

Tonerový prášek - kam s ním

Ing. Olga Šolcová, CSC., prof. Milan Čárský, Ing. Karel Soukup, PhD., Ing. Milena Rousková, Ph.D., Ing. Stanislav Šabata, Ústav chemických procesů AV ČR

Úvod

Rostoucí poptávka po tiskových službách, zejména v oblasti kancelářského a komerčního tisku, vede k neustálému zvyšování množství odpadu v podobě odpadních tiskových kazet obsahujících zbytkový tonerový prášek. Tento prášek, využívaný především v laserových tiskárnách, představuje zátěž pro životní prostředí, jelikož se jeho podstatná část dostává na skládky nebo do spaloven bez dalšího využití. Vzhledem k chemickému složení tonerového prášku sestávající ze směsi polymerů, pigmentů a dalších přísad, nabízí tento materiál potenciál pro alternativní zpracování, například formou energetického zhodnocení.

Tonerový prášek obsahuje organické polymery, které mají vysokou výhřevnost, což ho činí zajímavým kandidátem pro využití jako paliva. Avšak jeho chemické složení zahrnuje i látky, které mohou při spalování emitovat škodlivé kontaminanty, což představuje významnou výzvu při hledání vhodných metod čištění spalin. Současné technologie nakládání s tímto odpadem často ignorují možnosti jeho energetického využití a zaměřují se spíše na jednoduché, ale méně udržitelné způsoby likvidace.

Cílem této zprávy je analyzovat potenciál tonerového prášku jako alternativního paliva, identifikovat možné metody jeho energetického zhodnocení a posoudit technologické a environmentální výzvy spojené s jeho využitím jako tuhého paliva. Tato studie tak přispívá k širší diskuzi o možnostech inovativního nakládání s odpady a přechodu na oběhové hospodářství.

Fyzikálně-chemické vlastnosti tonerového prášku

Tonerový prášek představuje komplexní směs chemických látek, jejichž přesné složení a poměry se liší podle výrobce a typu tiskárny. I přes utajení specifických receptur výrobců lze popsat základní složky a jejich funkce v tonerovém prášku. Níže uvedené informace shrnují složení a vlastnosti tohoto materiálu.

1. Polymerní matrice

Hlavní složkou tonerového prášku jsou polymery, které tvoří 80–95 % jeho hmoty. Dříve se v tonerech používal styren-akrylát kopolymer, běžný zejména ve starších černobílých tiskárnách. S nástupem moderních barevných tiskáren však získal převahu polyester. Tento typ plastu nabízí několik výhod, například nižší zapékací teplotu, odolnost vůči mechanickému opotřebení a stabilitu při vyšších tiskových rychlostech. Díky tomu je polyester vhodnější pro moderní energeticky úsporné a rychlé tiskárny. Polymerní složka zajišťuje přilnavost toneru k papíru po jeho zapékání. Částice plastu jsou mikroskopické, s velikostí obvykle mezi 5 a 7 μm , což umožňuje přesné nanášení toneru a ostré výsledky tisku ¹.

2. Aditiva pro kontrolu náboje

Aby tonerový prášek fungoval správně, je nutné kontrolovat jeho elektrostatické vlastnosti. K tomu se používají speciální aditiva, která udržují rovnoměrný náboj částic. Mezi nejčastěji používané látky patří oxid železno-železitý (Fe_3O_4), Cr a Zn^2 . Tyto látky umožňují správnou přilnavost toneru na rotační válec a následně na papír. Fe_3O_4 vykazuje tzv. triboelektrické vlastnosti, které pomáhají regulovat elektrostatický přenos náboje během tisku. V tonerech

některých výrobců byl zjištěn podíl až 40 % Fe_3O_4 , což přispívá k lepší stabilitě a výkonu tiskového procesu.

3. *Pigmenty a barviva*

Barvu tonerového prášku určují pigmenty a barviva³, která se liší podle typu toneru. Pro černé tonery se nejčastěji používají uhlíkové saze, známé svou vysokou absorpcí světla. Díky tomu dosahují tištěné dokumenty ostrých a hluboce černých odstínů. Barevné tonery obsahují složité organické pigmenty:

- Azurová (cyan): Například ftalocyaninová modř, která poskytuje syté odstíny.
- Purpurová (magenta): Například chinakridonová červeně, odolná vůči světlu a teplotě.
- Žlutá (yellow): Pigmenty na bázi benzimidazolonu, které zajišťují stálost a jasnost.

