

Odborné stanovisko
k
technológii termochemickej recyklácie plastov
spoločnosti ENRESS/LEITNER

Dátum vydania stanoviska: 15.06.2022

Stanovisko vypracovala:

prof. Ing. Andrea Miškufová, PhD.
Ústav recyklačných technológií
Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie
Technická univerzita v Košiciach
Letná 9, 04200 Košice
<https://urt.fmmr.tuke.sk>

Odborne spôsobilá osoba na vydávanie odborných posudkov vo veciach odpadov (Osvedčenie MŽP SR č. 06/13/P-3.3) a odborne spôsobilá osoba na vydávanie odborných posudkov posudzovanie vplyvov na životné prostredie (494/2010/OHPV)

Obsah

1.	Dôvod vypracovania odborného stanoviska	1
2.	Identifikačné údaje žiadateľa odborného stanoviska	1
3.	Popis technológie termochemickej recyklácie plastov ENRESS/LEITNER	1
3.1	Všeobecný popis a ciele technológie	1
3.2	Ciele technológie ENRESS/LEITNER, podrobný popis vstupov a výstupov, požiadavky a uplatnenie produktov na trhu a materiálová bilancia procesu	6
3.3	Legislatívne požiadavky na spracovanie a recykláciu plastových odpadov	10
3.3.1	Podmienky, za ktorých by sa mohol dosiahnuť pre produkty technológie stav konca odpadu alebo vedľajší produkt	14
3.4	Súčasná situácia v oblasti materiálovej recyklácie plastov v SR a vo svete	16
3.5	Súčasný stav poznania v oblasti chemickej materiálovej recyklácie plastov u nás a vo svete	20
3.5.1	Príklady technológií na chemickú recykláciu plastov z praxe u nás a vo svete	22
3.6	Súlad cieľov a výstupov technológie ENRESS s hierarchiou OH a platnými právnymi predpismi a cieľmi OH	25
4.	ZÁVERY ODBORNÉHO STANOVISKA A ODPORÚČANIA VYPLÝVAJÚCE Z PRESKÚMANIA LEGISLATÍVNYCH, SKUTKOVÝCH a ODBORNÝCH PODKLADOV A INFORMÁCIÍ K PROCESU TERMOCHEMICKEJ RECYKLÁCIE PLASTOV ENRESS/LEITNER	29
5.	POUŽITÁ LITERATÚRA	32

1. DÔVOD VYPRACOVANIA ODBORNÉHO STANOVISKA

Odborné stanovisko som vypracovala na základe požiadavky zadávateľa – spoločnosti INECO, s.r.o. posúdiť ako odborne spôsobilá osoba na vydávanie odborných posudkov v odpadovom hospodárstve navrhovanú činnosť - technológiu na termochemickú recykláciu plastov spoločnosti ENRESS/LEITNER.

Posudzovala sa primárne navrhovaná technológia z odborného hľadiska najmä z hľadiska vstupných odpadov a výstupov, jej súlad s platnými predpismi v odpadovom hospodárstve a požiadavkami súvisiacimi so schvaľovacím procesom v rámci EIA.

2. IDENTIFIKAČNÉ ÚDAJE ŽIADATEĽA, pre ktorého je odborný posudok vypracovaný

Žiadateľ

INECO, s.r.o.

Mladých budovateľov 3882

974 11 Banská Bystrica

3. POPIS TECHNOLÓGIE

3.1. Všeobecný popis technológie

Technológia spoločnosti ENRESS, s.r.o., (člen výskumného klastra WASTen) a výskumnou a vývojovou spoločnosťou LEITNER Slovensko, s.r.o. realizovaná na technologickom zariadení s technickým označením TDU2000® (modelový rado MT350-Ei/MT750-Ei/MT1000-Ei) je založená na inovatívnom termo - chemickom procese pomalého rozkladu polymérov, kde sa za definovaných podmienok teploty a tlaku získa hlavný kvapalný uhl'ovodíkový produkt, určený pre materiálové využitie s výťažnosťou až 90 – 95 %. Okrem tohto hlavného produktu vzniká ešte materiálovo využiteľný plynný produkt/produkty a pevný uhlíkový zvyšok.

Technológia rozkladu polymérov sa realizuje v primárnom reaktore pomocou indukčného ohrevu a pracuje v kontinuálnom režime s maximálnou účinnosťou produkcie kvapalnej frakcie. Reaktor je uzavretý bez prístupu vzduchu a technológia je vybavená bezpečnostnými prvkami, ktoré zabezpečia ochranu voči prieniku plynných oxidantov (kyslíka, vzduchu a pod.) a teda voči nekontrolovanému horeniu, vzniku nežiadúcich škodlivých zlúčenín a bezpečné dávkovanie vstupov do reaktora a bezpečný odoberanie výstupov procesu. Proces v reaktore je kontrolovaný autorským riadiacim systémom, pričom teplota, tlak a obsah kyslíka a ďalšie procesné parametre sú prísne regulované tak, aby sa dosiahla maximálna účinnosť rozkladu vstupov, bezpečnosť a bezporuchovosť. Vonkajší ohrev reaktora je elektrický indukčný s elektronickou termostatickou reguláciou teploty jednotlivých zón s presnosťou na 0,1 °C. Stabilná procesná teplota a tlak sú základnými podmienkami pre dosiahnutie maximálnej účinnosti termochemickej recyklácie plastov a získania vysokej kvality produktov. Teplota sa pohybuje do 650 °C, prostredie v reaktore je anaeróbne, bez prístupu vzduchu a v podtlakovom režime (~ 0,2 bar). Jediným zdrojom kyslíka môžu byť materiály, ktoré majú vo svojej štruktúre zabudované atomy kyslíka. Technológia disponuje kamerovým okruhom, systémom detekcie horľavých plynov a automatickým hasiacim zariadením, ktoré aktivuje v prípade nebezpečia vypínaciu sekvenciu zariadenia, odstaví sa proces termochemického rozkladu a súčasne sa vnútorný priestor reaktora naplní inertným

plynom (argón). Zariadenie je nezávislé od výpadku elektrickej energie a disponuje záložným zdrojom (akumulátor).

Výhodou technológie je schopnosť spracovať netriedené zmesové a znečistené plasty (napr. z mechanicko biologickéj úpravy odpadov a triedeného zberu komunálneho odpadu, okrem PET, PC a PVC, bez vplyvu na výslednú kvalitu kvapalných produktov.

Inovatívnosť technológie spočíva najmä:

- v trojzónovom elektrickom indukčnom ohreve reaktoru bez potreby spaľovania plynných palív (produktov),
- v systéme oddelenej sekundárnej reakcie (sekundárny reaktor) na zabezpečenie maximálneho množstva kvapalných produktov s vysokou kvalitou a rovnomerného zloženia, kde sa vytvárajú a separujú požadované frakcie kvapalného produktu a oddeľujú nečistoty a zlúčeniny z aditív plastov, ktorou nedisponujú bežne dostupné technológie a
- potlačení (eliminácie) tvorby plynnej frakcie systémom konverzie vznikajúcich plynov v procese na kvapalnú fázu a bez vypúšťania emisií do ovzdušia.

Ďalším unikátnym prvkom technológie je bezúdržbový vysokoúčinný systém kondenzácie aerosolových častíc. Týmto spôsobom sa z produkovaného plynu počas sofistikovane a stabilne regulovaného rozkladu plastov účinne získa maximálny podiel kvapalnej zložky. Plyn zbavený kvapalnej frakcie ďalej postupuje na viacstupňové čistenie, kde je zbavený kyslých zložiek a ostatných škodlivín a kvapalná frakcia je po kondenzácii privádzaná do zmiešavača.

V zmiešavači je do kapaliny za určitých fyzikálnych podmienok vpravovaná ošetrovaná plynná frakcia. Plynné látky ako metán, etán a pod., ktorých molekuly v daných teplotno-tlakových podmienkach disponujú nábojom, môžu na základe disperzných síl k sebe priťahovať ďalšie molekuly s oscilujúcimi dipólmi. Takto pripravená zmes je kontinuálne privádzaná do tzv. sekundárneho reaktora. V sekundárnom reaktore sú presne prednastavené a regulované izotermické (tepelné) a izobarické (tlakové) hodnoty a dochádza opäť k disociačným procesom a ku vzniku iónov a voľných radikálov (C^+ , H^+ , N^+ a pod.) a následným asociačným procesom a zároveň ku vzniku uhl'ovodíkov s dlhším reťazcom prevažne lineárnym, poprípade v menšej miere cyklických uhl'ovodíkov (aromátov) s počtom uhlíkov v novovzniknutej molekule $> C_6$ až $< C_{15}$.

Plynné produkty sú čistené mokrým a suchým spôsobom. Mokrou alkalickou výpierkou v dvoch stupňoch sa čistia plyn od kyslých zložiek, najmä zlúčenín chlóru (max. 5,8 kg za rok) a síry (max. 23 kg za rok) a prípadne fluóru. Pomocou činidiel ako sú NaOH v prvom stupni a KOH v druhom stupni čistenia dochádza k absorpcii vo vodnom alkalickom roztoku a naviazaniu chlóru a síry (resp. fluóru) z plynov na zlúčeniny (soli) NaCl (NaF) a Na_2S . Tento kvapalný odpad z čistenia plynov v I. stupni (odpad 19 01 06) sa odstraňuje ako odpad obvykle po 3 mesiacoch (v objeme 100 l/rok) a odpad z čistenia plynov v II. stupni po zhruba 12 mesiacoch (15 litrov/rok, odpad 19 01 06). KOH v druhom stupni zabezpečuje ochrannú bariéru a čistenie plynov v prípade vyššieho množstva H_2S a HCl v spalinách.

V treťom stupni čistenia spalín je aplikovaná suchá sorpčná náplň na báze aktívneho uhlia a hydroxidu železitého, ktorý zabezpečuje zachytenie prípadných organických zložiek, zvyškovej síry vo forme akýchkoľvek zlúčenín síry v spalinách alebo kovov. Merná spotreba sorbentov je 20 kg za rok a tento odpad je odoslaný na zneškodnenie (katalógové číslo 19 01 10).

Tvorba dioxínov a furánov je eliminovaná v dôsledku absencie kyslíka, čo je výhodou oproti spaľovacím procesom a minimalizovaná tvorba iných organických zlúčenín na báze chlóru, fluoru alebo síry. Množstvo plastov s vyšším obsahom kyslíka vo svojej molekule je vo vsádzke limitované na max. 5 hmot.%, pričom sa jedná o plasty ako PC, PA, PBT a PET. Rovnako sa požaduje v technológii limit (max. 5 hmot. %) pre PMMA plasty a plasty s obsahom halogenových prvkov a to PVC-U, PVC-P. Prakticky bez obmedzení sa očakáva spracovanie nasledovných druhov plastov: ABS (Akrylonitril butadién styrén), PS (Polystyrén), PP (Polypropylén), POM (Polyoxymetylén), LDPE (nízkohustotný polyetylén), LLDPE (Lineárny nízkohustotný polyetylén), HDPE (PE-HD (Vysokohustotný polyetylén) a PP (polypropylén).

V prípade minimálneho výskytu sú tieto látky s obsahom chlóru zachytené v mokrej alkalickej vypierke alebo na suchom adsorbente a podľa realizovaných analýz z prevádzkových testov technológie nepresiahnu stanovené limity. Podľa údajov z merania koncentrácií znečisťujúcich plynných látok pri realizovanom teste pyrolýzy zdravotníckeho odpadu emisie spĺňali limity najmä pre HCl, SO₂, HF, H₂S, CS₂.

Získaná kvapalná frakcia v množstve do 90 % pozostáva z uhlíkovodíkov v rozsahu C₅-C₂₀ a len minimálne množstvo kontaminantov nepresahujúce limity stanovené odberateľom (VÚCHT, a.s., Praha), ktorý následne kvapalnú frakciu upraví s cieľom jeho následného použitia pri výrobe etylénu a propylénu ako prekursorov nových polymérov v petrochemii.

Aplikovaný unikátny systém oddelenej sekundárnej reakcie (homolytickým štiepením) zabezpečuje zisk kvapalnej frakcie rovnorodého druhového a chemického zloženia bez ohľadu na skladbu odpadových plastov vo vstupe. Vlastnosti a zloženie výstupného kapalného produktu z tohto reaktora tak nie sú závislé od zloženia vstupnej zmesi (od druhov plastového odpadu), čím sa umožňuje spracovávať zmesi rôznych druhov plastov a nevyžaduje sa ich dôkladné triedenie (okrem PET, PC a PVC) alebo čistenie plastového odpadu. Na druhej strane však môže pracovať aj s jednodruhovými plastami. Proces prebiehajúci v sekundárnom reaktore (so samostatnou elektrickou tepelnou reguláciou) je založený na fyzikálnom princípe sublimácie a separácie kvapalín. Zvyškové nežiaduce zložky a zlúčeniny (pochádzajúce napríklad z mechanicky strhnutých nečistôt a aditív plastov) sa v procese oddelia a zostávajú v sekundárnom reaktore ako sediment. Tento sediment sa cyklicky prečerpáva späť do primárneho reaktora na opätovnú deštrukciu (rozklad) zložitejších väzieb a vznik jednoduchých látok.

Tuhá uhlíková frakcia v množstve 5-8 % je z reaktora vynášaná dopravníkom do zásobníkov. Tento produkt bude odoberaný zmluvným odberateľom ako odpad pod katalógovým číslom 19 01 18 a po splnení všetkých legislatívnych a kvalitatívnych parametrov a požiadaviek na daný druh odpadu, materiálovo recyklovaný a využívaný napríklad ako pôdny aplikant (na zlepšenie vlastností pôdy) v poľnohospodárskom sektore.

Technologické zariadenie je dimenzované na spracovanie max. 8,4 t odpadov denne s výkonom 0,35 t odpadov za hodinu. Spracovávané druhy odpadov budú vo variabilnom vzájomnom zastúpení, pričom zastúpenie jednotlivých katalógových čísel vstupných odpadov v celkovom ročnom množstve sa bude meniť v závislosti od ich dostupnosti.

Technológia je mobilná a navrhnutá ako modulárna kontajnerová zostava, tvorená štyrmi kontajnermi ISO40'HC, v ktorých sú už z výroby inštalovaná všetky potrebné prvky a súčasti technológie v 6 moduloch. Kontajnery sú zateplené exteriérovými povrchovými panelmi s hliníkovou úpravou. Celú kontajnerovú zostavu je možné umiestniť priamo na rovnú, spevnenú plochu.

Technológia je vyrábaná v zhode so Smernicou európskeho parlamentu a Rady 2006/42/ES o strojových zariadeniach a Smernicou 2014/30/EU o EMC (Electromagnetic Compatibility). Prevádzka TDU2000® MT350_{Ei} pracuje v režime, kde je ekonomicky možné maximalizovať

využitie výstupov kvapalnej frakcie v množstve do 90 - 95 % a to v súlade so všetkými relevantnými environmentálnymi kritériami platnými na území Slovenskej republiky.

