

# WASTE FORUM



RECENZOVANÝ ČASOPIS PRO VÝSLEDKY VÝZKUMU A VÝVOJE  
PRO ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

ROČNÍK 2011

číslo 4  
strana 205 – 262

**Patron čísla**

Internetový portál Tretiruka.cz ([www.tretiruka.cz](http://www.tretiruka.cz))  
pomocná (třetí) ruka každého podnikatele

## OBSAH

Úvodní slovo šéfredaktora	207
Pro autory	207
<b>Demografické změny a predikce množství komunálního odpadu v ČR</b> <b>Demographic Changes and Modelling of Municipal Waste Production in CR</b> <i>Alena KOVÁČOVÁ, Jiří LOUDA, KRISTÝNA RYBOVÁ</i>	208
<b>Výdaje obcí na nakládání s komunálním odpadem v okrese Vyškov a jejich efektivnost</b> <b>Municipal waste management expenditures in the Vyškov district and their efficiency</b> <i>Jana SOUKOPOVÁ</i>	218
<b>Lidský faktor a možná rizika při realizaci projektu kompostárny</b> <b>The human factor and possible risks of composting</b> <i>Zdeněk SKOUMAL</i>	227
<b>Anaeróbná fermentácia vybraných priemyselných organických odpadov s cieľom produkcie bioplynu v laboratórnych podmienkach</b> <b>Anaerobic fermentation of selected industrial organic wastes for biogas production in laboratory conditions</b> <i>Stanislav SEDLÁČEK, Miroslava KUBASKÁ, Soňa LEHOTSKÁ, Igor BODÍK</i>	237
<b>Sulfitový výluh a odpad z výroby sodných fosfátů jako ztekucovadla v cihlářské výrobě</b> <b>Application of waste deflocculants in brickmaking technology</b> <i>Radomír SOKOLÁŘ, Lucie VODOVÁ</i>	247
<b>Dimenzionálne zmeny recyklovaných buničinových vlákien</b> <b>Dimensional changes of recycled fibers</b> <i>Iveta ČABALOVÁ</i>	253
<b>Tretiruka.cz – více času na podstatné!</b>	262

**WASTE FORUM – recenzovaný časopis pro výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství**

ISSN: 1804-0195; [www.WasteForum.cz](http://www.WasteForum.cz). Vychází čtvrtletně.

Ročník 2011, číslo 4

**Vydavatel:** CEMC – České ekologické manažerské centrum, IČO: 45249741, [www.cemc.cz](http://www.cemc.cz)

**Adresa redakce:** CEMC, Jevanská 12, 100 31 Praha 10, ČR, fax: +420/274 775 869

**Šéfredaktor:** Ing. Ondřej Procházka, CSc., tel.: +420/274 784 448, 723 950 237, e-mail: [prochazka@cemc.cz](mailto:prochazka@cemc.cz)

**Redakční rada:** Prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D., prof. Ing. František Kaštánek, CSc., prof. Ing. Mečislav Kuraš, CSc.,  
prof. Ing. Karel Obroučka, CSc., doc. RNDr. Jana Kotovicová, Ph.D., doc. Ing. Vladimír Čablík, CSc.,  
doc. Dr. Ing. Martin Kubal, doc. Ing. Lubomír Růžek, CSc., doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.,  
Ing. Vratislav Bednařík, CSc.

**Web-master:** Ing. Vladimír Študent

**Redakční uzávěrka:** 8. 10. 2011. **Vychází:** 28. 11. 2011



## Úvodní slovo šéfredaktora

### Vážení čtenáři,

není žádným tajemstvím, že ambicí tohoto časopisu je získat impakt-faktor, byť zpočátku i jen nepatrný. Naopak to všude zdůrazňuji a vím, že nejsem sám, kdo má zájem, aby byl u nás impaktovaný časopis přes odpady, případně s širším tématickým záběrem. Proto se opakovaně snažím apelovat na ty, kteří publikují též v zahraničí, aby co nejvíce citovali články z tohoto časopisu. Tím se zvýší pravděpodobnost, že si jej všimnou ti, kteří o přidělování impakt-faktoru rozhodují.

Publikační jazyk v časopisu WASTE FORUM je čeština, slovenština a angličtina, přičemž článků v angličtině bylo zatím poskrovnu. V rámci „tažení“ za impakt-faktorem jsme se rozhodli od příštího ročníku preferovat články v angličtině. Projeví se to tak, že u příspěvků s Poděkováním publikační poplatek ve stávající výši 200 Kč za stránku zůstane v platnosti u článků v anglickém jazyce, kdežto u článků v češtině či slovenštině jej zvýšíme na 500 Kč za stránku (obě částky jsou bez DPH). Věřím, že to postižení autoři pochopí a nebude to překážkou pro jejich publikování.

Od nového ročníku připravujeme ještě další změny související s výše zmíněným „tažením“ za impakt-faktorem. Včas o nich budeme informovat, nyní jen ujišťuji, že další útok na peněženky autorů nechystáme. Ovšem, kdyby některá instituce publikujících autorů chtěla přispět například na pořízení redakčního software, které by usnadnilo přípravu a publikování jednotlivých čísel, případně po grafické stránce pozvedlo vzhled internetových stránek časopisu, nebudeme se zlobit. Na oplátku může být uvedena jako sponzor některého čísla a nebo internetových stránek.

A teď k tomuto číslu. Možná jste si již všimli, že toto číslo obsahuje pouze šest příspěvků, tedy méně než jiná čísla v poslední době. Důvodem je, že celou jednu třetinu došlých příspěvků jsem musel na doporučení recenzentů odmítnout uveřejnit. Jedno vysvětlení je, že autoři odmítnutých článků je narychlo spíchli horkou jehlou, aby měli do konce roku splněn plán publikací. Druhé vysvětlení mám takové, že recenzenti, alespoň někteří přitvrdili. Byl bych raději, kdyby blíže pravdy byla ta druhá možnost.

**Uzávěrka dalšího čísla je 8. ledna** a vedle toho všechny publikující autory i čtenáře zvu na již **7. ročník česko-slovenského symposia Výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství ODPADOVÉ FÓRUM 2012, které se koná 25. až 27. dubna 2012** opět v Koutech nad Desnou v Jeseníkách. **Termín pro přihlášky příspěvků na symposium je 15. ledna 2012.** Formulář a další informace najdete na [www.odpadoveforum.cz/symposium2012](http://www.odpadoveforum.cz/symposium2012).

**Ondřej Procházka**

### Pro autory

České ekologické manažerské centrum (CEMC) na vydávání časopisu WASTE FORUM nedostává žádnou podporu z veřejných zdrojů. Proto se snažíme minimalizovat náklady spojené s vydáváním tohoto časopisu. Proto je časopis vydáván pouze v elektronické podobě a čísla jsou zveřejňována na volně přístupných internetových stránkách [www.WasteForum.cz](http://www.WasteForum.cz).

Pro snížení pracnosti přípravy jednotlivých čísel požadujeme, aby autoři příspěvků je posílali do redakce v kompletně zalomené podobě i se zabudovanými obrázky a tabulkami, tak zvané „**printer-ready**“. Pokyny k obsahovému členění a grafické úpravě příspěvků spolu s přímo použitelnou **šablonou grafické úpravy** ve WORDu jsou uvedeny na www-stránkách časopisu v sekci **Pro autory**.

Uveřejnění příspěvků v časopisu WASTE FORUM je v zásadě bezplatné. Nicméně abychom příjmově pokryli alespoň nezbytné externí náklady spojené s vydáváním časopisu (odměny recenzentům, poplatky za webhosting, softwarová podpora), vybíráme symbolický poplatek za uveřejnění poděkování grantové agentuře či konstatování, že článek vznikl v rámci řešení určitého projektu. Více na www-stránkách v sekci **Inzerce**.

## Demografické změny a predikce množství komunálního odpadu v ČR

**Alena KOVÁČOVÁ<sup>a,b</sup>, Jiří LOUDA<sup>a,b</sup>, Kristýna RYBOVÁ<sup>b,c</sup>**

<sup>a</sup> Katedra ekonomiky životního prostředí, Národohospodářská fakulta,

<sup>b</sup> Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku, Vysoká škola ekonomická, Nám. W. Churchilla 4, 130 67 Praha, Česká republika

<sup>c</sup> Katedra demografie a geodemografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze

E-mail: kovacova@ieep.cz, louda@ieep.cz, rybova@ieep.cz

### Souhrn

Rostoucí ceny surovin a negativní externality spojené s odkládáním odpadů na skládky úzce souvisí s tendencemi ve snaze o maximální materiálové a energetické využívání odpadů a předcházení jejich vzniku. Předpokladem úspěchu těchto snah je analyzování materiálových toků, environmentálních efektů a modelování ekonomických dopadů zaváděných opatření. Modely odrážející priority odpadového hospodářství a představy o budoucím vývoji by měly sloužit jako nástroje na podporu rozhodování při tvorbě nových politik a opatření, programových nástrojů a strategií v této oblasti.

Demografické a socio-ekonomické změny si vyžadují ekonomickou a politickou adaptaci, sociální úpravy a regulační nadstavení. Tomuto fenoménu je věnována stále větší pozornost, protože se jeho dopady začínají stále výrazněji promítat do života společnosti.

Cílem tohoto příspěvku je zmapování současného stavu poznání jak v oblasti demografických změn, tak v oblasti modelování v odpadovém sektoru. V rámci aplikace tohoto poznání je pak zkoumán konkrétní vztah mezi demografickými změnami a odpadovým hospodářstvím v České republice. Pochopení toho, které charakteristiky mají na produkci komunálního odpadu vliv a jak se tyto charakteristiky v současnosti vyvíjí, může výrazně pomoci připravit se na další vývoj v produkci odpadů a nakládání s nimi.

**Klíčová slova:** odpadové hospodářství, demografické změny, populační stárnutí, modelování, socio-ekonomické faktory

### Úvod

Demografické změny jsou již v současnosti velmi diskutovaným tématem a demografická struktura populace se bude do budoucna dále dramaticky měnit. Většina vyspělých zemí již nyní čelí stárnutí obyvatelstva. Hlavními příčinami tohoto jevu jsou pokles plodnosti a úmrtnosti, nárůst střední délky života a posouvání silných poválečných ročníků do důchodového věku. Tento proces bude prostřednictvím řady mechanismů působit na různá odvětví národní ekonomiky a veřejných rozpočtů, a to na celostátní i lokální úrovni.

Ačkoli demografické změny spojené s demografickým stárnutím probíhají ve vyspělých zemích již delší dobu, jejich konkrétní dopady začínají být patrné teprve v posledních letech a jejich vliv se bude do budoucna dále výrazně zvyšovat. Změny ve věkové struktuře zemí mohou mít signifikantní vliv na jejich ekonomickou výkonnost.

Na regionální úrovni budou demografické změny stále více působit na poskytování veřejné technické i sociální infrastruktury významnými změnami v úrovni poptávky. Pro technickou infrastrukturu je typické, že většinou není schopna odpovídajícím způsobem flexibilně reagovat na změny poptávky. V tomto ohledu je obzvláště problematický klesající zájem o poskytované služby [1]. V případě technické infrastruktury je velká část nákladů na provoz a údržbu tvořena náklady fixními. V obcích, kde klesá

počet obyvatel a obyvatelstvo stárne, tedy bude docházet k tomu, že stále stejné náklady budou muset být rozděleny mezi zmenšující se počet uživatelů.

Demografické změny probíhající v populaci ovlivňují i produkci komunálního odpadu a tím i vhodné způsoby nakládání s tímto odpadem. Trendy v produkci komunálního odpadu jsou samozřejmě determinovány i řadou dalších faktorů, jejichž význam může být různě velký. Významnými faktory jsou například ekonomický růst ve společnosti a výše příjmů domácností, vzorce spotřeby nebo cena jednotlivých produktů. Ke snížení produkce odpadu v domácnostech může přispívat úroveň technologie a infrastruktury pro nakládání s odpadem nebo také dostupnost informací o třídění odpadu a environmentální citění obyvatel. Produkované množství odpadu a také jeho složení se významně liší také podle typu zástavby, zde se jedná především o rozdíly mezi venkovskou a městskou zástavbou nebo rodinnými domy a sídlišti [2].

Cílem předkládané studie je prozkoumat současný stav poznání v oblasti vztahu demografického stárnutí a odpadového hospodářství, analyzovat dříve publikované modely tvorby komunálního odpadu a identifikovat faktory, které mají výrazný vliv na produkci komunálního odpadu ze socio-ekonomického hlediska. Klíčový soubor těchto faktorů popisujících socio-ekonomický vývoj byl identifikován na základě konfrontace odborné literatury. K evaluaci dat, určení vhodných proměnných a vysvětlení vztahu mezi nimi se běžně používají rozličné nástroje, které pocházejí především z oblasti statistiky.

Identifikace parametrů modelu vyžaduje komplexní přístup zejména kvůli vysoké diverzitě a heterogenitě toku komunálního odpadu. Při výběru těchto parametrů je důležité brát v úvahu jejich předvídatelnost, především relativně vysokou předpovídající správnost a dlouhodobý časový horizont.

## Současný stav poznání

Demografické změny souvisejí s faktem, že populace vyspělých zemí stárne důsledkem velmi nízké porodnosti a zlepšujících se úmrtnostních poměrů.

Úroveň plodnosti silně ovlivňuje velikost populace a také její věkovou strukturu. Ačkoli některé populační prognózy vývoje obyvatelstva předpokládají mírné zvyšování plodnosti, úroveň plodnosti již pravděpodobně nedosáhne hodnot, jaké měla např. po druhé světové válce.

Souběžně se změnami v plodnosti dochází také ke změnám v úrovni úmrtnosti. Stejně jako počet narozených klesá v České republice i počet zemřelých, a to i přes probíhající demografické stárnutí populace. Na klesající úmrtnost má vliv řada faktorů. Mezi nejdůležitější faktory zřejmě patří rozsah nabídky odborné lékařské péče, dostupnost nejmodernějších technologií a kvalitních léků, účinnost působení zdravotnické osvěty, která vede k rostoucímu vědomí prospěšnosti individuální péče o zdraví, životní styl populace, který se také proměňuje ve prospěch zdravého způsobu života, a v neposlední řadě zlepšující se kvalita životního prostředí [3].

Vlivem porodnosti a úmrtnosti se mění také věková struktura populace. Ačkoli je porodnost v České republice velmi nízká, nedochází zatím díky poklesu úmrtnosti k výrazným změnám v celkovém počtu obyvatel země. Ve věkové struktuře jsou vlivy obou procesů mnohem patrnější. Počty i podíly dětské složky (do 14 let) klesají, zatímco skupina osob v postproduktivním věku (nad 65 let) naopak nabývá početně i procentuálně na významu.

V současnosti dochází také ke změnám v počtu a velikosti domácností. Absolutní počet domácností průběžně narůstá. Zároveň ale klesá průměrná velikost domácností a roste počet domácností jednotlivců. V roce 2001 se poprvé staly nejčastějším typem domácností právě domácnosti jednotlivců. Ještě v roce 1991 byly nejčastější domácnosti dvoučlenné. Zmenšování domácností je důsledkem řady změn, které ve společnosti probíhají. Významnou roli zde hrají změny struktury obyvatelstva, zejména podle věku a rodinného stavu.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zvyšuje se počet neúplných domácností, roste rozvodovost a klesá počet dětí v rodinách, což vše přispívá ke snižování průměrné velikosti domácností. Zároveň se ve stárnoucí populaci zvyšuje podíl samostatně žijících osob ve vyšších věkových kategoriích, mezi nimiž je řada ovdovělých jedinců, zejména žen. Ženy mají vyšší pravděpodobnost než muži prožít poslední léta svého života osaměle, což je dáno rozdíly ve střední délce života. [4]

Všechny výše zmíněné demografické změny probíhají na celostátní i regionální úrovni. Pro regiony je v tomto kontextu charakteristické, že jejich vývoj neprobíhá na celém území republiky stejně. Všechny regiony, obce ani jejich části totiž nestárnou stejně rychle, nelze ani říci, že by ve všech oblastech docházelo k poklesu počtu obyvatel, naopak existují regiony, kde počet obyvatel díky porodnosti i imigraci roste. Vzhledem k tomu, že se regiony mezi sebou již v současnosti svými demografickými charakteristikami liší a tyto rozdíly se do budoucna budou ještě zvětšovat, nelze očekávat, že problémy, které s sebou současný vývoj přináší, budou na všech místech stejné a že je možné používat pro jejich řešení jednotné postupy.

Demografické změny neprobíhají odděleně od vývoje celé společnosti. Všechny výše zmíněné demografické změny se proto dříve nebo později začnou promítat také do vývoje celého hospodářství a budou ovlivňovat příjmovou i výdajovou stranu veřejných rozpočtů na celostátní i obecní úrovni. Obzvláště citelný vliv mohou mít demografické změny také na technickou infrastrukturu, která je většinou dimenzována na určitý počet uživatelů, má životnost v řádu desítek let a proto není schopna flexibilně reagovat na změny poptávky.

Pod pojem technická infrastruktura je zahrnováno:

1. Zásobování pitnou vodou
2. Zásobování energií
3. Zásobování plynem
4. Zásobování teplem
5. Odvod splaškové vody
6. Odpadové hospodářství
7. Telekomunikace
8. Dopravní síť

Technická infrastruktura je svým charakterem velmi různorodá skupina, přesto lze najít několik společných znaků, které jsou typické téměř pro všechny její prvky. Důležitou vlastností této infrastruktury je její nižší mobilita a delší reprodukční cyklus<sup>1</sup>. Většinou se jedná o infrastrukturu síťového charakteru [5]. Dalším významným znakem je existence přirozeného monopolu a s tím související potřeba ekonomické regulace trhu služeb technické infrastruktury. Důležitou charakteristikou je pak také to, že bez ohledu na náklady nebo hustotu obyvatel je většinou nutné zajistit dostupnost této infrastruktury pro všechny obyvatele v regionu.

Demografické změny a zejména pokles počtu obyvatel vedou k oddalování velikosti nabídky a poptávky po technické infrastruktuře. To bude vytvářet tlak na veřejné i soukromé rozpočty, protože krátko až střednědobě bude docházet ke zvýšení průměrných nákladů na technickou infrastrukturu. Pro domácnosti a podniky to znamená zvyšující se vybírané poplatky, protože stále stejně vysoké fixní náklady musí být rozděleny mezi stále menší počet spotřebitelů. První empirické studie odhadují, že náklady na osobu porostou do budoucna proporcionálně s poklesem hustoty osídlení [6]. V budoucnu bude tedy muset stále méně obyvatel platit za stále naddimenzovanější síť. Konkrétní řešení se mohou výrazně lišit obec od obce vždy podle toho, jaké specifické potřeby a podmínky na místě panují.

Co se odpadového hospodářství týče, má demografický vývoj různé regionální dopady, a to především na:

- odbyt odpadu,
- složení odpadu,
- logistiku,
- plánování a využití kapacit na odstranění a využití odpadu,
- služby a systém plateb,
- náklady a poplatky za odpad.

Podrobná esej Wesleyho Schultze shrnuje zjištění empirických studií a výzkumu zaměřených na recyklační chování lidí. Lze prokázat souvislost mezi demografickými proměnnými a zájmem o životní prostředí. Studie týkající se recyklačního chování obyčejně pracují se čtyřmi demografickými ukazateli: věk, pohlaví, příjem a vzdělání. Wesley Schultz upozorňuje na fakt, že nejvíce se o záležitosti životního prostředí zajímá mladá osoba ženského pohlaví, vzdělaná, s vyššími příjmy, žijící ve městě a ideologicky liberálního smýšlení [7].

## Přehled modelů v oblasti odpadového hospodářství

Jak politika Evropská unie, tak České republiky kladе důraz na odpadovou problematiku. Prosazuje se proaktivní přístup a hledání nových a moderních cest k dosahování společných cílů členských zemí. V souvislosti s tím roste i význam modelování v odpadovém sektoru.

Modely aplikované v oblasti odpadového hospodářství lze rozdělit z metodického hlediska do tří skupin [8]:

- 1) modely materiálových toků,
- 2) modelování vzniku spotřebních odpadů,
- 3) modely nakládání s odpady.

Odpadové modely input/output (I/O, vstup/výstup), které jsou důležitou skupinou modelů materiálových toků, vycházejí s ekonomických modelů I/O. Popisují materiálové a finanční toky v národním a regionálním měřítku mezi ekonomickými sektory a environmentálním sektorem.

Úpravou Leontiefova I/O modelu na sledování odpadových toků byl vytvořen model označovaný jako WIO (Waste Input/Output). Uvedl ho Grant Allan v roce 2002 [9]. Model popisuje vzájemnou závislost mezi strukturou produkčního sektoru (dostupné technologie), poptávkou a strukturou odpadového toku (sběr, svoz, třídění atd.). Struktura vstupů představují výrobní procesy a spotřeba výrobků, které generují odpady. Výstupy ze sektoru nakládání s odpady tvoří toky recyklovaných materiálů a využitelné energie. WIO model využívá bilanční vztahy (jedná se o soustavy lineárních rovnic, které mají charakter hmotné nebo ekonomické bilance) a maticové operace. Je složen z modelu hmotných toků a cenového modelu, který analyzuje dopady změny primárních vstupů (koeficienty vstupů, ceny výrobních faktorů) na ceny produkce. To umožňuje modelovat vliv a dopady ekonomických nástrojů.

WIO umožňuje posuzovat různé varianty odpadových politik. Např. WIO pro Japonsko vedlo k závěru, že energetické využití směsného komunálního odpadu v menším počtu velkých spaloven sníží dopady skládkování na životní prostředí a zároveň povede k poklesu emisí skleníkových plynů. Ve studii Vlčkové a spol. byl modifikován I/O model pro Českou republiku [10]. Úprava spočívala v pozměnění kvantifikace nakládání s odpadem. Vstupní data vycházeli ze statistik ČSÚ a modelování bylo prováděno pro roky 2001 a 2002.

I/O balance byly rozvinuty do složitějších modelů obecné rovnováhy (CGE, Computable General Equilibrium). Zde platí rovnováha mezi poptávkou (celková spotřeba a vývoz) a nabídkou (vstupy a vývoz). Je potřebné sledovat i vstupy/výstupy mezi sektory, které jsou zprostředkovány dopravou. Model je náročný na data, zejména z hlediska dostupnosti produkce odpadů jednotlivými sektory a plateb odpadovému sektoru (část odpadů je skryta a využita uvnitř sektorů). Úspěšnost modelování je tedy závislá na úplnosti a kvalitě těchto dat [8].

V oblasti modelování vzniku spotřebních odpadů je škála modelů větší, např. Markovovského model vzniku vybraných spotřebních odpadů, modely vycházejí z ekonomických teorií spotřebitelského chování atd. [8]

Beigl a spol. [11] hodnotil modely vzniku směsného komunálního odpadu. Modely založené na spotřebitelském chování domácností se zakládají na výši příjmů, průměrném věku, počtu členů, dětí, na etnické příslušnosti apod. Pomocí spotřebitelského chování lze následně modelovat složení a množství směsného komunálního odpadu.

Empirické studie se zase opírají o nezávislé proměnné, které ale se spotřebou domácností korelují, tedy mají na ni vliv a jejich monitorování není tak obtížné jako u vzorců spotřeby. Patří sem např. spotřeba energie, počet členů domácnosti, průměrný věk, vlastnictví automobilu atd. Na základě regresních vztahů se predikuje množství odpadu z domácností nebo jeho složek [8].

Dle studie Beigla a spol. [11], jak demografické indikátory, tak indikátory blahobytu jsou velice důležité faktory schopné vysvětlit fluktuaci v produkci pevného komunálního odpadu. Úroveň příjmu domácnosti jako jedna z vysvětlujících proměnných ovlivňuje produkci KO i recyklaci. Např. Morris [12] uvádí, že při neměnných podmínkách (*ceteris paribus*), zvýšení ročního průměrného příjmu domácností vede ke zvýšení průměrného objemu odpadu produkovaného domácnostmi a recyklovaného sběru.

Mezi modely aplikované v oblasti nakládání se směsným komunálním odpadem patří optimalizační modely. Integrovaný systém nakládání se směsným komunálním odpadem tvoří soubor zdrojů (obce) a zařízení (spalovny, skládky, úpravny, třídící linky apod.) a podléhá mnoha kritériím, aby vykazoval minimální dopady na životní prostředí při společensky únosných nákladech. Způsob řízení (optimalizace)



tohoto integrovaného systému je úkolem optimalizačních modelů nakládání s odpady. Modelují izolované jednotkové operace, především sběr a dopravu odpadů, dále třídění a materiálovou recyklaci i operace na skládkách atd. Schémata integrovaného nakládání se směsným komunálním odpadem sestávají z řetězců technologických operací (separace, materiálové využití, spalování s využitím energie, skládkování ekonomicky nevyužitelných odpadů atd.). Jejich úkolem je najít nejefektivnější řešení v daném konkrétním kontextu (obce, region). V samotném zápisu optimalizačního modelu je účelová funkce doplněna řadou omezujících podmínek technických, emisních i legislativních [8].

Modely nakládání s odpady rozšiřují svůj záběr dál za hranice logistiky. Souběžně s rostoucí tendencí využívání logistických modelů vznikala řada modelů integrovaného nakládání se směsným komunálním odpadem, které vycházeli z analýzy životního cyklu (LCA, Life Cycle Assessment). Jedná se o posouzení environmentálních dopadů jednotlivých variant plánů odpadového hospodářství.

## Metoda

Model popsany v této práci lze zařadit mezi modely vzniku spotřebních odpadů a sleduje vliv socio-ekonomických a demografických změn na množství vyprodukovaného komunálního odpadu. Je to dílčí úkol, který v žádném případě nepodává celkový obraz o vlivu těchto změn například na infrastrukturu, poskytování veřejných služeb apod. Ukazuje však závislost sledovaných veličin a naznačuje jejich vzájemné vztahy.

Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole, v řadě studií jsou použity bivariační a multivariační statistické metody k hodnocení dat a odhadování budoucí produkce odpadu. Nejdostupnější a nejpoužívanější metodou využívanou k testování vztahu mezi úrovní blahobytu a množstvím vytvořeného KO je regresní analýza. Spolu s korelační analýzou pomáhají vysvětlovat těsnost a vývoj závislosti mezi proměnnými, a tím umožňují odhadnout hodnoty závislé proměnné na báze souboru hodnot nezávislých vysvětlujících proměnných. Lineární dynamické a regresní modely jsou v podstatě kauzální modely, hledají tedy příčinné vazby.

Vhodné socio-ekonomické indikátory na obecní a národní úrovni pokrývající období několika let jsou popsány v četných studiích Bacha a spol. [13], Beigla a spol. [11, 14] nebo Hocketta a spol. [15]. Podle studie Petera Beigla [11] jsou demografické indikátory spolu s indikátory úrovně blahobytu nejvýznamnější faktory, které jsou schopné vysvětlit odchylky v produkci komunálního odpadu. Při modelování produkce komunálního odpadu je nezbytné brát v úvahu také regionální měřítko.

