



Středoškolská technika 2017

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Pyrolýza plastů

Václav Mikulec

Gymnázium Jana Nerudy, škola hl. m. Prahy
Hellichova 3, Praha 1

OBSAH

Představení projektu	2
Praktická část.....	3
Úvod do praktické části:.....	3
Konstrukce aparatury:	3
Reakční nádoba:	4
Chladič:	5
Kondenzační nádoba:	5
Ovládací panel:.....	6
Modifikace a možné vylepšení:.....	7
Zhodnocení produktu:	7
Závěr.....	8

PŘEDSTAVENÍ PROJEKTU

V rámci studentských projektů jsme vypracovali studii na téma pyrolýza plastů. Zpracování plastů je v současnosti velmi aktuální téma. Pyrolýza plastů, kterou se projekt zabývá, umožňuje vytvářet ekologickým způsobem pohonné hmoty a to recyklací již použitého materiálu. Principem reakce je jednoduchý termický proces, při kterém po teplotním působení dochází k překročení meze stability organické látky. Polymerní sloučenina – plast se může rozštěpením řetězce přeměnit na benzin/olej. Cílem naší práce bylo projektování a následná konstrukce plně funkční aparatury na pyrolýzu odpadního plastu.

První část naší práce se zabývá konstrukcí plně funkční aparatury na pyrolýzu plastů. Výchozím bodem k naší konstrukci byly po domácku vyrobené aparatury ze zemí třetího světa. Tyto aparatury postrádají často samotný chladič, reakční nádoba netěsní a není z vhodného materiálu, přičemž většinou není poskytován dostatečný výhřevný výkon a aparatura není schopna bez poruchy a komplikací podstoupit více než jeden cyklus. Navrhli jsme řešení, které všechny vyjmenované nedostatky eliminuje. Reakční nádoba naší aparatury pojme až 700 g plastu. Aparatura je vybavena pojistnými a kontrolními obvody, jako jsou dva termistorové teploměry ukazující aktuální teplotu reakční nádoby a teplotu chladiče. Bezpečnost reakční nádoby zajišťuje manometr a pojistný ventil. Reakční nádobě dodává teplo plynový hořák o výkonu až 50 kW. Naše aparatura je schopna výborně demostrovat, co se děje v průmyslových kolonách na pyrolýzu ve zmenšeném měřítku.

Druhá část naší práce se zabývá analýzou produktů vytvořených naší aparaturou a jejich čistotou. Náš koncept aparatury je perspektivní hlavně z hlediska zmíněných zemí třetího světa, kde není jednoduchý přístup k pohonným hmotám a obyvatelé si často vytváří své pohonné hmoty již zmíněným procesem pyrolýzy plastů.

PRAKTICKÁ ČÁST

ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI:

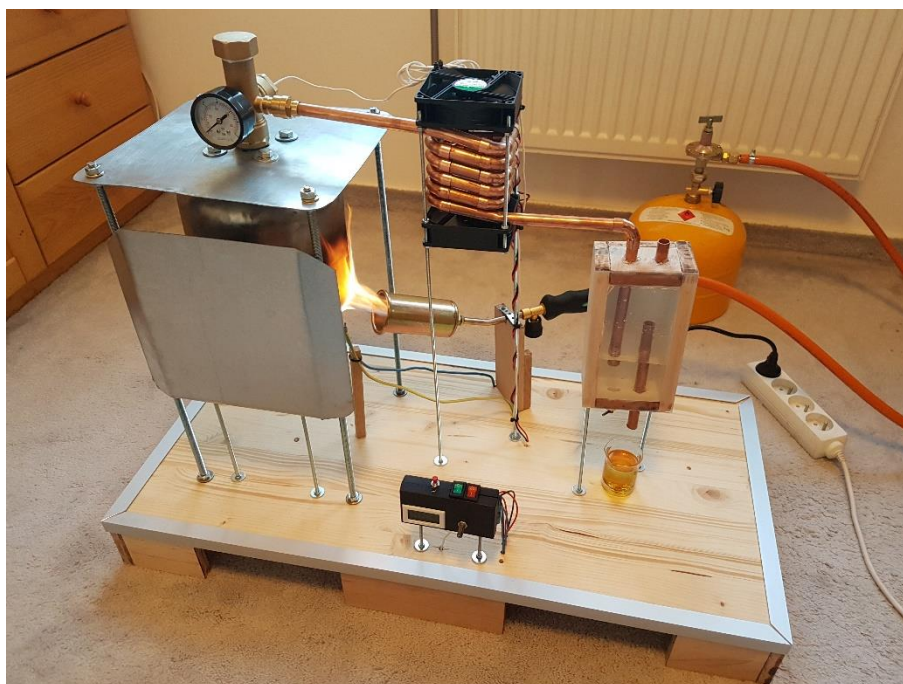
Po domácku vyrobené, primitivní kolony na pyrolýzu plastů se hojně využívají v zemích třetího světa, kde není dostatek pohonných hmot a zároveň zde je velké množství plastu v podobě odpadu. Pro naši aparaturu jsme si stanovili kritéria účinnosti, kompaktnosti, multifunkčnosti a kvality z pohledu dlouhodobého využívání aparatury.

