

Znečistenie vytriedeného odpadu je problém. Pomôžu smart riešenia

Čistota triedeného odpadu je totiž kľúčovým predpokladom efektívneho a ekonomicky udržateľného recyklovania.



Zdroj: Sensoneo

Zvyšovanie miery vytriedenia komunálneho odpadu je pozitívnym trendom, avšak samotný objem vytriedeného materiálu nie je postačujúcim ukazovateľom efektivity odpadového hospodárstva.

Kľúčovým faktorom ostáva kvalita vytriedeného odpadu, ktorá je často znižovaná jeho kontamináciou. Aj jedna nevhodne vyhodená alebo znečistená položka môže výrazne narušiť celé množstvo inak správne separovaného materiálu a znemožniť jeho recykláciu. V dôsledku toho dochádza k zvyšovaniu nákladov na dotriedňovanie, k energetickému zhodnocovaniu alebo až k uloženiu odpadu na skládku, čo predstavuje environmentálne aj ekonomicky nežiaduci výsledok.

Kontaminácia separovaného odpadu predstavuje prítomnosť materiálov, ktoré sú z hľadiska technológie spracovania nevhodné alebo nevyhovujú svojim stavom, najmä kvôli znečisteniu potravinovými zvyškami, tekutinami či nesprávnemu materiálovému zloženiu.

Spoločnosť Sensoneo implementovala IT systém zálohovania obalov (DRS – Deposit Refund System) v 9 krajinách, čím významne prispela k zvyšovaniu miery recyklácie nápojových obalov vrátane plastov. Dlhodobo sa venuje aj vývoju senzorov na sledovanie zaplnenosti veľkokapacitných kontajnerov a optimalizáciu zvozu odpadu. Vďaka týmto aktivitám disponuje rozsiahlymi skúsenosťami v oblasti senzorických technológií, ktoré by chceli využiť aj v problematike čistoty separovaného komunálneho odpadu.



Zdroj: Sensoneo

Typy kontaminácie odpadov

Plasty

Znečistené obaly od potravín

V zariadeniach na anaeróbnú digesciu sa balený potravinový odpad zvyčajne spracováva v odbalovacej jednotke, ktorá mechanicky separuje potraviny od obalov. Hoci toto zariadenie oddelí značnú časť potravinového odpadu od plastových fragmentov, zároveň silne kontaminuje obaly organickými látkami.

Príkladom je zariadenie v Severnom Írsku, ktoré ročne spracuje približne 100 000 ton potravinového odpadu, z čoho až 8 000 ton kontaminovaných plastových obalov končí na skládke alebo ako palivo vyrobené z odpadu (RDF - Refuse Derived Fuel) [1].

Hračky, technické plasty

Plasty obsahujú rôznorodé chemické látky – od monomérov a polymérov po zmäkčovadlá, stabilizátory či pigmenty – pričom ich zloženie sa výrazne líši podľa typu výrobku. Hračky a technické plasty majú odlišné chemické profily oproti obalovým materiálom, čo znemožňuje jednoduchú homogenizáciu recyklátu bez náročného triedenia.

Navyše bývajú kontaminované vedľajšími reakčnými produktmi a neúmyselne prítomnými látkami (NIAS – Non-Intentionally Added Substances). Vzhľadom na neznáme zloženie a prítomnosť potenciálne nebezpečných chemikálií predstavujú tieto plasty výzvu pre

bezpečné recyklovanie, keďže zariadenia často nedokážu účinne identifikovať a vylúčiť rizikové materiály [2].

Štúdie organizácie IPEN (International Pollutants Elimination Network – Medzinárodná sieť pre elimináciu znečisťujúcich látok) odhalili, že všetky testované hračky (31 kusov z 10 krajín) obsahovali vysoké koncentrácie krátko- a strednoredzových chlorovaných parafínov (SCCP – Short-Chain Chlorinated Paraffins a MCCP – Medium-Chain Chlorinated Paraffins).