Finální model popsán v praktické části příspěvku je založen na metodologii, kterou použili ve svých pracích Peter Beigl [11] a Heinz Bach [13]. Vliv vybraných indikátorů tvorby komunálního odpadu byl ověřen pomocí korelační analýzy. Touto analýzou lze vysvětlit pouze sílu statistické závislosti. Korelační analýza má za úkol měřit těsnost zkoumané statistické závislosti. Základní úkoly regresní analýzy pak spočívají v nalezení vhodné teoretické regresní funkce k vystižení sledované závislosti. Nejčastěji se volí lineární regresní model. Obecný zápis lineární multi-regresní funkce, který byl použit v práci, je (rovnice 1, 2):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots + \beta_n x_n \quad (1)$$

nebo

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad (\text{vyjádřeno sumou}) \quad (2)$$

$Y_i$  – závislá proměnná (v našem případě produkce komunálního odpadu)

$x_{ij}$  – hodnoty vysvětlujících (nezávislých) proměnných

$\beta_0, \beta_j$  – regresní koeficient

$k$  – počet nezávislých proměnných

$\varepsilon_i$  – náhodná složka (zobrazuje chyby vzniklé při experimentálním měření, které jsou zapříčiněny například působením nepodstatných, nekontrolovatelných a neuvažovaných vlivů)

$i, j = 1, 2, 3 \dots n$

Ve snaze vyhnout se nejistotám v odhadech beta parametrů, je nutné zabránit výskytu kolinearity mezi vysvětlujícími proměnnými. Jinými slovy, abychom vybrali ten nejvhodnější model, musíme vybrat jen ty vysvětlující proměnné, které mezi sebou nejsou silně korelované.



Regresní koeficient  $R^2$  ukazuje, jak velkou část variability závisle proměnné lze vysvětlit použitím zvoleného modelu. Může dosahovat hodnot v rozmezí 0 až 1. Škála síly závislosti vyjádřena procentuálně pomocí regresního koeficientu (koeficientu determinace) je znázorněna v tabulce 1.

**Tabulka 1: Parametry regresní analýzy na regionální úrovni**

Podmínka	Míra závislosti
$R^2 < 10\%$	velmi slabá závislost
$10\% \leq R^2 < 25\%$	slabá
$25\% \leq R^2 < 50\%$	významná
$50\% \leq R^2 < 80\%$	silná
$R^2 \geq 80\%$	velmi silná

### Praktický postup analýzy

Pro analýzu byla shromážděna data ze dvou zdrojů. Všechny údaje popisující demografické složení a socio-ekonomické charakteristiky sledovaných územních jednotek byly čerpány z Českého statistického úřadu. Informace o produkci komunálního odpadu pak poskytl EKO-KOM, a.s. Data byla shromážděna za 185 různě velkých měst z celé České republiky.

Vstupní hodnoty (data) jsou za rok 2006. To je i hlavní podmínka regresní analýzy. Všechny hodnoty vstupních dat se musí vztahovat k jednomu časovému období. Nemůže se jednat o vývoj v čase. Regresní analýzou by se mohly prokázat závislosti, které vůbec neexistují.<sup>2</sup>

Pozorování a výzkumy měli být prováděny na dvou úrovních – regionální a lokální úroveň. Pro nedostatek relevantních dat na úrovni obcí (lokální), byla analýza aplikována jen na úroveň krajů (regionální). Modelování na regionální a vyšší úrovni je vždy méně relevantní z důvodu používání agregovaných dat. Regresní analýza vyžaduje primární data, aby byla dosažena vyšší informativní hodnota. Jiné předpoklady a požadavky jsou dostatečná velikost datového souboru. Při uvažování těchto skutečností lze interpretovat výsledky výzkumu.

Na regionální úrovni byly hodnoty dat vztaženy a přepočteny na domácnosti, aby se dodržel společný jmenovatel. Socio-ekonomické a demografické indikátory použité v analýze jsou velikost domácností (jako průměrný počet členů domácnosti), čistý příjem domácností v jednotlivých krajích v roce 2006, počet domácností s čistým měsíčním příjmem pod úrovní životního minima, průměrný počet důchodců v jedné domácnosti a náklady na bydlení (v Kč/měsíc na domácnost). Zdrojem těchto dat je Český statistický úřad.

Zde vyvstal problém malého setu dat pro sledované jednotky (regiony). Česká republika má čtrnáct krajů (včetně hl. města Praha), pro které byla dostupná statistická data. Region hl. města Prahy byl vyloučen z analyzovaného datového souboru, protože se v pozorováních vyskytovaly extrémní hodnoty zkreslující výsledek a převážná většina z nich byla přiřazena právě k regionu hl. města Prahy.

### Výsledky a jejich diskuse

Výsledný model popisuje tvorbu komunálního odpadu v ČR pomocí několika parametrů pokrývajících rozličné oblasti za účelem sledování širokého spektra potenciálních vztahů a závislostí:

- faktory vztahující se ke kupní síle spotřebitelů – čistý příjem domácností
- socio-ekonomické faktory vztahující se k životnímu stylu domácností – velikost domácností nebo počet členů v domácnosti, počet ekonomicky aktivních členů a nepracujících důchodců, životní minimum (domácnosti s čistým příjmem pod úrovní životního minima), náklady na bydlení
- demografické faktory – podíl osob starších 65 let, absolutní počet obyvatel, věkové složení populace, kojenecká úmrtnost

Tabulka parametrů regresní analýzy vypadá následovně (viz tabulka 2):

<sup>2</sup> Např. sledování závislosti vývoje ceny masa v Nymburku na výkonu plavců SKP Nymburk může zdánlivě vykazat silnou statistickou závislost, protože v čase se budou obě veličiny vyvíjet stejně.

**Tabulka 2: Parametry regresní analýzy na regionální úrovni**

Parameter	Odhad	p-hodnota
Konstanta	-1730,42	0,0063
Čistý příjem domácnosti (v Kč) (NMI)	0,00708705	0,0026
Průměrná velikost domácnosti (HHSIZE)	1151,43	0,0013
Náklady na bydlení (HCOST)	-0,0869734	0,0376
Nepracující důchodci v domácnosti (PEN)	-1648,31	0,0089
Domácnosti s čistým příjmem pod ŽMIN (SMIN)	0,00910628	0,0022

Zdroj: Statgraphics (vlastní výpočet)

Pro odhad parametrů regresní funkce byla použita metoda nejmenších čtverců.

Na základě těchto parametrů (viz tabulka 2) lze tedy odhad regresní funkce popsat rovnicí (č. 3):

$$MSW = -1730,42 + 0,00708705 \cdot NMI + 1151,43 \cdot HHSIZE - 0,0869734 \cdot HCOSTS - 1648,31 \cdot PEN + 0,00910628 \cdot SMIN \quad (3)$$

MSW – tuhý komunální odpad (municipal solid waste), v kg/domácnost za rok

Výsledek analýzy ukazuje, že finální model na úrovni regionů vysvětluje 85,92% variability závisle proměnné.

Tento model (tabulka 2) sestává:

- 4) z jedné závisle proměnné (vytvořený KO na domácnost v jednotlivých sledovaných krajích, MSW)
- 5) z pěti nezávislých vysvětlujících proměnných
  - čistý příjem domácností (NMI)
  - velikost domácností (průměrný počet členů domácnosti, HHSIZE)
  - průměrné měsíční náklady na bydlení na domácnost (HCOST)
  - průměrný počet důchodců v domácnosti (PEN)
  - počet domácností s čistým příjmem pod hranicí životního minima (SMIN)

Model byl podroben analýze rozptylů (ANOVA, Analysis of Variance) používaných v lineárních statických modelech. Zjišťuje neurčitost predikčních proměnných a její vliv na neurčitost výsledku. ANOVA analýza testuje, jestli jsou naměřené rozdíly mezi průměry skupin faktorů jen náhodné nebo statisticky významné.<sup>3</sup> Umožňuje rozklad celkového rozptylu dat na složky objasněné a složku neobjasněnou (tzv. reziduum, tj. zbytek, důsledek náhodných výkyvů zbylých přímo nesledovaných faktorů, který se během měření samy náhodně mění). Výsledkem ANOVA analýzy je zjištění, které z uvažovaných faktorů jsou pro variabilitu náhodné veličiny významné a které jsou nevýznamné.

Pro interpretaci výsledků analýzy jsou nejdůležitější p-hodnoty. Pokud je p-hodnota vypočtena ANOVA analýzou pro daný model menší než 0,01, můžeme s 99%-tní jistotou říct, že existuje statisticky významný vztah mezi proměnnými.

V případě modelu popsaného výše (tabulka č. 2, rovnice č. 3) je p-hodnota ANOVA analýzy rovna 0,0068, tedy je menší než 0,01

Další nutností pro ověření správnosti modelu je testování výskytu autokorelace v datovém souboru. K testu výskytu autokorelace se používá Durbin-Watsonova statistika. Pomocí Durbin-Watsonova testu autokorelace se ověřuje, zda jsou náhodné jevy nezávislé. V opačném případě (náhodné jevy jsou závislé) může dojít ke vzniku zdánlivé korelace (tj. korelace jevů, které spolu nemusí logicky souviset<sup>4</sup>).

Při výsledku Durbin-Watsonova testu větším než 1,4 lze říct, že zde pravděpodobně není žádná vážná autokorelace náhodných jevů (reziduí).

<sup>3</sup> Tato metoda je založena na hodnocení vztahů mezi rozptyly porovnávaných výběrových souborů (tj. testování shody středních hodnot se převádí na testování shody dvou rozptylů (F-test)). Proto název analýza rozptylů, protože vzájemně srovnáváme rozptyly faktorů.

<sup>4</sup> Odstranění autokorelace lze provést např. eliminováním trendu popř. sezónní složky.

V našem regresním modelu vyšel Durbin-Watsonov test 2,33257, autokorelace tedy nebyla prokázána.

Model předložený v praktické části příspěvku je jen malým krokem v rámci vývoje modelování v odpadovém hospodářství. Mohou se vyskytnout určité nedokonalosti modelu a odchylky ve výpočtech. Nicméně, prokázané závislosti a trendy ukazují, že socio-ekonomické indikátory jsou schopné vysvětlit relativně značnou část variability v produkci komunálního odpadu.

Při rozhodování, zda současný model lze zjednodušit, je třeba sledovat p-hodnoty vysvětlujících proměnných. Pokud je p-hodnota u některé nezávislé proměnné menší než 0,05, je tato proměnná statisticky významná na 95%-ní hladině významnosti.

Všimněme si nejvyšší p-hodnoty (0,0376) u proměnné *náklady na bydlení (HCOST)*. Protože je tato hodnota menší než 0,05, není nutné odstranit tuto ani žádnou jinou proměnnou z modelu. Jinými slovy, výsledný model není přeparametrizován.

Výsledek analýzy ukazuje, že finální model je statisticky významný na 95% hladině významnosti.

## Závěry a doporučení

S rostoucím významem odpadové problematiky roste i snaha o maximální materiálové a energetické využívání odpadů a předcházení jejich vzniku. V rámcové odpadové směrnici 2008/98/EC je proaktivní přístup v dosažení společných cílů vysoce žádán a zdůrazňován. Předpokladem dosažení cílů Evropské unie v sektoru odpadů jsou nové politiky a opatření v této oblasti. Na podporu rozhodování při tvorbě těchto politik, programových nástrojů a strategií slouží modely, které jsou aplikované různé oblasti v rámci odpadového hospodářství. Jedná se o modely sledující materiálové toky, vznik odpadů i optimalizační modely nakládání s odpady. Se zvyšováním komplexnosti a dynamičnosti integrovaných systémů roste i náročnost těchto modelů. Je žádoucí, aby podchytili všechny interakce, vlivy a toky v rámci odpadového řetězce a environmentální efekty.

Ve světle četných diskusí o nákladové a environmentální efektivnosti systémů odpadového hospodářství vyvstává potřeba přinést obsáhlé modely, které by měly odrážet priority a potřeby politiky odpadového hospodářství a zabývat se problematikými okruhy sektorů odpadů v Evropské unii (materiálové a energetické využití odpadů, omezování skleníkových plynů, předcházení vzniku odpadů, nové využití odpadů apod.).

Modelování je vždy jakousi ilustrací skutečnosti. Pojem model se obvykle používá k definování a specifikování rozličných logických a matematických konstrukcí, které nahrazují těžce pozorovatelné skutečnosti a složité mechanismy. Je velice důležité používat nejenom teoretické znalosti, ale i schopnost generalizovat empirické zjištění o chování subjektu a vztazích v různých situacích a za různých podmínkách.

Analýza popisována v tomto článku je jen malý krok ve snaze pochopit a identifikovat všechny vzájemné vazby a vlivy uvnitř odpadového řetězce. Analyzování vztahů a závislostí mezi socio-ekonomickými a demografickými faktory a množstvím produkovaného komunálního odpadu se v okolních státech věnuje stále větší pozornost (viz např. studie Beigl a spol. [11]). Změny ve věkové struktuře zemí mohou mít signifikantní vliv na jejich ekonomickou výkonnost. Je zde široké spektrum následků stárnutí populace v ekonomické sféře. Dopady mohou ovlivnit tempo ekonomického růstu, úspory, investice, spotřebu lidí, penze, míru zdanění a trhy práce. Demografické stárnutí prohlubuje mezigenerační nerovnost a může přinést neobyčejné a nepředvídatelné změny ve struktuře celé společnosti. [16]

Srovnání výsledků zde prezentované analýzy s výsledky jiných autorů může být poměrně obtížné. Různé studie totiž pracují s různou sadou vysvětlujících proměnných, které nechávají vstupovat do modelu. I přes tyto výhrady je možné konstatovat, že zde prezentované výsledky podporují zahraniční poznatky, že množství produkovaného komunálního odpadu má statisticky podloženou souvislost se socio-ekonomickou strukturou územních jednotek.

## Acknowledgements

*Tento článek vznikl s podporou projektu GAČR P402/10/0126 s názvem Ekonomické a ekologické aspekty environmentální regulace v rámci rozdílných tržních struktur (např. regulace nakládání s obalovými odpady).*

## Literatura:

- [1] Frank, H. J.: *Demographic developments will not spare the public infrastructure*. Current Issues: Demography Special. Deutsche Bank Research. 2004.
- [2] OECD: *Household energy & water consumption and waste generation: Trends, environmental impacts and policy responses*. Sector case studies series. 2002.
- [3] Český statistický úřad: *Úmrtnost v České republice v letech 1995-2002*. Praha 2004
- [4] Český statistický úřad: *Vývoj domácností v letech 1970-2001 s důrazem na domácnosti jednotlivců*. Praha 2005
- [5] Siedentop et al.: *Infrastrukturkosten in der Regionalplanung*. Werkstatt: Praxis Heft 43. 2006.
- [6] Herz, R.; Werner, M.; Marschke, L.: Anpassung der technischen Infrastruktur. In: *BMVBW (Hrsg.): Fachdokumentation zum Bundeswettbewerb „Stadtumbau Ost“*. Expertisen zu städtebaulichen und wohnungswirtschaftlichen Aspekten des Stadtumbaus in den neuen Ländern, S. 50-60. Berlin 2002.
- [7] Schultz, P. W.; Oskamp, S.; Mainieri, T.: *Who recycles and when? A review of personal and situational factors*, Journal of Environmental Psychology (1995), 15, pp. 105 – 121
- [8] CENIA: *Aplikace modelů v oblasti životního prostředí*, publikace z projektu VaV SP/4h1/147/08, Praha 2011
- [9] Allan, G. a spol.: An Extension and Application of the Leontief Pollution Model of Waste Generation and Disposal in Scotland, Research Paper, University of Strathclyde, 2004 (dostupné online ke stažení na <http://strathprints.strath.ac.uk/7275/1/strathprints007275.pdf>, poslední přístup 13. 9. 2011)
- [10] Vlčková, J. a spol.: *Modely produkčních a odbytových bilancí pro vybrané toky odpadů v komparaci s návrhem nástrojů mixu k podpoře prevence vzniku a materiálového využití odpadů*, VaV 1C/7/41/04. Praha: MŽP, IREAS, 2004
- [11] Beigl, P. a spol.: *Modelling municipal solid waste generation: A review*, Waste Management Vol. 28, pp. 200-214. 2007.
- [12] Morris, J.: *What works best to increase waste diversion?* Recourse Recycling, January 2000
- [13] Bach, H. a spol.: *Combining socio-demographic and logistic factors to explain the generation and collection of the waste paper*, Resources, Conservation and Recycling 41, 65-73. 2003.
- [14] Beigl, P. a spol.: *Forecasting Municipal Solid Waste Generation in Major European Cities*, Institute of Waste Management, BOKU – University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna 2004.
- [15] Hockett, D. a spol.: *Determinants of Per Capita Municipal Solid Waste Generation in the Southeastern United States*, Journal of Environmental Management, Vol. 45 (3), pp. 205 – 217. 1995.
- [16] United Nations: *World Population Ageing: 1950-2050*, United Nations New York 2001.

## **Demographic Changes and Modelling of Municipal Waste Production in CR**

**Alena KOVÁČOVÁ, Jiří LOUDA, Kristýna RYBOVÁ**

*Institute for Economic and Environmental Policy, The University of economics, Prague, W. Churchilla Sq. 4, 130 67 Prague 3, Czech Republic*

### **Summary**

*Rising prices of the raw materials and negative externalities associated with the waste disposal and landfilling is closely connected with the tendencies towards material and energy recovery and waste prevention. The prerequisite of these successful efforts is analyzing material flows, environmental effects and modeling of the economic impacts of the implemented regulations. Models reflecting the priorities of waste management and ideas of future development should serve as a support tool for decision makers when creating new policies and regulations, programs and strategies in this area.*

*Demographic and socio-economic changes require economic and political adaptation, social adjustments and regulations. We need to pay attention to this phenomenon as it has even bigger effect on community life.*

*The objective of this paper is to review the state of present knowledge regarding to demographic changes and their influence on technical infrastructure at regional level. Following this knowledge, relationship between demographic changes and waste management in Czech Republic was analyzed. Understanding of characteristics influencing municipal waste production and their development in time could markedly help in adaptation to further development in waste management*

### **Key words:**

*Waste management, demographic changes, population ageing, modelling, socio-economic factors*

# Výdaje obcí na nakládání s komunálním odpadem v okrese Vyškov a jejich efektivnost

**Jana Soukopová**

Masarykova univerzita, Ekonomicko-správní fakulta, Katedra veřejné ekonomie,  
Lipová 41a, 602 00 Brno, e-mail: [soukopova@econ.muni.cz](mailto:soukopova@econ.muni.cz)

## Souhrn

V příspěvku je na základě analýzy běžných výdajů obcí na nakládání s komunálním odpadem provedeno vyhodnocení jejich efektivnosti pomocí metody analýzy efektivnosti nákladů (CEA) při volbě různých indikátorů pro měření efektivnosti. Efektivnost je v pojetí autorky chápána z hlediska metodologie 3E. Vyhodnocení a srovnání efektivnosti výdajů bylo provedeno u 79 obcí okresu Vyškov. **Klíčová slova:** efektivnost, veřejné výdaje, odpadové hospodářství, analýza efektivnosti nákladů, okres Vyškov

## Úvod

Od roku 1999 probíhá v ČR reforma veřejné správy, která je rozdělena do několika etap. Právě probíhající etapa je zaměřena na zefektivnění fungování veřejné správy jako celku. V rámci této samostatné etapy vláda podniká kroky, které vycházejí z dokumentu „Efektivní veřejná správa a přátelské služby“, jehož hlavním posláním je zefektivnit stávající stav ve veřejné správě včetně veřejných výdajů, kdy zajištění jejich efektivnosti je primárním cílem této reformy. Součástí veřejných výdajů jsou také výdaje na ochranu životního prostředí. Ty mají od roku 1997 rostoucí trend, který vychází zejména ze zvyšujících se prostředků z místních rozpočtů. Právě ty mají z pohledu objemu výdajů na ochranu životního prostředí v České republice dominantní postavení. Jejich výše se pohybuje mezi 60 až 70 procenty z celkových veřejných výdajů. V této ochraně, kterou financují obce, města, krajské úřady, dobrovolné svazky obcí apod. dominují tři oblasti ochrany a tvorby životního prostředí. Jde o ochranu vody, biodiverzity a krajiny a nakládání s odpady. Kapitálových výdajů bylo nejvíce alokováno na ochranu vody, běžných výdajů do oblasti odpadového hospodářství. Výdaje plynoucí na odpadové hospodářství obce, čímž se rozumí činnosti zahrnující předcházení vzniku odpadů, nakládání s odpady a také údržba míst sloužících k trvalému uložení odpadů, představují v posledních pěti letech více než 50 % všech běžných výdajů vynakládaných obcemi do oblasti ochrany životního prostředí [1]. Je důležité upozornit na skutečnost, že z pohledu obcí patří ekonomický faktor k nejdůležitějším, protože ovlivňuje rozsah a způsob, který konkrétní obec pro nakládání s odpadem zvolí. I když povinnosti obcí v oblasti nakládání s odpady vymezuje legislativní rámec, míra a způsob plnění povinností vycházejí z finančních možností obce.

I proto je měření efektivnosti veřejných výdajů obtížné a to zvláště v oblasti ochrany životního prostředí. Je to dáno tím, že měření zvýšení kvality životního prostředí v jednotlivých oblastech má svá specifika a navíc nelze říci, že mezi výší výdajů do jednotlivých oblastí životního prostředí a zvýšením kvality životního prostředí v této oblasti by existovala jednoznačná přímá úměra a to platí i pro výdaje na nakládání s odpady. Navíc je nutné si uvědomit, že jak ve vědě, tak v praxi není pojmání efektivnosti jednotné. Na problémy spojené s jednoznačným vymezením pojmu efektivnost poukazují Špaček, Malý a Bakoš [2], kteří upozorňují na to, že navzdory všeobecnému spojování efektivnosti převážně s manažerskými a ekonomickými kritérii, podle kterých dochází k hodnocení činností, jejich výstupů a k tomu využitých zdrojů, se ve vymezení pojmu efektivnost konkrétním autorem odráží také jeho osobní postoj k problematice, stejně jako charakter produktu nebo činnosti, u kterých je efektivnost posuzována.

## Metodika

Výdaje na životní prostředí lze charakterizovat jako výdaje na akce a činnosti směřující k prevenci nebo následnému odstranění škod na životním prostředí. Dle definice EPEA (Environmental Protection Expenditures Account – účet výdajů na ochranu životního prostředí) se jedná o výdaje na všechny aktivity, jejichž cílem je prevence, tedy snižování a eliminace produkovaných znečišťujících látek, stejně jako náprava poškozeného životního prostředí. Přitom základním kritériem je, aby ochrana životního prostředí byla prvotním cílem těchto aktivit. Výdaje na aktivity, které životní prostředí sice pozitivně ovlivňují, ale ochrana životního prostředí jejich prvotním cílem není, nejsou do výdajů na ochranu životního prostředí zahrnovány [3].

Statistika Evropské unie (EU) dělí výdaje na životní prostředí na výdaje veřejného sektoru, podnikového sektoru a výdaje specializovaných environmentálních výrobců a producentů environmentálních služeb podnikového a veřejného sektoru<sup>5</sup>. Podle této klasifikace se zaměřujeme na **veřejné výdaje obcí**. Výdaje na ochranu ŽP lze dále dělit podle toho, zda jsou určeny na investiční výstavbu a jde tedy o investiční (kapitálové) výdaje nebo na financování neinvestičních akcí, kdy jde o běžné výdaje. Tato analýza je zaměřena pouze na **výdaje běžné**. Z pohledu akcí do jednotlivých oblastí ochrany životního prostředí (po technické stránce) je pro dělení výdajů na ochranu životního prostředí využívána klasifikace CEPA 2000 (Classification of Environmental Protection Activities) vypracovaná Statistickým úřadem Evropského společenství (Eurostat). Tato klasifikace je využívána k vymezení aktivit, produktů, výdajů a ostatních transakcí, jejichž prvotním účelem je ochrana ŽP. Podle ní jsou výdaje dále děleny podle jednotlivých oblastí ochrany ŽP, kterými jsou ochrana ovzduší a klimatu, nakládání s odpadními vodami, nakládání s odpady, ochrana a péče o půdu, podzemní a povrchové vody, redukce hluku a vibrací, ochrana biodiverzity a krajiny, ochrana před radioaktivitou, věda a výzkum a ostatní aktivity ochrany životního prostředí [3], přičemž budou hodnoceny pouze **výdaje na nakládání s odpady**. Podle přílohy k vyhlášce o rozpočtové skladbě tedy obce vykazují následující druhy výdajů [4]:

- § 2122 Sběr a zpracování druhotných surovin
- § 3721 Sběr a svoz nebezpečných odpadů
- § 3722 Sběr a svoz komunálních odpadů
- § 3723 Sběr a svoz ostatních odpadů (jiných než nebezpečných a komunálních)
- § 3724 Využívání a zneškodňování nebezpečných odpadů
- § 3725 Využívání a zneškodňování komunálních odpadů
- § 3726 Využívání a zneškodňování ostatních odpadů
- § 3727 Prevence vzniku odpadů
- § 3728 Monitoring nakládání s odpady
- § 3729 Ostatní nakládání s odpady

I když položka „Sběr a zpracování druhotných surovin“ nenáleží dle rozpočtové skladby pod oddíl 37 – Ochrana životního prostředí, ale je zařazena pod oddílem 21 – Průmysl, stavebnictví, obchod a služby, Ministerstvo životního prostředí ČR řadí tuto položku k výdajům souvisejícím s nakládáním s odpady. Pod tento paragraf totiž spadají výdaje obcí na provoz sběren druhotných surovin nebo také výdaje na jednorázové organizované zajištění sběru druhotných surovin. V analýze pak budou zkoumány pouze výdaje na nakládání s komunálním odpadem, tedy výdaje na § 3722 a § 3725

Pro případovou studii byl vybrán vzorek obcí spadajících do okresu Vyškov, protože nakládání s odpady na tomto území zajišťuje jediná svozová firma RESPONO, a.s. Tato společnost je akciovou společností 88 obcí a měst – akcionářů okresu Vyškov a části okresu Prostějov. Z pohledu analýzy efektivnosti obecních výdajů je tato skutečnost zajímavá zejména proto, že obce okresu Vyškov jsou

<sup>5</sup> V rámci této klasifikace výdaje veřejného sektoru zahrnují výdaje centrální, regionální a místní samosprávy podle klasifikace ekonomických činností (NACE), konkrétně NACE 84, přičemž vykazované údaje jsou bez jakýchkoli převodů mezi těmito orgány státní správy. Výdaje podnikového sektoru zahrnují výdaje související s ochranou životního prostředí u všech podnikatelských subjektů [5] s výjimkou veřejného sektoru a činností specializovaných poskytovatelů environmentálních služeb (hlavně v oblasti odpadového hospodářství (NACE 38.1 a 38.2 a 39) a odpadních vod (NACE 37). Výdaje specializovaných environmentálních výrobců a producentů environmentálních služeb soukromého a veřejného sektoru pak zahrnují výdaje společností (soukromých i vlastněných veřejnými organizacemi), jejichž hlavní činností je výroba na ochranu životního prostředí a poskytování environmentálních služeb (a to hlavně v oblasti odpadového hospodářství, odpadních vod aj.).



akcionáři této společnosti. Je vůči nim uplatňována stejná cenová politika a je možné se tedy zaměřit na analýzu jiných faktorů ovlivňujících náklady obcí na nakládání s komunálním odpadem i na analýzu vlivu a významnosti existence akciové společnosti obcí na efektivnost výdajů těchto obcí, jak již naznačil McDavid [6] a Reeves a Barrow [7] ve svých studiích, kdy demonstrovali jak vysoké úspory je možné získat v rámci kontraktování a založení vlastní společnosti. Navíc je možné analyzovat a posuzovat, zda existence jediné svozové firmy se může jevit z pohledu bilance nákladů a příjmů pro určité obce výhodnější než pro jiné. Do případové studie jsou tedy zahrnuty všechny obce okresu Vyškov s výjimkou vojenského újezdu Březina, tedy 79 obcí.

