

Technická univerzita v Košiciach

Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie

Ústav recyklačných technológií



Teória recyklačných procesov

Návody na cvičenia

Dušan Oráč, Dušan Klein,

Jana Pirošková, Jakub Klimko

Košice 2020

© 2020, doc. Ing. Dušan Oráč, PhD., Ing. Dušan Klein, Ing. Jana Pirošková,
PhD., Ing. Jakub Klimko, PhD.

Druh publikácie: Skriptá
Autori: doc. Ing. Dušan Oráč, PhD.
Ing. Dušan Klein
Ing. Jana Pirošková, PhD.
Ing. Jakub Klimko, PhD.
Recenzent: prof. Ing. Tomáš Havlik, DrSc.
Dátum vyhotovenia: november 2020
Počet strán: 230
Vydalo: URT FMMR TUKE
Vydanie: prvé
Počet kusov: 50 ks (CD verzia)
ISBN 978-80-553-3657-2

OBSAH

PREDSLOV	1
ÚVOD DO TEÓRIE RECYKLAČNÝCH PROCESOV	2
PRÍKLADY A VÝPOČTY	5
1. Gibbsove fázové pravidlo.....	6
2. Výpočet zmeny entalpie	14
3. Výpočet zmeny entropie	31
4. Výpočet zmeny Gibbsovej energie	38
5. Termodynamika roztokov.....	64
6. Iné príklady.....	75
LABORATÓRNE CVIČENIA	104
LABORATÓRNE CVIČENIE č. 1: Štúdium kinetiky heterogénnej reakcie analýzou plynného produktu	105
LABORATÓRNE CVIČENIE č. 2: Štúdium procesu fluidizácie a rýchlosti reakcií prebiehajúcich vo fluidnej vrstve	113
LABORATÓRNE CVIČENIE č. 3 Štúdium rýchlosti heterogénnej reakcie gravimetricky.....	122
LABORATÓRNE CVIČENIE č. 4: Vysokoteplotná oxidácia kovov a zliatin.....	126
LABORATÓRNE CVIČENIE č. 5: Meranie hustoty a povrchového napätia roztavených kovov.....	131
LABORATÓRNE CVIČENIE č. 6: Rozpustnosť plynov v kovochoch	137
LABORATÓRNE CVIČENIE č. 7: Určenie aktivít v roztokoch transportačnou metódou	140
LABORATÓRNE CVIČENIE č. 8: Redukcia oxidov železa vodíkom	145
LABORATÓRNE CVIČENIE č. 9: Elektrochemické metódy štúdia metalurgických roztokov	154

PRÍLOHY	159
PRÍLOHA č. 1: Štandardné zlučovacie teplá a entropie látok.....	160
PRÍLOHA č. 2: Izobarické mólové tepelné kapacity a prírastky entalpie prvkov a zlúčenín.....	166
PRÍLOHA č. 3: Závislosti zmien štandardných Gibbsových energií reakcií od teploty	189
PRÍLOHA č. 4: Rozdelenie neželezných kovov	209
PRÍLOHA č. 5: Základné, doplnkové a odvodené jednotky sústavy SI.....	214
PRÍLOHA č. 6: Násobky a diely jednotiek.....	223
PRÍLOHA č. 7: Štandardné elektródové potenciály niektorých kovov, prvkov a zlúčenín	224
PRÍLOHA č. 8: Grécka abeceda.....	226
PRÍLOHA č. 9: Periodická tabuľka prvkov	227

PREDSLOV

Skriptá *Teória recyklačných procesov – návody na cvičenia* sú určené pre študentov bakalárskeho štúdia v študijnom odbore *Ekologické a environmentálne vedy* a taktiež pre študijný odbor *Získavanie a spracovanie zemských zdrojov*.

Tento učebný text vznikol pre potrebu predmetu *Teória recyklačných procesov*, pretože sa jedná o nový predmet a doposiaľ nebola dostupná pre študentov študijná literatúra.

Skriptá sú rozdelené do troch častí. V prvej časti sú uvedené príklady a zároveň výpočty jednotlivých príkladov z termodynamiky. Z oblasti termodynamiky sa pozornosť venuje výpočtu zmeny entalpie, entropie a Gibbsovej energie. Poslednou časťou tvoria výpočty pre termodynamiku roztokov a iné príklady na výpočet. Poradie kapitol je tvorené tak, aby študentov previedlo problematikou postupným pridávaním informácií systémom „od jednoduchého k zložitému“. Každá kapitola navyše obsahuje teoretickú podstatu danej témy a tým napomáha študentovi k pochopeniu riešenia príkladov.

