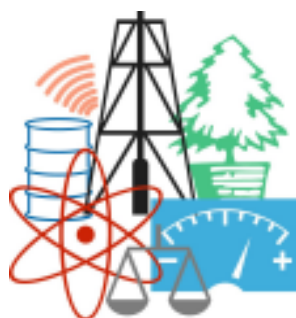


WASTE FORUM



RECENZOVANÝ ČASOPIS PRO VÝSLEDKY VÝZKUMU
A VÝVOJE PRO ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

ROČNÍK 2011

číslo 3
strana 133 – 204

Patron čísla

**7. ročník česko-slovenského symposia
Výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství
ODPADOVÉ FÓRUM 2012 (25. – 27. 4. 2012, Kouty nad Desnou)**

© České ekologické manažerské centrum 2011

OBSAH

Úvodní slovo šéfredaktora	135
Pro autory	135
Zastúpenie odpadov z obalov v modelovom zložení komunálneho odpadu <i>Anna BÁREKOVÁ, Peter KAUFMAN, Peter HALAJ, Ján ČIMO, Dušan IGAZ</i>	136
Systém nakládání s biologicky rozložitelným komunálním odpadem – hodnocení odděleného sběru BRKO města Náměšť nad Oslavou <i>Ondřej CHOTOVINSKÝ, Miroslav MARTIŠ, Vlastimil ALTMANN</i>	143
Systém nakládání s biologicky rozložitelným komunálním odpadem – hodnocení odděleného sběru BRKO obce Březník <i>Ondřej CHOTOVINSKÝ, Miroslav MARTIŠ, Vlastimil ALTMANN</i>	153
Izolační materiály z alternativních surovinových zdrojů <i>Jiří ZACH, Jitka HROUDOVÁ</i>	163
Vliv popílku v cementovláknových kompozitech s využitím recyklovaného kameniva <i>Vladimíra VYTLAČILOVÁ, Karel ŠEPS</i>	172
Odpad z výroby organických kyselin může zlepšit vlastnosti tehliarských výrobkov <i>Mikuláš ŠVEDA, Ladislav KOMORA</i>	179
Aplikace procesů pyrolýzy a zplyňování při zpracování vybraných potravinářských odpadů <i>Barbora GRÝCOVÁ, Kateřina STEPKOVÁ, Karel OBROUČKA, Roman KUČA</i>	185
Úvod do čištění kontaminovaných podzemních vod s využitím propustných reaktivních bariér <i>Lenka WIMMEROVÁ, Ladislav KUDRLIČKA</i>	193
7. ročník česko-slovenského symposia Výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství ODPADOVÉ FÓRUM 2012	204

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

ISSN: 1804-0195; www.WasteForum.cz. Vychází čtvrtletně.

Ročník 2011, číslo 3

Vydavatel: CEMC – České ekologické manažerské centrum, IČO: 45249741, 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

Redakční rada: Prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D., prof. Ing. František Božek, CSc., 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. Ing. Lubomír Růžek, CSc., doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc., Ing. Vratislav Bednařík, CSc.

Web-master: Ing. Vladimír Študent

Redakční uzávěrka: 8. 7. 2011. Vychází: 20. 9. 2011

Patronem tohoto čísla je 7. ročník česko-slovenského symposia Výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství ODPADOVÉ FÓRUM 2012 (25. – 27. 4. 2012, Kouty nad Desnou)



Úvodní slovo šéfredaktora

Vážení čtenáři,

v předmluvě k minulému číslu jsem si postěžoval, že se nutím do psaní úvodního slova a přitom nemám žádnou zpětnou vazbu, jestli jej vůbec někdo čte. V reakci na to mi asi polovina autorů článků z toho čísla při kontrole čísla před jeho vyvěšením na internetu potěšila sdělením, že mou předmluvu četla. I proto vytrvám.

Tentokrát se obracím na recenzenty, jak ty stávající, tak ty budoucí. Okruh recenzentů se snažím průběžně rozšiřovat.

Recenzentem se u Waste Fora může stát skoro každý zkušený výzkumný pracovník. A nejen výzkumný pracovník, ale i odborník na konkrétní problematiku z praxe. Ten může do pojednávané problematiky vnést jiný, praktický pohled.

Každý článek určený pro WASTE FORUM zasílám dvěma recenzentům, zásadně z jiných pracovišť, než jsou autoři. Již jsem dřív psal o tom, že občas dostaneme od recenzentů dva zcela odlišné posudky, jako kdyby se jednalo o dva různé články. To je věc pečlivosti a náročnosti každého recenzenta.

Dnes se chci věnovat jinému problému. Je pochopitelné, že články zaslané do redakce jsou různé kvality. A občas se stane, že dojde článek, který správně vůbec neměl opustit pracoviště autora. Někdy to poznám i sám, ale stejně takový článek postoupím do recenzního řízení. A mnozí recenzenti najednou mají problém. Nemohou s dobrým svědomím napsat dobrý posudek a špatný, nevím proč, se jim psát nechce. Tedy vlastně vím proč. mylně se totiž domnívají, že jsem nějak zainteresován na těch člancích, což vůbec není pravda. Mně záleží naopak na tom, aby v časopisu WASTE FORUM vycházely jen kvalitní články. Jinak se s ním do vědeckých databází nedostaneme, o impakt-faktoru ani nemluvě.

Na závěr ještě tradiční připomenutí uzávěrky příštího čísla, je to 8. října.

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.

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**.