Nejvhodnějším nástrojem ke zkoumání efektivního použití finančních prostředků v těch oblastech, pro které je typická obtížnost v ohodnocování přínosů v peněžních jednotkách, je analýza efektivnosti nákladů (Cost-effectiveness analysis – CEA). Vzhledem k tomu, že oblast životního prostředí obecně, jejíž nedílnou součástí je také odpadové hospodářství, bezpochyby patří k oblastem s problematickým ohodnocováním výstupů, byla v této analýze použita právě metoda analýzy CEA. Místo peněžních jednotek je v tomto typu analýzy efektivnost výdajů vyjádřena pomocí naturálních nebo fyzikálních jednotek a je dána poměrovým ukazatelem měrné finanční náročnosti, např. na odstranění jednotky znečištění, kdy je efektivnější ten výdaj, který má co nejnižší měrnou náročnost, viz následující vzorec:

$$S = \frac{C}{E} \rightarrow \min, \quad (1)$$

kde  $C$  jsou roční náklady;  
 $S$  je měrná investiční náročnost;  
 $E$  je výstup (např. množství znečištění).

## Data

Data o výši výdajů obcí do oblasti odpadového hospodářství byla získána z automatizovaného rozpočtového systému ARIS Ministerstva financí České republiky (MF ČR)<sup>6</sup> a informačního systému ÚFIS Ministerstva financí ČR<sup>7</sup>. Data o výdajích na ochranu životního prostředí sice sleduje ještě Český statistický úřad (ČSÚ), ale na základě analýzy a porovnání různých dat výdajů (ČSÚ a MF), které provedli Bakoš, Soukopová a Kaplanová [8] považujeme data MF za více relevantní. Nicméně i u těchto dat existuje riziko zkreslení. Je to proto, že veškeré výdajové i příjmové položky obcí jsou v těchto systémech vykazovány podle rozpočtové skladby, přičemž v důsledku její špatné znalosti může docházet k vykazování výdajových nebo příjmových položek v rámci špatného paragrafu<sup>8</sup>. Proto ještě vhodnějším zdrojem dat by byly statistické údaje autorizované obalové společnosti EKO-KOM, a.s. Tato společnost od roku 2001 vyhodnocuje ekonomické údaje obcí související s nakládáním s odpady. Ale vzhledem k tomu, že společnost EKO-KOM tato data neposkytuje, byla pro případovou studii využita data z automatizovaného rozpočtového systému ARIS [1], který je veřejně přístupný. Získaná data se vztahují k roku 2008.

Data o množství komunálního odpadu byla získána z informačního systému odpadového hospodářství (ISOH), který provozuje CENIA, česká informační agentura životního prostředí. Data použitá pro analýzu se vztahují k produkci komunálního odpadu za rok 2008. ISOH obsahuje data především z ročních hlášení o evidenci odpadu, přičemž povinnost zasílat tato hlášení ukládá zákon o odpadech původcům odpadů a oprávněným osobám. Pro analýzu těchto dat může být problematická skutečnost, že údaje o množství odpadu uvedené v ročním hlášení nemusí, ať již úmyslně nebo v důsledku chybné evidence, odpovídat množství odpadu, který v daném roce obec skutečně vyprodukovala. Zřejmě z tohoto důvodu vykazovaly v průběhu analýzy některé obce extrémně odlišné hodnoty. Proto byly ze zkoumaného vzorku obcí vyloučeny, aby se zabránilo zkreslení výsledků analýzy.

<sup>6</sup> <http://www.info.mfcr.cz/aris/>

<sup>7</sup> <http://www.info.mfcr.cz/ufis/>

<sup>8</sup> Z tohoto důvodu dle našeho názoru dochází k nedostatečnému členění jednotlivých nákladů a příjmů a vše je zaúčtováno pod položkou 3722 – Sběr a svoz komunálních odpadů.

Pro další informace využitě při analýze efektivnosti obecních výdajů byli kontaktováni také pracovníci společnosti RESPONO, a.s. a starosta obce Kozlany. Další výše zmíněné zdroje informací jako Český statistický úřad a portál Regionálních informačních servisů [9] byly využity především pro získání údajů souvisejících s charakteristikou jednotlivých analyzovaných obcí, konkrétně se jedná o informace o počtu obyvatel, počtu rekreačních objektů, katastrální výměře apod.

## Výsledky a diskuse

Podle funkčního členění rozpočtové skladby souvisí s komunálním odpadem pouze výdaje paragrafů 3722 – Sběr a svoz komunálních odpadů a 3725 – Využívání a zneškodňování komunálních odpadů. Nicméně podle údajů uvedených v automatizovaném rozpočtovém systému ARIS žádná obec ze sledovaného vzorku nevykazovala za rok 2008 výdaje zařazené pod paragraf 3725. Všechny uvedené obce tedy měly pouze náklady na sběr a svoz komunálních odpadů. Výchozí data pro všech 79 sledovaných obcí včetně počtu jejich obyvatel zobrazuje tabulka 1.

*Tabulka 1: Výchozí data za rok 2008 pro vzorek obcí okresu Vyškov*

Obec	Počet obyvatel	Množství odpadu za rok (v t)	Náklady za rok (v tis. Kč)	Obec	Počet obyvatel	Množství odpadu za rok (v t)	Náklady za rok (v tis. Kč)
Bohaté Málkovice	249	51	116	Moravské Málkovice	594	80	221
Bohdalice-Pavlovice	818	154	384	Mouřínov	440	102	239
Bošovice	1 102	357	425	Němčany	721	129	303
Brankovice	879	189	446	Nemochovice	285	51	122
Bučovice	6 432	1 986	4 144	Nemojany	635	109	359
Dětkovice	258	45	128	Nemotice	350	121	186
Dobročkovice	203	40	93	Nesovice	1 150	203	417
Dražovice	801	128	312	Nevojice	393	111	247
Drnovice	2 282	384	1 009	Nížkovice	655	134	246
Dryšice	545	142	368	Nové Sady	89	33	40
Habrovany	795	125	311	Olšany	510	110	223
Heršpice	671	164	302	Orlovice	322	79	149
Hlubočany	513	79	233	Otnice	1 412	253	773
Hodějovice	914	140	365	Podbřežice	223	40	99
Holubice	876	140	312	Podivice	194	30	74
Hostěrádky-Rešov	819	123	329	Podomí	426	79	177
Hoštice-Heroltice	585	99	274	Prusy-Boškůvky	630	113	263
Hrušky	773	198	406	Pustiměř	1 628	294	731
Hvězdlice	598	150	319	Račice-Pístovice	1 057	232	565
Chvalkovice	263	58	149	Radslavice	424	70	205
Ivanovice na Hané	2 925	811	1 756	Rašovice	615	128	239
Ježkovice	368	57	145	Rostěnice-Zvonovice	491	62	188
Kobeřice u Brna	629	92	246	Rousínov	5 208	1 638	3 098
Kojátky	342	58	130	Ruprechtov	571	121	242
Komořany	687	113	233	Rybníček	278	48	138
Kozlany	319	394	79	Slavkov u Brna	6 169	1 667	3 468
Kožušice	105	42	67	Snovídky	365	108	231
Krásensko	412	76	179	Studnice	466	86	244

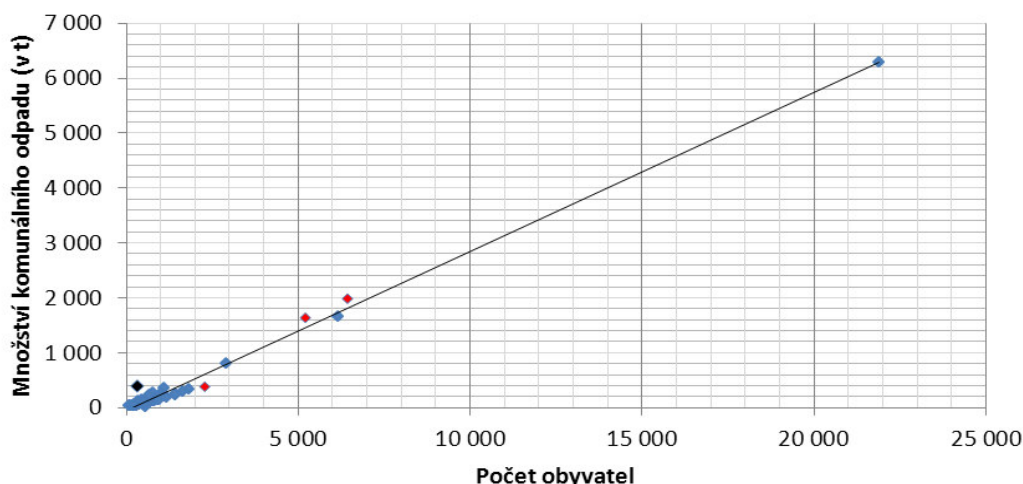
Křenovice	1 815	345	1 024	Šarátice	967	237	420
Křižanovice	740	132	294	Švábenice	959	142	384
Křižanovice u Vyškova	149	27	73	Topolany	313	30	115
Kučerov	466	145	325	Tučapy	518	88	253
Letonice	1 410	221	587	Uhřice	252	40	96
Lovčičky	577	18	272	Vážany	454	72	201
Luleč	787	280	676	Vážany nad Litavou	664	230	395
Lysovice	267	45	122	Velešovice	1 167	178	445
Malínky	123	36	70	Vyškov	21 875	6 278	11 438
Medlovice	335	60	133	Zbýšov	525	102	277
Milešovice	651	102	263	Zelená Hora	229	42	133
Milonice	347	72	121		0	0	0

Zdroj: ČSÚ, ISOH, ARIS, upraveno autorkou

Z uvedené tabulky je patrné, že v rámci daného vzorku obcí jsou výdaje na sběr a svoz komunálního odpadu velmi rozdílné. Zatímco např. obec Nové Sady zaplatila v roce 2008 pouhých 39 770 Kč, u většiny obcí se náklady pohybovaly v řádech stovek tisíc a obce Drnovice a Křenovice zaplatily dokonce více než milion korun. Je logické se domnívat, že výše výdajů je přímo úměrná počtu obyvatel, což již také v roce 1977 potvrdil Savas [10], který dokázal, že mezi uvedenými veličinami existuje korelace. I v případě obcí okresu Vyškov to dokazuje hodnota korelačního koeficientu<sup>9</sup> pro tento vztah, která je 0,9955. Lze také předpokládat, že existuje silná přímá lineární závislost mezi množstvím komunálního odpadu a náklady na sběr a svoz, což potvrdila i výše korelačního koeficientu, který byl vyšší než v případě množství odpadu, jeho hodnota je 0,9962. Silná přímá lineární závislost tedy existuje i mezi počtem obyvatel obce a množstvím vyprodukovaného odpadu. V rámci sledovaných obcí okresu Vyškov lze konstatovat, že s velikostí obce co do počtu obyvatel roste také množství komunálního odpadu a náklady na jeho odstranění.

Vztah mezi počtem obyvatel a množstvím komunálního odpadu pomocí lineární regrese zobrazuje graf 1.

**Graf 1: Vztah mezi počtem obyvatel a množstvím vyprodukovaného komunálního odpadu na vzorku obcí okresu Vyškov**



Zdroj: autorka na základě dat ČSÚ a ARIS

*Poznámka: červeně jsou označené obce, které mají výraznější odchylku od lineárního trendu, černě je označena obec Kozlany*

<sup>9</sup> Korelační koeficient může nabývat hodnot z intervalu od -1 do +1. V případě, že je korelační koeficient roven 0, jsou sledované veličiny nezávislé. Čím více se hodnota korelačního koeficientu blíží +1 nebo -1, tím silnější je vztah mezi danými veličinami.

Z grafu je zřejmá závislost těchto dvou faktorů vhodných pro analýzu efektivnosti nákladů. Pouze čtyři obce vykazuje významnější odchylku od lineární křivky trendu. Vyšší odchylka se týká pouze obce Kozlany, která má při relativně malém počtu obyvatel (319 osob) vůbec největší produkci komunálního odpadu na obyvatele ze všech sledovaných obcí a to 1,23 tun na obyvatele, kdy průměrná hodnota se pohybuje kolem 0,2 tuny na obyvatele. Bylo zjištěno, že tato extrémní hodnota množství komunálního odpadu není způsobena chybou v evidenci dat, ale odpovídá skutečnému stavu v obci. Souvisí s tím, že na katastrálním území obce Kozlany je umístěna skládka odpadů společnosti RESPONO, a.s., na základě čehož má obec zvýhodněné podmínky pro využívání služeb souvisejících se sběrem a svozem komunálního odpadu. A podle starosty obce je právě toto příčinou extrémně velké produkce komunálního odpadu na obyvatele.

Následně byla provedena analýza efektivnosti nákladů (CEA) na vzorku 79 obcí okresu Vyškov. Do analýzy CEA byly zvoleny dva indikátory:

- množství vyprodukovaného komunálního odpadu za období roku 2008 –  $E_1$ <sup>10</sup>
- počet obyvatel dané obce –  $E_2$ <sup>11</sup>.

Výsledky analýzy efektivnosti nákladů pro jednotku výstupu  $E_1$  zachycuje tabulka 2.

**Tabulka 2: Výsledky analýzy efektivnosti běžných výdajů na nakládání s komunálním odpadem pro  $E_1$  a  $E_2$  v okrese Vyškov v roce 2008**

Obec	CEA pro $E_1$	CEA pro $E_2$	Obec	CEA pro $E_1$	CEA pro $E_2$
Bohaté Málkovice	2,3016	0,4678	Moravské Málkovice	2,7510	0,3713
Bohdalice-Pavlovice	2,5012	0,4695	Mouřínov	2,3340	0,5434
Bošovice	1,1907	0,3855	Němčany	2,3509	0,4201
Brankovice	2,3558	0,5078	Nemochovice	2,4030	0,4269
Bučovice	2,0867	0,6442	Nemojany	3,3023	0,5660
Dětkovice	2,8556	0,4954	Nemotice	1,5453	0,5323
Dobročkovice	2,3280	0,4563	Nesovice	2,0500	0,3623
Dražovice	2,4466	0,3900	Nevojice	2,2330	0,6290
Drnovice	2,6289	0,4420	Nížkovice	1,8314	0,3760
Drystice	2,5824	0,6744	Nové Sady	1,1974	0,4469
Habrovany	2,4879	0,3910	Olšany	2,0202	0,4364
Heršpice	1,8418	0,4494	Orlovice	1,8872	0,4639
Hlubočany	2,9488	0,4551	Otnice	3,0603	0,5475
Hodějovice	2,6063	0,3990	Podbřežice	2,4918	0,4449
Holubice	2,2329	0,3563	Podivice	2,4614	0,3838
Hostěrádky-Rešov	2,6760	0,4012	Podomí	2,2487	0,4149
Hoštice-Heroltice	2,7694	0,4691	Prusy-Boškůvky	2,3293	0,4173
Hrušky	2,0455	0,5249	Pustiměř	2,4841	0,4489
Hvězdlice	2,1326	0,5339	Račice-Pístovice	2,4332	0,5341
Chvalkovice	2,5522	0,5655	Radslavice	2,9288	0,4833
Ivanovice na Hané	2,1634	0,6002	Rašovice	1,8608	0,3887
Ježkovice	2,5708	0,3949	Rostěnice-Zvonovice	3,0529	0,3837

<sup>10</sup> Ukazatel CEA pro jednotku výstupu  $E_1$  tedy udává výši nákladů připadajících na jednu tunu odpadu.

<sup>11</sup> Počet obyvatel není jako výstup nejvhodnějším kritériem, nicméně ukazatel v podobě výdajů připadajících na jednoho obyvatele je v praxi běžně využíván.

Kobeřice u Brna	2,6799	0,3912	Rousínov	1,8907	0,5948
Kojátky	2,2496	0,3811	Ruprechtov	2,0051	0,4241
Komořany	2,0627	0,3392	Rybníček	2,8644	0,4977
Kozlany	0,2006	0,2480	Slavkov u Brna	2,0806	0,5622
Kožušice	1,6161	0,6403	Snovídky	2,1499	0,6336
Krásensko	2,3473	0,4339	Studnice	2,8390	0,5230
Křenovice	2,9733	0,5645	Šaratice	1,7731	0,4340
Křižanovice	2,2258	0,3971	Švábenice	2,7022	0,4001
Křižanovice u Vyškova	2,7247	0,4879	Topolany	3,8066	0,3665
Kučerov	2,2430	0,6964	Tučapy	2,8936	0,4892
Letonice	2,6604	0,4163	Uhřice	2,3945	0,3818
Lovčičky	14,8502	0,4707	Vážany	2,7848	0,4422
Luleč	2,4084	0,8583	Vážany nad Litavou	1,7197	0,5949
Lysovice	2,7389	0,4576	Velešovice	2,4987	0,3810
Malínky	1,9279	0,5677	Vyškov	1,8219	0,5229
Medlovice	2,2360	0,3976	Zbýšov	2,7065	0,5281
Milešovice	2,5803	0,4045	Zelená Hora	3,1950	0,5798
Milonice	1,6858	0,3488			

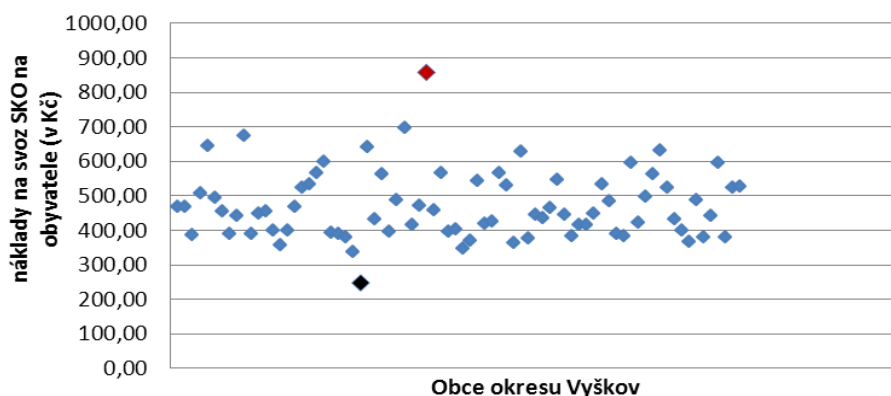
Zdroj: autorka

Z ní je zřejmé, že průměrná hodnota ukazatele CEA pro  $E_1$  v rámci uvedených obcí je 2 383 Kč na jednu tunu odpadu. Nižších hodnoty než průměrné dosáhlo 33 obcí, z toho 12 obcí nepřekročilo hranici 2 000 Kč.

U výstupní jednotky  $E_2$  je průměrná hodnota ukazatele CEA 472,8 Kč na jednoho obyvatele. To je v celorepublikovém srovnání nižší hodnota, než ve svých výzkumech uvádí společnost EKO-KOM [11], podle které byly průměrné náklady v roce 2008 na směsný komunální odpad v obcích 511,1 Kč na obyvatele za rok a náklady na svoz a odstranění SKO se pohybují mezi 398 – 718 Kč/obytel/rok a pro obce do 50 tis. obyvatel ve výši 481,5 Kč/obyvatele/rok.

Jak je zřejmé z tabulky 2, nižší výdaje než průměrné dosáhlo 48 obcí, tedy více než polovina, přičemž nižší výdaje než uvádí studie EKO-KOM [11] v rámci svých nejnižších hodnot – 398 Kč/obytel/rok pak dosáhlo 21 obcí, kdy obec Kozlany má dokonce výdaje na obyvatele na rok 247,9 Kč. Celkem 22 obcí nepřekročilo hranici 400 Kč na obyvatele, ale zároveň 26 obcí dosáhlo vyšší výdaje než 500 Kč na obyvatele, viz následující graf. Nejvyšší hodnotu výdajů na obyvatele měla obec Luleč 858,4 Kč/obytel/ rok.

Graf 2: Výše výdajů na SKO jednotlivých obcí okresu Vyškov na jednoho obyvatele



Zdroj: autorka na základě dat ČSÚ a ARIS

Poznámka: Červený bod označuje obec Luleč, černý bod obec Kozlany.

Pokud bychom měli provést srovnání nákladů na obyvatele podle velikosti obcí a porovnat je s výsledky publikovanými společnostmi EKO-KOM [11], pak zjišťujeme, že menší obce mají průměrně nižší náklady na obyvatele, což se zcela neslučuje s trendem v ČR, jak vyplývá ze studie EKO-KOM, viz následující tabulka.

**Tabulka 3: Náklady obcí okresu Vyškov na SKO na obyvatele na rok podle velikosti obcí – srovnání se studií EKO-KOM**

Velikost obce	Počet obcí	Průměrné náklady RESPONO	Náklady podle EKO-KOM	Rozdíl
do 500	33	473,2	519,8	46,6
501 – 1000	32	460,3	492,7	32,4
1001 – 5000	10	468,2	465,7	-2,5
5001 – 10000	3	600,4	493,5	-106,9
10001 – 20000	0		458,2	
20001 – 50000	1	522,9	458,8	-64,1

Zdroj: autorka

Z tabulky by se dalo usuzovat, že výhodnější je systém fungování akciové společnosti pro menší obce do tisíce obyvatel. Také je zřejmé, že díky stejné cenové politice u akcionářů je tento systém méně výhodný pro větší obce, které tak ztrácejí sílu ve vyjednávací pozici a mají vyšší náklady na obyvatele než je běžné průměrně v ČR.

## Závěr

Z výsledků analýzy je patrné, že v rámci sledovaného vzorku obcí je možné dospět k závěru ve smyslu, že efektivnost výdajů jednoznačně ovlivňuje výběr svozové společnosti a kontraktování, případně založení vlastní akciové svozové společnosti.

Z výsledků analýzy je zřejmé, že celkově je pro obce výhodné, že jsou akcionáři společnosti RESPONO, a. s. kdy průměrně mají nižší výdaje na obyvatele na rok než je průměr ČR (obce RESPONO 472,8 Kč/obyvatele/rok a průměr ČR 481,5 Kč/obyvatele/rok).

Nicméně tento stav je mnohem efektivnější pro malé obce do 1000 obyvatel, které vstupem do akciové společnosti získají silnější pozici pro vyjednávání o cenové politice.

Sama velikost však přímo efektivnost výdajů neovlivňuje, což dokazuje i příklad pěti nejlépe hospodařících obcí, kdy pokud abstrahujeme od obce Kozlany, která má nejnižší výdaje kvůli tomu, že je na jejím území skládka, tak pět mezi pět nejlépe hospodařících obcí patří i obec Nesovice s 1150 obyvateli. Stejně tak mezi pět nejhůře hospodařícími obcemi se nacházejí jak spíše malé obce (2 obce do 500 obyvatel, 2 obce do 1000 obyvatel) tak také ty, které mají více jak tisíc obyvatel.

Nicméně jako základní se jeví nejenom vyjednávací schopnost místní samosprávy při jednání se společností RESPONO, a.s. jako akcionáře, což se projevuje u zvýšení síly menších obcí, ale především způsob hospodaření obce.

## Literatura

- [1] Automatizovaný informační systém ARIS. Dostupný z [www: http://wwwinfo.mfcr.cz/aris/](http://wwwinfo.mfcr.cz/aris/)
- [2] Špaček, D., Malý, I., Bakoš, E.: Efektivnost veřejných výdajů na ochranu životního prostředí. In SOUKOPOVÁ, J. *Výdaje obcí na ochranu životního prostředí a jejich efektivnost*. s. 86
- [3] Eurostat: *Classification of Environmental Protection Activities and Expenditure (CEPA2000)*, [online], 2000, [cit. 2009-01-15]. Dostupný z [http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=LST\\_NOM\\_DTL&StrNo\\_m=CEPA\\_2000&StrLanguageCode=EN&IntPcKey=&StrLayoutCode=HIERARCHIC](http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=LST_NOM_DTL&StrNo_m=CEPA_2000&StrLanguageCode=EN&IntPcKey=&StrLayoutCode=HIERARCHIC)



- [4] Kinšt, J.; Paroubek, J.: *Rozpočtová skladba v roce 2009 a praktické příklady: publikace pro pracovníky orgánů státní správy, obcí, krajů a jejich organizačních složek*. 2. vyd. Olomouc : Anag, 2008. 245 s. ISBN 9788072634866
- [5] Eurostat: *NACE, Rev. 2, Statistical Classification of Economic Activities in the European Community*, [online], Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008, ISBN 9789279047411, ISSN 1977-0375, [cit. 2009-01-15]. Dostupný z [www: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-RA-07-015/EN/KS-RA-07-015-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-RA-07-015/EN/KS-RA-07-015-EN.PDF)
- [6] McDavid J. C.: The Canadian experience with privatizing residential solid waste collection services. *Public Administration Review* 1985;45(5):602–8.
- [7] Reeves E, Barrow M.: The impact of contracting out on the costs of refuse collection services: the case of Ireland. *The Economic and Social Review* 2000;31(2):129–50
- [8] Bakoš, E.; Soukopová, J.; Kaplanová, B.: Porovnání vykazovaných environmentálních dat se zaměřením na úroveň municipalit. In *Účetnictví a reporting udržitelného rozvoje na mikroekonomické a makroekonomické úrovni*. první. Praha : Linde nakladatelství Praha, 2009. od s. 79-85, 6 s. *Ekonomika*, 1. ISBN 978-80-86131-82-5
- [9] Portál regionálních informačních servisů. Dostupný z [www: http://www.risy.cz/cs](http://www.risy.cz/cs)
- [10] Savas E. S.: An empirical study of competition in municipal service delivery. *Public Administration Review* 1977;37(6):717–24.
- [11] Vrbová, M.: *Ekonomika odpadového hospodářství v obcích ČR* in EKO-KOM, Odpady a obce konference 2008 – sborník přednášek, [online], 2008, [cit. 2011-10-15]. Dostupný z [www: http://www.ekokom.cz/cz/ostatni/o-spolecnosti/nase-projekty/odpady-a-obce](http://www.ekokom.cz/cz/ostatni/o-spolecnosti/nase-projekty/odpady-a-obce)
- [12] OECD: *Evaluating the Efficiency and Effectiveness of Economic Instruments in Environmental Policy*, Paris, 1997
- [13] OECD: *Improving the Efficiency and Sustainability of Public Expenditure in the Czech Republic*, Paris, 2002
- [14] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů
- [15] Voňková, A.: *Efektivnost integrovaného systému odpadového hospodářství v ČR – případová studie Jihomoravský kraj*, Brno: ESF MU, 2011

## Municipal waste management expenditures in the Vyškov district and their efficiency

**Jana Soukopová**

Masaryk University, Faculty of Economics and Administration, Department of Public Economy, Lipová 41a, 602 00 Brno, e-mail: [soukopova@econ.muni.cz](mailto:soukopova@econ.muni.cz)

### Summary

The paper comes out from an analysis of current municipal expenditures on municipal waste management and presents an evaluation of efficiency based on this analysis. The evaluation is done using the cost-effectiveness analysis (CEA) with several different indicators to measure efficiency. Authors work with efficiency in terms of 3E methodology – Economy, Efficiency and Effectiveness. The evaluation and comparison of cost efficiency was conducted with sample of 79 municipalities from the Vyškov district.

