, tzn. schopnost enzymu rozpoznat správný enantiomer a pouze ten přeměnit, dále při syntéze chirální molekuly z achirální syntetizovat pouze jediný z možných enantiomerů; stereospecifita je důsledkem toho, že enzym (a tedy i jeho aktivní centrum) je vybudován z chirálních monomerních jednotek, a je proto chirální jako celek. (citace Kodíček)

Klasifikace a názvosloví enzymů

V prvních dobách studia byly enzymům dávány celkem náhodné triviální názvy, většinou s koncovkou **-in** (např. pepsin, trypsin). Později byla pro enzymy zvolena koncovka **-asa** a název byl vytvořen podle substrátu, jehož přeměnu enzym katalyzoval (amylasa, lipasa, proteasa) nebo podle charakteru katalyzované reakce (oxidasa, hydrolasa, transaminasa). (citace Vodrážka 1998b)

Bližší poznávání stále rostoucího počtu enzymů si však vynutilo řešení problému účelného třídění a jednotné nomenklatury. Vedle doporučovaných triviálních názvů byly zavedeny **systematické názvy enzymů**, v nichž je zahrnut substrát i typ katalyzované reakce, např. systematickým názvem pro laktátdehydrogenasu je laktát: NAD⁺-oxidoreduktasa. (citace Vodrážka 1998b)

Kromě systematického názvu je každému enzymu přiděleno kódové číslo, které enzym jednoznačně identifikuje. Např. pro laktátdehydrogenasu je **kódové číslo** E.C.1.1.1.27. První číslo kódu značí hlavní třídu enzymů, druhé číslo podtřídu, v tomto případě oxidaci primární alkoholové skupiny, třetí číslo určuje typ akceptoru vodíku, v tomto případě se jedná o enzym spolupracující s pyridinovými koenzymy a čtvrté číslo je pořadové číslo konkrétního enzymu v dané podskupině. (citace Sofrová)

Struktura enzymu

Většina enzymů je bílkovinné povahy, výjimkou je např. ribozym, který je tvořen RNA. Některé enzymy jsou tvořeny pouze polypeptidovým řetězcem či řetězcí. Jiné enzymy většinou obsahují ještě neproteinovou složku nazývanou **kofaktor**. Kofaktorem může být buď nízkomolekulární látka zvaná **koenzym**, která není pevně vázána na enzym, nebo pevně vázaná struktura, tzv. **prostetická skupina**.

Katalyticky aktivní komplex protein-kofaktor se nazývá **holoenzym**, proteinová část enzymu po odstranění kofaktoru se nazývá **apoenzym**.

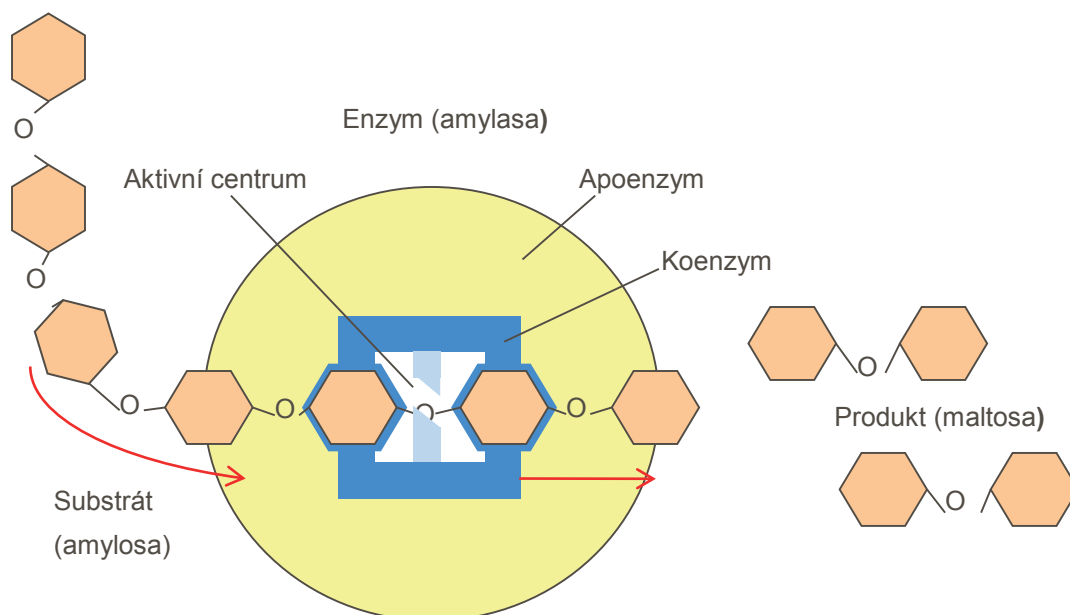


Nejdůležitější částí molekuly enzymu je **aktivní místo (centrum)**. Do aktivního místa (centra) se pomocí vazebných skupin vážou substráty a jsou v něm přeměňovány pomocí katalytických skupin na produkty.