Usporiadanie technológie v jednotlivých moduloch je nasledovné:

1. Modul 1: Drvenie vytriedeného vstupu (odpadové plasty skupiny 2, 7, 12, 15, 16, 17, 20) v jednorotorovom pomalobežnom drviči na zrnitosť pod 20 mm. Drvina sa pneumatically dopraví do násypky v module 2. Nevhodné druhy plastov (PET, PMMA, PC, PA, PBT, PVC-A, PVC-U) do technológie sa vytriedia manuálne na triediacej linke.
2. Modul 2: Násypka. Z násypky sa automaticky dávkuje drvený plast do reaktora s kapacitou 700 kg/hod.
3. Modul 3: Reaktor s indukčným ohrevom. V reaktore prebieha riadený termický rozklad organických látok v podobe drviny plastov. Pri teplotách 350-600°C plasty strácajú stabilitu a dochádza k ich rozkladu a štiepeniu uhlíkových reťazcov polyméru na nízkomolekulové látky vo forme plynu (C1-C4), vo forme kvapaliny (C5-C20) a časť organickej hmoty sa rozloží za vzniku uhlíka (anorganický uhlík), ktorý je ochladený na cca 40 °C a kontinuálne odvádzaný cez dvojplášťový systém chladenia s bezpečnostnou klapkou a vynášaný závitovkovým dopravníkom do zásobníkov.
4. Modul 4: Dvojstupňová kondenzačná zostava na zisk kvapalného produktu; Zmiešavač a Sekundárny reaktor; Čistenie spalín. Plyn a aerosolové kvapky procesnej kvapaliny sú odsávané z priestoru reaktora (Modul 3) do Modulu 4, kde dôjde ku kondenzácii plyných zložiek a kvapalina je odvádzaná do chladenej dvojplášťovej nádrže opatrenej bezpečnostnou záchytnou vaňou. Postupne sa kvapalný produkt ochladí na 40 °C a odčerpáva do externej veľkoobjemovej nádrže. Plyny, ktoré sa neskvapnili, sa oddelia a sú odvádzané na čistenie spalín. Očistené spaliny putujú v danom module do zmiešavača a následne sekundárneho reaktora na oddelenú sekundárnu reakciu, ktorý zabezpečuje maximálnu produkciu kvapalnej frakcie ďalšími disociačnými (rozkladnými) a asociačnými (spájanie, syntéza) reakciami radikálov a iónov plyných a kvapalných produktov na nové zlúčeniny. Súčasťou modulu je riadiace miesto technológie, velín a elektrický rozvádzač.
5. Modul 5: Externá veľkoobjemová nádrž na zhromažďovanie kvapalného produktu.
6. Modul 6: Potenciálne určený na umiestnenie zdroja elektrickej energie - mikroturbíny v prípade potreby využitia procesného plynu z technológie na výrobu elektrickej energie.

3.2. Ciele technológie ENRESS/LEITNER, podrobný popis vstupov a výstupov, požiadavky a uplatnenie produktov na trhu a materiálová bilancia procesu

Primárnym cieľom technológie je materiálovo recyklovať problematické zmesové plastové odpady takým spôsobom, aby sa vyrobili a využili všetky získané frakcie ako plnohodnotné materiály a náhrady primárnych surovín v priemysle. Proces bol v novom navrhovanom variante oproti pôvodnému variantu, uvedenom v Zámere, vylepšený v takom rozsahu, že sa získa maximálny podiel kvapalnej zložky, minimalizuje alebo úplne potlačí tvorba plynnej frakcie a emisie do ovzdušia. Vstupné odpady určené pre spracovanie predmetnou technológiou sú uvedené v tab.1.

Tab.1.: Vstupné plastové odpady určené na spracovanie v technológii ENRESS/LEITNER

Kat. č.	Názov druhu odpadu	Kategória odpadu
02 01 04	odpadové plasty okrem obalov	O
07 02 13	odpadový plast	O
12 01 05	hoblíny a triesky z plastov	O
15 01 02	obaly z plastov	O
15 01 06	zmiešané obaly	O
17 02 03	Plasty	O
20 01 39	Plasty	O

Plastové odpady (tab.1), vytriedené na triediacej linke po kontrole kvality, buď jednodruhové alebo zmiešané v množstve 3000 ton ročne, obsahujúce nasledovné druhy plastov ako sú ABS, PS, PP, POM, LDPE, LLDPE a HDPE, sa po rozmerovej úprave na jednorotorovom drviči podrobia termochemickému riadenému rozkladu za účelom materiálovej recyklácie odpadových plastov a získania nasledovných produktov:

1. Kvapalnú olejovú frakciu (v množstve 90 - 95 %), zloženú z uhl'ovodíkov C5-C20 rovnomerného zloženia a zbavenú nečistôt, pochádzajúcich prevažne z aditív a nečistôt plastov, ktorá sa po úprave odberateľom použije pre účely opätovnej výroby polymérov v petrochemickom priemysle. Produkt spĺňa požiadavky ďalších spracovateľov (tab.2 a tab.3) na obsah vody, síry, dusíka, halogénov, arómátov a sedimentov, kovov, kremíka a preto je ho možné využiť ako materiál (surovinu) pre výrobu nových polymérov (etylén, propylén). Porovnanie parametrov získanej olejovej frakcie a komerčného produktu na báze nafty je uvedené v tab.4.

Tab.2: Výstupné parametre kvapalného produktu požadované následným odberateľom č.1 (VÚCHT, a.s.)

Parameter	Hodnota	Jednotka
Maximálny obsah S	1 000	ppm
Maximálny obsah N	1 000	ppm
Maximálny obsah Cl	300	ppm
Maximálny obsah kovov	10	ppm
Maximálny obsah Si	10	ppm

Tab.3: Výstupné parametre procesnej kvapaliny požadované odberateľom č.2 ORLEN Unipetrol RPA s.r.o.

Parameter	Hodnota	Jednotka	Metodika
Maximálny obsah arómátov	<20	hm. %	-
Maximálny obsah síry	nie je	mg/kg	-
Maximálny obsah dusíka	<500	mg/kg	ASTM D4629 / ASTM D 5762
Maximálny obsah kyslíka	<500	mg/kg	ASTM D7754
Maximálny obsah sedimentov	<100	mg/kg	ASTM D743
Maximálny obsah vody	< 1	% hm.	ASTM E203
TAN (celkové číslo kyslosti)	nie je	mgKOH/g	ASTM D 664
Maximálny obsah halogénov (chlóru, brómu)	<50	mg/kg	ASTM D 7359
Celkový obsah kovov*	<30	mg/kg	ASTM D 5185

Pozn.: * Ag, Al, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Si, Sn, Tl, V, Zn, As, K, Ti

Tab.4.: Parametre procesnej olejovej frakcie a komerčného produktu na báze nafty

Parameter	Jednotka	Nafta	Kvapalný recyklát
		Podiel	Podiel
Hmotnostný podiel uhlíka	kg.kg ⁻¹	87	80
Hmotnostný podiel vodíka	kg.kg ⁻¹	12,6	9,6
Hmotnostný podiel kyslíka	kg.kg ⁻¹	0,4	0,05
Hmotnostný podiel síry	kg.kg ⁻¹	0,08	0,061
Hustota	kg.dm ⁻³	0,84	0,89
Kinematická viskozita	mm ² .s ⁻¹	2-4	2,204
Výhrevnosť meraná	kJ.kg ⁻¹	41868	32160
Výhrevnosť vypočítaná	kJ.kg ⁻¹	42482	40636
Obsah polycyklických atomatických uhľovodíkov	hm.%	8	4

2. Tuhú frakciu (5 - 8%) na báze uhlíka, ktorý bude tvoriť odpad z technológie a na základe zmluvy o budúcej zmluvy odoberaný spoločnosťou RASTAN CZ, s.r.o. na ďalšie spracovanie a použitie. Tento odpad je na základe vykonaných analýz (tab.5) a pri splnení ďalších ukazovateľov a požiadaviek kvality na daný druh odpadu alebo produktu (uvedené v tab.6), možné vzhľadom na jeho charakter použiť v poľnohospodárstve ako materiál na prípravu produktov pre zlepšenie kvality pôd (uhlíkový pôdny aplikant).

Tab.5: Chemická analýza tuhého uhlíkového zvyšku technológie ENRESS/LEITNER

Parameter/prvok	Hodnota	Metodika
<i>Fyzikálna analýza</i>		
Vlhkosť	2,11 %hm	EN 14774-1
Popol	3,17 %hm	EN 14775
Sypná hmotnosť	420 kg/m ³	SOP 11
<i>Stopové prvky</i>		
Hliník Al	143 mg/kg	EN ISO 8288
Bor B	1,9 mg/kg	Sop26
Bárium Ba	16,3 mg/kg	SOP 26
Vápnik Ca	2790 mg/kg	ČSN ISO 7980
Kadmium Ca	0	EN ISO 5961
Kobalt Co	0,6 mg/kg	EN ISO 8288
Chróm Cr	1,06 mg/kg	EN 1233
Meď Cu	2,6 mg/kg	EN ISO 8288
Železo Fe	68 mg/kg	EN ISO 8288
Draslík K	7964 mg/kg	SOP 28
Horčík Mg	412 mg/kg	ČSN ISO 7980
Mangán Mn	11 mg/kg	SOP 28
Sodík Na	125 mg/kg	SOP 28
Nikel Ni	0,3 mg/kg	EN ISO 15586
Fosfor P	488 mg/kg	SOP 62
Olovo Pb	0,1 mg/kg	EN ISO 8288
Kremík Si /s/	7621 mg/kg	ČSN ISO 7980
Titan Ti	0,1 mg/kg	EN ISO 15568
Vanádium V	0,1 mg/kg	SOP 28
Zinok Zn	5,3 mg/kg	EN ISO 8288
<i>Makroprvky prvky</i>		
Uhlík C	46,21 %hm	EN 15104
Vodík H	6,28 %hm	EN 15104
Dusík N	0,51 %hm	EN 15104
Síra S	0,09 %hm	EN ISO 16994

Pre porovnanie sú v tab. 6. uvedené odporúčané kritériá pre uhlíkové materiály využívajúce sa v poľnohospodárstve ako pôdne aplikanty a ich porovnanie s vlastnosťami tuhého uhlíkového zvyšku technológie ENRESS/LEITNER. V meraných parametroch uhlíkového zvyšku získaného technológiou ENRESS/LEITNER je možné konštatovať, že v daných sledovaných parametroch spĺňa kritériá pre použitie ako pôdneho aplikantu, avšak je vhodné doplniť analýzy produktu ešte o skúšku fytoxicity, obsahu arzenu, ortuti, šesťmocného chrómu, sumu polycyklických aromatických uhľovodíkov (PAU) a sumu polychlórovaných bifenylov (PCB) a pH.

Tab.6: Kritériá pre uhlíkové materiály využívané v poľnohospodárstve a vlastnosti tuhého uhlíkového produktu technológie ENRESS/LEITNER.

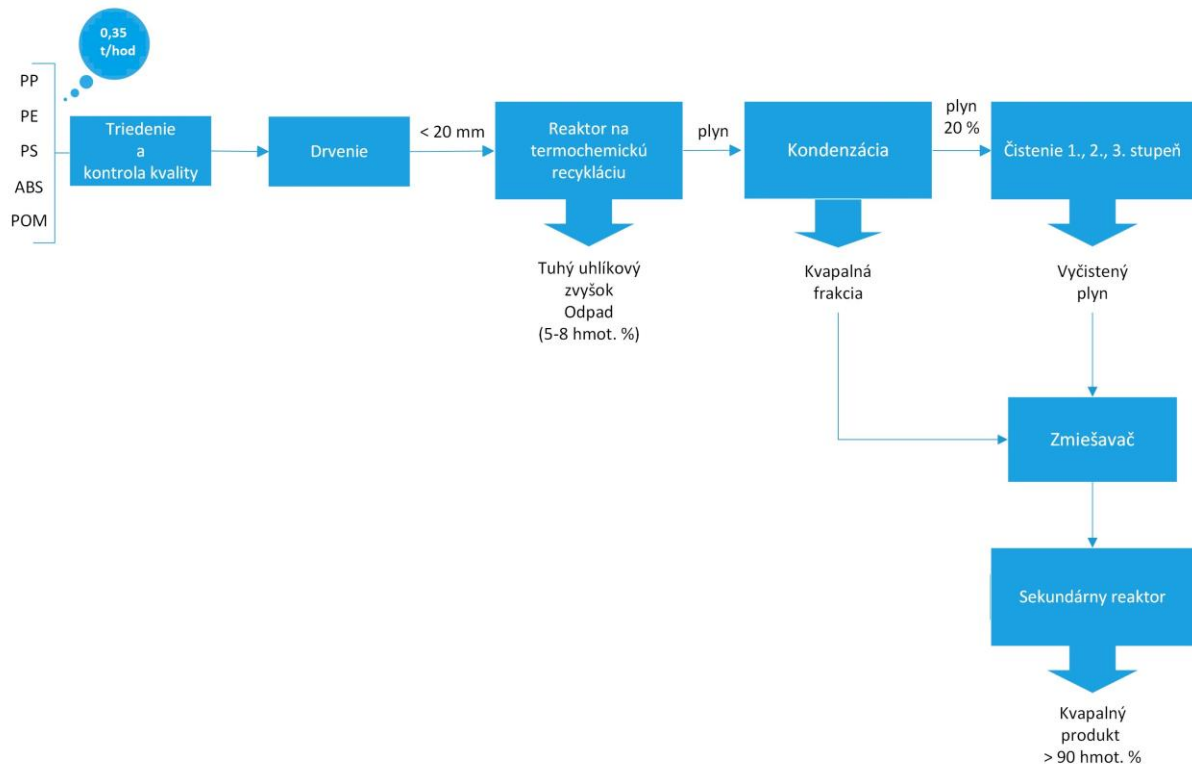
Významné agronomické kritériá	Navrhované min. kritériá	Uhlíkový zvyšok Technológia ENRESS/LEITNER, analýza
Biologická skúška	Žiadna fytoxicita, porucha klíčivosti	-
As (mg/kg s.h.)	10	-
Zn (mg/kg s.h.)	600	5,3
Ni (mg/kg s.h.)	50	0,3
Cu (mg/kg s.h.)	200	2,6
Cd	1,5	0
Pb	120	0,1
Hg	1	-
Cr (VI)	0,5	-
Cr celk	100	1,06
Organické kontaminanty - PAU	6	-
PCB7 suma PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 and 180	0,2	-
PCDD/F (ng/kg I-TEQ)	20 povinné, ak PCB > 0,07 mg/kg	-
Iné kontaminanty (minimum makroskopických častíc skla, plastov, kovov)	Nulový obsah kovov, plastov, skla	-
pH	6,5 - 10	-

V rámci technologického procesu nedochádza k spotrebe fosínych palív a k ich spaľovaniu. Proces je založený na spotrebe elektrickej energie (príkon zariadenia 380 kW), minimálneho množstva vody na čistenie spalín a chladenie (kondenzáciu plynov) a ďalších surovín, tak ako je uvedené v tab.7. Na obr.1 je zároveň zobrazená schéma a materiálová bilancia technologického procesu termochemického rozkladu odpadových plastov ENRESS/LEITNER.

