

ZMENŠENIE OBJEMU ODPADU V SIMULOVANÝCH PODMIENKACH ZA POMOCI AUTOMATIZOVANÝCH A MONITOROVACÍCH PRVKOV PRED PROCESOM ZBERU ODPADU ZA ÚČELOM ZNÍŽENIA NÁKLADOV NA ZBER KOMUNÁLNEHO PET ODPADU

Ing. Rudolf Husovič
prof. Ing. Peter Sakál, CSc.

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom
v Trnave

Ústav priemyselného inžinierstva a manažmentu
Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava
e-mail: rudolf.husovic@stuba.sk
e-mail: peter.sakal@stuba.sk

Abstract

In this contribution we present a proposal to reduce the costs of collecting municipal PET waste by reducing its volume through automation and monitoring elements before the waste collection process. We describe the results obtained through the experiment, simulation method, and the two-value comparison method. The first value - the calculated value of the current filling condition of the container, the second value - the value obtained by simulating the state after the application of automated and monitoring elements to collecting vessels in the selected town part of Trnava.

Keywords

PET waste collection, waste reduction

ÚVOD

Úvodom je nutné poznamenať, že tento príspevok vznikol vďaka získanému grantu Slovenskej technickej univerzity v Bratislave v rámci Programu na podporu mladých výskumníkov a je súčasťou projektu „Optimalizácia procesných nákladov na zber plastového odpadu prostredníctvom automatizačných a regulačných prvkov v zberných nádobách ako súčasť implementácie konceptu Smart City“. Vychádzame pritom z našich znalostí, ktoré sme popisovali v príspevkoch „Circular Economy - Approach to Environmental Safety“ a „Návrh východísk pre minimalizáciu komunálneho PET odpadu za účelom znížovania procesných nákladov a environmentálnej záťaže pri zbere“.

Tento príspevok má za úlohu prakticky potvrdiť naše teoretické východiská, vychádzajúc z našich predchádzajúcich poznatkov, prostredníctvom jednoduchého experimentu v simulovanom prostredí a komparácie získaných výsledkov.

METÓDY A MATERIÁL

Vychádzajúc z predpokladu tvrdíme, že [1]: „Znížením objemu recyklátu znížime režijné

náklady na jeho zber. Znížený objem je priamoúmerný frakcii recyklátu.“ Z uvedeného je zrejmé, že frakcia recyklátu priamo pôsobí na jeho objem. V inom znení je možné tvrdiť, že sa zbavujeme vzduchu, ktorý tvorí objem v zberných nádobách. Tento jav je všeobecne známy. Opätovne sa však potrebujeme zamyslieť nad tým, koľko ľudí tento objem PET fľaše skutočne znižuje, preto je potrebné sa zbaviť tohto prvku variability a daný úkon automatizovať. Objemová redukcia funguje správne a je možné ju matematicky vypočítať. Podobne aj veľkosť vhodnej frakcie. *Idealisticky je frakcia infintezimálna, avšak prakticky je frakcia iba tak malá, aby bola frakcia vhodná na triedenie (napr. podľa farby) a zároveň suma objemov, ktorý frakcia tvorí, nebol rovný hodnote objemu nádoby. Pričom C je objem vzduchu, ktorý sme ochotný prevážať* [2].

Preto:

$$V_{\text{nádoby}} = V_{\text{recyklátu}} + C \quad (1)$$

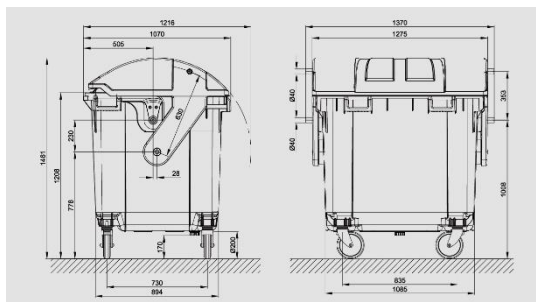
$$V_{\text{nádoby}} = (\sum_{i=1}^n i_n * V_{\text{frakcie}}) + C \quad (2)$$

$$\frac{V_{\text{nádoby}} + C}{\sum_{i=1}^n i_n} = V_{\text{frakcie}} \quad (3)$$

Z pozorovania smetných nádob v čase ich zberu, vychádzajúc pritom z dokumentu *Trnava harmonogram vývozu triedeného zberu* [3] [4] sme zistili, že v čase vývozu reprezentatívny kontajner na triedený odpad PET bol v priemere naplnený na 80% a senzorickým pozorovaním sme zistili, že plastové fľaše boli minimalizované ručne alebo prídavnými zariadeniami vo veľmi malom percente - pozorovaním iba 20%, tj. každá piata PET fľaša bola nejakým spôsobom minimalizovaná.

