

**MASARYKOVA UNIVERZITA**

**PEDAGOGICKÁ FAKULTA**

Katedra fyziky, chemie a odborného vzdělávání

## **Základy chemických výrob**

*Bakalářská práce*

Brno 2016

**Vedoucí práce:**

doc. Mgr. Hana Cídllová, Dr.

**Autor práce:**

Jan Lebloch

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, s využitím pouze citovaných pramenů, dalších informací a zdrojů v souladu s Disciplinárním řádem pro studenty Pedagogické fakulty Masarykovy univerzity a se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Brně dne 27. 11. 2016

.....

Jan Lebloch

## **Poděkování**

*Rád bych poděkoval doc. Mgr. Haně Cidlové, Dr. za vstřícný přístup, cenné rady a připomínky při vedení mé bakalářské práce.*

## Obsah:

ÚVOD.....	6
POSTUP PRÁCE .....	7
1 Zemní plyn, ropa, uhlí.....	8
1.1 Zemní plyn .....	8
1.2 Ropa.....	9
1.3 Uhlí.....	16
2 Sacharóza .....	24
2.1 Výskyt.....	24
2.2 Výroba .....	24
2.3 Použití.....	25
3 Škrob .....	26
3.1 Bramborový škrob.....	26
3.2 Pšeničný škrob .....	27
3.3 Kukuřičný škrob.....	28
3.4 Jiné zdroje škrobů.....	29
4 Výroba alkoholů .....	31
4.1 Výroba methanolu .....	31
4.2 Výroba ethanolu .....	31
5 Kyslík.....	33
5.1 Výskyt.....	33
5.2 Výroba .....	33
5.3 Použití.....	35
6 Dusík.....	36
6.1 Výskyt.....	36
6.2 Výroba .....	36
6.3 Použití.....	36
7 Amoniak.....	38
7.1 Výskyt.....	38
7.2 Výroba .....	38
7.3 Použití.....	40

8	Měď, stříbro a zlato .....	41
8.1	Výskyt.....	41
8.2	Výroba .....	42
8.3	Použití.....	43
9	Hliník .....	44
9.1	Výskyt.....	44
9.2	Výroba .....	44
9.3	Použití.....	45
10.	Gallium, indium, thallium .....	46
10.1	Výskyt.....	46
10.2	Výroba .....	46
10.3	Použití.....	46
11.	Vápenec a vápno.....	48
11.1	Výskyt.....	48
11.2	Výroba .....	48
11.3	Použití.....	49
	DISKUSE.....	52
	ZÁVĚR.....	53
	RESUMÉ .....	54
	Klíčová slova.....	54
	SUMMARY .....	55
	POUŽITÉ ZDROJE.....	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	61
	SEZNAM TABULEK .....	61
	BIBLIOGRAFICKÝ ZÁZNAM.....	62

# ÚVOD

Předmět *Základy chemických výrob* je povinný předmět v oboru Učitelství chemie pro základní školy, který je součástí navazujícího magisterského programu Učitelství pro základní školy na Pedagogické fakultě Masarykovy univerzity.

Pro tento předmět doposud neexistuje mnoho materiálů, které by svým obsahem a rozsahem odpovídaly potřebám jeho výuky. Jako studijní materiál pro anorganické výroby se prozatím využívá dvoudílná učebnice od Greenwood – Earnshaw [1]. Avšak tato učebnice je dostupná pouze v omezeném počtu výtisků a je poměrně velmi rozsáhlá (1 635 stran). Najdeme v ní tedy mnoho pasáží s informacemi, které nejsou tolik potřebné ke studiu tohoto předmětu.

Proto by bylo vhodné vytvořit z různých informačních zdrojů jeden stručnější souhrnný studijní materiál. Tento studijní materiál by obsahoval především ty nejdůležitější poznatky o chemických látkách z anorganické i organické chemie, které se probírají ve výuce předmětu.

Cílem této bakalářské práce tedy bylo vytvořit alespoň část tohoto studijního materiálu. Práce měla být, na doporučení vedoucí práce, přednostně zaměřená na výroby látek z organické chemie, jelikož z této oblasti nebyl doposud vytvořený žádný kompletně přehledný materiál. Případně mohla být práce doplněna o popisy výrob vybraných anorganických látek.

## POSTUP PRÁCE

V první části bakalářské práce autor vytvořil jednotlivé kapitoly o chemických látkách z organické chemie, konkrétně se jedná o zpracování uhlí, zemního plynu a uhlí, výrobu alkoholů (methanolu, ethanolu), výrobu sacharózy a výrobu škrobu. V druhé části se autor zaměřil na výroby vybraných anorganických látek.

K vytváření studijního materiálu pro předmět *Základy chemických výrob* dodala vedoucí práce autorovi určité podklady, což byly především vybrané pasáže z učebnic *Technologie pro 3. ročník středních průmyslových škol chemických* od autorů Vaněčka, Markalouse, Němečka a Hegnera [2], *Technologie III a IV: pro 3. a 4. ročník středních odborných učilišť* od autorů Rahma, Šimurdové a Jandy [3], a také rukou psané přípravy na výuku od vyučující předmětu. Tyto podklady pomohly k vytvoření kapitol z organické chemie. Hlavní materiál, ze kterého autor čerpal při charakteristice anorganických látek, byla učebnice *Chemie prvků* od Greenwood–Earnshaw [1]. Autor také práci doplnil textem z dalších literárních či internetových zdrojů a obohatil ji přidáním tabulek a obrázků.

# 1 Zemní plyn, ropa, uhlí

(Není-li uvedeno jinak, je kapitola zpracována dle [2].)

Využívají se jako zdroje energie a zdroje látek pro organickou chemii. Paliva obvykle dělíme podle skupenství na tuhá, kapalná a plynná. Zvláštní skupinu představují paliva jaderná.

**Tuhá paliva:** uhlí (černé, hnědé), rašelina.

**Kapalná paliva:** získávají se z ropy (benzín, nafta), uhelných dehtů nebo zkapalněním uhlí.

**Plynná paliva:** zemní, koksárenský, karbonizační plyn.

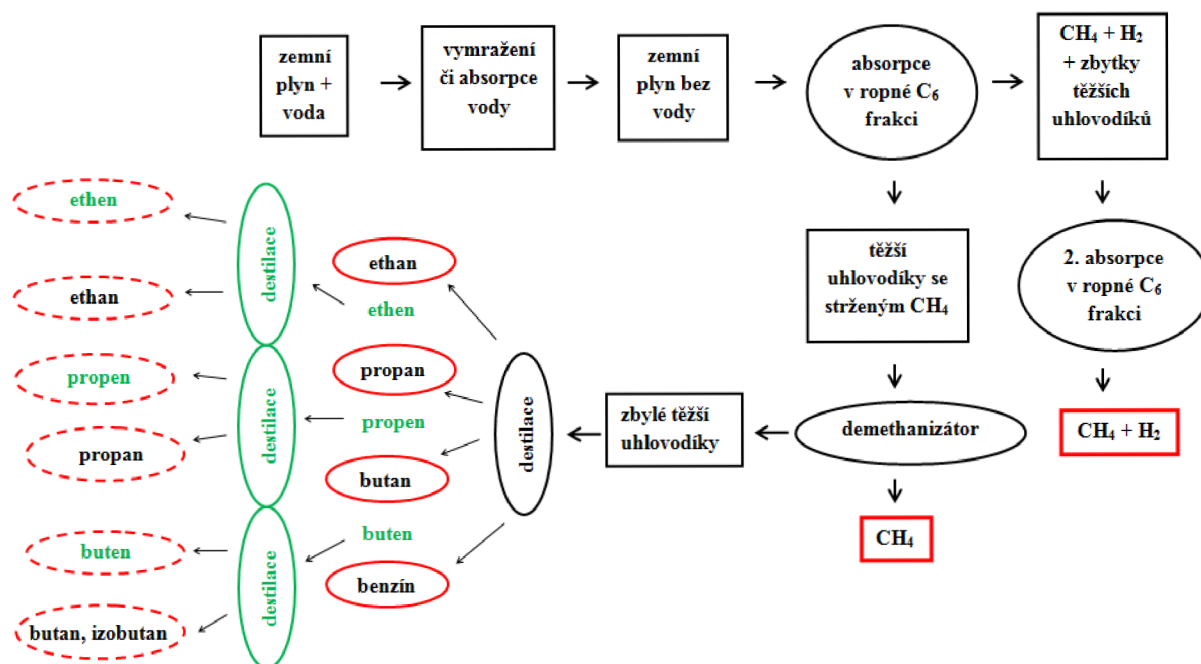
## 1.1 Zemní plyn

**Výskyt:** v nadloží ropných ložisek nebo smíšeně spolu s ropou.

**Složení:** hlavně methan. Dále vodík, ethan, propan, *n*-butan, isobutan, sulfan, malé množství těžších uhlovodíků, voda.

Více viz obrázek 3  $\Delta$

Plyny z rafinací



Obrázek 1: Schéma separace základních složek ze zemního plynu (upraveno dle [2]).



## 1.2 Ropa

### Vznik ropy

2 teorie vzniku:

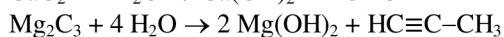
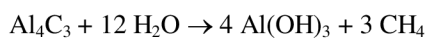
- a) z odumřelých mikroorganismů anaerobním působením na dně moře přes meziprodukt sapropel<sup>\*</sup>,
- b) anorganická teorie<sup>†</sup>.

Vznik hydrolyzou methanidů (např.  $\text{Be}_2\text{C}$ ,  $\text{Al}_4\text{C}_3$ ) a acetylidů (např.  $\text{CaC}_2$ ). Ve prospěch této teorie svědčí kromě laboratorních experimentů také neustálý únik methanu ze zemského nitra v některých oblastech [4]. Moderní výzkum dokázal přítomnost uhlovodíků v oceánských hřbetech, kde se rodí nová oceánská kůra. Tyto uhlovodíky prokazatelně nejsou z organického zdroje. Nalezená množství jsou sice velmi malá, přesto dokazují, že část uhlovodíků na Zemi pochází z anorganického zdroje [5].

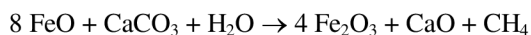
---

\* Sapropel je organické bahno, které vzniká rozkladem odumřelých vodních organismů v anaerobních podmínkách [6].

† První hypotézy o anorganickém původu ropy byly formulovány v 19. století, tedy v době, kdy o chemickém složení ropy existovaly jen minimální informace (seriózní práce o povaze sloučenin obsažených v ropě se v odborné literatuře začaly objevovat až po roce 1920). Hlavní oporou abiogenních hypotéz byly nezávislé práce Marcellina Berthelota a Dimitrije Mendělejeva, kteří laboratorními experimenty prokázali, že jednoduché uhlovodíky vznikají účinkem vody na karbidy některých kovů, např.:



V zahraničí nevzbudila teorie dlouhou dobu valnou odezvu (snad proto, že téměř všechny práce byly publikovány v ruštině). V současné době je ve světě již více prezentována. Podle abiotické teorie všechny ropné uhlovodíky jsou generovány v řádově stokilometrové hloubce zemské kůry chemickými reakcemi z uhličitanů působením oxidů železa, např. podle rovnice:



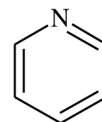
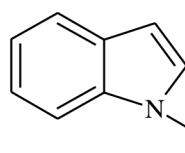
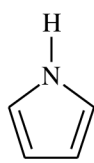
Skupina badatelů z Ruské akademie věd publikovala experimentální důkaz, že redukcí uhličitanu vápenatého podle uvedené rovnice při teplotě 1 500 °C a tlaku 5 GPa vzniká nejen methan, ale i řada vyšších alkanů a isoalkanů do  $\text{C}_{10}$  a několik alkenů. Podle abiotické teorie uhlovodíky takto generované jsou geostatickým tlakem a rotací zemské kůry vytěšňovány k povrchu a tam nepřetržitě doplňují podzemní ložiska ropy. Nové výsledky ověřující vznik anorganického methanu z uhličitanu vápenatého publikovali v roce 2004 a 2009 dvě skupiny badatelů z Carnegie Institution of Washington. Jejich práce vznik methanu podle uvedené rovnice potvrdily [5].

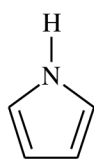
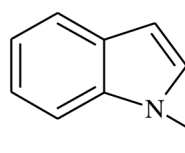
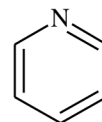
## ***Složení ropy***

Seriózní práce o povaze sloučenin obsažených v ropě se v odborné literatuře začaly objevovat až po roce 1920.

### **Typy složek ropy [5]:**

- uhlovodíky: alkany, cykloalkany, aromáty,
- sirné sloučeniny: sulfidy R–S–R, disulfidy R–S–S–R, thioly R–SH,
- kyslíkaté sloučeniny: alkoholy R–OH, fenoly Ar–OH, ethery R–O–R, mastné kyseliny,



- dusíkaté sloučeniny: pyrol , indol , pyridin ,
- anorganické příměsi: NaCl, voda, jíly, písky.

### **Typy ropy podle převládajících složek:**

- parafinické: velký obsah necyklických sloučenin, hodně parafinového oleje a vosku,
- asfalténické: velký obsah asfaltu a těžkých olejů,
- aromatické: velký obsah nízkomolekulárních cyklických látek a naftalenů, málo asfaltů a alkanů.

### **Prvkové složení ropy:**

83-89 % C

11-15 % H

0,1-6 % S

0,1-1,5 % N

0,3-1,2 % O

Pozn. Toto složení platí všude bez ohledu na typ ložiska.

### ***Těžba ropy (dle [7], [8].)***

Většina ropných ložisek nacházejících se v přístupných oblastech již byla pravděpodobně objevena. Proto se provádí průzkum i v nepřístupných místech a ve větších

hloubkách pod mořskou hladinou. Na pevnině se přítomnost ropného ložiska určuje podle např. úniku plynu, horké a slané vody, přítomnosti síry, některých bakterií, rostlin apod.

V minulosti existovaly lokality, kde ropa přirozeně **vyvěrala na zemský povrch**. Nyní se většina ropy získává pomocí **vrtů**. Ropa se nachází v pórech propustných hornin (většinou vápenec nebo pískovec). V propustné hornině se zadrží i voda a zemní plyn, které ropu obvykle doprovázejí. Při těžbě musí být ropa obsažená v pórech vytlačena. To se děje různými způsoby:

### 1) Primární způsob těžby

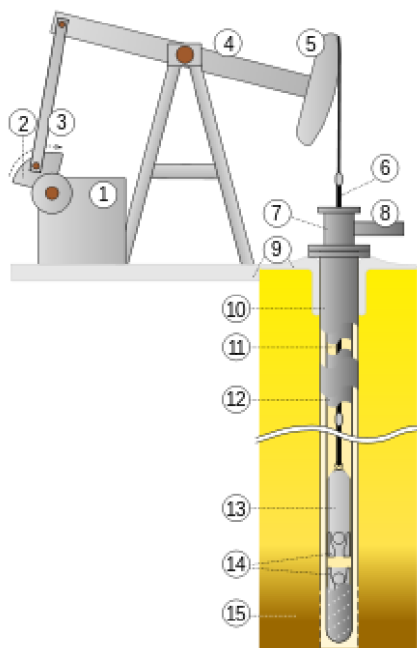
Při primárním způsobu těžby se využívá jen přirozená energie ložiska a jednoduché čerpací zařízení. Zemní plyn, který se pod tlakem nachází nad ropou, ji vytlačuje z vrtu ven. Tlak plynu postupně klesá, takže je třeba přejít k dalšímu způsobu.

### 2) Sekundární způsob těžby

Při sekundárním způsobu se vháněním vody nebo zemního plynu udržuje požadovaný tlak v ložisku.

### 3) Terciární způsob těžby

Principem terciárního způsobu těžby je snížení viskozity ropy injekcí horké vodní páry nebo zapálením ropného ložiska.



Obrázek 2: Schéma těžební věže s popisem [9].