V první fázi praktické části bylo vytvoření konceptu plně funkční aparatury primárně určené na pyrolýzu plastů, která bude splňovat již zmíněná kritéria. Prvotní návrh vycházel z podomácku vyrobených aparatur ze zemí třetího světa, které jsme s cílem splnění našich kritérií modifikovali. Úpravy zahrnovaly změny materiálů, přidavky nových konstrukčních prvků, přidavek nových bezpečnostních prvků apod. Naše aparatura je vybavena sofistikovanou elektronikou řídicí a monitorující celý proces.

KONSTRUKCE APARATURY:

Nejprve jsme museli vyřešit problematiku použitých materiálů. Byli jsme omezeni hlavně kritériem kompaktnosti a mobility. Průmyslové aparatury na pyrolýzu zabírají několik desítek metrů čtverečných, a to si my nemůžeme dovolit, tím pádem jsme zvolili bytelnou dřevěnou podstavu o rozměrech 125 x 85 cm, která nám umožňuje jednoduché ukotvení jednotlivých komponentů za pomoci závitových pilotů, které nám umožňují jednoduchou manipulaci s celou aparaturou z hlediska modifikací a oprav. Ve chvíli, kdy byl vyřešen kotvící systém, jsme se zabírali jednotlivými komponenty, které budou v následující části dokumentu podrobně popsány. Celá aparatura se skládá z celkem pěti komponentů, a to: reakční nádoby, chladiče, kondenzační nádoby, ovládacího panelu a zahřívacího systému (viz Obr. 1).

OBR. 1



REAKČNÍ NÁDOBA:

Jako reakční nádoba posloužila expanzní nádoba na vodu o objemu 3 l využívaná jako součást domácích vodáren. Tato nádoba byla pro naše použití vhodná zejména z důvodu vysoké tepelné odolnosti. Nádoba je vyrobena z nerezové oceli o tloušťce 1,5 mm a zároveň je kalibrovaná na tlak až 10 barů, což zcela postačuje našim účelům. Nádobu bylo třeba modifikovat. Nejprve se musel nahradit vyrovnávací ventil, který byl původně na dně nádoby šroubem, aby nádoba měla pouze jeden hlavní výstup. Poté jsme museli vyjmout gumový vak, který se nachází uvnitř expanzních nádob a zajišťuje primární funkce. Reakční nádoba musí zároveň mít nereaktivní vnější i vnitřní povrch, a to obzvláště vzhledem k vystavení přímému ohni zvenčí a vystavení rozpouštědlům zevnitř. Z tohoto důvodu jsme museli výbrusem odstranit vnější lak a vnitřní lak byl odstraněn za pomoci odlakovacího rozpouštědla.

Takto upravený kotel jsme poté opatřili přírubou, která převádí multifunkční otvor na trubku se závitem $\frac{3}{4}$. Na tento závit je vertikálně našroubovaná mosazná pěticestá tvarovka, u které vrchní otvor slouží jako plnicí otvor a zároveň je v plnicí záslepce zapuštěn pomocí epoxidu termistor, který je propojený s kontrolním panelem a má za úkol monitorovat teplotu vyvíjeného pyrolýzního plynu, který by se mohl při překročení určité teploty vznítit. V horizontálním směru jsou obsazeny dva výstupy, jeden pro mechanický manometr, měřící v rozsahu 0-6 barů, který nám také pomáhá udržet chod procesu pyrolýzy pod kontrolou. Z druhého výstupu horizontálně vede redukce na měděnou trubku o průměru 12 mm, která pokračuje jako samotný chladič. Takto osazená reakční nádoba je upevněna na podkladovou desku pomocí zmíněného systému závitových pilotů, které jsou připevněny k ocelové desce, jež slouží jak jako součást nosné konstrukce, tak i jako tepelný izolant, který zamezuje nadměrnému zahřívání vrchní části kotle, tedy tvarovky s příslušenstvím (viz Obr. 2). Mimo to je před samotným kotlem na podkladové desce připevněn a řádně odizolován tvarovaný plechový plát, který zajišťuje bezpečnost operátora u aparatury, kdyby došlo k výšlehu plamene zahřívacího systému. Obě ocelové desky jsou při procesu permanentně rozžhavené na více jak 300 °C, a proto jsou vybaveny varovnou cedulí.

