



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



UČEBNÍ MATERIÁL – SBORNÍK K TÉMATU KATALÝZA



Publikace pro skupinu oborů 28 Technická chemie a chemie silikátů



UČEBNÍ MATERIÁL – SBORNÍK K TÉMATU KATALÝZA

Publikace pro skupinu oborů 28 Technická chemie a chemie silikátů

Tato publikace byla vytvořena a vydána v projektu POSPOLU – Podpora spolupráce škol a firem, který je realizován v rámci Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost. Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Více informací o projektu najdete na www.projektpospolu.cz

Autorský kolektiv:

Ing. Pavel Hrabánek, Ph.D.

Ing. Dalibor Kaucký, Ph.D.

Ing. Květoslava Stejskalová, CSc.

2

Oponentura: Doc. Ing. Libor Čapek, Ph.D., Dr. Ing. Vlastimil Fíla

Editace: Mgr. Aneta Stehlíková, Mgr. Helena Šíbllová

Jazyková korektura: PhDr. Pavla Brožová

Grafická úprava: Michaela Houdková

Redakce: Lucie Šnajdrová



Vydal Národní ústav pro vzdělávání, školské poradenské zařízení a zařízení pro další vzdělávání pedagogických pracovníků

Weilova 1271/6, Praha 10, 102 00

Praha 2015

ISBN 978-80-7481-131-9



OBSAH

Předmluva	4
1. Katalýza	5
1.1 Proč katalýza?	5
1.2 Co je to katalyzátor a katalýza?	5
1.3 Jak jsou katalyzátor a katalýza v laboratoři studovány?	6
1.4 Jak jsou katalyzátory charakterizovány?	7
1.5 Co je cílem výzkumu katalyzátoru?	7
1.6 S čím se setkáme v laboratořích katalytického výzkumu?	7
1.7 Závěr	7
2. Vývoj mikroporézních materiálů (zeolity) a kompozitních membrán	9
2.1 Zeolity	10
2.2 Zeolitické membrány	10
2.3 Membránové reaktory	11
2.4 Difuze v porézním prostředí	11
3. Heterogenní katalýza – úvod do studia katalýzy (prezentace)	12
3.1 Seznámení s katalýzou	12
3.2 Příklady katalýzy z praxe	12
3.3 Teorie a pojmy v katalýze	12
3.4 Speciální témata v katalýze	12
3.5 Praxe katalýzy. Katalytický experiment	12
3.6 Techniky pro studium katalýzy	12
3.7 Závěry	12
Přílohy	13
Příloha č. 1 Pracovní list	14
Příloha č. 2 Řešení a bodování pracovního listu	17
Seznam použitých zkratk	19
Zdroje a doporučená literatura	20



PŘEDMLUVA

Obor katalýzy je již po řadu let velice důležitým, klíčovým oborem chemie. Bez katalyzátorů dnes nelze úspěšně ekonomicky a ekologicky realizovat většinu výrobních procesů či technologií.

Právě s touto oblastí žáky seznamují učební materiály s tématem katalýzy, které byly původně zařazeny v tematickém celku chemická kinetika, v předmětu fyzikální chemie na střední škole chemické (3. ročník). Předkládaný soubor se skládá ze sborníku k tématu katalýzy (včetně pracovního listu s řešením) a prezentace. Soustředí se především na téma katalýzy heterogenní.

Učební materiál uvedený níže je tvořen výkladem tématu katalýzy (jako rozšíření učiva 3. ročníku), obrazovým materiálem a závěrečným testem znalostí žáka, který absolvoval přednášku s prezentací a následné exkurze na několika katalytických pracovištích. Součástí materiálu je i vzorové řešení testu a systém hodnocení otázek.

V úvodní výukové části obdrží každý žák písemné podklady (sborník) obsahující informace, které shrnují téma výuky, a pracovní list. Informace doplňuje přednáška s prezentací a následné exkurze. Žákům je dán prostor pro vlastní poznámky, zodpovězení otázek a řešení úkolů, jež zazněly při přednášce a exkurzích. Na závěr výuky žák vyřeší úkoly v tištěném pracovním listu. Vypracované testy vyhodnotí pedagog a zpracuje statisticky.

4

Vzhledem k cílové skupině žáků středních škol, kterým je soubor učebních materiálů určen, jsou poznatky, vzorce a terminologie v některých případech zjednodušeny. Ze stejného důvodu není tento soubor vyčerpávajícím zdrojem informací k tématu katalýzy. Použití prezentace stejně jako níže předloženého učebního materiálu předpokládá doplnění odborným výkladem, který zajistí žákům kontext i rozšiřující příklady.

Soubor učebních materiálů ověřili žáci 3. ročníku MSŠCH v Praze 1 v oboru vzdělání 28-44-M/01 Aplikovaná chemie (skupina oborů 28 Technická chemie a chemie silikátů), kteří téma katalýzy absolvují na pracovišti Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR.