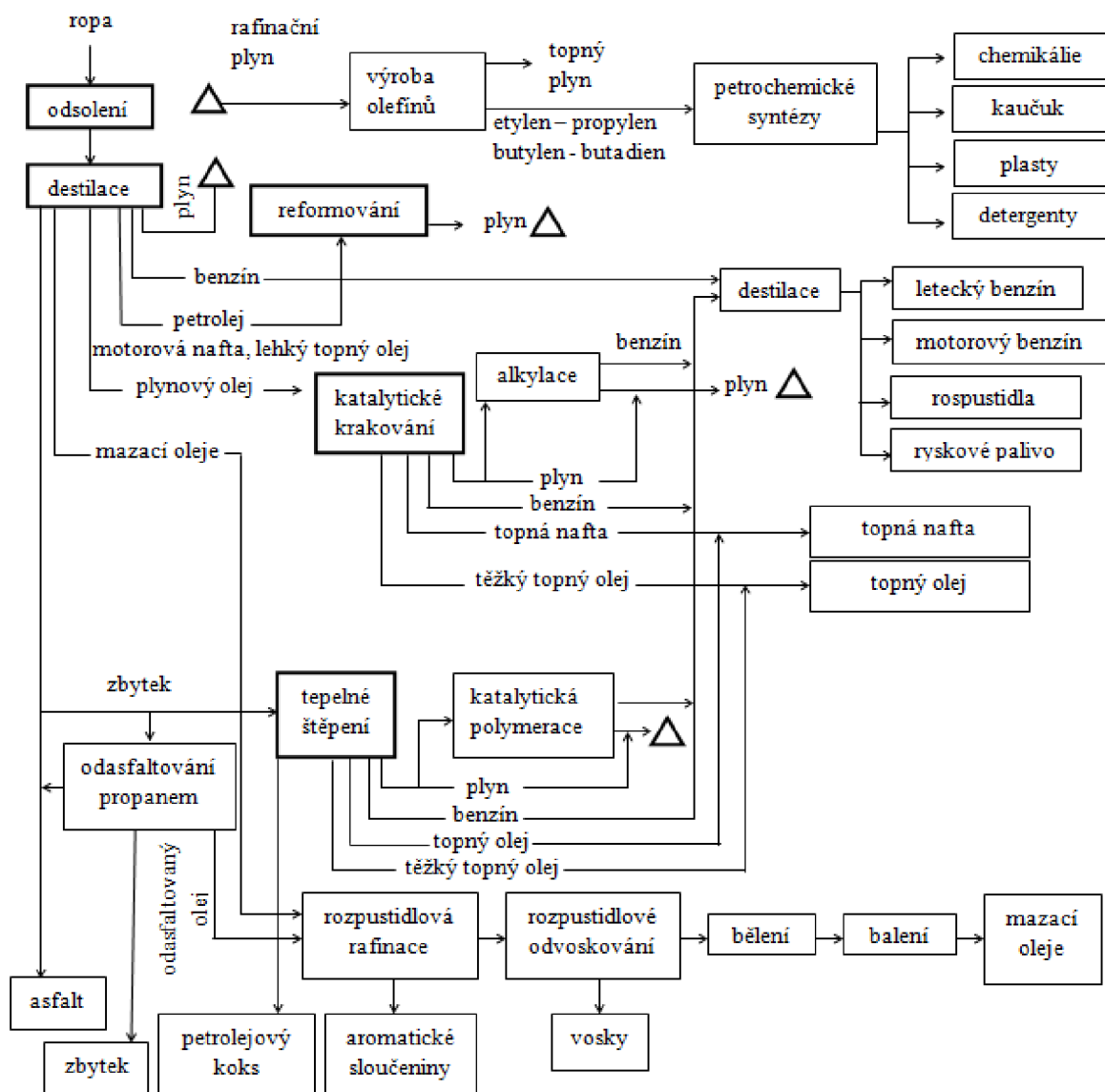
1. Motor,
2. protiváha – závaží,
3. ojnice,
4. hlavní rameno,
5. hlava,
6. lano,
7. ústí vrtu,
8. ropovod,
9. betonový základ,
10. vnější plášť,
11. tálhlice,
12. potrubí,
13. čerpadlo,
14. ventily,
15. ropné písky.

## Zpracování ropy

### Zpracování ropy = rafinace ropy (v rafinérii)

- 1) Odstranit anorganické nečistoty (písek, jííl, voda, NaCl),
- 2) Provést základní dělení destilací → často je nutný snížený tlak,
- 3) Následují doplňující procesy: krakování, reformování, rafinace.

Přehledné schéma rafinace je znázorněno na Obrázek 3.



Obrázek 3: Rafinace (upraveno dle [2]).

Následující tabulka udává rozdělení ropy do jednotlivých frakcí a jejich následné doplňující procesy, které napomáhají ke zvýšení jejich kvalit.

**Tabulka 1: Ropné frakce [2].**

Produkt	Rozmezí bodu varu frakce (°C)	
Lehký benzín (rafiniční plyn)	0-30	→ petrochemické syntézy
Benzín	30-190	→ destilace
Petrolej	95-230	→ reformování
Tryskový petrolej	85-230	
Motorová nafta	175-280	
Lehký topný olej	205-315	
Plynový olej	250-400	→ katalytické krakování
Těžký topný olej (mazut <sup>‡</sup> )	280-430	
Mazací oleje	315-540	→ dělení pomocí rozpouštědel
Vosky	nad 330	
Asfalty	nad 480	
Petrolejový koks	tuhý zbytek	

Stripovací<sup>§</sup> kolona = destilační kolona, zařazená za hlavní destilační kolonu.

Důvod: Žádná frakce z hlavní destilace není zcela čistá.

### Krakování

Ropa obsahuje maximálně 18 % benzínu. Protože benzínu je potřeba více, získává se další benzín tepelným štěpením (krakováním) těžkých frakcí ropy. Konkrétní složení směsi produktů krakování závisí na podmínkách (teplota, tlak). Pro výrobu benzínu je potřebný vysoký tlak a relativně nízká teplota.

Př. Plynový olej  $\xrightarrow{455-565\text{ °C, do }6,2\text{ MPa}}$  benzín

Ropný olej  $\xrightarrow{455-540\text{ °C, do }0,5\text{ MPa}}$  benzín

Krakováním lze získat z ropy až 65 % benzínu.

<sup>‡</sup> Mazut je destilační zbytek z frakční destilace ropy. Používá se jako palivo nebo se zpracovává vakuovou destilací na olejové destiláty a asfalt [10].

<sup>§</sup> Stripování je proces, kterým jsou z kapalin odháněny proudem procházejícího plynu těkavé látky [11].

Krakování dělíme na:

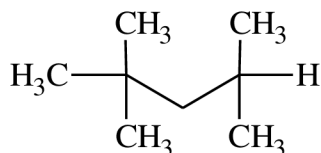
- tepelné: horší benzín
- katalytické (450-530 °C, 110-150 kPa): lepší benzín
  - katalyzátorem - hlinitokřemičitany sodné (= přírodní – zeolity)
  - katalyzátorem - hlinitokřemičitany s jiným kationtem (umělé)

**Koksování** = tepelné štěpení (krakování) nejtěžších ropných frakcí (těžký topný olej, asfalty).

Výrobek → plynový olej, benzín, petrolejový koks.

### Katalytické reformování

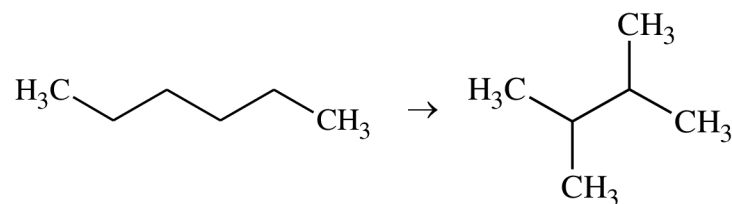
Podrobujeme se mu odsířená petrolejová frakce. Cílem je zvýšit oktanové číslo benzínu. Oktanové číslo je mezinárodně uznávaným měřítkem jakosti benzínu. Vyjadřuje míru odolnosti paliva ve spalovacím motoru proti samovznícení. Oktanové číslo paliva vyjadřuje procentuální obsah isooktanu (2,2,4-trimethylpentan) v jeho směsi s *n*-heptanem. Bylo stanoveno, že čistý *n*-heptan má oktanové číslo 0, čistý isooktan má určeno oktanové číslo 100. Například oktanové číslo 95 vyjadřuje, že tato pohonná hmota je stejně odolná proti samozápalu jako směs skládající se z 95 % isooktanu a 5 % *n*-heptanu. [10].

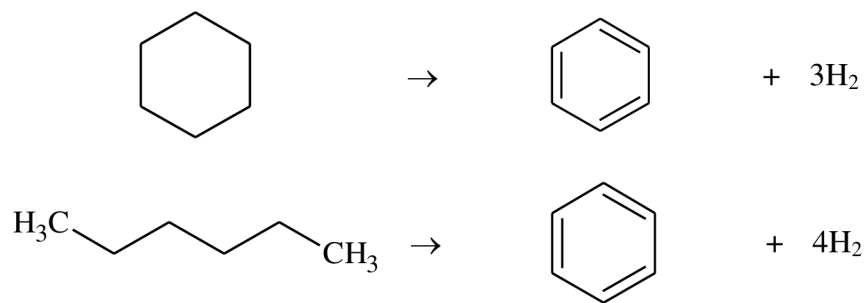


Obrázek 4: Strukturální vzorec isooktanu.

**Postup katalytického reformování:** přítomnost H<sub>2</sub>, zvýšená teplota, katalyzátor (sloučenina molybdenu nanosená na alumině – složení Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Nověji je katalyzátor tvořen Re a Pt na křemelině nebo jiném kyselém nosiči.

Příklady reakcí probíhající při reformování:

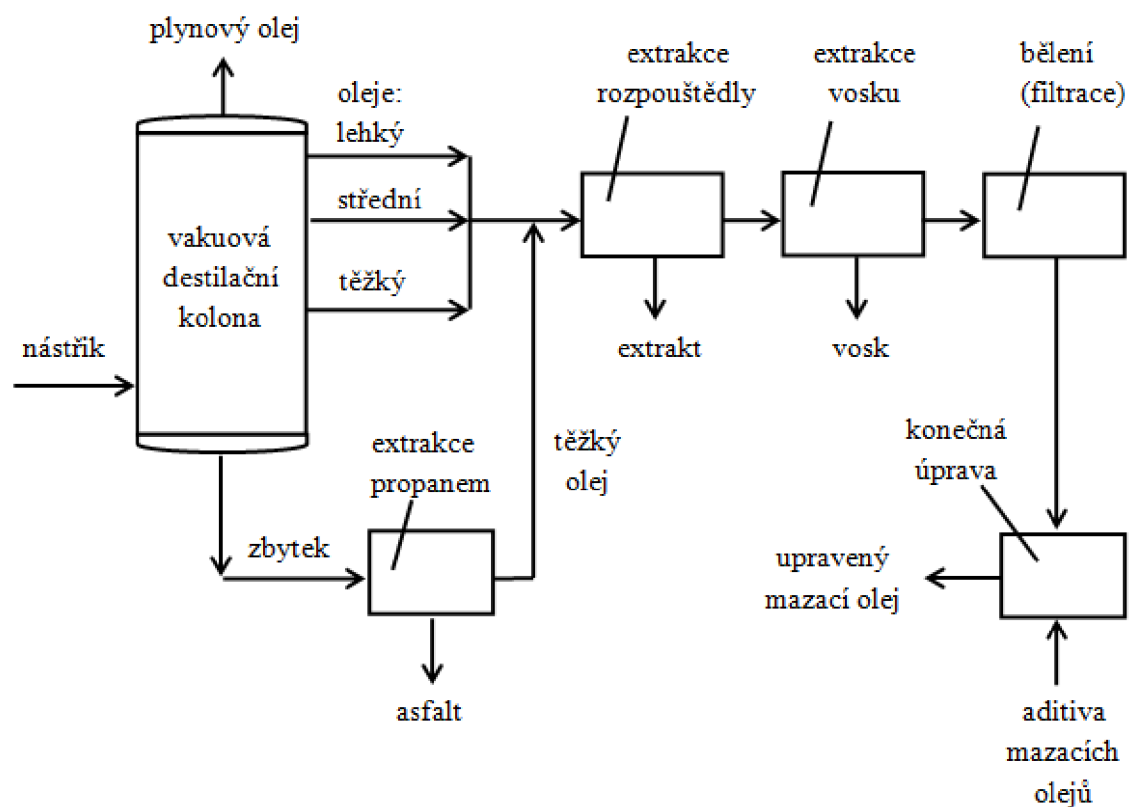




## Výroba mazacích olejů

Mazací oleje představují jen cca 2 % produktů zpracování ropy, ale jsou také důležité.

Výroba: destilací ropy za sníženého tlaku.



Obrázek 5: Přehled výroby mazacích olejů (upraveno dle [2]).

Různé mazací oleje mají různé požadované vlastnosti. Podle nich odlišujeme např. oleje automobilové, letecké, ložiskové, turbínové, kompresorové.

Požadavky na mazací oleje:

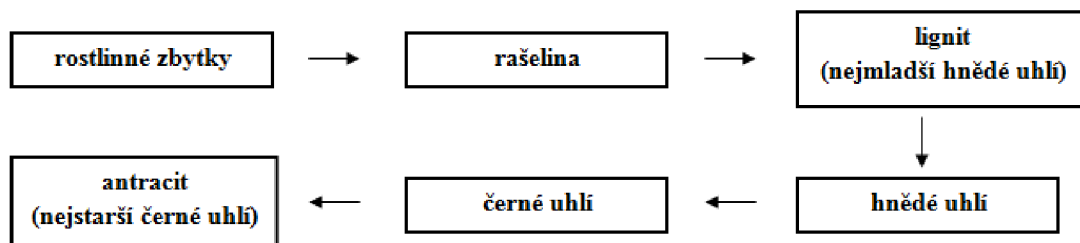
- stálost při vyšších teplotách
- dostatečná tekutost při nižších teplotách
- viskozita málo závislá na teplotě
- přilnavost

## 1.3 Uhlí

### Vznik uhlí

Uhlí se vytvářelo v průběhu desítek až stovek milionů let z rostlinných zbytků nacházejících se v bažinách. Tyto rostlinné zbytky se bez kyslíku ve vlhkém prostředí rozkládaly trouchnivěním, při kterém rostliny ztrácely svou strukturu [12]. Z tohoto biologického materiálu vznikla rašelina, která se postupně dostávala do větších hloubek. Kvůli zvyšujícím se tlakům a teplotám se vytěsnila voda a jiné látky, zatímco podíl uhlíku rostl. Následně došlo k přeměně této hmoty na hnědé uhlí a poté na černé uhlí [13].

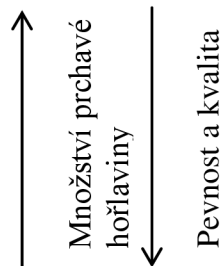
Kvalita uhlí závisí na jeho geologickém stáří. Čím je uhlí starší, tím více obsahuje uhlíku a méně ostatních prvků, je tedy kvalitnější. Nejstarší a nejkvalitnější je černé uhlí (antracit) s obsahem nad 90 % uhlíku, naopak nejmladší a nejméně prouhelněné uhlí je lignit s podílem uhlíku 30 až 50 % [14].



Obrázek 6: Schéma vzniku uhlí.

### Druhy uhlí

- hnědé
  - měkké (např. lignit),
  - tvrdé (např. smolné uhlí → hodně dehtu),
- černé
  - pálavé (nejmladší),
  - plynové,
  - žírné,
  - koksové (nejstarší); např. antracit.