**Keywords:** efficiency, public expenditures, waste management, cost-effectiveness analysis, Vyškov district



# Lidský faktor a možná rizika při realizaci projektu kompostárny

**Zdeněk SKOUMAL**

Kovoprojekta Brno a.s., Šumavská 416/15, 602 Brno,  
e-mail: skoumal.z@centrum.cz

## Souhrn

*Příspěvek popisuje potenciální dopady provozování kompostárny na ovzduší a obyvatelstvo v okolí. Při kompostování dochází k materiálovému využití biologicky rozložitelných odpadů a získání kompostu. Tento proces může přinášet ovlivnění imisní situace v okolí provozu. Z tohoto důvodu je před výstavbou takového zařízení nutno vyhodnotit vlivy na životní prostředí a obyvatelstvo a zvážit zda je projekt možno realizovat. V rámci posouzení byly vyhodnoceny imisní příspěvky dvou navržených projektů kompostáren s cílem zjistit možné dopady a rizika při realizaci. Ze závěrů je možné usuzovat na potenciální dopady malých kompostáren a aplikovat je na obdobné projekty.*

**Klíčová slova:** kompostárna, rozptyl látek, rizika v projektu, dopady na životní prostředí

## Úvod

Mnoho investorů v České republice připravuje nebo zamýšlí připravit projekt kompostárny tedy zařízení na využití biologicky rozložitelných odpadů. Velmi často se jedná o investory, kterými jsou obce či jimi zřízené organizace. Cílem těchto záměrů je zamezit skládkování biologicky rozložitelných odpadů produkovaných při údržbě zeleně, ze zahrad, sadů a parků a ze zemědělských zbytků. Úprava kompostováním na kvalitní hnojivo je tudíž optimálním řešením ve vztahu k ochraně životního prostředí. Zpracování probíhá technikou kontrolovaného mikrobiálního kompostování, která při správném provozování zaručuje minimální produkci škodlivých emisí vznikajících při anaerobních procesech. Jak však uvádí odborná literatura<sup>1</sup>, každá lidská činnost je zdrojem rizika a nelze konstatovat, že tomu tak není i u provozu kompostárny. Lze předpokládat, že provoz může ovlivňovat obyvatele imisními příspěvky dostávajícími se do ovzduší a následně do dýchacího ústrojí člověka. Proto je důležité, že současně může lidský činitel rozhodnout a ovlivnit provoz kompostárny tím, že určí její kapacitu a lokalizaci.

Zařízení a provoz kompostárny je třeba posuzovat jako stacionární zdroj znečišťování ovzduší dle Nařízení vlády č. 615/2006 Sb., o stanovení emisních limitů a dalších podmínek provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší (v platném znění)<sup>2</sup>. Podle tohoto nařízení vlády je tento zdroj zařazen mezi vyjmenované zdroje do kategorie 5.2 *Průmyslové kompostárny a zařízení na biologickou úpravu odpadů (doposud bez uvedení kapacit)*. Podle poslední novelizace uvedeného nařízení vlády bude s účinností od 1. listopadu 2011 nově zaveden limit a střední zdroj bude zařízením k využívání biologicky rozložitelných odpadů o projektované kapacitě rovné nebo větší než 10 t na jednu zakládku a zařízením k využívání biologicky rozložitelných odpadů o projektované kapacitě rovné nebo větší než 150 t zpracovaného odpadu ročně. Podle platného zákona o ochraně ovzduší<sup>3</sup> je při umísťování staveb středních zdrojů znečišťování ovzduší nutné zpracovat rozptylovou studii a vyhodnotit imisní příspěvky z provozu.

Cílem příspěvku je, na základě v současné době dostupných informací a metod, vypočítat imisní příspěvky z provozu kompostáren o kapacitě 1500 tun zpracovávaného odpadu ročně a podle výsledků navrhnout opatření pro další projekty.

## Experimentální část

V rámci experimentální části byl proveden výpočet imisních příspěvků z provozů dvou kapacitně stejných kompostáren lišících se umístěním v jiných lokalitách. Vstupním materiálem kompostáren jsou zpravidla rostlinné odpady (tráva, listí, ovoce, zelenina, dřevní štěpka). Jedná se o zejména o odpad 02 01 03 odpad rostlinných pletiv a 20 02 01 biologicky rozložitelný odpad (odpad ze zahrad a parků). U těchto surovin nedochází ke vzniku významných emisí. Měření unikajících emisí je technicky náročné a výsledky zatím nedosahují statistickou průkaznost. Kompostárny v hodnoceném modelovém případě jsou označeny A a B. Zařízení A je navrženo cca 150 m od obytné zástavby a zařízení B cca 50 m od obytné zástavby.

### Metodika výpočtu

Výpočet imisního zatížení (znečištění ovzduší) byl proveden podle schválené metodiky SYMOS'97<sup>4,5</sup>. Výsledky výpočtů byly získány pomocí programu SYMOS'97v2003, firmy IDEA – ENVI s.r.o. ([www.idea-envi.cz](http://www.idea-envi.cz)).

Metodika SYMOS'97 je založena na předpokladu Gaussovského profilu koncentrací na průřezu kouřové vlečky. Umožňuje počítat krátkodobé i roční průměrné koncentrace znečišťujících látek v síti referenčních bodů, dále doby překročení zvolených hraničních koncentrací (např. imisních limitů a jejich násobků) za rok, podíly jednotlivých zdrojů nebo skupin zdrojů na roční průměrné koncentraci v daném místě a maximální dosažitelné krátkodobé koncentrace a podmínky (třída stability ovzduší, směr a rychlost větru), za kterých se mohou vyskytovat. Metodika zahrnuje korekce na vertikální členitost terénu, počítá se stáčením směru a zvyšováním rychlosti větru, s výškou a při výpočtu průměrných koncentrací a doby překročení hraničních koncentrací bere v úvahu rozložení četností směru a rychlosti větru. Výpočty se provádějí pro pět tříd stability atmosféry (tj. pět tříd schopnosti atmosféry rozptylovat příměsi) a tři třídy rychlosti větru. Metodika zahrnuje rychlost konverze NO na NO<sub>2</sub> v závislosti na rozptylových podmínkách.

Metodika výpočtu obsažená v programu SYMOS'97 umožňuje :

- výpočet znečištění ovzduší plynnými látkami z bodových zdrojů (typ zdroje 1),
- plošných (typ zdroje 2) a liniových zdrojů (typ zdroje 3),
- výpočet znečištění od velkého počtu zdrojů (teoreticky neomezeného),
- stanovit charakteristiky znečištění v husté síti referenčních bodů (až 30000 referenčních bodů) a připravit tímto způsobem podklady pro názorné kartografické zpracování výsledků výpočtů,
- brát v úvahu statistické rozložení směru a rychlosti větru vztažené ke třídám stability mezní vrstvy ovzduší podle klasifikace Bubníka a Koldovského.

Pro každý referenční bod je umožněn výpočet těchto základních charakteristik znečištění ovzduší:

- maximální možné krátkodobé (hodinové) hodnoty koncentrací znečišťujících látek, které se mohou vyskytnout v třídách rychlosti větru a stability ovzduší
- maximální možné krátkodobé (hodinové) hodnoty koncentrací znečišťujících látek bez ohledu na třídy rychlosti větru a stabilitu ovzduší
- roční průměrné koncentrace
- doby trvání koncentrací převyšujících určité předem zadané hodnoty (v programu lze zadat současně až tři nezávislé hodnoty)

Metodika je určena především pro vypracování rozptylových studií jakožto podkladů pro hodnocení kvality ovzduší. Metodika není použitelná pro výpočet znečištění ovzduší ve vzdálenosti nad 100 km od zdrojů a uvnitř městské zástavby pod úrovní střech budov. Základních rovnic modelu rovněž nelze použít pro výpočet znečištění pod inverzní vrstvou ve složitém terénu a při bezvětří.

## Referenční body

Oblast výpočtu byla zvolena tak, aby byla dostatečně pokryta oblast významného vlivu od posuzovaného zdroje. Výpočty byly provedeny pro 1350 bodů v pravidelné síti 45 x 30 referenčních bodů s krokem po 50 m ve směru obou os, tj. v obdélníkové oblasti 2,25 x 1,5 km. Osa X je orientována od západu na východ, osa Y od jihu na sever, zdroj je umístěn ve středu modelované oblasti. Použit byl souřadný systém S-42 (Gauss – Kriegerovo zobrazení), souřadnice levého dolního rohu oblasti u zařízení A jsou X = 3630150, Y = 5471550 a u zařízení B jsou X = 3317850, Y = 5475050.

## Větrná růžice

Volbu větrné růžice provádíme přednostně podle umístění zdroje. Rychlost rozptylu znečišťujících látek v atmosféře závisí na dvou veličinách: rychlosti větru a intenzitě termické turbulence. Protože intenzita termické turbulence je přímo závislá na teplotní stabilitě atmosféry, je nejdůležitějším klimatickým vstupním údajem větrná růžice rozlišená podle rychlosti větru a teplotní stability atmosféry. Metodika SYMOS'97 používá stabilitní klasifikace Bubníka a Koldovského, která rozeznává pět tříd stability s rozdílnými rozptylovými podmínkami<sup>4,5,6</sup>.

Jako nejdůležitější klimatický vstupní údaj se zadává větrná růžice rozlišená podle rychlosti větru a teplotní stability atmosféry. Rychlost větru se dělí do tří tříd rychlosti tabulka 1:

**Tabulka 1: Rychlosti větru**

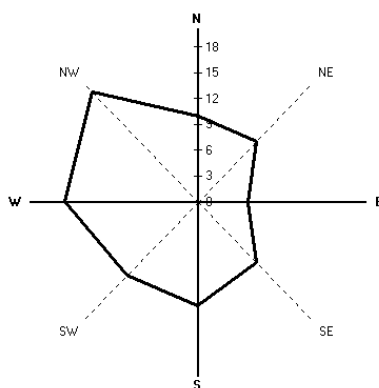
Třída větru	Třída rychlosti větru
slabý vítr	1.7 m/s
střední vítr	5.0 m/s
silný vítr	11.0 m/s

Pozn.: Rychlostí větru se přitom rozumí rychlost zjišťovaná ve standardní meteorologické výšce 10 m nad zemí.

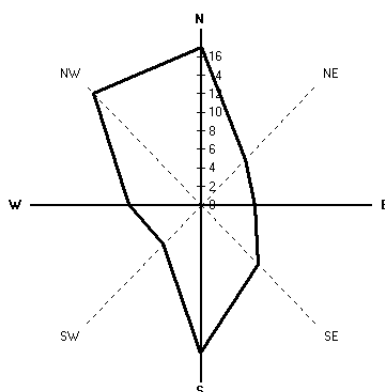
Mírou termické stability je vertikální teplotní gradient popisující v atmosféře teplotní zvrstvení. Stabilitní klasifikace obsahuje pět tříd stability ovzduší (tabulka 2):

**Tabulka 2: Třídy stability ovzduší**

Třída stability	Název	Popis třídy stability
I.	superstabilní	silné inverze, velmi špatné podmínky rozptylu
II.	stabilní	běžné inverze, špatné podmínky rozptylu
III.	izotermní	slabé inverze, izotermie nebo malý kladný teplotní gradient, často se vyskytující mírně zhoršené rozptylové podmínky
IV.	normální	indiferentní teplotní zvrstvení, běžný případ dobrých rozptylových podmínek
V.	konvektivní	labilní teplotní zvrstvení, rychlý rozptyl znečišťujících látek



**Obrázek 1: Grafická prezentace větrné růžice lokality A**



**Obrázek 2: Grafická prezentace větrné růžice lokality B**

### **Emise zdroje**

Modelová studie počítá imisní příspěvek (zahrnuje emise) z maximální možné kapacity (tedy roční návoz 1500 t/rok) při využívání kapacity kompostárny 9 měsíců v roce (zpravidla březen – listopad). Během zimních měsíců není dostatek vstupní suroviny a také při nízkých teplotách nedochází k požadovanému procesu kompostování. Pro výpočet rozptylové studie byly uvažovány 2 typy zdrojů přímo související s novým provozem Kompostárny bioodpadů.

**Kompostovací plocha (stacionární zdroj)** – je zařazena jako vyjmenovaný (uvedený) zdroj znečišťování ovzduší. Pro tento zdroj nejsou stanoveny emisní limity a neprovádí se na tomto zdroji pravidelné autorizované měření emisí. Při správném provozování kompostárny a dodržování technologického postupu (především překopávání kompostu, zakrývání kompostu atd.) nebudou z této plochy unikat významná množství znečišťujících látek. Pokud by nedocházelo k zakrytí a vlhčení, může docházet k úletu prachu. Odborným odhadem a na základě porovnání s úletem tuhých látek z volné plochy bylo spočteno, že v případě nedostatečných opatření proti odlučování prachu (TZL) může uniknout až 40 kg/rok. Při nedodržování technologického postupu a selhání lidského faktoru, který má na provoz dohlížet (například při navážení živočišných produktů, hnoje a jiných dusíkatých látek) by se z plochy kompostárny mohlo uvolnit ročně až 1500 kg  $\text{NH}_3$  za rok (množství odpovídá produkci amoniaku z 650 t chlévského hnoje během uskladnění). V praxi lze předpokládat, že skutečné emise ze zdroje se mohou odlišovat v závislosti na dodržování technologického postupu, vlhčení a také druhu

kompostovaných odpadů. Pro účely tohoto článku byly z kompostovací plochy modelovány emise TZL a amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) jako ukázka selhání člověka, provozovatele kompostárny.

**Manipulační prostředky** (mobilní zdroje, liniový zdroj) – po dovezení biologického materiálu, při překopávání a odvážení se používají mobilní manipulační prostředky (tažený traktorový překopávač, nakladač). Jejich práce trvá vždy cca 1 hod, na cyklus kompostování 90 dnů lze uvažovat 9 dnů práce. Emise byly stanoveny pomocí emisních faktorů pro motorová vozidla MEFA v.02. Bylo zvažováno emisní zatížení EURO 4, palivo nafta (Diesel). Pojezdová rychlost 5 km/hod. Pro účely tohoto článku byly z mobilních prostředků modelovány emise TZL.

### Imisní limity

Platné imisní limity pro ochranu lidského zdraví jsou stanoveny v Nařízení vlády č. 597/2006 Sb.<sup>7</sup>, o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší (v platném znění)<sup>7</sup> viz tabulka č. 3.

**Tabulka 3: Imisní limity**

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	Přípustná četnost překročení za kalendářní rok
PM10	24 hodin	50	35
PM10	1 kalendářní rok	40	-

Ke dni zpracování tohoto příspěvku není nařízením vlády č. 597/2006 Sb., stanoven imisní limit pro amoniak a není ani doporučená referenční koncentrace vydaná Státním zdravotním ústavem Praha (SZÚ). Je možno pro orientaci uvést dříve používaný limit podle Nařízení vlády č. 350/2002 Sb.<sup>8</sup>: Ochrana zdraví lidí, aritmetický průměr/24 hod: 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## Výsledky a diskuse

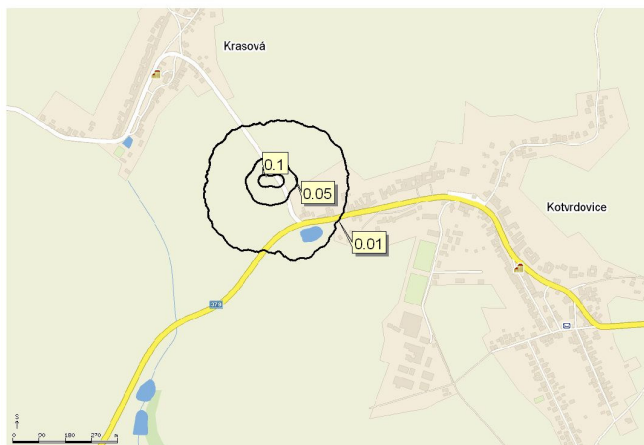
### Kompostárna A

#### **Příspěvek k imisní koncentraci tuhých znečišťujících látek TZL:**

Nejvyšší průměrný roční příspěvek je 0,145  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . V obydlených částech oblasti dosahuje příspěvek hodnoty do 0,05  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  za rok, tj. méně než 0,1 % ročního imisního limitu. Krátkodobě může dosáhnout příspěvek v obydlené oblasti hodnot do 1  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

#### **Příspěvek zdroje ke koncentracím amoniaku $\text{NH}_3$ :**

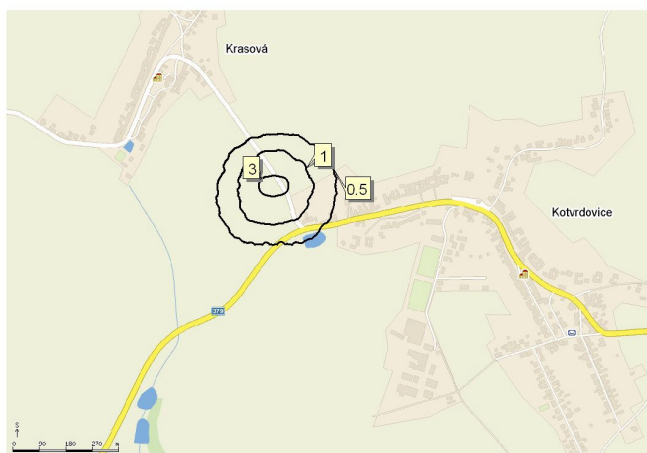
V obydlených částech oblasti dosahuje maximálně do 1  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  za rok. Nejvyšší příspěvek k ročním průměrným koncentracím je 5,25  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  v části prostoru kompostárny. Krátkodobý příspěvek v obydlené oblasti je převážně pod 40  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , což je cca 40 % dříve platného imisního limitu. Této hodnoty by však bylo dosaženo pouze v případě nedodržování technologického postupu.



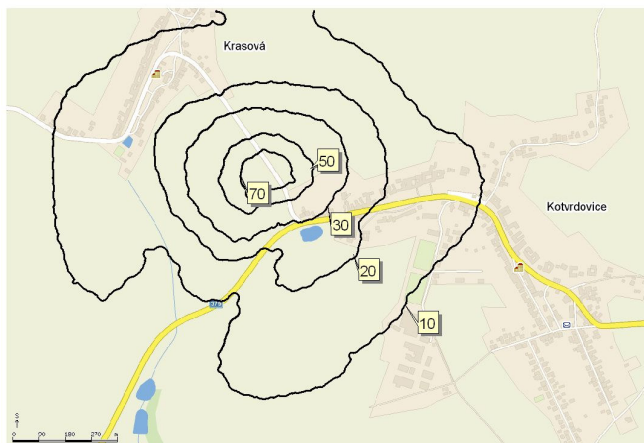
**Obrázek 3: Roční příspěvek k imisní koncentraci TZL ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )**



**Obrázek 4: Příspěvek k imisní koncentraci TZL ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) – krátkodobý (24 hodin)**



**Obrázek 5: Roční příspěvek k imisní koncentraci  $\text{NH}_3$  ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )**



**Obrázek 6: Příspěvek k imisní koncentraci  $\text{NH}_3$  ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) – krátkodobý (24 hodin)**

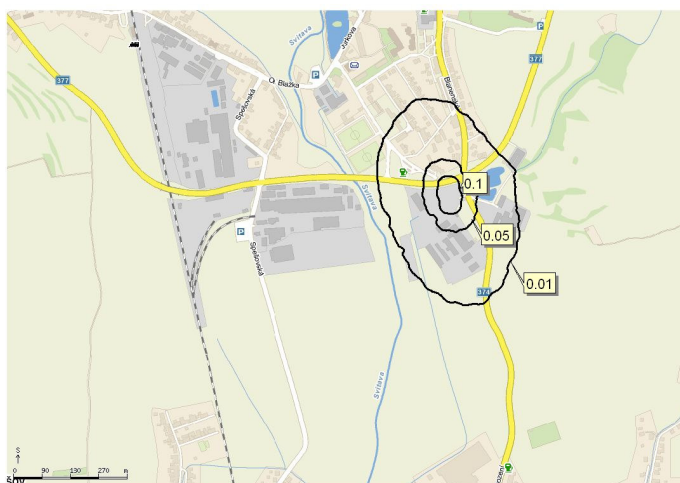
### **Kompostárna B**

#### **Příspěvek k imisní koncentraci tuhých znečišťujících látek TZL:**

Nejvyšší průměrný roční příspěvek je  $4,4 \mu\text{g.m}^{-3}$ . V obydlených částech oblasti dosahuje příspěvek převážně hodnoty do  $0,2 \mu\text{g.m}^{-3}$  za rok, tj. méně než 0,5 % ročního imisního limitu. Krátkodobě dosahuje příspěvek v obydlené oblasti hodnot přes  $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

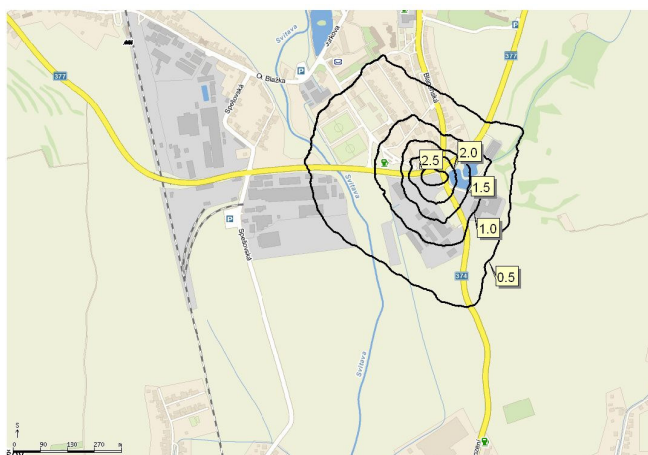
#### **Příspěvek zdroje ke koncentracím amoniaku $\text{NH}_3$ :**

V obydlených částech oblasti dosahuje maximálně do  $3 \mu\text{g.m}^{-3}$  za rok. Nejvyšší příspěvek k ročním průměrným koncentracím je  $11,3 \mu\text{g.m}^{-3}$  v severní části prostoru kompostárny. Krátkodobý příspěvek v obydlené oblasti je převážně pod  $70 \mu\text{g.m}^{-3}$ , což je cca 70 % dříve platného imisního limitu.

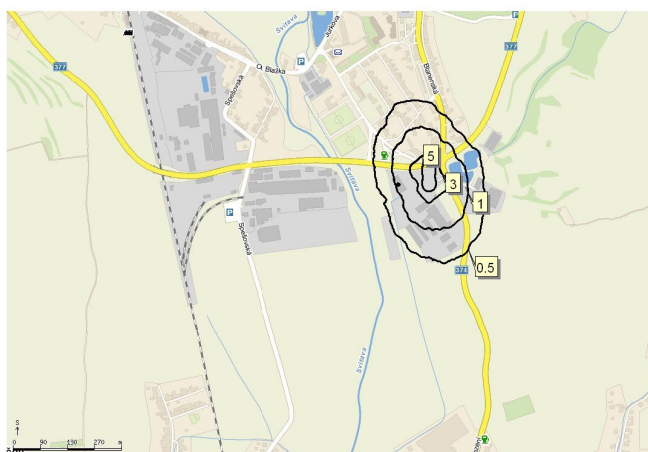


**Obrázek 7: Roční příspěvek k imisní koncentraci TZL ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )**

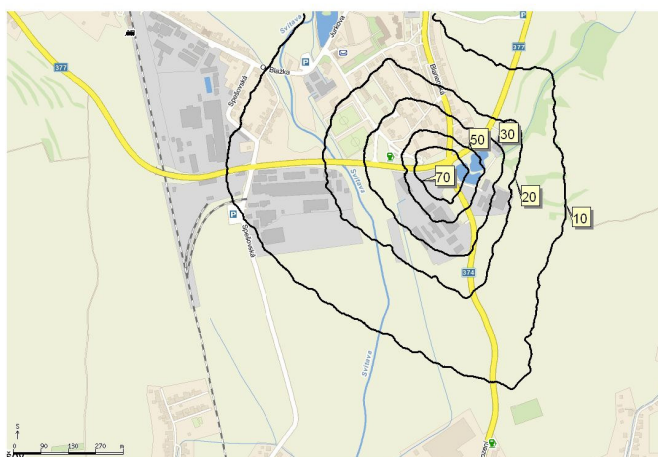




**Obrázek 8: Příspěvek k imisní koncentraci TSL ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) – krátkodobý (24 hodin)**



**Obrázek 9: Roční příspěvek k imisní koncentraci  $\text{NH}_3$  ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )**



**Obrázek 10: Příspěvek k imisní koncentraci  $\text{NH}_3$  ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) – krátkodobý (24 hodin)**

Roční průměry koncentrací popisují situaci mnohem lépe než krátkodobá maxima celkového znečištění dané lokality danou znečišťující látkou, protože zahrnují i vliv větrné růžice a tedy i vliv doby trvání různě vysokých krátkodobých koncentrací. Maximální krátkodobé koncentrace jsou oproti tomu vypočteny za těch nejméně příznivých rozptylových podmínek, které se ve skutečnosti vyskytují jen zřídka.

### **Z analýzy a rozboru výsledků vyplývají následující závěry pro řešené škodliviny:**

Nejvyšší hodnoty příspěvku k imisním koncentracím prachu jsou dosahovány v těsné blízkosti zdroje.

Nejvyšší příspěvek k imisním koncentracím  $\text{NH}_3$  je dosahován v prostoru kompostárny a nejbližšího okolí, krátkodobé koncentrace mohou zasahovat do obydleného území.

Vzhledem k tomu, že do modelového výpočtu vstupují pouze data o uvažovaném zdroji, představují vypočtené hodnoty koncentrací pouze příspěvek zdroje k celkovému znečištění v dané lokalitě a jako na takové je třeba na ně pohlížet.

Vypočtené hodnoty nám ukazují, že i při stejné kapacitě kompostárny umístěné do jiného prostředí dostáváme odlišné imisní příspěvky. Toto je primárně způsobeno členitostí terénu a vlivem větrné růžice dané lokality. Současně se zde projevuje i vzdálenost zařízení od obytné zástavby. Zapojením lidského faktoru do přípravy projektu a výběru lokality pro umístění kompostárny nejlépe dosáhneme ovlivnění následného imisního zatížení v území.

## **Závěr**

Z vypočítaných výsledků vyplynulo, že kapacita 1500 t kompostovaného materiálu ročně by neměla obtěžovat obyvatelstvo a způsobovat překračování imisních limitů. Imisní příspěvky se v jednotlivých případech liší, podle vzdálenosti od zástavby, tvaru terénu a podle větrné růžice konkrétní lokality. Při umísťování zařízení má vliv také stávající imisní pozadí. Tam, kde je již dnes dosahováno vyšších hodnot, bude nutné zvýšit vzdálenost od trvale obydlené zástavby, či od jiných dominantních zdrojů produkujících stejné emise jako kompostárna.

Z výsledků bylo zjištěno, že provoz kompostárny, pokud by byla stavěna na vyšší kapacitu (několik tisíc tun) a umístěna přímo do obydleného území, by mohl ovlivňovat stávající imisní pozadí a tím i lidské zdraví.

Současně bylo doloženo, že i když při kompostování jsou dominantní biologické procesy, může lidský faktor v rámci přípravy projektu omezit dopady provozu, a to především volbou kapacity a vhodnou lokalizací s ověřením předpokládaných dopadů např. pomocí modelu znečišťujících látek.

## **Seznam symbolů**

$\text{NH}_3$	amoniak (čpavek)
SZÚ	státní zdravotní ústav
t	hmotnost 1 tuna
TZL	tuhé znečišťující látky

## **Literatura**

1. DIRNER, V., a kolektiv: Ochrana životního prostředí, VŠB-TU Ostrava, 1997, 333 s, ISBN: 80-7078-490-3.
2. Nařízení vlády č. 615/2006 Sb., o stanovení emisních limitů a dalších podmínek provozování statních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.

3. Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší (v platném znění)
4. Bubník, J., Keder, J., Macoun J., Maňák, J.: SYMOS'97, Systém modelování stacionárních zdrojů, Metodická příručka, ČHMÚ, Praha 1998.  
Bubník, J., Keder, J., Macoun J., Maňák, J.: SYMOS'97, verze 02, Systém modelování stacionárních zdrojů (doplňky k verzi '97), Metodická příručka doplněk, ČHMÚ, Praha 2003.
5. Metodický pokyn odboru ochrany ovzduší MŽP ČR výpočtu znečištění ovzduší z bodových, plošných a mobilních zdrojů SYMOS'97. Věstník ministerstva životního prostředí, částka 3 ze dne 15.4.1998. Doplněk metodiky: Věstník MŽP ČR číslo 4, ročník 2002.
6. Bubník, J., Koldovský, M.: Typizace počasí se zřetelem ke znečištění ovzduší. In: Böhm, B. a kol.: Znečištění ovzduší v Podkrušnohoří. Sborník prací ČHMÚ Praha, svazek 20, 1974, část 7.5.3, s. 101-106.
7. Nařízení vlády č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší (v platném znění)
8. Nařízení vlády č. 350/2002 Sb., kterým se stanoví limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší (v platném znění) – (dnes neplatný předpis, předpis byl nahrazen Nařízením vlády č. 597/2006 Sb.)

## The human factor and possible risks of composting

**Zdenek SKOUMAL**

Kovoprojekta Brno a.s. Šumavská 416/15, Brno 602 000

E-mail: skoumal.z@centrum.cz

### Summary

This paper describes the potential impact that composting has on air quality and on people. During composting, biodegradable waste is decomposed to create a usable product. This process can create air pollution in the area of operation. For this reason, before construction of such facilities, the impact on the environment and population must be assessed to determine if the project is viable. The assessment process involves comparing the effects of two proposed composting projects in order to determine the potential impacts and risks of implementation. From these results, it is possible to determine the potential impact of small composting and then transfer the results to similar projects.

**Keywords:** *composting, dispersion substances, project risks, impacts on the environment*

# Anaeróbná fermentácia vybraných priemyselných organických odpadov s cieľom produkcie bioplynu v laboratórnych podmienkach

**Stanislav SEDLÁČEK, Miroslava KUBASKÁ, Soňa LEHOTSKÁ, Igor BODÍK**

Oddelenie chemického a environmentálneho inžinierstva, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Slovenská technická univerzita, Radlinského 9, 812 37, Bratislava, Slovenská republika

E-mail: stanislav.sedlacek@stuba.sk

## Súhrn

Predkladaná práca sa zaoberá efektívnym využitím vybraných typov priemyselných odpadov v anaeróbnej fermentácii. V rámci priemyselných odpadov sme laboratórne testovali srvátku, rastlinný tuk Veto, glycerínovú vodu a tzv. de-icing/anti-icing tekutiny. Vo všetkých pokusoch boli merané nasledujúce parametre: množstvo a zloženie bioplynu, pH v reaktore, celková sušina kalu v reaktore, organická sušina kalu v reaktore, zloženie substrátov a surového kalu a základné parametre kalovej vody. Koncentrácia metánu v bioplyne sa pohybovala nad 60 % vo všetkých prípadoch. Špecifické produkcie bioplynu boli vyjadrované v jednotkách:  $\text{m}^3/\text{kg}_{\text{Xorgpridaná}}$ ,  $\text{m}^3/\text{kg}_{\text{CHSKpridaná}}$  a  $\text{m}^3/\text{kg}_{\text{substrát}}$  v závislosti od typu a zloženia substrátu ako aj od analytických možností stanovenia základných parametrov. Špecifická produkcia bioplynu bola okolo  $0,750 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{Xorgpridaná}}$  pre srvátku, špecifická produkcia bioplynu z rastlinného margarínu bola  $541 \text{ m}^3$  z jedného kilogramu masla pridaného do fermentora. Fermentáciou airplane deicing fluid (ADF) sme dosiahli špecifickú produkciu bioplynu  $0,460 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{CHSKpridaná}}$ . Pri jednorázových batch testoch glycerínovej vody bola priemerná špecifická produkcia  $0,152 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{CHSKpridaná}}$ .

**Kľúčové slová:** priemyselné organické odpady, srvátka, rastlinný margarín, airplane deicing fluid, glycerínová voda, anaeróbná fermentácia, bioplyn

## Úvod

Priemyselné odpady sa líšia od komunálnych množstvom, ale hlavne ich zložením, ktoré je špecifické pre každý závod. Priemyselné odpady používané na anaeróbne spracovanie predstavujú najmä odpady z potravinárskeho, agropotravinárskeho a chemického priemyslu [1]. Nakladanie s priemyselným odpadom je často veľkým problémom a nájst' vhodné postupy na jeho spracovanie nie je jednoduché. Jednou z možností na spracovanie niektorých druhov priemyselných odpadov je aj anaeróbná fermentácia. Ide o biochemický proces, pri ktorom anaeróbne baktérie (bez prístupu kyslíka) rozkladajú organické látky obsiahnuté vo vstupnom materiáli (substráte) za vzniku bioplynu. Anaeróbnou fermentáciou je vhodné spracovávať hlavne také organické odpady, ktoré majú vysoký obsah uhlíka, sú biologicky rozložiteľné, nie sú toxické a pod [1].

Srvátka je vedľajší produkt mliekarenského priemyslu, v ktorej hlavnými zložkami sú laktóza, bielkoviny a minerálne soli. Zloženie srvátky závisí na mnohých parametroch, ako je zloženie a kvalita mlieka, technológia výroby syra, množstvo kvasiniek alebo kyseliny, ktorá sa používa na koaguláciu a ich kvalita [2]. Približne 47% zo 115 Mt srvátky vyrobenej na celom svete každý rok, sa dostáva do životného prostredia. To predstavuje značnú stratu zdrojov a spôsobuje vážne problémy znečistenia. Srvátka má vysokú hodnotu CHSK, ktorá veľmi často spôsobuje problém pri likvidácii. Avšak, tiež predstavuje potenciálny zdroj energie a jej anaeróbná fermentácia ponúka vynikajúci prínos z hľadiska úspory energie a kontroly znečistenia [2]. Využitím UASB reaktora bola dosiahnutá 94 % účinnosť odstránenia pri hydraulickej zdržnej dobe medzi 5,4 – 6,8 dňa, organickom zaťažení 7 – 9,5 kg CHSK  $\text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$  a vstupnej koncentrácii srvátky medzi 47 – 55 kg CHSK  $\text{m}^{-3}$  [3].

Najčastejšie používané kosubstráty sú tuky/oleje zachytené v lapačoch tukov z odpadových vôd napr.

z reštaurácií a veľkokapacitných jedální. V minulosti boli tieto odpady najčastejšie skládkované, avšak v dôsledku prísnej EU legislatívy (napr. EU Direktíva o skládkovaní biorozložiteľných odpadov – 31/1991/EU), tento spôsob už nie je akceptovateľný. Podobne aj EU Direktíva 1774/2002/EU resp. slovenské Nariadenie vlády 279/2003 Z.z. o spracovaní vedľajších živočíšnych produktoch výrazne obmedzili „voľné“ nakladanie s týmito odpadmi. Anaeróbne spracovanie týchto produktov ponúka významné energetické výhody predovšetkým ako kosubstrátov spolu s čistiarenským kalom [4].

Airplane deicing fluid sa v súčasnosti vyžíva na letiskách na splnenie úlohy bezpečného letu lietadiel. Tieto kvapaliny zabezpečujú, že kritické povrchy lietadiel ostávajú bez ľadu, snehu alebo námrazy [5]. Veľká časť aplikovaného ADF sa však neudrží na ploche lietadla, ale stečie na povrch letiska. V závislosti od vybavenosti letiska sa odpadový ADF dostáva do kanalizácie, alebo sa odvádza do samostatných nádrží, kde sa buď separuje a regeneruje, alebo sa odváža na spracovanie ako odpadový produkt. Nemrznúce kvapaliny používané na lietadlá sa skladajú zvyčajne z etylénglykolu (EG) alebo propylénglykolu (PG) v kombinácii s vodou a inými zložkami (inhibitory korózie, farbivá a zahusťovadlá). Primárna zložka odpadovej airplane deicing fluid propylénglykol, je ľahko rozložiteľný za anaeróbných podmienok, čo dáva dobrý predpoklad pre zneškodňovanie tohto typu odpadu v anaeróbnom čistení [6]. Úspešné čistenie zriedenej PG-ADF bolo dosiahnuté využitím štvor-prepážkového anaeróbného reaktora. Reaktor bol zaťažovaný tromi rôznymi koncentraciami ADF (0,04, 0,07 a 0,13%) pri rôznych hydraulických zdržných dobách (24, 12, 6 a 3 h) a organickom zaťažení medzi 0,3 – 6 kg CHSK / m<sup>3</sup>d. Reaktor dosiahol vyše 75 % odstránenie rozpustenej CHSK a priemernú metánovú produkciu 0,30 litra CH<sub>4</sub>/g CHSK<sub>odstránená</sub> pri 33 °C [5].

Glycerínová voda vzniká ako vedľajší produkt v procese výroby bionafty a taktiež sa označuje ako pracia voda. Ďalšími vedľajšími produktmi sú tzv. g-fáza a šroty. Malí producenti bionafty praciú vodu väčšinou vypúšťajú do kanalizácie, prípadne ju spracovávajú v biologických systémoch na šedú vodu. Pracia voda môže byť klasifikovaná ako olejnatá, mydlovitá a mierne žieravá kvapalina. Surová bionafta po odstránení glycerolu obsahuje ešte značné množstvá znečisťujúcich látok. Medzi tieto látky patrí zvyškový metanol, glycerol, mydlá a katalyzátor, čo značne komplikuje jej zneškodňovanie. Keďže tieto látky môžu spôsobovať problémy pri spaľovaní, odstraňujú sa rôznymi metódami. Pranie vodou je zatiaľ najpoužívanejšou a najvýhodnejšou možnosťou. Na 100 litrov prepranej bionafty sa v závislosti na technológii spotrebuje okolo 20 – 300 litrov vody [7]. V závislosti od množstva použitej praciej vody sa mení aj koncentrácia praciej vody. Jej CHSK sa môže pohybovať od niekoľko 100 mg/l až po niekoľko sto tisíc mg/l. Siles et al. (2010) sledovali anaeróbnu ko-fermentáciu glycerolu a praciej vody ako odpadových produktov z výroby bionafty. Analýzou boli zistené hodnoty CHSK glycerolu a praciej vody na úrovni 1054 a 428 g/l. Fermentácia prebiehala pri mezofilných podmienkach pri teplote 35 °C. Kvôli obsahu alkalického katalyzátora bola do glycerolu pridaná kyselina fosforečná, pomocou ktorej sa vylúčil fosforečnan draselný. Pracia voda bola podrobená procesu elektrokoagulácie, za účelom zníženia obsahu oleja. Výsledky anaeróbnej kofermentácie poukazujú na 100 % biologickú rozložiteľnosť, pričom produkcia metánu dosiahla hodnotu 310 ml CH<sub>4</sub>/g odstránenej CHSK (101325 Pa, 25 °C). Výsledky ukázali, že anaeróbná kofermentácia znižuje náklady na čistú vodu a pridávané živiny, čo má značné ekonomické a environmentálne prínosy [8].

Ako substráty v laboratórnych testoch boli použité na žiadosť ich producentov reálne priemyselné organické odpady. Práca samotná je rozdelená do štyroch etáp. V prvej etape sa naša pozornosť upriamovala na anaeróbne čistenie ADF na báze propylénglykolu. V druhej fáze sme sa zamerali na pridávanie srvátky do anaeróbného reaktora, v tretej fáze bol substrát pre anaeróbnú fermentáciu rastlinný margarín a posledným testovaným substrátom bola glycerínová voda.

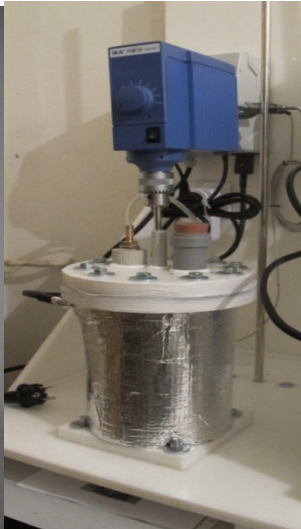
## Experimentálna časť

Laboratórne testy boli uskutočnené na Oddelení environmentálneho inžinierstva FCHPT STU Bratislava. Samotné anaeróbne čistenia ADF, srvátky a rastlinného margarínu prebiehali v poloprietokových anaeróbných reaktoroch s pracovným objemom 15 litrov. Laboratórne modely boli zabezpečené mechanickým vertikálnym miešadlom s nastavenými otáčkami asi 60-100 ot/min, ktoré boli zapínané časovým spínačom v 30 min. intervale. Fermentácia glycerínovej vody sa uskutočnila vo

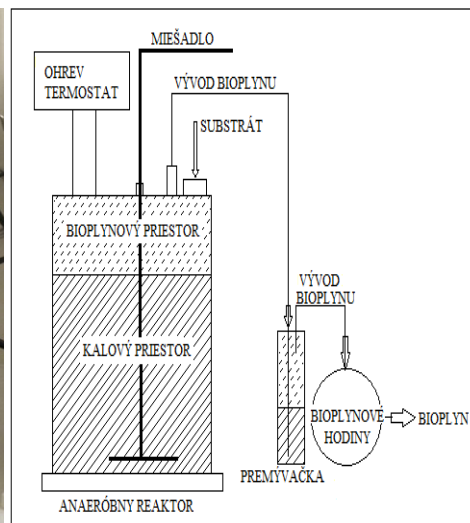
vsádzkovom reaktore s pracovným objemom 1,4 litra a s rovnakým typom miešadla s takými istými otáčkami. Anaeróbne reaktory sú na obrázku 1, 2 a 3.



**Obrázok 1: Poloprietokový anaeróbny reaktor**



**Obrázok 2: Vsádzkový anaeróbny reaktor**



**Obrázok 3: Schéma anaeróbného reaktora**

Objem vyprodukovaného bioplynu bol zaznamenávaný na bioplynových hodinách, ktoré merali kumulatívny objem bioplynu počas modelovania. Obsluha poloprietokových laboratórnych modelov spočívala v dennej obsluhu, ktorá pozostávala z nasledovných operácií:

- odobratie príslušného objemu „prebytočného“ vyhnitého kalu z reaktora,
- dávka príslušného objemu priemyselných substrátov
- odber príslušného objemu kalu resp. kalovej vody na stanovenie analytických parametrov kalu a kalovej vody
- odber príslušného objemu vyprodukovaného bioplynu s cieľom stanovenia zloženia bioplynu

Obsluha vsádzkového reaktora pozostávala v jednorázovom nadávkovaní substrátu a sledovaní poklesu hodnoty CHSK a Xorg a v porovnaní hodnôt na začiatku testu a na konci. Koniec fermentácie indikovalo zastavenie produkcie bioplynu. Nadávkovanie substrátu nastalo až pri nulovej produkcii bioplynu zo samotného kalu, to znamená, že endogénna produkcia bioplynu bola nulová.

## Výsledky a diskusia

### Kofermentácia srvátky so surovým kalom

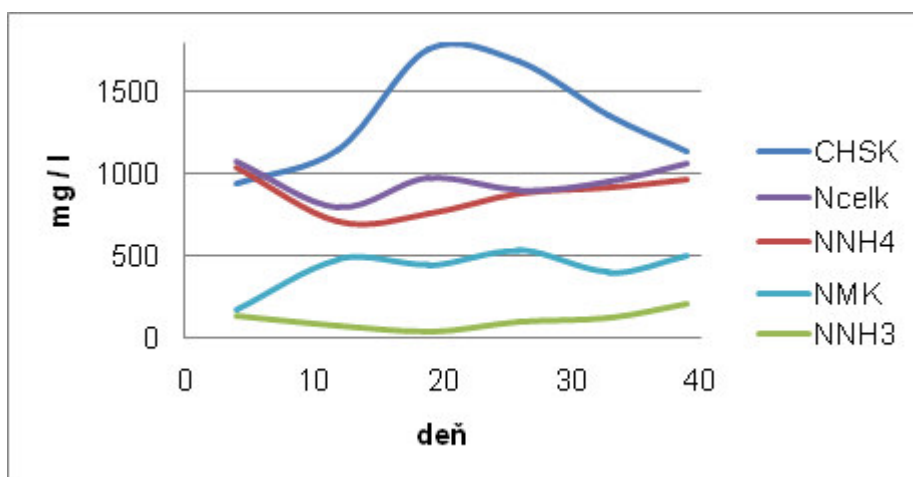
Anaeróbna fermentácia prebiehala v reaktore s pracovným objemom 15 litrov a teplotou 42 °C. Dňa 13.8.2010 (deň 0.) bol reaktor naplnený anaeróbnym kalom z ÚČOV Bratislava – Vrakuňa, ktorého zloženie bolo: pH 7,28, CHSK 15 g/l, Xc 28 g/l a Xorg 17 g/l.

S cieľom modelovania reálnych podmienok na ÚČOV Bratislava bol od začiatku testu do anaeróbného reaktora denne pridávaný surový kal (CHSK 30250 mg/l, Xc 31 g/l, SŽ 61%) v objeme 500 ml. Zároveň bolo denne z reaktora odoberané 500 ml vyhnitého kalu. Denná dávka surového kalu predstavovala objemové zaťaženie  $B_v = 0,66 \text{ g Xorg/l.d}$  a hydraulickú zdržnú dobu 30 dní. Spolu s pridávaním kalu boli pravidelne merané aj základné parametre kalu, kalovej vody a bioplynu. Do 26.8.2010 (deň 13.) bol reaktor prevádzkovaný len so surovým kalom s cieľom, modelovo sa priblížiť



podmienkam na ÚČOV Bratislava. Dňa 26.8.2010 (deň 13.) bolo spustené dávkovanie srvátky do reaktora. Základné parametre srvátky sú: pH 5,5, celkový dusík 16 g/l, Xc 189 g/l a Xorg 178 g/l.

Zo zloženia srvátky vidíme, že srvátka je pomerne vysoko koncentrovaný medziprodukt, s vysokým obsahom organických látok, čo sa z hľadiska produkcie bioplynu považuje za dobrý predpoklad. Negatívnym parametrom je však koncentrácia dusíka, kde 16 g/l je mimoriadne nepriaznivý parameter, ani nie pre tvorbu bioplynu, ale pre vysoký obsah dusíka v kalovej vode, ktorá v prípade použitia na ČOV bude pritekať na vstup do čistiarny. Ako počiatočná dávka bol zvolený objem 40 ml/deň. Táto dávka predstavuje zvýšenie organického zaťaženia reaktora asi o 0,5 gXorg/ l.d. Priemerné pH v reaktore sa pohybovalo okolo hodnoty 7,93 a priemerná celková sušina bola 27,5 g/l (Xorg 15,2 g/l). Po úprave vzorky filtráciou cez membránový filter sme sledovali parametre kalovej vody. Priebeh koncentrácií vybraných parametrov kalovej vody zobrazuje obrázok 4.

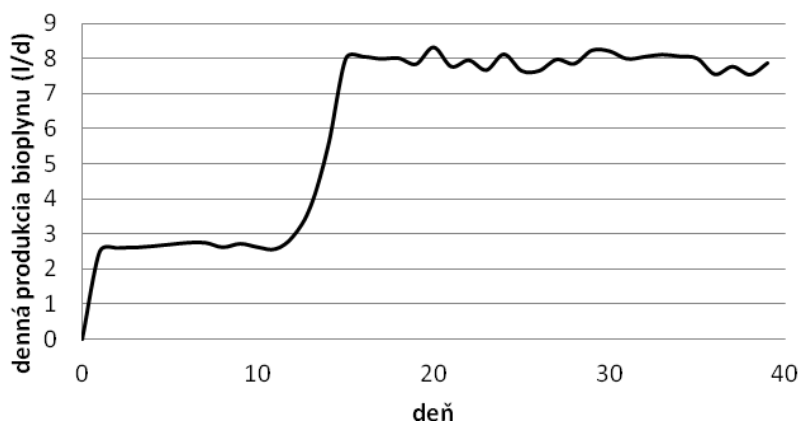


**Obrázok 4: Grafický záznam koncentrácie sledovaných parametrov v kalovej vode počas kofermentácie**

Napriek vysokej koncentrácii dusíka v srvátke, nebol pozorovaný výrazný nárast dusíka v kalovej vode ani po 30 dňovom dávkovaní srvátky do reaktora (denná dávka 40 ml srvátky predstavuje 0,27% z celkového objemu 15 litrov) a taktiež nebola pozorovaná inhibícia procesu spôsobená amoniakom v systéme (priemerná hodnota 112,2 mg/l). Srvátka má vo všeobecnosti hodnotu alkality okolo 50 meq/L (2500 ppm  $\text{CaCO}_3$ ) [9], čo pri dennej dávke taktiež nespôsobovalo výrazné problémy. Je možné však predpokladať, že dlhodobé dávkovanie srvátky do systému by spôsobilo zvýšenie koncentrácie dusíka v kalovej vode na hodnoty okolo 2000 mg/l. Ide o koncentrácie, ktoré by už mohli výrazne negatívne ovplyvniť procesy odstraňovania dusíka na ČOV. Vo všeobecnosti možno konštatovať, že pomer  $V_{\text{kal}} : V_{\text{srvátka}}$  by mal byť vyšší ako 25-30:1 na elimináciu negatívneho vplyvu dusíka v kalovej vode na procesy odstraňovania dusíka na ČOV.

Denná dávka srvátky spôsobila okamžité zvýšenie produkcie bioplynu z pôvodnej priemernej hodnoty 2,68 litra na priemerne 7,92 l/deň (obrázok 5). Vyššie uvedené hodnoty ukazujú, že 1 ml srvátky vyprodukoval v laboratórnych podmienkach 131 ml bioplynu, tj. 1 m<sup>3</sup> srvátky produkuje okolo 130 m<sup>3</sup> bioplynu. Ak by sme definovali špecifickú produkciu bioplynu zo srvátky, tak z doterajších meraní vyplýva hodnota 0,750 l/gXorg. Množstvo metánu v bioplyne bolo 60% avšak koncentrácia sulfátu po dávkovaní srvátky sa zvýšila na hodnotu 1070 ppm, čo môže spôsobovať problémy pri reálnom využívaní bioplynu v kogeneračných jednotkách.





**Obrázok 5: Denná produkcia bioplynu pri kofermentácii surového kalu so srvátkou**

Celkovo možno konštatovať, že použitie srvátky ako kosubstrátu pre anaeróbnú fermentáciu je realizovateľné na ČOV resp. v bioplynových staniciach. Srvátka je substrát s vysokou špecifickou produkciou bioplynu s vysokým podielom metánu. Možné negatíva použitia srvátky vidíme pri vysokom (dominantnom) podiele srvátky vo vstupnom substráte. V takýchto prípadoch je možno očakávať vysoké koncentrácie dusíka v kalovej vode, resp. vysoké koncentrácie sulfátu v produkovanom bioplyne.

### **Kofermentácia rastlinného margarínu so surovým kalom**

Rastlinný margarín predstavuje v podstate stužený rastlinný tuk. Toto maslo sa chybou závodu stalo odpadom (skončená záruka) avšak pre nás substrátom a našou úlohou bolo nájsť spôsob ako takýto odpad zlikvidovať. Keďže rastlinný odpadový olej je pomerne známy substrát pre anaeróbnú fermentáciu, zvolili sme rovnaký spôsob zneškodňovania – znovu využitia aj pre naše odpadové maslo. V súčasnosti sa takýto typ odpadu likviduje v spaľovni, prípadne sa tesne pred koncom dátumu spotreby lacno predá, alebo daruje sociálne slabším občanom. Spracovanie margarínu so surovým kalom prebiehalo v rovnakom poloprietokovom 15 litrovom reaktore, avšak teplota v reaktore bola nastavená na 37 °C. Od 29.04.2010 (deň 0.) bol do reaktora dávkaný iba surový kal, ktorého priemerné parametre sú: pH= 5,97, CHSK= 41775 mg/l, Ncelk= 1370 mg/l, N-NH<sub>4</sub> =77 mg/l a Pcelk= 360 mg/l. Pomer CHSK : N : P v surovom kale bol 116 : 3,8 : 1. Denná dávka kalu do reaktora bola 580 ml, čo predstavuje organické zaťaženie 0,75 gXorg / l.d a zdržnú dobu okolo 26 dní. Od 3.06.2010 (deň 36.) do 5.07.2010 (deň 68.) sa spolu so surovým kalom pridával do reaktora aj margarín a od 6.07. 2010 (deň 69.) do 23.07.2010 (deň 86.) sa pridával do reaktora margarín ako jediný substrát. Zloženie rastlinného margarínu je v tabuľke 1.

**Tabuľka 1: Zloženie rastlinného margarínu**

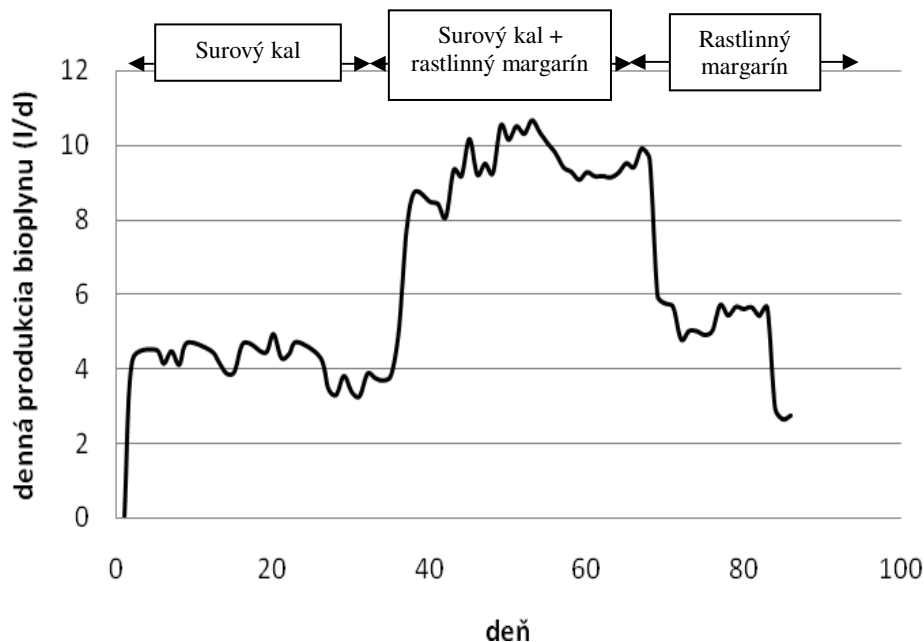
Bielkoviny (g)	Cukry (g)	Tuky (g/kg)
0	0	250

Dávka margarínu predstavovala 10 g/d. Monitorované parametre boli opäť zloženie a produkcia bioplynu, pH v reaktore (7,64), celková sušina kalu v reaktore (16,2 g/l) a organický podiel (8,43 g/l). V kalovej vode sme taktiež merali pH (vyššie ako v reaktore – spôsobené odstránením CO<sub>2</sub>), CHSK, N<sub>tot</sub>, N<sub>NH4</sub>, P<sub>tot</sub> a N<sub>MK</sub>. Namerané parametre kalovej vody sú v tabuľke 2.

