

# **VÝROBA KYSLÍKU A DUSÍKU**

Mgr. Jana Prášilová  
prof. RNDr. Jiří Kameníček, CSc.

Olomouc, 2013

## Obsah

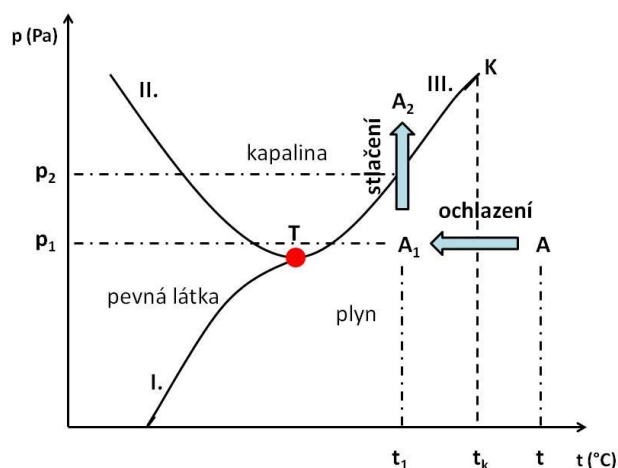
1. Téma v učebnicích používaných na gymnáziích
2. Teoretické poznatky k problematice
  - 2.1. Obsah kyslíku a dusíku ve vzduchu
  - 2.2. Zkapalňování vzduchu
  - 2.3. Oddělování jednotlivých složek směsi kapalného vzduchu
  - 2.4. Jiné metody pro výrobu kyslíku a dusíku
3. Náměty na vhodné demonstrační experimenty
4. Pracovní list pro žáka
5. Metodika pro hodinu základního typu
6. Použitá literatura a elektronické zdroje



## 2.2. Zkapalňování vzduchu

Obecné vysvětlení lze demonstrovat na izotermickém fázovém diagramu látky A (Graf 2). Látky existují při vhodné kombinaci teploty a tlaku v různých fázích (plyn, kapalina či pevná látka), které jsou vzájemně v rovnováze.

Graf 2: Fázový diagram látky A



### Popis grafu:

- T - trojný bod (koexistence tří fází)
- K - kritický bod
- A - plyn
- A<sub>1</sub> - plyn
- A<sub>2</sub> - kapalina
- t - teplota plynu A
- t<sub>k</sub> - kritická teplota
- t<sub>1</sub> - teplota plynu A<sub>1</sub>
- p<sub>1</sub> - tlak plynu A<sub>1</sub>
- p<sub>2</sub> - tlak rovnováha plyn/kapalina
- I. - sublimační křivka
- II. - křivka tání
- III. - křivka nasycených par

Látka existuje při teplotě  $t$  a tlaku  $p_1$  jako plyn (bod A, Graf 2). Ochladíme-li plyn při konstantním tlaku na teplotu  $t_1$  (pod tzv. kritickou teplotu – nejvyšší teplota, při níž ještě může dojít ke zkapalnění zvýšeným tlakem), získáme plyn ve stavu A<sub>1</sub>. Zvýšením tlaku nad hodnotu  $p_2$  přejde plyn A<sub>1</sub> na kapalinu A<sub>2</sub>. Z grafu je patrné, že čím více ochladíme plyn pod kritickou teplotu, tím nižší tlak stačí k jeho zkapalnění.

Vzhledem k tomu, že vzduch je směs a každá složka má jinou kritickou teplotu (viz Tabulka 2), bylo třeba najít optimální postup pro zkapalnění a oddělení kyslíku a dusíku.