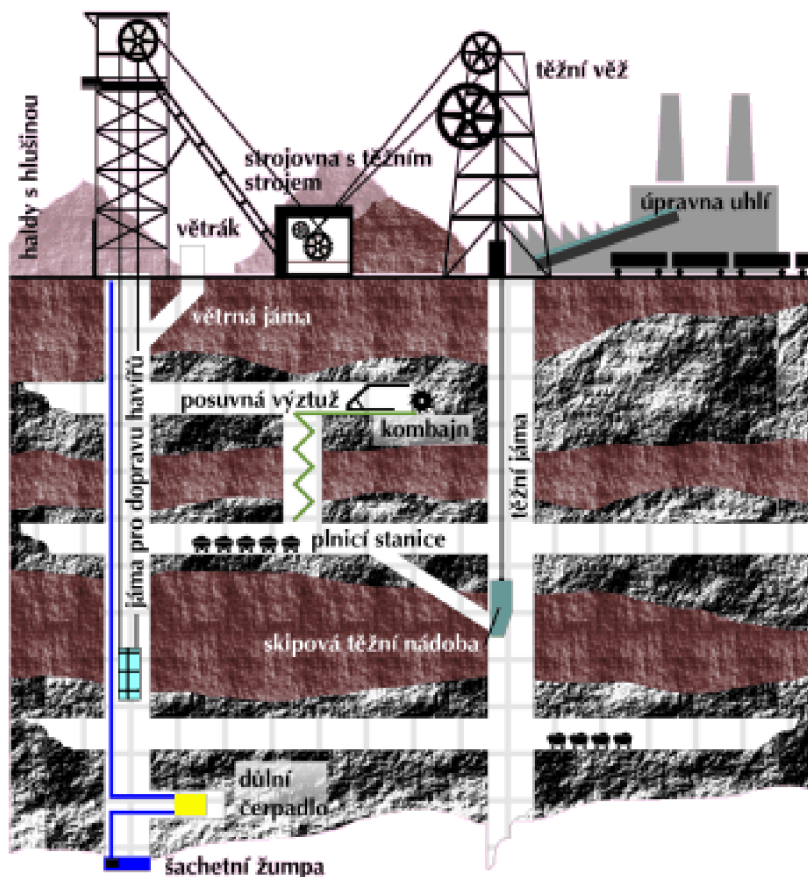
## Těžba uhlí

Uhlí je uloženo ve vrstvách, zvaných **sloje**. Výška vrstvy = „mocnost sloje“.

Rozlišujeme dva základní způsoby těžby uhlí: **hlubinná těžba uhlí** a **povrchová těžba uhlí**.

### Hlubinná těžba uhlí:

Základem pro hlubinnou těžbu uhlí je **šachta** (svislá jáma), která vede z povrchu až k uhelné sloji. Šachtou sjíždějí horníci do dolu a vytěžené uhlí se vyváží na povrch. Šachtou se do dolu dopravuje také potřebný materiál a energie. Od šachty se pak razí převážně vodorovné chodby, často v několika patrech nad sebou [15].



Obrázek 7: Hlubinná těžba uhlí [15].

### Povrchová těžba uhlí:

V místech, kde jsou uhelné sloje blízko povrchu (mohou to být i desítky metrů), je výhodnější těžit uhlí přímo z povrchu. Povrchová těžba je levnější a ekonomičtější [15].

## **Zpracování uhlí**

- výroba energie
- chemické zpracování = zušlechťování
- mimoenergetické využití uhlí

### **Zušlechťování uhlí:**

- 1) zplyňování uhlí
- 2) karbonizace uhlí
- 3) hydrogenace uhlí

#### **1) Zplyňování**

Zplyňování obecně je termochemická přeměna uhlíkatého materiálu v pevném či kapalném skupenství na výhřevný energetický plyn pomocí zplyňovacích médií a tepla. Produktem je plyn obsahující výhřevné složky (zejména  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ), doprovodné složky ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ) a znečišťující složky (dehet, prach, sloučeniny síry a další) [16].

Zplyňování uhlí se provádí reakcí rozžhaveného uhlí buď:

- a) se vzduchem či kyslíkem (hlavní produkty jsou  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , částečně též  $CH_4$ ),
- b) kromě vzduchu a kyslíku též s vodní párou – přibližně tytéž produkty, poněkud vyšší obsah  $CH_4$ .

#### **2) Karbonizace uhlí (dle [17].)**

Karbonizace uhlí je tepelné zpracování uhlí za nepřístupu vzduchu. Podle druhu suroviny a teploty vlastní karbonizační reakce ji rozdělujeme na **nízkotepeľnou karbonizaci** (zpracovává hnědé uhlí) a **vysokotepeľnou karbonizaci** (zpracovává černé uhlí).

- **Nízkotepeľná karbonizace (tzv. polokoksování)**

Proces nízkotepeľné karbonizace **hnědého uhlí** je znám již z 18. století, kdy se tímto způsobem získával olej, který se používal běžně na svícení. V průběhu času se čím dál více využívala ropa a tím význam karbonizace značně poklesl. Během 2. světové války sice došlo k obnovení v průmyslově vyspělé verzi, avšak po skončení války zpracování ropy opět převládlo. Dnes se sice nízkotepeľná karbonizace uhlí už prakticky nepoužívá, ale kvůli nepříznivému stavu zásob ropy a zemního plynu se zvažuje možnost využívání uhlí jako chemické suroviny.

Při nízkotepebné karbonizaci byly používány šachtové pece **Lurgi** s přímým ohřevem uhlí zajištěným vhaněním predehřátého plynu do vrstvy uhlí v peci, v praxi tam byla obvykle teplota asi **550 až 700 °C**. Výkon jedné pece dosahoval 300 až 500 tun uhlí za den.

Hlavními produkty byly:

- polokoks (používán jako palivo pro domácnost),
- karbonizační benzín (sloužil k výrobě motorových paliv a jako zdroj aromatických uhlovodíků),
- lehký dehet a střední dehet (zpracovávaly se destilací), těžký dehet (používán jako palivo).

#### • **Vysokotepebná karbonizace černého uhlí (tzv. koksování)**

Hlavním důvodem vysokotepebné karbonizace **černého uhlí** je výroba metalurgického **koksu**, který je určen pro výrobu surového železa. Koksování probíhá při teplotě **900 až 1100 °C** v koksovací peci, která je tvořena až z desítek vodorovných komor (délka 13 až 14m; šířka 0,4 až 0,5m; výška 4 až 4,8 m). Jedna komora pojme 10 až 25 tun uhlí a doba koksování je 18 až 25 hodin. Průběžně je odváděn vznikající koksárenský plyn. Po ukončení je žhavý koks výtlačným strojem vytlačen, ochlazen vodou a komora znova naplněna uhlím.

Hlavními produkty jsou:

- koks,
- čpavková voda,
- surový benzol,
- koksárenský plyn,
- tzv. přehřátý dehet (aromatické uhlovodíky, fenoly, pyridinové zásady, sirné sloučeniny).

#### **Zpracování karbonizačních plynů**

CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, nenasycené uhlovodíky, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, HC≡CH, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub><sup>\*\*</sup>, HCN, H<sub>2</sub>O

Navíc: - z nízkotepebné karbonizace další nasycené uhlovodíky,

- z vysokotepebné karbonizace pyridinové báze, benzen a jeho deriváty.

---

<sup>\*\*</sup> Zpracování čpavkové vody: směs H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> (5-33 g/l), CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HCN, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SCN<sup>-</sup>, amonné soli, NH<sub>4</sub>Cl, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>CN...

Důvody izolace NH<sub>3</sub>: Amoniak je cenný produkt např. pro výrobu (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (hnojivo). Pokud by amoniak zůstal v reaktoru, způsoboval by jeho korozi. Amoniak se izoluje pohlcením v H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> nebo v H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

### Výroba surového benzolu:

Koksárenský plyn se po odstranění  $\text{NH}_3$  se sprchuje vodou a ochladí na 20-25 °C. Naftalen utvoří suspenzi ve vodě. Poté se od vody oddělí rozpuštěním v oleji. Zbylý plyn se vypere v pračce (tzv. benzolová pračka) v oleji (tím se získá benzol). Olej obsahující benzol se pak rozdestiluje na: benzen, toluen, xylen a mesityleny. Zbylý plyn po benzolové pračce je tzv. **koksárenský plyn**. Ten je již konečným produktem.

Využívá se na:

- vytápění koksárenských pecí,
- vytápění domácností,
- průmysl (výroba  $\text{H}_2$ ).

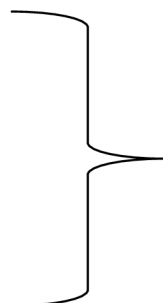
Složení koksárenského plynu:

1-3 %	$\text{CO}_2$
0,3-1 %	$\text{O}_2$
2-3 %	nižší alkany
1 %	$\text{C}_2\text{H}_6$
8-10 %	$\text{CO}$
20-25 %	$\text{CH}_4$
55-62 %	$\text{H}_2$
3-8 %	$\text{N}_2$
$\text{H}_2\text{S}$ , $\text{HCN}$ , $\text{NO}$ , $\text{HC}\equiv\text{CH}$ ...	

### **Zpracování karbonizačních dehtů**

→ destilací podobně jako ropa

- lehký olej
- karbolový olej
- naftalenový olej
- prací olej
- anthracenový olej
- smola



Frakce se dále dělí,  
zpracovávají.

### **Lehký olej**

Obsahuje: benzol, benzen, toluen, xylen.

Benzol je směs aromatických uhlovodíků (benzen, toluen, xyleny, mesityleny...), která je součástí leteckého paliva.

Benzen je organická sloučenina, která se používá jako rozpouštědlo a jako základní surovina pro výrobu řady chemikálií (léčiva, plasty, výbušniny, kosmetika aj.) [18].

Toluen patří mezi aromatické uhlovodíky a používá se k výrobě trhaviny TNT (trinitrotoluen), kyseliny benzoové nebo sacharinu.

Xylen se vyskytuje ve třech izomerech: *o*-xylen (1,2-dimethylbenzen), *m*-xylen (1,3-dimethylbenzen) a *p*-xylen (1,4-dimethylbenzen). Slouží jako rozpouštědlo [19].

### **Karbolový olej**

Obsahuje: naftalen, alkylnaftaleny, fenolické sloučeniny, aromatické dusíkaté báze [20].

Karbolový olej je surovina pro výrobu fenolu a jeho homologů. Fenolické produkty se používají pro výrobu léčiv, herbicidů a syntetických pryskyřic. Fenol se také používá při výrobě kosmetiky, opalovacích přípravků, barev na vlasy a přípravků pro bělení kůže [21].

### **Naftalenový olej**

Ochlazením se z něj získá 50-60 % naftalenu.

Z naftalenu lze vyrobit ftalanhydrid, který se používá při výrobě plastů nebo barviv.

### **Prací olej**

Obsahuje: naftalen, fenoly, pyridinové zásady, anthracen, fenanthren.

Používá se k impregnaci železničních pražců a sloupů elektrického vedení.

### **Anthracenový olej** (obsahuje řadu kancerogenů)

Slouží jako impregnační olej, vypírací olej (odstranění naftalenu z koksárenského plynu), těsnící olej pro plynojemy nebo se používá při výrobě syntetických sazí.

### **Smola**

Obsahuje: vysokomolekulární uhlovodíky, popel, kancerogeny, volný uhlík.

Používá se k asfaltování, výrobě briket a jako pojivo slévárenských pístů.

### 3) Hydrogenace uhlí a dehtu

Působením vysoké teploty, tlaku a za přítomnosti  $H_2$  se složky uhlí a dehtu štěpí na menší molekuly a hydrogenují se (objevil 1920 německý chemik Bergius). Využívalo se za 2. světové války v Německu k získávání pohonných hmot. Zatím je tento postup ekonomicky nevýhodný.

#### Výroba kapalných paliv a uhlovodíků z uhlí

Zásoby uhlí >> zásoby ropy a zemního plynu.

Pevná paliva → kapalná paliva:

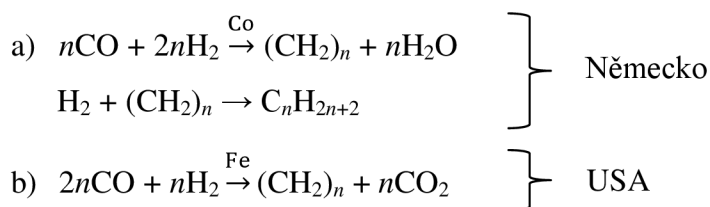
- zplyňování
  - karbonizace
  - hydrogenace uhlí a dehtů
  - syntéza uhlovodíků dle Fischer-Tropsche
- } viz dříve

#### *Fischer-Tropschova syntéza*

Vypracována byla v Německu po 1. světové válce. Postupem času byla velmi zdokonalena a dodnes se využívá. Touto metodou lze získat uhlovodíky, alkoholy, aldehydy.

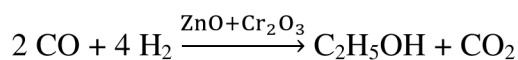
Základem Fischer-Tropschovy syntézy je exotermická katalytická hydrogenace CO. Katalyzátorem je Co nebo Fe. Fischer-Tropschova syntéza je dnes klíčovým článkem přeměny uhlikatých surovin (methan, ropné zbytky, uhlí, biomasa) na uhlovodíkové produkty. Syntéze předchází reformování nebo částečná oxidace uhlikatých surovin na syntézní plyn (směs CO a  $H_2$ ) [22].

Základní reakce Fischer-Tropschovy syntézy (záleží na katalyzátoru) pro získání **uhlovodíků**:



Vzniklé uhlovodíky mohou být rozděleny frakční destilací a rafinovány jako klasická ropa.

Syntéza alkoholů:



### **Mimoenergetické využití uhlí:**

- koks → chemické výroby (ocel, slitiny,  $\text{CaC}_2$  – acetylid vápenatý,  $\text{SiC}$  – karbid křemíku),
- aktivní uhlí,
- syntetické saze,
- kyanovodík,
- diamanty,
- tuha.

## 2 Sacharóza

### 2.1 Výskyt

V přírodě se sacharóza vyskytuje ve stoncích, listech a plodech mnoha rostlin [23].

### 2.2 Výroba

Průmyslově se sacharóza získává prakticky jen z cukrové řepy, obsahující 16-20 % cukru, a z cukrové třtiny, obsahující 14-22 % cukru. Při zpracování těchto surovin na cukr je nutno stále udržovat mírně alkalické prostředí, aby se zamezilo kyselé katalyzované inverzi sacharózy (rozklad sacharózy na směs glukózy a fruktózy) [3].

Technologie výroby cukru z cukrové řepy je dnes následující: řepa se zbaví nečistot praním ve vodě, nařeže se strojními řezačkami na řízky, které se dopraví do extraktoru. Zde se ze sladkých řízků s obsahem cukru 16-20 % protiproudem teplé vody extrahuje cukr společně s malým množstvím dalších látek [24].

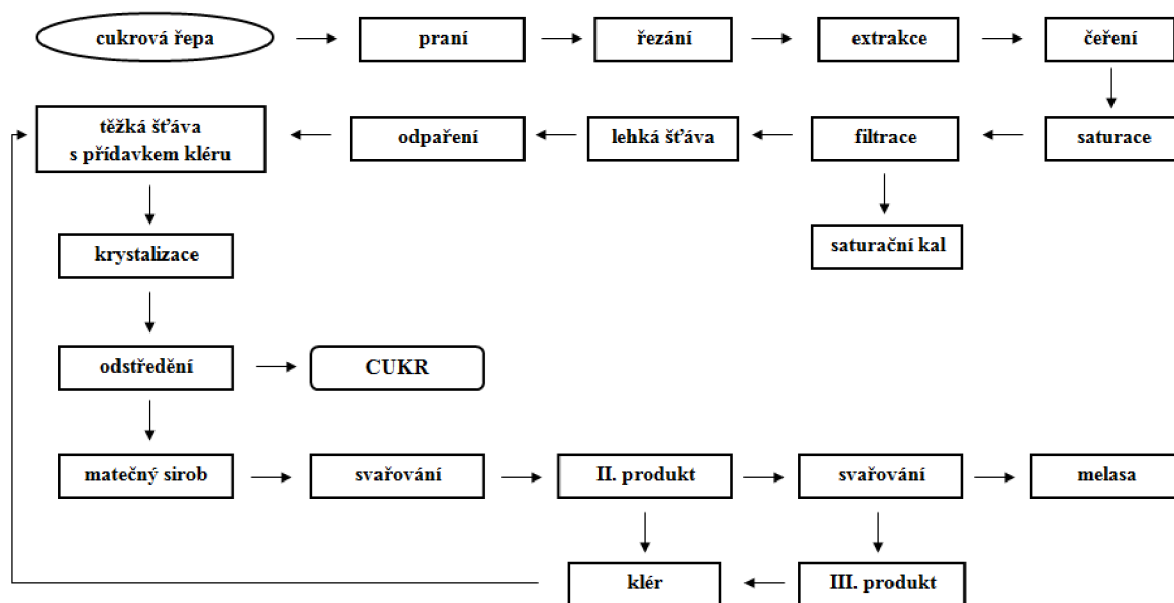
Čištění takto získané surové šťávy se provádí pomocí vápenného mléka (vodný roztok  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) a plynného  $\text{CO}_2$ . Tento proces probíhá za tepla v několika fázích:

- 1) Čerění (postupný přídavek vápenného mléka)
- 2) První nasycení (saturace) oxidem uhličitým. Srážející se  $\text{CaCO}_3$  s sebou strhne i část nečistot.
- 3) Sraženina se oddělí filtrací na kalolisech, eventuelně s předchozí sedimentací.
- 4) Zbylé necukry se odstraní obdobným druhou saturací a následnou filtrací.

