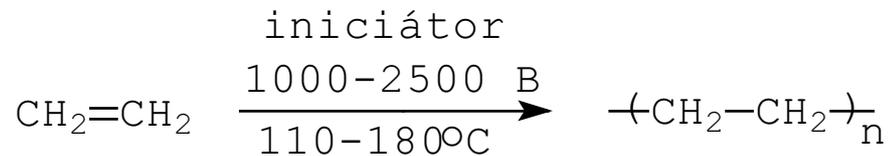


### 3. Reaktory pro exotermní reakce v plynné fázi

Příkladem takové reakce je **vysokotlaká radikálová polymerace ethylenu**

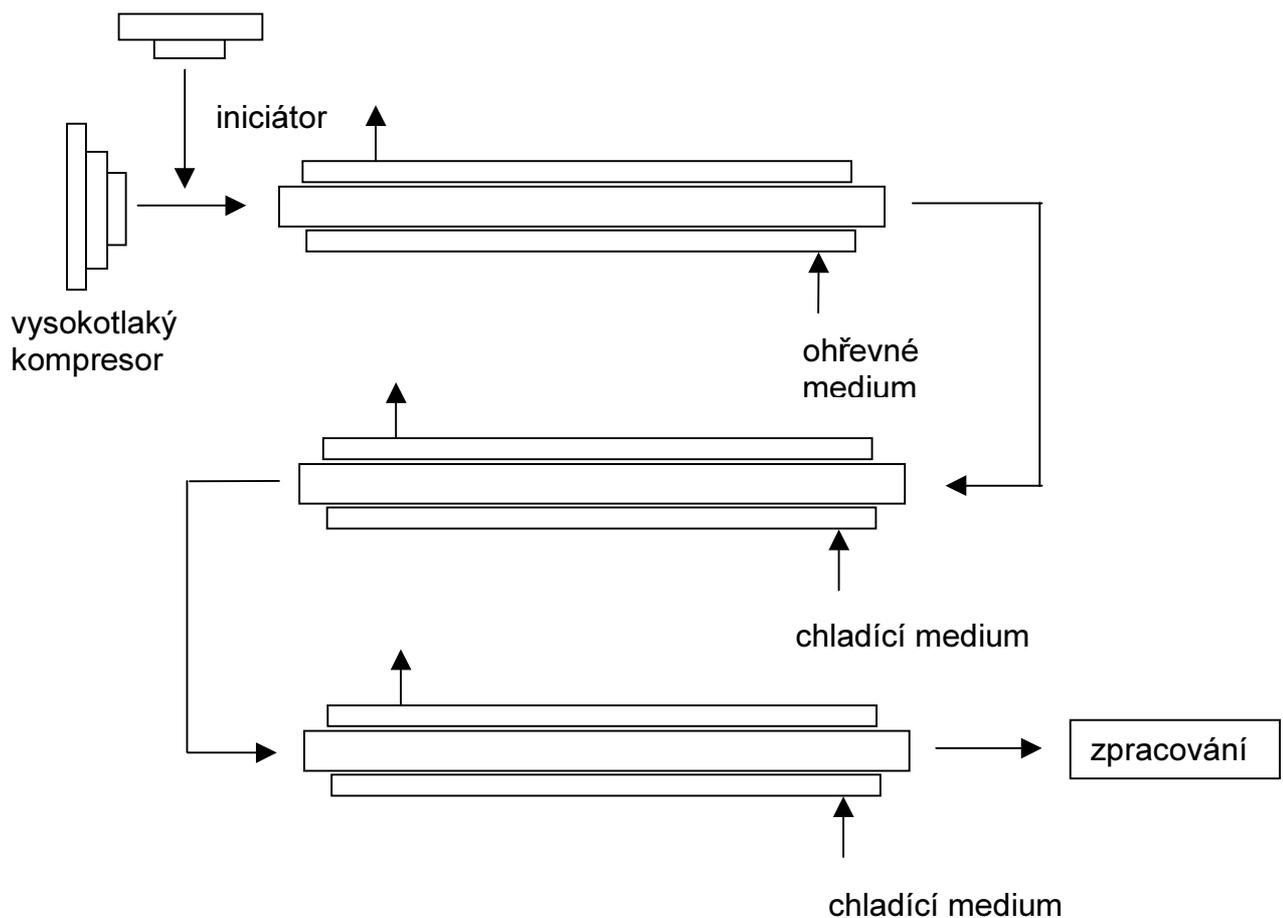


Pro upřesnění: **1 at = 1,0197 B**

Na jeden kg produktu se uvolní asi **4000 kJ**, to znamená, že reakce je **silně exotermní**. Během reakce nesmí teplota přestoupit určitou mez. Proto reaktor je konstruován tak, že v první části se zahřívá na potřebnou počáteční (iniciační) teplotu a během reakce se pak vznikající teplo odvádí.

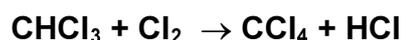
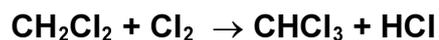
Reakce se uskutečňuje v trubkovém reaktoru, kde základem jsou **trubky z legované ocele**, vnitřního průměru okolo **50 mm a dlouhé 10-20 m**.

Iniciátorem jsou sloučeniny produkující tepelným rozkladem radikály, např. peroxidy či azosloučeniny.

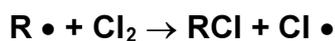