Tabulka 2: Teplota varu a kritická teplota hlavních složek vzduchu (zaokrouhleno)

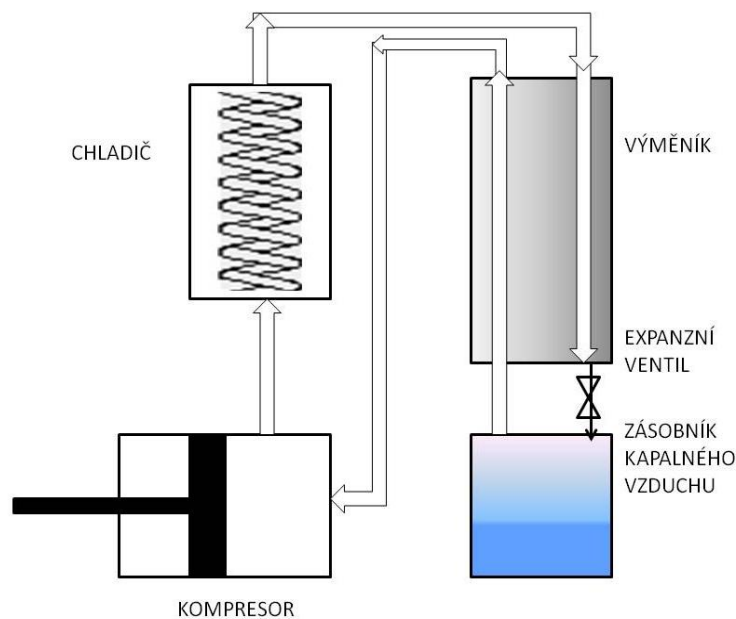
Složka	Kritická teplota (°C)	Teplota varu (°C) při normálním tlaku
dusík	- 147	- 196
kyslík	- 119	- 183
argon	- 86	- 186
oxid uhličitý	+ 31	- 78

Před zkapalněním se vzduch nejprve **zbavuje nežádoucích složek**, např. vodní páry, oxidu uhličitého a prachových částic. Další nežádoucí složky by při výrobních

teplotách (viz teploty varu v Tabulce 2) a tlacích existovaly jako pevné látky (krystalky) a znemožňovaly by výrobní proces (např. by mohlo dojít k ucpání ventilů). Celý proces očištění a zkapalnění lze popsat v následujících krocích (popis vysokotlakého Lindeho způsobu):

- proháněním přes filtr se vzduch zbaví prachových částic
- průchodem přes komoru s hydroxidem sodným se odstraní oxid uhličitý
- za použití vysoušecí látky je ze vzduchu odstraněna vodní pára
- vzduch se stlačí, čímž vzroste jeho teplota a následně ochladí vhodným chladicím médiem v chladiči
- nechá se prudce expandovat přes škrtecí ventil do expanzní nádoby, čímž dojde u většiny plynů k poklesu teploty (dle Joule-Thomsonova jevu)
- další expanzí dojde k dalšímu poklesu teploty a zkapalnění vzduchu

Zařízení pracuje kontinuálně, cyklicky (viz Obrázek 1).



Obrázek 1: Lindeho způsob zkapalňování vzduchu

### 2.3. Oddělování jednotlivých složek směsi kapalného vzduchu

K oddělení jednotlivých složek kapalného vzduchu (zbaveného nežádoucích příměsí) se využívá frakční destilace - rozdělení složek na základě jejich rozdílné teploty varu (viz Tabulka 2). Zařízení je sestaveno ze dvou spojených dělicích kolon (viz Obrázek 2).

#### a) dolní – vysokotlaká kolona

podmínky: tlak 0,5 MPa  
teplota ve spodní části -175 °C  
teplota ve vrchní části kolony -179 °C

probíhají procesy:

- kapalný vzduch je přiváděn do spodní části kolony
- dusík obsažený ve vzduchu vře za vyššího tlaku při vyšší teplotě (-175 °C), než je jeho teplota varu za normálního tlaku (-196 °C)
- páry dusíku se shromažďují ve vrchní části kolony
- po ochlazení par v horní části kolony klesá dolů kapalina ochuzená o část dusíku
- páry bohaté na dusík se odvádějí do vrchní části horní kolony