Helena Šíbllová

Aneta Stehlíková



1. KATALÝZA



Obr. 1: Praktické provedení katalytického experimentu.
(K. Stejskalová – archiv ÚFCH J. Heyrovského AV ČR)

1.1 PROČ KATALÝZA?

V současné době naprostá většina procesů a pochodů chemické technologie využívá katalýzu. Proces vedený pomocí katalyzátoru by byl bez něj buď nemyslitelný, nebo by probíhal příliš malou rychlostí a s malým výtěžkem žádaného produktu. Katalyzátor také pomáhá uskutečnit proces při přijatelnější – nižší teplotě.

1.2 CO JE TO KATALYZÁTOR A KATALÝZA?

Podle definice je katalyzátor látka, která vstupuje do chemické reakce, ovlivňuje její rychlost, urychluje nebo zpomaluje reakci a sama se přitom prakticky nemění. Rozdělení katalýzy je možné provést z několika hledisek [2,3]:

- 1) Katalýza se dělí na **homogenní a heterogenní** podle toho, zda vlastní katalytický děj probíhá v jedné fázi, nebo na rozhraní fází.
- 2) Katalýza se dělí z pohledu typu katalyzátoru na katalýzu na **kovech** jako na materiálech vodivých, nebo na **oxidech kovů** – ať už polovodivých (například na spinelech), či oxidech izolátorech, kde může jít o látky s kyselými vlastnostmi, například oxid křemičitý (křemelina), oxid hlinitý (alumina), anebo o aktivní fáze kovové či oxidické nanesené na porézním nosiči, například křemelině, alumině, MgO, TiO₂, ZrO₂, může jít i o složité – komplexní katalyzátory, jejichž podstatou jsou hlinitokřemičitany se složitou mřížkou, molekulová síta, zeolity apod.
- 3) Katalýza se dělí z pohledu aplikací. Může být popisována **katalýza průmyslová**, jež byla historicky pojmenovávána jako proces kontaktní, viz např. kontaktní způsob výroby kyseliny sírové. V obecnějším pohledu jsou dnes do tohoto oboru zahrnovány takové druhy jevů, které se studují teprve v moderní době, například **fotokatalýza**. V nejobecnějším pohledu katalýza souvisí se samou podstatou života, jde o tzv. **biokatalýzu**, například fotosyntézu, enzymatickou

katalýzu nebo procesy při využití kyslíku tkáněmi (cytochromy) či využívání energie v organismech.

Příklady průmyslově aplikovaných katalytických pochodů [3]:

Příklad:	Technologie:	Katalyzátor:
Syntéza kyseliny sírové	Kontaktní způsob	V_2O_5
Syntéza čpavku	Haber-Bosh proces	Fe_2O_3 / Al_2O_3
Syntéza kyseliny dusičné	Ostwaldův proces	Pt-Rh síťka
Hydrogenační reakce	Ztužování tuků	$Pd, Ni / Al_2O_3$
Isomerizační reakce	Výroba paliv	$Pt, Cl / Al_2O_3 / SiO_2$
Automobilové katalyzátory	Eliminace škodlivin	$Pt, Rh / Al_2O_3 / SiO_2$

1.3 JAK JSOU KATALYZÁTOR A KATALÝZA V LABORATOŘI STUDOVÁNY?

Experimentální technika používaná v katalýze je následující.

Katalytická aparatura, v níž se provádí reakce na pevném katalyzátoru, sestává ze tří částí: z části pro **přípravu reakční směsi**, z vlastního **katalytického reaktoru** (různé typy reaktorů), v němž je umístěn pevný (práškový nebo granulovaný) katalyzátor na loži – fritě nebo mřížce, a z **části analytické**, zde se uplatňují metody analytické chemie: chromatografie (plynová, kapalinová), hmotnostní spektroskopie, jednoúčelové „on-line“ analyzátory (pracující na principech chemiluminiscence, IR-absorpce apod.).

6

Příprava reakční směsi:

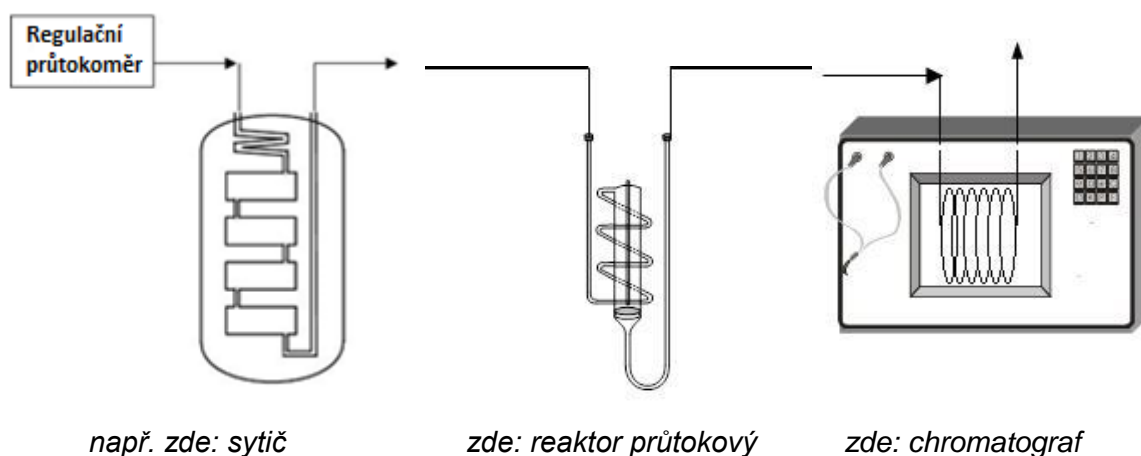
průtokoměry,
mikročerpadla...

Katalytický reaktor:

např. U-reaktor, průtočný...

Analytická část:

plyn. chromatografie apod.



Obr. 2: Schéma popisující nejběžnější uspořádání katalytického experimentu. Praktické provedení – viz obr. 1.



1.4 JAK JSOU KATALYZÁTORY CHARAKTERIZOVÁNY?

Výzkum se zaměřuje na porozumění katalytickému ději. Nalézají zde uplatnění moderní metody chemického a fyzikálního výzkumu: mikroskopické metody, měření velikosti částic a měrného povrchu, spektroskopické metody, spektroskopie v oblasti infračerveného záření, spektroskopie v oblasti viditelného a ultrafialového záření, v oblasti rentgenového a gamma záření, metody magnetické rezonance, při studiu mechanismu a kinetiky pak zejména různá uspořádání hmotnostní spektroskopie, ve spojení s izotopy stabilními i nestabilními, difrakční metody pro studium struktury a v poslední době rovněž moderní metody využívající urychlovače částic – např. synchrotron, pak se jedná o metody EXAFS, XANES.

1.5 CO JE CÍLEM VÝZKUMU KATALYZÁTORU?

Cílem studia v laboratoři je primárně **aktivita** katalyzátoru umožňující posouzení katalyzátoru a jeho srovnání s jinými katalyzátory. Při měření je obvykle primárním výsledkem složení reakční směsi, na jehož základě se spočítá **konverze**. Z konverze lze následně spočítat reakční rychlost, tedy množství molekul dané látky přeměněné katalyzátorem za časovou jednotku, dále závislost této rychlosti na teplotě, z toho aktivační energii procesu a v neposlední řadě pak závislost rychlosti na koncentraci reaktantů, z té nakonec detailní kinetický popis procesu, včetně jeho mechanismu. Důležitým parametrem je **selektivita** – míra, jakou katalyzátor poskytuje produkty žádané a produkty nežádoucí. Cílem výzkumu je nalézání cest vedoucích k aktivním a selektivním katalyzátorům s dostatečnou životností. Roli zde hrají vesměs i ekonomické faktory.

7

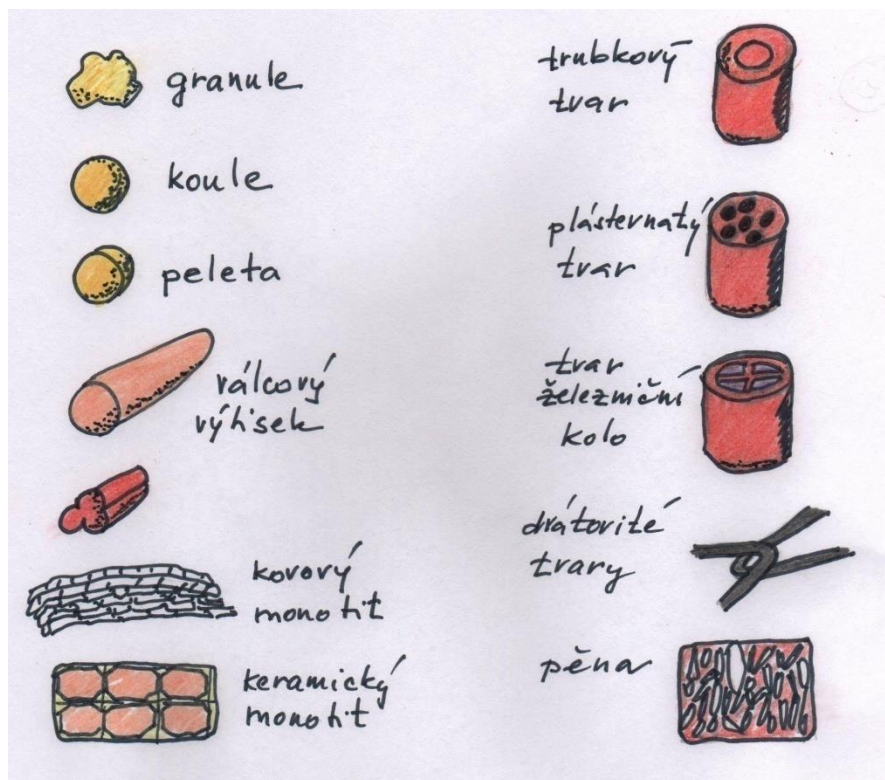
1.6 S ČÍM SE SETKÁME V LABORATOŘÍCH KATALYTICKÉHO VÝZKUMU?