Potřebné vápno a oxid uhličitý se připravují přímo v cukrovaru ve vápence. Po výše uvedeném vyčištění surové šťávy vzniká tzv. lehká šťáva (řidký cukerný roztok obsahující 12-15 % sušiny) a saturační kal, který se využívá jako hnojivo.

Lehká šťáva se odpařuje v tří až pětistupňové odpařovací stanici na těžkou šťávu (obsah sušiny 65-70 %). Těžká šťáva s přídavkem čistého cukerného roztoku (kléru) se dále odpařuje v zrnících za podtlaku až do přesycení a do vyloučení krystalů sacharózy. Vzniklá směs krystalů a matečného sirobu – cukrovina – se vypustí ze zrnice do mísidla, tj. do zásobníku před odstředivkami. Po odstředění se získá již bílý krystalový cukr a matečný sirob, který se svařuje podobným způsobem na II. produkt a obdobně dále i na III. produkt a melasu. Cukr z II. a III. produktu (surový cukr) není vhodný pro přímou spotřebu, proto se podrobuje rekrystalizaci. Rozpouští se na klér a podrobuje opětné krystalizaci společně s těžkou šťávou [24].





Obrázek 8: Schéma výroby cukru.

## 2.3 Použití

Výsledný produkt (**bílý krystalový cukr**) má užití především jako potravin, ale možnosti jeho užití jsou podstatně rozsáhlejší (lihovary, pivovary, nápojářský průmysl, chemie – např. výroba glycerinu, apod.). **Melasa** je další z finálních produktů. Má kolem 50 % cukru, ale takové množství necukrů bránících krystalizaci, že z ní není možné běžným postupem získat cukr. Využívá se buď jako krmivo pro dobytek nebo pro kvasné účely k získání lihu, eventuálně slouží jako cukerný roztok pro další biochemické výroby (např. citronové a mléčné kyseliny). **Řepné řízky** o velikosti cca 3 cm, se používají přímo jako krmivo, nebo lisované s přídavkem malého množství melasy, což jsou tzv. pelety, schopné dlouhodobého skladování. Mohou se také po vylisování (odstranění části vody) konzervovat mléčnou kyselinou nebo se sušit až na obsah 10 % vody a míchat se s melasou na krmnou směs [24].



Obrázek 9: Řepné řízky[25].

### 3 Škrob

Škrob je nejrozšířenější rezervní rostlinný sacharid. Je asimilačním produktem rostlinných buněk obsahujících chlorofyl a usazuje se v podobě malých bílých zrn v chloroplastech. Škrobová zrna tvoří dva druhy makromolekul: *amylopektin* a *amyloza*. Amylopektin je na rozdíl od amylosy ve vodě nerozpustný.

Zahříváním škrobu ve vodě vznikne **škrobový maz** = koloidní roztok amylosy, zahuštěný nabobtnalým amylopektinem.

Škrob se u nás získává hlavně z brambor a obilí. Rozmělněné suroviny se vypírají proudem studené vody a vzniklé škrobové mléko se propíráním, usazováním vodné suspenze, odstředováním a sušením zpracuje na škrob. Během toho dochází k odpadnutí u brambor tzv. zdrtky (užívané jako krmivo) a u pšenice bílkovinného lepku.

Škrob se používá k výrobě glukosy, pudinků, kvasného ethanolu nebo jako přísada do těstovin, pečiva a cukrářských výrobků [3].

V České republice se využívá převážně škrob bramborový, pšeničný nebo kukuřičný. Kromě obilí a brambor, můžeme škrob získat i z dalších surovin např. v teplejších oblastech z rýže, batátů nebo tapioky.

#### 3.1 Bramborový škrob

Průmyslové brambory se dodávají v jedné jakosti, měly by obsahovat alespoň 15 % škrobu. Zároveň by neměly obsahovat mokrou hnilobu, nejvýše 2 % hlíz může obsahovat suchou hnilobu a 10 % hlíz může být menšího průměru než 2,5 cm. Obsah škrobu v bramborách se pohybuje mezi 17-24 % [26].

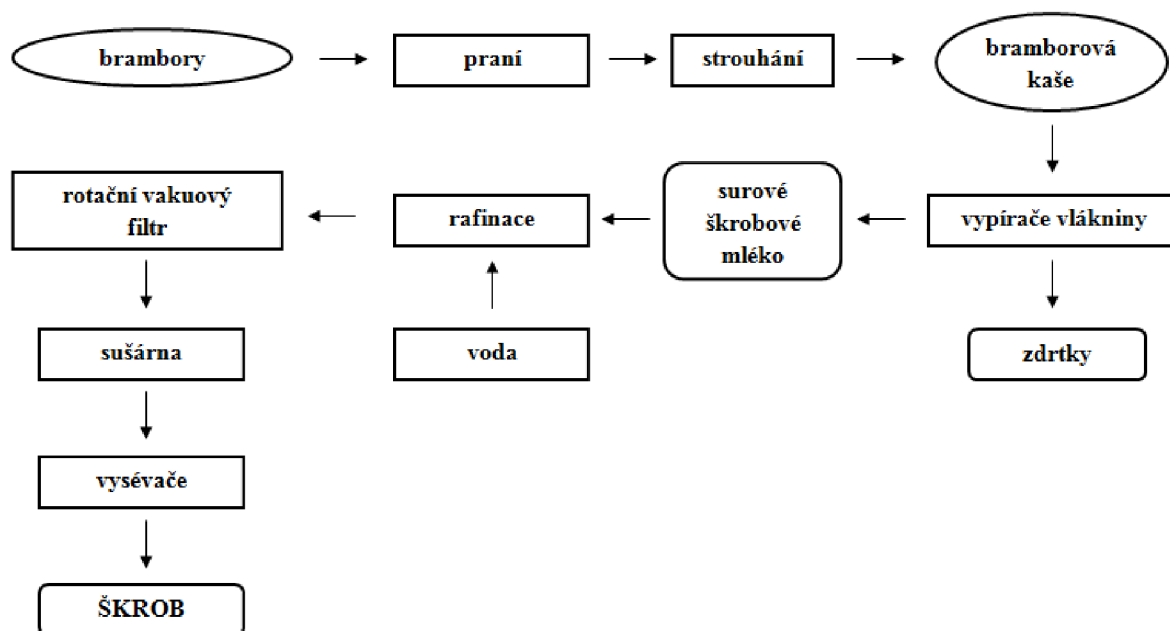
Výroba bramborového škrobu spočívá v izolaci škrobových zrn od ostatních látek obsažených v bramborové hlíze, pomocí mechanického způsobu tj. vypíráním škrobu z otevřených buněk a jeho dalším čištěním za použití značného množství vody [27].

Před zpracováním je nutné brambory nejprve zbavit veškerých nečistot, tj. hlíny ulpělé na hlízách, kamene, zbytků natě. Očištěné a vyprané brambory jsou rozstrouhány na jemnou bramborovou kaši, tím dojde k uvolnění škrobu z hlízy. Následně je kaše čerpána na vypírače vlákniny, které oddělí bramborovou vlákninu (tzv. zdrtky, sloužící jako krmivo). Surové škrobové mléko je dále čerpáno do bloku hydrocyklonů<sup>††</sup>, které zajistí oddělení

---

<sup>††</sup> Hydrocyklony fungují na principu centrifugy. Separují z vody částice především anorganického původu o velikosti od 20 μm. Separované částice sedimentují do sběrné nádrže u dna hydrocyklonu a periodicky se odstraňují [28].

většiny této hlízové šťávy. Zbytek vody je oddělen na pásových vakuových filtrech. Surové škrobové mléko je dále rafinováno. Pitná voda potřebná pro rafinaci je dále využita z části pro praní brambor. Rafinované škrobové mléko je nejprve částečně odvodněno na rotačních vakuových filtrech. Takto získaný předsušený škrob je potom dosušován prostřednictvím horkého vzduchu o teplotě 130-160 °C na obchodní sušinu minimálně 80 %. Usušený škrob je chlazen na teplotu 25-35 °C a následně dopraven do provozních sil. Odtud je škrob odebírán a následuje jeho prosévání na vibračních kruhových vysévačích, kde jsou odděleny případné hrubé nečistoty a škrobová krupice, která vzniká při sušení. Prosetý škrob je transportován do balicího zařízení, kde dochází k plnění škrobu do papírových ventilových pytlů nebo do velkoobjemových vaků [27].



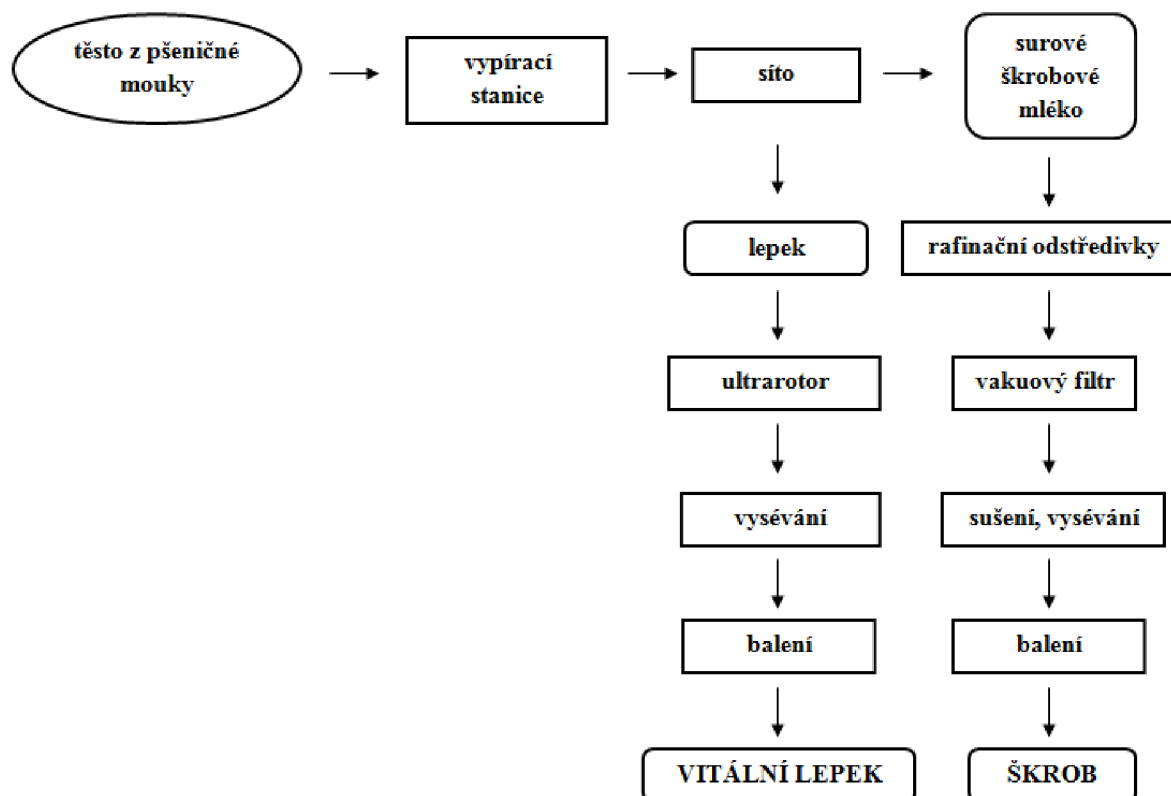
Obrázek 10: Schéma výroby bramborového škrobu.

### 3.2 Pšeničný škrob

Obsah škrobu v pšenici se pohybuje mezi 59-72 %. Pšeničný škrob se v Evropě a na území České republiky začal vyrábět o několik století dříve než bramborový škrob. Na oddělení škrobu z mouky se používají podobné druhy strojních zařízení jako u škrobu bramborového. Významně rozdílné je jen vypírání škrobu neboli oddělování škrobu od lepku, který je nejdůležitějším vedlejším výrobkem při výrobě pšeničného škrobu [26].

Výrobní proces začíná zaděláním jednomleté mouky s vodou v těsto, které se po odležení vypírá v bubnových pračkách. Tam se vypere škrob, který na rozdíl od lepku prochází sí-

tem. Lepek se po osušení pračky dále zpracovává. Surové škrobové mléko se vede do odlučovače. Velkozrný škrob se rozmíchá s vodou a přečerpá na rafinační odlučovač, odkud se po vyčištění a předsušení na vakuovém filtru dopravuje do sušárny. Usušený škrob, tzv. pudr (86 % sušiny) se prosévá, pytluje, váží a expeduje. Jádrový, malozrný škrob se zpracovává na líh nebo se používá jako krmivo. Pšeničný lepek se vede na ultrarotor, kde se získá suchý lepek, který se dále vysévá, pytluje a expeduje. Hotový výrobek se používá v masném a pekárenském průmyslu [27].



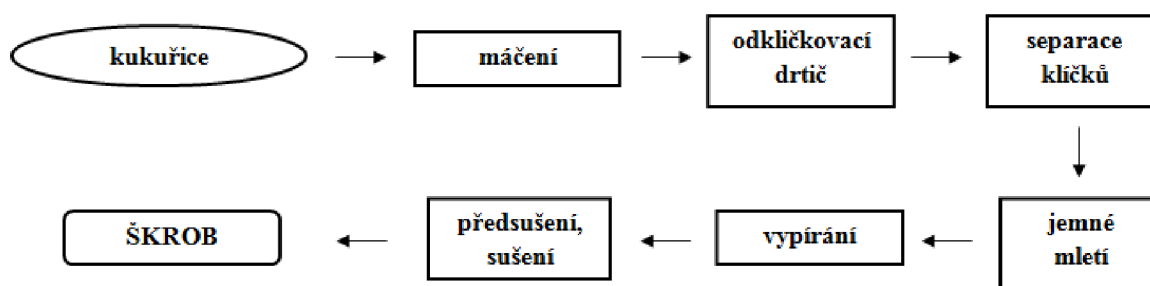
Obrázek 11: Schéma výroby pšeničného škrobu.

### 3.3 Kukuřičný škrob

Obsah škrobu v kukuřici se pohybuje mezi 65-75 %. Kukuřičný škrob se používá v různých průmyslových odvětvích (papírnictví, stavebnictví, chemický a farmaceutický průmysl) [26].

Kukuřice zbavená nečistot se máčí protiproudě ve vodě, obsahující 0,15-0,20 % kyseliny siřičité, po dobu 48 hodin, při teplotě 50-52 °C. Máčením se dosahuje četných biochemických a fyzikálních změn, souvisejících s uvolňováním škrobu a přechodem rozpustných látek ze zrna do máčecí vody. Kukuřičný extrakt se odvádí a zahušťuje

v odparkách na 30 % nebo 60 % sušiny. Kukuřice se pak dopravuje na loupací mlýny, kde se zrno drtí pro uvolnění klíčků. Vzniklá směs se vede na separátor, kde se v prostředí škrobového mléka oddělí na základě rozdílných hustot klíčky od kukuřičné drti. Klíčky plavou po hladině a drť odchází spodem. Po oddělení klíčků jde drť na hedvábná zejbra, kde se získá první podíl škrobového mléka. Po vyprání postupuje kukuřičná drť na kamenné mlýny, odkud se vede jemně rozemletý šrot na extraktéry, pomocí kterých se oddělí škrob od hrubé vlákniny. Jemná vláknina se odděluje na hedvábných žejbrech a přidává se k hrubé vláknině. Po vylisování a usušení vzniká kukuřičné mláto, kvalitní bílkovinné krmivo. Škrob se od bílkovin a zbytků vlákniny odděluje na odstředivkách. Získané škrobové mléko se rafinuje a předsouší. Vlhký škrob se pak suší, prosévá, pytluje, váží a expeduje [27].