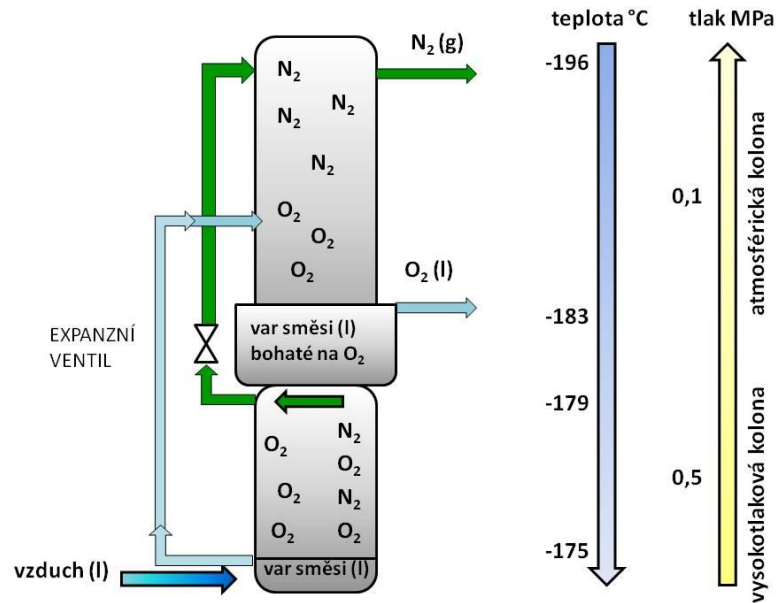
#### b) horní – atmosférická kolona

podmínky: tlak 0,1 MPa  
teplota ve spodní části -183 °C  
teplota ve vrchní části -196 °C

probíhají procesy:

- do středu atmosférické kolony se nastříkuje kapalina bohatá na kyslík
- ve spodní části kolony kapalina bohatá na kyslík vře a páry stoupají do vrchní části kolony
- zde se setkají s parami bohatými na dusík z dolní komory
- dole se hromadí kapalina sestávající téměř z čistého kyslíku (I)

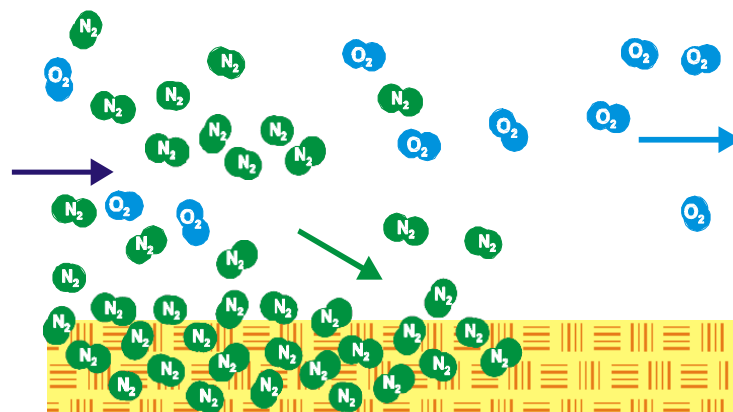
## Výroba kyslíku a dusíku



Obrázek 2: Zjednodušené schéma oddělování složek kapalného vzduchu

### 2.4. Jiné metody pro výrobu kyslíku a dusíku

Pro dělení vzduchu byla vyvinuta metoda založená na adsorpci plynu na molekulových sítích (látka s přesně definovanou velikostí pórů) – metoda PSA (**P**ressure **S**wing **A**dsorption). Jestliže chceme oddělit ze vzduchu dusík, použijeme jako molekulové síto zeolit (jílová látka). Vzduch prochází za zvýšeného tlaku (dusík se lépe adsorbuje) molekulovým sítem a zachycuje se na jeho povrchu. Kyslík (a další plyny) procházejí volně. Poklesem tlaku zpět na atmosférický dojde k uvolnění dusíku ze síta a jeho jímání. Celý proces trvá několik sekund.



Obrázek 3: Separace dusíku na molekulových sítích (převzato z [2])

### 3. Náměty na vhodné demonstrační experimenty

#### Důkaz kyslíku a dusíku ve vzduchu

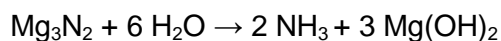
Pomůcky: kachlík, kádinka o objemu 400 cm<sup>3</sup>, čajová svíčka, miska s pískem

Chemikálie: hořčičkové hobliny

Pracovní postup:

- do misky s pískem umístíme čajovou svíčku a zapálíme,
- hořící svíčku přikryjeme kádinkou, pozorujeme změny,
- na kachlík dáme lžičku hořčičkových hoblin, umístíme na misku s pískem,
- hobliny zapálíme a přikryjeme kádinkou, kterou zatlačíme do písku, pozorujeme změny.