Některé enzymy mají na povrchu svých makromolekul několik aktivních center, působících nezávisle na sobě. Aktivní centrum je výsledkem terciární (u některých enzymů kvartérní) struktury apoenzymu a má charakteristický tvar (= charakteristické prostorové uspořádání atomů a charakteristických skupin). K aktivnímu centru je buď trvale, nebo dočasně připojen kofaktor. Kofaktor v chemické přeměně substrátu vystupuje jako dárce nebo příjemce elektronů (redoxní reakce), kationtů vodíku (acidobazické reakce) nebo charakteristických skupin. "Darování" nebo příjem jsou děje navzájem spojené. V jedné reakci kofaktor odebírá substrátu elektron, proton nebo charakteristickou skupinu a v následující chemické reakci je

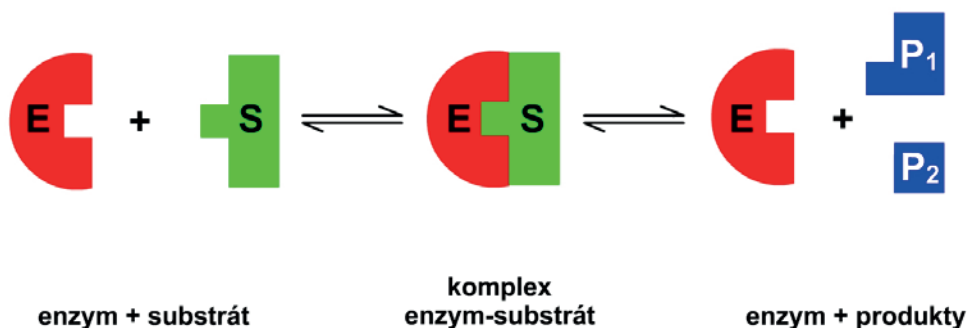


poskytne jinému substrátu. Aktivní centrum je nejdůležitější část enzymu. Pouze na aktivním centru probíhá katalýza biochemické reakce. (citace: Jak probíhá enzymová reakce? URL: <http://www.chesapeake.cz/chemie/download/skripta/biochemie.pdf> . [online]. [cit. 26.8.2014].)



Obrázek 2: Schematické znázornění struktury a působení enzymu amylasy.

Mechanismus katalytického působení enzymu



enzym (E) + substrát (S) → enzym-substrátový komplex (ESK) → enzym (E) + produkty (P)

Obrázek 3: Schematické znázornění reakce katalyzované enzymem.

Mechanismus katalytického působení enzymu je přibližně následující: (citace: Jak probíhá enzymová reakce? URL: <http://www.chesapeake.cz/chemie/download/skripta/biochemie.pdf> . [online]. [cit. 26.8.2014].)

1. na bílkovinnou část aktivního centra se váží strukturní jednotky substrátu; tak vzniká enzym-substrátový komplex; vytvořením enzym-substrátového komplexu se mnohonásobně zvýší koncentrace substrátu na aktivním centru; to vede ke zvýšení rychlosti chemické reakce v souladu s kinetickou rovnicí;
2. připojením strukturních jednotek substrátu k aktivnímu centru se zeslabí některé chemické vazby ve strukturních jednotkách substrátu; tyto chemické vazby proto pro své rozštěpení potřebují podstatně nižší aktivační energii; vznikem enzym-substrátového komplexu se výrazně sníží aktivační energie dané reakce;
3. enzym-substrátový komplex se po vzniku nových chemických vazeb rozpadá na enzym a produkty.



- **Hypotéza indukovaného přizpůsobení:** Enzym a substrát nemusí být strukturně komplementární. Při interakci se enzym i substrát vzájemně strukturně přizpůsobují, mění svoji konformaci. Vzniklý komplex enzym-substrát je termodynamicky nestabilní, má tendenci se rozpadnout za vzniku produktu.