Tab. 7: Ďalšie nároky na vstupné suroviny, ich spotreba v rámci technológie a výstupy

VSTUP - surovina	Merná spotreba	VÝSTUP
NaOH	100 litrov/rok	Nebezpečný odpad 19 01 06
KOH	15 litrov/rok	Nebezpečný odpad 19 01 06
Tuhý sorbent a	20 kg/rok	Nebezpečný odpad 19 01 07/19 01 10

hydroxid železitý		
Tuhý uhlíkový zvyšok	150 t/rok	Ostatný odpad 19 01 18



Obr.1: Schéma technologického procesu ENRESS/LEITNER a materiálová bilancia technológie

Takýto postup termochemického spracovania odpadových plastov, kde sa vyprodukuje kvapalný produkt rovnorodého zloženia vhodného pre petrochemický priemysel s výťažnosťou viac ako 90 % a ktorý sa využije materiálovo je na základe analýzy technológie a porovnania s odbornými informáciami a inými technológiami originálny a poukazuje na vysoký potenciál využitia technológie pre účely recyklácie iným spôsobom ako mechanickým pre odpadové plasty, ktoré sa inak nedajú v súčasnosti recyklovať a skládkujú sa. V EÚ sú v prevádzke obdobné technológie, ktorými sa materiálovo recyklujú všetky tri frakcie, tak ako je uvedené v kap. 3.4, hoci takýto prístup je stále ojedinelý aj v krajinách EÚ a produkty sa využívajú zväčša na energetické účely.

3.3. Legislatívne požiadavky na spracovanie a recykláciu plastových odpadov

Revidovaná smernica o odpade (2008/98/EC) stanovila ambiciózne ciele pre prípravu na opätovné použitie a recykláciu komunálneho odpadu a jeho triedených zložiek: 55 % do roku 2025, 60 % do 2030 a 65 % do roku 2035 podľa hmotnosti komunálneho odpadu vzniknutého v predchádzajúcom kalendárnom roku. Smernica Európskeho parlamentu a rady 94/62/ES pre Obaly a odpady z obalov a ciele odpadového hospodárstva SR v oblasti nakladania s odpadmi z obalov určuje mieru recyklácie najmenej 65 % do konca roku 2025 a 70 % do 2030, pričom minimálne ciele pre recykláciu plastov je 50 % do roku 2025 a 55 % do 2030.

Zároveň však nové zámery, stanovené na úrovni EÚ, podporujú aj vývoj nových priemyselných riešení, ktoré sú v súlade s legislatívnymi recyklačnými cieľmi.

V roku 2019 je síce uvádzaná miera recyklácie odpadov z plastových obalov v SR v Správe o stave ŽP SR 46,45 %, avšak miera recyklácie dosahuje podľa najvyššieho kontrolného úradu reálne len približne 44 %. Do roku 2025 bude teda potrebné zvýšiť mieru recyklácie o 6 % a do 2030 11 %. Aj keď sú k dispozícii recyklačné kapacity na spracovanie vytriedeného odpadu najmä z PET plastov, ktoré majú najväčší podiel na recyklácii u nás, ani pri zdvojnásobení množstva recyklácie odpadov PET sa pravdepodobne nepodarí dosiahnuť stanovené ciele recyklácie (zvýšenie miery recyklácie o približne 2,7 %). Je zrejmé, že bez vytvorenia ďalšej legislatívnej podpory a technologického priestoru a kapacít pre inovácie a nové možnosti pre spracovanie a recykláciu iných druhov problematických plastových odpadov ale ich zmesí (okrem PET, PE, PP), ktoré sú evidentne k dispozícii z triedeného zberu aj priemyslu a nedajú zatiaľ efektívne mechanicky recyklovať, ale sa energeticky zhodnocujú a skládkujú, sa tento cieľ pravdepodobne nepodarí dosiahnuť.

Podľa zákona o odpadoch je **Recyklácia** každá činnosť zhodnocovania odpadu, ktorou sa odpad opätovne spracuje na výrobky, materiály alebo látky určené na pôvodný účel alebo iné účely, ak § 42 ods. 12, § 52 ods. 18 a 19 a § 60 ods. 15 neustanovuje inak; recyklácia zahŕňa aj opätovné spracovanie organického materiálu. Recyklácia nezahŕňa energetické zhodnocovanie a opätovné spracovanie na materiály, ktoré sa majú použiť ako palivo alebo na činnosti spätného zasypávania.

Podľa prílohy č. 1 k zákonu NR SR č. 79/2015 Z. z. je činnosť zhodnocovania R3 definovaný nasledovne:

R3 Recyklácia alebo spätné získavanie organických látok, ktoré nie sú používané ako rozpúšťadlá (vrátane kompostovania a iných biologických transformačných procesov)^{a)}

a) *Patrí sem aj príprava na opätovné použitie, splyňovanie a pyrolýza využívajúca zložky, ako sú chemické látky a zhodnocovanie organických látok vo forme spätného zasypávania.*

Podľa prílohy č. 1 k zákonu č. 79/2015 Z. z. je činnosť zhodnocovania R5 definovaný nasledovne:

R5 Recyklácia alebo spätné získavanie ostatných anorganických materiálov^{c)}

c) *Patrí sem aj príprava na opätovné použitie, recyklácia anorganických stavebných materiálov, zhodnocovanie anorganických materiálov vo forme spätného zasypávania a čistenie pôdy, ktorého výsledkom je jej obnova.*

Na základe odbornej a vedecky akceptovanej definície recyklácie a spätné získavanie organických látok je **surovinová (chemická) recyklácia** proces chemickej premeny polymérov (polymérov, organických látok) späť na východzí monomér, z ktorého bol pôvodne plast vyrobený alebo produkcia uhlíkovodíkových frakcií a nových surovín zmenou chemickej štruktúry odpadu z plastov, a to buď pomocou termochemickej premeny (rozkladu) pri teplotách nad cca 450 °C v riadených teplotno-tlakových podmienkach (krakovanie, splyňovanie, pyrolýza) a bez prístupu vzduchu (pyrolýza), resp. s obmedzeným prístupom vzduchu (splyňovanie) alebo pomocou chemických rozpúšťadiel ako sú solvolýza (ďalej hydrolyza, glykolýza a pod.), teda rozklad plastov a organických látok na jednoduchšie alebo

špecifické organické látky rozpúšťaním za pomoci chemických činidiel za použitia štandardných podmienok teploty a tlaku (bez použitia vyššej teploty a tlaku).

Vzniknuté chemické zlúčeniny (majoritne v kvapalnom stave v množstve najčastejšie okolo 60 %) v oboch prípadoch (termochemického aj chemického procesu) sa môžu ďalej použiť buď ako vstupná surovina na polymerizáciu a výrobu nových plastov alebo v iných chemických procesoch, kedy ide o činnosť zhodnocovania odpadu R3.

Definíciu surovinovej recyklácie spĺňa *de facto* produkcia akýchkoľvek surovín a produktov (materiálov, látok) nezávisle od toho, kde a na aký účel sa následne použijú, či ako vstupná surovina pre výrobu chemických látok, ropných frakcií, olejov, mazív alebo ako palivo a zdroj energie. Toto obmedzenie výroby a použitia takto vyrobenej suroviny ako palivo (kódy nakladania R12 alebo R1) vzniklo iba účelovo - ako následok potreby zvýšenia miery materiálovej recyklácie odpadov. Nemá to však nič spoločné s pravou podstatou surovinovej recyklácie plastového odpadu, a teda aj procesom termochemickej recyklácie (pyrolýzy, splyňovania a pod.), ktorou sa vyprodukuje opätovne **kvapalná surovina** (kvapalné uhľovodíky C5-C20) so zložením podobným ropnej surovine z petrochemického priemyslu (syntetická ropa) alebo **plynná surovina** (plynné uhľovodíky na báze metánu, etánu a pod.). To, na aký účel sa daná surovina použije, závisí od potrieb hospodárstva a spoločnosti a nastavenia príslušných právnych predpisov. Podobne ako je to pri prírodnej fosílnej surovine, rope, ktorá je surovinou, aj keď sa používa následne ako palivo.

Je zrejmé, že ciele odpadového hospodárstva sú v zásade v súčasnosti nastavené v súlade s princípmi obehového a nízkouhlíkového hospodárstva na podporu technológií, ktoré čo najviac využívajú materiálovú hodnotu odpadov, znižujú uhlíkovú stopu a nadmerné zaťaženie ovzdušia a predišlo sa nadmernému spaľovaniu alebo energetickému zhodnocovaniu odpadov. Na druhej strane, vždy by malo ísť v prvom rade o logické uplatňovanie potrieb spoločnosti, ekonomický rast, racionálne využívanie surovinových zdrojov a ochranu životného prostredia a zdravia v danom období.

Plynný produkt (H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 a pod.), ktorý je neoddeliteľnou súčasťou termochemického procesu spracovania plastových odpadov, tvorí zväčša menší podiel zo vstupu (zvyčajne 5-20 %). V prípade, že sa využije ako palivo (čo je stále najčastejší prípad vo svete v súčasnosti), teda na energetické zhodnocovanie R1, ide o prípravu druhotného paliva (kód nakladania R12) alebo môže plynný produkt dosiahnuť stav konca odpadu. Na druhej strane má však perspektívu a je ho možné využiť aj na výrobu čistých technických plynov pre priemysel, teda materiálovú recykláciu. V prípade, že sa využije ako anorganický plyn napr. N_2 , H_2 a pod., ide o materiálovú recykláciu nakladaním R5 a v prípade, že sa vyrobí organický plyn napr. CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , a pod. ide o činnosť zhodnocovania R3. Množstvo plynného produktu je však pri termochemickom rozklade možné potlačiť vplyvom úpravy technologických podmienok v prospech kvapalného produktu, čo je založené na rozkladných a asociačných reakciách radikálov a iónov plynných látok, ktoré vznikli pri špecifických riadených teplotno-tlakových podmienkach v reaktore.

Tuhý zvyšok na báze uhlíka (zvyčajne 5-30 % v závislosti od druhu a kvality vstupného odpadu) má vysoký potenciál energetického zhodnotenia aj materiálového zhodnotenia a využitia najmä v environmentálnych aplikáciách (čistenie spalín, odpadových vôd), v poľnohospodárstve, ako palivo a pod. Toho času sa uhlíkový zvyšok využíva najčastejšie na spoluspaľovanie činnosťou R1 a ako materiál zhodnocovanie činnosťou R5 v menšej miere, nakoľko si to vyžaduje ďalšie podrobnejšie analýzy jeho vlastností, zloženia a vplyvu na jeho reálne uplatnenie pre uvedené konkrétne aplikácie.

Výskumné práce, výsledky štúdií a praktické skúsenosti však potvrdzujú, že využitie uhlíkových produktov vyrobených z biomasy alebo organických odpadov (napr. plastov) je čoraz viac rozšírené v priemysle a svedčia o tom aj podporované projekty EÚ, dokumenty a usmernenia v rámci potrieb rozšírenia pôsobnosti a harmonizácie právnych predpisov EÚ (aj na medzinárodnej úrovni) v oblasti využívania sekundárnych surovín pre poľnohospodárske účely a pre úpravu pôd.

Aplikácia uhlíkových produktov vrátane uhlíkových produktov pyrolýzy plastov do pôd v menších množstvách podľa sledovaných výsledkov výskumu, po preukázaní parametrov a kritérií uvedených v tab.6 a praktických skúseností prispieva najmä k zadržiavaniu vody, stimuluje rast mikroorganizmov a húb, ktoré následne zlepšujú rast rastlín, zlepšuje sorpčnú schopnosť pôdy viazať ťažké kovy a zvyšuje dostupnosť mikroživín pre rastliny. Okrem toho, ich aplikácia do pôd môže tiež prispievať k zvyšovaniu pH pôdy, vyššej miere usklaňovania uhlíka v pôdach, znižovaniu emisií amoniaku a oxidu uhličitého z hnojív a znižovaniu hutnosti pôdy. Vyššie obsahy takýchto uhlíkových materiálov môžu na druhej strane negatívne ovplyvňovať vodivosť pôdy a zvyšovať vylúhovanie dusičnanov z pôd, preto je nevyhnutné určovať individuálne optimálne množstvo uhlíkových materiálov, pridávaných do pôd.

Termochemickú recykláciu plastov je možné považovať za recykláciu na vyššej úrovni voči mechanickej recyklácii, nakoľko spracuje materiál tak, že sa spätne získajú chemické látky, blízke zloženiu pôvodnej prírodnej suroviny, z ktorej boli vyrobené, z ropy. Pri tomto procese vznikajú chemicky definované frakcie hodnotných látok/surovín, vhodné pre široké spektrum použitia, napr. pre petrochemický, chemický, energetický, metalurgický priemysel a pod. Zároveň sa pri tomto spôsobe oddelia inak neoddeliteľné nečistoty (plastifikátory, farbivá, retardéry horenia plastov a iné aditíva), čo nie je možné v prípade mechanickej recyklácie. Pri mechanickej recyklácii sa nemôže po istom čase mechanicky recyklovaný odpadový plast znova recyklovať z dôvodu degradácie plastu a negatívneho ovplyvnenia vlastností nového výrobku, zvyšovania podielu nečistôt a možnej kontaminácie výrobkov, ktoré sú nevhodné zo zdravotných dôvodov a nespĺnia požiadavky na kvalitu produktu. Triedenie plastov je často komplikovaný proces vyžadujúci sofistikované zariadenia (senzory, rozdzušovanie v ťažkých kvapalinách, hydrocyklóny a pod.) a aj napriek tomu výsledný produkt nie je vždy dostatočne čistý a vhodný na mechanickejšiu recykláciu. Materiál vyrobený mechanickejšou recykláciou, keď už nie je vhodný na ďalšiu takúto mechanickejšiu recykláciu sa nakoniec spaľuje, energeticky zhodnocuje alebo spoluspaľuje. Okrem toho, mechanickejšia recyklácia neposkytuje možnosti využitia a zmiešavania všetkých druhov plastu pri výrobe nových plastových výrobkov, nakoľko nie všetky plasty sú miešateľné pri regranulácii a nie je ich možné využívať do všetkých výrobkov (napríklad PS, PVC, PUR, Silikóny, PES a pod. ktoré sú v obalových aj neobalových výrobkoch). Navyše ďalšia komplikácia je spracovanie termosetov (živíc), buď z komunálnej sféry alebo z priemyslu, ktoré nie je možné opätovne použiť a mechanickejšie recyklovať. Tým sa mechanickejšia recyklácia stáva veľmi obmedzenou, čo do šírky a možností použitia a nerieši komplexne materiálovú recykláciu všetkých druhov plastov. V prípade takýchto druhov plastov a kombinovaných materiálov je možná už len termochemická alebo chemická recyklácia. V súčasnosti sa najviac venuje pozornosť recyklácii PET, ale to tvorí len menší podiel vzniknutého plastového odpadu (7 % podiel v odpadových plastoch), resp. PE na výrobu fólií. Navyše problémom je, že chýbajú podrobné štatistiky o výskyte druhov plastov

v komunálnom a priemyselnom odpade v obaloch a neobaloch. V komunálnom odpade sa vyskytuje najviac PP, potom PE, PET a PS.