Zastúpenie odpadov z obalov v modelovom zložení komunálneho odpadu

Anna BÁREKOVÁ^a, Peter KAUFMAN^a, Peter HALAJ^b, Ján ČIMO^c, Dušan IGAZ^c
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Hospodárska 7, 949 76 Nitra,

^a*Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav*

e-mail: anna.barekova@uniag.sk, kaufman.peter@gmail.com

^b*Katedra krajinného inžinierstva, e-mail: peter.halaj@uniag.sk*

^c*Katedra biometeorológie a hydrológie, e-mail: jan.cimo@uniag.sk, dusan.igaz@uniag.sk*

Súhrn

Množstvo a zloženie komunálneho odpadu je zrkadlom životnej úrovne obyvateľstva v danom regióne. Náš výskum sa zameriava na získanie potrebných údajov a informácií o štruktúre komunálneho odpadu vo vidieckych oblastiach. Podiel odpadov z obalov v celkovom komunálnom odpade závisí od spotreby sledovaných domácností. Cieľom našej práce bolo na základe výsledkov série analýz komunálneho odpadu z obce s vidieckou zástavbou vytvoriť jeho modelové zloženie, ktoré by slúžilo pri vypracovávaní návrhu systému separovaného zberu pre celé združenie obcí. Hlavný dôraz je pritom kladený na kvantifikáciu vybraných odpadov z obalov v celkovom množstve vzniknutého komunálneho odpadu.

Kľúčové slová: zloženie komunálneho odpadu, analýza, odpady z obalov, vidiecka zástavba

Úvod

Obaly sú nevyhnutnou súčasťou spotreby tovarov, a teda dôležitou podmienkou uspokojovania ľudských materiálnych potrieb. Základnou úlohou obalov je chrániť tovary pred škodlivými vplyvmi vonkajšieho prostredia z hľadiska hygieny a kvality. Ďalšou dôležitou úlohou obalov je informovať spotrebiteľa o vlastnostiach, zložení, spôsobe použitia, trvanlivosti tovarov a tiež spôsobe zneškodnenia či recyklácie. V dnešnej dobe však nemožno opomenúť ani estetickú funkciu obalov¹. Rastom ekonomickej úrovne našej krajiny rastie aj spotreba tovarov, a tým nevyhnutne rastie aj množstvo vznikajúcich odpadov z obalov a ich podiel v komunálnom odpade (KO).

V súčasnosti tvoria obaly asi 20 % hmotnosti a 40 % objemu KO. Z tohto množstva tvoria dve tretiny obaly potravín a nápojov², čo je nezanedbateľná položka a jej redukcia by viedla k výraznému zníženiu zaťaženia životného prostredia. Preto sa legislatíva Slovenskej republiky (SR) snaží regulovať mieru používania a materiálové zloženie obalov, ako aj ich následnú recykláciu, spracovanie prípadne zneškodňovanie^{3,4}.

Väčšina týchto odpadov je relatívne jednoducho separovateľná. Napriek tomu separovane zbierané zložky tvorili na Slovensku v roku 2009 podľa Štatistického úradu SR podiel len 7,2 % z celkového množstva KO⁵ (pozn.: pod skratkou KO rozumieme tuhý komunálny odpad). Pre projektovanie efektívneho systému separovaného zberu a následného zhodnocovania odpadov z obalov na vybranom území je dôležité najskôr zistiť skutočné materiálové zloženie zvyškového KO, ktorý je v danom čase zneškodňovaný skládkovaním.

Materiál a metódy

Základným cieľom našej práce bola kvantifikácia jednotlivých zložiek KO a predovšetkým poznanie štruktúry odpadov z obalov v KO z domácností vo vidieckej zástavbe. Ďalšou dôležitou úlohou bolo tieto údaje spracovať tak, aby mohli byť využité pri koncipovaní návrhu systému separovaného zberu a zhodnocovania jednotlivých zložiek KO. Pre získanie potrebných údajov sme postupne vykonali v priebehu dvoch rokov sériu ôsmich analýz KO z obce Cabaj-Čápor.

Túto obec sme si zvolili ako reprezentatívnu pre Ponitrianske združenie obcí pre separovaný zber a nakladanie s odpadmi, ktoré je tvorené 65 obcami s vidieckou zástavbou s priemernou hustotou 100 obyvateľov na km². Združenie sa nachádza v Nitrianskom kraji, v oblasti s prevažne poľnohospodársky využívanou krajinou. Analýzy sme vykonávali metodikou podľa Kotoulovej⁶. Každá analýza reprezentuje v danom roku jedno ročné obdobie. Tieto údaje nám umožnili načrtnúť vývoj tvorby jednotlivých zložiek KO počas roka. Pri každej analýze sme sledovali v rámci základného zloženia KO (papier, plasty, sklo, kovy, biologicky rozložiteľný odpad) aj podrobné zloženie a výskyt odpadov z obalov. Výsledné hodnoty z prvých štyroch analýz za rok 2009 aj s podrobným popisom metodiky boli v roku 2010 autormi publikované v časopise Waste Forum⁷.

Obec Cabaj-Čápor má v súčasnosti 3822 obyvateľov a celková výmera jej územia je 3442 ha. Obec má zavedený separovaný zber papiera, skla a PET fliaš. Zvyškový KO sa zväža v dvojtyždňových intervaloch. PET fľaše sa zväžajú v mesačných intervaloch a papier spolu so sklom trikrát za rok. Tieto komodity sa zbierajú lokálnym systémom, čiže sú odvážané priamo od pôvodcu odpadu. Dvakrát ročne sa zbiera aj objemný odpad a to prinášacím systémom zberu, kedy je v obci na dobu troch dní pristavený veľkokapacitný kontajner.