Rozdělení enzymů

Enzymy jsou rozděleny do šesti hlavních tříd:

1. Oxidoreduktasy

Tyto enzymy katalyzují oxidoredukční reakce (tj. přenos elektronů, vodíků nebo reakce s kyslíkem). Mezi oxidoreduktasy patří např. alkoholdehydrogenasa (ADH) katalyzující přeměnu ethanolu na acetaldehyd a laktátdehydrogenasa (LDH), která katalyzuje přeměnu laktátu na pyruvát.

2. Transferasy

Jedná se o enzymy, katalyzující přenos skupin atomů. Příkladem transferasy může být aminotransferasa nebo glutamyltransferasa, katalyzující přenos aminoskupin.

3. Hydrolasy

Hydrolasy katalyzují hydrolytické štěpení vazeb. Mezi hydrolasy patří např. lipasy, které katalyzují hydrolýzu esterových vazeb.

4. Lyasy (synthasy)

Tyto enzymy katalyzují nehydrolytické štěpení vazeb nebo tvorbu vazeb. Příkladem může být enzym pyruvátdekarboxylasa, která katalyzuje odštěpení CO₂ z molekuly pyruvátu za vzniku acetaldehydu.

5. Isomerasy

Isomerasy katalyzují isomerační reakce. Příkladem může být triosafosfátisomerasa, katalyzující přeměnu D-glyceraldehyd-3-fosfátu na dihydroxyacetonfosfát.

6. Ligasy (synthetasy)

Katalyzují vznik vazeb za současného rozštěpení makroergické fosfátové vazby (např. v ATP). Příkladem může být aminoacyl-tRNA-synthetasa. Dalším příkladem je enzym pyruvátkarboxylasa.

Enzymová aktivita

Činnost enzymů úzce souvisí s jejich aktivitou. Aktivita enzymů je definována jako **rychlost katalyzované reakce**. Její základní jednotkou je **katal**. 1 katal (kat) vyjadřuje množství enzymu, které způsobí přeměnu jednoho molu substrátu za sekundu. Z praktického hlediska je tato jednotka příliš velká, proto se používají její zlomky (μkat nebo nkat). (citace Vodrážka 1998b)

Co ovlivňuje enzymovou aktivitu?

Enzymová aktivita je ovlivněna mnoha faktory:

1. Koncentrace substrátu

2. Teplota

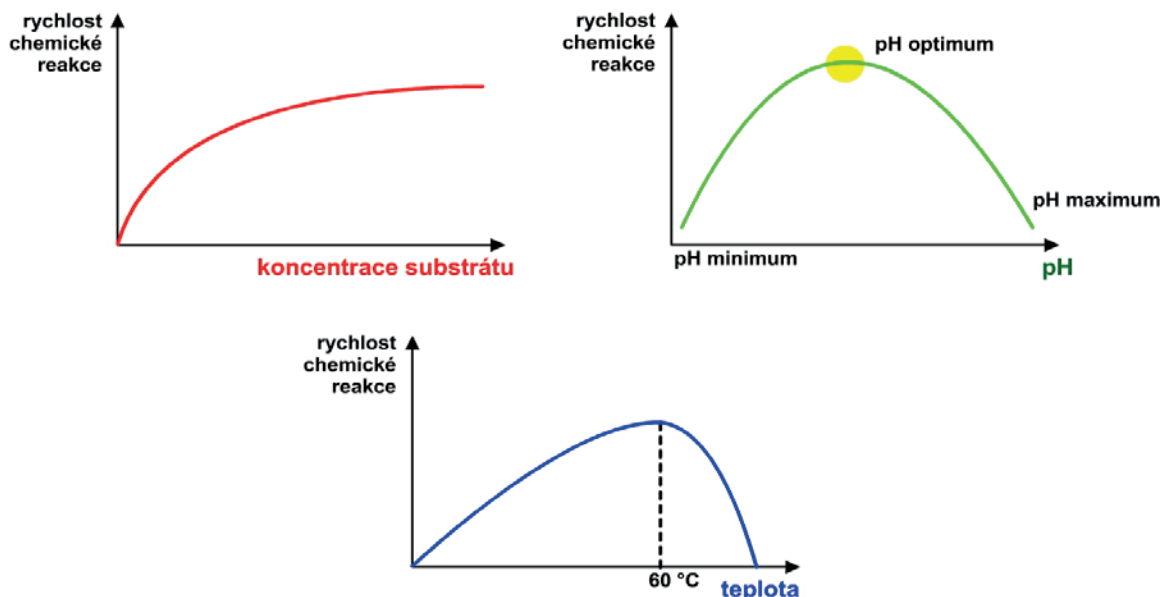
Rychlost všech reakcí, tedy i enzymově katalyzovaných, vzrůstá s rostoucí teplotou; pokud však u enzymových reakcí přestoupí teplota kritickou hodnotu, dojde k tepelné denaturaci bílkovinné molekuly enzymu a rychlost enzymové reakce začne klesat; největší aktivita enzymů je většinou při teplotě kolem 37 °C, většina enzymů ztrácí aktivitu při teplotě kolem 55–60 °C; existují však enzymy termofilních bakterií, které jsou aktivní i při 85 °C. (citace Kolář, Kodíček)