V rámci úlohy Katalýza se žáci seznámí se základními pojmy, s nimiž se lze setkat při studiu katalýzy, metodami studia používanými v tomto oboru, jež mohou být dokumentovány příklady, s použitím výsledků dosažených na tomto ústavu v uplynulých letech. Bude následovat praktická část formou exkurze, kde se účastníci seznámí s teorií a technikou adsorpce, teorií a měřením difuze a membrán.

1.7 ZÁVĚR

Katalýza je unikátní obor fyzikální chemie s dlouhou historií spojující základní výzkum se širokým polem aplikací, a to od procesů průmyslové výroby, paliv a petrochemie až k průmyslu automobilovému. Má nesporně neobyčejný potenciál do budoucna. Lze jen stěží odhadnout další cesty, jimiž se bude ubírat, či jakých objevů zde bude dosaženo. V současné době se rozvíjí např. fotokatalýza, elektrochemické urychlování katalytických reakcí či nanokatalýza.





Obr. 3: Příklady nejčastějších forem heterogenních katalyzátorů používaných v praxi.

2. VÝVOJ MIKROPORÉZNÍCH MATERIÁLŮ (ZEOLITY) A KOMPOZITNÍCH MEMBRÁN



Obr. 4: Membránová technologie [4].

Membránové separační procesy v posledních letech získaly na významu a objevují se alternativní separační postupy v procesech, které byly pokládány donedávna za klasické a které v důsledku dlouholetého vývoje byly dovedeny ke značnému stupni technické dokonalosti. Na základě nových možností, které otvírají oblast permselektivních separačních membrán, se tento obor velmi rychle rozvíjí. Vzhledem k tomuto rychlému rozvoji je počet používaných membránových materiálů značný a výrobní technologie některých membrán jsou svojí náročností podobné technologiím integrovaných obvodů.

Důvody pro použití membrán v heterogenní katalýze neboli obecně ve všech reagujících systémech:

1. překonání termodynamických omezení v případě vratných reakcí selektivním odstraňováním produktů z reakční směsi;
2. zvýšením selektivity v případě paralelně nebo následně probíhajících reakcí odstraněním meziproductů nebo oddělením vstupu reaktantů;
3. snížení odporu pro přenos hmoty ve vícefázových reakčních soustavách (kapalina – plyn);
4. snadnější kontrola přenosu tepla v případě silně exotermních procesů.

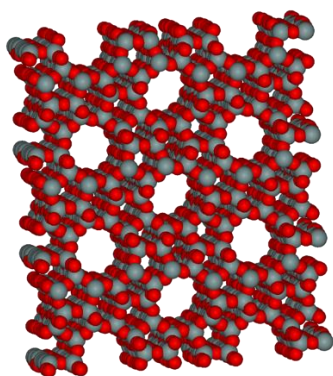
Velkého významu nabývají membránové reaktory, u nichž lze selektivně odstraňovat reakční produkty, řízeně dávkovat reaktanty a zároveň dělit produkty reakce v integrovaném membránovém separátoru. Velmi výhodné je spojení endotermního a exotermního procesu s přenosem tepla.

Separací membránové procesy doznaly rozvoje od 40. let 20. století, kdy byla zavedena technologie separace (obohacování) izotopů uranu na mesoporézních keramických (alumina) membránách. Významné je zhotovení první dialyzační umělé ledviny v roce 1944. Mezi

membránové separační procesy se řadí mikrofiltrace, ultrafiltrace, separace plynů, reverzní osmóza, dialýza a elektrodialýza.

Efektivnost těchto procesů závisí na vlastnostech a struktuře použitých membrán. Anorganické membrány jsou používány zejména pro jejich dobré mechanické vlastnosti, odolnost vůči vysokým teplotám a tlakům a též chemickou stabilitu v agresivním prostředí (kyseliny, zásady, organická rozpouštědla).

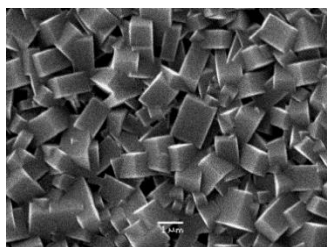
2.1 ZEOLITY



Obr. 5: Zeolit [5].