V rámci meraní boli vytvorené dva súbory dát. Súbor meraní prebiehal s časovým odstupom jeden mesiac. Jedno meranie obsahovalo 4 zberné nádoby na rôznych miestach v rovnakej mestskej časti mesta Trnava. Z týchto zberných nádob boli hodnoty aproximované a vytvorili sme tzv. reprezentatívny kontajner, ktorý nám posluží ako demonštratívny príklad za účelom komparácie hodnôt.

Reprezentatívny kontajner je štandardná plastová nádoba na separovaný zber PET odpadu s okrúhlim vekom. Jeho znázornenie je uvedené nižšie na Obrázku 1. Obsah nádoby je 1100 litrov [5].



Obrázok 1: Plastový kontajner s okrúhlim vekom[5]

V ideálnom prípade vieme konštatovať, že maximálna kapacita PET odpadu, ktorú môže nádoba pojať je (4), kde C je objem okolitého vzduchu, ktorý vyplňa nádobu.

$$V_{n\acute{a}doby} = V_{f\acute{l}a\acute{s}e} + C_{n\acute{a}doby} \quad (4)$$

Ak sa na problematiku pozrieme zo širšieho uhla tak:

$$V_{f\acute{l}a\acute{s}e} = V_{recykl\acute{a}tu} + V_{vof} + C_{n\acute{a}doby} \quad (5)$$

kde:

$$C = V_{vof} + C_{n\acute{a}doby} \quad (6)$$

tak:

$$V_{n\acute{a}doby} = V_{recykl\acute{a}tu} + C \quad (7)$$

kde:

V_{vof}	vnútorný objem fľaše
$V_{recykl\acute{a}tu}$	objem recyklátu, resp. materiálu fľaš
$C_{n\acute{a}doby}$	objem okolitého vzduchu v nádobe

V takomto prípade už z praxe vieme, že vnútorný objem fľaše je možné do značnej miery minimalizovať a tým nenavýšovať zvyšnú kapacitu nádoby o hodnotu objemu fľaše, avšak ako empirické výsledky hovoria, tento jav sa nevyskytuje v ideálnych kvantách, preto je potrebné tento úkon automatizovať.

Množstvo C vieme ovplyvňovať nepriamo, pričom minimálna hodnota C môže dosiahnuť nanajvýš hodnotu $V_{recykl\acute{a}tu}$ a teda z logických dôvodov nemôže byť nižšia. Znižovaním hodnoty V_{vof} budeme priamo úmerne zvyšovať zvyšnú kapacitu smetnej nádoby. Pričom sekundárne hodnota C zodpovedá zvyšnej kapacite zbernej nádoby. V tomto ponímaní však hornú hodnotu C sme nazvali objem okolitého vzduchu, ktorý sme ochotný prepravovať. Ide o subjektívnu hodnotu, ktorá v praktickom svete má byť určená expertným odhadom.

VÝSLEDKY

V experimente v simulovaných podmienkach sme merali vnútorný objem fľaše V_{vof} pred znížením jeho objemu a po znížení objemu, prostredníctvom zmeny tvaru fľaše, bez zavedenia

automatizovaných prvkov. Môžeme konštatovať, že $V_{recykl\acute{a}tu}$ bude konštantný. V_{vof} sme odmerali prostredníctvom čistej kvapaliny naliatjej do vzoriek, ktorú sme následne odmerali prostredníctvom mernej nádoby - odmerného valca. Pre Zjednodušenie merania sme využili reprezentanta – najpočetnejšie vyskytujúce sa fľaše, nakoľko za daných okolností má zmysel sa zaoberať strednou hodnotou dát, preto vyberáme reprezentatívny vzor a podľa pozorovaní, kde ide o 2L objem. Pre ďalšie potreby vieme tento model aplikovať na rôzne druhy objemu fľaš, podľa pomerového rozloženia odpadu PET v nádobách. Viac však popisujeme pri meraní. Pôvodný objem popisuje fľašu bez minimalizovaného objemu, nový objem popisuje fľašu s minimalizovaným objemom (v závislosti od tabuľky pôjde o minimalizáciu ručnú a minimalizáciu prostredníctvom simulovanej automatizácie). Podľa tabuľky 1 boli výsledky nasledovné:

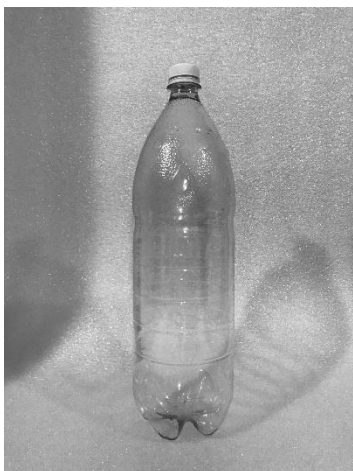
Tabuľka 1: Výsledky porovnania objemu fľaš bez zavedenia automatizovaných prvkov

meranie	pôvodný objem v ml	nový objem v ml	výsledný rozdiel v %
1	2000	627	-68,65
2	2000	639	-68,05
3	2000	464	-76,8
4	2000	620	-69
5	2000	645	-67,75
priemer		599	-70,05

V nasledujúcej Tabuľke 2 znázorňujeme porovnanie merania vnútorného objemu fľaše V_{vof} pred znížením jeho objemu a po znížení objemu, prostredníctvom zmeny tvaru fľaše, so zavedením automatizovaných prvkov. Opäť môžeme konštatovať, že $V_{recykl\acute{a}tu}$ bude konštantný. V tomto prípade sme však museli nahradiť V_{vof} parciálnu hodnotu C pre jednu fľašu, nakoľko vnútorný objem fľaše V_{vof} v praktickom svete prestal existovať a do úvahy je možné brať iba $V_{recykl\acute{a}tu} + C$. Tento objem sme empiricky odmerali pomocou odmerného valca, kde pre C sme využili čiru kvapalinu.

Z meraní sme zistili, že uvažovať o minimalizácii V_{vof} po zavedení automatizovaných prvkov nemá zmysel v podobnom kontexte ako bez zavedenia prvkov, nakoľko výsledné percentuálne hodnoty nadobúdali značne menšie globálne rozdiely ale má zmysel zvažovať veľkosť frakcie recyklátu. Automatizačný prvok sme z praktických dôvodov simulovali prostredníctvom delenia

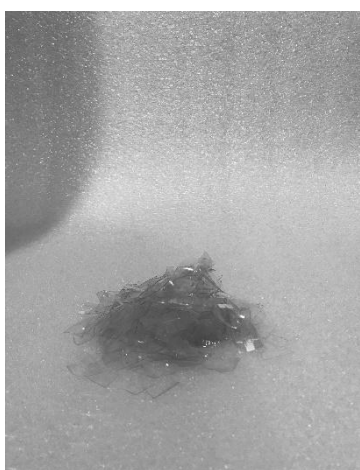
materiálu na frakcie. Veľkosť frakcie pri simulácii bola zvolená rovnaká ako by bola zvolená pri automatizačnom prvku.



Obrázok 2: Pôvodný objem



Obrázok 3: Minimalizovaný objem bez automatizovaných prvkov



Obrázok 4: Minimalizovaný objem s automatizovanými prvkami

Tabuľka 2: Výsledky porovnania objemu fliaš so zavedením automatizovaných prvkov

meranie	pôvodný objem v ml	nový objem v ml	výsledný rozdiel v %
1	2000	159	-92,05
2	2000	167	-91,65
3	2000	150	-92,5
4	2000	152	-92,4
5	2000	151	-92,45
priemer		155,8	-92,21

Získané výsledky v nasledujúcej tabuľke porovnávame prostredníctvom komparácie aproximovaných výsledkov merania.