Tieto látky sú známe ako karcinogénne, endokrinné disruptory a toxické pre vývoj nervovej sústavy, reprodukciu, pečeň aj obličky. Bežne sa používajú ako zmäkčovadlá či retardéry horenia a pretrvávajú počas celého životného cyklu výrobku, čím sa môžu nekontrolovane šíriť do recyklačných tokov.

Zatiaľ čo SCCP sú od roku 2017 globálne zakázané Stockholmským dohovorom, MCCP sú v EÚ zatiaľ len na zozname látok vzbudzujúcich veľmi veľké obavy (SVHC) podľa nariadenia REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals – registrácia, hodnotenie, autorizácia a obmedzovanie chemikálií), pričom ich úplný zákaz bol navrhnutý ECHA (European Chemicals Agency – Európska chemická agentúra) v roku 2023 [3].

Polystyrén

Expandovaný polystyrén (EPS – Expanded Polystyrene) má veľmi nízku hustotu a vysoký objem, čo znamená, že náklady na zber, skladovanie a prepravu sú neúmerne vysoké vzhľadom na reálny objem materiálu vhodného na recykláciu. Je často znečistený potravinami alebo nápojmi, najmä v prípade jednorazových obalov (napr. poháre, tácky), čo znemožňuje jeho priame spracovanie a zvyšuje náklady na čistenie [4].

Papier

Mastný alebo znečistený papier

Na Slovensku ročne zrecyklujeme **približne 200 tisíc ton**. Podľa posledných štatistík z roku 2022 je táto separácia na úrovni **viac ako 82%** [5]. Napriek tomu sa však v kontajneroch na papier často nachádzajú aj nápojové kartóny, znečistený nerecyklovateľný papier či iné materiály.

Takto kontaminovaný papier často nie je možné recyklovať a môže znehodnotiť aj celú várku recyklovaného materiálu. Výsledkom je finančná strata pre recyklačné firmy a environmentálna záťaž, keďže kontaminovaný papier končí na skládke alebo v spaľovni.

Použitie hygienické potreby

Produkty ako plienky, vložky, tampóny, nohavičkové či prsné vložky spadajú do kategórie absorbujúcich hygienických produktov (AHPs – Absorbent Hygiene Products). Ide o materiály kombinujúce prírodné vlákna a plastové polyméry, ktoré sú po použití silne kontaminované telesnými tekutinami, ako je moč či krv.

Táto biologická kontaminácia znemožňuje ich bezpečné začlenenie do štandardného toku recyklácie papiera alebo plastov. Ak sa AHPs dostanú do triediacej linky, predstavujú riziko zníženia kvality recyklátu, narušenia technologických procesov a zároveň ohrozenia zdravia pracovníkov manipulujúcich s odpadom [6].

Voskovaný alebo laminovaný papier

Voskovaný a laminovaný papier patrí medzi kompozitné materiály, ktoré obsahujú vrstvu vosku alebo plastu, čím znemožňujú oddelenie celulóзовých vlákien počas recyklačného procesu. Rovnako aj papierové pokladničné bloky predstavujú problém v papierovom toku, keďže bývajú potiahnuté bisfenolom A (BPA – Bisphenol A) alebo bisfenolom S (BPS – Bisphenol S) – chemikáliami využívanými pri výrobe plastov.

Tieto látky sú známe ako endokrinné disruptory a pri vyšších dávkach môžu zvyšovať riziko rakoviny a neplodnosti. Ich prítomnosť v produktoch ako toaletný papier, obrúsky či obaly na potraviny je z hľadiska zdravotnej bezpečnosti nežiaduca [7].



Skúsenosti, zručnosti a know-how
z implementácie IT systému
pre zálohovanie z

9 krajín

🇸🇰 🇫🇷 🇪🇸 🇭🇺 🇮🇪 🇦🇹 🇹🇷 🇬🇷 🇵🇱

Pozitívny vplyv na život viac ako

170 miliónov ľudí

((SENSONEO))

Zdroj: Sensoneo

Prečo sú tieto prímеси nežiaduce?