**Tabuľka 2: Koncentrácia sledovaných parametrov v kalovej vode počas kofermentácie**

Deň (substrát)	CHSK (mg/l)	NNH <sub>4</sub> (mg/l)	NNH <sub>3</sub> (mg/l)	Ntot (mg/l)	Ptot (mg/l)	NMK (mg/l)
6. (kal)	734	570	14,3	674	23	152
13. (kal)	407	600	14,5	700	18	479
20. (kal)	348	750	18,1	808	25	470
27. (kal)	372	630	15,5	773	22	400
34. (kal)	318	500	16,5	550	24	477
41. (kal + rastlinný margarín)	672	551	21,2	585	21	374
50. (kal + rastlinný margarín)	700	630	30,2	650	20	466
55. (kal + rastlinný margarín)	785	700	37,5	722	19	450
62. (kal + rastlinný margarín)	807	670	34,3	691	22	472
70. (rastlinný margarín)	510	780	29,4	801	23	333
76. (rastlinný margarín)	579	800	37,5	820	25	300
83. (rastlinný margarín)	475	880	39,9	900	24	300

Zvýšenie organického zaťaženia o prídavok rastlinného masla ani samotná fermentácia rastlinného masla negatívne neovplyvňovala vybrané parametre v kalovej vode počas anaeróbneho procesu. Produkcia bioplynu zo surového kalu sa ustálila na hodnote 4,12 l / d. Po začatí kofermentácie sa produkcia bioplynu zdvihla na 9,3 l / d, čo predstavuje nárast o 5,18 l / d a pri samotnej fermentácii rastlinného margarínu bola priemerná produkcia bioplynu 5,41 l / d (obrázok 6). Z nameraných hodnôt vidíme, že 1 kg rastlinného margarínu vyprodukoval 541 litrov bioplynu. Dávkovanie rastlinného masla spôsobilo zvýšenie koncentrácie metánu v bioplyne z 56.5 % na 66 %. Ide o mimoriadne vysoký podiel metánu, čo je dôsledkom použitia rastlinného margarínu/tuku, čo potvrdzuje literárne poznatky o tuku, ako substrátu s najvyšším podielom metánu vo vyprodukovanom bioplyne [10].



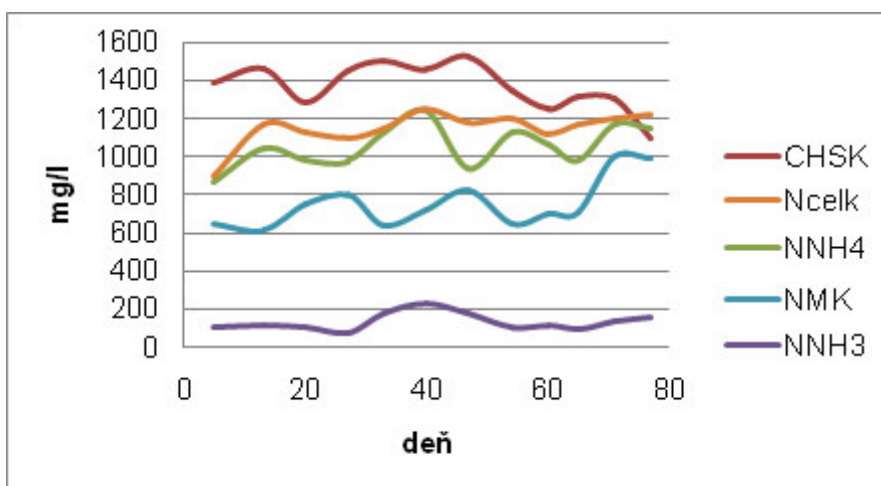
**Obrázok 6: Denná produkcia bioplynu pri kofermentácii surového kalu s rastlinným margarínom**

Kofermentácia rastlinného masla so surovým kalom ako aj fermentácia samotného rastlinného masla prebiehala v laboratórnych podmienkach bez závažných problémov a po zvládnutí možných technických ťažkostí v reálnej prevádzke (miešanie, dávkovanie a vyberanie masla z obalu) sa javí takéto zhodnocovanie nepoužiteľného rastlinného masla ako veľmi perspektívne.

## Fermentácia ADF

Anaeróbna fermentácia ADF bola spustená v rovnaký deň a s rovnakými počiatočnými podmienkami ako fermentácia srvátky, tj. teplota 42 °C, objem 15 litrov a taktiež bol použitý rovnaký anaeróbny kal. Na rozdiel od srvátky bol ADF testovaný ako monosubstrát, teda nebol dávkovaný spolu so surovým kalom. ADF bolo pridávané do reaktora v nezriedenej forme so zložením: pH 7,47, CHSK 1200 g/l, celkový dusík 383 mg/l,  $N_{NH_4}$  96 mg/l a  $N_{NH_3}$  1,1 mg/l ( $t = 20$  °C, pH 7,47). Pomer CHSK:N je okolo 3000:1 čo je pomerne vysoká hodnota a preto sa odporúča pridávanie nutrientov. Už prvý pohľad na zloženie ADF svedčí o tom, že ide o pomerne vysoko koncentrovaný substrát s vysokým obsahom CHSK, čo vytvára veľmi dobré predpoklady pre anaeróbnú fermentáciu. Vyššie koncentrácie glykolov, resp. OH skupín v substráte môžu pôsobiť pri vysokých dávkach substrátu toxicky na mikroorganizmy. Nepriaznivý vplyv glykolov sa však v tomto krátkodobom teste nepreukázal, čo môže byť spôsobené dennou dávkou ADF.

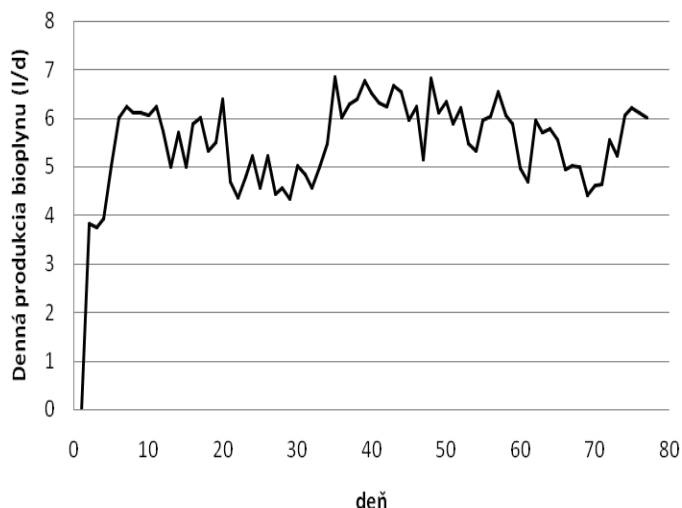
Dávka ADF bola nastavená na 10 ml / d. Táto dávka predstavuje  $CHSK_{pridaná}$  12 gramov a objemové zaťaženie reaktora  $0,8 \text{ g}_{CHSKpridaná} / \text{l} \cdot \text{d}$ . Sledovanými parametrami boli produkcia a zloženie bioplynu, pH v reaktore (7,81), celková sušina kalu v reaktore (31,2 g/l) a jeho organický podiel (17,32 g/l). V kalovej vode sme ďalej sledovali hodnoty pH, CHSK,  $N_{tot}$ ,  $N_{NH_4}$ ,  $P_{tot}$ . Priemerná hodnota pH bola 8,75 a priemerná koncentrácia fosforu 26,9 mg/l. Zvyšné koncentrácie sú uvedené graficky na obrázku 7.



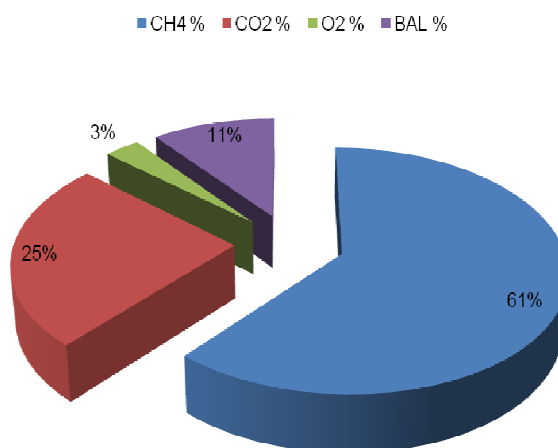
**Obrázok 7: Grafický záznam koncentrácie sledovaných parametrov v kalovej vode počas fermentácie**

Vyššie pH v kalovej vode oproti hodnote pH v reaktore bolo spôsobené úpravou vzorky, kedy sa pri filtrácii vystripovalo  $CO_2$  z kalu, čo malo za následok aj zmenu pH vzorky kalovej vody. Denná produkcia bioplynu po začatí dávkovania ADF je znázornená na obrázku 8 a predstavuje priemernú hodnotu 5,55 l/deň. Táto hodnota zodpovedá špecifickej produkcii asi 555 litrov bioplynu na 1 liter ADF. Zloženie bioplynu je uvedené na obrázku 9. Koncentrácia sulfátu v bioplyne bola 6 ppm.

Fermentácia ADF prebiehala v laboratórnych podmienkach bez závažných ťažkostí avšak v reálnych podmienkach bude nutné pridávanie nutrientov resp. kofermentácia ADF s iným substrátom bohatším na dusík (napr. hnojovica, kurací trus atď.).



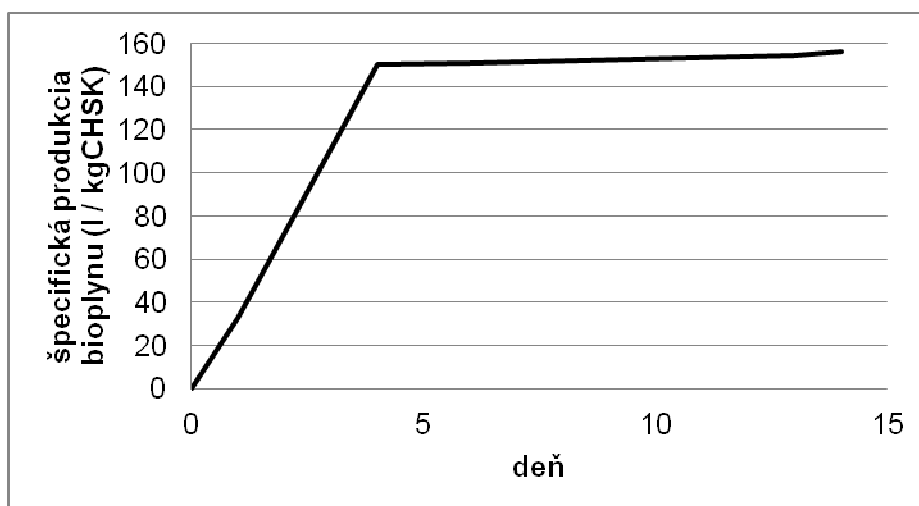
Obrázok 8: Denná produkcia bioplynu pri fermentácii ADF



Obrázok 9: Zloženie bioplynu

### Vsádzkový batch test glycerínovej vody

Vsádzkový test anaeróbnej fermentácie bol uskutočnený v kompletne miešanom tankovom reaktore (CSTR) s pracovným objemom 1,4 litra pri teplote 37 °C (obrázok 2). Glycerínová voda mala nasledovné zloženie: pH = 6,49, CHSK = 750000 mg/l,  $N_{celk}$  = 610 mg/l,  $N_{NH_4}$  = 20 mg/l a  $P_{celk}$  = 77 mg/l. Pomer CHSK : N : P pri tomto substráte bol 9740 : 8 : 1. Vysoký pomer CHSK : N : P naznačuje nutnosť pridávania nutrientov, alebo použitie takéhoto odpadu pri kofermentácii s inými substrátmi. Vsádzka glycerínovej vody bola 20 ml, čo predstavuje prídavok do reaktora 10,7 g CHSK. Počas dvojtýždňového testu sa dosiahlo 92 % odstránenie CHSK a špecifická produkcia bioplynu bola 156 l/kg<sub>CHSK</sub>. Z grafického znázornenia na obrázku 10 vidno priebeh špecifickej produkcie bioplynu ako aj zrejmy rýchly nábeh tvorby bioplynu a ľahkú rozložiteľnosť substrátu.



Obrázok 10: Špecifická produkcia bioplynu pri vsádzkovom teste anaeróbnej fermentácie glycerolovej vody

### Záver

Pre správny priebeh anaeróbného rozkladu je dôležité, aby substrát mal vyvážený pomer zdroja uhlíka a makro- a mikro nutrientov. Z bilancie produkcie biomasy sa udáva pomer CHSK : N : P v rozmedzí od 300 : 6,7 : 1 do 500 : 6,7 : 1 [11]. Pomer CHSK:N vo vstupnej ADF bol okolo 3000:1. Pri tomto pomere je pre bezproblémový chod anaeróbnej fermentácie vhodné dávkovanie nutrientov, alebo

použitie ADF ako kosubstrát. Glycerínová voda je substrát s vysokým organickým podielom a spomínaný pomer CHSK : N : P je 9740 : 8 : 1. Pridávanie nutrientov prípadne kofermentácia je aj v tomto prípade veľmi žiaduce.

Srvátka je mimoriadne zaujímavý substrát z hľadiska produkcie bioplynu. 1 m<sup>3</sup> srvátky vyprodukuje cca. 131 m<sup>3</sup> bioplynu. Špecifická produkcia bioplynu je 0,750 m<sup>3</sup>/kg X<sub>org</sub>. Kofermentácia srvátky so surovým kalom počas krátkodobého testovania negatívne neovplyvnila priebeh produkcie bioplynu, zloženie kalovej vody ani zloženie bioplynu a pod. Srvátka obsahuje pomerne vysoký podiel dusíka (16 000 mg/l) čo sa môže negatívne prejaviť pri dlhodobom dávkovaní, resp. v závislosti od podielu srvátky v surovom kale dávkovanom do reaktora. Otázne je aj zvýšenie H<sub>2</sub>S v bioplyne, jedna nameraná hodnota bola vysoká 1070 ppm, závery však je možno robiť až po dlhšom priebehu testov.

Rastlinné maslo vyprodukovalo v laboratórnych podmienkach z 1 kg 0,541 m<sup>3</sup> bioplynu, čo zaraďuje tento substrát k energeticky veľmi bohatým substrátom. Použitie rastlinného masla v krátkodobom priebehu testu negatívne neovplyvnilo priebeh produkcie bioplynu, zloženie kalovej vody ani zloženie bioplynu a pod. Pri použití takéhoto typu substrátu v reálnych podmienkach si treba uvedomiť jeho konzistenciu a vhodne premyslieť nie len spôsob dávkovania do reaktora ale aj spôsob ako tento margarín vyberať z vlastného obalu (roztopenie a výber vhodného čerpadla).

Priemerná metánová produkcia pri fermentácii ADF bola 0,28 litra CH<sub>4</sub>/g CHSK. Zo zloženia bioplynu (viac ako 60 % metánu a nízke hladiny sírovodíka) môžeme predpokladať bezproblémové využitie takéhoto bioplynu v kogeneračnej jednotke. Dôležitý fakt je že ADF bola počas celého testu dávkovaná v nezriedenej koncentrovanej forme. Celkovo možno hodnotiť použitie ADF ako perspektívne pri zvyšovaní produkcie bioplynu na komunálnych ČOV. Vzhľadom na to, že pri zimnej prevádzke veľkých letísk je produkcia/odpad ADF v rozsahu až desiatok m<sup>3</sup>/denne, zber a dodávka ADF a následné využitie tohto odpadu by mohlo prispieť k bezproblémovému zvýšeniu produkcie bioplynu na fermentačnej jednotke.

Počas batch testu glycerínovej vody sa preukázala jej vysoká a rýchla biologická rozložiteľnosť, kedy sa už v priebehu prvých piatich dní dosiahlo 92 % odstránenie pridanej CHSK. Špecifická produkcia bioplynu dosiahla hodnotu 156 l/kg<sub>CHSK</sub>.

## Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č.LPP-0019-09 a VSMP-P-0101-09.

## Literatúra

- [1] Hutňan M, Špalková V, Kolesárová N, Lazor M. Produkcia bioplynu z biomasy. Odborný seminár „Produkcia bioplynu, pyrolýza a splynovanie – efektívny spôsob zhodnotenia biomasy ako obnoviteľného zdroja energie“ Bratislava, 21.1.2010; 4 – 35
- [2] Kavacik B, Topaloglu B. Biogas production from co-digestion of a mixture of cheese whey and dairy manure. *Biomass and Bioenergy* 2010, Vol. 34, No.9; 1321 – 1329.
- [3] Klyuzhnyi SV, Martinez EP, Martinez JR. Anaerobic treatment of high strength cheese whey waste waters in laboratory and pilot UASB reactors. *Bioresour Technol* 1997;60:59e65.
- [4] Bodík I, Sedláček S, Kubaská M. Možnosti spracovania biomasy s cieľom produkcie bioplynu na čistiarňach odpadových vôd. Produkcia bioplynu z biomasy. Odborný seminár „Produkcia bioplynu, pyrolýza a splynovanie – efektívny spôsob zhodnotenia biomasy ako obnoviteľného zdroja energie“ Bratislava, 21.1.2010; 78 – 86
- [5] Marin J, Kennedy K, Eskicioglu C. Characterization of an anaerobic baffled reactor treating dilute aircraft de-icing fluid and long term effects of operation on granular biomass. *Bioresour Technol* 2010, Vol. 101; 2217 – 2223
- [6] Veltman S, Schoenberg T, Switzenbaum M.S. Acid and alcohol formation during propyleneglycol degradation under anaerobic methanogenic conditions. *Biodegradation* 1998, Vol.9, No.2; 113 – 118

- [7] Gelegenis J, Georgakakis D, Angelidaki I, Mavris V. Optimization of biogas production by co-digesting whey with diluted poultry manure. *Renewable Energy* 2007, Vol.32; 2147 – 2160
- [8] Spiegelfeld M. Business Opportunity: Decentral Biodiesel Production, in: *UNIDO-Regional Workshop on Promoting Sustainable Biofuels Production and Use in CEE*, Dubrovnik, November, 12, 2007.
- [9] Siles JA, Martín MA, Chica AF, Martín A. Anaerobic co-digestion of glycerol and waste water derived from biodiesel manufacturing. *Bioresour Technol* 2010, Vol. 101; 6315 – 6321
- [10] <http://www.czba.cz/index.php?art=clanky&parent=-odborne-clanky&nid=balance-tvorby-bioplynu-metanizace>. Stiahnuté 25. 7. 2011.
- [11] Hutňan M, Drtil M, Mrafková L, Bodík I, Derco J, Herdová B. Anearábne čistenie odpadových vôd a spracovanie organických odpadov. *Tempus Phare Project SJEP – 11049/96 Continuing Education in Water Quality Management* 1999; 15

## Anaerobic fermentation of selected industrial organic wastes for biogas production in laboratory conditions

**Stanislav SEDLÁČEK, Miroslava KUBASKÁ, Soňa LEHOTSKÁ, Igor BODÍK**

Department of Chemical and Environmental Technology, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 81237, Bratislava, Slovak Republic

E-mail: stanislav.sedlacek@stuba.sk

### Summary

Presented paper is dealing with laboratory scale anaerobic digestion of industrial waste such as cheese whey, solidified vegetable fat, glycerol water and aircraft de-icing fluid (ADF). Analytical parameters monitored during anaerobic digestion of industrial substrates were quantity and quality of produced biogas, pH of sludge, total solids (TS) and volatile solids (VS) of sludge, basic characteristic of substrates and sewage sludge, and basic parameters of sludge water. Methane concentration within anaerobic treatment of wastes was above 60 %. Specific biogas production was for ADF, whey and solidified vegetable fat 0,460 m<sup>3</sup>/kg COD<sub>added</sub>, 0,750 m<sup>3</sup>/kg VS<sub>added</sub> and 541 m<sup>3</sup>/kg margarine, respectively. Specific biogas production from glycerol water during the batch test was 0,152 m<sup>3</sup>/kgCOD<sub>added</sub>.

**Keywords:** industrial organic wastes, cheese whey, vegetable margarine, glycerol water, ADF, anaerobic fermentation, biogas

# Sulfitový výluh a odpad z výroby sodných fosfátů jako ztekucovadla v cihlářské výrobě

**Radomír SOKOLÁŘ, Lucie VODOVÁ**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Veveří 95, 602 00 Brno,

e-mail: sokolar.r@fce.vutbr.cz

## Souhrn

Sulfitový výluh a odpad z výroby sodných fosfátů (DOPOFOS) byly posuzovány jako ztekucovadla směsi pro výrobu cihlářských tvarovek typu THERM. Obě přísady snižují obsah rozdělovací vody, citlivost k sušení i délkové změny sušením. DOPOFOS navíc funguje i jako tavivo – snižuje nasákavost střepu a zvyšuje jeho pevnost.

**Klíčová slova:** cihlářství, ztekucení, rozdělovací voda

## Úvod

Mezi přísady používané při výrobě keramiky patří i ztekucovadla (plastifikátory), která napomáhají snížení množství rozdělovací vody. Například při vytváření keramiky litím z břecek (suspenzi) je použití ztekucovadel prakticky nezbytné. Cihlářská technologie využívá vytváření na šnekových lisech z plastického těsta o průměrné vlhkosti kolem 20 %, kterou je třeba poté vysušit. Otázka snížení množství rozdělovací vody při zachování reologických vlastností plastického těsta je tedy velmi aktuální, protože současné sušárny pracují při průměrné spotřebě tepla 3200 až 9200 kJ [1] na kilogram odpařené vody.

Ztekucovadla fungují buď na bázi výměny kationtů (vzhledem k dostupnosti a účinnosti se používají nejvíce elektrolyty na bázi sodných kationtů (např. vodní sklo  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , tripolyfosfát sodný  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) nebo na bázi ochranných koloidů (vysokomolekulární organické látky jako huminové kyseliny, lignosulfonan sodný, karboxymetylceluloza apod.) [2].

Cihlářská výroba v současné době žádná ztekucovadla záměrně nepoužívá. Naopak v případě dlouhodobých nepříznivých klimatických podmínek (deště) je nutno v mnoha případech cihlářské těsto zahušťovat za použití např. vápenného hydrátu, což je proces opačný, nežli v případě ztekucování. Podle doposud publikovaných výsledků lze ztekucovadla také využít i při přípravě cihlářského plastického těsta. Cihlářské zeminy s nižším podílem jílových minerálů (často montmorillonit a illit) ovšem lze ztekutit velmi omezeně nebo jsou neztekutitelné. Kallauner [3] se zmiňuje o možnosti zlepšení tvárnosti surovin přidáním některých elektrolytů, zejména zředěných kyselin (např. směs 0,5 % kyseliny sírové a 0,5 % kyseliny solné). Kallauner [4] také doporučuje kombinaci přísady vhodného elektrolytu a vytváření šnekovými lisami s odvodušněním. Janák a Staník [5] se zabývali možnostmi snížení obsahu rozdělovací vody v cihlářském těstě za použití sulfitového výluhu, sody, vodního skla a směsi sody a vodního skla. Nejúčinnější je sulfitový výluh – na 1 % přídavku sušiny se sníží obsah vody asi o 1,4 %, počítáno na celkovou hmotnost vlhkého těsta. Matějka a Krajčí [6] posuzovali na čtyřech cihlářských zeminách vliv přísady sulfitových výluhů na vlastnosti plastického těsta, které nevýrazně zpomalily průběh sušení při nepatrném snížení obsahu rozdělovací vody, zvýšily pevnost výsušků a zkrátily dobu odležení. Rimpel a Rehm [7] na šesti různých cihlářských zeminách posuzovali vliv šesti typů ztekucovadel – maximální snížení obsahu rozdělovací vody o 2,5 % (z 36,7 % na 34,2 %) bylo dosaženo při použití ztekucovadla Fabutit 734 (z chemického hlediska polyfosfát sodný), který se projevil obecně, jako nejúčinnější ztekucovalo mezi všemi zkoušenými (dále zkoušeny mj. soda, lignosulfany, humitany, silikofosfáty apod.). Každý typ cihlářské zeminy ovšem reagoval na různý typ ztekucovadla odlišně, což jen potvrzuje komplikovanost ztekucení cihlářských plastických těst. Junge a Rimpel [8] toto tvrzení



dokazují na dvou jílech používaných pro výrobu lícových cihel, resp. zdících tvarovek. Zatímco jeden jíl vykázal snížení obsahu rozdělovací vody o 1,7 % (1,5 %) při použití příměsí směsi blíže nespecifikovaných humitanů a anorganických stabilizátorů (polymerních siliko-fosfátových pojiv), druhý jíl byl neztekutitelný. Komplexní analýzu účinku draselného vodního skla, standardního ztekucovadla v jemné keramice, na vlastnosti cihlářského plastického těsta i vypáleného střepu prováděl Kühn a Krčmar [9] – s rostoucím podílem vodního skla rostl i obsah rozdělovací vody se všemi důsledky pro vypálený střep (zvyšování pórovitosti, snížení pevnosti apod.). Komplexní posouzení vlivu tripolyfosfátu sodného v cihlářské směsi pro výrobu pálených střešních tašek [10] – [12] prokázalo výhody tohoto ztekucovadla – snižuje množství rozdělovací vody a přispívá k tvorbě hutnějšího střepu (jako tavivo).

Cílem článku je přinést srovnání účinku dvou odpadů, které svou podstatou mohou být účinnými ztekucovadly v cihlářské technologii. Ta je schopna využít pouze přísady vyžadující minimální investice. Na rozdíl od doposud publikovaných výsledků výzkumů, které se zaměřily na interakci mezi ztekucovadly a cihlářskými zeminami, byly experimenty prováděny na surovinové směsi pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM čili na surovinové směsi obsahující lehčivo (směs pilin a papírenského kalu). Posuzován byl především vliv optimálního obsahu ztekucovadla, stanoveného na suspenzích v rotačním viskozimetru, na obsah rozdělovací vody, délkové změny sušením, citlivost k sušení a vlastnosti vypáleného střepu.

## Experimentální část

### Použité suroviny a jejich vlastnosti

K provedení experimentů byla použita surovinová směs pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM, která sestává ze směsi jílu a sprašové hlíny (plastické složky), křemenného písku (ostřivo), dřevěných pilin a papírenského kalu (vyhořívající lehčivo). Surovinová směs byla připravena průmyslově (v cihelně) a byla odebrána na konci úpravnické linky za protlačovacím mísidlem, které předchází vytvářecímu zařízení (šnekový lis). Pro další experimenty byla směs vysušena při 60 °C do konstantní hmotnosti a poté pomleta v laboratorním kulovém mlýně za sucha. Jako ztekucovadla byly použity následující látky:

- **Sulfitový výluh** – organická látka (lignosulfan) v podobě kapaliny hnědé barvy, která vzniká jako vedlejší produkt při výrobě buničiny. Ve stavebnictví se používá jako plastifikátor do betonu, dále při briketizaci uhlí a uhelného prachu apod. Do výrobní směsi dávkován v obsahu 1 % hmotnostní (z hmotnosti sušiny výrobní směsi). Technické vlastnosti sulfitového výluhu jsou podrobně popsány v literatuře [13].
- **DOPOFOS** – druhotná surovina vznikající jako vedlejší produkt při zpracování extrakční kyseliny fosforečné (KFE). Jedná se o směs málo rozpustných fosforečnanů a hydroxyfosforečnanů kovů 3. a 4. analytické skupiny, především Mg, Al, Fe, které se z KFE vysrážejí při její neutralizaci sodnými surovinami – sodou nebo hydroxidem sodným. Sraženina je od roztoku sodných solí oddělována vakuovou filtrací a z filtru odchází jako filtrační koláč s vlhkostí ca 30 % a obsahem  $P_2O_5$  asi 35 %. Řádově vzniká několik tisíc tun za rok. V porovnání se standardními ztekucovadly se DOPOFOS vyznačuje výrazně nižší rozpustností (asi 1,3 g/100 g vody, což je cca 10x méně, nežli u tripolyfosfátu sodného). Do výrobní směsi byl dávkován v rozdělovací vodě, která byla připravena jako nasycený roztok DOPOFOSU při 22 °C.