Dalším příkladem je **termická chlorace methanu** (opět radikálová reakce), kde:

**Sumární stechiometrické rovnice:**

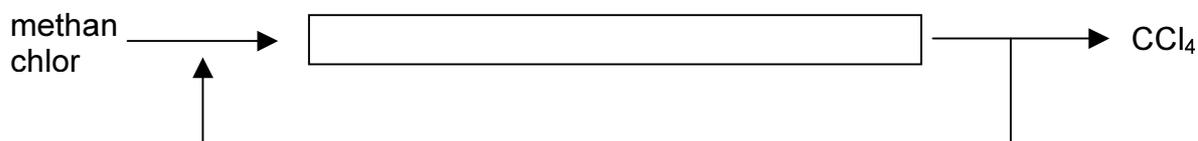


Termická chlorace se uskutečňuje při 200 - 700°C a tlaku vyšším 1B. Z kinetického hlediska a z hlediska reakčního mechanismu se jedná o radikálovou řetězovou reakci:

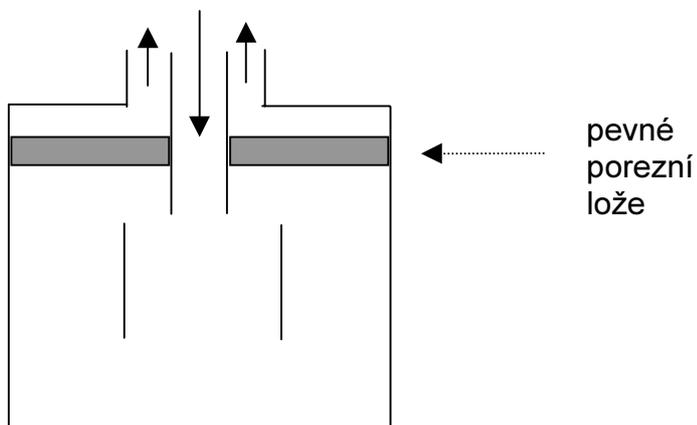


Výchozí reakční směs musí v reaktoru nejprve dosáhnout potřebnou teplotu a potom nesmí překročit limitní teplotu, jinak by nastal nekontrolovatelný výbuch.

Při **výrobě chloridu uhličitého** se pracuje v trubkovém reaktoru, kdy prudkému průběhu reakce se zamezuje zředováním výchozích komponent a to produktem reakce:



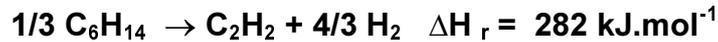
Při chloracích do nižšího stupně (výroba  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) je základem pec, reaktor průměru 1 - 3 m, výšky 4 - 8 m, který pracuje v podstatě adiabaticky, kdy vestavěné přepážky zajistí zpětné promíchávání reakční směsi:



#### 4. Reaktory pro endotermní reakce v plynné fázi

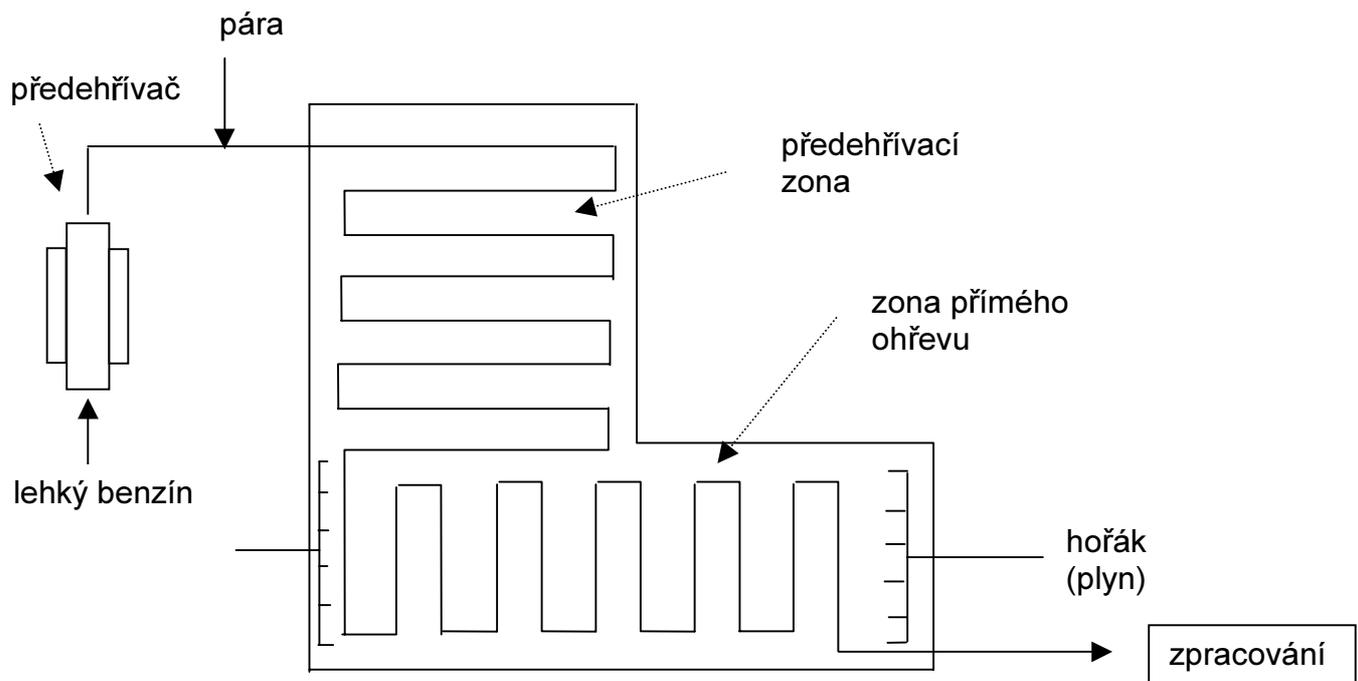
Jedním z nejdůležitějších příkladů je **termické štěpení uhlovodíků**, nebo-li **výroba ethylenu a acetylenu**, kde:

**Stechiometrické rovnice:**

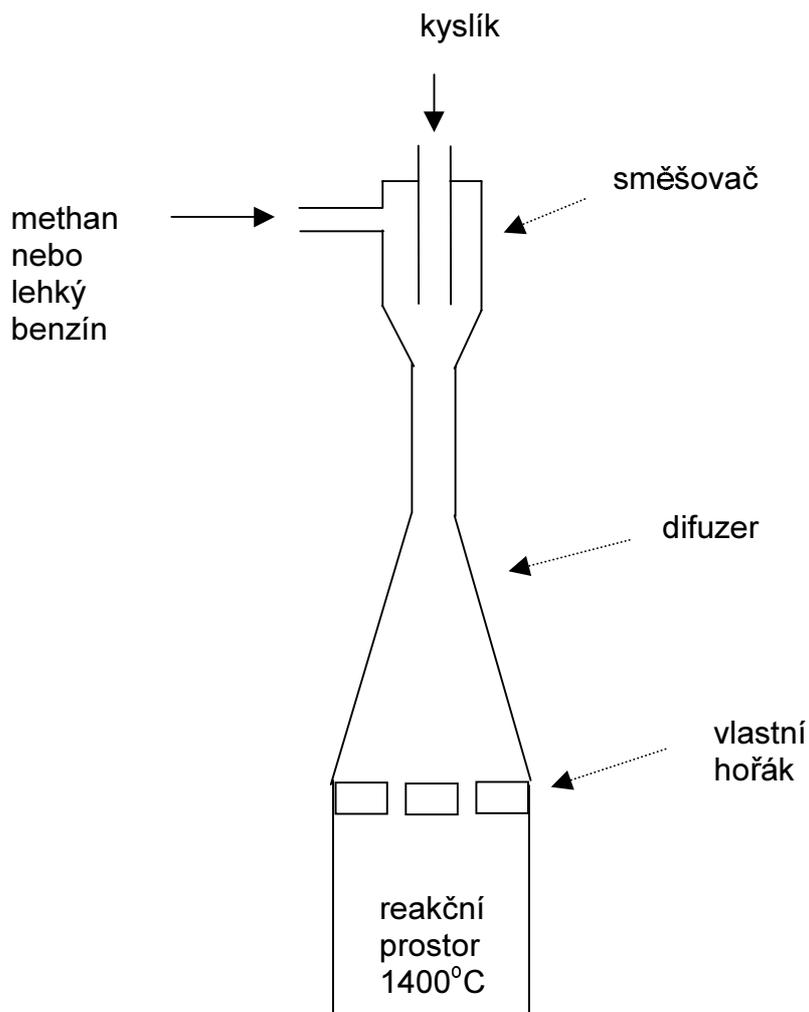


Pracovní teplota, kdy probíhá dehydrogenace a štěpení C-C vazeb je okolo 1000°C.

**Výroba ethylenu** z lehkého benzínu se uskutečňuje v **trubkové peci**, jejímž základem jsou trubky z chrom - niklové ocele, délky 50 - 200 m, vnitřního průměru 100 mm, které se nachází v peci vyhřívané např. plynem:



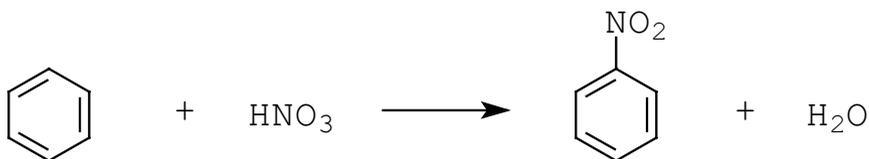
**Výroba acetylenu** je mnohem náročnější na množství potřebného tepla, které je nutné během reakce dodat. Zde by už nepřímý ohřev reakční směsi nestačil a proto se provádí tzv. **přímý ohřev**, a to částečným spalováním výchozího lehkého benzínu, kdy vzniklé teplo štěpí nespálený uhlovodík na acetylen. Základem je **hořák** přibližně 10 m velký, kde se v pracovním prostoru docílí potřebné teploty 1400°C:



## 5. Reaktory pro reakce v heterogenních fázích kapalina - kapalina

Rychlost reakcí v heterogenních fázích je přímo úměrná stykové ploše obou fází (plocha pro výměnu hmoty). Z toho pramení nutnost velmi intenzivního míchání, aby v tomto případě emulze byla co nejjemnější.

Příkladem je **nitrace benzenu**:

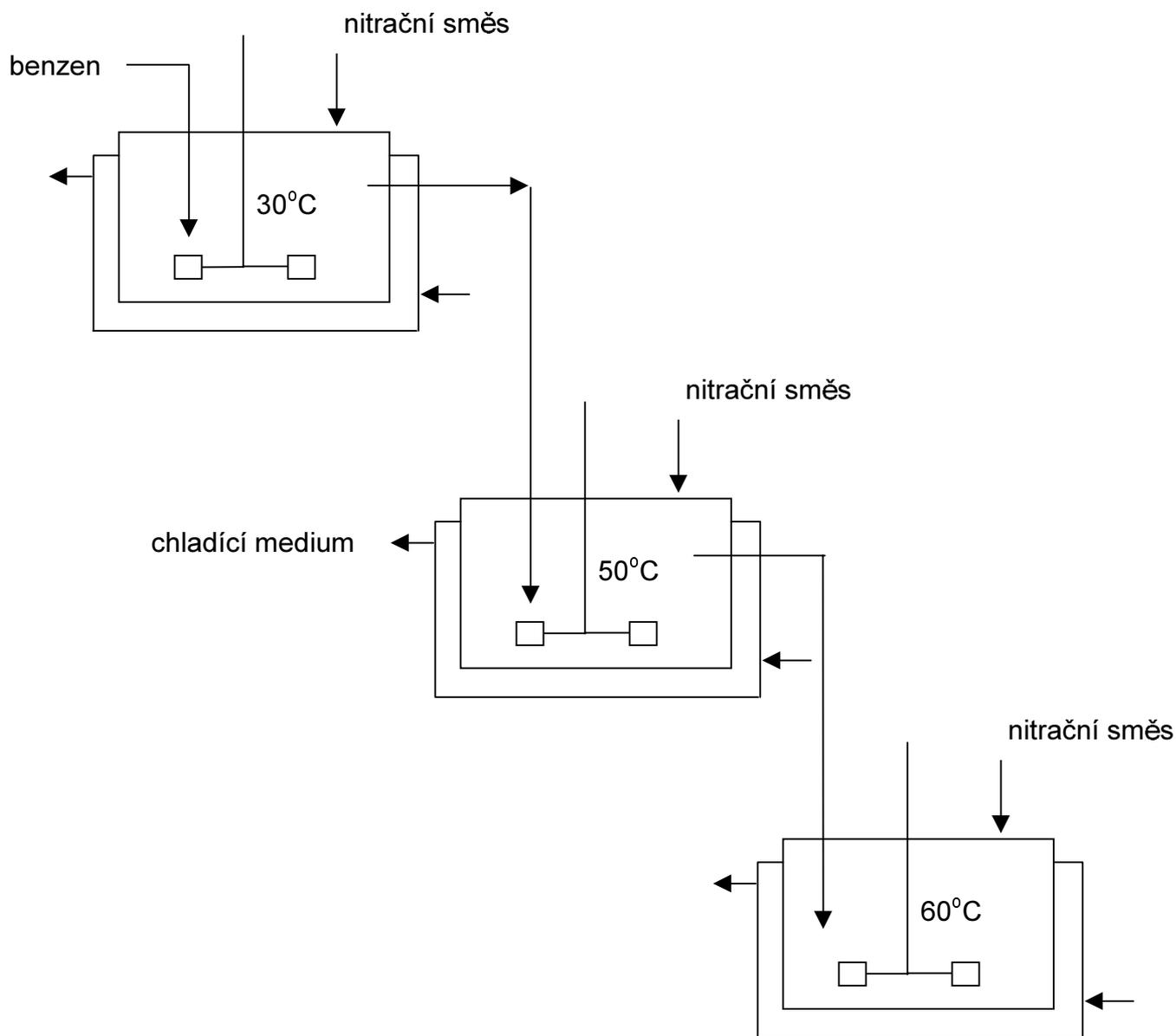


$$\Delta H_r = - 117 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

Jedná se o heterogenní soustavu, kde benzen je organickou fází  $I_1$  a nitrační směs (vodní) fází  $I_2$ . Obě fáze jsou spolu nemísitelné, takže rychlost nitrace je úměrná stykové ploše obou fází.