3. pH



Většina enzymů katalyticky působí jen v určité oblasti pH (tzv **pH-optimum**); tato vlastnost souvisí s disociačním stavem kyselých a bazických skupin aktivního centra; většina enzymů má pH-optimum v neutrálním či slabě kyselém prostředí, extrémních hodnot dosahuje pH-optimum trávicích enzymů. (citace Kolář, Kodíček)

faktory ovlivňující rychlost enzymových reakcí



Obrázek 4: Závislost rychlosti katalyzované reakce na koncentraci substrátu, na pH a na teplotě.

4. Modulátory (citace: Aktivita enzymů. URL: <http://projektalfa.ic.cz/enzymy.htm>. [online]. [cit.26.8.2014])

- a. Látky zvyšující rychlost enzymové reakce = **aktivátory**.
- b. Látky snižující rychlost enzymové reakce = **inhibitory**.

Modulátory ovlivňují aktivitu enzymů tím, že se na ně váží nebo ovlivňují vazbu mezi enzymem a substrátem; některé látky napodobují substrát, a tím blokují aktivní místo; existují také látky, které změny strukturu enzymu, a ten se stane nefunkčním.

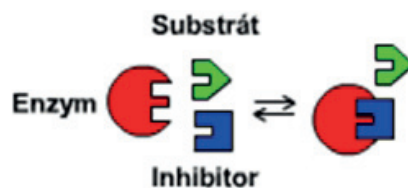
Ireverzibilní inhibice

Inhibitor se kovalentně váže na enzym, modifikuje jeho funkční skupiny, a tím jej inaktivuje.

Reverzibilní inhibice

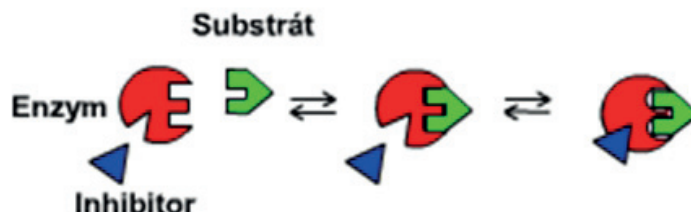
Inhibitor se váže na enzym slabými interakcemi. Je známo několik druhů reverzibilních inhibicí:

1. **Kompetitivní inhibice:** Inhibitor soutěží o vazbu na enzym se substrátem; často mají inhibitor a substrát podobnou chemickou strukturu a váží se do stejného vazebného místa; z teorie chemických rovnováh vyplývá, že vysokou koncentrací substrátu lze inhibitor vytěsnit z vazby na enzym, a tím zrušit jeho působení. (citace Kodíček)



Obrázek 5: Kompetitivní inhibice.

2. **Akompetitivní inhibice:** Inhibitor se může vázat pouze na komplex enzym-substrát, nikoli však na volný enzym; vazbou inhibitoru je porušena schopnost enzymu přeměňovat substrát a nevzniká produkt. (citace Kodíček)



Obrázek 6: Akompetitivní inhibice (Inhibitor se může vázat pouze na komplex enzym-substrát).

3. **Nekompetitivní inhibice:** Inhibitor se se stejnou afinitou váže na samostatný enzym či na komplex enzym-substrát, čímž znemožní přeměnu substrátu na produkt. Komplexy enzym-inhibitor i enzym-substrát-inhibitor vznikají stejně snadno. (citace Voet, Sofrová) Obecným případem je **smíšená inhibice**, kdy afinita inhibitoru k enzymu a ke komplex-substrátu není stejná. (citace Sofrová)



Obrázek 7: Nekompetitivní inhibice.