Obrázek 12: Schéma výroby kukuřičného škrobu.

### 3.4 Jiné zdroje škrobů

Žito (52-57 %)

Ječmen (52-62 %)

Oves (40-56 %)

Rýže (70-80 %)

Amaranth<sup>‡‡</sup> (48-69 %)

Fazole (46-54 %), hrách, čočka.

Topinambur<sup>§§</sup> (cca 16 %)

Maniok<sup>\*\*\*</sup> Banány, jedlé kaštiny, ořechy.

<sup>‡‡</sup> Amaranth patří mezi nepravé obilniny Jeho semena obsahují škrob, který je důležitým zdrojem energie. Obsahují také mnoho minerálních látek a vitamíny řady B (B1a B2) a vitamín C [29].

<sup>§§</sup> Slunečnice topinambur je morfologicky podobná slunečnici roční, ale květenstvím jsou drobnější úbory dosahující průměru až 10 cm. V současné době se začíná její pěstování ve světě obnovovat vzhledem k obsahu dietně příznivého polysacharidu inulinu, který obsahují její hlízy. [30] [31].

<sup>\*\*\*</sup> Maniok jedlý je subtropický keř, původem z Jižní Ameriky, který se pěstuje pro výživné kořenové hlízy, obsahující velké množství škrobu. Ve světové produkci škrobnatých rostlin maniok zaujímá druhé místo hned po bramborách [32].



**Obrázek 13: Amaranth [33]**



**Obrázek 14: Hlízy topinamburu [34].**



**Obrázek 15: Maniok [35].**

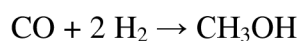
## 4 Výroba alkoholů

### 4.1 Výroba methanolu

(Není-li uvedeno jinak, je kapitola zpracována dle [3].)

Methanol je prudce jedovatá bezbarvá kapalina. Jeho požití může způsobit poškození nebo úplnou ztrátu zraku, případně smrt. Používá se jako rozpouštědlo a patří mezi základní průmyslové suroviny [36].

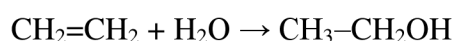
Průmyslová výroba methanolu je založena na katalyzované reakci oxidu uhelnatého s vodíkem při teplotě 320-380 °C a tlaku 15-30 MPa:



Reakční směs nesmí přijít v horkém reaktoru do styku s železem, aby se účinkem CO nevytvářel pentakarbonyl železa  $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ , který katalyzuje vysoce exotermickou nevladatelnou hydrogenaci CO až na  $\text{CH}_4$  (hrozí výbuch reaktoru).

### 4.2 Výroba ethanolu

Ethanol se synteticky připravuje přímou **hydratací etylenu** probíhající v plynné fázi s katalyzátorem  $\text{H}_3\text{PO}_4$  na tuhém nosiči ( $\text{SiO}_2$ ).



Takto připravený ethanol má mnohem méně nečistot než kvasný a je tedy kvalitnější.

Ethanol se kromě syntetického postupu vyrábí i biochemickou cestou, **lihovým kvašením cukerných roztoků**. Tento proces využívá kvasinek (*Saccharomyces cerevisiae*), které produkují enzym, schopný přeměnit za nepřístupu vzduchu monosacharidy na ethylalkohol v složitém procesu, charakterizovaném celkovou rovnicí:



Surovinou pro lihové kvašení jsou zemědělské produkty obsahující cukernaté látky nebo škrob (cukrová řepa, brambory, obilí) a také melasa (odpadní cukerný roztok, z něhož již nelze krystalizací cukr získat).

**Monosacharidy** jsou kvasitelné přímo. **Disacharidy** zkvasí až po předchozím hydrolytickém rozštěpení na jednoduché cukry účinkem enzymu invertasy, který si kvasinky samy vytvářejí. Chybí jim však schopnost produkovat enzym amylasu, nutný ke štěpení škrobu (**polysacharid**), nemohou proto vyvolat ani jeho kvašení. Průmyslově se proto škrobové suroviny před kvašením zpracovávají působením amylolytických enzymů. Příslušná surovina, např. brambory, se rozvaří a přidá se sladové mléko, připravené ze zeleného sladu. Ten vznikne naklíčením ječmene a obsahuje amylolytický enzym diastasu. Jeho vlivem dojde k postupnému štěpení škrobu až na monosacharidy.

K technickým účelům se ethanol podrobuje tzv. denaturaci, což je čichové a chuťové znehodnocení čistého alkoholu páchnoucí přísadou benzenu, benzínu nebo pyridinu. Denurací je znemožněno použít levně vzniklý ethanol k přípravě alkoholických nápojů. K denuraci je určen především syntetický alkohol.



## 5 Kyslík

(Není-li uvedeno jinak, je kapitola zpracována dle [1].)

### 5.1 Výskyt

Kyslík je nejrozšířenějším prvkem na Zemi. Je nedílnou součástí vzduchu, který ho obsahuje cca 21 objemových procent. Vázaný se vyskytuje v hydrosféře a litosféře. Je také významným biogenním prvkem. Vyskytuje se ve dvou alotropických modifikacích, známých pod názvy dikyslík O<sub>2</sub> a ozon O<sub>3</sub> [37].

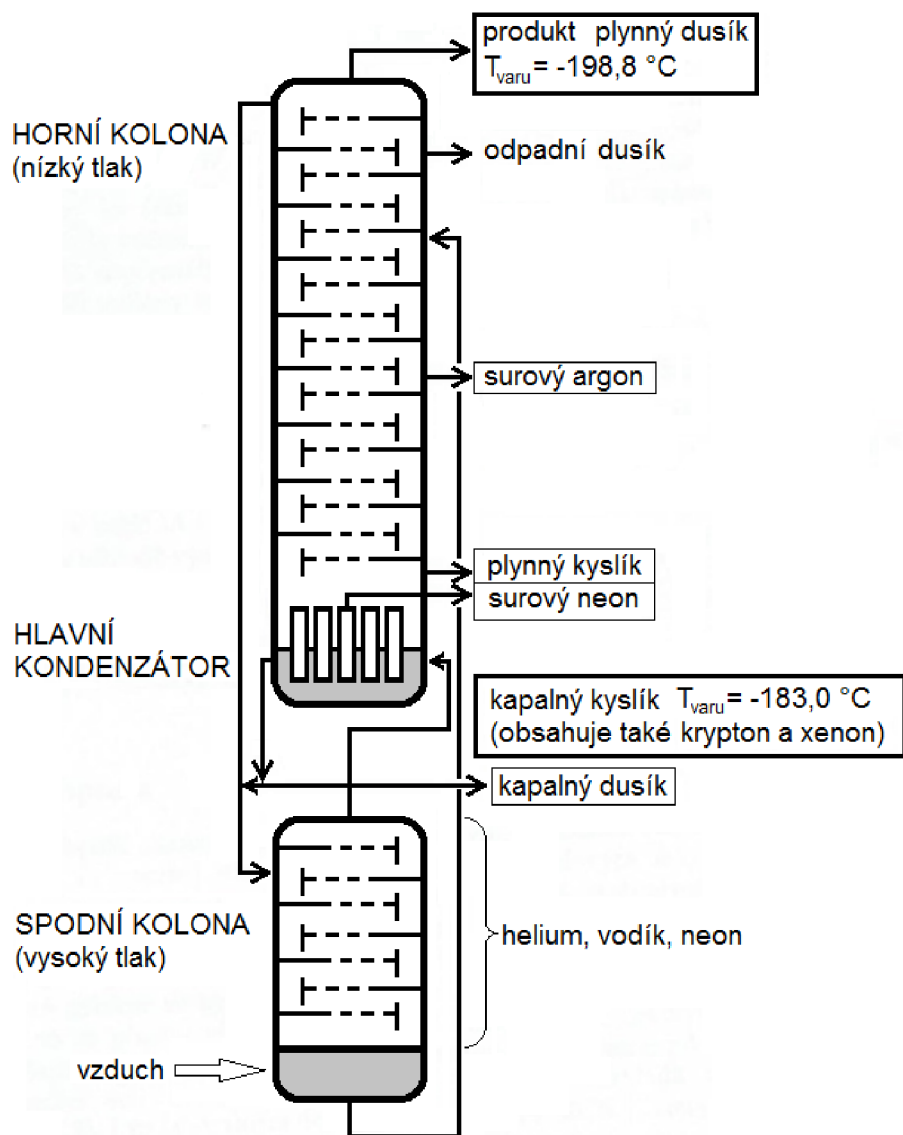
Tabulka 2: Složení atmosféry [1].

Složka	Obsah v obj. %	Celková hmotnost v t
Suchý vzduch	100	$5,119 \cdot 10^{15}$
N <sub>2</sub>	78,084	$3,866 \cdot 10^{15}$
O <sub>2</sub>	20,948	$1,185 \cdot 10^{15}$
Ar	0,934	$6,59 \cdot 10^{13}$
CO <sub>2</sub>	0,0315	$2,45 \cdot 10^{12}$
Ne	$1,818 \cdot 10^{-3}$	$6,48 \cdot 10^{10}$
He	$5,24 \cdot 10^{-4}$	$3,71 \cdot 10^9$
Kr	$1,14 \cdot 10^{-4}$	$1,69 \cdot 10^{10}$
Xe	$8,7 \cdot 10^{-6}$	$2,02 \cdot 10^9$
CH <sub>4</sub>	$\approx 1,5 \cdot 10^{-4}$	$\approx 4,3 \cdot 10^9$
H <sub>2</sub>	$\approx 5 \cdot 10^{-5}$	$\approx 1,8 \cdot 10^8$
N <sub>2</sub> O	$\approx 3 \cdot 10^{-5}$	$\approx 2,3 \cdot 10^9$
CO	$\approx 1,2 \cdot 10^{-5}$	$\approx 5,9 \cdot 10^8$
NH <sub>3</sub>	$\approx 1 \cdot 10^{-6}$	$\approx 3 \cdot 10^7$
NO <sub>2</sub>	$\approx 1 \cdot 10^{-7}$	$\approx 8 \cdot 10^6$
SO <sub>2</sub>	$\approx 2 \cdot 10^{-8}$	$\approx 2 \cdot 10^6$
H <sub>2</sub> S	$\approx 2 \cdot 10^{-8}$	$\approx 1 \cdot 10^6$
O <sub>3</sub>	Proměnlivé	$\approx 3,3 \cdot 10^9$

### 5.2 Výroba

Kyslík se průmyslově vyrábí frakční destilací vzduchu, popř. může být zkapalněn izotermickým stlačením a následující expanzí, kdy se uplatní Joulův-Thomsonův jev. Tento postup je energeticky nákladný. Většina velkých průmyslových závodů nyní užívá metodu, kterou vyvinul G. Claude (Francie). Vzduch je při ní expandován izoentropicky ve stroji, ze kterého lze získat mechanickou práci; tím se dosáhne většího ochlazení než samotným

Joulovým-Thomsonovým jevem. Protože  $N_2$  je těkavější než  $O_2$ , získává se  $N_2$  jako plynný produkt destilace vzduchu, zatímco  $O_2$  zůstává v kapalně fázi (podrobněji viz obrázek 16). Frakční destilace kapalného vzduchu se obvykle provádí v dvoukolonovém dvoutlakovém destilačním zařízení. Kyslík se získává jako kondenzát z horní nízkotlaké kolony, kam přichází ve formě par ze spodní vysokotlaké kolony.



Obrázek 16: Schéma zařízení na destilaci vzduchu (upraveno dle [1]).

Nejtěkavější složky vzduchu ( $He$ ,  $H_2$ ,  $Ne$ ) nekondenzují, ale hromadí se jako vysokotlaká plynná směs s  $N_2$  v nejvyšší části spodní kolony. Argon, který je podle své těkavosti mezi  $O_2$  a  $N_2$ , se hromadí v horní koloně, ze které může být odveden k dalšímu přečištění. Nejméně těkavé složky ( $Kr$ ,  $Xe$ ) se hromadí ve vroucím kyslíku v patě horní kolony. Typické pracovní tlaky jsou 0,5 MPa v horní části spodní kolony a 0,05 MPa v dolní části horní kolony. Poněkud odlišné uspořádání se užívá, je-li kromě kapalného a plynného  $O_2$  požadován také kapalný  $N_2$ .

### 5.3 Použití

Ve vzrůstající míře se kyslík používá ve vysokých pecích, protože obohacení vzduchu kyslíkem umožňuje používat těžký topný olej místo dražšího koksu. Další aplikace jsou tavení železných a neželezných kovů a výroba skla. Rozsahem menší technické použití kyslíku je při řezání oceli, sváření a kyslíkovém děrování (vrtání betonu).

V chemickém průmyslu se kyslík ve velkém měřítku používá při výrobě  $\text{TiO}_2$ , bělení papírové hmoty, při přímé oxidaci ethanu na ethylenoxid a při výrobě syntézního plynu ( $\text{H}_2 + \text{CO}$ ), propylenoxidu, vinylchloridu, vinylacetátu atd. Použití v oblasti životního prostředí a biomedicíny zahrnuje čištění odpadních vod, znovuoživení řek, pěstování ryb, kyslíkové stany v nemocnicích atd. Většina kyslíku pro tyto účely je transportována buď ve velkých kontejnerech, nebo vysokotlakých ocelových lahvích.

Kyslík se také používá jako oxidovadlo pro raketová paliva při výzkumu vesmíru, vypouštění satelitů a pro kosmické lodě. Například při letu Apolla k Měsíci bylo v každé odpalovací raketě Saturn 5 v prvním stupni použito 1 450 t kapalného kyslíku, který v neuvěřitelně krátkém čase 2,5 min zoxidoval kerosinové palivo (asi 550 t). Druhý a třetí stupeň byly plněny  $315 \text{ m}^3$  a  $76,3 \text{ m}^3$  kapalného  $\text{O}_2$ , použité palivo byl kapalný  $\text{H}_2$ .

## 6 Dusík

(Zpracováno dle [1].)

### 6.1 Výskyt

Navzdory snadné dostupnosti v atmosféře (78 %) se dusík vyskytuje jak v horninách zemské kůry, tak i v zeminách relativně vzácně. Obsahem 19 ppm je v pořadí výskytu v zemské kůře na 33. místě shodně s Ga, mezi Nb (20 ppm) a Li (18 ppm). Jeho hlavními minerály jsou  $\text{KNO}_3$  (ledek draselný, sanitr) a  $\text{NaNO}_3$  (chilský ledek, ledek sodný, chilský sanitr). Oba jsou obvykle rozšířeny v poměrně malých ložiscích evaporitů vyskytujících se na vyprahlých místech, často jako výkvěty na půdě nebo v dutinách. Hlavní ložiska  $\text{KNO}_3$  se nacházejí v Indii, menší ložiska v Bolívii, Itálii, Španělsku a Rusku. Ohromná ložiska  $\text{NaNO}_3$  jsou v pustých neobydlených pouštních oblastech severního Chile, kde se vyskytují spolu s dalšími evapority, jako  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a  $\text{KNO}_3$  na jižních svazích pobřežních oblastí ve výšce 1 200 až 2 500 m.

### 6.2 Výroba

Jediným významným způsobem výroby  $\text{N}_2$  v průmyslovém měřítku je zkapalnění a frakční destilace vzduchu. Jeho výroba v posledních letech výrazně vzrostla, částečně jako výsledek zvýšené poptávky ocelářského průmyslu po jeho doprovodném produktu  $\text{O}_2$  (výroba je popsána v kapitole 5).

Vzhledem k dostupnosti průmyslově vyráběného dusíku jsou laboratorní způsoby přípravy velmi čistého  $\text{N}_2$  používány zřídka.