- **Technologická nezlučiteľnosť**
Materiály kombinované za účelom funkčnosti (napr. plasty s retardérmí horenia) sú problémom pri recyklácii kvôli odlišným chemickým vlastnostiam. Zdanlivo recyklovateľné obaly, ako papier s plastovou vrstvou či keramika v skle, narušajú proces separácie.
- **Kontaminácia odpadu**
Zvyšky potravín, olejov a biologického materiálu znižujú kvalitu triedeného odpadu a často znemožňujú jeho recykláciu.

- **Ekonomická neefektivita**
Recyklácia sa neoplatí, ak náklady na zber a spracovanie presiahnu trhovú hodnotu recyklátu. Znečistené alebo zle vytriedené materiály sú málo predajné.
- **Vyššie náklady na dotried'ovanie**
Znečistenie zvyšuje potrebu dodatočného triedenia, predlžuje spracovanie a zvyšuje náklady. Často končí takýto odpad na skládke alebo v spaľovni.
- **Znížená kvalita recyklátu**
Nevhodné zložky v triedenom odpade znižujú kvalitu výstupného materiálu a jeho hodnotu pre výrobcov.
- **Riziko prekvalifikovania na zmesový odpad**
Ak je kontajner výrazne znečistený, môže byť vyradený z triedeného zberu a skončiť ako komunálny odpad.
- **Vyššie poplatky pre obce a domácnosti**
Dodatočné náklady sa prenášajú na samosprávy a občanov vo forme vyšších komunálnych poplatkov.
- **Riziko nesplnenia cieľov a sankcií**
Vysoká miera znečistenia ohrozuje plnenie legislatívnych cieľov recyklácie, čo môže viesť k pokutám a strate dotácií.

Existujúce riešenia

V súčasnosti je na trhu dostupných viacero technologických riešení, ktoré využívajú prvky umelej inteligencie a počítačového videnia na automatizované rozpoznávanie a minimalizáciu kontaminácie v triedenom odpade. Tieto riešenia sú efektívne, ale zároveň finančne náročné na implementáciu, čo limituje ich širšie využitie najmä v menších obciach a firmách. Nižšie uvádzame tri zaujímavé príklady riešení:

Vision AI na triediacich linkách – SmartEnds

SmartEnds nasadzuje Vision AI riešenie v recyklačných centrách na spracovanie papiera a kartónu s cieľom automaticky detegovať kontamináciu, monitorovať naplnenosť kontajnerov a optimalizovať zber.

System využíva 210 batériových AI kamier, ktoré poskytujú dáta v reálnom čase pre rýchle rozhodovanie a zefektívnenie logistiky. Výsledkom je zníženie zbytočných vývozov o 30%, pokles problémov s kontamináciou o 40%. [8].

Edge AI vo zbere – NVIDIA + Remondis

NVIDIA vyvinula edge AI riešenie na detekciu kontaminácie odpadu v reálnom čase pomocou videoanalýzy priamo na zberových vozidlách. System využíva kameru a model YOLOv4 nasadený na zariadení Jetson TX2, čím umožňuje lokálne spracovanie obrazu bez

potreby cloudu. Riešenie zvyšuje presnosť identifikácie kontaminantov (napr. plastových tašiek), automatizuje audit odpadu a podporuje efektívnejšie triedenie [9].

Inteligentné koše – Ameru Smart Bin

Ameru vyvinulo inteligentný Vision AI odpadkový kôš, ktorý v reálnom čase klasifikuje odpad do štyroch kategórií (papier, plasty/kovy, sklo, zmesový odpad) pomocou 8 MP kamery a edge zariadenia Jetson Orin Nano.

Systém dosahuje viac než 95 % presnosť, poskytuje okamžitú spätnú väzbu používateľovi cez dotykový displej a priebežne zlepšuje model učením z reálnych dát. Riešenie znižuje kontamináciu priamo pri zdroji a zvyšuje mieru správneho triedenia odpadu, najmä v kancelárskych a komerčných priestoroch [10].