OBR. 2



CHLADIČ:

Aby mohl vyvíjený pyrolýzní plyn správně kondenzovat v kondenzační nádobě, je třeba ho intenzivně zchladit. Chlazení pyrolýzního plynu jsme řešili vertikálním vinutým chladičem, který je v základu zhotovený z měděné trubky s průměrem 12 mm navinuté do spirály o šesti závitů, abychom maximalizovali plochu pro tepelnou výměnu s okolím. Měď jsme volili jako materiál proto, že je výborným vodičem tepla a zároveň je odolná proti korozi díky pasivaci vlastního povrchu. Spirála je horním výstupem přiletovaná k redukci na pěticesté tvarovce a spodním výstupem ústí přímo do kondenzační nádoby. Takto připravená spirála byla obohacena o dvojici větráků, každý o průměru 100 mm, které zajišťují cirkulaci vzduchu uprostřed a kolem spirály. Oba větráky jsou ovládány přes kontrolní panel, na kterém můžeme nastavit počet otáček pro optimální chlazení vůči teplotě na termistoru. Takto vytvořený chladič včetně dvojice větráků je upevněn ve sloupci na závitových pilotech (viz Obr. 3).

OBR. 3

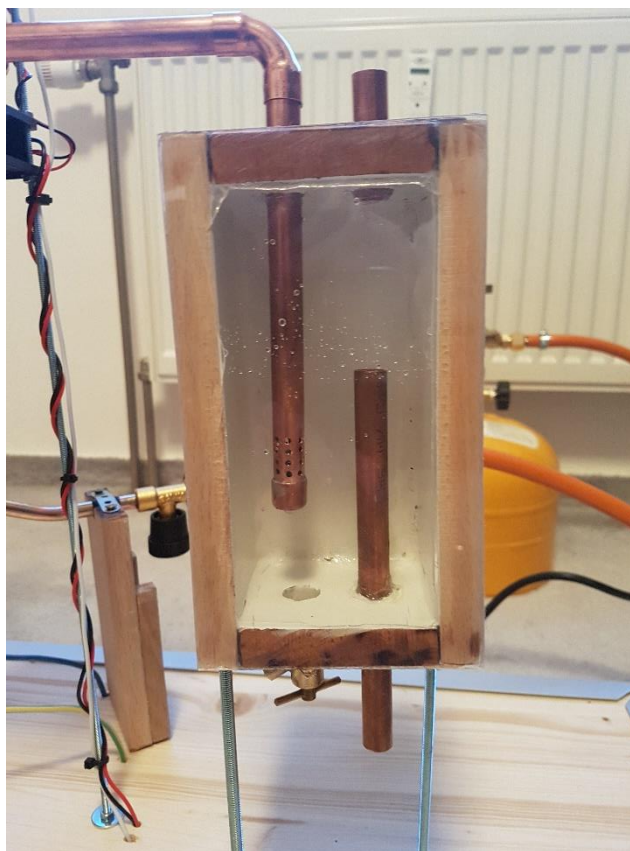


KONDEZAČNÍ NÁDOBA:

Závěrečný díl slouží k deponaci zkondenzovaných pyrolýzních plynů. Nejvhodnější pro následnou manipulaci je, abychom získávali produkt rovnou v tekutém skupenství při pokojové teplotě, a z toho důvodu jsme naprojektovali kondenzační nádobu, která vyhovuje našim účelům. Kondenzační nádoba (viz Obr. 4) by měla splňovat jak funkčnost, tak i názornost a přehlednost. Z tohoto důvodu jsme navrhli, aby byla kondenzační nádoba z přední strany prosklená. Zbytek celé kondenzační nádoby je zhotoven z bukového dřeva o tloušťce 15 mm, které muselo být nalakováno chemicky odolným nátěrem proti rozpouštědlům, a nádoba musela být zatěsněna silikonovým transparentním tmelem. Prosklený odnímatelný kryt zepředu kondenzační nádoby je zhotoven z polykarbonátu o tloušťce 3 mm. Do takto vytvořeného polotovaru byly vyvrtány celkem 4 otvory, dva vrchní – jeden sloužící k ukotvení chladiče a druhý k vyrovnání tlaku v nádobě a odvodu plynů. Dole jeden otvor slouží pro ukotvení sběrače

zkondenzovaných lehkých topných olejů a druhý otvor slouží k vypouštění chladicího média a čištění celého komponentu pomocí mosazného odvzdušňovacího ventilu. Do zbylých otvorů jsou zasazeny měděné trubky vyhovující délky.

OBR. 4



OVLÁDACÍ PANEL:

Aparatura je vybavena elektronikou sloužící k monitorování a řízení celého pyrolýzního procesu. Tato funkce je velmi důležitá ze dvou hledisek. Elektronika primárně omezuje bezpečnostní rizika a sekundárně zajišťuje pohodlné operování s aparaturou při probíhajícím procesu. Ovládací elektronika může být rozdělena do dvou částí, monitorovací a řídicí, přičemž obzvláště monitorovací sekce je pro naši aparaturu nezbytná. K udržení kontroly nad takto silně exotermním procesem je nutné znát prvně aktuální teplotu. To zajišťuje termistor, který je zakomponován v pětice tvarovce a snímá aktuální teplotu pyrolýzního plynu, který je vyvíjen. Naměřené hodnoty se poté ukazují na LCD displeji ovládacího panelu, který je umístěn v přední části aparatury pro jednoduchou a bezpečnou manipulaci. Díky této funkci můžeme včas terminovat celý proces, kdyby došlo k přehřátí a bylo by vysoké riziko vznícení pyrolýzního plynu. Mimo jiné, termistor nám i napomáhá upravovat rychlost celého procesu, a to jen díky další funkci celé aparatury. Na ovládacím panelu je také potenciometr, díky kterému můžeme regulovat otáčky obou větráků umístěných na chladiči podle toho, jakou má aktuální teplotu plyn a jak moc je ho třeba ochladit, aby mohl kondenzovat s minimálními ztrátami – to celé v rozsahu 0 – 2 600 rpm. K bezpečné manipulaci s aparaturou napomáhá systém zapalování propan-butanového hořáku, který zahřívá reakční nádobu. Vzhledem k vysokému výkonu tohoto hořáku by bylo nebezpečné ho zapalovat ručně pomocí zápalky nebo zapalovače. Z tohoto důvodu jsme vybavili aparaturu jiskrovým zapalováním, které zajišťuje Teslův transformátor umístěný pod montážní deskou. Tento transformátor je schopen generovat několik desítek kilovoltů, které po stisku spínače na

ovládacím panelu vytvoří jiskrový výboj před hořákem s dost vysokou teplotou na to, aby ho zažehnul. Celá elektronika je navíc napájena ze síťového zdroje, tím pádem můžeme celou aparaturu zapojit do standardní 230 V DC zásuvky a nemusíme se zabývat nabíjením akumulátorů nebo jiným zdrojem energie, který by nemusel být až tak stabilní.

MODIFIKACE A MOŽNÉ VYLEPŠENÍ:

Už v průběhu konstrukce jsme si uvědomovali velké množství možných úprav, které by naši aparaturu ještě nějakým způsobem vylepšily. Některé z nich byly aplikovány, ale mnohé ne. Po většině to bylo z důvodu nedostatku financí nebo z důvodu nezbytnosti lépe vybavené dílny, včetně 3D tisku a těžkých nástrojů, jako je soustruh nebo cnc jednotka.