Druhá časť obsahuje návody na laboratórne cvičenia. Návod každej úlohy je spracovaný veľmi dôkladne. Teoretická časť podobne rozoberá podstatu skúmaného javu, na ktorý má študent zamerať svoju pozornosť. Ďalej obsahuje zoznam potrebných pomôcok a zariadení, ktoré majú slúžiť nielen poslucháčom ale aj personálu, ktorý pripravuje a zabezpečuje chod experimentálnych cvičení. V postupe práce sú uvedené podrobné pokyny, ktorými sa má študent riadiť pri realizovaní experimentov. Na záver každého laboratórneho cvičenia je uvedený zoznam úloh na ktoré má študent odpovedať vo svojom protokole z cvičenia.

Tretia časť (Príloha) obsahuje tabuľky termodynamických veličín, ktoré sú potrebné pri realizovaní výpočtových cvičení. V prílohe sú uvedené aj jednotky sústavy SI, používané predpony jednotiek, rozdelenie neželezných kovov, periodická tabuľka prvkov a ďalšie časti prílohy. Samostatnú časť prílohy tvoria zásady bezpečnosti pri práci v laboratóriu.

Táto práca vznikla v rámci riešenia grantu VEGA MŠ SR 1/0556/20 a za jeho finančnej podpory. Táto práca vznikla v rámci riešenia projektu UNIVNET (Univerzitná a priemyselná výskumno-edukačná platforma recyklujúcej spoločnosti). Táto práca vznikla za finančnej podpory Fondu R. Kammela, n.f.

Košice, november 2020

Autori

ÚVOD DO TEÓRIE RECYKLAČNÝCH PROCESOV

Recyklácia odpadov zahŕňa široké spektrum rôznych procesov a rôznych typov odpadov. Odpady alebo druhotné suroviny sa rozdeľujú podľa viacerých kritérií. Podľa miesta vzniku sa rozdeľujú na priemyselné a komunálne. Ďalej je to podľa skupenstva a to na pevné, kvapalné a plynné. Podľa obsahu kovu na kovové, kovonosné a nekovové, prípadne podľa ich charakteru na nebezpečné a ostatné.

Problémom pri spracovaní odpadov je ich heterogenita (sústava sa skladá z nerovnakých častí), anizotropia (fyzikálne vlastnosti látky sa menia podľa smeru, v ktorom sa merajú), malé množstvá a aj ich nebezpečné vlastnosti. Heterogenita a anizotropia odpadov spočíva v komplexnosti a kombinácii materiálov, ktoré sa v prírode nenachádzajú. Častokrát odpady obsahujú kovy vo forme čistých kovov (v prírode zriedkavo ako napr. zlato, striebro), ďalej zlúčenín, plastov, keramiky a iné. Táto skladba je úplne rozdielna v porovnaní s primárnou surovinou, kde sa prvky nachádzajú vo forme zlúčenín ako napr. sulfidy, oxidy, uhličitany a podobne. Pri recyklácii je preto potrebné brať do úvahy tieto skutočnosti a podľa toho sa následne volí aj technologický proces spracovania daného typu odpadu. Z toho vyplýva, že inými procesmi sa recyklujú komunálne odpady ako papier, sklo batérie, akumulátory alebo elektronický odpad a inými priemyselné odpady ako úlety a trosky z výroby železa, medi, či stery z výroby hliníka. Problematike spracovania týchto odpadov sa venujú predmety ako Nakladanie s odpadmi, Spracovanie komunálneho odpadu alebo Spracovanie priemyselného odpadu.

Na **obr. I** je zobrazená principiálna schéma spracovania odpadov alebo druhotných surovín, ktorá je doplnená o porovnanie s primárnou výrobou. Zo schémy je zjavné, že proces spracovania odpadov sa veľmi podobá primárnej výrobe, rozdiel je v niektorých technologických operáciách prípravy materiálu.