Zeolity jsou krystalické hlinitokřemičitany (alumosilikáty), jejichž chemické složení popisuje souhrnný vzorec $\text{Me}_{2/n}\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$, kde n je oxidační číslo kationtu Me^{n+} a hodnota m udává množství SiO_2 na jednotku Al_2O_3 . Základní strukturní jednotkou všech zeolitů jsou tetraedry AlO_4 a SiO_4 , které se různými způsoby spojují a vytvářejí pestrou paletu zeolitových struktur s dutinami a kanálky. Rychlé rozšíření zeolitových materiálů v průmyslových katalytických a adsorpčních procesech je zcela ojedinělé a nemá v moderní historii obdobu. Zeolity se dnes hojně používají při výrobě paliv a poněkud pomaleji pronikají do výroby speciálních chemikálií. Pro jejich rozsáhlé využití je velmi důležitá jejich možnost vytváření dutin a kanálků o jednotné a nastavitelné velikosti. Zeolity se nejčastěji charakterizují rentgenovou difrakcí, rastrovací elektronovou mikroskopií (SEM), infračervenou spektroskopií, adsorpcí *n*-heptanu, cyklohexanonu a vody.

2.2 ZEOLITICKÉ MEMBRÁNY



Obr. 6: Zeolit MFI – membrána [6].

Je dobře známo, že zeolitické membrány mají značné možnosti pro průmyslové aplikace při separaci produktů u chemických syntéz a snížení imisí. Zeolitické membrány mohou být používány při vysokých teplotách pro separaci směsí blízkých jejich bodu varu, azeotropů i izomerů. Tvarová selektivita a chování molekulových sít může být využíváno pro selektivní separaci molekul. Navíc jsou zajímavé technologie pro oddělení CO_2 ze zemního plynu a při přípravě syntézní směsi pro výrobu amoniaku. Zeolitické membrány mohou být také používány různými způsoby při minimalizaci odpadních a regeneračních rozpouštědel. Technologie využívající zeolitických membrán mohou být užívány pro separaci běžných průmyslových rozpouštědel, jako je např. aceton, toluen a trichloretylen, z vytékajících odpadních vodních toků. Hydrofilní zeolitická membrána připravená ze zeolitu NaA byla úspěšně obchodně využita pro dehydrataci etanolu.

2.3 MEMBRÁNOVÉ REAKTORY

V posledních letech jsou zkoumány možnosti použití membránových reaktorů pro různé reakční systémy. Významný vzestup v selektivitě produktu a výnosu byl popsán u hydrogenace, dehydrogenace a u selektivních oxidačních reakcí. V současné době je výkon membránového reaktoru pouze omezen vlastnostmi materiálu pro přípravu membrán. Úspěšnějšími syntézami zeolitických membrán je dosaženo zvýšení účinnosti membránových reaktorů. Dehydrogenace isobutanu má v současné době velký význam v souvislosti s rostoucí poptávkou po isobutenu jako meziprojektu pro výrobu terciálního butylmethyleteru (MTBE), který zvyšuje oktanové číslo u benzínu.

2.4 DIFUZE V PORÉZNÍM PROSTŘEDÍ

Transport v neporézních hustých membránách je většinou popisován jako difuze v kapalně nebo zbobtnalé fázi membrány, kde hnací silou je gradient chemického potenciálu. Transportní vlastnosti jsou však často určovány tepelným zpracováním a dalšími vlivy v průběhu přípravy.

Porézní membrány se odlišují od neporézních vytvořením vzájemně propojených volných objemů, které pak vytvoří transportní cesty separačního procesu. V závislosti na jejich velikosti, event. na interakcích v transportních koridorech membrány probíhá transport jako kombinovaný difuzní proces. Porézní membrány jsou buď symetrické, nebo asymetrické podle toho, zda porézní struktura je jednotná v celém průřezu membrány, nebo zda se velikost pórů mění.

Význam transportních jevů v porézních látkách vyplývá z množství technických aplikací, při kterých tyto jevy hrají rozhodující úlohu. Jde především o separační membránové procesy a dále o katalytické a elektrochemické procesy. Difuze v porézním prostředí závisí na vlastnostech porézního materiálu – velikosti a tvaru pórů, chemickém složení pevné fáze atd.



3. HETEROGENNÍ KATALÝZA – ÚVOD DO STUDIA KATALÝZY (PREZENTACE)

Počet stran: 42

3.1 SEZNÁMENÍ S KATALÝZOU

3.2 PŘÍKLADY KATALÝZY Z PRAXE

3.3 TEORIE A POJMY V KATALÝZE

3.4 SPECIÁLNÍ TÉMATA V KATALÝZE

3.5 PRAXE KATALÝZY. KATALYTICKÝ EXPERIMENT

3.6 TECHNIKY PRO STUDIUM KATALÝZY

3.7 ZÁVĚRY



PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Pracovní list k úloze Katalýza

Příloha č. 2: Řešení pracovního listu k úloze Katalýza



PŘÍLOHA Č. 1 PRACOVNÍ LIST

Zopakuj si vědomosti získané v přednáškovém modulu věnovaném katalýze.