Tabulka 1: Chemické složení ztekucovadla DOPOFOS

Vzorek	Obsah složky (hmotn. %)											Suma
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	CaO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZŽ	
Dopofos	0,28	0,44	2,30	9,50	0,09	0,17	0,29	0,02	31,10	48,31	5,98	98,48

## Výroba zkušebních vzorků

Vliv odpadních ztekucovadel na reologické vlastnosti zkoušené výrobní směsi byl posuzován na suspenzích, které byly jednotlivě připraveny smísením pomleté směsi s danou dávkou ztekucovadla, která vyplynula z měření probíhajících na použité cihlářské zemině bez příměsi lehčiv [14], a konstantní dávky vody (78 %) pro dosažení vhodné viskozity suspenze pro měření v rotačním viskozimetru (Schleibinger Viskomat NT). DOPOFOS byl dávkován v rozdělovací vodě jako nasycený roztok při laboratorní teplotě (22 °C) v důsledku jeho nízké rozpustnosti ve vodě. Pro porovnání byla připravena referenční směs bez ztekucovadel. Takto připravené suspenze byly krátce (5 min) promíseny vrtulovým mísidlem a dále míseny v uzavřených plastových nádobách v laboratorním homogenizátoru po dobu 24 hodin před vlastním měřením v rotačním viskozimetru, který umožňuje sledování hodnoty krouticího momentu při míchání suspenze při nastavených otáčkách (tabulka 2). Zkouška byla prováděna po 1 (krouticí moment  $q_1$ ) a po 7 dnech ( $q_7$ ) uložení připravené suspenze z pomleté surovinové směsi v uzavřených nádobách.

**Tabulka 2: Nastavený režim otáček u rotačního viskozimetru**

Čas [min]	Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]
0 – 2	50
2 – 4	100
4 – 6	150
6 – 8	100
8 – 10	50

Připravené suspenze s optimálním obsahem ztekucovadla byly po měření ve viskozimetru vysoušeny v laboratorních podmínkách na vlhkost odpovídající plastickému těstu o deformačním poměru  $d = 0,6$  podle Pfefferkorna (ČSN 72 1074). Poté byly z plastického těsta vytvářeny zkušební cihelky o rozměrech 100x50x20 mm ručním stloukáním do kovové formy. Na výliscích byla stanovena citlivost k sušení podle Bigota CSB (ČSN 72 1565 – 11). Po přirozeném vysušení výlisků při laboratorních podmínkách (teplota  $20 \pm 3$  °C, relativní vlhkost  $50 \pm 5$  %) byly vzorky dosušeny v laboratorní sušárně do konstantní hmotnosti při teplotě 110 °C. Byla stanovena pracovní vlhkost těsta  $w_p$  podle ČSN 72 1074 a délková změna sušení DS (ČSN 72 1565 – 5). Analogicky byla stanovována i délková změna pálením DP.

Po vysušení byly vzorky vypalovány podle ČSN 721565 -4 v elektrické laboratorní peci při teplotě 950 °C, což teplota výpalu, která svým účinkem podle standardních identifikátorů teploty (Bullersovy kroužky [15]) odpovídá výpalu používanému v době provádění experimentů v cihelně Šlapanice pro výpal zdicích tvarovek typu THERM. Pevnost v ohybu vypálených střepů ( $\sigma_{po,p}$ ) byla zkoušena podle ČSN 72 1565 – 7 na vzorcích o velikosti 120x25x25 mm Použit byl univerzální zkušební stroj TESTOMERIC M350 – 20CT s nastavenou rychlostí zatěžování 10 N/s a vzdáleností podpěr 80 mm. Pevnost v tlaku byla zkoušena na nařezaných a zabroušených vzorcích o ploše 20 x 20 mm.

Jednotlivé parametry pórové struktury vypálených střepů (nasákavost NV, objemová hmotnost OH, zdánlivá pórovitost PZ a zdánlivá hustota ZH) byly stanovovány podle ČSN 72 1565 – 6.

## Výsledky a diskuse

Z dosažených výsledků vyplývá (tabulka 3), že sulfitový výluh i odpad z výroby fosfátů DOPOFOS jsou schopny ztekutit cihlářskou surovinovou směs obsahující lehčiva (papírenský kal a piliny) v podobě suspenze. Nejvýraznější ztekucovací schopnost po 1 dni i po 7 dnech odležení suspenze má sulfitový výluh, méně výrazně také ztekutí suspenzi nasycený roztok DOPOFOSU.

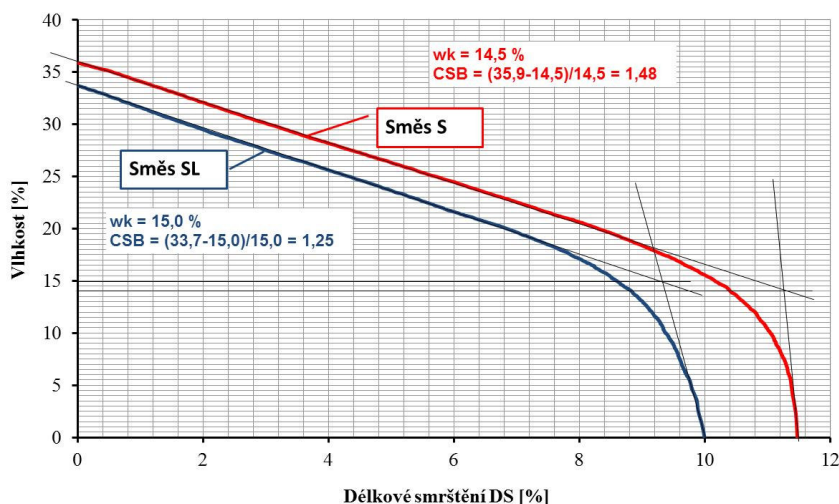
**Tabulka 3 : Označení jednotlivých směsí a jejich viskozita po 1 dni ( $q_1$ ) a po 7 dnech ( $q_7$ )**

Vzorek	ztekucovadlo	dávka [%]	$q_1$ [N.mm]	$q_7$ [N.mm]
<b>S</b>	referenční	–	92,2	101,0
<b>SL</b>	sulfitový výluh	1,0	73,3	92,6
<b>SD</b>	DOPOFOS	nasycený roztok	82,1	96,1

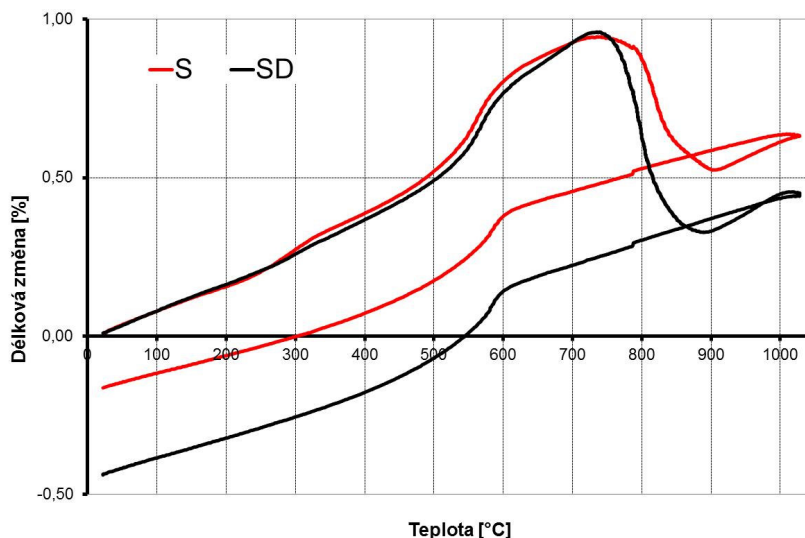
Efekt snížení obsahu rozdělovací vody po přidavku sulfitového výluhu i odpadu DOPOFOS je patrný i u vzorků vytvořených z plastického těsta (tabulka 4). Příměs 1 % sulfitového výluhu snižuje obsah rozdělovací vody nejvíce (o 2,2 %) v porovnání s referenční směsí S. S touto skutečností pak také korespondují délkové změny sušením, které jsou obecně u výlisků s obsahem obou ztekucovadel nižší, nežli u směsi referenční. Snížení obsahu rozdělovací vody při použití obou ztekucovadel se také projevilo na snížení koeficientu citlivosti k sušení CSB podle Bigota. V případě použití sulfitového výluhu navíc o 0,5 % vzrostla hodnota kritické vlhkosti  $w_k$ , což mělo za následek nejvýraznější snížení hodnoty koeficientu citlivosti k sušení CSB (obrázek 2). Při zkoušce pevnosti v ohybu vysušených vzorků se projevilo přidavek ztekucovadel také pozitivně – nejvyšší pevnost v ohybu 6,8 MPa dosahoval vzorek s přidavkem ztekucovadla DOPOFOS a obecně obě ztekucovadla zvýšila pevnost v ohybu výsušku o 2,3, resp. 2,6 MPa v porovnání s pevností v ohybu u výsušku ze směsi referenční.

**Tabulka 4: Vlastnosti směsí v závislosti na druhu ztekucovadla**

Vzorek	DS [%]	$\sigma_{po-s}$ [MPa]	$w_r$ [%]	$w_k$ [%]	CSB [-]	Směs
S	-10,9	4,2	35,9	14,5	1,48	Surovina středně citlivá k sušení
SL	-10,1	6,5	33,7	15,0	1,25	Surovina středně citlivá k sušení
SD	-10,5	6,8	34,6	14,5	1,38	Surovina středně citlivá k sušení



**Obrázek 1: Porovnání průběhu Bigotovy křivky vzorků ze směsi S a směsi SL**



**Obrázek 2: DKTA porovnávaných směsí S a SD**

**Tabulka 5: Vlastnosti vzorků po výpalu**

Vzorek	NV [%]	OH [kg.m <sup>-3</sup> ]	PZ [%]	ZH [kg.m <sup>-3</sup> ]	Pevnost v ohybu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]
S	25,4	1586	40,2	2653	7,7	21,1
SL	25,8	1580	41,0	2690	7,4	22,7
SD	23,7	1635	38,7	2668	8,6	24,3

Příměs sulfitového výluhu nepatrně zvyšuje nasákavost střepu, a to v důsledku vyhořívání organických látek. Přídavek ztekucovadla DOPOFOS naopak nasákavost snižuje o 1,7 % (zvyšuje objemovou hmotnost střepu o 47 kg.m<sup>-3</sup>) v porovnání se střepem ze směsi referenční a lze jej tedy zařadit mezi taviva. Na základě porovnání křivek DKTA stanovených při výpalu střepů ze směsí S a SD (obrázek 2) lze s tavicím účinkem odpadu DOPOFOS počítat od teploty 750 °C, kdy střep ze směsi SD se výrazněji zhutňuje, nežli střep referenční S. Toto zhutnění je od teploty 900 °C zastaveno v důsledku tvorby anortitu, neboť použitá směs cihlářských zemin je vápenatá. Pevnost v ohybu vypálených střepů je nejvyšší u vzorku obsahujícího odpad DOPOFOS – 8,6 MPa.

## Závěr

V laboratorních podmínkách bylo prokázáno, že použitím vhodných ztekucovadel lze příznivě ovlivnit také technologii cihlářské výroby. Oba posuzované odpady prokázaly schopnost snížit obsah rozdělovací vody a délkové změny během sušení plastického těsta a tím příznivě snížit citlivost zkoušené surovinové směsi k sušení. Je možno i počítat s vyšší pevností výsušku v ohybu. DOPOFOS se během výpalu chová jako tavivo a snižuje pórovitost vypáleného střepu při současném zvýšení jeho pevnosti. Pro zkoušenou cihlářskou směs určenou pro výrobu lehčených tepelně izolačních tvarovek typu THERM je možné doporučit jako vhodné ztekucovadlo sulfitový výluh v optimálním obsahu 1,0 hmotn. % na sušinu výrobní směsi.

## Poděkování

*Příspěvek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.*

## Literatura

- [1] Pytlík, P.: *Cihlářství*. CERM, Brno 1996.
- [2] Hanykýř, V., Kutzendörfer J.: *Technologie keramiky*. Vega, Hradec Králové 2000.
- [3] Kallauner O.: Nové výzkumy v oboru cihlářském. *Stavivo* 19 (14) 1933.
- [4] Kallauner O.: Pokroky v oboru cihlářském v roce 1934. *Stavivo* 71 (15) 935.
- [5] Janák O., Staník V.: Znížení obsahu rozbrábacej vody v keramickom ceste. *Stavivo* 11 (33) 1955.
- [6] Matějka, J., Krajčí, Š.: Vliv přísady sulfitových výluhů na vlastnosti cihlářských těst. *Stavivo* 7 (34) 1956.
- [7] Rimpel, E., Rehme, F.: *Additives to reduce the extrusion moisture and the power consumption in the shaping process. Ziegelindustrie International Annual 2004*. Bauverlag, Wiesbaden und Berlin 2004.
- [8] Junge, K., Rimpel, E.: Reducing of the mixing water content and higher produkt quality of solid bricks. *Ziegelindustrie International* 5 (48) 1999.
- [9] Kühn H., Krčmar W.: The influence of water glass on the properties of specimen bricks, *Ziegelindustrie International* 10 (52) 2004.
- [10] Sokolář, R.: Vliv tripolyfosfátu sodného na vlastnosti střepu pálených tašek (část I). *Silika* 1-2 (18) 2008.
- [11] Sokolář, R.: Vliv tripolyfosfátu sodného na vlastnosti střepu pálených tašek (část II). *Silika* 3-4 (18) 2008.

- [12] Sokolář, R.: Vliv tripolyfosfátu sodného na vlastnosti střepu pálených tašek (část III). *Silika* 5-6 (18) 2008.
- [13] Borišek, R., Šála, J., Svatoň, M.: *Sulfitové výluhy a jejich zužitkování*. SNTL, Praha 1953.
- [14] Sokolář, R., Vodová, L.: Ztekucovadla v cihlářské technologii a jejich vliv na vlastnosti výrobní směsi. *Keramický zpravodaj* 6 (26) 2010.
- [15] Sokolář, R.: Metodika posuzování ekvivalence provozního a laboratorního výpalu. *Keramický zpravodaj* 4 (26) 2010.

## **Application of waste deflocculants in brickmaking technology**

**Radomir Sokolar, Lucie Vodova**

*Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Institute of Technology of Building Materials and Components, Veveri 95, 602 00 Brno, Czech Republic*

### **Summary**

*Two types of waste deflocculants (sulphite liquor and waste from the production of sodium phosphates DOPOFOS) were tested as deflocculants for the production of brickmaking masonry units THERM. Both additives reduce the mixing water, drying sensitivity and drying shrinkage. DOPOFOS also acts as a flux – reduces water absorption of fired body, and increases its strength.*

**Keywords:** brickmaking, deflocculation, mixing water.

# Dimenzionálne zmeny recyklovaných buničinových vlákien

**Iveta ČABALOVÁ**

Katedra chémie a chemických technológií, Drevárska fakulta,  
Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen  
E-mail: cabalova@vsld.tuzvo.sk

## Súhrn

Recyklácia papiera je praktizovaná mnoho rokov. Aj napriek ekonomickej výhode, recyklované vlákna majú nižšie pevnostné vlastnosti v porovnaní s pôvodnými. Pomocou prístroja Fiber Tester (L & W Pulp Tester) bola hodnotená morfológia vlákien, šírka, dĺžka, faktor tvaru, jemný podiel a uhly odklonu vlákien. Recyklovaná buničina bola vyrobená zo zmesi ihličnatých drevín. Osemkrát recyklované buničinové vlákna, boli sušené pri troch teplotách 80, 100 a 120 °C. Zmeny rozmerových parametrov boli zrejme najmä po piatej recyklácii, kedy došlo k poklesu pevnostných vlastností, čo súvisí s ukončením vonkajšej fibrilácie a rozvinutím vnútornej fibrilácie a delaminácie vlákien. Vplyv počtu recyklácie na vybrané vlastnosti vlákien bol zrejmy po každom stupni recyklácie a tento účinok sa v najväčšej miere prejavil pri najvyššej teplote sušenia, 120 °C. Po 8. recyklácii sme pri tejto teplote zaznamenali pokles podielu vlákien v triedach od 2 – 3 mm a od 3 – 7,5 mm, spolu o 38 % a nárast podielu kratších vlákien (od 0,2 – 1 mm) o 44 % v porovnaní s pôvodnou buničinou. Zmeny rozmerových parametrov buničinových vlákien sa prejavili predovšetkým v mechanických vlastnostiach papiera (tržná dĺžka, pevnosť v dotrhnutí).

**Kľúčové slová:** teplota sušenia, buničinové vlákna, recyklačný proces, šírka vlákien, dĺžka vlákien, uhol odklonu vlákien, Fiber Tester

## Úvod

Kvalita papiera závisí od vlastností vlákien a vlastnosti vlákien je možné merať s modernými automatickými mikroskopickými technológiami v kombinácii s technológiou analýzy obrazu. Veľmi dôležitými parametrami kvality vlákien sú ich rozmerové charakteristiky (dĺžka a šírka). Tieto parametre sú dôležité pre charakter buničiny a kvalitu papiera. Pre opis kvality papiera sú potrebné tiež ďalšie vlastnosti, ako napríklad: deformácia vlákien počas procesu ich spracovania, hrúbka a prierez vlákna, jemný podiel vlákien, optické vlastnosti ako belosť a opacita. Dôležitou vlastnosťou je tiež priemerný polymerizačný stupeň, ktorý spolu s polydisperzitou ovplyvňuje vlastnosti buničín pri ich ďalšom spracovaní. Tieto údaje sa dajú získať pomocou viskozimetrie alebo gélovej permeačnej chromatografie (Čabalová et al., 2009, 2011a,b, Čabalová, Geffert, 2009, Kačík et al., 2009, Kučerová, Halajová, 2009).

Na meranie rozmerových charakteristík je mnoho metód, známy je FQA (Fiber Quality Analyser), ktorý je prototypom IFA (Imaging Fiber Analyser) a tiež tzv. Kajaani FS-200 fiber-length analyser. Tie, podobne ako Fiber Tester, merajú dĺžku, rôzne odklony vlákien a ich uhly. Koreláciu medzi metódami FQA a Kajaani FS-200 vo svojom článku uvádzajú Robertson et al., (1999). Pomerne novou metódou merania šírky vlákien je aj SEM (Scanning Electron Microscop) (Bennis et al., 2009). Charakter vlákien závisí od druhu dreviny, rastových podmienok, technológie výroby buničín. Jedným z dôležitých parametrov je dĺžka vlákna, ktorej pokles môže znamenať zhoršenie mechanických vlastností papiera (Seth, 2003). Znižovanie dĺžky znamená menej kontaktov vlákno-vlákno, čo ovplyvňuje formovanie papierového listu (Kerekes, Schell, 1993). Šírka sa pozdĺž vlákna mení, preto sa vyjadruje jeho priemerná šírka. Jemný podiel v papieri tvorí jeho dôležitú časť, môže významne ovplyvniť mechanické (Seth, 2003), optické vlastnosti papiera a odvodňovaciu schopnosť papieroviny (Retulainen et al., 1993). Drobné čiastočky v buničine spomaľujú odvodňovaciu schopnosť vláknovej suspenzie. Suspenzia je charakterizovaná rozdielnou reológiou vlákien a závisí od vzájomného pôsobenia drobných čiastočiek a na ich hydratácii (Kang & Paulapuro, 2006).

Medzi prístroje, ktorými sa môžu analyzovať rôzne vlastnosti a charakteristiky vlákien, ako je dĺžka, šírka vlákna, jemný podiel a rôzne deformácie vlákien a percentuálne zloženie zmesnej buničiny patrí L&W Fiber Tester (výrobca- Lorentzen & Wettre Švédsko). Percentuálne zloženie zmesnej buničiny sa stanovuje Blend modulom prístroja L&W Fiber Tester (pomocou tzv. referenčných buničín, t.j. štandardne vyrábanej čistej listnáčovej a ihličnáčovej buničiny vlozenej do prístroja). Uvedená metóda je presná a rýchla. Meranie je založené na princípe dvojdimenzionálnej obrazovej technológie. Pri každom meraní sa vyhodnocuje minimálne 20 000 vlákien prítomných vo vzorke (Rázgová, 2007).

## **Experimentálna časť**

Na prístroji L&W Fiber Tester sa uskutočnilo stanovenie vlastností buničinových vlákien vyrobených zo zmesi ihličnatých drevín. Celý proces výroby a spracovania vlákien pozostával z rozvláknenia (STN EN 5263), mletia na cca 30 °SR (STN ISO 5264 – 2), stanovenia stupňa mletia (STN ISO 5267 – 1) a sušenia pri troch teplotách 80, 100 a 120 °C. Vysušené buničinové vlákna sa znovu recyklovali. Celkovo sa vykonalo 8 recyklácií.

Prístroj L&W Fiber Tester umožňuje analyzovať rôzne vlastnosti a charakteristiky vlákien, ako je dĺžka, šírka vlákna, jemný podiel a rôzne deformácie vlákien (faktor tvaru- shape factor, odklon- kinks). Pri každom meraní sa vyhodnotilo minimálne 20 000 vlákien prítomných vo vzorke. Celý merací cyklus trval 6 minút a zahŕňal nasatie pripravenej vzorky, jej nariadenie v prístroji, samotnú analýzu, vypustenie vzorky a vyčistenie prístroja (držiak vzoriek je ako rotačný disk, ktorý umožňuje pripraviť súčasne 6 vzoriek).

Pri výpočte dĺžky vlákna sa vlákno charakterizuje ako pravouholník, ktorého rozmery sú šírka a dĺžka. Dĺžka (L) a šírka (W) sú merané zo všetkých vlákien.

Plocha (A) a obvod (P) sú kalkulované podľa nasledovnej rovnice :

$$A = L \times W \quad P = 2 \times L + 2 \times W,$$

kde:  $A$  = kalkulovaná plocha zisťovaného objektu  
 $P$  = kalkulovaný obvod zisťovaného objektu  
 $L$  = meraná dĺžka zisťovaného objektu  
 $W$  = meraná šírka zisťovaného objektu.

## **Jemný podiel (Fines)**

Jemný podiel sú vlákna do dĺžky 0,2 mm. Jemný podiel má negatívny vplyv na odvodňovaciu kapacitu papierenského stroja.

## **Deformácie vlákien**

### **Faktor tvaru (Shape factor)**

Je definovaný ako pomer zobrazenej dĺžky (= spojnice medzi koncami vlákien) ku skutočnej dĺžke vlákna (= dĺžka pozdĺž obrysu vlákna)

$$S = 100 \times l / L (\%)$$

Do štatistiky nie sú zahrnuté vlákna s faktorom pod 50 %, pretože veľmi málo vlákien má takýto faktor tvaru. Distribúcia faktora tvaru je v 50 triedach, rozdelených po 1 %, rozsah 50 – 100 %.

## **Odklon (Kinks)**

Kinks sú zisťované ako zmena hlavného smeru priamky vlákna, sú to lokálne deformácie ako preliačiny, záhyby, zvitky a stlačenia vo vlákne.



Údaje z merania odklonu sú : – odklon (mm), – odklon / vlákno, – odklon nad 60°, – priemerná dĺžka segmentu (= priemerná vzdialenosť medzi odklonmi), – priemerný uhol odklonu (Rážgová, 2007, Karlsson, 2006, L&W Fiber Tester).

Kink a shape často korelujú. Prítomnosť lokálnej deformácie nám dáva informáciu, že vlákna majú oslabené miesta. Tieto slabé miesta sú pravdepodobne dôležité pre pevnosť vlákien.

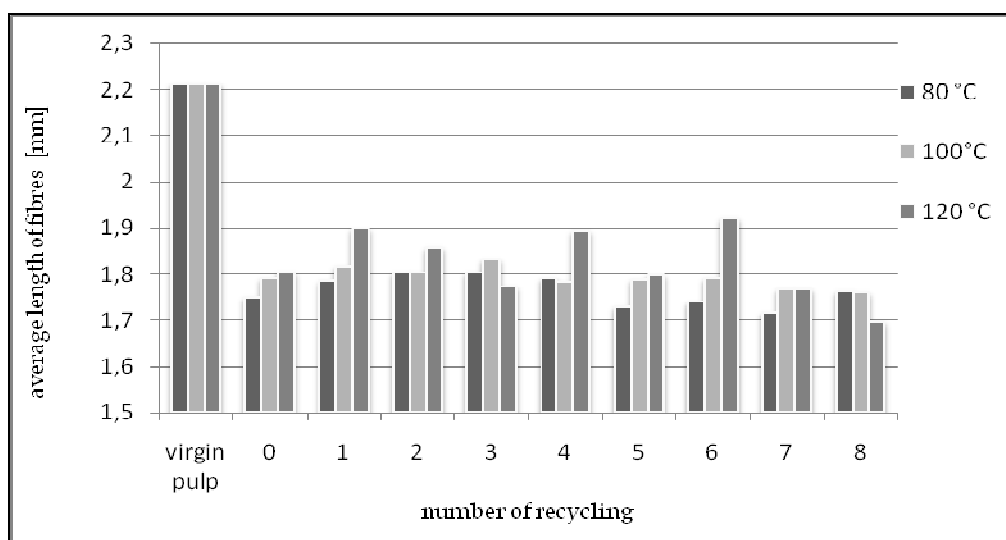
Cieľom tejto práce bolo sledovať a posúdiť zmeny vlastností a charakteristík ihličnáčových buničinových vlákien po ich recyklácii a sušení.

## Výsledky a diskusia

V nasledujúcich grafoch a tabuľkách sú zaznamenané výsledky štyroch meraní, v rámci každého druhu buničiny (po každom mletí, pri jednotlivých teplotách sušenia a pôvodná buničina, celkovo 28 vzoriek), pričom prístroj v jednej vzorke buničiny vyhodnotil 20 000 vlákien.

### Dĺžka vlákien

Obrázok 1 zobrazuje priemerné hodnoty dĺžky ihličnáčových (bielených) vlákien, sušených pri troch teplotách: 80, 100 a 120 °C, v procese osemnásobnej recyklácie.



**Obrázok 1: Vplyv počtu recyklácií a teploty sušenia papiera na dĺžku ihličnáčových vlákien.**

Dĺžka ihličnáčového vlákna pôvodnej buničiny sa pohybovala od hodnoty 2,193 mm až po hodnotu 2,227 mm, pričom priemerná dĺžka bola 2,212 mm. Molteberg, Høibø (2006) uvádzajú priemernú dĺžku buničinových vlákien smreka obyčajného 2,27 mm a Hildén et al. (2005) dĺžku 2-4 mm a šírku 20-40 µm.