### 6.3 Použití

Kolem 2/3 průmyslově vyráběného dusíku je dodáváno jako plyn pod tlakem hlavně potrubím nebo v tlakových lahvích. Zbývající třetina se dodává jako kapalný  $\text{N}_2$ . Dusík z největší části slouží jako inertní ochranný plyn v železářském a ocelářském průmyslu a mnoha jiných metalurgických a chemických procesech, kde je přítomnost vzduchu spojena s rizikem ohně nebo výbuchu nebo s nežádoucí oxidací produktů. Ve velkém se  $\text{N}_2$  používá k proplachování petrochemických reaktorů a jiných chemických zařízení, jako inertní ředidlo chemikálií, při výrobě plaveného skla, jako ochrana před oxidací taveniny cínu.

Kolem 10 % vyrobeného kapalného  $N_2$  se používá jako chladivo při mletí materiálů za normální teploty měkkých nebo gumovitých, obrábění pryže za nízké teploty, montáží technických konstrukcí ve smrštěném stavu, ochraně biologických vzorků, jako (krve, spermatu apod.) a jako prostředku do lázně o konstantní teplotě  $-196\text{ }^\circ\text{C}$ . Kapalný dusík se často pro pohodlí používá i tehdy, kdy nízká teplota není nezbytná: mražení potravin, chlazení při přepravě, zmrazení obsahu potrubí místo ventilu pro přerušení průtoku, zmrazení zeminy pro zpevnění nestabilního základu při tunelování nebo hloubení.

## 7 Amoniak

(Není-li uvedeno jinak, je kapitola zpracována dle [1].)

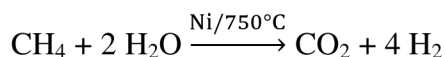
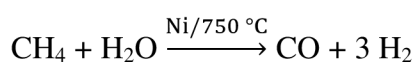
### 7.1 Výskyt

V přírodě amoniak vzniká rozkladem dusíkatých organických látek. V malém množství je přítomen ve vzduchu a sopečných plynech [38].

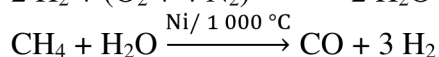
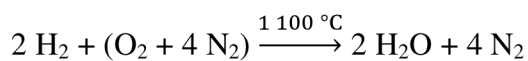
### 7.2 Výroba

Průmyslová výroba NH<sub>3</sub> je založena na Haberově-Boschově vysokotlaké redukci N<sub>2</sub> vodíkem, který byl dříve získáván elektrolyzou vody. Moderní metody používají stejného principu, liší se však zdrojem vodíku, účinností katalyzátorů i měřítkem operací. Elektrolytická výroba vodíku byla dnes zachována jen v místech s velmi levnou elektrickou energií, jinde se vodík získává reakcí koksu nebo nověji zemního plynu (což je v podstatě CH<sub>4</sub>) či nafty (těkavé alifatické frakce ropy petrolejového typu) s vodou. Moderní uhlovodíkové redukční metody mají proti procesům založeným na reakci koksu velkou výhodu v tom, že při stejné investiční náročnosti spotřebují méně zastavěné plochy, méně energie a méně pracovní síly, a to vše při čtyřnásobně vyšší roční produkci NH<sub>3</sub>.

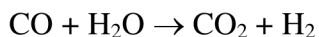
Činnost velkých zařízení na výrobu NH<sub>3</sub>, založených na zemním plynu, představuje citlivě vyvážený sled reakcí. Plyn je nejprve odsířen, aby se odstranily sloučeniny, které by mohly způsobit otravu kovových katalyzátorů, poté je stlačen a převeden spolu s párou do primární parní reformovací jednotky, kde nad niklovým katalyzátorem při teplotě 750 °C vzniká H<sub>2</sub> a oxidy uhlíku:



Za těchto podmínek obsahuje vycházející plyn kolem 9 % nezreagovaného methanu. Proto je kompresorem nastříknut vzduch. Reakcí vzdušného kyslíku s přítomným vodíkem vznikne teplo, které zahřeje plyn v sekundární reformovací jednotce na teplotu při bližně 1 100 °C:



Získaný plyn, obsahující již jen 0,25 % CH<sub>4</sub>, se ochladí v tepelném výměníku, který slouží pro regeneraci páry používané nejprve k pohonu turbokompresorů, a poté jako reaktant v primární parní reformovací jednotce. CO přítomný ve směsi je převeden na CO<sub>2</sub> vodní párou, kdy vzniká další H<sub>2</sub>:



Maximální přeměny se docílují rovnováhou při co nejnižší teplotě, a proto se reakce provádí postupně na dvou ložích katalyzátoru:

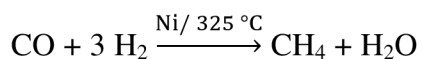
a) na oxidu železa (400 °C), kterým se redukuje obsah CO z 11 % na 3 %;

b) na měděném katalyzátoru (200 °C), který snižuje obsah CO na 0,3 %.

CO<sub>2</sub> (≈18 %) se odstraňuje v pračkách obsahujících buď koncentrovaný alkalický roztok K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> nebo aminy (např. ethanolamin):



Zbývající stopová množství CO (který by jinak otrávil železný katalyzátor během následující syntézy amoniaku) se zpětně přeměňují na CH<sub>4</sub> průchodem vlhkého plynu z praček přes Ni (katalyzátor) při 325 °C:



Tato reakce je opakem té, která proběhla v primární parní reformovací jednotce.

Vycházející syntézní plyn, který má v tomto stádiu přibližné složení:

H <sub>2</sub> ≈ 74,3 %
-------------------------

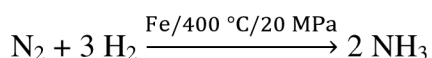
N <sub>2</sub> ≈ 24,7 %
-------------------------

CH<sub>4</sub> ≈ 0,8 %

Ar ≈ 0,3 %

CO ≈ 1 až 2 ppm;

je stlačen ve třech stupních z 2,5 MPa na přibližně 20,0 MPa a přiveden nad aktivovaný železný katalyzátor při 400 °C:



Plyn opouštějící lože katalyzátoru obsahuje kolem 15 %  $\text{NH}_3$ ; ochlazením se zkondenzuje a zbývající plyn se smísí s větším množstvím nového syntézního plynu a cyklus se opakuje.

„Aktivovaný“ železný katalyzátor se od doby, kdy byla tato metoda výroby  $\text{NH}_3$  vyvinuta, připravuje tavením magnetitu ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) s  $\text{KOH}$  v přítomnosti malého množství žáruvzdorných oxidů, jako je  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{SiO}_2$ ; ztuhlá vrstva se rozbije na kusy o velikosti 5 až 10 mm a ty se redukují přímo uvnitř konvertoru na výrobu  $\text{NH}_3$  na aktivní katalyzátor, který sestává z krystalitů  $\text{Fe}$  oddělených amorfními žáruvzdornými oxidy, částečně pokrytých alkalickým promotorem, který téměř o řád zvyšuje jeho aktivitu.

Bezvodý kapalný  $\text{NH}_3$  se dnes přechovává v nádržích chlazených na  $-33,5\text{ }^\circ\text{C}$  (104,7 kPa). Kapacita nádrže může být až 36 000 t. Bezvodý  $\text{NH}_3$  se expeduje v cisternových vozech (až  $30\text{ m}^3$ ), železničních cisternových vozech (až  $130\text{ m}^3$ ), nákladními loděmi a potrubím (některá vedení jsou až několik tisíc kilometrů dlouhá).

### 7.3 Použití

$\text{NH}_3$  nejčastěji slouží v různých formách jako hnojivo (přes 80 %). Přímě se ho k těmto účelům spotřebuje 27,1 %, poté následuje  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (18,9 %), močovina (13,9 %), fosforečnan amonný (8,8 %), roztoky  $\text{N}$  a směsná hnojiva (8,2 %) a  $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$  (3,5 %). K průmyslovému využití patří i výroba komerčních výbušnin (5 %), jako  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , nitroglycerin, trinitrotoluen a nitrocelulóza, které se získávají z  $\text{NH}_3$  přes  $\text{HNO}_3$ , a dále vlákna a plasty (10 %), např. nylon 6, nylon 6-6, chemické hedvábí z regenerované celulosy a polyurethany. Zbytek (asi 5 %) připadá na celou řadu aplikací při chlazení, zpracování celulosy, odcínování odpadního kovu a inhibici koroze; používá se také jako stabilizátor pryže, při regulaci pH, při výrobě detergentů pro domácnost, v potravinářském průmyslu, při výrobě nápojů, ve farmaceutickém průmyslu, při výrobě čtených organických a anorganických sloučenin.



## 8 Měď, stříbro a zlato

(Není-li uvedeno jinak, je kapitola zpracována dle [1].)

Všechny tři prvky označované pro své někdejší použití společným názvem „mincovní kovy“, jsou nepochybně prvními kovy, které člověk ve své historii poznal. V přírodě se vyskytují ryzí, a proto pravděpodobně sloužily jako primitivní platidla již dávno před zavedením zlatých mincí v Egyptě (asi 3 400 př. n. l.). **Zlato** se již ve starší době kamenné zpracovávalo tepáním ke zdobným účelům.

Za zmínku stojí např. Tutanchamónova<sup>†††</sup> rakev, obsahující 112 kg zlata nebo legendární poklad Aztéků a Inků v Mexiku a Peru, pro který Španělé dobývali na začátku 16. století Střední a Jižní Ameriku.

Názory na to, kdy člověk poprvé použil **měď**, se rozcházejí. Všeobecně se však soudí, že to mohlo být přibližně kolem r. 5 000 př. n. l. Kolem roku 3 000 př. n. l. byla v Indii, Mezopotamii a Řecku objevena její schopnost tvořit tvrdé bronzy. Tím začala doba bronzová a od té doby je měď jedním z nejdůležitějších kovů, které se lidstvo naučilo používat.

Použití **stříbra** v peněžnictví je stejně staré jako použití zlata pro tyto účely. Rozdíl je pouze v tom, že ryzí stříbro se v porovnání se zlatem vyskytuje řidčeji, takže k vyrovnání jejich množství v oběhu došlo až po objevení způsobu výroby stříbra z jeho rud.

### 8.1 Výskyt

Relativní obsah všech tří kovů v zemské kůře je srovnatelný s množstvím, v jakém se vyskytují Ni, Pd a Pt.

**Měď** se vyskytuje nejčastěji v podobě sulfidu, oxidu a uhličitanu. Jejimi hlavními rudami jsou chalkopyrit ( $\text{CuFeS}_2$ ) – představuje 50 % veškerých rud obsahujících měď, chalkozin  $\text{Cu}_2\text{S}$ , kuprit  $\text{Cu}_2\text{O}$  a malachit  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ . V čisté formě se kov vyskytuje vzácně.

---

<sup>†††</sup> Tutanchamón byl faraón, který panoval přibližně v letech 1328-1318 př. n. l. (či v letech 1339-1329 př. n. l.) [39], [40]. Na přesném datování jeho života a vlády se egyptologové neshodují. Jeho hrobku sice stejně jako ostatní hrobky navštívili vykradači, ale z neznámých důvodů z ní mnoho neodnesli. Následně kněží hrobku opět zapečetili. Při stavbě hrobky faraona Ramesse VI. byl vchod do Tutanchamónovy hrobky zasypán sutí ze stavby, čímž byl její obsah chráněn až do listopadu 1922, kdy byla po mnoha staletích archeologicky objevena [41].

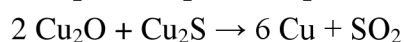
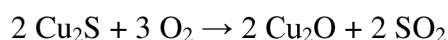
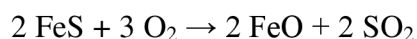
**Stříbro** se nachází v přírodě převážně v sulfidických rudách, největší význam má argentit  $\text{Ag}_2\text{S}$ . Protože se snadno ze svých sloučenin vyredukuje, nachází se někdy společně s nimi v ryzí formě. Kromě toho podléhají sulfidické rudy také účinkům soli obsažené ve vodě a přecházejí tak v  $\text{AgCl}$ . Největším dodavatelem stříbra byly od r. 1520 španělsky mluvící země Ameriky, v 19. století je vystřídalo Rusko. V současné době se značná množství stříbra získávají jako vedlejší produkt výroby jiných kovů, zejména mědi.

**Zlato**, podobně jako stříbro, se v přírodě vyskytuje roztroušeně, a to jak ryzí, tak v podobě teluridů. Vyskytuje se vždy vtroušeno v nerostech (křemen nebo pyrit), a to jak v žilách, tak i v rýžovištích, kam se dostalo větráním zlatonosných hornin. Je také obsaženo v mořské vodě v koncentraci až 0,001 ppm, dosud se však nepodařilo nalézt ekonomicky přijatelný způsob jeho těžby z tohoto zdroje.

Přibližně do r. 1830 pocházela velká část tehdejších světových zásob zlata od starých, příp. jihoamerických civilizací. Jeho zásoba však postupně stoupala, jednak zásluhou objevů ložisek na Sibiři, jednak vlivem následující „zlaté horečky“, která propukla r. 1849. Se „zlatou horečkou“ je spojeno osídlování Amerického Západu a Nového Jižního Walesu (Austrálie).

## 8.2 Výroba

K výrobě **mědi** slouží některé oxidické měďnaté rudy, které se zpracovávají na kov přímou redukcí koksem za vysoké teploty. Hlavní produkce však vychází ze sulfidických rud obsahujících železo, avšak na obsah mědi jsou poměrně chudé (kolem 0,5 %). Ruda, která se vytěží, se proto nejprve drtí a koncentruje pěnovou flotací, aby obsah mědi vzrostl na 15-20 %. K takto získanému koncentrátu se přidává křemen a směs se pak při cca 1 400 °C taví v plamenné peci. V rudě obsažený  $\text{FeS}$  se na oxid převede snadněji než  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Vytvoří s přítomným křemenem křemičitanovou strusku, pod kterou se usazuje měděný lech, obsahující převážně  $\text{Cu}_2\text{S}$  a  $\text{FeS}$ . Tavenina měděného lechu se zpracovává spolu s křemenem dmýcháním vzduchu do konvertoru. Zbývající  $\text{FeS}$  tím přechází na  $\text{FeO}$  a dále do strusky, zatímco  $\text{Cu}_2\text{S}$  se zčásti mění na  $\text{Cu}_2\text{O}$  a dále pak na měď:

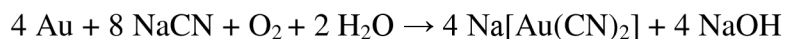


Hlavní část surové mědi se pak čistí elektrolyticky. Odlíjí se z ní anody, které se umístí do okyseleného roztoku  $\text{CuSO}_4$ . Katodu tvoří desky z čisté mědi. Na nich se v průběhu

elektrolýzy vylučuje další čistá měď. Nečistoty se hromadí v okolí anody jako tzv. anodické kaly. Ty jsou cenným zdrojem Ag, Au a dalších drahých kovů.

Většina dnes vyráběného **stříbra** je vedlejším produktem odpadajícím při výrobě neželezných kovů, např. Cu, Pb a Zn, neboť tyto kovy pravidelně doprovází. Převážná část stříbra se získává zužitkováním odpadů obsahujících stříbro.

**Zlato** se získávalo z říčního písku *ryžováním*. Jeho princip je založen na oddělování zlata od písku na základě rozdílných hustot. Takové zdroje zlata jsou však dnes již vyčerpány. Současný způsob těžby je založen na dolování z hornin. Obsah zlata v nich je malý (cca 25 ppm Au). Vytěžená hornina se proto nejprve drtí na jemný prášek a zlato se z něj získává buď *amalgamací* rtuť (ze vzniklého amalgamu se zlato získá oddestilováním rtuť), nebo *kyanidovým způsobem*. Při této metodě se zlato a stříbro z rozmělněné horniny vyluhují zředěným roztokem kyanidu za současného vhnění vzduchu:



Z roztoku se nakonec zlato vysráží přidávkem zinkových hoblin. V případě nutnosti se zlato může elektrolyticky přečistit.

### 8.3 Použití

**Měď** nachází hlavní použití při výrobě elektrických vodičů, v menší míře slouží jako přísada do mincovních slitin, běžných bronzí (Cu-Sn), mosazi (Cu-Zn) a speciálních slitin, např. Monelova slitina (Ni-Cu).