Každá barevná složka je pečlivě vyvážena, aby výsledný tisk odpovídal přesnému barevnému profilu. Barviva navíc musí být tepelně stabilní, aby odolala vysokým teplotám při zapékání.

4. *Aditiva*

Další nezbytnou složkou tonerového prášku jsou různá aditiva¹, která zlepšují jeho funkční vlastnosti:

- Vosk: Polypropylenový vosk brání přilepení prášku na zapékací válce a umožňuje hladký průchod papíru tiskárnou.
- Oxid křemičitý: Tento materiál zabraňuje shlukování částic, čímž zajišťuje rovnoměrné nanášení toneru z kazety na papír.

Tato aditiva hrají klíčovou roli při zajištění plynulého tiskového procesu a prodloužení životnosti tiskárny.

5. *Stopové prvky*

Tonerové prášky mohou obsahovat také anorganické složky, včetně těžkých kovů, které pocházejí z některých barviv a aditiv. Studie prokázaly přítomnost šestimocného chromu v tonerových prášcích, zatímco koncentrace kadmia a rtuti byly buď zanedbatelné, nebo zcela nedetekovatelné³. Přítomnost těchto látek klade nároky na ekologické zpracování tonerového odpadu.

Potenciální environmentálně-zdravotní rizika představovaná především neoriginálními tonery

Spotřeba neoriginálních tonerů se každoročně pohybuje v milionech kusů, přičemž jejich oblíbenost mezi domácnostmi a firmami roste zejména kvůli nízké ceně. Levné tonery však s sebou nesou významná rizika, a to nejen z hlediska kvality tisku, ale především pro jejich negativní dopady na životní prostředí a lidské zdraví.

Neoriginální tonery nejčastěji pocházejí od neznámých výrobců, často z Číny. Na českém trhu tvoří tonery s nejasným původem až 65 % z celkové produkce. Nezávislé testy pravidelně ukazují, že tyto produkty obsahují nebezpečné látky v koncentracích překračujících evropské limity. Například německé studie odhalily, že 8 z 9 testovaných neoriginálních tonerů obsahovalo nadlimitní množství bromovaných zpomalovačů hoření (např. polybromované

difenylétery či hexabromcyklododekan) v koncentracích až 30 000 mg/kg. Tyto látky, byť mají nízkou akutní toxicitu, při chronické expozici narušují imunitní systém, hormonální rovnováhu, reprodukční cyklus a mohou negativně ovlivnit vývoj plodu. Existuje také podezření na jejich karcinogenitu¹.

Kromě bromovaných zpomalovačů hoření obsahují tyto tonery také další nebezpečné látky, jako je styren, benzen a těkavé organické látky (VOC). Ve srovnání s originálními tonery obsahují neoriginální produkty až o 153 % více styrenu, o 130 % více VOC a o 60 % více ultra jemných částic, které mohou být vdechnuty a způsobit zdravotní problémy. Tyto látky mají karcinogenní potenciál a přispívají k dlouhodobému poškozování zdraví.

Jedním z největších problémů neoriginálních tonerů je jejich neekologičnost. Na rozdíl od originálních nebo renovovaných tonerových kazet, které lze po použití renovovat nebo ekologicky zpracovat, neoriginální tonery tyto možnosti nenabízejí. Jejich složení a nekvalitní konstrukce znemožňují recyklaci, což vede k tomu, že často končí na skládkách komunálního odpadu a někdy i ve spalovnách odpadu. Při spalování mohou uvolňovat toxické látky, jako je styren nebo polychlorované dibenzo-*p*-dioxiny a dibenzofurany, což má negativní dopad na životní prostředí a zdraví obyvatel.

Ještě závažnějším problémem je nelegální likvidace těchto tonerů. Mnohé z nich končí na nejen skládkách v rozporu s platnou legislativou, čímž se zvyšuje riziko kontaminace půdy, nebo se dávají hluboko do země, kde dochází ke kontaminaci vodních zdrojů těžkými kovy a dalšími toxickými látkami.

Navíc neoriginální tonery nedosahují kvality originálních výrobků. Tisk s jejich použitím bývá méně kvalitní, s horšími barvami a kratší životností tištěných dokumentů. Také představují bezpečnostní riziko nejen pro uživatele, ale i pro samotné tiskárny, které může jejich použití poškodit.