Od 1.1. 2021 vzniká novelou vyhlášky MŽP SR č.382/2018 Z.z. povinnosť upraviť odpad pred skládkovaním, pričom je odklad tejto povinnosti do prvého januára 2023. Odpad sa bude upravovať v zariadeniach na mechanicko-biologickú úpravu (MBÚ), a teda je predpoklad ďalšieho zvýšenia množstva plastového odpadu na spracovanie. Zo samotného procesu MBÚ vznikne okrem iného aj frakcia zmesových netriedených odpadov alebo odpadov triedených, ale nevhodných na mechanickú recykláciu. Súčasťou MBÚ závodov je bežne výroba paliva z odpadu (tzv. TAP), ktoré pozostáva najmä zo znečistených plastov, gumy, papiera a iných organických a horľavých zložiek, avšak novelizáciou zákona o odpadoch sa zakazuje energetické zhodnocovanie odpadu po dotriedení, ak je ho možné materiálovo zhodnotiť a recyklovať (podľa § 6, ods.13). V prípade, že sa nevytvoria podmienky pre fungovanie alternatívnych efektívnejších spôsobov materiálovej recyklácie, zabráni sa zvýšeniu úrovne ďalšej recyklácie vôbec a dôjde v konečnom dôsledku opäť k podpore energetického zhodnocovania plastového odpadu, čo na druhej strane nie je cieľom POH. Preto je potrebné na Slovensku podporovať aj zavádzanie nových účinných technológií, ktoré zaplnia chýbajúcu medzeru a ponúknu recyklačnému trhu širšie spektrum možností spracovania plastového a komplexného odpadu a rovnocenné, resp. účinnejšie zhodnotenie, recykláciu a využitie produktov.

Pri termochemickom spracovaní organických látok sa za pôsobenia tepla a bez prístupu vzduchu mení chemická podstata do procesu vstupujúceho odpadu a dochádza k spätnému získavaniu nových organických (zhodnocovanie činnosťou R3) a anorganických (zhodnocovanie činnosťou R5) látok, produktov tuhého, kvapalného a plynného charakteru, ak sa zložky využijú ako materiál. V prípade že sa technológiou získa/vyrobí energetický nosič – palivo (ide o zhodnocovanie činnosťami R12 alebo R1), pričom najviac je v súčasnosti využívaná práve kvapalná frakcia ako druhotné palivo.

Ide o podobnú situáciu, ak sa fyzikálnym spôsobom - mechanickou recykláciou napríklad triedením, drvením a regranuláciou získa regranulát – teda materiál (materiálovo sa recykloval plastový odpad), ktorý sa následne využíva na výrobu výrobkov rôznej kvality a rôzneho použitia (obaly ako fľaše, fólie, stavebné prvky), tak aj termochemickým spôsobom sa získa materiál, ktorý sa využíva na výrobu výrobkov rôzneho druhu a kvality (činnosť zhodnocovania odpadu R3, R5, R1 a pod.).

3.3.1 Podmienky, za ktorých by sa mohol dosiahnuť pre produkty technológie stav konca odpadu alebo vedľajší produkt

Stav konca odpadu podľa zákona o odpadoch je stav, ktorý dosiahne odpad, ak prejde niektorou z činností zhodnocovania odpadu alebo recyklácie a spĺňa tieto podmienky:

- a) látka alebo vec sa má použiť na špecifické účely,
- b) pre látku alebo vec existuje trh alebo je po nej dopyt,
- c) látka alebo vec spĺňa technické požiadavky na špecifické účely a spĺňa požiadavky ustanovené osobitným predpisom¹⁶⁾ a spĺňa technické normy alebo je v súlade s inou obdobnou technickou špecifikáciou s porovnateľnými požiadavkami alebo s prísnejšími požiadavkami, ktoré sa uplatňujú na výrobky, a
- d) použitie látky alebo veci nezapríčiní celkové nepriaznivé vplyvy na životné prostredie alebo na zdravie ľudí.

Vedľajší produkt je látka alebo hnuiteľná vec, ktorá spĺňa tieto podmienky:

- a) je výsledkom výrobného procesu, ktorého primárnym cieľom nie je výroba tejto látky alebo veci,
- b) jej ďalšie používanie je zabezpečené,
- c) môže sa použiť priamo bez ďalšieho spracovania iného ako bežný priemyselný postup,
- d) vzniká ako neoddeliteľná súčasť výrobného procesu,
- e) jej ďalšie použitie je v súlade s týmto zákonom a osobitnými predpismi, ktoré ustanovujú požiadavky na výrobok,¹⁵⁾ ochranu životného prostredia a ochranu zdravia ľudí z hľadiska jeho konkrétneho použitia, a nepovedie k celkovým nepriaznivým vplyvom na životné prostredie alebo zdravie ľudí,
- f) spĺňa osobitné kritériá, ak boli pre látku alebo vec ustanovené osobitným predpisom, a
- g) na to, že látka alebo hnuiteľná vec sa považuje za vedľajší produkt, a nie za odpad, bol udelený súhlas, ak sa vyžaduje podľa § 97 ods. 1 písm. o).

Pre základný výstupný produkt z procesu (*termochemický recyklát*) - kvapalné uhľovodíky (C5-C20) na báze ropy nie je možné uplatniť **stav konca odpadu**, nakoľko aj keby disponoval certifikátom kvality, musel by splniť požiadavku nariadenia REACH (ES) 1907/2006 a v SR neexistuje osobitný predpis, ktorým by sa určovali požiadavky na daný druh výrobku – termochemickeho recyklátu na báze ropy, pripraveného z plastového odpadu. Neexistujú normy a vyhlášky, tak ako je to v prípade napríklad druhotného paliva, paliva z odpadu, podľa vyhlášky MŽP SR č. 228/2014 Z. z. Kvapalný produkt termochemickej recyklácie môže byť zaradený ako odpad:

19 01 17	odpad z pyrolýzy obsahujúci nebezpečné látky	N
alebo		
19 01 18	odpad z pyrolýzy iný ako uvedený v 19 01 17	O

Slovenská environmentálna legislatíva umožňuje reálne uplatniť stav konca odpadu len pre komodity ako palivá z odpadu, niektoré kovy (Fe, Al, Cu) a drvené sklo. Tým sa možnosti uplatnenia surovín pripravených z odpadu na trhu značne obmedzujú, nakoľko nie sú osobitné predpisy a vyhlášky určujúce podmienky, za ktorých je možné získavať a obchodovať s inými surovinami pripravenými z odpadu ako s kovmi, sklom a palivami.

V prípade nakladania s *plynnými produktami* z technológie ENRESS/LEITNER (Variant pôvodný) by sa mohlo jednať o **vedľajší produkt** v prípade, že sa plyn, tak ako vznikne, s takým zložením a v takom objeme, celý využije bez ďalšej špecifickej úpravy priamo v inom procese. Za istých okolností by sa v tomto prípade mohlo jednať o proces následnej separácie a výroby technických plynov. Avšak otázkou je, ako by sa z legislatívneho hľadiska a zadefinovala technológia ENRESS/LEITNER, či pyrolýza a plynová chromatografia by tvorili jeden technologický celok, zložený z dvoch zariadení alebo dve samostatné technológie a ktoré suroviny/materiály by sa považovali za hlavné výstupy. Plyn by však musel disponovať certifikátom kvality v prípade materiálového využitia plynu, kde by boli stanovené požiadavky na zloženie plynu na vstupe do plynovej chromatografie (ENRESS/LEITNER). V prípade výroby jednotlivých technických plynov chromatografiou, tieto plyny už nie je možné považovať **za vedľajšie produkty**, nakoľko to budú už hlavné produkty procesu a nie sú tak splnené požiadavky zákona NR o odpadoch č. 79/2015 podľa § 2, bod (4).

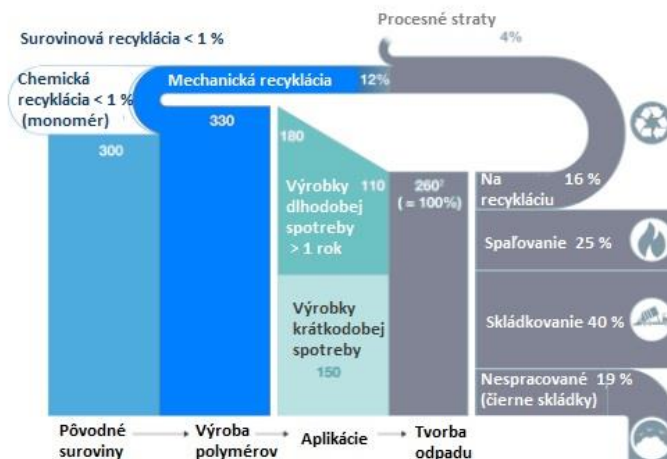
V prípade, ak by sa plyný produkt ako celok bez separácie na jednotlivé zložky použil ako palivo v spaľovacích zariadeniach a splnil kritériá podľa vyhlášky MŽP SR č.382/2018 Z.z. o kvalite palív, mohol by dosiahnuť **stav konca odpadu** (plnenie kritérií podľa osobitného predpisu) alebo by mohol byť zaradený ako vedľajší produkt. Zároveň by musel spĺňať nariadenie REACH (ES) 1907/2006 (registračné a oznamovacie povinnosti). Navyše, ak by sa použil plyn v rafinérii ropy, nemusel by spĺňať požiadavky na obsah síry v palive podľa § 6, ods. 1, písmeno a až d.

V prípade výroby separovaných plyných frakcií (H₂, CH₄, N₂ - etén, propan-bután), ktoré by slúžili ako plyné palivá, by sa mohlo jednať **o stav konca odpadu** za rovnakých podmienok certifikácie produktu, REACH a vyhlášky MŽP SR č.382/2018 Z.z.

Stav konca odpadu by bolo možné splniť aj v prípade tuhého produktu, uhlíkového zvyšku, ale len ak by sa použil ako tuhé **palivo** podľa rovnakých podmienok ako sú uvedené vyššie. Podľa zákona NR SR č.163/2001 Z.z. je prevádzkovateľ zariadenia ako dodávateľ látky (produktu) alebo prípravku (ak splní požiadavky na **stav konca odpadu**) povinný vypracovať *Kartu bezpečnostných údajov* podľa osobitného predpisu (Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH)) a poskytnúť ju každému príjemcovi látky alebo prípravku a Národnému toxikologickému informačnému centru zriadenému podľa osobitného predpisu v štátnom jazyku.

3.4. Súčasná situácia v oblasti materiálovej recyklácie plastov v SR a vo svete

Globálne sa v roku 2016 vyprodukovalo zhruba 260 miliónov ton plastového odpadu ročne, pričom len okolo 16 % sa vytriedilo a nasledovalo na mechanickú spracovanie a reálne bolo vhodné na mechanickú recykláciu len približne 12 %. Ostatné spôsoby recyklácie, ako je vidieť z obr.2 boli v úzadí a tvorili len cca 2 %. Viac ako 50 % odpadových plastov sa v globále nespracovalo vôbec a 25 % sa spaľovalo, resp. energeticky zhodnotilo. V roku 2018 už bola produkcia odpadových plastov vo svete okolo 350 miliónov, pričom vo svete sa recyklovalo len zhruba 9 % plastov. V EÚ sa recyklovalo v roku 2018 32,5 % (vyzbieraných bolo viac ako 30 mil. ton odpadových plastov zo spotreby) a 42,6 % sa energeticky zhodnotilo a zvyšok skládkovalo. Plastové obaly tvoria 40 % odpadu, 12 % tvorí plastový spotrebný tovar (neobaly) a 11 % tkaniny a textil. Vyzbierné odpady z plastových obalov predstavovali množstvo zhruba 18 mil. ton, pričom miera recyklácie plastových obalov je mierne vyššia ako celkových odpadových plastov, a to 42 % a energetické zhodnocovanie odpadov z plastových obalov tvorí podobne 40 %. Z toho je zrejmé, že energetické zhodnocovanie spolu so skládkovaním tvoria majoritné spôsoby nakladania s plastovým odpadom v EÚ. Plasty sa podieľajú na celkových emisiách skleníkových plynov mierou 3,4 %. Navyše odhahuje sa, že okolo 30 mil. ton plastového odpadu sa nachádza v moriach a oceánoch a približne 109 mil. ton je akumulovaných v riekach. Zároveň sa uvádza, že 12 % z celkového plastového odpadu tvoria mikroplasty, ktoré sa následne dostanú do životného prostredia a potravinového reťazca.



Obr.2: Globálny tok polymérov (v mil. ton za rok) za rok 2016 (Hundertmark T., 2018),
zdroj: *EuRIC position on chemical recycling, 2019, www.euric-aisbl.eu*

Na Slovensku sa uvedie na trh ročne zhruba 250 000 plastových obalov (2019), pričom neexistuje presný a spoľahlivý údaj a jedná sa len o odhad. Zároveň z dostupných štatistík nie je jasné, koľko plastového odpadu sa v SR ročne vytriedi, čo komplikuje situáciu pri vykazovaní požadovanej miery recyklácie a celkový pohľad na ďalšie legislatívne kroky a nastavenie optimálnych podmienok pre ďalšie nakladanie s plastovým odpadom. Podľa odhadov a prepočtov Najvyššieho kontrolného úradu SR sa vytriedi ročne (2019) okolo 131 000, ktoré je k dispozícii na spracovanie, pričom zvyšný odpad plastov zostáva v zmesovom odpade a skládkuje sa alebo spaľuje. Navyše, časť vytriedeného plastového odpadu podľa dostupných údajov je nerecyklovateľná a teda končí na skládke alebo v spaľovni a tvorí ju zhruba 30 % z vytriedených plastov. Podľa údajov z dokumentu Najvyššieho kontrolného úradu SR, za rok 2019 mohlo byť k dispozícii približne 110 000 ton plastového odpadu na recykláciu a z tohoto množstva sa recykluje reálne okolo 44 %. Oficiálne štatistiky uvádzajú 46,5 %.

Značné nedostatky sú už na úrovni samotného zberu plastov a triedenia. Navyše neexistujú štatistiky ohľadne druhového zloženia plastových odpadov, čo rovnako neumožňuje zvoliť a pripraviť infraštruktúru pre správne fungovanie a nastavenie recyklačného priemyslu a technológií recyklácie rôznych druhov plastového odpadu. Na základe dostupných údajov vyplýva, že najviac recyklovaným druhom plastového odpadu je PET a ročne sa dostane na recyklačný trh u nás okolo 30 000 ton PET odpadu. Najväčšou spoločnosťou v SR na recykláciu PET plastov je Greentech Slovakia, s.r.o. s kapacitou 40 000 ton ročne, pričom odpad musí dovážať, nakoľko v SR sa toľko PET odpadu nevyprodukuje. Ďalšou významnou spoločnosťou je General plastic, a.s., ktorý recykluje PET plastový odpad na recyklovaný rPET mechanickým spôsobom cca 13 000 ton ročne a tiež časť spotreby si pokrýva nákupom zo zahraničia. Spracovateľské spoločnosti (zhruba 44) na Slovensku spracovávajú plastový odpad jednak z priemyslu a jednak z komunálneho odpadu, obaly aj neobalové výrobky. Je však problematické získať dostupné komplexné údaje o spracovateľských kapacitách jednotlivých spoločností recyklujúcich plastové obaly u nás, o ich reálne spracovávaných množstvách, druhoch spracovávaných plastových odpadov, ich čistote a množstve vzniknutých odpadov zo spracovania týchto plastov. Niektoré spoločnosti spracovávajú napríklad len priemyselné plastové odpady a odpady z elektrozariadení, autovrakov a pod. Bez podrobného uceleného prehľadu nie je možné urobiť hĺbkovú analýzu skutkového stavu,

stanoviť problematické miesta a nastaviť optimálny systém spracovania a recyklácie plastového odpadu.