V roku 2009 sa v obci vyprodukovalo 991,58 t KO, čo predstavuje 260 kg na obyvateľa. Z celkového množstva KO sa vyseparovalo 47,15 t odpadu, čo tvorí 4,76 %. Konkrétne sa vyseparovalo 8,9 t papiera, 16,14 t skla, 16,17 t PET fliaš, 1,8 t vyradených zariadení obsahujúcich chlórfluórované uhľovodíky a 4,14 t vyradených elektrických a elektronických zariadení.

V roku 2010 sa v obci vyprodukovalo 949,34 t KO, čo predstavuje 248 kg na obyvateľa. Z celkového množstva KO sa vyseparovalo 56,51 t odpadu, čo tvorí 5,95 %. Konkrétne sa vyseparovalo 9,73 t papiera, 16,6 t skla, 15,9 t PET fliaš, 2,9 t vyradených zariadení obsahujúcich chlórfluórované uhľovodíky, 2,76 t vyradených elektrických a elektronických zariadení a 8,6 t opotrebovaných pneumatík.

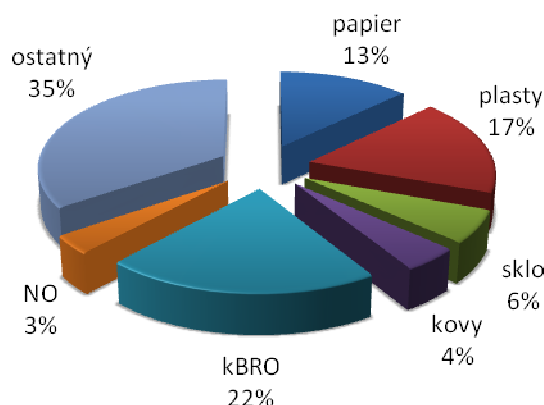
Zvoz vyseparovaných komodít a ďalšie nakladanie s nimi zabezpečuje firma ENVI-GEOS Nitra, s.r.o. Zvyškový KO sa skládkuje. Pokles tvorby KO v prepočte na jedného obyvateľa obce v roku 2010 oproti roku 2009 o 12 kg je pravdepodobne jedným z prejavov hospodárskej krízy, ktorý je pozorovateľný aj v celorepublikovom meradle. Naopak vzostup vyseparovaného množstva hodnotiteľných komodít o 1,19 % naznačuje postupné zvyšovanie účinnosti separovaného zberu na danom území.

Výsledky a diskusia

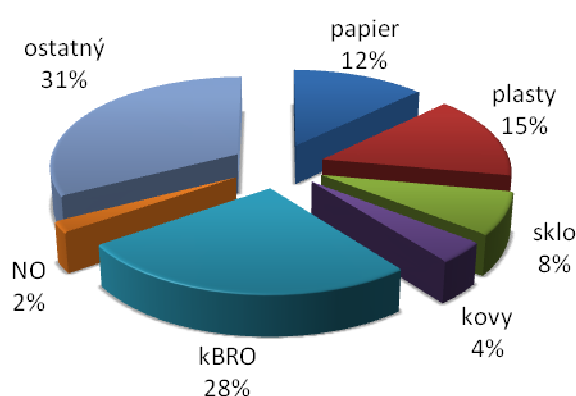
Po vykonaní ôsmich analýz (v každom ročnom období v roku 2009 a 2010), bolo možné spracovať získané údaje a prepočítat ich so zohľadnením ďalších materiálových tokov v rámci separovaného zberu v obci. Výsledné materiálové zloženie celkového množstva KO vzniknutého v obci Cabaj-Čápor v dvoch sledovaných rokoch, vyjadrené v hmotnostných percentách, znázorňujú grafy na obrázku 1. Ostatný odpad tu tvoria minerálny odpad, spáliteľný odpad (hygienické potreby, drevo...), textil a jemný odpad.

Pojem kompostovateľný biologicky rozložiteľný odpad (v grafoch a tabuľkách označený ako kBRO) predstavujú najmä kuchynské odpady vznikajúce pri čistení ovocia a zeleniny a drobný odpad zo záhrad (tráva, zvyšky rastlín, popadané ovocie). Kompostovateľný BRO teda nezahŕňa zložky BRO, ako sú napríklad papier, šatstvo, výrobky z dreva, alebo tekuté zvyšky jedál, mäso, kosti atď., vyskytujúce sa vo zvyškovom KO. Jeho hmotnostný podiel v KO pre vidiecku zástavbu sa odhaduje na približne 15 %⁸. Výsledky našich analýz (v roku 2009 tvoril kBRO 22 % hmot. KO a v roku 2010 až 28 % hmot. KO) tento odhad významne prevyšujú, čo svedčí o neustálom poklese záujmu obyvateľov vidieckych oblastí o domáce kompostovanie.