Tonerový prášek jako zdroj energie

Tonerový prášek je materiál bohatý na uhlík díky svým polymerním složkám, které mají vysokou výhřevnost (obvykle 30–40 MJ/kg, což odpovídá hodnotám kvalitních fosilních paliv, jako je černé uhlí nebo ropa). Kromě toho obsahuje další složky, jako jsou pigmenty, vosky a aditiva, které přispívají k jeho energetickým vlastnostem. Avšak složení tonerového prášku se výrazně liší podle výrobce, což komplikuje jeho využití ve standardizovaných procesech.

Klíčovým rizikem při manipulaci s tonerovým práškem je jeho jemná struktura, která zvyšuje riziko vzniku výbušné směsi při vysokých teplotách. Jak uvádí studie⁴ samotný tonerový prášek by mohl při spalování explodovat, což znemožňuje jeho přímé vhánění do spalovacích zařízení. Z tohoto důvodu je nutné hledat alternativní způsoby, jak využít jeho energetický potenciál. Nabízí se míchání tonerového prášku s jinými organickými odpady, jako jsou čistírenské kaly nebo odpadní biomasa, což snižuje pravděpodobnost exploze a zároveň zvyšuje celkovou energetickou účinnost procesu. Kombinace těchto materiálů v tuhých palivech, jako jsou pelety, představuje potenciální způsob, jak efektivně využít tonerový prášek při dodržení platné legislativy.

1. *Spalování tonerového prášku ve směsných tuhých palivech*

Jedním z nejslibnějších přístupů k využití tonerového prášku je jeho smíchání s jinými organickými odpady, jako jsou čistírenské kaly, papírenské kaly nebo biomasa, a následná výroba směsných tuhých paliv ve formě pelet. Tento způsob přináší několik významných výhod:

- **Zvýšení energetického obsahu:** Tonerový prášek díky svému vysokému obsahu uhlíku a polymerní povaze zvyšuje výhřevnost pelet. Směs s např. ČOV kaly zajišťuje stabilní spalování bez rizika exploze
- **Kontrola spalovacího procesu:** Moderní spalovací zařízení umožňují kontinuální monitorování a regulaci teploty plamene, což zajišťuje bezpečné a efektivní spalování směsných paliv i při variabilitě složení tonerového prášku
- **Využití popílku:** Popílek vzniklý při spalování obsahuje silikátové složky, které mohou být dále využity ve stavebním průmyslu, například jako příměs do cementu a malt. Studie⁵ ukazují, že cementové kompozity obsahující popílek z tonerového prášku vykazují vynikající mechanické vlastnosti, ačkoli je potřeba další výzkum zaměřený na dlouhodobou stabilitu a odolnost vůči absorpci vody.

Směsná paliva představují efektivní způsob, jak využít tonerový prášek ekologicky i ekonomicky udržitelným způsobem.

2. *Katalytická pyrolýza*

Dalším potenciálním přístupem je katalytická pyrolýza, proces termického rozkladu probíhající za nepřístupu kyslíku a při vysokých teplotách. Tonerový prášek by mohl plnit dvojí funkci – jednak jako surovina pro produkci kapalných paliv, syntetických plynů a pevných zbytků, jednak jako katalyzátor zvyšující efektivitu pyrolýzy. Mezi produkty tohoto procesu patří:

- **Kapalná paliva:** Mohou být využita v petrochemickém průmyslu nebo jako příměs pro fosilní paliva
- **Syntetické plyny:** Obsahují vodík, metan a oxid uhelnatý, které lze dále zpracovávat na energii nebo chemikálie
- **Pevné uhlíkaté zbytky:** Mohou sloužit jako adsorbenty nebo příměsi do průmyslových produktů.

Ačkoli katalytická pyrolýza slibuje vysokou efektivitu a širší uplatnění tonerového prášku, tato metoda je zatím ve fázi teoretického výzkumu a vyžaduje experimentální ověření.