V súčasnosti sa odhaduje, že v zmesovom komunálnom odpade zostáva približne 50 % všetkých PET fľaš uvedených na trh. Zhruba 30 % z vytriedeného plastového odpadu končí na skládkach, kvôli nevyhovujúcej kvalite pre následné zhodnotenie a absentujúcim technológiám a odberateľom takto znečisteného plastového odpadu.

V prípade predpokladu, že v zmesovom KO sa nachádza okolo 10 % plastov, potenciál vytriedenia a ďalšieho spracovania a recyklácie plastov je síce okolo 90 000 ton ročne, avšak zatiaľ nie je vytvorená dostatočná infraštruktúra na ich vytriedenie podľa druhov a ich čistenie a následnú efektívnu recykláciu. Zároveň, podiel PET bude minimálny (podiel okolo 7 % v zmesi plastového odpadu) podobne ako PS a najviac budú zastúpené PE, PP spolu cca 50 %. PVC a PUR tvoria spolu 18 %.

Z množstva 110 000 ton plastového odpadu pri dosahovanej miere recyklácie približne 44 % je možné odhadnúť, že spoločnosti v SR recyklujú mechanickým spôsobom približne 48 400 ton plastového odpadu ročne, z toho ak 30 000 ton je PET, potom zvyšných vytriedených 18 400 ton predstavujú ostatné druhy plastu PE (najmä HDPE), ktoré je tiež pomerne dobre recyklovateľné, potom PP a minimálne recyklované PS a PVC, ktoré sa následne energeticky zhodnotia alebo zneškodnia skládkovaním alebo spaľovaním. Aj keď existujú technológie ich recyklácie, dopyt po výslednom materiáli je obmedzený, resp. samotný proces je ekonomicky nerentabilný a predražuje recyklovaný materiál oproti primárnym výrobkom. Nie všetok recyklát sa dá použiť na ten istý účel, ako bol pôvodný výrobok. Napríklad polyméry každou mechanickou recykláciou strácajú svoje vlastnosti, čo obmedzuje ďalšie využitie a opätovne možno takto mechanicky spracované plasty recyklovať 2-3 krát. Informácie z odbornej literatúry potvrdzujú, že na materiálúv mechanickú recykláciu je vhodných len okolo 40 % plastových odpadov a účinnosť materiálovej recyklácie zmesových plastových odpadov sa pohybuje menej ako 67 % kvôli stratám počas triedenia a separácie.

Z hygienických dôvodov je dnes taktiež náročné vyrobiť novú fľašu len výlučne z recyklátu PET, ale je na to nutný aj primárny materiál. Využitie recyklátu PET je bežné v textilnom priemysle. Hlavnou bariérou je ale samotný trh, keďže pri súčasných cenách nie je dopyt po recyklátoch určitých plastov, či kombinovaných materiálov. Recyklácia tak neprináša zisk, čo vedie k tomu, že lacnejšie je materiál skládkovať. Navyše, komerčný záujem o mechanicky recyklovaný PET závisí od ceny ropy; teda ak je cena ropy pod 65 USD za barel, mechanicky recyklovaný PET nemôže byť konkurencie schopný. V takomto prípade by mohla vyriešiť problém chemická depolymerizácia PET (rozpušťanie v rozpúšťadlách) na vysoko kvalitné monoméry a oligoméry.

Z uvedených štatistík a informácií je zrejmé, že aj napriek tomu, že miera recyklácie sa za posledné obdobie zvyšuje a dosahuje približne 44 %, existuje recyklačný trh v prvom rade zameraný najmä na PET a HDPE odpadové plasty, pričom recyklácia ostatných druhov plastových odpadov je minimálna a zároveň nie je vytvorený dostatočne funkčný a účinný systém zberu plastov a plastových obalov z komunálneho odpadu a podobného odpadu z priemyslu. Splnenie cieľa recyklácie do roku 2025 a 2030 je pravdepodobne ohrozené a je zrejmé, že problémom sú znečistené vytriedené plastové odpady, ktoré končia na skládkach. Podpora kapacít na vytriedenie problematických druhov plastov na mechanickú recykláciu neumožní želané zvýšenie úrovne a miery recyklácie týchto odpadových plastov, nakoľko nie sú ešte dostupné technológie na ich efektívnu recykláciu. Zároveň je zrejmé, že viac ako 30 % (v niektorých prípadoch to môže byť až do 50 %) z triedeného zberu nie je vhodné na mechanickú recykláciu. Na mieste je teda otázka, aké riešenia je vhodné prijať, aby sa

vyplnila medzera na trhu so spracovaním plastov, na ktoré mechanická recyklácia neposkytuje komplexné alebo dostatočne vhodé a ekonomicky prijateľné riešenie.

Z dokumentov MŽP SR (POH 2021-2025) a skúseností prevádzkovaných alebo uvedených na trh na chemickú recykláciu vyplýva istá nevoľa a bariéry podpory uvádzania na trh týchto technológií. Na druhej strane je potrebné povedať, že tento typ technológie sa neustále vyvíja a zlepšuje, pričom sa neustále zohľadňujú problematické miesta a technické, ekonomické a spoločenské prekážky tohto typu technológie. Prvé termochemické technológie na spracovanie plastových odpadov používali a stále vo väčšine používajú napríklad iný typ ohrevu (najčastejšie spaľovanie vyprodukovaného plynu) a nedokázali zabezpečiť stabilný chod procesu a požadované kvalitatívne parametre kvapalných produktov a pre ich ďalšiu materiálovú recykláciu. Podobný typ technológie funguje v SR na spracovanie napríklad použitých pneumatík, avšak produkty nie sú určené primárne pre materiálovú recykláciu, ale pre energetické zhodnocovanie. Súčasná technológia však už dokáže tento „handikep“ odstrániť a nastaviť požadovaný teplotno-tlakový profil reaktora a riadiť proces rozkladu tak, že sa zabezpečia maximálne množstvá kvapalného produktu rovnorodého zloženia s požadovanými kvalitatívnymi parametrami vhodnými aj pre opätovnú výrobu plastov alebo výrobu špecifických chemických látok pre priemyselné použitie. Okrem toho, podobný termochemický rozkladný proces (splyňovanie) je bežný už niekoľko desiatok rokov vo svete aj u nás napríklad na spracovanie biomasy, komunálnych odpadov alebo nebezpečných ťažkospracovateľných komplexných odpadov a nie je prekážkou v tomto prípade ani výroba paliva - syntézneho plynu alebo výroba tepla a elektrickej energie z daného odpadu a generovanie istého podielu tuhého odpadu v podobe trosky.

Na rozvoj recyklačného sektora má významný vplyv aj úroveň spolupráce priemyselného sektora, výskumu, MŽP SR a MH SR a podpora vývoja nových technológií a alternatívnych procesov. Zabezpečenie prepojenia výskumu a priemyselného sektora je základom pre úspešnú aplikáciu vyvíjaných technológií.

V tomto kontexte je veľmi dôležitou úlohou zabezpečiť súčasne s vhodnou diverzifikáciou spôsobov spracovania a recyklácie plastových odpadov aj dôkladné vytriedenie plastov z komunálneho odpadu a z priemyslu a ich následné triedenie podľa druhov. Chýbajúcim článkom pre úspešné nastavenie recyklácie sú tiež údaje o druhovom zložení a zastúpení plastov v prúdoch plastového odpadu. Pre ich úspešnú recykláciu však musia byť k dispozícii vhodné recyklačné technológie. Pri zhodnocovaní plastových odpadov je tiež potrebné zohľadniť energetickú náročnosť procesu a energetický mix krajiny.

Na druhej strane, je zrejmé, že existuje a bude sa za daných podmienok a stavu OH vyskytovať zvýšený podiel zmiešaných plastových odpadov nízkej kvality, ktoré nebudú vhodné pre mechanickú recykláciu (z triedeného zberu a vytriedených plastov z KO nevyhovujúcej kvality, z triediacich a MBÚ závodov a odpad spoločností na mechanickú recykláciu plastových odpadov nevyhovujúcej kvality alebo z textilného zmiešaného odpadu (s obsahom prírodných a syntetických vlákien). Tu je priestor a štúdie životného cyklu plastov (LCA) poukazujú, že chemická recyklácia (napr. PET podnosov, zmiešaných plastov, PES textilných produktov a pod.) je vhodnou alternatívou k mechanickej recyklácii. Hoci mechanická recyklácia má podľa LCA štúdií menšiu uhlíkovú stopu voči chemickej recyklácii, každopádne má však nižšiu stopu ako spaľovanie a energetické zhodnocovanie.

3.5. Súčasný stav poznania v oblasti chemickej materiálovej recyklácie plastov u nás a vo svete

Chemická recyklácia je proces, ktorý dopĺňa procesy mechanickej recyklácie a to tým, že umožňuje ďalšie získavanie hodnoty z polymérov, ktoré vyčerpali a stratili svoj ekonomický a technický potenciál pre mechanickejšiu recykláciu. Chemická recyklácia je alternatívou k spaľovaniu a skládkovaniu ťažko recyklovateľných plastových produktov ako sú fólie, laminované plasty a viacvrstvové plastové produkty a pod. Navyše, chemickou recykláciou sa dajú získať suroviny s kvalitou, rovnou pôvodným prírodným surovinám, vhodné pre zabezpečenie surovinového reťazca pre výrobu nových plastov. Tým sa umožňuje výroba plastov zo spotrebiteľského plastového odpadu s kvalitou vhodnou opäť pre balenie potravín.

Recyklácia odpadových plastov zahŕňa niekoľko možných procesov (obr.3). V princípe sa jedná o mechanické a chemické (nízkoteplotné a vysokoteplotné) procesy recyklácie. Pri mechanickej procese sa určité skupiny a druhy plastov (najčastejšie PET) fyzikálnym spôsobom upravujú z hľadiska veľkosti častíc a zloženia a spracujú na regranulát, ktorý sa následne využije pre výrobu rôznych produktov bežnej spotreby, textilu, obalov a neobalových výrobkov. Limitom je čistota plastov a druhové zloženie plastov. Plasty ako PS, PE, PP, PVC, PUR sa mechanickej recyklujú v menšej miere, pričom tieto druhy plastov tvoria z celkového množstva väčšinový podiel (viac ako 75 % z celkového podielu) plastového odpadu na trhu. Chemická recyklácia zahŕňa procesy termickej surovinovej (tzv. feedstock) recyklácie a chemickej recyklácie pomocou rozpúšťadiel pri štandardných podmienkach teploty a tlaku.

Medzi procesy vysokoteplotnej chemickej surovinovej recyklácie patrí:

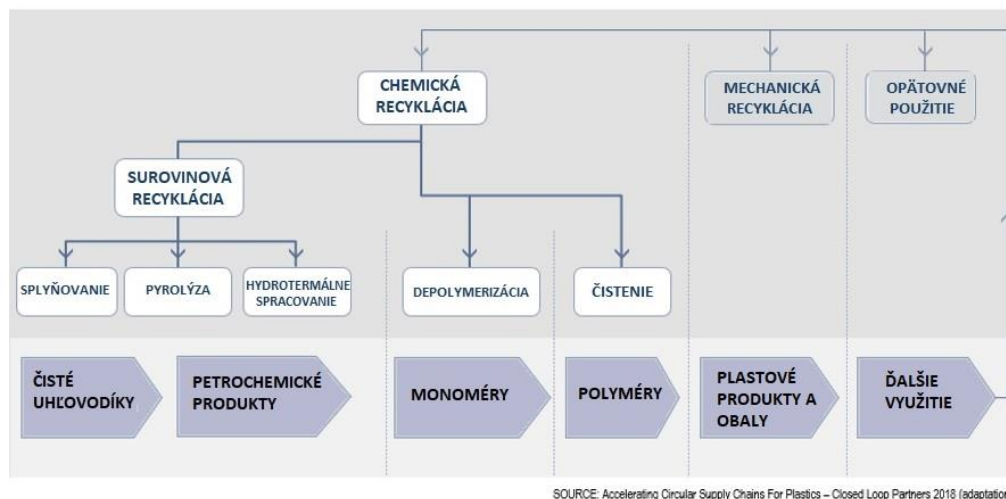
- pyrolýza,
- splyňovanie alebo
- hydrotermálne spracovanie (vodné prostredie, vyššia teplota a tlak),

a nízkoteplotnej chemickej recyklácie

- chemická depolymerizácia – získanie monomérov,
- chemická extrakcia (čistenie) čistých polymérov pomocou rozpúšťadiel, obr.3.

Surovinová (feedstock, resp. termochemická) recyklácia je proces, ktorým sa polyméry chemickým spôsobom vplyvom pôsobenia tepla transformujú (rozkladajú, disociujú) na jednoduchšie molekuly, ktoré tvoria následne vstupnú surovinu pre jej ďalšie spracovanie v petrochemickom a inom priemysle. Ide o pyrolýzu alebo splyňovanie, kde výstupom sú základné chemické látky – uhlíkovodíky alebo syntézny plyn, ktoré sa ďalej môžu využiť pre výrobu polymérov. Charakter týchto výstupov umožňuje ich flexibilné využitie v petrochemickom priemysle. Produkty získané chemickou recykláciou pomocou pyrolýzy sa môžu spracovať konvenčnými rafinačnými technológiami na výrobu základných stavebných prvkov pre polyméry. Bežnými plastami vhodnými na pre takéto spracovanie sú Polyolefíny [Polyetylen (PE), Polypropylen (PP), Polybutylen (PB)], Polystyrén (PS), PMMA (polymetyl metakrylát). Pyrolýza je vhodná na použitie na spracovanie jednodruhových plastových

odpadov a zároveň prináša výhody v prípade spracovania znečistených a kontaminovaných plastov a prúdy zmesových plastových odpadov. Termické metódy chemickej recyklácie sú teda viac vhodné pre zmesové plasty viac ako ostatné chemické recyklačné procesy, avšak pre zabezpečenie vyhovujúcej kvality výstupných produktov (olej, plyn pre následnú výrobu plastov) je vhodné odstrániť zo vstupov do istej miery prinajmenšom PET a PMMA, ktoré môžu obsahovať vo svojich molekulách kyslík a PVC.



Obr.3: Procesy možných spôsobov recyklácie odpadových plastov

Depolymerizácia (obecne chemolýza) je proces, ktorým sa polyméry chemicky rozkladajú na monoméry alebo polyméry s kratším reťazcom (oligoméry) a následne sa môžu použiť opäť pri procese výroby plastov. Na tento účel sa využívajú procesy ako hydrolýza, glykolýza, alkoholýza, metanolýza, aminolýza a pod.) podľa toho aké činidlá sa využívajú. Avšak depolymerizácia je vhodná pre recykláciu plastov, ktoré sa vyrábajú procesom kondenzácie a jedná sa predovšetkým o plasty ako PET (Polyetylén), PA (Polyamid), PUR (Polyuretán) a PC (Polykarbonát). Pre plasty, ktoré sa vyrábajú adičnými reakciami, ako sú PP, PE a PVC, sa tento spôsob recyklácie nemôže použiť. Toto obmedzenie je limitujúcim faktorom depolymerizácie, nakoľko PP, PE a PVC tvoria najväčší podiel v prúde odpadových plastov.