Sensoneo inovácia - Smart Waste Management

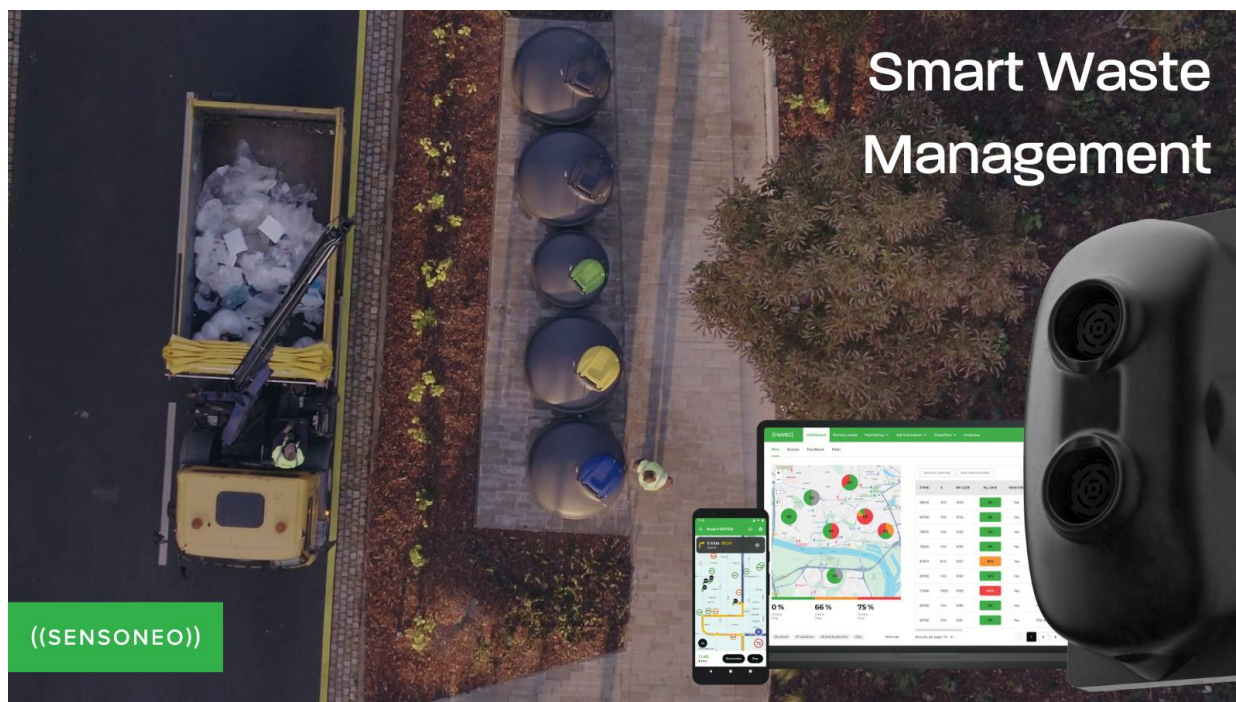
Sensoneo ponúka riešenie Smart Waste Management (inteligentné nakladanie s odpadom), ktoré pokrýva celý proces zberu odpadu – od monitorovania naplnenosti kontajnerov cez optimalizáciu zvozočných trás až po detailnú analytiku v reálnom čase.

Vďaka vlastným senzorom a dátovej platforme dokáže zefektívniť operácie, znížiť náklady a emisie. Ich technológia má využitie naprieč rôznymi typmi odpadu: komunálnym, triedeným aj priemyselným. Na základe bohatých skúseností s vývojom senzorov je rozšírenie riešenia aj o identifikáciu kontaminácie triedeného odpadu prirodzeným krokom vpred.

Problematika čistoty separovaného odpadu predstavuje kľúčový aspekt efektívneho nakladania s komunálnym odpadom. SENSONEO je aktuálne zapojené do výskumného projektu AI4 Waste recognition. Tento výskumný projekt je zameraný na využitie radarových technológií, ktoré môžu slúžiť na monitorovanie a hodnotenie kvality triedeného zberu, so špeciálnym dôrazom na senzory schopné detegovať mieru znečistenia separovaného odpadu.