Kompetitivní a nekompetitivní inhibice: <https://www.youtube.com/watch?v=PILzvT3spCQ>

Vše:

http://www.wiley.com/college/boyer/0470003790/animations/enzyme_inhibition/enzyme_inhibition.htm

Regulační enzymy

1. **Allosterické enzymy:** Aktivita enzymů je modulována (inhibována/aktivována) nekovalentní interakcí se specifickým metabolitem, který se váže do allosterického místa.
Feedback inhibition: <https://www.youtube.com/watch?v=DHZtOKyMPRY>
Allosterická inhibice a aktivace enzymů:
<https://www.youtube.com/watch?v=pR2Eh2Jfnz8>
2. **Enzymy kovalentně modulované:** Enzymy mohou existovat ve více formách, které se liší svou aktivitou. V neaktivní formě se enzymy vyskytují v podobě **proenzymů** neboli **zymogenů**; ty se vlivem reakčního prostředí nebo přítomností aktivátoru mění na aktivní formu; probíhá to tak, že aktivátor obnaží aktivní místo, čímž se enzym stane aktivním a začne plnit svoji funkci.



Denaturace enzymů

Většina enzymů je bílkovinné povahy. Bílkoviny mohou v závislosti na okolních podmínkách denarovat. Při denuraci enzymů **dochází k rozpadu nativní prostorové struktury bílkoviny** (narušení vyšších struktur) a vzniká neuspořádané polypeptidové klubko. Primární struktura je nepoškozena (kovalentní vazba se neštěpí). Denuraci enzymů způsobují **denaturační činidla**, např.:

- **Vysoká teplota** – tzv. střední teplota tání proteinů se obvykle pohybuje pod 100 °C, výjimkou jsou bílkoviny některých termofilních či hypertermofilních organismů.
- **Vysoké či nízké pH** (změnou náboje proteinu).
- Přítomnost **detergentů** (interakcí s nepolárními zbytky) nebo některých dalších chemikálií, jako jsou některé alifatické alkoholy.
- **Koncentrované roztoky některých solí**, tento sklon mají tzv. chaotropní ionty – jodidy, chloristany, thiokyanatany ale i některé kationty kovů alkalických zemin atp. (citace Voet)

Vratná denaturace – vysolování enzymů (citace Fendrychová)

Při vysolování jsou enzymy vysráženy z roztoku, avšak nedochází ke změnám v prostorovém uspořádání enzymu ani ke ztrátě biologické funkce. Nejedná se tedy o denuraci.

Soli přidané do roztoku (např. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) disociují na ionty, které jsou solvatovány molekulami vody. V roztoku již nezbude voda pro rozpouštění (solvatování) enzymu, jehož molekuly se proto shlukují k sobě a tvoří sraženinu. Po přidání vody se však sraženina opět rozpustí.

zajímavý odkaz:

http://www.studiumchemie.cz/materialy/Anna_Fendrychova/Proteiny/flash/vysolovani.swf

Funkce enzymů během trávení

Enzymy jsou při trávení nepostradatelné, protože jsou nezbytné při hydrolytickém štěpení molekul polysacharidů, triacylglycerolů a bílkovin, které jsou hlavní součástí naší potravy.

Jedním z enzymů, se kterým se potrava setká v ústech, je α -amylasa, která hydrolyzuje škrob za vzniku oligosacharidů. V žaludku se potrava setkává s dalšími enzymy, jako je např. pepsin štěpící bílkoviny. Slinivka břišní, která má vývod do dvanáctníku, je nejdůležitější zdroj enzymů. Ta vylučuje enzymy hydrolyzující bílkoviny (např. trypsin a chymotrypsin), poly- a oligosacharidy (např. amylasy) a triacylglyceroly (lipasy). V tenkém střevě nacházíme celou řadu enzymů, jako jsou maltasa, sacharasa a laktasa. Štěpení je dokončeno v tlustém střevě.

Trávení lipidů, které jsou ve vodě nerozpustné, je usnadňováno žlučí tak, že je emulguje (žluč převádí kapičky lipidů do co nejmenších kapiček, které lze snadněji strávit).