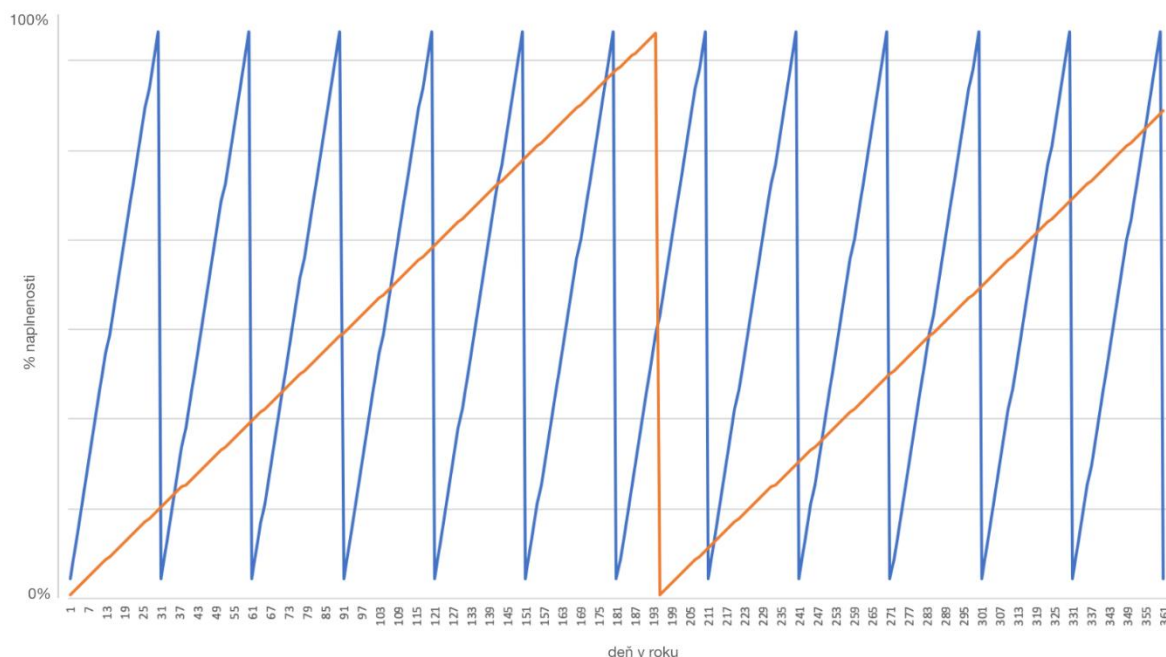
Tabuľka 3: Porovnanie výsledkov rozdielu zníženia aproximovaných objemov

	pôvodný objem	bez zavedenia automatizovaných prvkov	so zavedením automatizovaných prvkov
rozdiel v ml	2000	-1401	-1844,21
rozdiel v %	100	-70,05	-92,2

Nasledujúcim krokom je využitie získaných dát z reprezentatívneho kontajnera, ktorý obsahoval približne 20% fliaš, ktorých objem bol znížený inak ako automatizovanými prvkami a 80% fliaš nebolo objemovo redukovaných. Podľa výpočtov sa do 1100 litrovej nádoby v danom pomere zmestí 510 nezmenšených 2l fliaš a 127 zredukovaných 2l fliaš bez automatizačných prvkov. Celková hodnota 2l fliaš je preto 638. Do tejto hodnoty nebolo započítavané *C* pretože pre účel demonštrácie sme využili zjednodušený pomerový výpočet a pomerovými hodnotami budeme zobrazovať aj nasledujúci graf. Na základe vykonaného experimentu a pomerových výpočtov budeme simulovať zber PET odpadu po zavedení automatizačných prvkov. Na Grafe 1 je znázornená frekvencia zberu odpadu PET na mesačnej báze. Krivka znázornená modrou farbou sú simulované dáta frekvencie zberu bez automatizačných prvkov. Krivka znázornená oranžovou farbou sú simulované dáta frekvencie zberu po aplikácii automatizačných prvkov. Predpokladajme, že v čase zberu je nádoba ideálne naplnená na 99,9%. Po zbere je nádoba naplnená na 0% a teda skokovo sa zmení hodnota naplnenia, ktorá je znázornená na

grafu, prudkým poklesom. Vypočítané hodnoty sme lineárne distribuovali v čase a pre demonštračné účely konštatujeme, že do nádoby každý deň

pribudne 3,3% PET odpadu z celkového objemu nádoby, tj. približne 21 fliaš.



Graf 1: Naplnenosť smetnej nádoby v čase

Z uvedeného grafu je známe, že po zavedení automatizovaných prvkov sa frekvencia potreby odvozu tohto druhu odpadu signifikantne znížila. Potreba frekvencie zberu z pôvodnej jedno mesačnej báze sa pri rovnakých podmienkach naplnenia znížila až na frekvenciu zberu založeného na 6,5 mesačných cykloch. Podľa autorov Rani a Praveen (2017) nám monitorovacie prvky vo forme ultrasonických dištančných snímačov v takomto prípade pomôžu identifikovať hladinu odpadu v nádobe v reálnom čase, nakoľko v praxi pri zavedení novej inovácie je náročné vychádzať iba z extrapolovaných alebo simulovaných dát [6].