Chemická extrakcia alebo čistenie (angl. solvent based extraction/purification) je proces, ktorým sa pomocou chemických rozpúšťadiel a činidiel rozpúšťajú a oddeľujú jednotlivé polyméry (selektívne rozpúšťanie) od nečistôt alebo rozpúšťajú naopak všetky nečistoty alebo ostatné polyméry a ponechávajú nedotknutý čistý záujmový polymér. Takto oddelené alebo rozpustené polyméry sa následne priamo použijú alebo podrobia opäť kryštalizácii na daný polymér, pričom nestratia na kvalite a môžu sa použiť na výrobu nových plastov. Premenu plastového odpadu späť na základné chemické látky a vstupné suroviny pre priemysel má chemická recyklácia obrovský potenciál významne zlepšiť mieru recyklácie a odkloniť skládkovania, spaľovanie plastového odpadu. Na druhej strane je samozrejme potrebné dbať na kontrolu vstupov na spracovanie vzhľadom na znečistenie v niektorých prúdoch zmesových plastov a elimináciu tvorby dioxínov a polycyklických aromatických uhlíkovodíkov.

Historicky sa procesy pyrolýzy (resp. splyňovania) využívali a komerčne využívajú pre účely najmä výroby koksu (uhlíka), spracovania zmesového komunálneho odpadu alebo biomasy

(napr. Nemecko, Japonsko, Švédsko, UK, Taliansko a ďalšie). Čo sa týka aplikácie procesov pre odpadové hospodárstvo, pre spracovania zmesových plastov sa tieto technológie vyvíjajú posledných viac ako 20 rokov a v súčasnosti existuje niekoľko závodov a prevádzok, ktoré poukazujú na schodnosť procesov chemickej surovinovej recyklácie a čoraz viac sa presadzujú do komerčnej reality. V najbližšom období niekoľkých rokov sa očakáva komercializácia množstva ďalších prevádzok. Veľkosť prevádzok zameraných na procesy chemickej recyklácie v praxi sa pohybujú od 3-10 000 ton/rok do 30 až 200 000 ton ročne.

Použitie termochemickej surovinovej recyklácie môže vyplniť medzeru v spracovaní odpadových plastov pre získanie plnohodnotných surovín pre výrobu PE a PP, ktoré nie je možné spracovať priamo depolymerizáciou na monoméry. Tieto technológie môžu spracovávať zmesový odpad a odstraňovať kontaminujúce látky (aditíva, prímеси). Navyše týmto sa vyrobí opäť polyméry rovnakej kvality ako z primárnych surovín a môžu sa teda použiť opäť na výrobu obalov pre potraviny, čo by mechanickou recykláciou nebolo možné dosiahnuť.

Zároveň veľkou výhodou je, že olej a ostatné produkty vyrobené z odpadových plastov termochemickým procesom môžu slúžiť ako zásoba a flexibilné efektívne **uskladnenie energie**, v časoch, keď to bude žiadúce. Kombinácia metód chemickej a mechanickej recyklácie má preto významný potenciál transformovať celý plastový priemysel, vrátane nakladania s odpadmi do úplne uzavretého hospodárstva. Komplexné obehové hospodárstvo se preto reálne nezaobíde bez chemickej recyklácie.

V prípade, že sa odpadové zmesové plasty použijú na spaľovanie a energetické zhodnocovanie, ich potenciál ako suroviny sa definitívne stráca a navyše tým prináša sekundárne zaťaženia ovzdušia väčším množstvom a spektrom emitovaných znečisťujúcich látok z aditív a nečistôt plastov, keďže sa spaľujú tieto odpady bez predchádzajúcej úpravy, a rovnako to nie je v súlade s cieľmi OH SR a EÚ a ani s hierarchiou OH. Zároveň sa stratí okrem potenciálu organickej hmoty aj potenciál aditív v plastoch, ako sú kovy a nekovové zložky, ktoré následne skončia v škvare alebo popolčeku, ktoré sa toho času skládkujú, čo nie je v súlade s princípmi obehového hospodárstva.

3.5.1. Príklady technológií na chemickú recykláciu plastov z praxe u nás a vo svete

Technológie termochemického spracovania a recyklácie (pyrolýza, splyňovanie) sa úspešne uplatňujú v praxi niekoľko desiatok rokov pre komodity ako sú odpadové plasty, použité pneumatiky, viacvrstvové kombinované materiály, biomasu, zmesový komunálny odpad, odpadové kaly z ČOV, tuhé alternatívne palivá z MBÚ závodov, zvyšky zo šredrovania autovrakov, nemocničné odpady, olejové odpady a pod.

V EÚ funguje v súčasnosti niekoľko prevádzok na termochemickú recykláciu plastov a to v Nemecku, Španielsku, Rakúsku a Fínsku a vo svete sa trh s týmito technológiami orientuje prevažne na USA a Kanadu, resp. Malajziu. Existujú tiež zmienky o inštalovaných ďalších prevádzkach na termochemickú recykláciu plastov v Taliansku, Rumunsku alebo Macedónsku, ale nie sú k dispozícii podrobnejšie informácie.

Technológie termochemického rozkladu polymérov prešli a stále prechádzajú vývojom a inováciami s ohľadom na technické aspekty zariadení, nové poznatky o procesoch a mechanizme rozkladu, vzhľadom na skladbu a zloženie polymérnych odpadov, vývoj odpadového hospodárstva, legislatívnych požiadaviek, limitov zhodnocovania a recyklácie odpadov a pod.

Plastové odpady pochádzajúce zo spotrebiteľskej sféry, triedeného zberu komunálneho odpadu sú znečistené, obsahujúce rôzne druhy plastov a iné materiály ako bioodpad, kovy, sklo, papier, drevo a pod. a preto nie sú často veľmi vhodné na mechanickú recykláciu, resp. je potrebné vynaložiť viac prostriedkov na ich čistenie a následnú separáciu podľa druhov. Takéto heterogénne zmesové plastové odpady sa zväčša spaľujú alebo skládkujú. Navyše, plasty degradujú počas svojej životnosti a teda ich opätovné použitie pre rovnaké aplikácie alebo kvalitné produkty je často znemožnené, resp. mechanická recyklácia je prakticky vylúčená. Termochemická recyklácia v tomto poskytuje riešenie na výrobu kvalitných surovín v podobe olejových produktov, palív alebo monomérov, nakoľko je schopná tolerovať väčšie množstvo kontaminantov vo vsádzke a je výhodná z hľadiska ekonomického vďaka absencii väčšieho počtu krokov predúpravy vsádzky.

Spoločnosť Plastic energy prevádzkuje v Španielsku od roku 2015 a 2017 dve polokontinuálne prevádzky s kapacitou 5000 ton ročne a toho času sú v príprave prevádzky v Anglicku, Holandsku a Francúzsku. Technológie sú schopné spracovať znečistené zmesi plastov PP, PE, PS (obaly vrátane fólií a viacvrstvových materiálov a multikomponentných plastových odpadov) bez potreby triedenia, premývania a čistenia. Technológia je jednoduchá, robustná pracujúca za nižších teplôt a štandardného tlaku s nízkymi nárokmi na dodávky energie. Kvapalná olejová frakcia (do 85 %) konečného názvu TACOIL je používaná pre výrobu nových plastov, uhlíkový zvyšok sa uplatňuje ako materiál v konštrukčnom priemysle na výrobu cementu a stavív a plynná frakcia sa využíva na vykurovanie reaktora.

Ďalšou spoločnosťou, ktorá recykluje odpadové plasty termochemickým rozkladom je napríklad HHI s prevádzkou v Malayzii. V rámci vzájomnej spolupráce recyklačného závodu na odpadové plasty HHI a spoločnosti Sabic, globálneho lídra (Saudská arábia) v oblasti chemického priemyslu vznikol prvý certifikovaný produkt (cirkulárny polyolefín akreditovaný Zero Plastic Ocean). Plasty vyzbierané z oceánu sa spracujú procesom pokročilej technológie pyrolýzy odpadových plastov.

Fínska spoločnosť Pohjanmaan Hyötyjäteknologiset (PHJK) uviedla do prevádzky termochemické spracovanie odpadových plastov a vyrába olej v rotačnom reaktore pri nízkych teplotách v dávkovom režime 10 ton odpadu za deň. Súčasťou technológie je destilácia oleja za účelom získania vyššej kvality produktu. Súčasná kapacita predstavuje 3 mil. litrov oleja za rok. V súčasnosti pracuje na kontinuálnom prevedení technológie. Ďalšia spoločnosť vo Fínsku Neste pracuje na pilotnom projekte a v roku 2019 avizovala realizáciu prevádzkového testu, zameraného na produkciu oleja pre svoju rafinériu termochemickým rozkladom odpadových plastov. Spoločnosť plánuje do roku 2030 spracovať milión ton odpadových plastov za rok.

Bližšie informácie o prevádzkovaných technológiách termochemickej recyklácie a bližšie údaje o kapacite, technológii a produktoch sú uvedené v tab.8.

Väčšina uvedených prevádzkovaných termochemických technológií na recykláciu plastov využíva rotačný reaktor alebo fluidný (vo vznose) a toho času sú v prevádzke dve technológie využívajúce vretenový (závitokový) reaktor, podobne ako technológia ENRESS/LEITNER. Vstupným materiálom sú najčastejšie zmesové plasty alebo znečistené plasty nevyhovujúcej kvality pre mechanickú recykláciu, napríklad z MBÚ závodov.

Výstupnými produktami sú rôzne oleje a syntetické palivá na báze dieselu, benzínu, ľahkých olejov, leteckého paliva, ľahkých a ťažkých frakcií voskov. Jedna technológia (Susteen Technologies) tiež produkuje vodík z procesu a produkt na báze antracitového uhlia a jedna technológia produkuje styrenové monoméry.

Tab.8: Technológie termochemickej recyklácie prevádzkované v EU a vo svete

Dodávateľ technológie	Kapacita (ton/deň)	Produkt	Technológia	Umiestnenie	Stav
VadXX	60	Syntetická surovina, diesel	Rotačná pec	USA	Online
Nexus	50	Ľahký olej, diesel, benzín, petrolej, zmes, vosk	Taviaci reaktor	USA	Online
Agilyx	10-50	Ľahký syntetický olej	Duálny vretenový reaktor	USA	Online
Recycling Technologies	20	Uhl'ovodíky ss nízkym obsahom síry Plaxx – vosk	Fluidný reaktor	UK	Online
Plastic Energy	20	Surový diesel, ľahký olej, syntézny plyn	Tankový reaktor s miešaním (STR)	Španielsko	Online
Susteen Technologies	12	Zelená surovina, diesel, benzín a letecké palivo	Vretenový reaktor s recirkuláciou	Nemecko	Online
		Zelený vodík	TCR® vodík		
		Antracitové uhlie			
PHJK	12-14	Ľahký olej	Rotačná pec	Fínsko	Online
		Diesel			
Renewlogy	0.24	Crude oil	Rotačná pec	USA	Online
	10				
Pyrovac	1.2	Diesel a benzín	Viacnistejová pec	Kanada	Online
	12	Diesel a benzín	Vákuový reaktor		Vo výstavbe
				Kanada	
Re-oil (OMV)	2.4	Syntetický olej	Fixný reaktor	Rakúsko	Online
Termické krakovanie (BP proces)	1	Ľahké a ťažké frakcie oleja/vosku	Fluidné lôžko	Nemecko	Zastavená
Pyrowave	0.1-0.2	Styrénové monoméry z PS	Mikrovlnná katalytická depolymerizácia	Kanada	Online

Predúprava plastového odpadu je dôležitým krokom pred pyrolýzou. V niektorých prípadoch je potrebné zabezpečiť, aby vsádzka bola rovnorodá z hľadiska veľkosti a tvaru drvením/sitovaním a aby sa vo vsádzke nevyskytovali kovy, drevo, sklo a pod. v prípade, že

je cieľom vyrobiť kvalitné palivo. Nutnosť drvenia a triedenia je však závislá viac menej od typu reaktora a nie je vždy limitujúcim faktorom. Niektoré vybrané druhov plastov (PVC, PMMA, PA) nie sú pre vhodné pre termochemické spracovanie, nakoľko spôsobujú obmedzenia technologické (plasty s obsahom kyslíka PET, PMMA, PA) a environmentálne (emisie HCl, HF, PAU).

3.6. Súlad cieľov a výstupov technológie ENRESS s hierarchiou OH a platnými predpismi a cieľmi OH

Revidovaná smernica o odpade (2008/98/EC) stanovila ambiciózne ciele pre prípravu na opätovné použitie a recykláciu odpadových plastov: 55 % do roku 2025, 60 % do 2030 a 65 % do roku 2035. Podobne Smernica pre Obaly a odpady z obalov určuje ciele recyklácie 55% do roku 2030. Nové zámery stanovené na úrovni EÚ zároveň podporujú vývoj nových priemyselných riešení, ktoré sú v súlade s legislatívnymi recyklačnými cieľmi.

Cieľom odpadového hospodárstva SR v oblasti nakladania s odpadmi z obalov je do konca roku 2025 dosiahnuť mieru recyklácie najmenej 65 %, pričom minimálne ciele pre recykláciu plastov je 50 % a 55 % do 2030.

Z POH (2021-2025) vyplýva, že odpady z plastov, ktoré sú v SR zastúpené veľkým počtom spracovateľských liniek, sú z hľadiska plánovania a optimalizácie infraštruktúry spracovateľských zariadení najdôležitejším prúdom, a to nie len z dôvodu zvyšovania požiadaviek na triedený zber, ale najmä z hľadiska zvyšovania cieľov zhodnocovania a recyklácie obalov do roku 2030. Z dokumentu ďalej vyplýva podpora výroby alternatívnych palív vyrobených zo zmesového komunálneho odpadu (ZKO) v rámci podpory využívania obnoviteľných zdrojov energie vtedy, ak nie je environmentálne vhodné ich materiálové zhodnotenie. Toto opatrenie je plnené prostredníctvom dotačnej schémy realizovanej v rámci výziev Operačného programu Kvalita životného prostredia, zameraných na mechanicko-biologickú úpravu ZKO.

Z tohoto dokumentu vyplýva, že na jednej strane sa nepodporujú alternatívne doplnkové technológie, ktoré sú schopné vyrobiť materiál alebo palivo zo zmesových znečistených plastových odpadov, ktoré nie sú vhodné napríklad na mechanickú recykláciu a na druhej strane sa podporuje výroba alternatívnych palív z odpadu po mechanicko biologickú úprave KO, čo je možné chápať ako rozpor.

Úprava odpadu pred skládaním vyplýva z novely zákona o odpadoch a nadobudne účinnosť 1.1.2023. Týmto spôsobom sa nedosiahne podpora materiálovej recyklácie takýchto znečistených plastových odpadov ale naopak, bude sa zvyšovať podiel spaľovania, energetického zhodnocovania odpadov a skládkovanie.

Ako podobný príklad môže slúžiť aj podpora výroby paliva – bioplynu z biologicky rozložiteľných odpadov alebo zo skládkového plynu, pričom sa nikto nepozastavuje nad tým, že sa z odpadu vyrobí palivo a použije automaticky ako energetický nosič.