Zloženie KO (2009)



Zloženie KO (2010)



Obrázok 1: Zloženie KO v obci Cabaj – Čápor v rokoch 2009 a 2010 (% hmot.)
(NO – nebezpečný odpad, kBRO – kompostovateľný biologicky rozložiteľný odpad)

Výskyt odpadov z obalov v KO

Z hľadiska zisťovania potenciálnych množstiev odpadov z jednotlivých druhov obalov sme sa zamerali na kartónové obaly, obaly z viacvrstvového kombinovaného materiálu (VKM), obaly z PE fólie, PET fľaše, sklené obaly a kovové obaly. Tieto komodity sú relatívne dobre predajné na trhu s druhotnými surovinami a ich triedenie priamo u pôvodcov bezprostredne po vybalení výrobku, prípadne vyprázdnení obalu, by zaručilo požadovanú kvalitu separovaného zberu. Okrem sklenených obalov, môžu byť všetky ostatné tzv. ľahké obaly zbierané spoločne do jednej nádoby/vreca a ďalej dotriedňované na separačnej linke. Hmotnostný podiel všetkých obalov v celkovom množstve KO tvoril v jarom období v priemere 22,05 %, v lete 18,33 %, na jeseň 18,75 % a v zime 23,08 %. V nasledujúcich tabuľkách 1 až 4 sú uvedené výsledné hodnoty hmotnostných podielov odpadov z jednotlivých druhov obalov v celkovom KO za každé ročné obdobie. V tabuľkách je vyjadrený aj podiel nebezpečného odpadu (NO) a kompostovateľného biologicky rozložiteľného odpadu (kBRO) v KO, ktorého zber sa má v obciach na Slovensku zaviesť najneskôr do roku 2013⁹. Posledný riadok v tabuľke zahŕňa (pod pojmom „ostatné“) nie len odpady, u ktorých sa s materiálovým využitím nepočíta (minerálny odpad, spáliteľný odpad, textil, jemný odpad), ale aj recyklovateľné zložky neslúžiace ako obal, napr. tlač, ostatný kovový odpad, ostatné plasty.

Tabuľka 1: Zastúpenie sledovaných odpadov z obalov v KO v jarom období (% hmot.)

Odpad	jar 2009	jar 2010	jar v priemere
Kartónové obaly	3,68	1,11	2,4
Obaly z VKM	2,04	1,48	1,76
Obaly z PE fólie	5,26	5,66	5,46
PET fľaše	3,29	3,65	3,47
Sklené obaly	4,21	8,7	6,46
Kovové obaly	2,3	2,7	2,5
kBRO	14,81	10,55	12,68
NO	2,63	5,58	4,11
ostatné	61,78	60,57	61,18

Tabuľka 2: Zastúpenie sledovaných odpadov z obalov v KO v letnom období (% hmot.)

Odpad	leto 2009	leto 2010	leto v priemere
Kartónové obaly	0,53	2,77	1,65
Obaly z VKM	1,14	2,28	1,71
Obaly z PE fólie	3,3	7,03	5,17
PET fľaše	3,65	3,51	3,58
Sklené obaly	3,01	2,96	2,99
Kovové obaly	3,2	3,25	3,23
kBRO	19,2	33,35	26,28
NO	3,59	0,64	2,12
ostatné	62,38	44,21	53,3

Tabuľka 3: Zastúpenie sledovaných odpadov z obalov v KO v jesennom období (% hmot.)

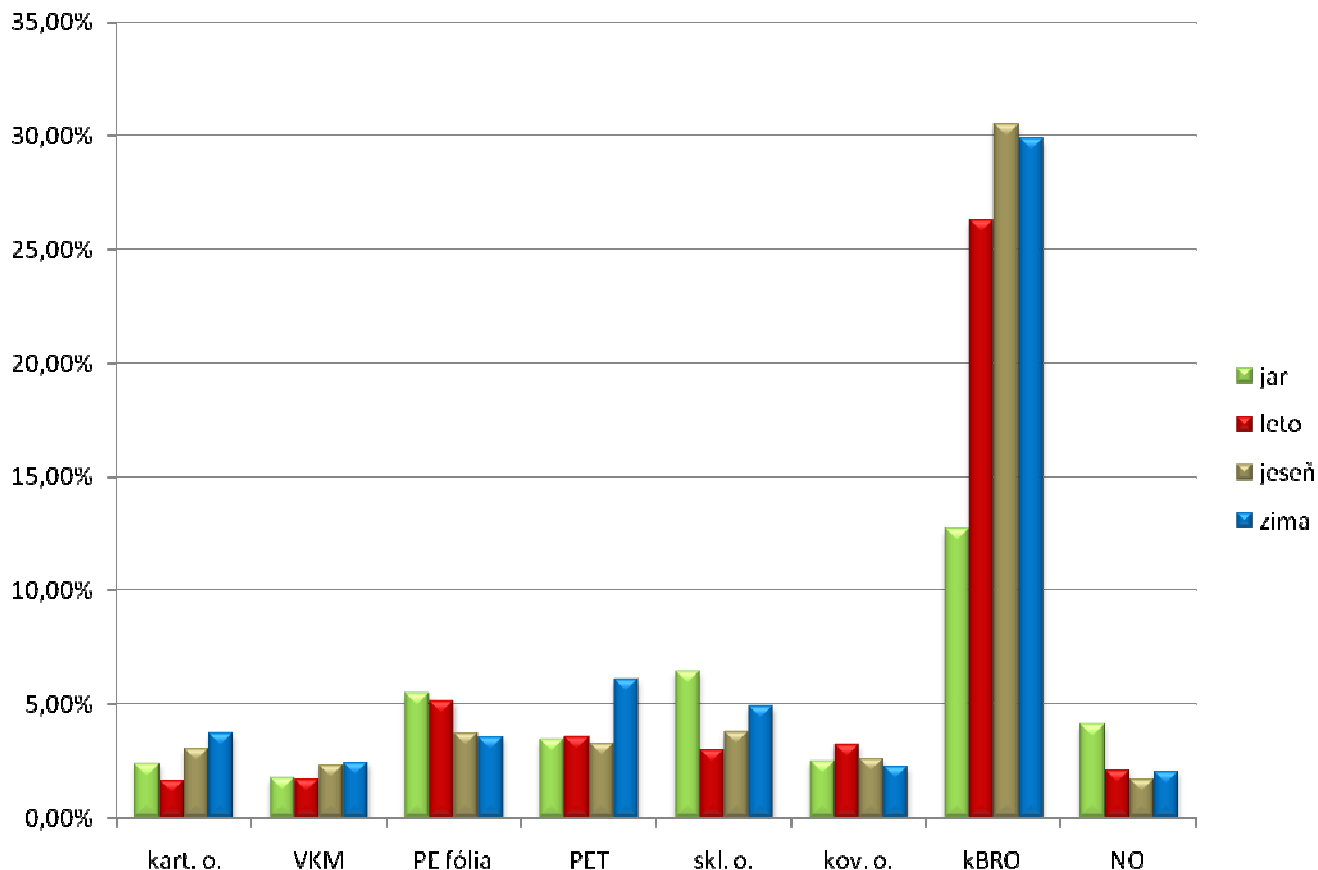
Odpad	jeseň 2009	jeseň 2010	jeseň v priemere
Kartónové obaly	3,4	2,68	3,04
VKM	1,3	3,39	2,35
PE fólie	1,3	6,16	3,73
PET fľaše	3,5	3,02	3,26
Sklené obaly	3,4	4,16	3,78
Kovové obaly	1,8	3,38	2,59
kBRO	29	32	30,5
NO	2,6	0,77	1,69
ostatné	53,7	44,44	49,07