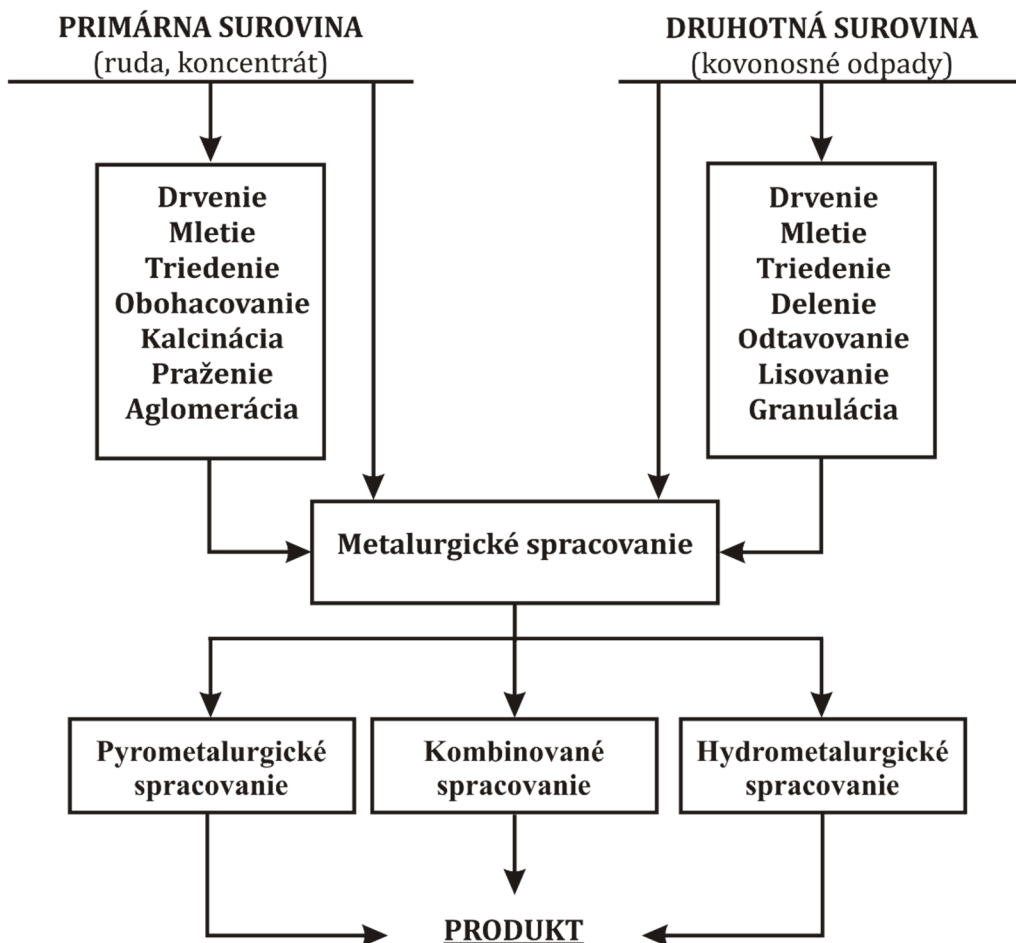
Odpady vo väčšine prípadov sú komplexné a chudobné suroviny a je potrebné ich pred ďalším spracovaním upraviť. Metódy mechanickej a fyzikálnej predúpravy materiálu zahŕňajú procesy ako zdrobňovanie (drvenie, mletie), triedenie (sitovanie, rozdrúžovanie), zhutňovanie (pakovanie, briketovanie, peletizácia, granulácia) a delenie. Spracovanie odpadov je relatívne mladá oblasť. Pri spracovaní odpadov sa na začiatku využívali rovnaké zariadenia ako tie, ktoré boli vyvinuté pre spracovanie

primárnych surovín. Pretože odpady sú, čo do chemického a fázového zloženia, odlišné od primárnych surovín, postupom času sa tieto technológie modifikovali pre potrebu odpadov, prípadne sa vyvinuli nové. Teóriou k týmto procesom sa zaoberajú predmety ako Základy úpravníctva a Druhotné suroviny a odpady.

Finálne spracovanie je však rovnaké pre primárne suroviny a odpady. Schéma spracovania odpadov je logickým vyústením, pretože niektoré typy odpadov (kovové a kovonosné) sa spracovávajú v existujúcich hutníckych prevádzkach. Je to dané vlastnosťami týchto odpadov a v tomto prípade je možné povedať, že hutnícke procesy sa rovnajú recyklačným procesom. Pochopiteľne, zloženie odpadov je odlišné od primárnej suroviny a preto sa aj tieto hutnícke technológie prispôbujú, najmä kvôli obsahu organických zložiek ako sú napr. plasty. Chudobné a komplexné suroviny sa spracovávajú prevažne hydrometalurgicky, čomu sa venuje pozornosť v predmete Hydrometalurgické procesy. Na druhej strane, kovové a kovonosné odpady sa spracovávajú v praxi prevažne pyrometalurgickými, prípadne kombináciou s hydrometalurgickými procesmi.

Z uvedeného vyplýva, že oblasť recyklácie pozostáva z viacerých technologických postupov, ktoré na seba nadväzujú. Vzhľadom na obšírnosť tejto problematiky je cieľom týchto skrípt objasniť podstatu a princípy finálneho pyrometalurgického spracovania odpadov. Keďže základ recyklačných technológií finálneho spracovania odpadov obsahuje základné princípy hutníckeho spracovania, z tohto dôvodu sa v týchto skriptách uvádzajú najmä výpočty a laboratórne cvičenia, ktorých základom je pyrometalurgické spracovanie materiálov. Takto získajú študenti základné informácie, ktoré sú potrebné pre pochopenie a zvládnutie problematiky recyklácie odpadov.

Teória recyklačných procesov – návody na cvičenia



Obr. I: Všeobecná schéma spracovania primárnych surovín a odpadov