Z POH (2021-2025) tiež vyplýva, že najhoršia situácia v oblasti recyklácie medzi suchými zložkami komunálneho odpadu, ktoré sú súčasťou klasického triedeného zberu, je v oblasti plastových odpadov. Napriek existencii množstva spracovateľských zariadení v SR na odpady

z plastov možno situáciu infraštruktúry koncových spracovateľských kapacít hodnotiť ako kritickú a nedostatočnú. Podobná situácia je však aj v iných členských štátoch EÚ, kde je rovnako problematické umiestňovať mnohé druhy plastových odpadov za účelom recyklácie. Výnimkou sú len odpady z polyetyléntereftalátu - PET (najmä nápojové obaly z PET), kde aj napriek zhoršeniu situácie s druhotnými surovinami je možné vytriedené plastové PET odpady umiestniť do recyklačného zariadenia. Recyklačné kapacity pre plastové odpady bude preto potrebné v nasledujúcom období prehodnotiť, a to najmä vzhľadom na neustále sa zvyšujúce limity pre recykláciu plastových obalov, ktoré priniesol nový odpadový balíček EÚ.

V súčasnosti je cítiť veľký spoločenský tlak na komplexnejšie riešenie problematiky spracovania a recyklácie plastov, nakoľko problém plastového odpadu v spoločnosti presahuje hranice únosnosti, najmä kvôli nízkej úrovni zberu, triedenia, často nevyhovujúcej kvalite vytriedeného plastového odpadu, nedostatočnej úrovne spracovania a recyklácie plastových odpadov, výskytu a pôsobenia mikroplastov v životnom prostredí, enormný výskyt plastov v riekach a oceánoch, v potravinovom reťazci a pod. Jedným z riešení, ku ktorému sa prikláňajú zástupcovia priemyslu, a ktoré by mohlo pomôcť riešiť problém plastového odpadu je chemická recyklácia. Na európskych fórach (napr. EURACTIV Stakeholder Workshop, 16.5.2021) vyjadrili odborníci na odpadové hospodárstvo nové prístupy a perspektívy v problematike plastov. Eurokomisár pre ŽP Kermenu Vella pre EURACTIV.sk uviedol, že Európska komisia bude požadovať pokrok v celom životnom cykle plastov a bude si to vyžadovať viac obnoviteľných zdrojov, nové podnikateľské modely, aj nové technológie. Na celoeurópskej úrovni sa ujal názor, že v boji proti nadmernému používaniu plastov je síce riešením ich recyklácia, avšak otázka výroby a uplatnenia produktov z plastového recyklátu z dlhodobého hľadiska je problematická. Produkty totiž nemajú vysokú pridanú hodnotu, sú naopak nižšej kvality a produkty z dva až päťkrát recyklovaného plastu sa označujú za málo použiteľné. Pre dosiahnutie vyššej účinnosti a miery recyklácie je potrebné prijať niekoľko opatrení v rámci celého životného cyklu plastov od účinnosti zberu, monitoringu po prípravu vhodnej vsádzky a výroby koncových produktov.

Podľa EÚ Plastics Strategy z roku 2019 a princípov obehového hospodárstva je potrebné uplatňovať produktový ekodizajn na zabezpečenie cirkularity a konečnej fázy použitia. V tomto prípade sa vyžaduje holistický prístup a optimálne riešenie poskytuje prepojenie mechanickej a chemickej recyklácie. Pyrolýza alebo termochemická recyklácie predstavuje perspektívnu možnosť na bezpečné obehového hospodárstva, kdeže dokáže lepšie manažovať aditíva a nebezpečné látky v plastoch a zastaviť ich ďalší transfer do nových produktov. Okrem technicko-ekonomických ukazovateľov týchto technológií bude pre ich ďalší vývoj a komercializáciu dôležitá environmentálna udržateľnosť produktového reťazca a hodnotenie celého životného cyklu týchto procesov recyklácie. V prvom rade je to snaha o zníženie množstva skleníkových plynov, zníženie spotreby primárnych surovín a odstraňovanie nebezpečných zložiek.

Podľa výsledkov štúdií hodnotenia životného cyklu materiálov (LCA - life cycle assesment) sa ukazuje, že pri chemickej recyklácii zmesových plastov sa vypúšťa zhruba o 50 % menej emisií CO₂ ako pri spaľovaní plastov. Spaľovaním zmesových nerecyklovateľných plastov sa produkuje najvyšší podiel CO₂ (literatúra 1 uvádza napr.: od 673 g CO₂ do 4605 g CO₂ na kg odpadových plastov v závislosti od použitej zmesi plastov, literatúra 2: uvádza priemernú hodnotu 1777 g CO₂ na kg plastov). Tento podiel emisií CO₂ zo spaľovania plastov sa môže však významne znížiť len v prípade, že sa s vysokou účinnosťou využíva elektrická energia

zo spaľovania zmesových plastov a nahradí spaľovne fungujúce na báze fosílnych palív. Rovnako sa môžu emisie CO₂ významne znížiť oproti chemickej recyklácii v prípade, keď sa zmesové plasty použijú ako náhrada paliva za čierne uhlie v cementárňach, avšak ak sa použijú len ako náhrada za iné alternatívne palivá, inak potom chemická recyklácia dosahuje priaznivejšie výsledky. Chemicky recyklované plasty produkujú zároveň 2,3 tony CO₂ eq. menej ako plasty získané z fosílnych surovín. Z hľadiska potenciálu globálneho otepľovania, termochemická a mechanická recyklácia sú porovnateľné. Termochemická recyklácia môže za určitých podmienok dosahovať menej priaznivé výsledky v ďalších parametroch oproti ostatným procesom spracovania plastov ako sú acidifikácia, eutrofizácia vôd a pod., avšak to je za predpokladu, že cca 70 % produktov získaných spracovaním zmesových odpadových plastov sa technológiou materiálovo recykluje a zvyšok (uhlík a plyny) sa využijú ako palivo napr. v cementárňach. V prípade, že sa dosiahne vyššia miera materiálovej recyklácie, tieto parametre budú opäť porovnateľné s mechanickou recykláciou. Prezentované výsledky LCA štúdií sú teda citlivé a závislé od lokality (krajiny), úrovne energetického mixu, účinnosti procesu recyklácie, kvality recyklátu, miery, spôsobu a účelu využitia produktov spracovania a pod.

Na druhej strane ďalším závažným aspektom je, že spaľovaním a energetickým zhodnocovaním plastových odpadov sa produkujú dioxíny/furány vo vyššom množstve, čo pri chemickej recyklácii je v zásade eliminované alebo maximálne potlačené v dôsledku absencie vzduchu (kyslíka) pri procese a vo vstupnej surovine.

Konfederácia európskeho recyklačného priemyslu (EUric) vo svojom stanovisku „euRIC position on chemical recycling“ (2019) vzhľadom na zvyšujúce sa ciele recyklácie plastov poukazuje na potrebu uplatniť na trhu nové technológie na získanie hodnotných produktov z odpadových plastov. Konfederácia potvrdzuje, že chemická recyklácia môže byť popri mechanickej recyklácii vhodným doplnkovým riešením pri naplňaní cieľov obehového hospodárstva v oblasti recyklácie plastov a priniesť riešenie pre prúdy plastových odpadov, ktoré sa v súčasnosti nerecyklujú. Tak ako chemické procesy recyklácie, tak aj mechanické procesy sa stretávajú s problematickými aspektami technológií. Preto cieľom by podľa euRIC malo byť nastavenie istej rovnováhy medzi uplatňovaním mechanickej a chemickej recyklácie v závislosti od ich individuálnych schopností spracovávať komplexné prúdy plastových odpadov v zmesových plastoch, stupňa vývoja technológií a regulačného rámca EÚ v oblasti požiadaviek na recyklačné kvóty. Potreba recyklovaných plastov by podľa stanoviska euRIC mala rovnakým spôsobom podporovať uplatňovanie mechanickej rovnako ako chemickej recyklácie plastových odpadov a popri dobre rozvinutej mechanickej recyklácii plastov víta rovnako nové riešenie poskytované chemickými procesmi recyklácie.

Z výsledkov prieskumu aktuálnej situácie v spracovaní plastových odpadov u nás aj vo svete vyplýva, že využívanie rôznych spôsobov recyklácie a zhodnocovania odpadových plastov mechanických alebo chemických je závislé od množstva faktorov, od úrovne a stavu zberu odpadov z plastov, úrovne triedenia, kapacity a technických/technologických aspektov jestvujúcich prevádzkovaných spôsobov zhodnocovania alebo recyklácie odpadových plastov, od aktuálnej situácie v odpadovom hospodárstve, legislatívnych opatrení, vyspelosti spoločnosti, úrovne poznania a miery podpory výskumu a vývoja, stupňa vývoja jednotlivých technológií, stavu životného prostredia a pod. Priorita uvedených faktorov sa mení a je ich potrebné manažovať tak, aby sa zabezpečila maximálna úroveň recyklácie pre vytriedené jednodruhové plasty alebo problematické prúdy plastových odpadov, zmiešané alebo inak

znečistené zmesové plasty, ktoré nie je vhodné technicky, ekonomicky alebo environmentálne recyklovať mechanickým spôsobom.

V prípade technológie ENRESS/LEITNER, jej výstupov a materiálovej bilancie je možné na základe porovania jestvujúceho stavu poznania v oblasti recyklácie plastov s predmetnou technológiou a legislatívnymi požiadavkami konštatovať, že:

- technológia je na vysokej technickej a technologickej úrovni, kde sa dosahuje maximálna miera materiálovej recyklácie plastového odpadu, a to v podobe kvapalného produktu, vhodného pre výrobu nových plastov v množstve minimálne 90 - 95 % z hmotnosti vstupného odpadu, ďaleko prevyšujúca požiadavky na súčasné ciele recyklácie odpadov z plastových obalov (45 %) a prevyšuje rovnako ciele OH do roku 2025 (50 %) aj 2030 (55 %) a prevyšujúca zároveň kvalitu a mieru využitia výstupov (surovina priamo pre petrochemické využitie) v súčasnosti prevádzkovaných podobných technológií termochemického spracovania odpadových plastov u nás a vo svete.
- zvyšok zo spracovania - tuhý uhlíkový materiál (~ 5 %, 150 t/rok) tvorí len malú časť zo spracovania vstupu (bude zaradený ako ostatný odpad), avšak s vysokým potenciálom ďalšieho využitia pri zohľadnení stanovených doteraz analyzovaných ukazovateľov kvality a po splnení ďalších požadovaných kvalitatívnych parametrov pre poľnohospodárstvo alebo ako palivo.
- Emisie priamo z technológie z termochemického spracovania plastov budú potlačené vďaka aplikovanej inovatívnej technológii konverzie plynnej zložky na kvapalnú v sekundárnom reaktore a tvorba dioxínov je v zásade eliminovaná. Fugitívne emisie VOC pri manipulácii a skladovaní kvapalného produktu sú zároveň minimalizované vhodnými technickými opareniami. Pri skúšobnej prevádzke je žiadúce tieto emisie monitorovať.
- Technológia ENRESS/LEITNER je v súlade so závermi o najlepších dostupných technikách BAT týkajúcich sa termických procesov spracovania odpadov, spotrebuje minimálne množstvá vody na čistenie a chladenie, nepoužíva fosílna palivá ale elektrickú energiu, neprodukuje nebezpečné odpady priamo z technológie zo spracovania plastového odpadu, minimalizuje podiel tuhých, kvapalných odpadov aj plyných odpadov z čistenia plynov (kvapalný odpad z čistenia plynov v objeme ~ 115 l/rok, resp. 3 tony za rok v a 20 kg tuhý odpad z čistenia plynov). Na jednu tonu spracovaného odpadu sa spotrebuje len zhruba 1 kg pomocných látok.

Napriek tomu, že v súčasnosti sa stále využíva najmä energetický potenciál surovín (kvapalných, plyných aj tuhých) získaných termochemickým rozkladom odpadových plastov, pneumatík, zmesového komunálneho odpadu alebo biomasy, proces ENRESS/LEITNER je naopak nastavený na produkciu a využitie takmer výlučne materiálovej hodnoty vstupných plastových odpadov.

4. ZÁVER ODBORNÉHO STANOVISKA A ODPORÚČANIA VYPLÝVAJÚCE Z PRESKÚMANIA LEGISLATÍVNYCH, SKUTKOVÝCH a ODBORNÝCH PODKLADOV A INFORMÁCIÍ K PROCESU TERMOCHEMICKEJ RECYKLÁCIE PLASTOV ENRESS/LEITNER

Na recykláciu plastov je potrebné sa pozerat' v širších súvislostiach, komplexnejšie, v duchu súčasného stavu, úrovne a vývoja zberu, triedenia, cenovej politiky odpadov a politiky organizácií zodpovednosti výrobcov (OZV), nastavenia trhu, jestvujúcich technológií recyklácie a inovačných možností. Pri hodnotení súčasného stavu v oblasti úrovne recyklácie plastov a v záujme posunu miery recyklácie je zrejmé, že nie je žiadúce brániť rozvoju nových technológií a iných metód zhodnocovania a recyklácie. Aj keď doposiaľ technológie termochemickej recyklácie plastov nie sú u nás etablované (okrem pyrolýzy pneumatík) a neexistujú skúsenosti s dlhodobou prevádzkou v porovnaní s inými technológiami ako mechanickými, je to spôsobené okrem nedostatočnej vyspelosti niektorých zavádzaných technológií, tiež pravdepodobne v dôsledku nedostatočnej kooperácie výskumu, priemyslu a orgánov štátnej správy pri vývoji, testovaní a uvádzaní na trh nových efektívnych technológií. Hierarchia OH je síce primárne nastavená tak, že v prvom rade sa usiluje o materiálovú recykláciu, avšak, ak nie je dostačujúca mechanická materiálová recyklácia z objektívnych dôvodov, je účelné využívať ďalšie možnosti materiálovej recyklácie. Aj keď POH deklaruje neochotu podporovať technológie na chemickú recykláciu, ale skôr na vytriedenie plastov, na mieste je otázka, prečo nie sú už na trhu spoločnosti, ktoré sú ochotné triediť plasty a druhá otázka je, čo s vytriedenými plastami, inými ako PET a HDPE, kde nie je vytvorená vhodná infraštruktúra pre ich následné spracovanie. Okrem toho, v prípade, že neexistuje presná štatistika, koľko a akých druhov je k dispozícii na trhu, nie je zároveň možné vhodne nastaviť potrebné kapacity a infraštruktúru pre spracovanie týchto druhov odpadov.

Polyméry majú široké spektrum materiálového využitia, ale sú zároveň aj hodnotnou energetickou surovinou, preto je len logické, že sa bude využívať v priemysle ako primárna alebo sekundárna surovina na účely materiálové aj na účely energetické. Mechanická recyklácia má svoje obmedzenia a limity a navyše vracia do obehu znečistené plasty, nesie so sebou potenciál uvoľňovania aditív z plastov počas používania a problém výskytu mikroplastov v životnom prostredí a potravinovom reťazci. Pre mechanickú recykláciu sa nedajú v súčasnosti efektívne využívať všetky druhy plastov a zároveň nie sú často viackrát recyklovateľné, v dôsledku obsahu aditív, degradácie a straty vlastností pôvodného polyméru. Chemická recyklácia predstavuje spôsob, ktorým je možné recyklovať odpadový polymér dôslednejšie a získať z neho čisté pôvodné zložky, z ktorých sa vyrobí surovina pre výrobu nových polymérov, látok a výrobkov. Hygienické a zdravotné dôvody nedovoľujú recykláciu plastov na niektoré špecifické účely, a tým sa často plasty recyklujú spôsobom a vyrábajú výrobky menej hodnotné, nevhodné na pôvodný účel (tzv. downcycling). Pri ich opätovnej mechanickej recyklácii sa vnášajú do plastu nové, ďalšie aditíva, ktoré ešte viac znehodnotia plast, následne sa už nedajú materiálovo recyklovať, budú sa hromadiť takéto výrobky a definitívne skončia na skládke alebo v spaľovni. V prípade, že nebudú pripravené technologické zariadenia, ktoré dokážu vyrobiť surovinu iným ako mechanickým (fyzikálnym) spôsobom, zabráni sa ďalšiemu rozvoju materiálovej recyklácie takýchto plastov.