Tabuľka 4: Zastúpenie sledovaných odpadov z obalov v KO v zimnom období (% hmot.)

Odpad	zima 2009	zima 2010	zima v priemere
Kartónové obaly	4,33	3,17	3,75
VKM	2,22	2,69	2,46
PE fólie	5,12	2,06	3,59
PET fľaše	5,7	6,47	6,1
Sklené obaly	2,96	6,86	4,91
Kovové obaly	2,03	2,51	2,27
kBRO	25,23	34,5	29,87
NO	2,74	1,36	2,05
ostatné	49,67	40,38	45,03

Sezónnosť vo výskyte odpadov z obalov v KO

Porovnanie vývoja priemerných hmotnostných podielov sledovaných zložiek za jednotlivé ročné obdobia znázorňuje graf na obrázku 2.



Obrázok 2: Sezónnosť vo výskyte sledovaných zložiek v KO – priemer za dva roky (% hmot.)

(kart. o. – kartónové obaly, VKM – obaly z VKM, PE fólia – obaly z PE fólie, PET – PET fľaše, skl. o. – sklené obaly, kov. o. – kovové obaly, NO – nebezpečný odpad, kBRO – kompostovateľný biologicky rozložiteľný odpad)

U niektorých obalových materiálov môžeme pozorovať výraznejšie rozdiely v sezónnom výskyte. Napríklad množstvo PET fliaš v KO v zimnom období je takmer dvojnásobné oproti ostatným ročným obdobiam. Podobne sa v zime zvyšuje aj výskyt kartónových obalov, čo je spôsobené pravdepodobne nákupmi v súvislosti s vianočnými sviatkami. Tieto výkyvy môže čiastočne zmierniť už spomínaný spoločný zber tzv. ľahkých obalov do jednej nádoby/vreca, čím by sa dosiahla vyššia miera naplnenia nádob/vriec v čase zvozu odpadu. To má zároveň významný vplyv na efektívnosť prevádzky separovaného zberu. Sklený odpad preto navrhujeme zbierať len prinášacím systémom, umiestnením veľkokapacitných kontajnerov na vyhradených stanovištiach v obci.

Pre vypracovanie návrhu systému separovaného zberu a zhodnocovania jednotlivých zložiek KO v Ponitrianskom združení obcí sme na základe prezentovaných výsledkov nášho výskumu navrhli nasledovné modelové zloženie KO v obciach s vidieckou zástavbou (viď tabuľka 5). Priemerné percentuálne podiely jednotlivých zložiek majú slúžiť na výpočet frekvencií ich zvozu, pre voľbu vhodných typov zberných nádob a kontajnerov a pod.

Tabuľka 5: Modelové zloženie KO v obciach s vidieckou zástavbou (% hmot.)

Odpad	2009	2010	v priemere
Kartónové obaly	2,99	2,43	2,71
VKM	1,68	2,46	2,07
PE fólie	3,75	5,23	4,49
PET fľaše	4,04	4,16	4,1
Sklené obaly	3,4	5,67	4,54
Kovové obaly	2,33	2,97	2,65
kBRO	22,06	27,7	24,88
NO	2,89	2,09	2,49
ostatné	56,86	47,29	52,08

Záver

Na základe uvedených zistení sme dospeli k záveru, že podiel recyklovateľných zložiek v KO, ktorý možno v praxi reálne vyseparovať v obciach s vidieckou zástavbou na Slovensku, tvorí cca 20 – 30 hmot. %. Dalších približne 10 % tvoria recyklovateľné zložky, ktoré sú znečistené alebo z iného dôvodu nevhodné na vytriedenie. Európska smernica o odpade¹⁰ členské štáty zaväzuje do roku 2020 „zvýšiť prípravu na opätovné použitie a recykláciu odpadu z domácností ako papier, kov, plasty a sklo najmenej na 50 % podľa hmotnosti“, čo v našich podmienkach pravdepodobne nebude možné. Taký podiel odpadov z obalov v KO, aký dosahujú v súčasnosti vyspelé krajiny západnej Európy, u nás ťažko očakávať. Zloženie KO v SR, podmienené hospodárskou úrovňou krajiny, nevytvára na väčšine nášho územia predpoklady pre splnenie uvedených požiadaviek EÚ. Výnimkou je snáď len Bratislavský región, kde výška HDP, životná úroveň a spotreba domácností, priemerná produkcia KO na obyvateľa, a tým aj podiel odpadov z obalov v KO je porovnateľná s európskym priemerom.