Z veškerého vyrobeného **stříbra** se 1/3 spotřebovává pro fotografické účely, zbytek při výrobě ozdobných a užitkových předmětů, v elektrotechnice, ke stříbření zrcadel a v neposlední řadě při výrobě baterií Ag-Zn, Ag-Cd s vysokou kapacitou. Menší část slouží od r. 1826 do současnosti jako jedna složka materiálu k přípravě zubního amalgamu.

**Zlato** má dvě hlavní uplatnění. Jednak slouží v mezinárodním obchodu k vyrovnání platební bilance, jednak slouží ve šperkařství. Má též uplatnění v zubním lékařství, v průmyslu elektroniky na nekorodující kontakty a v kosmickém průmyslu jako součást slitin na tvrdé pájky a k odrážení tepelného záření. Používá se také ve formě folií (tloušťka cca 20 pm) na vnitřních stranách oken kanceláří jako tepelná izolace.

## 9 Hliník

(Není-li uvedeno jinak, je kapitola zpracována dle [1].)

### 9.1 Výskyt

Hliník je jeden z nejrozšířenějších prvků zemské kůry (8,3 hmotn. %). V rozšíření jej předstihuje pouze kyslík (45,5 %) a křemík (25,7 %) a blíží se mu pouze železo (6,2 %) a vápník (4,6 %). Hliník je hlavní složkou mnoha vyvřelých minerálů včetně živce a slíd. Tyto minerály v mírném podnebí postupně větrají a poskytují jílovité minerály, jako je kaolinit  $[\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5]$ , montmorillonit a vermikulit. Vyskytuje se též v mnoha dobře známých, avšak vzácnějších minerálech, jako jsou kryolit ( $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ ), spinel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), granát  $[\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3]$ , beryl ( $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ) a tyrkys  $[\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4\text{H}_2\text{O}/\text{Cu}]$ . Korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) je jednou z nejtvrděších známých sloučenin a užívá se proto jako brusný materiál. Mnohé drahokamy jsou nečistou formou  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , např. rubín (Cr), safír (Co). Obchodně nejdůležitějším minerálem je bauxit  $\text{AlO}_x(\text{OH})_{3-2x}$  ( $0 < x < 1$ ). Vyskytuje se v širokých páslech v tropických a subtropických oblastech jako výsledek vyluhování křemene i dalších kovů z hlinitokřemičitanů.

### 9.2 Výroba

Znečištěný kov izoloval poprvé dánský vědec H. C. Oersted reakcí zředěného amalgamu draslíku s  $\text{AlCl}_3$ . Metody přípravy zlepšil v roce 1827 Wöhler, který užil pro reakci draslík. Průmyslový způsob výroby navrhl v roce 1854 H. Sainte-Claire Deville použitím sodíku. Ve stejném roce získali kovový hliník nezávisle na sobě H. Sainte-Claire Deville a R. W. Bunsen elektrolýzou roztaveného  $\text{Na}[\text{AlCl}_4]$ . Kov byl však v té době tak drahý, že byl vystavován na pařížské výstavě v roce 1855 vedle korunovačních klenotů. Pro vysokou cenu používal císař Ludvík Napoleon III při státních recepcích hliníkové přibory. Před koncem století (Tabulka 3) došlo k prudkému tisícinásobnému poklesu ceny. Tento pokles ceny způsobilo jednak zavedení laciné elektrické energie po konstrukci dynama W. von Siemensem v sedmdesátých letech 19. století, jednak využití elektrolýzy oxidu hlinitého, rozpuštěného v kryolitu ( $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ ), kterou v roce 1886 provedli nezávisle P. L. T. Héroult ve Francii a C. M. Hall v USA. Od té doby světová produkce rychle rostla a v roce 1893 dosáhla poprvé 1 000 t za rok.

**Tabulka 3: Cena kovového hliníku (USD za kilogram hliníku) [1].**

Rok	1852	1854	1855	1856	1857	1858	1886	1888	1890	1895	1900	1950	1964	1974	1982
Cena	1200	600	250	75	60	25	17	11,5	5	1,15	0,73	0,4	0,53	0,75	0,93

### 9.3 Použití

Čistý hliník je stříbrně bílý kov s mnoha výhodnými vlastnostmi: je lehký, netoxický, příjemného vzhledu a lze u něj dosáhnout vysokého lesku. Má velkou tepelnou a elektrickou vodivost, výbornou odolnost proti korozi, je nemagnetický, nejiskřivější a v tvárnosti stojí hned za zlatem a v tažnosti je šestý. Mnohé z jeho slitin mají vysokou mechanickou pevnost a jsou pevné i v tahu. Hliník a jeho slitiny lze lít, válcovat, tlačit, kovat, táhnout nebo obrábět. Snadno se tak vyrobí trubky, pruty, roury, tyče, desky, dráty, plechy nebo fólie.

Hliník odolává korozi nikoli pro své postavení v elektrochemické řadě, ale rychlou tvorbou souvislé povrchové vrstvičky oxidu hlinitého. Nebezpečí koroze je při styku s grafitem, Fe, Ni, Cu, Ag nebo Pb. Při styku s ocelí, zinkem a Cd závisí korozní odolnost především na pH. Dobrou korozní odolnost lze uměle zvýšit zesílením vrstvičky oxidu hlinitého na povrchu kovu.

Vrstvička o tloušťce 10 a 20  $\mu\text{m}$  výborně chrání kov v oblasti pH 4,5 až 8,7 a je též postačující pro použití hliníku ve stavebnictví. Silnější vrstvička (50 až 100  $\mu\text{m}$ ) chrání kov proti otěru. Vrstvičku oxidu lze barvit vhodnými organickými i anorganickými sloučeninami a nanesením fotocitlivé vrstvy lze užít pro fotografii.

Kromě uvedených příkladů použití Al známe celou řadu aplikací z denního života. Al je ideálním kovem na elektrické vodiče.

Velké množství hliníku se využívá jako konstrukce. První mrakodrap s hliníkovým povrchem byl dokončen v roce 1952. Obecně je rovněž známé jeho použití na letecké konstrukce. Každý boeing 707 obsahuje asi 50 t hliníkových slitin.

Al se široce používá jako materiál na konstrukce a pláště kosmických lodí, nádrží na palivo a oxidovadlo a na elektronická zařízení. Kromě Al fólie slouží v kosmickém průmyslu hliníkový prášek, který se používá jako přísada do pevných paliv pro zvýšení tahu rakety při startu.

## 10. Gallium, indium, thallium

(Není-li uvedeno jinak, je kapitola zpracována dle [1].)

### 10.1 Výskyt

**Gallium** se v přírodě často vyskytuje jako průvodce sfaleritu ZnS, ale vždy jen ve velmi malých množstvích (0,002 % a méně). Ve stopách provází téměř vždy hliník.

**Indium** se vyskytuje v nepatrných množstvích jako příměs přírodních sirníků těžkých kovů. Objevili je Reich a Richter r. 1863 ve zbytcích po zpracování freiberského sfaleritu, v nichž pátrali spektrálně po thalliu, a to podle indigově modré čáry, pro indium charakteristické (podle ní je také pojmenováno).

**Thallium** patří k prvkům, které se v přírodě vyskytují na mnoha místech, avšak téměř vždy jen ve velmi malých koncentracích. Je častým průvodcem těžkých kovů, jako zinku, mědi a železa a v jejich přírodních sirnicích. Můžeme je však také dokázat v draselných solích a slidě [42].

### 10.2 Výroba

Kovové **gallium** se nyní získává jako vedlejší produkt při výrobě hliníku. **Indium**, podobně jako Ga, se získává elektrolýzou, po předcházející koncentraci roztoků získaných při výrobě jiných prvků (Pb/Zn). Technické **thallium** se získává oddělením od jiných prvků obsažených v kouřových plynech (Ni, Zn, Cd, In, Ge, Pb, As, Se, Te) rozpouštěním v teplé zředěné kyselině sírové.

### 10.3 Použití

Gallium má krásný, stříbřitě modrý vzhled, smáčí sklo, porcelán a mnoho jiných materiálů (s výjimkou křemene, grafitu, a teflonu), a když se natře na sklo, dává lesklé zrcátko. Jeho hlavní použití je v polovodičové technologii.

Sloučenina  $\text{MgGa}_2\text{O}_4$  aktivovaná ionty dvojmocných kovů, jako např.  $\text{Mn}^{2+}$ , se používá v ultrafialových aktivátorech jako zelený „fosfor“ (luminofor) – známý uživatelům kopírovacích zařízení Xerox. Další velmi důležitou aplikací je zlepšení citlivosti různých pásů, užívaných při spektrální analýze uranu. V menší míře se používá jako vysokoteplotní kapalný uzávěr, jako náplň manometrů a převodníků tepla a na nízkotající pájky.

Indium se dříve často používalo na ochranu ložisek proti opotřebování a korozi. V poslední době se charakter použití změnil a nyní slouží na přípravu nízkotající slitiny a pro elektronická zařízení. Slitiny In s Bi, Cd, Pb, a Sn (teplota tání 50 až 100 °C) se používají na tavné pojistky, regulátory tepla a samočinná hasicí zařízení. Pájky bohaté na In jsou cenným pojivem pro spojování kovů s nekovem v aparaturách s vysokým vakuem. Indium je zvláště důležité při výrobě tranzistorových spojů P-N-P v Ge. Slouží též k pájení polovodičových přívodů za nízkých teplot. V malé míře slouží v jaderném průmyslu a jeho použití je založeno na vysokém účinném průřezu pro záchyt elektronů. U určitých jaderných reaktorů se užívá jako složka moderátorových tyčí.

$Ti_2SO_4$  byl dříve používán jako prostředek na hubení hlodavců a mravenců, je bez chuti a zápachu a nyní je v mnoha zemích jako příliš jedovatý pro obecné použití zakázán. V průmyslu se thallium neuplatňuje. Malé speciální využití Tl jako fotocitlivé diody a infračervené detektory.

## 11. Vápenec a vápno

### 11.1 Výskyt

Vápenec je sedimentární hornina složená převážně z uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) ve formě kalcitu nebo aragonitu. Jako příměsi se vyskytují dolomit, siderit, křemen, jílové minerály a úlomky zkamenělin. Vápenec společně s dolomitem tvoří čtyři pětiny všech sedimentů na povrchu Země [43].

### 11.2 Výroba

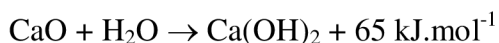
(Není-li uvedeno jinak, je podkapitola zpracována dle [44].)

Vápno se vyrábí pálením vápenců nebo dolomitických vápenců. Surovina se vypaluje v šachtových nebo rotačních pecích. Teplota výpalu je v rozmezí mezi 1 050 až 1 250 °C. Při pálení dochází k rozkladu vápence na oxid vápenatý a oxid uhličitý podle rovnice:



Vlastnosti vápna určuje mimo jiné jeho mikrostruktura, která závisí na teplotě výpalu a ovlivňuje jeho aktivitu, rychlost hašení vápna, vydatnost a plasticitu.

Hašení vápna je v podstatě hydratace oxidu vápenatého za vzniku hydroxidu:



Technologie hašení je rozdílná pro měkce a tvrdě pálená vápna. Měkce pálená vápna se hasí tak, že se 100 kg páleného vápna vnáší do 200 až 250 l vody za intenzivního míchání. Tvrdě pálená vápna se umístí v hasnici a polijí se menším množstvím vody. Až se vápno začne hasit, což se projeví zvýšením teploty směsi a vývinem páry, přidá se další podíl vody za intenzivního míchání. Množství vody musí být takové, aby se směs udržovala ve varu. Zvýšená teplota ovlivní pozitivně průběh hydratace tvrdě páleného vápna. Použití nadbytečného množství vody v počátku hašení způsobí, že se nedosáhne potřebné teploty a vápno se nevyhasí dokonale, tzv. se „utopí“. Při použití příliš malého množství vody vzroste teplota nad 100 °C, přičemž se spojí částičky vápenného hydrátu ve větší celky a výsledná kaše bude obsahovat nezhydratovaná zrna  $\text{CaO}$ . V obou případech může  $\text{CaO}$  přítomný ve



vápenné kaši dohydratovat až v omítce, což vzhledem ke zvětšení objemu způsobí poruchy, tzv. „střílení“ omítek.

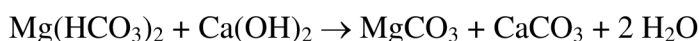
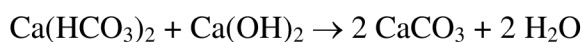
Vyhašené vápno ve formě suspenze se potom z hasnice vypouští přes síto s oky 3 mm do usazovací jámy, kde se sedimentací usadí větší zrna a řídká vápenná kaše se přepadem vede do odležovacích jam. Odležení vápenné kaše je velmi důležité, protože dochází k dodatečnému vyhašení a rozdružení nezhydratovaných zrn CaO. Vzhledem k teplotě okolí může tento proces probíhat po velmi dlouhou dobu. Z toho vyplývá, že čím je delší doba odležení, tím je větší pravděpodobnost, že vápno bude objemově stálé.

### 11.3 Použití

(Není-li uvedeno jinak, je podkapitola zpracována dle [3].)

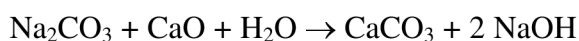
Vápenec je nejběžnější formou uhličitanu vápenatého, který též vystupuje jako křída, mramor, korál, kalcit, aragonit atd. a spolu s Mg též jako dolomit. Vápenec a dolomit jsou široce používané stavební minerály, které se těží na celém světě v ohromném množství. CaCO<sub>3</sub> je také hlavní průmyslovou chemikálií a výchozí látkou pro přípravu páleného vápna (CaO) a hašeného vápna (Ca(OH)<sub>2</sub>). Jsou to klíčové chemikálie ve velkých odvětvích chemického, metalurgického a stavebního průmyslu.

Velké množství vápna se spotřebuje v ocelářském průmyslu, kde se používá jako struskotvorná látka k odstranění P, S, Si a v menší míře Mn. Dále slouží jako mazivo při tažení ocelových drátů a k neutralizaci přebytečné kyseliny sírové. Vápno je chemikálie užívaná v největším množství při úpravě pitné a průmyslové vody. Spolu s kamencem a se solemi železa se používá ke koagulaci rozptýlených látek a k odstranění zákalů. Rovněž se užívá při tzv. měkčení vody k odstranění přechodné (hydrogenuhlíčitanové) tvrdosti. Přitom probíhají reakce:



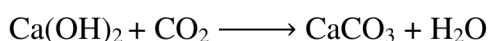
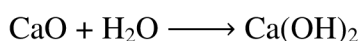
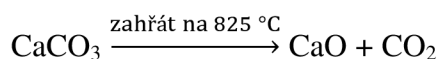
Další použití je při neutralizaci kyselých vod (a průmyslových odpadů) a na udržení pH při biologických oxidacích městských splašků. Vápno se dále používá v plynových pračkách k odstranění SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S z plynů z fosilních paliv v generátorových stanicích a metalurgických tavicích pecích.

V chemickém průmyslu se vápno užívá při výrobě acetylidu vápenatého  $\text{CaC}_2$ , kyanamidu vápenatého  $\text{CaCN}_2$  a mnoha dalších sloučenin. Velkým spotřebitelem vápna je sklářský průmysl. Nejběžnější sklo obsahuje přibližně 12 %  $\text{CaO}$ . Insekticidní arseničnan vápenatý se získá neutralizací kyseliny arseničné vápnem a užívá se k hubení bource morušového, obaleče jablečného, tabákového červa a mandelinky bramborové. Důležitými fungicidy jsou postřiky ze směsi vápna a síry a Bordeaux-směsi ( $\text{CuSO}_4\text{--Ca(OH)}_2$ ). Velká množství  $\text{Ca(OH)}_2$  a sráženého (k odlišení od v přírodě se vyskytujícího)  $\text{CaCO}_3$  se spotřebují při výrobě papíru v dřevařském průmyslu. Nejvíce se vápno používá v dřevařském průmyslu jako kaustifikační činidlo v síranových provozech (balicí papír). Přebytečný roztok  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  reaguje s vápnem za regenerace  $\text{NaOH}$ , který se používá ve výrobě:



Kolem 95 % kalu  $\text{CaCO}_3$  se suší a rekalcinuje v rotačních pecích a získává se  $\text{CaO}$ . Chlornan vápenatý (bělicí lázeň) pro papírny se připravuje reakcí vápna s  $\text{Cl}_2$ .