DISKUSIA

Z uvedeného vieme, že výsledky nadobudnuté ručným minimalizovaním odpadu nadobúdajú nižšie hodnoty než výsledky dosiahnuté pomocou zavedenia automatizačných prvkov. Z tohto dôvodu má zmysel prezentovanú ideu rozvíjať. Treba však poznamenať, že premena odpadu PET na frakcie sa v transformačnom procese premeny odpadu PET na granulát využíva, avšak na inom stupni spracovania. Ak chceme zachovať myšlienku premeny odpadu PET na frakcie už na začiatku zberu za účelom zníženia procesných nákladov, tak nevyhnutne musíme zväziť proces spracovania ako celok a matematicky simulovať tieto dve možnosti. Ale najmä simulovať možné úspory, resp. náklady na novú technológiu.

Pokiaľ však zoberieme do úvahy, že znížením objemu odpadu už na začiatku jeho spracovania a využijeme teoretické poznatky z logistiky o tom, že najdrahšia je preprava rozmerných tovarov, tak každá inovácia znižujúca jeho objem už pred prepravou je prínosom.

Je známe že PET fľaša sa po premene na granulát využíva najmä ako surovina či už na výrobu vláken pre odevnícky priemysel alebo na iné produkty, ktoré by za týchto okolností znížili náklady na spracovanie, preto výsledné produkty majú potenciál merateľne zlacnieť. Podnik si takouto inováciou vie vytvoriť konkurenčnú výhodu založenú na cenovej politike alebo pri zachovaní ceny by si podnik primárne zvýšil zisky a sekundárne zvýšil mzdové ohodnotenie zamestnancov a takto pomohol svojej spoločensky zodpovednej a udržateľnej činnosti podnikania.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka získanému grantu Slovenskej technickej univerzity v Bratislave v rámci Programu na podporu mladých výskumníkov a je súčasťou projektu „Optimalizácia procesných nákladov na zber plastového odpadu prostredníctvom automatizačných a regulačných prvkov v zberných nádobách ako súčasť implementácie konceptu Smart City“.

Tento článok nadväzuje na výsledky úspešne ukončeného projektu APVV č. LPP-0384- 09: „Koncept HCS modelu 3E vs. koncept Corporate Social Responsibility (CSR)“ a projektu KEGA č. 037STU-4/2012: „Zavedenie predmetu Udržateľné spoločensky zodpovedné podnikanie“ do študijného programu Priemyselné manažérstvo na II. stupni MTF STU Trnava“.

Zároveň je tento článok i súčasťou prebiehajúceho projektu VEGA č. 1/0235/17: „Systémová identifikácia komplexnejších predpokladov pre podporu priemyselných inovácií a zamestnanosti v menej rozvinutých regiónoch SR“a tiež súčasťou Medzinárodného strategického grantu Vyšehradského fondu č. 21810100 Konzorcium akademického výskumu V4 + pre integráciu databáz, robotiky a jazykových technológií“.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] HUSOVIČ, Rudolf, Ing.: Viackriteriálna analýza zberu komunálneho PET odpadu prostredníctvom metódy AHP ako súčasť implementácie európskeho konceptu obehového hospodárstva. [Semestrálny projekt] Slovenská technická univerzita v Bratislave.
- Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave; Ústav priemyselného inžinierstva a manažmentu. - Školiteľ: prof. Ing. Peter SAKÁL, CSc. - Trnava: MTF STU, 2018. 37 s.
- [2] HUSOVIČ, Rudolf; SAKÁL, Peter ; ŠUJANOVÁ, Jana; 2018. *Návrh východísk pre minimalizáciu komunálneho PET odpadu za účelom znižovania procesných nákladov a environmentálnej záťaže pri zbere*, Vedecký časopis Výskumného ústavu ekonomiky a manažmentu, VÝKONNOSŤ PODNIKU ROČNÍK VIII – 2018 – č.2, ISSN 1338-435X
- [3] FCC Environment. 2018. Accessible at: <https://www.fcc-group.eu>
- [4] TRNAVA.SK. 2018. Basic information. Accessible at: <http://www.trnava.sk/en/article/basic-information>
- [5] PLASTIKGOGIC.RS., 2019. Accessible at: <http://www.plastikgogic.rs/wp-content/uploads/2018/08/plastic-container-1100-round.pdf>
- [6] RANI, B. S. S. and PRAVEEN, B. (2017) ‘IoT Based Smart Trash / Garbage Collection System’, 5(4), pp. 335–340.