Jméno žáka (doplň): _____

1) Uveďte svými slovy, o co jde při procesu zvaném *katalýza*:

2) Pánové Fritz Haber a Carl Bosch stojí za Haber-Boschovým způsobem syntézy které strategické sloučeniny?

Doplň název sloučeniny:

Napiš rovnici přípravy:+.....→.....

V jakém historickém období sehrála svou roli:

..... (nápověda – významná válka)



Fritz Haber
1868 - 1934



Carl Bosch
1874 - 1940
Nobel Prize 1931

3) Jak se katalýza dělí?

(doplň písmena na místo pomlček)

I. Podle fáze: na h - - - - - a h - - - - -

II. Podle typu katalyzátorů:

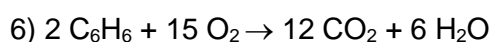
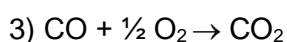
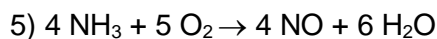
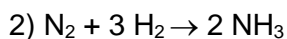
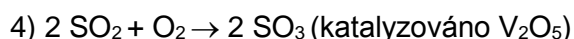
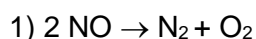
- a) katalýza na k - - - - -
- b) katalýza na o - - - - - , s - - - - -
- c) katalýza na a - - - - - katalyzátorech

III. Podle povahy katalyzátorů:

- a) katalýza na v - - - - -
- b) katalýza na p - - - - -
- c) katalýza na i - - - - -



4) Které z těchto reakcí probíhají v automobilových katalyzátorech (zakroužkuj, pozor, je jich více):



5) Existují i negativní katalyzátory, které se také nazývají: (zakroužkuj jednu správnou variantu):

a) stereokatalyzátory

b) inhibitory

c) enzymy

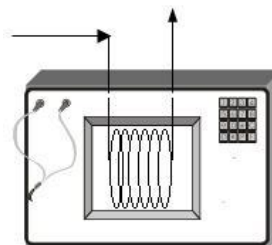
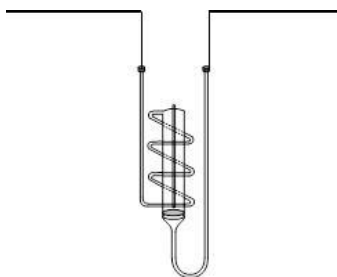
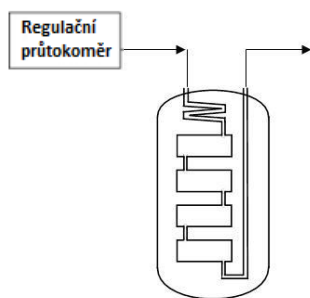
6) Níže uvedená katalytická aparatura obsahuje tři části. Přiřaď k nim správné názvy (vepiš pod obrázek):

15

analytická část

část pro přípravu reakční směsi

vlastní reaktor



.....

.....

.....

7) Katalyzátor, který má schopnost katalyzovat jen určitou reakci, se nazývá: (zakroužkuj správnou variantu):

a) aktivní

b) selektivní

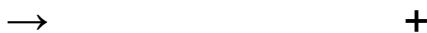
c) proaktivní



8) Etanol se při zahřívání rozkládá na acetaldehyd či ethylen:

Použijeme-li jako katalyzátor měď, vzniká jeho rozkladem vodík a acetaldehyd.

Zapiš rovnici, použij strukturní vzorce a nad šipku vepiš katalyzátor, pod šipku symbol pro teplotu:



Použijeme-li jako katalyzátor oxid hlinitý, vzniká jeho rozkladem ethylen a voda.

Zapiš rovnici, použij strukturní vzorce a nad šipku vepiš katalyzátor, pod šipku symbol pro teplotu:



9) Tuhými katalyzátory jsou například:

K názvům prvků či sloučenin napiš značky či vzorce:

16

platina –
oxid hlinitý –

měď –
oxid zirkoničitý –

oxid hořečnatý –
nikl –

10) V analytické části katalýzy se využívá řada metod.