Výroba velmi kvalitního papíru vyžaduje velké množství speciálně sráženého  $\text{CaCO}_3$ . Připraví se kalcinací<sup>\*\*\*</sup> vápence, vzniklý  $\text{CaO}$  se hydratuje a karbonizuje a tak se získá žádaný produkt:



Typ získaných krystalů, stejně jako jejich rozměr a konstituce, závisí na teplotě, pH, intenzitě míchání, koncentraci a přítomnosti aditiv. Jemné krystalky jsou často dodatečně obalovány mastnými kyselinami, pryskyřicemi, smáčecími prostředky, aby se zlepšily jejich reologické vlastnosti.  $\text{CaCO}_3$  snižuje lesk způsobený aditivou (kaolínem). Takový papír může obsahovat 5 až 50 hmotnostních procent sráženého  $\text{CaCO}_3$ .  $\text{CaCO}_3$  se též užívá jako plnivo pryže, Latexu, malířských hlinek a emailů. Rovněž se přidává do plastů ( $\approx 10$  hmotn. %) na zlepšení tepelné odolnosti, rozměrové stability, tuhosti, tvrdosti a zpracovatelnosti.

Ve farmaceutickém průmyslu se  $\text{CaCO}_3$  používá jako lék proti překyselení žaludku, jako brusivo v zubních pastách a jako zdroj  $\text{Ca}$  při dietě. Dále se užívá jako složka žvýkačky a jako plnivo některých kosmetických výrobků.

---

<sup>\*\*\*</sup> Kalcinace je vysokoteplotní proces, ve kterém se jeden tuhý materiál odloučí na výrobu plynu, zatímco druhý vytvoří tuhou látku [45].

Vápno se používá rovněž v mlékárenském průmyslu. Vápenné mléko se často přidává po oddělení do smetany, aby se snížila její kyselost před pasterizací a převedením na máslo. Sebrané mléko se okyselí, kasein se odstraní a smísí s vápnem na kaseinový kliš. Fermentací zbylého sebraného mléka (syrovátky) a po přidání vápna vzniká mléčnan vápenatý, který se užívá v lékařství nebo se z něho po okyselení získává kyselina mléčná. Velké množství vápna se používá v cukrovarnictví. Surová cukrová šťáva se nechá reagovat s vápnem, tím se vyloučí sacharát vápenatý, některé nerozpustné soli a organické nečistoty.

Dalším zpracováním s  $\text{CO}_2$  vznikne nerozpustný  $\text{CaCO}_3$  a v roztoku zůstává čistá sacharóza. Proces se obvykle několikrát opakuje. Na výrobu 1 t třtinového cukru se spotřebuje přibližně 3 až 5 kg vápna, zatímco řepný cukr spotřebuje množství 100krát větší, tj. přibližně  $\frac{1}{4}$  tuny vápna na tunu cukru.

## DISKUSE

Hlavní cíl, vytvořit část pomocného studijního materiálu pro studenty povinného předmětu *Základy chemických výrob* v oboru Učitelství chemie pro základní školy, který je součástí navazujícího magisterského programu Učitelství pro základní školy na Pedagogické fakultě Masarykovy univerzity, byl splněn.

Bakalářská práce obsahuje celkem 11 kapitol. V kapitolách 1 až 4 jsou podrobně rozvedené výroby jednotlivých organických látek. Kapitoly 5 až 11 jsou orientované na látky anorganické, na jejich výskyt, výrobu a využití.

Práce obsahuje text, tabulky a obrázky. Některé obrázky převzaté z internetu bylo potřeba i detailněji popsat. Schémata výrob byla autorem překreslena podle knih nebo byla vytvořena na základě informací z textu.

V bakalářské práci však chybí řada popisů výrob látek z anorganické chemie a také by bylo vhodné doplnit ještě některé kapitoly z organické chemie, jako je např. výroba mýdla, tenzidů a detergentů či octové kyseliny. V diplomové práci se veškeré chybějící kapitoly doplní a budou přidány další obrázky. Bohužel u některých kapitol chybí přehledná schémata výrob a hodilo by se je vytvořit a do práce přidat.

Bude potřeba upravit také kapitolu 1, jelikož je z části psaná pouze heslovitě a bylo by vhodné ji rozvést na souvislý text. Pasáž z této kapitoly, která pojednává o zpracování uhlí, není příliš přehledná a bylo by potřeba ji alespoň částečně přepracovat nebo ji rozšířit doplňujícími informacemi.

Je třeba také uvést, že některé pasáže v bakalářské práci, které byly zpracovány ze starších knih, nebyly dostatečným způsobem zkontrolovány a aktualizované podle novějších zdrojů.

Pro větší přehlednost by se k výuce určitě hodily jako pomocný materiál i pracovní listy s vhodnými cvičeními.

## ZÁVĚR

Cíle formulované v úvodu bakalářské práce byly splněny. Byla vytvořena část studijního materiálu, která bude sloužit pro výuku předmětu *Základy chemických výrob*. V tomto studijním materiálu lze nalézt informace o výskytu, výrobě či využití vybraných látek z anorganické i organické chemie. Celkem bylo vytvořených 11 kapitol. Kapitoly 1 až 4 jsou zaměřené na organické látky a kapitoly 5 až 11 na látky anorganické. Bakalářská práce obsahuje text, 3 tabulky a 16 obrázků. Některé obrázky jsou schémata výrob, která autor práce překreslil z knih nebo byla vytvořena na základě informací z textu. Ostatní obrázky jsou pouze převzaté z internetu.

Jelikož se předmět vyučuje v jarním semestru a autor práci dokončil v podzimním semestru, nebylo prozatím možné ji využít a ověřit v praxi.

## **RESUMÉ**

Bakalářská práce je zaměřena na tvorbu studijního materiálu pro předmět *Základy chemických výrob*, který se vyučuje na Pedagogické fakultě Masarykovy univerzity. Bylo sestaveno celkem 11 kapitol popisujících chemické výroby z anorganické a organické chemie. Autor plánuje na výsledky své bakalářské práce navázat ve své diplomové práci.

### **Klíčová slova**

Chemie, výroby, studijní materiál, chemické výroby, výuka.

## **SUMMARY**

Bachelor thesis is focused on the creation of study material for the course called *Bases of Chemical Productions* which is held on Faculty of Education Masaryk University. Altogether there were created 11 chapters describing chemical productions of both inorganic and organic chemical substances. The author is planning to follow on this topic in his diploma thesis.

### **Key words**

Chemistry, productions, study material, productions of chemical substances, education.

## POUŽITÉ ZDROJE

1. GREENWOOD, N., EARNSHAW, A. *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, 1993. 1635 s. ISBN 80-85427-38-9.
2. VANĚČEK, V., MARKALOUS, F., NĚMEČEK, J., HEGNER, P. *Technologie pro 3. ročník středních průmyslových škol chemických*. 2., nezm. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983.
3. RAHM, V., ŠIMURDOVÁ, D., JANDA, V. *Technologie III a IV: pro 3. a 4. ročník středních odborných učilišť*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1988, 298 s.
4. HOLM, N., CHARLOU, O. 2001: *Initial indications of abiotic formation of hydrocarbons in the Rainbow ultramafic hydrothermal system, Mid-Atlantic Ridge*. *Earth and Planetary Science Letters*, vol 191, číslo 1–2, str 1–8.
5. Petroleum.cz: *Hypotézy o anorganickém původu ropy* [online]. [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: [http://www.petroleum.cz/ropa/anorganicky\\_puvod\\_ropy.aspx](http://www.petroleum.cz/ropa/anorganicky_puvod_ropy.aspx)
6. Geologická encyklopedie: *Sapropel*. [online]. [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?sapropel>
7. Život s autem: *Těžba ropy.cz* [online]. [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/ped/kat/fyzika/autem/pages/tezba-ropy.html#zpusoby\\_tezby](https://is.muni.cz/do/ped/kat/fyzika/autem/pages/tezba-ropy.html#zpusoby_tezby)
8. BLAŽEK, J., RÁBL V. *Základy zpracování a využití ropy*, 2. vyd. VŠCHT v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-619-2.
9. Oil well scheme, prostřednictvím Wikimedia Commons [online]. [cit. 2016-11-21] Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oil\\_well\\_scheme.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oil_well_scheme.svg)



10. HONZA, J., MAREČEK, A. *Chemie pro čtyřletá gymnázia: 2. díl*. 3. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2005. ISBN 80-7182-141-1.
11. Ekomonitor: *Stripovací proces* [online].[cit. 2016-03-27].  
Dostupné z: <http://www.striping.cz/stripovaci-proces>
12. Těžba a vznik uhlí: *Vznik uhlí* [online].[cit. 2016-11-03].  
Dostupné z: <http://tezba-a-vyuziti-cerneho-uhli.webnode.cz/uhli/vznik/>
13. OKD: *Jak uhlí vzniklo* [online].[cit. 2016-11-03].  
Dostupné z: <http://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/jak-uhli-vzniklo>
14. OKD: *Jak uhlí vzniklo* [online].[cit. 2016-11-26].  
Dostupné z: <http://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/uhli-tradicni-zdroj-energie/typy-uhli>
15. ČEZ, a.s. – *uhlí* [online].[cit. 2016-11-03].  
Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/uhli\\_1.html](https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/uhli_1.html)
16. Biom.cz: *Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění* [online].[cit. 2016-01-21].  
Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>
17. KIZLINK, J., *Technologie chemických látek a jejich použití* (čtvrté, přepracované a doplněné vydání) Brno: Vysoké učení technické v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2011, 546 s., ISBN 978-80-214-4046-3
18. Arnika: *Benzen* [online].[cit. 2016-11-03].  
Dostupné z: <http://arnika.org/benzen>
19. BENEŠOVÁ, M., SATRAPOVÁ, H. *Odmaturuj z chemie* 1. vyd. Brno: Nakladatelství DIDAKTIS, 2002, 208 s., ISBN 80-86285-56-1
20. Eurochem.cz: *Dehtové oleje*. [online].[cit. 2016-01-21].  
Dostupné z: [http://www.eurochem.cz/index/toxi/369\\_2919.htm](http://www.eurochem.cz/index/toxi/369_2919.htm)

21. Deza: *Fenoly, kresoly, kresolové kyseliny*. [online].[cit. 2016-01-21].  
Dostupné z: <http://www.deza.cz/fenoly-kresoly-kresolove-kyseliny>
22. KUBIČKA, D. *FISCHER-TROPSCHOVA SYNTÉZA*. Chem. Listy 106, 572–578 (2012).  
Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012\\_06\\_572-578.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012_06_572-578.pdf)
23. Abeceda Zdraví, *Sacharóza*. [online].[cit. 2016-03-28].  
Dostupné z: <http://www.abcdieta.cz/sacharoz>
24. GEBLER, J. *Historie cukrovarnického průmyslu na území dnešní České republiky* Praha, 2011.
25. Krmiva úpořiny: *Řepné řízky* [online].[cit. 2016-11-03].  
Dostupné z: <http://www.krmiva.uporiny.cz/node/24>
26. VELÍŠEK, J., HAJŠLOVÁ, J. *Chemie potravin 2*. 3. vyd.  
Havlíčkův Brod: Nakladatelství: OSSIS, 2009, 644 s., ISBN 978-80-86659-16-9.
27. CHRVALOVÁ, L., *Výroba škrobů a jejich použití v průmyslu* Zlín, 2009 Bakalářská práce: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jana Rieglová
28. Waterlife: *Průmyslové filtry pro odstranění mechanických nečistot AZUD* [online].  
[cit. 2016-01-21]  
Dostupné z: <http://www.waterlife.cz/produkty/prumyslove-filtry>
29. Amaranth Life s.r.o. *Amaranth* [online].[cit. 2016-03-14]  
Dostupné z: <http://www.amaranthlife.cz/>
30. SLAVÍK, B., ŠTĚPÁNKOVÁ, J. (ed.): *Květena České republiky 7*. 1. vyd.  
Praha: Nakladatelství: Academia, 2004, 767 s., ISBN 80-200-1161-7
31. MOUDRÝ, J.; STRAŠIL, Z. *Alternativní plodiny*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 1996. 90 s., ISBN 80-7040-198-2

32. Tapioka puding: *Maniok* [online].[cit. 2016-11-25]  
Dostupné z: <http://www.tapioca.cz/koren-manioku/>
33. Dwight Sipler from Stow, MA, USA (Amaranth "opopopeo"), prostřednictvím Wikimedia Commons [online].[cit. 2016-03-28]  
Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAmaranth\\_%22opopopeo%22\\_\(367191600\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAmaranth_%22opopopeo%22_(367191600).jpg)
34. Mlsáníčko.cz: *Topinambur* [online].[cit. 2016-11-25]  
Dostupné z: <http://www.mlsanicko.cz/topinambur-diabeticky-brambor/>
35. Českývirál.com: *Poznejte účinky Manioku jedlého: Zabijí rakovinu a léčí neplodnost* [online].[cit. 2016-11-25]  
Dostupné z: <http://ceskyviral.com/poznejte-ucinky-manioku-jedleho-zabiji-rakovinu-a-leci-neplodnost/>
36. HONZA, J., MAREČEK, A. *Chemie pro čtyřletá gymnázia - 3. díl.* (první vydání). Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2005. 256 s. ISBN 80-7182-057-1.
37. HONZA, J., MAREČEK, A. *Chemie pro čtyřletá gymnázia - 1. díl.* (třetí opravené vydání). Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 1998. 124 s. ISBN 80-7182-055-5.
38. VACÍK, J. a kolektiv *Přehled středoškolské chemie*. Praha: STN, 1995, 365 s. ISBN 80-85937-08-5
39. VERNER, M. *Ilustrovaná encyklopedie starého Egypta*. vyd. 1. Praha: Karolinum, 1997, 487 s. ISBN 80-7184-446-2.
40. BAREŠ, L., VESELÝ, R., GOMBÁR, E. *Dějiny Egypta*. vyd. 1. Praha: NLN, Nakladatelství Lidové noviny, 2009. ISBN 978-80-7106-971-3.
41. HAVÍŘ, E. ©2009. *Tutanchamon* [online].[cit. 29-01-2016].  
Dostupné z <http://www.tutanchamon.euweb.cz/>

42. Remy H.: *Anorganická chemie*, I. díl., Praha, SNTL, 1971.
43. PETRÁNEK, J. *Usazené horniny*. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd, 1963. 687 s.
44. KEIM INFO magazín: *O vápně* [online].[cit. 2016-03-13].  
Dostupné z: <http://www.keim.cz/info/00-1/info1.htm>
45. Carbolite Gero: *Kalčinace* [online].[cit. 2016-03-13].  
Dostupné z: <http://www.carbolite-gero.cz/cz/aplikace/techniky-tepelneho-zpracovani/kalcinace/>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma separace základních složek ze zemního plynu (upraveno dle [2]).	8
Obrázek 2: Schéma těžební věže s popisem [9].	11
Obrázek 3: Rafinace (upraveno dle [2]).	12
Obrázek 4: Strukturní vzorec isooktanu.	14
Obrázek 5: Přehled výroby mazacích olejů (upraveno dle [2]).	15
Obrázek 6: Schéma vzniku uhlí.	16
Obrázek 7: Hlubinná těžba uhlí [15].	17
Obrázek 8: Schéma výroby cukru.	25
Obrázek 9: Řepné řízky[25].	25
Obrázek 10: Schéma výroby bramborového škrobu.	27
Obrázek 11: Schéma výroby pšeničného škrobu.	28
Obrázek 12: Schéma výroby kukuřičného škrobu.	29
Obrázek 13: Amaranth [34].	30
Obrázek 14: Hlízy topinamburu [35].	30
Obrázek 15: Maniok [36].	30
Obrázek 16: Schéma zařízení na destilaci vzduchu (upraveno dle [1]).	34

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Ropné frakce [2].	13
Tabulka 2: Složení atmosféry [1].	33
Tabulka 3: Cena kovového hliníku (USD za kilogram hliníku) [1].	45

## **BIBLIOGRAFICKÝ ZÁZNAM**

LEBLOCH, J. *Základy chemických výrob* Brno: PdF MU, 2016. 62 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Mgr. Hana Cídllová, Dr.