PodĎakovanie

Práca vznikla za podpory projektu: VEGA 1/0711/11.

Literatúra

1. Kudelová K. a kol.: *Odpady*. Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci, 1999, 186 s., ISBN 80-244-0046-4.
2. Zeman, S.: *Balenie a obalová technika*. Nitra, SPU, 2008, 188 s., ISBN 978-80-552-0117-7.
3. *Zákon NR SR č. 223/2001 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov*.
4. *Zákon NR SR č. 119/2010 Z. z. o obaloch a o zmene a doplnení niektorých zákonov*.
5. MŽP SR: *Správa o stave životného prostredia SR v roku 2009*. Bratislava, MŽP SR, 2010, 271 s.
6. Kotoulová, Z.: Doporučená metodika zisťovania množstiev a skladby komunálneho odpadu. *Odpadové fórum*, 2001, 6, s. 10-13.
7. Kaufman, P., Báreková, A.: Štruktúra zloženia komunálneho odpadu vo vidieckej zástavbe. *Waste Forum*, 2010, 3, s. 192 – 197.
8. Vítěz, T., Štachová, Z., Trávníček, P., Hlavenka, P.: Stanovení produkce biologicky rozložitelného odpadu v mikroregionu Mikulovsko. *Waste Forum*, 2011, 2, s. 60 – 66.
9. MŽP SR: *Stratégia obmedzovania ukladania biologicky rozložiteľných odpadov na skládky odpadov*. Bratislava, MŽP SR, 2010, 73 s.
10. *Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2008/98/ES z 19. novembra 2008 o odpade a o zrušení určitých smerníc*.

Representation of packaging waste in municipal waste composition model

Anna BÁREKOVÁ^a, Peter KAUFMAN^a, Peter HALAJ^b, Ján ČIMO^c, Dušan IGAZ^c

*Slovak University of Agriculture in Nitra, Horticulture and Landscape Engineering Faculty,
Hospodárska 7, 949 76 Nitra*

^a*Department of Landscape Planning and Ground Design*

^b*Department of Landscape Engineering*

^c*Department of Biometeorology and Hydrology*

Summary

The amount and composition of municipal waste reflects advance of the population living in the region. Our research is focused on obtaining the necessary data and information on the structure of municipal waste in rural areas. The share of packaging waste in the total municipal waste depends on the consumption of the household. The aim of our study was to create a model of MSW composition in the village based on the results of series analysis of municipal waste, which may be applicable in designing of separate collection systems of the Association of Municipalities. The main emphasis is put on the quantification of selected packaging waste in the total amount of generated municipal waste.

Key words: *municipal solid waste composition, analysis, packaging waste, rural area*

Systémy nakládání s biologicky rozložitelnými odpady – hodnocení odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu města Náměšť nad Oslavou

Ondřej CHOTOVINSKÝ^a, Miroslav MARTIŠ^a, Vlastimil ALTMANN^b

Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6-Suchbát, .

^a Fakulta životního prostředí, e-mail: chotovinsky@knc.czu.cz, martis@knc.czu.cz

^b Technická fakulta, e-mail: altv@tf.czu.cz

Souhrn

Článek je zaměřen na problematiku biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Jedna z možností řešení problematiky nakládání s biologicky rozložitelným komunálním odpadem je zavádění systémů nakládání s biologickým odpadem na daných územích. Nedílnou součástí těchto systémů jsou kompostárny, případně bioplynové stanice. Systémy nakládání pak zajišťují sběr a svoz biologicky rozložitelného komunálního odpadu, kompostování, výrobu elektrické energie v bioplynové stanici či uplatnění výsledného produktu v zemědělství a pro technické účely. Článek je vztažen na část systému nakládání s biologickým odpadem, a to na oddělený sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu ve městě Náměšť nad Oslavou (v roce 2010 město mělo 4977 obyvatel). Důraz je kladen na zmapování dané situace s vyhodnocením vývoje odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu za roky 2006 až 2010. Sledovány a hodnoceny jsou jednotlivé charakteristiky sběru (například produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu, vývoj počtu nádob a četnost svozů). Článek ověřuje účinnost třídění biologicky rozložitelného komunálního odpadu při porovnání relativního zastoupení tohoto odpadu ve směsném komunálním odpadu, který je produkován na území města.

Klíčová slova: komunální odpady, biologicky rozložitelný komunální odpad, systémy nakládání s biologickým odpadem, oddělený sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu.

Úvod

Biologicky rozložitelné komunální odpady

Veškeré odpady vznikající na území obce při činnostech fyzických osob, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání označujeme za komunální odpad¹. Z evidence odpadů je komunální odpad chápán v rozšířené podobě jako „odpad z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů, včetně složek odděleného sběru. Dle Katalogu odpadu – vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb., spadají komunální odpady do skupiny 20². Biologicky rozložitelné komunální odpady tvoří odpady, které jsou schopné anaerobního nebo aerobního rozkladu (například potraviny, odpad ze zeleně, papír). Ve vztahu ke komunálnímu odpadu se jedná především o odpady z údržby sadů, parků a lesoparků, sídlištní a uliční zeleně, ale i travních hřišť a odpady ze hřbitovů ve vlastnictví, případně ve správě, měst a ze zahrad ve vlastnictví fyzických osob (občanů). Patří sem také odděleně sebrané biologicky rozložitelné odpady z kuchyní a stravoven a z domácností, ale i odpady papíru, dřeva přírodních textilií a z nich zhotovených oděvů³. V tabulce 1 je popsán přehled biologicky rozložitelných komunálních odpadů a zároveň je uveden i podíl biologické složky v jednotlivých druzích tohoto odpadu.