Primárně jsme přemýšleli nad alternativním palivem pro zahřívání reakční nádoby. Vzhledem k tomu, že dosavadní hořák o výkonu 50 kW spotřebuje 4 000 g propan-butanu za 1 h provozu při maximálním výkonu, tak nedosahujeme maximálního výdělku. Je nutné zmínit, že takto výkonný zahřívací systém je v naší aparatuře instalovaný primárně za účelem názornosti a zrychlení celého procesu. Ale v praktickém použití by toto nebylo nutné, hlavní by byl produkt, nikoliv zmíněná názornost. Na destabilizaci uhlíkatých řetězců v plastech je potřeba teploty přibližně nad 500 °C, a to by nám s pohodlím nabídlo i parabolické tepelné zrcadlo, které by soustředilo sluneční svit na jedno místo, tedy na reakční nádobu. Ale při této konstrukci by naše aparatura byla schopná fungovat pouze za slunečního dne, tím pádem by nebyla vhodná do všech zeměpisných poloh na Zemi. Mimo jiné by bylo také dobré zamezit tepelným ztrátám samotné reakční nádoby za pomoci nehořlavé izolace na bázi skelné vaty.

Druhé možné vylepšení by se týkalo elektroniky. V sekci o ovládacím panelu bylo zmíněno, že jsme schopni snímat teplotu a regulovat to, jak moc je pyrolýzní plyn chlazen, avšak regulaci musíme provádět manuálně, tím pádem by bylo vhodné použít nějaký konstrukční počítačový modul, jako je arduino, který by s pomocí námi vytvořeného programu vyhodnocoval získané informace z monitorování aparatury a sám by automaticky reguloval otáčky větráků, popřípadě dokonce průtok propan-butanu v zahřívacím hořáku pomocí servomechanismu. Mimo to by mohlo být přidáno mnoho dalších monitorovacích funkcí snímajících například hladinu produktu, zbývající čas do ukončení procesu atd.

Poslední otázku, kterou musíme řešit, je čistota našeho produktu. Optimální čistoty dosáhneme tak, že hrubý produkt z naší aparatury podrobíme frakční destilaci, tedy rozdělíme jednotlivé složky a odčerpáme jen ty, které jsou pro nás vyhovující. Mohli bychom tudíž vytvořit na naší aparatuře další okruh, který by měl na starosti zmíněnou frakční destilaci hrubého produktu, ale v tom případě by aparatura zabírala mnohem více místa a bylo by nutné instalovat ještě více elektronických prvků, například i čerpadlo.

ZHODNOCENÍ PRODUKTU:

Na naší aparatuře již proběhlo přes 10 cyklů pyrolýzy, to znamená, že bylo spotřebováno přibližně 12 kg propan-butanu a přes 7 kg odpadního plastu. Celkem jsme získali přibližně 300 ml hrubého produktu, který jsme následně podrobili destilaci z důvodu odstranění vody a podrobili jsme ho také filtraci, abychom odstranili pevné částice. Po tomto procesu nám zbylo přibližně 200 ml produktu, který jsme však neměli možnost analyzovat přesným stanovením jednotlivých složek, jelikož nemáme dostupný např. spektrometr, který by nám pomohl určit jednotlivé chemické složky. I přes to jsme mohli zhodnotit náš produkt alespoň praktickou zkouškou. Náš produkt je nažloutlá kapalina, která má silný zápach připomínající zápachu nafty či petroleje. Mimo to náš produkt při nalití do odměrného válce má tendenci dělit se do

jednotlivých vrstev, horní vrstva, ta nejlehčí s nejmenší hustotou, je nejvíce hořlavá a nejspíše se jedná o směs benzínové a petrolejové frakce. Pod touto vrstvou je více viskózní kapalina, která je nejspíše naftou s četnými příměsemi. A poslední nejtěžší vrstva je dosti pravděpodobně minerální olej už jen z toho důvodu, že nemá tak silný zápach a je vysoce viskózní. Vzhledem k tomu, že náš produkt je hořlavý a podobá se naftě v mnoha ohledech (viz Obr. 5), tak by nebyl problém jím pohánět jakýkoliv dvoutaktový motor, popřípadě tímto produktem můžeme pouze vytápět.“

OBR. 5



ZÁVĚR

Sestrojili jsme plně funkční aparaturu na pyrolýzu plastů. Aparatura je schopna opakovaně přeměňovat odpadní plast na směs uhlovodíků, která může být využita do pohonných hmot či jako topení. Největším přínosem je system chlazení horkých pyrolýzních plynů, konstrukce kondenzační nádoby a v neposlední řadě sofistikovaná elektronika, která umožňuje kontrolovat celý proces. Dále budeme aparaturu zdokonalovat a to zejména se zaměřením na zvýšení účinnosti přeměny a snížení energetických nároků zahřívání.