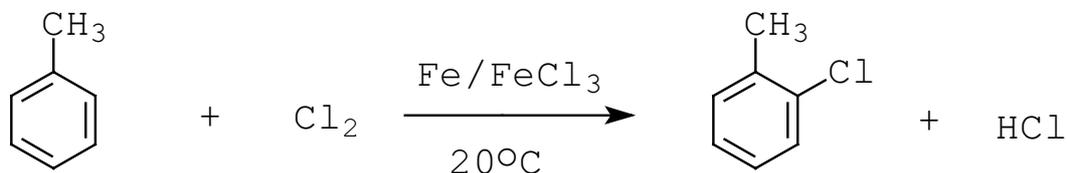
**Diskontinuální způsob nitrace** se uskutečňuje v **litinovém duplikátoru**, opatřeného vrtulovým míchadlem, kdy se do reaktoru předloží benzen a pomalu se připouští nitrační směs (30%  $\text{HNO}_3$ , 60%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 10%  $\text{H}_2\text{O}$ ). Reakční směs je pláštěm chlazena na potřebnou teplotu.

**Kontinuální způsob nitrace** se může provádět v sérii tří průtokových míchaných reaktorů, kde výhoda tohoto způsobu spočívá v tom, že se v daném okamžiku zpracovává malé množství reakční směsi (ekonomické a bezpečnostní hledisko), navíc v každém z reaktorů lze nastavit optimální podmínky reakce (postupně zvyšovat reakční teplotu a koncentraci nitrační směsi):

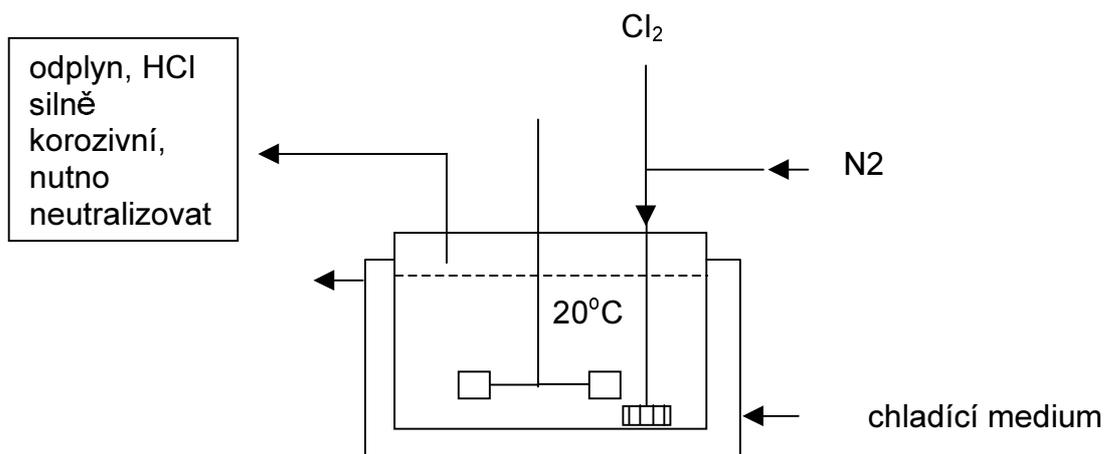


## 6. Reaktory pro reakce v heterogenních fázích kapalina - plyn

Opět je potřeba, aby styk fází byl co největší. Příkladem použití **vsádkového reaktoru** je **chlorace toluenu**:



Reakce se provádí tak, že do **duplikátoru** opatřeného silným kotvovým míchadlem se předloží toluen a směs prachového železa a chloridu železitého. Za míchání se přivádí chlor a to takovou rychlostí, aby se reakční směs stačila uchládit na maximální teplotu 20°C. Reakce je totiž **silně exotermní**. Do reaktoru je zaveden přívod plynu, obvykle trubka zakončená fritou pro jemnou dispergaci plynu. Plyn se zavádí „pod míchadlo“. Na toto potrubí je také zapojen dusík na odstranění („propláchnutí“) zbytků chloru po skončení reakce:



Z hlediska fází tento příklad není úplně „čistý“, protože se jedná o systém l + g + s.

Příkladem použití průtokových míchaných reaktorů je **oxidace cyklohexanu na cyklohexanon**:



Jedná se o exotermní radikálovou řetězovou oxidaci, která se uskutečňuje v **kaskádě tří průtokových míchaných reaktorů**, kde vznikající teplo se odvádí varem reakční směsi (vazba mezi tlakem a teplotou varu), maximální selektivita je při 155°C a tlaku 8 - 9 B. Řada následných konverzí si žádá, aby konverze C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> nebyla úplná.