Tabulka 1: Přehled biologicky rozložitelných komunálních odpadů ³

Kód odpadu	Název odpadu	Podíl BRO [%]
20 01	Složky z odděleného sběru	-
20 01 01	Papír a lepenka, s výjimkou papíru s vysokým leskem a odpadu z tapet	100
20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven	100
20 01 10	Oděvy	75
20 01 11	Textilní materiály	75
20 01 25	Jedlý olej a tuk	100
20 01 38	Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37	100
20 02	Odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu)	-
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad	100
20 03	Ostatní komunální odpady	-
20 03 02	Opad z tržišť	75
20 03 04	Kal ze septiků a žump	80
20 03 07	Objemný odpad	30

Sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu na území města

Proces sběru odpadu je definován jako kombinace určité technologie a lidské práce ⁴. Tento proces odpovídá nejen samotnému sběru odpadu z určitého typu zdroje, ale zahrnuje i přesun těchto odpadů k místům, kde jsou svozová vozidla nakládána ⁵. Sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu a jeho organizace podstatně ovlivňují kvalitu a množství získaného materiálu. Proces sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu odráží následující základní požadavky:

- nejširší účast obyvatel při sběru (podmínka intenzivní a nepřetržité osvěty),
- zvážení místních podmínek sběru (sociální struktura obyvatelstva a typy zástavby),
- zvážení množství a míst produkce odpadu na území,
- zkušební zavedení sběru,
- provádění pravidelného hodnocení účinnosti a kvality sběru a jeho optimalizaci,
- provádění analýz kontaminace sebraného odpadu,
- zkoumání cest odbytu produktu,
- provádění analýzy nákladů sběru,
- zkoumání možností využití zbytkové frakce ⁶.

Sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu můžeme dělit dle základních hledisek. První hledisko je technické, na druhé hledisko se lze dívat z pohledu dostupnosti sběrného místa a následuje hledisko organizace sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Základní přehled procesů sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu popisuje seznam sběru dle uvedených hledisek ⁷:

- Technické
 - a) sběrné dvory
 - b) velkoobjemové kontejnery
 - c) sběrné nádoby na odpad
 - d) sběrné nádoby upravené pro sběr biologicky rozložitelných komunálních odpadů
 - e) pytlový systém.
- Dostupnost sběrného místa
 - a) donáškový sběr
 - b) odvozový sběr.
- Organizace sběru
 - a) stacionární sběr
 - b) mobilní sběr.

Cíle

Základním cílem práce je hodnocení dat vztahujících se k problematice systému nakládání s biologicky rozložitelným komunálním odpadem ve městě Náměšť nad Oslavou. Jedná se o vyhodnocení odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu v městské zástavbě za roky 2006 až 2010. Šetření ve vybrané lokalitě je dále rozšířeno o sběr dat, vztahujících se k materiálové skladbě směsného komunálního odpadu vznikajícího na území města. Data materiálové skladby jsou porovnávána z pohledu hodnocení účinnosti odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu ve městě Náměšť nad Oslavou.

Dílčí cíle práce lze rozdělit na:

- Sběr dat o funkčnosti a účinnosti odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu města Náměšť nad Oslavou za roky 2006 – 2010. Získání hodnot produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu (biologicky rozložitelného komunálního odpadu z údržby zeleně a biologicky rozložitelného komunálního odpadu z domácností). Zjištění konkrétního počtu sběrných nádob a jejich objemů s popisem četnosti svozů za sledované období.
- Doplnění získaných dat o účinnosti odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu města a dat materiálové skladby směsného komunálního odpadu města vztažené pro roky 2006 a 2010.
- Vyhodnocení získaných dat.
- Porovnání účinnosti odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu za roky 2006 a 2010 v odrazu relativního zastoupení biologické složky v směsném komunálním odpadu města.

Experimentální část

A. Město Náměšť nad Oslavou – data odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu

Počet obyvatel Náměště nad Oslavou včetně obcí je 4977. Městská zástavba je tvořena rodinnými a bytovými domy. Ve městě Náměšť nad Oslavou lze považovat oddělený sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu za rozvinutý, ne však fungující na celém území města. Sběr je zde aplikován kombinací odvozového a donáškového sběru, ve kterém jsou po městě rozmístěny 770 dm³ sběrné nádoby a VOK o objemu 18 m³. Biologicky rozložitelný komunální odpad z Náměště nad Oslavou je svážen do zpracovatelského zařízení, kterým je kompostárna provozovaná CMC Náměšť, a. s. Uvedená kompostárna používá technologii kompostování na volné ploše v pásových hromadách.

Přehledněji situaci odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu města Náměšť nad Oslavou ukazují tabulky 2 a 3, ve kterých jsou uvedeny okrajové vstupní údaje (rok 2006 a 2010).