Spoj názvy se správnými zkratkami:

Hmotnostní spektrometrie

FTIR

Plynová chromatografie

EPR

Elektronová paramagnetická resonance

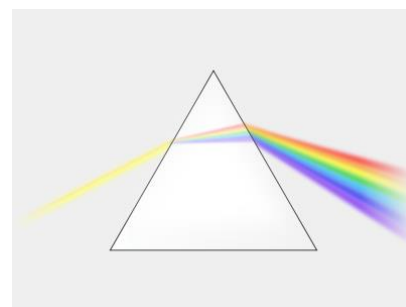
AFM

Spektroskopie v infračervené oblasti

GC

Mikroskopie atomárních sil

MS



PŘÍLOHA Č. 2 ŘEŠENÍ A BODOVÁNÍ PRACOVNÍHO LISTU

MAXIMÁLNĚ ŽÁK ZÍSKÁ: **39** BODŮ

Řešení
shodnoemím

Název materiálu: **Pracovní list k úloze Katalýza**

Zopakuj si vědomosti získané v modulu přednášky a exkurse věnovaném katalýze.

Jméno studenta (doplň):

1) Uveďte svými slovy, o co jde při procesu zvaném katalýza:

*Podpora zhotovitel, zde ji odpovídá správně - (2b)
či nikoliv - 0b.*

2) Pánové Fritéz Haber a Carl Bosch stojí za H.-B. způsobem syntézy které strategické sloučeniny?

Doplň název sloučeniny: *Amoniak (čpavek) 1b*

Napiš rovnici přípravy: *3H₂ + N₂ → 2NH₃ 1b*

V jakém historickém období sehrála svou roli:

1. světová válka (nápoje - významná válka) 1b

maximálně (3b)



Fritz Haber
1868 - 1934



Carl Bosch
1874 - 1940
Nobel Prize 1931

3) Jak se katalýza dělí?

(doplň písmena na místo pomlček)

I. Podle fáze: na h *homogenní* a h *heterogenní* *max. (2b)*

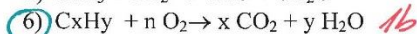
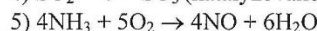
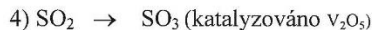
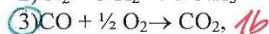
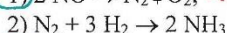
II. Podle typu katalyzátoru:

a) katalýza na k *kerach 1b*
b) katalýza na o *oxidech 1b*, s *sulfidech 1b*
c) katalýza na a *acidobazických 1b* katalyzátorech. *max. (4b)*

III. Podle povahy katalyzátoru:

a) katalýza na v *vodících 1b*
b) katalýza na p *polovodičích 1b*
c) katalýza na i *izokyanattech 1b* *max. (3b)*

4) Které z těchto reakcí probíhají v automobilových katalyzátorech (zakroužkuj, pozor je jich více):



5) Existují i negativní katalyzátory, které se také nazývají: (zakroužkuj jednu správnou variantu):

a) stereokatalyzátory

☒ b) inhibitory *1b*

c) enzymy

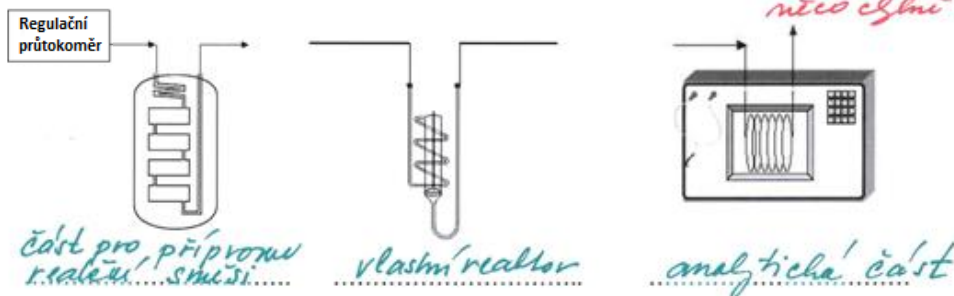
*správně - (1b)
chybně - 0b.*

18b

6) Níže uvedená katalytická aparatura obsahuje tři části. Přiřaď k nim správné názvy

(vepiš pod obrázek):

analytická část část pro přípravu reakční směsi vlastní reaktor



7) Katalyzátor, který má schopnost katalyzovat jen určitou reakci, se nazývá:

(zakroužkuj správnou variantu):

a) aktivní

☒ b) selektivní 1b

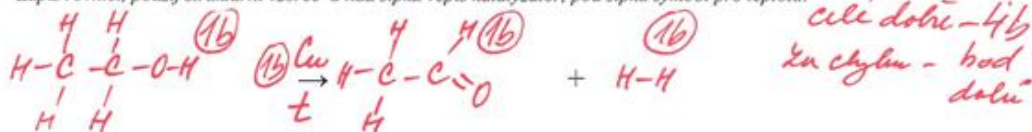
c) proaktivní

dobře - 1b
chybně - 0b

8) Etanol se při zahřívání rozkládá na acetaldehyd či ethylen:

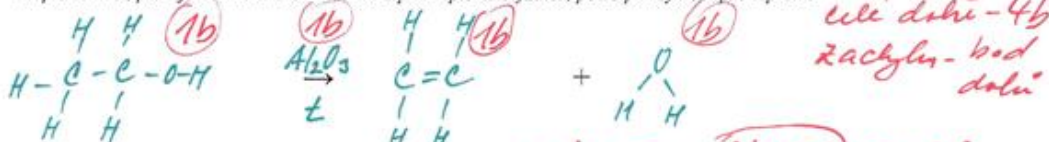
Použijeme li jako katalyzátor měď, vzniká jeho rozkladem vodík a acetaldehyd.