Chemická recyklácia patrí medzi spôsoby typicky materiálovej (surovinovej) recyklácie, ktorá luxusným spôsobom, samozrejme ak je správne nastavená technológia, poskytnúť univerzálne riešenie materiálovej (surovinovej) recyklácie pre široké spektrum triedených aj netriedených problematických komodít plastov. Je len otázkou potrieb hospodárstva v danom období, podľa nastavenia trhu, či sa z toho materiálu – suroviny vyrobí nový plastový výrobok alebo energetická surovina pre ďalšie použitie. Okrem toho sa môže získavať plyný produkt (metán, vodík, etén a pod.), ktorý je využiteľný v celom spektre priemyslu ako surovina, alebo ako palivo a zároveň uhlíkový produkt využiteľný ako palivo alebo sorbent, pôdny aplikant a pod. Táto energetická surovina môže tak nahradiť istú časť fosílnych palív alebo jadrovú energiu, slúžiť na uskladnenie energie a znižovať uhlíkovú stopu vďaka nižšej produkcii skleníkových plynov pri chemickej recyklácii.

- Proces termochemickej recyklácie ENRESS/LEITNER zabezpečí maximálnu konverziu a využitie plastového odpadu v množstve viac ako 90 % z pôvodnej hmotnosti vstupného odpadu na využiteľný produkt – kvapalné uhľovodíky (C5-C20), ako vstupná čistá surovina pre výrobu plastov a ktorý nebude slúžiť ako palivo a preto spĺňa požiadavky na činnosť zhodnocovania R3 podľa zákona.
- Kvalita získaného kvapalného produktu z termochemickej recyklácie ENRESS/LEITNER dosahuje parametre komerčne dostupných prírodných surovín a je ju možné použiť ako materiál na výrobu nových plastov.
- Doterajšie obdobné technológie produkovali a produkujú vo svete najmä palivo a navyše s nižšou výťažnosťou (30-60 % kvapalnej olejovej frakcie) ako posudzovaná technológia ENRESS/LEITNER, (viac ako 90 %), nakoľko nie sú schopné zabezpečiť dostatočne stabilné teplotno-tlakové a ostatné technologické podmienky pre vznik kvapalnej frakcie s vyššou výťažnosťou a nie sú schopné riadiť kvalitu kvapalného produktu tak, aby výsledný produkt dosahoval vyhovujúcu kvalitu pre širšie spektrum použitia ako suroviny pre trh.
- Technológia ENRESS/LEITNER disponuje inovatívnymi prvkami zabezpečujúcimi precízne riadený proces rozkladu plastov a tvorbu vysokokvalitných produktov s vysokou výťažnosťou kvapalnej fázy ako sú stabilný indukčný ohrev, efektívnejšia kondenzácia a separácia kvapalnej fázy, zabezpečenie rovnorodého zloženia kvapalnej fázy homolytickým štiepením v sekundárnom reaktore a úplnou konverziou plynnej frakcie na kvapalnú fázu. Novým vylepšeným variantom technológiou sa teda vylúči nakladanie s plynými produktami a zamedzí sa emisiám do ovzdušia. Zároveň sa vyprodukuje maximálny podiel kvapalnej fázy s kvalitou podobnou primárnej surovine, vhodnou na petrochemické spracovanie.
- V prípade že sa zabezpečí triedenie vstupu a kontrola kvality vstupnej suroviny, pri danej technologickej vyspelosti a podmienkach procesu je technológia ENRESS/LEITNER v súlade s kritériami BAT pre termické procesy spracovania odpadu, je pokroková a environmentálne vhodná na materiálovú termochemickú recykláciu plastových odpadov a je predpoklad, že budú dosiahnuté požadované parametre kvapalného produktu pre účely efektívnej materiálovej recyklácie a zabezpečenia minimálnej miery znečistenia ovzdušia (minimálny podiel CO₂ a fugitívnych emisií z manipulácie kvapalného produktu) a nízkej miery produkcie nových odpadov (odpad z čistenia spalín) a odpad v podobe uhlíkového zvyšku

(podiel 5 %), ktorý sa dokáže toho času bez problémov v danom zložení uplatniť na trhu minimálne ako palivo.

- V procese termochemického rozkladu plastov, ako je to v prípade technológie ENRESS/LEITNER a podoných technológií, sa v zásade za stanovených teplotno-tlakových podmienok bez prístupu vzduchu v reaktore vznik dioxínov vylučuje alebo nie je významný (oproti spaľovaniu plastov), niektoré štúdie a pilotné testy po pyrolýze plastov poukázali na istý nízky obsah dioxínov vo všetkých troch frakciách produktov. V prípade, že plynná frakcia prejde v danom technologickom stupni procesom čistenia spalín pomocou aktívneho uhlia, nepredpokladá sa prítomnosť dioxínov/furánov, reps. nemala by presiahnuť stanovený limit $0,01 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ v plyne vstupujúceho do zmiešavača a teda ani v kvapalnom produkte. Odporúča sa však pri uvádzaní technológie do prevádzky, v prípade že je v novom variante bezemisná, analyzovať kvapalný produkt a tuhý uhlíkový zvyšok z procesu na obsah dioxínov/furánov.
- Technologická voda sa v procese ENRESS/LEITNER využíva na chladenie a čistenie spalín, avšak nie je zrejmé koľko predstavuje merná a celková spotreba vody pre technologické účely a či vzniká nejaký podiel odpadovej vody a spôsob nakladania.
- Tak ako všetky nové, alebo v súčasnosti v menšej miere etablované a využívané metódy potrebujú a poskytujú stále priestor na zlepšovanie úrovne recyklácie, tak je to aj v tomto prípade, kedy je účelné riešiť aj následné zvyšovanie miery recyklácie aj uplatnením uhlíkového zvyšku na trhu, nielen ako paliva, ale aj ako materiálu a vykonať potrebné analýzy a testy pre predmetné využitie produktov. Aj keď sa uhlíkový zvyšok ENRESS/LEITNER podľa chemickej analýzy nepreukázal zvýšený podiel nečistôt, v prípade využitia ako pôdneho aplikantu, je vhodné a odporúča sa pre danú aplikáciu doplniť analýzy uhlíkového zvyšku o stanovenie pH, obsahu PAU, PCB, PCCD/F (prípadne polybrómované bifenyly a difenylétery), ťažkých kovov (Hg, Sb, As, Cr).
- V prípade, že sa by sa použil pôvodný variant Zámeru, kde sa plynovou chromatografiou separujú a využijú jednotlivé plynné zložky ako technické plyny (metán, vodík, etén, propán-bután a pod.), významným spôsobom by sa umožnilo zvýšiť mieru materiálovej recyklácie odpadových plastov. Na druhej strane je potrebné doriešiť legislatívne otázky a otázku certifikácie plynov (výrobcov) a stavu konca odpadu. A rovnako je potrebné doložiť údaje o množstve a zložení emisií, ktoré budú v prípade pôvodného variantu vypúšťané do ovzdušia. Proces výroby technických plynov a tiež tuhého produktu z termochemického procesu recyklácie na antracit je priemyselne realizovaný aj v krajinách EÚ.

Na základe preštudovaných skutočností, dokumentov technológie, vedeckých a odborných štúdií, legislatívy a obhliadky zariadenia a hodnotenia a porovania technológie a výstupov technológie hodnotím technológiu ENRESS/LEITNER ako vyspelú s vysokým potenciálom na zabezpečenie a zvýšenie miery materiálovej recyklácie plastového odpadu na Slovensku a odporúčam po vzorkovaní a doplnení požadovaných analýz kvality produktov a emisií v prípade pôvodného variantu Zámeru (separácia a nakladanie s plynými produktami) a doplnenia údajov materiálovej bilancie z procesu pri skúšobnej prevádzke technológie ako vhodnú na materiálujú recykláciu zmiešaných plastových odpadov, v rozsahu ako je navrhovaný.

5. POUŽITÁ LITERATÚRA

1. Zákon NR SR č.79/2015 Z.z. o odpadoch
2. Vyhláška MŽP SR č.382/2018 Z.z. o skládkovaní odpadov a uskladnení odpadovej ortuti
3. Vyhláška MŽP SR č.371/2015 Z.z. o ktorej sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona o odpadoch
4. Vyhláška MŽP SR č.348/2020 Z.z. o ktorej sa mení a dopĺňa vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 371/2015 Z. z., ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona o odpadoch v znení neskorších predpisov
5. Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/851 z 30. mája 2018, ktorou sa mení smernica 2008/98/ES o odpade
6. Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/852 z 30. mája 2018, ktorou sa mení smernica 94/62/ES o obaloch a odpadoch z obalov
7. Plastics – the Facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data, Dostupné na: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2019-Plastics-the-facts.pdf>
8. EuRIC position on chemical recycling, 2019, Dostupné na: www.euric-aisbl.eu
9. Harish Jeswani et al: Life cycle environmental impacts of chemical recycling via pyrolysis of mixed plastic waste in comparison with mechanical recycling and energy recovery, *Science of The Total Environment*, Volume 769, 15 May 2021, 144483, Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720380141>.
10. Valentina Beghetto et al: Recent Advancements in Plastic Packaging Recycling: A Mini-Review *Materials* 2021, 14(17), 4782; Dostupné na: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/17/4782/htm>.
11. ChemCycling™, Dostupné na: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling.html>
12. Program odpadového hospodárstva (POH SR) na roky 2021 – 2025, Dostupné na: <https://www.nku.gov.sk/documents/10157/265201/96732-0-110.pdf>
13. A.Tomczyk, Z.Sokołowska, P.Boguta: Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* volume 19, pages 191–215 (2020), 215 <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>
14. K. Nakanoh, S. Hayashi, and K. Kida, "Waste treatment using induction-heated pyrolysis," *Fuji Electric Review*, vol. 47, no. 3, pp. 69-73, 2001),
15. H. Jeswani, et al: Life cycle environmental impacts of chemical recycling via pyrolysis of mixed plastic waste in comparison with mechanical recycling and energy recovery, *Science of The Total Environment*, Volume 769, 15 May 2021
16. Kon PELTEKIS, Bala KUMBLE, Craig ASTILL: Plant and process for pyrolysis of mixed plastic waste, Patent WO2018000050A, Dostupné na: <https://patents.google.com/patent/WO2018000050A1/en>
17. Wilson Uzochukwu Eze et al: Plastics waste management: A review of pyrolysis technology, *Clean Technologies and Recycling*, 2021, Volume 1, Issue 1: 50-69. Dostupné na: doi: 10.3934/ctr.2021003
18. STN 15347 Plasty recyklované plasty, charakterizácia odpadov z plastov
19. REFERTIL BIOCHAR EU policy support abstract draft 2014, Biochar policy supporting report, concerning the absence of potential risks for the different environmental compartments, for the plants and for human health through the food chain resulting from the use of these materials in agricultural soil, Terra Humana Ltd. Biochar science, technology, industrial and legal development for EU policy support and law harmonization, Dostupné na:

- http://www.refertil.info/sites/default/files/REFERTIL_289785_BIOCHAR_POLICY_abstract_draft_2014.pdf
20. Alexis Jackson: PYROLYSIS OF AGRICULTURAL WASTE PLASTIC INTO DIESEL AND EVALUATION OF THE CARBONACEOUS BYPRODUCT AS A SOIL AMENDMENT, thesis, California State University, Fresno, May 2019
 21. Rozhodnutie o udelení súhlasu na vedľajší produkt, SIŽP, Kotel na biomasu – Mondi SCP, a.s., február 2016, Dostupné na:
https://www.mondigroup.com/media/7761/rozhodnutie_o_vedlajsom_produkte_pre_popol.pdf
 22. Rozhodnutie OÚ Banská bystrica o udelení súhlasu pre Stredoslovenskú vodárenskú prevádzkovú spoločnosť na vedľajší produkt (čistiarenský separát), apríl 2015
 23. Michał Kopeć et al: Effect of the Addition of Biochar and Coffee Grounds on the Biological Properties and Ecotoxicity of Composts, Waste Biomass Valor (2018) 9:1389–1398 DOI 10.1007/s12649-017-9916-y
 24. Mechanical Recycling Options, Sustainable Packaging Coalition 2022, www.greenblue.org
 25. Vladimír Daniška: Chemická recyklácia má v obehovom hospodárstve nezastupiteľné miesto, 15.03.2021 Dostupné na: ODPADY-PORTAL.SK.html
 26. Manuel Garcia-Perez: Methods for Producing Biochar and Advanced Biofuel in Washington state, Part 1, Literature review od Pyrolysis reactor, Ecology publication No 11-07-017, 2013, Dostupné na: <https://apps.ecology.wa.gov/publications/documents/1107017.pdf>
 27. Zoé O. G. Schyns, Michael P. Shaver, Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review, Macromolecular Rapid Co30 September 2020, Dostupné na:
<https://doi.org/10.1002/marc.202000415>
 28. Preskúmanie SK č.04 2020 Opatrenia EÚ na riešenie problému plastového odpadu, Európsky dvor audítorov, 2020, Dostupné na:
https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/RW20_04/RW_Plastic_waste_SK.pdf
 29. S. Sharuddin, F. Abnisa, W.Daud and M. KARoua: Pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource, 3rd ICChESA 2017, IOP Publishing, Materials Science and Engineering 334 (2018) 012001, Dostupné na: doi:10.1088/1757-899X/334/1/012001
 30. Zinaida Manžuch Rūta Akelytė Marco Camboni David Carlande: Chemical Recycling of Polymeric Materials from Waste in the Circular Economy Final Report project ECHA/2020/57, The European Chemicals Agency August 2021
 31. Plastic waste to turn to oil in Laihia: circular economy brings jobs to Ostrobothnia, Február 2020, Dostupné na: <https://www.maaseutu.fi/en/the-rural-network/good-finnish-ideas/plastic-waste-to-turn-to-oil-in-laihia-circular-economy-brings-jobs-to-ostrobothnia>
 32. Muhammad SaadQureshi: Pyrolysis of plastic waste: Opportunities and challenges, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 152, November 2020, 104804, Dostupné na:
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104804>
 33. Carlos Monreal: CHEMICAL RECYCLING IN PRACTICE, Plastic Energy, Dostupné na:
https://www.basf.com/global/documents/en/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/chemcycling/Plastic%20Energy_BASF%20Dialog%20Forum.pdf
 34. https://www.wastetireoil.com/PROJECT_CASE/In_Europe/Italy_waste_plastic_pyrolysis_plant_682.html

Posudok vypracoval: prof. Ing. Andrea Miškufová, PhD.

V Košiciach, 15.06.2022



Podpis oprávnenej osoby