Počas recyklácie došlo ku kráteniu týchto vlákien a na konci tohto procesu bola ich priemerná dĺžka 1,763 mm (teplota sušenia 80 °C), 1,760 mm (teplota sušenia 100 °C) a 1,697 mm (teplota sušenia 120 °C). Najväčšie rozdiely sú viditeľné po 0. recyklácii, kedy došlo k zníženiu priemernej dĺžky jednotlivých vlákien pri teplote sušenia hárkov 80 °C o 17 %, pri teplote 100 °C o 15,6 % a pri teplote 120 °C o 14,6 %. Geffertová, Geffert (2007) zisťovali dĺžky vybraných listnáčových buničinových vlákien, pričom ich hodnoty predstavujú približne polovicu dĺžky ihličnáčových vlákien.

Prístroj L&W Fiber Tester rozdelil namerané hodnoty dĺžky vlákien do dĺžkových intervalov (poskytuje možnosť individuálneho nastavenia rozpätia v jednotlivých intervaloch) **od 0,2 do 0,5 mm, od 0,5 do 1,0 mm, od 1,0 do 2,0 mm, od 2,0 do 3,0 mm, od 3,0 do 7,5 mm.**

Najväčší podiel vlákien sa nachádzal v dĺžkových intervaloch od 1,0 – 2,0 mm. Percentuálny podiel vlákien v tomto intervale sa v priebehu recyklačného procesu významne nemenil.

U pôvodnej buničiny sa v intervale od 0,2 – 0,5 mm nachádzalo len 4,95 % vlákien a po ôsmej recyklácii to bolo 8,88 %, v intervale od 0,5 – 1,0 mm u pôvodnej buničiny táto hodnota bola 12,10 % a po ôsmej recyklácii 19,38 %. A naopak, kým u pôvodnej buničiny sa v dĺžkovom intervale od 3,0 – 7,5 mm nachádzalo 21,68 % vlákien, po ôsmej recyklácii to bolo len 11,23 %.

Z pohľadu štatistiky sa ako významná javí pôvodná buničina vzhľadom ku každému stupňu recyklácie. Štatisticky významná je piata recyklácia, vlákna v intervale od 3 – 7,5 mm, kedy došlo k poklesu mechanických vlastností (tržnej dĺžky a pevnosti v dotrhnutí) hárkov papiera (Čabalová, 2010).

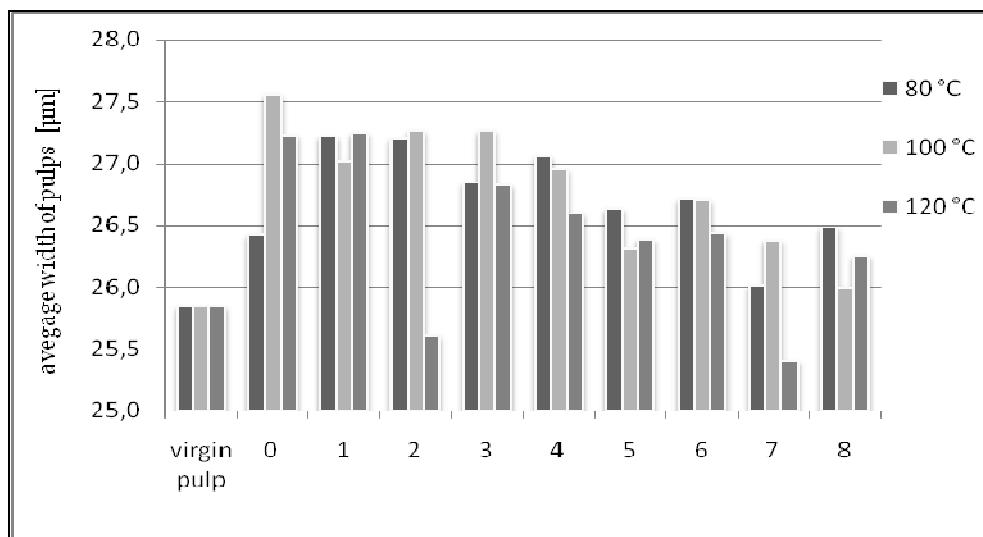
Pri teplote sušenia hárkov 100 °C, sa najväčší podiel vlákien, podobne ako pri 80 °C, počas celého recyklačného procesu nachádzal v intervale od 1,0 – 2,0 mm. U pôvodnej buničiny sa v dvoch najmenších intervaloch nachádzal len malý percentuálny podiel vlákien (spolu 17,05 %), kým po ôsmej recyklácii sa tento výrazne zvýšil o 11,47 % (spolu 28,52 %) a naopak znížilo sa percentuálne zastúpenie vlákien nachádzajúcich sa v intervale od 3,0 – 7,5 mm o 10,58 % oproti pôvodnej buničine. Opäť sa ako štatisticky významná javí pôvodná buničina vzhľadom k ostatným stupňom recyklácie. V prvých troch frakciách je signifikantne menšie a vo štvrtej a piatej signifikantne väčšie zastúpenie vlákien.

Asi najväčšie presuny medzi jednotlivými dĺžkovými intervalmi, sa udiali pri teplote sušenia 120 °C. V prvých dvoch intervaloch sa u vzoriek z pôvodnej buničiny nachádzalo spolu 17,05 % vlákien, čo po ôsmej recyklácii znamenalo nárast o 13,6 % (o 2,39 % viac ako pri teplote sušenia 100 °C) a znovu výraznejšie zníženie podielu v intervale od 3,0 – 7,5 mm o 10,68 % oproti pôvodnej buničine (iba o 0,1 % viac ako pri 100 °C). Po 5. recyklácii sa výrazne znížil podiel vlákien v najdlhších dvoch intervaloch (došlo k poklesu percentuálneho podielu vlákien o 10,2 % oproti 4. recyklácii) a práve po tomto stupni mletia bol zaznamenaný výrazný pokles mechanických vlastností hárkov papiera. Zo štatistického hľadiska je, v každom dĺžkovom intervale, významná pôvodná buničina v porovnaní s každým stupňom recyklácie a ako štatisticky veľmi významné sú zmeny, ktoré sa udiali v dĺžkovom intervale od 2 – 3 mm. Nárast podielu dlhých vlákien po 6. recyklácii môže súvisieť s tým, že opakovaným mletím a sušením dochádza ku tvorbe krátkych vlákien, z ktorých veľká časť sa odplavuje pri odvodňovaní papieroviny. Keď sa táto časť odplaví, dlhšie vlákna budú vo frakcii predstavovať o niečo vyšší percentuálny podiel. Táto recyklácia je sprevádzaná aj nárastom mechanických vlastností (hlavne pevnosti v dotrhnutí) hárkov papier a je charakterizovaná začiatkom vnútornej fibrilácie buničinových vlákien (Čabalová, 2010). Z pohľadu štatistiky je v prvých troch frakciách signifikantne menšie a vo štvrtej a piatej signifikantne väčšie zastúpenie vlákien.

### **Šírka vlákien**

Graf na obrázku 2 zobrazuje namerané hodnoty priemernej šírky ihličnáčových vlákien, ktorá sa v procese osemnásobnej recyklácie menila v rámci všetkých troch sledovaných teplôt sušenia.

Prvé mletie spôsobilo, že pôvodne hladké vlákna sa fibrilovali, čoho následkom bolo zväčšenie ich šírky. V dôsledku ďalšieho mletia sa vlákna fibrilovali ešte viac a niektoré makromolekuly celulózy sa začali postupne uvoľňovať a odplavovať pri odvodňovaní papieroviny. Fibrilácia vlákien, ktorá spôsobuje zväčšenie ich povrchu, je žiaduca, lebo dodáva vláknu schopnosť tvoriť medzivláknové väzby a tým zabezpečuje pevnosť papiera.



**Obrázok 2: Vplyv počtu recyklácií a teploty sušenia papiera na šírku ihličnáčových vlákien**

Predpokladá sa, že najpevnejšia medzivláknová väzba v papieri sa dosiahne, ak sa vlákna viažu medzi sebou cez fibrilované povrchy steny  $S_2$ . Menej pevná je medzi ostatnými povrchmi upraveného vlákna (Bučko, 2001). Koniec vonkajšej fibrilácie (5. recyklácia) malo za následok pokles priemernej šírky vlákien a tiež mechanických vlastností hárkov papiera a pokračovanie vnútornej fibrilácie (fibrilácia  $S_2$  vrstvy bunkovej steny) (6. recyklácia) nárast sledovaných vlastností pri všetkých troch teplotách sušenia (Čabalová, 2010). Pokles mechanických pevností so sebou nesie aj zlepšenie niektorých úžitkových vlastností, čo sa prejavilo nárastom belosti a opacity hárkov papiera po 5. recyklácii (Čabalová, Geffert, 2010).

### Faktor tvaru

Ihličnáčové vlákna sú dlhšie ako listnáčové, teda aj menej rovné. Vysoká hodnota faktora tvaru znamená, že vlákno je rovnejšie.

Vlákna z dĺžkového intervalu od 0,2 – 0,5 mm mali najvyšší faktor tvaru a počas recyklačného procesu sa menil len minimálne. Najnižší faktor tvaru bol zaznamenaný pri vláknach z dĺžkového intervalu od 3,0 – 7,5 mm.

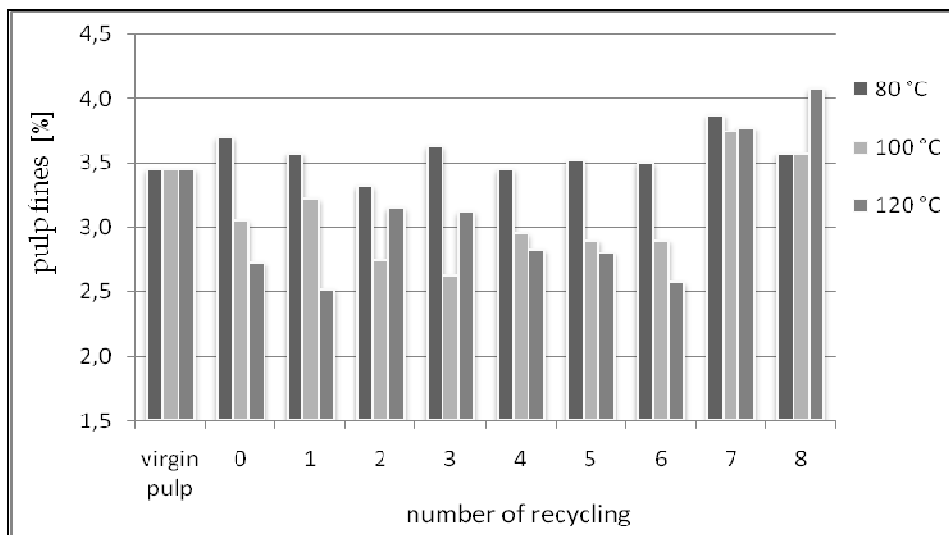
Podobne ako pri teplote 80 °C aj pri teplote sušenia 100 °C mali najvyšší faktor tvaru vlákna z najmenšieho dĺžkového intervalu a naopak najvyšší z intervalu od 3,0 – 7,5 mm. Najvýraznejšie zmeny bolo možné pozorovať po prvej recyklácii a taktiež po 7. recyklácii v každom dĺžkovom intervale, kedy sa faktor tvaru výrazne zvýšil, teda došlo k „narovnaniu“ vlákien. Pri tejto teplote sušenia došlo tiež k poklesu priemernej šírky vlákien v jednotlivých dĺžkových intervaloch.

Najväčšie zmeny faktora tvaru sa udiali pri teplote sušenia 120 °C. Druhá a siedma recyklácia mali z pohľadu štatistiky veľký význam. Vysoko teplotné sušenie papiera nemá priaznivý vplyv na kvalitu vlákien. Vysoká teplota znamená, že molekuly vody, nachádzajúce sa na ich povrchu, sa veľmi rýchlo odparia a vlákno viac zoschne. Môže to mať za následok aj vytvorenie menej pevných väzieb medzi jednotlivými vláknami, ktorých povrchy sa nestihli priblížiť natoľko, aby mohli väzby vytvoriť. Na začiatku sušenia mokrého papierového listu medzivláknová väzba začína cez vrstvu vody na povrchu vlákien, po sušení cez monomolekulárnu vrstvu vody a nakoniec sa vodíková väzba uplatní pri úplnom odstránení vody a zblížení povrchov. Výsledkom pôsobenia týchto síl je, že papier a zároveň aj vlákno pri sušení zosychá (Bučko, 2001).

Niektoré vlastnosti papiera sú ovplyvňované zmenami faktora tvaru. Od tohto faktora a od spôsobu sušenia závisí napríklad pevnosť v ťahu (tržná dĺžka) hárkov papiera (Kunnari, 2007).

### Jemný podiel

Z obrázku 3 je vidieť, že najväčší percentuálny podiel vlákien menších ako 0,2 mm bol zaznamenaný práve po siedmej a ôsmej recyklácii, kedy sú vlákna výrazne oslabené ich niekoľkonásobným použitím v procesoch výroby papiera. Ľahšie a rýchlejšie sa melú, počas procesu spracovania bol po každom stupni recyklácie použitý vždy menší a menší počet otáčok na mletie vlákien na 30 °SR (Čabalová, 2010), čoho následkom bola zvýšená tvorba jemného podielu v posledných cykloch ich použitia.



**Obrázok 3: Zmeny jemného podielu vplyvom recyklácie a teploty sušenia.**

Počas recyklačného procesu niekoľkokrát došlo k zvýšeniu a taktiež aj k zníženiu jemného podielu (vlákna kratšie ako 0,5 mm) u všetkých sledovaných teplôt sušenia papiera. Najväčšie výkyvy možno pozorovať pri teplote 120 °C. Tvorba týchto krátkych vlákien súvisí s mletím buničín, kedy dochádza tiež ku ich kráteniu. Časť jemného podielu sa odplaví pri odvodňovaní papieroviny a časť vyplní priestor medzi vláknami, čím sa zvýši opacita papiera (Čabalová, Geffert, 2010).

Recykláciou sa zostávajúce vlákna dostanú do ďalšieho procesu výroby papiera, kde znovu dochádza ku mletiu papieroviny a následne k tvorbe ďalšieho jemného podielu, z ktorého sa určitá časť znovu odplaví pri odvodňovaní. Ako štatisticky významná sa javí 7. a 8. recyklácia pri teplote sušenia 100 a 120 °C.

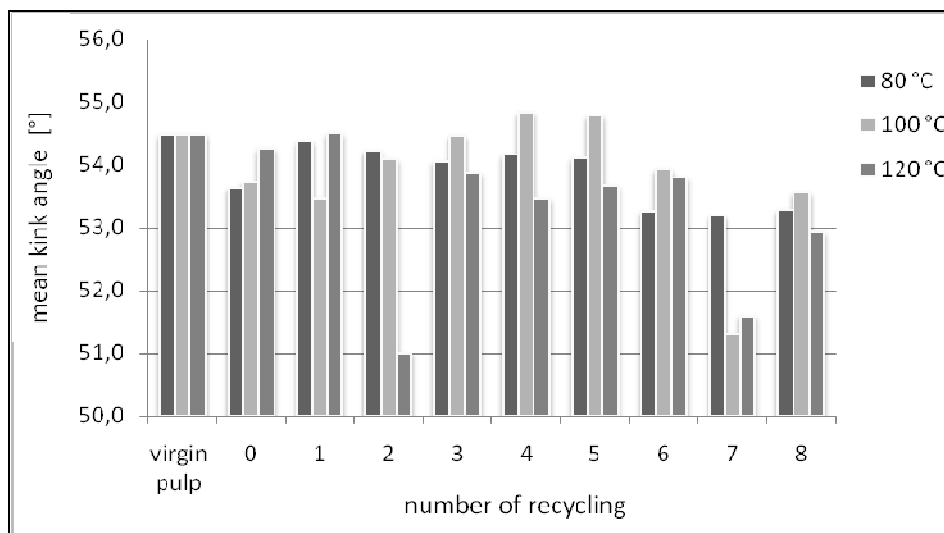
Závislosť medzi poklesom percentuálneho podielu krátkych vlákien (od 0,2 – 0,5 mm) a jemným podielom nebola zistená.

### Uhol odklonu vlákna

Najväčšie zmeny uhlov odklonu vlákien sú viditeľné pri 2. a 7. recyklácii (120 °C) (obrázok 4), čo môže súvisieť so zvýšením faktora tvaru po týchto recykláciách.

Čím má faktor tvaru vyššiu hodnotu, tým sú vlákna priamejšie, a tým sa zmenší aj uhol odklonu vlákien.

Pri teplote 80 °C nedošlo k veľkým poklesom ani k nárastom týchto uhlov. Pri teplote sušenia 100 °C sme zaznamenali zníženie hodnôt po 7. a 1. recyklácii.



**Obrázok 4: Zmeny uhlov odklonu vlákien vplyvom recyklácie a teploty sušenia.**

Ako štatisticky významná sa javí 6., 7., a 8. recyklácia pri teplote 80 °C, 7. a 8. recyklácia pri teplote 100 °C a 2., 7. a 8. recyklácia pri teplote 120 °C.

## Záver

Z výsledkov získaných pri osemnásobnej recyklácii bielených ihličnáčových buničín, sušených pri teplotách 80 °C, 100 °C a 120 °C vyplýva, že z hľadiska sledovaných charakteristík: dĺžky, šírky vlákien, percentuálneho zastúpenia vlákien v jednotlivých dĺžkových intervaloch, faktora tvaru, jemného podielu a uhla odklonu vlákien, možno povedať, že najväčšie zmeny sa udiali pri najvyššej teplote sušenia 120 °C.

Významné je zníženie priemernej dĺžky vlákien po ôsmej recyklácii v porovnaní s pôvodnou buničinou, pričom celkový pokles bol pri teplote sušenia 80 °C o 20,3 %, pri teplote 100 °C o 20,4 % a pri teplote 120 °C o 23,3 %.

Pri teplotách sušenia buničinových vlákien 80 °C a 100 °C sa najvýraznejší javí pokles percentuálneho podielu vlákien v najdlhších dĺžkových triedach (od 2-3 mm a od 3- 7,5 mm), a ten bol po prvom mletí (0. recyklácia), pričom v ďalších stupňoch mletia sa tento významne nemenil. U teploty sušenia 120 °C sa percentuálne zastúpenie vlákien menilo najviac pričom po 8. recyklácii sme zaznamenali pokles podielu vlákien v triedach od 2-3 mm a od 3-7,5 mm, spolu o 38 % a nárast podielu kratších vlákien (od 0,2-1 mm) o 44,4 % v porovnaní s pôvodnou buničinou.

Šírka vlákien sa menila v závislosti od ich fibrilácie, pričom v niektorých stupňoch mletia došlo k intenzívnejšiemu odlupovaniu fibríl, čo miestami spôsobovalo zníženie ich priemernej hodnoty.

Zmena faktoru tvaru úzko súvisí s uhlom odklonu vlákien, pričom najväčšie zmeny sme zaznamenali pri najvyššej teplote sušenia.

Zmeny rozmerových parametrov buničinových vlákien sa prejavil vo vlastnostiach hárkov papiera. Predovšetkým sa jedná o mechanické vlastnosti (tržná dĺžka a pevnosť v dotrhnutí), kde po 5. recyklácii došlo k významným poklesom pevností.

Z dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že ako najvhodnejšia sa, z pohľadu rozmerových a tým aj mechanických vlastností, javí teplota sušenia buničinových vlákien 80 °C. Možno odporučiť až šesť stupňov recyklácie k dosiahnutiu dobrých mechanických vlastností. Po tejto recyklácii už dochádza k znižovaniu sledovaných pevností, k zníženiu šírky vlákien a tiež ku zvýšenej tvorbe jemného podielu.

## Pod'akovanie

*Děkujeme Českému ekologickému manažerskému centru za umožnění vydávat tento nový recenzovaný časopis.*

## Literatúra

1. ČABALOVÁ, I. 2010. Štúdium a zhodnotenie zmien buničínových vlákien pri ich recyklácii. Dizertačná práca. Technická univerzita Zvolen, 145 s.
2. ČABALOVÁ, I., GEFFERT, A. 2009. Zmeny priemerného polymerizačného stupňa listnáčových a ihličnáčových buničín v procese recyklácie. In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 51(2), s. 79-85. ISSN 1336 – 3824
3. ČABALOVÁ, I., GEFFERT, A. 2010. Sledovanie optických vlastností recyklovaného papiera. In: Zem v pasci? [CD], III. Medzinárodná konferencia Vyhne. 2010. ISBN 978-80-228-2094-3
4. ČABALOVÁ, I., KAČÍK, F., GEFFERT, A., KAČÍKOVÁ, D. 2011a. The effects of recycling and its environmental impact, In: Elżbieta Broniewicz (ed.). In: Environmental management in Practice. INTECH. p. 329- 350. ISBN 978-953-307-686-7
5. ČABALOVÁ, I., KAČÍK, F., SIVÁK, J. 2009. Zmeny distribúcie mólových hmotností celulózy pri recyklácii buničínových vlákien. In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 51(1), s. 11-17, ISSN 1336-3824
6. ČABALOVÁ, I., KAČÍK, F., SIVÁK, J. 2011b. Zmeny polymerizačného stupňa ihličnáčových vlákien vplyvom recyklácie a starnutia. In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 53(1), s. 61-64. ISSN 1336-3824
7. BUČKO, J. 2001. Chemické spracúvanie dreva. Technická Univerzita vo Zvolene. 2001. 427 s. ISBN 80-228-1089-4
8. BENNIS, H., BENSLIMANE, R., VICINI, S., MAIRANI, A., PRINCI, E. 2009. Fibre width measurement and quantification of filler size distribution in paper-based materials by SEM and image analysis. In: Journal of Electron Microscopy. Volume 59, Issue 2, 2009. pp. 91-102. ISSN 00220744
9. GEFFERTO VÁ, J., GEFFERT, A. 2007. Porovnanie vybraných charakteristík sulfátových buničín pripravených z buka, duba, agáta. In: Vybrané procesy pri spracovaní dreva, VII. Medzinárodné sympóziu m. CD. s. 50-56. ISBN 978-80-228-1768-4
10. HILDÉN, L., VÄLJAMÄE, P., JOHANSSON, G. 2005. Surface character of pulp fibres studied using endoglucanases. In: Journal Biotechnology 118(2005) 386-397. ISSN 0168-1656
11. ISO 16065-2: 2007. Pulps. Determination of fibre length by automated optical analysis Part 2: Unpolarized light method
12. KAČÍK, F., GEFFERTO VÁ, J., KAČÍKOVÁ, D. 2009. Charakterizácia celulózy a buničín metódou gélovej permeačnej chromatografie a viskozimetrie. In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 51 (2), s. 93-104. ISSN 1336-3824
13. KANG, T., PAULAPURO, H. 2006. Characterization of Chemical Pulp Fines. In: Tappi Journal. 5. 2006. 2, pp. 25-28
14. KARLSSON, H. 2006. Fibre Guide. Fibre analysis and process applications in the pulp and paper industry. AB Lorentzen & Wetre, Box 4, SE-164 93, KISTA, Sweden, pp. 55-62
15. KEREKES, R.J, SCHELL, C.J. 1993. Effects of fiber length and coarseness on pulp flocculation. In: Tappi Journal, Vol. 78, No. 2, pp. 133-139
16. KUČEROVÁ, V., HALAJOVÁ, L. 2009. Sledovanie zmien recyklovaných buničín metódou gélovej permeačnej chromatografie. In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 51(2), s. 87-92. ISSN 1336 – 3824

17. KUNNARI, V., SALMINEN, K., OKSANEN, A. 2007. Effects of fibre deformations on strength and runnability of wet paper. In: Paperi ja puu. 2007, vol. 89, n°1, pp. 46-49. ISSN 0031-1243
18. MOLTEBERG, D., HØIBØ, O. 2006. Development an variation of wood density, kraft pulp yeild and fibre dimension in young Norway spruce (*Picea abies*). In: Wood Sci Technol. Norway. 2006. 40. pp. 173- 189
19. RÁZGOVÁ, Z. 2007. Náhrada mikroskopického stanovovania percentuálneho zloženia buničín tzv. BLEND MODULOM prístroja L&W Fiber Tester. In: Vybrané procesy pri spracovaní dreva, VII. Medzinárodné sympóziu. CD. s. 97-110. ISBN 978-80-228-1768-4
20. RETULAINEN, E., MOSS, P., NIEMINEN, K. 1993. Transactions of the 10th Fundamental Research Symposium, Pira International, Leatherhead, UK. pp. 727
21. ROBERTSON, G., OLSON, J., ALLEN, P., CHAN, B., SETH, R. 1999. Measurement of fiber length, coarseness, and shape with the fiber quality analyser. In: Tappi Journal. Vol. 82: NO.10 pp. 93-98.
22. SETH, R.S. 2003. The measurement and significance of fines. In: Pulp & Paper Canada 104:2 (2003) III, pp. 41-44
23. STN EN ISO 5263 (50 0220): 1999, Buničiny. Laboratórne rozvlákňovanie za mokra.
24. STN ISO 5264-2 (50 0223): 1996, Buničiny. Laboratórne mletie, 2. časť: Metóda v PFI mlyne.
25. STN ISO 5267-1 (50 0219): 1993, Buničiny. Určenie odvodňovacej schopnosti podľa Schopper – Rieglera.

## Dimensional changes of recycled fibers

**Iveta Čabalová**

*Department of Chemistry and Chemical Technologies, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical Univerzity in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen*  
e-mail: cabalova@vsld.tuzvo.sk

### Summary

*Paper recycling has been practiced for many years. In spite of the economic value, recycled fibres have inferior strength properties compared to those of virgin fibres. Using the Fiber Tester (L&W Pulp Tester) apparatus was monitor the fiber morphology, width, length, shape factor, fines, and kinks. Recycled pulp was made from the mixture of softwood. The number of recycling process was eight and the temperatures of pulps drying where 80 °C, 100 °C and 120 °C. After the fifth recycling faulted changes were observable in dimensional properties. There was a decrease in strength properties at this time. We interpret these changes as ending of outside and more intense of inside fibrillation and delamination. The influence of recycling number on selected properties of fibers was evident after every beating degree and this effect was markedly proved on pulp drying at higher temperature- 120 °C. After 8 recycling we observed a decrease in the proportion of fiber classes 2 to 3 mm and 3 to 7.5 mm, total about 38 % at this temperature and the increase in the proportion of shorter fibers (0.2 to 1 mm) about 44% compared to the original pulp. Changes of dimensional parameters of pulp fibers are expressed primarily in the mechanical properties of paper (breaking length, tensile strength).*

**Keywords:** drying temperature, pulp fibers, recycling process, fiber width, fiber length, shape factor, Fiber Tester



# Tretiruka.cz

**Více času na podstatné!**  
Vyzkoušejte [www.tretiruka.cz](http://www.tretiruka.cz)



**odpady**



**voda**



**vzduch**



Na webu [www.tretiruka.cz](http://www.tretiruka.cz) najdete aktuální zpravodajství pro všechny podnikatele, přehled legislativy a vašich povinností, šikovné odkazy, pozvánky na odborné akce, analýzy nových předpisů, schémata, vzory ke stažení, připomínková řízení a mnoho dalších užitečných informací.

**chemické  
látky**



**eia / sea**



**energie**



**CEMC**

**Provozovatel:**

CEMC, Jevanská 12, 100 31 Praha 10  
e-mail: [cemc@cemc.cz](mailto:cemc@cemc.cz), [www.cemc.cz](http://www.cemc.cz)  
Tel.: +420 274 784 447, Fax: +420 274 775 869