Zapiš rovnici, použij strukturní vzorce a nad šipku vepiš katalyzátor, pod šipku symbol pro teplotu:



Použijeme li jako katalyzátor oxid hlinitý, vzniká jeho rozkladem ethylen a voda.

Zapiš rovnici, použij strukturní vzorce a nad šipku vepiš katalyzátor, pod šipku symbol pro teplotu:



9) Tuhými katalyzátory jsou například:

K názvům prvků či sloučenin napiš značky či vzorce:

platina - Pt

oxid hlinitý - Al_2O_3

měď - Cu

oxid zirkoničitý - ZrO_2

oxid hořečnatý - MgO

nikl - Ni

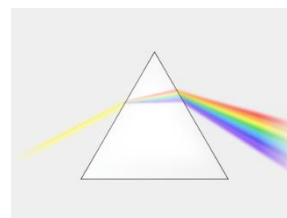
celé dobře - 6 bodů
za chýln - bod dolů

10) V analytické části katalýzy se využívá řada metod.

Spoj názvy se správnými zkratkami:

MS	Hmotnostní spektrometrie	FTIR
GC	Plynová chromatografie	EPR
EPR	Elektronová paramagnetická resonance	AFM
FTIR	Spektroskopie v infračervené oblasti	GC
AFM	Mikroskopie atomárních sil	MS

němý se (5) bodů. za chýln - bod dolů.



21b

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BET	Brunauer-Emmett-Teller Theory (Brunauer–Emmett–Teller teorie)
EPR	Electron Paramagnetic Resonance (Elektronová paramagnetická rezonance)
EXAFS	Extended X-ray Absorption Fine Structure
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Spektroskopie v infračervené oblasti s Fourierovou transformací)
GC	Gas Chromatography (Plynová chromatografie)
MS	Mass Spectrometry (Hmotnostní spektrometrie)
MTBE	Methyl-t-butyl ether (Butylmethylether)
NMR	Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (Spektroskopie nukleární magnetické rezonance)
SEM	Scanning Electron Microscopy (Rastrovací elektronová mikroskopie)
TPD	Temperature-Programmed Desorption (Teplotně programovaná desorpce)
TPR	Temperature-Programmed Reduction (Teplotně programovaná redukce)
UV-Vis	Ultraviolet–Visible Spectroscopy (Ultrafialovo-viditelná spektroskopie)
XANES	X-ray Absorption Near Edge Structure
XRD	X-ray Diffraction (Rentgenová difrakční analýza)



ZDROJE A DOPORUČENÁ LITERATURA

- [1] KRAUS, Miloš. *Katalyzátory kolem nás*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1982.
- [2] GERMAIN, Jean Eugène. *Heterogenní katalýza*. Praha: SNTL, 1962.
- [3] MUCHLENOV, I. P. *Technologie Katalyzátorů*. Praha: SNTL, 1985.
- [4] BENREIS – W.E.T. GMBH. Waldsassen Ultrafiltration [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné pod licencí Creative Commons – Attribution na:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Waldsassen_Ultrafiltration.JPG#/media/File:Waldsassen_Ultrafiltration.JPG
- [5] Zeolite-ZSM-5-3D-vdW [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné pod licencí Volné dílo na:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Zeolit#/media/File:Zeolite-ZSM-5-3D-vdW.png>
- [6] HRABÁNEK, Pavel a Bohumil BERNAUER. *Synthesis and characterization of silicate-1 composite membranes: Souhrn a popis neolitické kompozitní membrány*. Praha, 2005. Disertace. VŠCHT Praha.

Přílohy:

THE NOBEL FOUNDATION. Fritz Haber [online]. [cit. 2015-03-30]. Dostupné pod licencí Volné dílo na: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fritz_Haber.png

THE NOBEL FOUNDATION. Carl Bosch [online]. [cit. 2015-03-30]. Dostupné pod licencí Volné dílo na:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carl_Bosch.jpg#/media/File:Carl_Bosch.jpg

SUIDROOT. Prism-rainbow [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné pod licencí Creative Commons – Attribution-Share Alike 4.0 International na:
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prism-rainbow.svg?uselang=cs>