Spolu s partnermi z akademickej sféry, mestom a firmami zameranými na implementácie AI sa SENSONEO snaží nájsť nové inovatívne spôsoby nasadenia a vyhodnocovania. Čistota triedeného odpadu je totiž kľúčovým predpokladom efektívneho a ekonomicky udržateľného recyklovania. Radarové senzory dokážu zaznamenať zmeny sily amplitúdy odrazeného signálu, čo umožňuje odhaliť napríklad prítomnosť papiera v plastovej frakcii alebo naopak.

Ich potenciál výrazne narastá pri prepojení s ďalšími technológiami, ako je napríklad videoanalýza, ktorá môže detailnejšie identifikovať druh nežiaducich materiálov. Výzvou zostáva optimalizovať ich praktické nasadenie, najmä vzhľadom na potrebu napájania či vysoké počiatkové náklady. Cieľom projektu je hľadať riešenia, ktoré by v konečnom dôsledku mohli znížiť celkové náklady a sprístupniť pokročilé technológie širšiemu využitiu v odpadovom hospodárstve.



Zdroj: Sensoneo

Financovanie: Výskum je financovaný EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I05-03-V02-00068.

Autor: František Rusnák, Sensoneo j.s.a.

Spoluautor: Patrik Břečka, Asseco Central Europe, a.s.

Zdroj:

https://www.odpady-portal.sk/Dokument/108864/triedenie-odpadu-cistota-recyklacia-smart-technologie-sensoneo.aspx?utm_source=ecomail&utm_campaign=odpadovy_monitoring&utm_medium=email&utm_term=72000&ecmid=57952

Foto: Sensoneo - Spravodajstvo | 16.07.2025 | František Rusnák, Sensoneo | Patrik Břečka, Asseco Central Europe | PR

[1] Tretsiakova-McNally, S. et al. Separation and Characterization of Plastic Waste Packaging Contaminated with Food Residues. *Polymers*, 2023, 15(13), 2943. Dostupné na:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10346690/>

[2] Carney Almroth, B., Carmona, E., Chukwuone, N., Dey, T., Slunge, D., Backhaus, T., & Karlsson, T. Addressing the toxic chemicals problem in plastics recycling. *Cambridge Prisms: Plastics*, 2025, 3, e3, 1–7. Dostupné na: <https://www.cambridge.org/core/journals/cambridge-prisms-plastics/article/addressing-the-toxic-chemicals-problem-in-plastics-recycling/552E550968DC2E0119DB937925505DC6>

- [3] Margulis, C. Children's Toys or Hazardous Waste? *Stop Poison Plastic*, 19. októbra 2023. Dostupné na: <https://www.stoppoisonplastic.org/blog/childrens-toys-or-hazardous-waste/>
- [4] Guazzotti, V. & Welle, F. Recycling of Post-Consumer Polystyrene Packaging Waste into New Food Packaging Applications—Part 3: Initial Contamination Levels in Washed Flakes from Europe. *Recycling*, 2025, 10(2), 37. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/2313-4321/10/2/37>
- [5] Europapier. Recyklácia papiera – prečo a ako triediť. Dostupné na: <https://www.europapier.sk/sk/magazin/detail/m/rycklacia-papiera-preco-a-ako-triedit-m3482890>
- [6] European Commission JRC. Treatment of absorbent hygiene products for improved recycling of materials. Dostupné na: <https://greenbestpractice.jrc.ec.europa.eu/node/131>
- [7] Mewhort, M. L. *Organics and Recycling Contamination in Public Spaces: Case Study at Simon Fraser University, Burnaby Campus*. Simon Fraser University, 2020. Dostupné na: https://summit.sfu.ca/flysystem/fedora/sfu_migrate/19957/etd20714.pdf
- [8] Ameru. Dostupné na: <https://www.ameru.ai/>
- [9] NVIDIA Developer Blog. Dostupné na: <https://developer.nvidia.com/>
- [10] SmartEnds. Dostupné na: <https://smartends.com/>