3. *Environmentální a zdravotní aspekty*

- **Zdravotní rizika:** Tonerový prášek je klasifikován jako jemný prach (particulate matter), jehož inhalace může vést k respiračním problémům a dalším zdravotním komplikacím. Studie¹ ukazuje, že při tisku laserovými tiskárnami dochází k uvolňování ultrajemných částic, jejichž dlouhodobá expozice může způsobit vážné zdravotní problémy. Doporučuje se zavádění ochranných opatření, jako je zlepšené větrání a používání filtrů v kancelářských prostorách.
- **Ekologické výzvy:** Přítomnost těkavých organických látek (VOC), bromovaných zpomalovačů hoření a těžkých kovů v tonerovém prášku zvyšuje riziko kontaminace životního prostředí při jeho nesprávném zpracování. Variabilní chemické složení tonerového prášku od různých výrobců navíc komplikuje standardizaci procesů pro jeho energetické využití.

4. *Výhledy a potřeba výzkumu*

Nedostatek experimentálních dat o spalování kompozitů biomasy s tonerovým práškem představuje zásadní překážku pro rozvoj této technologie. Klíčovými oblastmi pro další výzkum jsou:

- Optimalizace složení tuhých paliv obsahujících tonerový prášek
- Analýza dlouhodobých vlastností cementových a maltových kompozitů s tonerovým popílkem
- Vývoj bezpečných metod pro katalytickou pyrolýzu tonerového prášku
- Hodnocení zdravotních rizik spojených s manipulací s tonerovým prachem a jeho energetickým využitím.

Závěr

Tonerový prášek představuje materiál s vysokým potenciálem pro energetické využití, zejména díky jeho polymernímu složení s vysokou výhřevností a organickým funkčním skupinám, které podporují efektivní spalování. Jeho integrace do směsných tuhých paliv, jako jsou směsné pelety nabízí nejen možnost ekologického zpracování odpadu, ale také přidanou hodnotu ve formě energetických výstupů. Přestože tonerový prášek může obsahovat rizikové látky, jako jsou bromované zpomalovače hoření, těkavé organické látky (VOC) a těžké kovy, správně navržené technologie mohou tato rizika minimalizovat a transformovat tonerový odpad na hodnotný zdroj energie.

Klíčové přínosy energetického využití tonerového prášku

- **Snížení množství odpadu na skládkách:** Využití tonerového prášku v energetických procesech přispívá ke snížení množství odpadu ukládaného na skládky, což má pozitivní dopad na životní prostředí
- **Energetická efektivita:** Spalování tonerového prášku ve směsi s jinými odpady zvyšuje celkovou výhřevnost tuhých paliv a zlepšuje stabilitu spalovacího procesu
- **Možnost recyklace popílku:** Popílek vzniklý při spalování může být využit ve stavebnictví, například jako přísada do cementu a malt, čímž se zvyšuje hodnota odpadu a podporuje cirkulární ekonomika.

Využití tonerového prášku jako energetického zdroje zapadá do principů cirkulární ekonomiky, kde se odpad stává surovinou pro další zpracování. Tento přístup přispívá k minimalizaci ekologické zátěže, podporuje udržitelné využívání zdrojů a vytváří nové příležitosti v oblasti odpadového hospodářství a energetiky. Tonerový prášek, původně považovaný za obtížně recyklovatelný odpad, má potenciál stát se cenným zdrojem energie a surovin, pokud budou vyvinuty vhodné technologie a postupy jeho využití.

Použitá literatura

- (1) <https://www.microtrac.com/applications/toner-particles/> (staženo dne 20. 11. 2024).
- (2) Ataefard, M.; Ghasemi, E.; Ebadi, M. Effect of Micro- and Nanomagnetite on Printing Toner Properties. *Scientific World Journal* **2014**, 706367. DOI: 10.1155/2014/706367.
- (3) Balasubramanian, S.; Kanagarathinam, S.; Cingaram, R.; Bakthavachalam, V.; Iyer, S. K.; Rajendran, S.; Sundaramurthy, K. N.; Ranganathan, S. Waste toner-derived porous iron oxide pigments with enhanced catalytic degradation property. *Environ. Res.* **2023**, 216, 114695. DOI: 10.1016/j.envres.2022.114695.
- (4) Li, X. L.; Fan, L.; Xie, H. Y.; Wang, J. W. A Study on Explosion Characteristics of Toner Powder. *Measurement and Control of Granular Materials* **2012**, 508, 122-126. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.508.122.

(5) Ring, R. P.; Cordoba, G.; Delbianco, N.; Priano, C.; Rahhal, V. Circular Economy Approach: Recycling Toner Waste in Cement-Based Construction Materials. *Sustainability* **2024**, *16* (11), 4707. DOI: 10.3390/su16114707.