Enzymy rozloží potravu na základní jednotky, které již mohou být vstřebávány do krevního řečiště a předávány jednotlivým buňkám.

zajímavý odkaz: <https://www.youtube.com/watch?v=asu6yH6rOW0>

Charakteristika vybraných enzymů (citace: Kodíček)

- **Katalasa**
Enzym ze třídy oxidoreduktas katalyzující disproportionaci peroxidu vodíku: $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Je přítomna ve všech živočišných orgánech (zejm. v erytrocytech a v peroxisomech jaterních buněk), v rostlinných tkáních a aerobních mikroorganismech. Její prosthetickou skupinou je hem. Je mimořádně katalyticky účinná; jedna molekula enzymu může za minutu přeměnit 5 milionů molekul H_2O_2 .



- **Amylasy**

Široce rozšířená skupina hydrolas ze skupiny glykosidas štěpících škrob, glykogen a další polysacharidy, v nichž se vyskytují $\alpha(1\rightarrow4)$ -glykosidové vazby. **α -Amylasy** štěpí vazby uvnitř polysacharidového řetězce za vzniku oligosacharidů (α -limitních dextrinů). Vyskytují se ve všech typech organismů; u savců jsou obsaženy ve slinách, jsou též produkovány slinivkou břišní. Z technologického hlediska jsou významné amylasy obilných zrn (slad z ječmene); termostabilní bakteriální α -amylasy, které vydrží krátkodobý záhřev na teploty vyšší než 100 °C, se využívají jako složka pracích prostředků a spolu s ostatními typy amylas pro enzymovou hydrolysu škrobu. **β -Amylasy** odštěpují maltosové jednotky z neredukujícího konce polysacharidového řetězce; protože stejně jako α -amylasy neštěpí vazby $\beta(1\rightarrow6)$, zbývající β -limitní dextriny mají vyšší molekulovou hmotnost než α -limitní dextriny. Glukoamylasy (též **γ -amylasy**) odštěpují glukosové jednotky z neredukujícího konce polysacharidového řetězce.

- **Invertasa**

Přesnějším názvem sacharasa, β -D-fruktofuranosidasa, enzym ze třídy hydrolas, který katalyzuje reakci: sacharosa + H₂O → glukosa + fruktosa (cukr invertní). Pokusy s měřením rychlosti této reakce vedly Michaelise a Mentenovou k formulování základních představ o enzymové kinetice.

- **Ureasa**

Enzym katalyzující hydrolyzu močoviny: (NH₂)₂CO + 2 H₂O → 2 NH₃ + H₂CO₃. Vyskytuje se především u rostlin, mikroorganismů a bezobratlých živočichů. Má absolutní substrátovou specifitu; neštěpí jiné substráty než močovinu. Používá se v analytice pro stanovení močoviny.

- **Proteasy**

Enzymy ze třídy hydrolas, které štěpí peptidové vazby v bílkovinách. Neexistuje jasné rozhraní mezi proteasami a peptidasami. Proteasy dělíme podle katalytických skupin v aktivním místě na serinové (rozhodující je -OH skupina serinu, např. trypsin, thrombin), aspartátové (skupina -COO⁻, např. pepsin), cysteinové (-SH, papain) a metalloproteasy (často Zn²⁺, karboxypeptidasa).

Použitá literatura

1. FENDRYCHOVÁ, A. *Vysolování enzymů*. URL: http://www.studiumchemie.cz/materialy/Anna_Fendrychova/Proteiny/flash/vysolovani.swf [online]. [cit. 26. 8. 2014].
2. KOLÁŘ, K., KODÍČEK, M., POSPÍŠIL, J. *Chemie II (organická a biochemie) pro gymnázia*. Praha: SPN, 2000.
3. KODÍČEK, M. *Biochemické pojmy: výkladový slovník*. Praha: VŠCHT Praha, 2007. URL: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002/ebook.html. [online]. [cit. 26. 8. 2014].
4. SOFROVÁ, D., TICHÁ, M. a kol. *Biochemie – základní kurz*. Praha: skripta UK, 1993.
5. VODRÁŽKA, Z. a kol. *Enzymologie*. Praha: VŠCHT, 1998b.
6. VOET, D. J., VOET, J. G. *Biochemistry*, 4th ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
7. Jak probíhá enzymová reakce? URL: <http://www.chesapeake.cz/chemie/download/skripta/biochemie.pdf>. [online]. [cit. 26. 8. 2014].
8. Katalytické působení enzymů. URL: www.ceskolipska.cz/files/11/enzymologie.doc. [online]. [cit. 26. 8. 2014].

Biochemie - Enzymy

RNDr. Hana Böhmová, Ph.D., RNDr. Milada Teplá, Ph.D.



www.otevrenaveda.cz



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