Pozorování: Po vyčerpání kyslíku pod kádinkou, svíčka zhasne. Hořčík po spotřebování kyslíku začne reagovat s dusíkem na nitrid a hoří tedy déle. Přítomnost nitridu hořečnatého v produktu lze prokázat přidáním vody, která nitrid rozloží za vzniku amoniaku, který lze prokázat Nesslerovým činidlem (popř. identifikovat čichem či ovlhčeným pH papírkem).





### 4. Pracovní list pro žáka

**Doplň údaje do obrázku rektifikační kolony pro získávání kyslíku a dusíku ze vzduchu!**

teplota °C    tlak MPa

EXPANZNÍ VENTIL

N<sub>2</sub>    N<sub>2</sub>    N<sub>2</sub>

O<sub>2</sub>    O<sub>2</sub>    O<sub>2</sub>

var směsi (l) bohaté na O<sub>2</sub>

-183

-179

var směsi (l)

atmosférická kolona

vysokotlaková kolona

K doplnění:

- 196
- 175
- N<sub>2</sub> (g)
- O<sub>2</sub> (l)
- vzduch (l)
- 0,1 MPa
- 0,5 MPa

©Prášilová, Kameníček

**Doplň údaje do obrázku rektifikační kolony pro získávání kyslíku a dusíku ze vzduchu!**

teplota °C    tlak MPa

EXPANZNÍ VENTIL

N<sub>2</sub> (g)    N<sub>2</sub>    N<sub>2</sub>

O<sub>2</sub> (l)    O<sub>2</sub>    O<sub>2</sub>

var směsi (l) bohaté na O<sub>2</sub>

-196

-183

-179

-175

vzduch (l)

atmosférická kolona

vysokotlaková kolona

K doplnění:

## 5. Metodika pro hodinu základního typu

Zařazení tématu do výuky:

Anorganická chemie ⇒ p-prvky a jejich sloučeniny ⇒ kyslík ⇒ výroba kyslíku a dusíku

Téma I	Ročník
Výroba kyslíku a dusíku	2. ročník
<b>Vstupní předpoklady</b>	
<p>Žák by se měl orientovat v následující problematice:</p> <p>Kapaliny. Plyny. Pevné látky.            Teplota varu.            Destilace.            Adsorpce.</p>	
<b>Předpokládané výsledky výuky</b>	
<p>Žák:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• určí přibližný objem plynů ve vzduchu</li> <li>• na fázovém diagramu naznačí podmínky, za kterých je možné plyn zkapalnit</li> <li>• zakreslí a popíše zařízení pro oddělování složek kapalného vzduchu</li> <li>• zaznačí místo a přibližnou teplotu, při které se odebírá ze zařízení dusík a kyslík</li> <li>• vysvětlí princip jiné možnosti oddělení kyslíku a dusíku</li> </ul>	
<b>Metody výuky</b>	<b>Učební pomůcky</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• diskuse</li> <li>• demonstrační výklad</li> <li>• práce ve skupině</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prezentace k tématu v MS PowerPoint</li> <li>• pracovní list pro žáka</li> <li>• učební text</li> <li>• poster s nákresy výrobních zařízení</li> <li>• pomůcky na demonstrační experiment</li> </ul>

Na úvod hodiny učitel předvede demonstrační pokus a rozvede diskusi o zastoupení jednotlivých plynů ve vzduchu. Za pomoci obrázků zařízení objasní postup získávání kyslíku a dusíku. Pomocí společné práce na doplňování obrázků v pracovním listu proběhne upevnění učiva.

## 6. Použitá literatura a elektronické zdroje

1. NEISER, J.: *Základy chemických výrob: Vysokoškolská učebnice pro studenty pedagogických a přírodovědeckých fakult studijního oboru 76-12-8 učitelství všeobecně vzdělávacích předmětů*. Praha 1988.
2. WICHTERLE, K.: *Chemická technologie*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2010.