Tabulka 2: Data odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu (20 02 01) města Náměšť nad Oslavou za rok 2006

Měsíc	Produkce [t]		Měsíční počet nádob [ks.měsíc ⁻¹]		Měsíční počet jízď [počet jízď.měsíc ⁻¹]	
	240 dm ³	VOK	240 dm ³	VOK	240 dm ³	VOK
duben	1,750	-	80	-	1	-
květen	6,290	15,450	80	1	2	3
červen	5,778	-	80	-	2	-
červenec	7,750	4,240	80	1	2	1
srpen	4,810	4,530	80	1	1	1
září	7,990	8,020	80	1	2	2
říjen	6,210	4,830	80	1	2	1
listopad	5,220	2,270	80	1	3	1
prosinec	1,400	-	80	-	2	-

*- počet nádob (ks)/měsíc reflektuje skutečné počty nádob k dispozici na jeden svoz

Zdroj: vlastní šetření, ESKO-T s.r.o.

Tabulka 3: Data odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu (20 02 01) města Náměšť nad Oslavou za rok 2010

Měsíc	Produkce [t]		Měsíční počet nádob [ks.měsíc ⁻¹]		Měsíční počet jízd [počet jízd.měsíc ⁻¹]	
	770 dm ³	VOK	770 dm ³	VOK	770 dm ³	VOK
duben	6,826	-	33	-	2	-
květen	15,320	-	34	-	4	-
červen	20,525	-	34	-	5	-
červenec	12,333	-	34	-	4	-
srpen	20,200	4,280	34	1	4	1
září	24,260	7,370	34	1	5	2
říjen	21,065	9,530	34	2	5	2
listopad	4,008	-	34	-	1	-

*- počet nádob (ks)/měsíc reflektuje skutečné počty nádob k dispozici na jeden svoz v daném období
Zdroj: vlastní šetření. ESKO-T s.r.o.

B. Město Náměšť nad Oslavou – data analýzy směsného komunálního odpadu

Firma ESKO-T, s .r. o. pravidelně v měsíčních intervalech provádí analýzu směsného komunálního odpadu z vybraného vzorku města Náměšť nad Oslavou. Tuto analýzu směsného komunálního odpadu firma provádí od května roku 2006. Přehled za rok 2006 a 2010 uvádí tabulky 4 a 5.

Tabulka 4: Data analýzy směsného komunálního odpadu města Náměšť nad Oslavou za rok 2006

2006	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Kód	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
20 01 01	22,6	16,4	16,8	10,8	19,6	10,4	13,4	17,1	19,8
20 01 02	3,6	7,2	8,6	4,6	4,8	4,8	5,2	4,2	4,2
20 01 39	15,8	22,4	10,8	15,4	16,2	14,8	16,8	14,3	16,4
15 01 05	1,2	1,2	1,6	1,8	0,4	1,6	2,2	1,6	1,2
20 01 08	3,6	17,0	15,8	24,6	12,2	13,8	11,4	19,8	16,2
20 02 01	15,4	2,2	12,6	12,8	16,8	17,2	7,8	5,5	1,4
20 01 10	0,0	4,8	3,8	5,0	4,4	6,4	8,2	2,8	6,2
20 01 11	2,6	2,4	1,8	3,2	0,6	1,8	2,4	4,6	3,8
20 01 33	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,6	0,2	0,0
20 01 35	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
20 01 36	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20 01 39	0,0	0,2	0,8	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6
20 01 38	1,0	0,4	0,0	0,6	0,0	1,6	2,2	2,2	2,3
20 01 40	2,6	3,4	3,6	4,8	3,8	6,2	3,4	3,8	5,8
20 03 07	32,0	15,4	19,2	19,4	17,2	15,4	18,4	14,6	17,1
Celkem	100,4	93,0	95,6	107,8	96,2	94,6	92,4	91,1	96,6

Zdroj: vlastní šetření. ESKO-T s.r.o.

Tabulka 5: Data analýzy směsného komunálního odpadu města Náměšť nad Oslavou za rok 2010

2010	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Kód	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
20 01 01	12	14,2	10,6	13,8	9,8	12,2	10,6	14,6	11,2	9,2	12,2	10
20 01 02	3,6	1,8	2,8	1,2	3,6	2,2	0,8	1,8	0,2	3,6	2,2	4,2
20 01 39	12,6	14,6	11,6	13	10,6	8,8	12,6	9,6	7,6	9,4	11,8	8,2
15 01 05	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,2
20 01 08	17,6	13,6	16,8	14,6	16,8	13,2	14,6	18,6	15,6	13,6	16,6	14,6
20 02 01	3,6	6,6	5,2	8,8	11,2	15,8	12,8	8,2	14,8	12,2	4,2	7
20 01 10	5,8	3,2	2,6	4,6	2,6	3,6	2,2	0,8	3,6	5,8	2,8	5,4
20 01 11	2,6	0,8	4,2	2,2	5,6	1,2	3,6	4,8	0,8	4,2	6	2,2
20 01 33	0,2	0,4	0,2	0	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0
20 01 35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 01 36	2,6	1,2	4,2	7,2	3,6	1,2	3,6	5,8	1,6	4,2	0	6,6
20 01 39	0	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0
20 01 38	1,6	2,2	0,6	2,2	1	2,6	0,2	1,4	0	2,2	0,8	0,2
20 01 40	2,8	0,4	1,6	3,6	4,6	0,8	2,6	1,6	0,6	3,2	2,2	4
20 03 07	28,6	31,8	35,8	32,2	27,6	36,8	29,4	34,8	30,2	33,2	36,8	34,8
Celkem	94,0	91,0	96,4	103,8	97,8	99,0	93,4	102,8	86,6	101,6	96,0	97,4

Zdroj: vlastní šetření. ESKO-T s.r.o.

Metody

A. Metodika vyjadřování produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu

Pro hodnocení odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu je využito metodiky vycházející ze vztahu (1), kde je celková skutečně sebraná produkce uváděna v kg na jednoho obyvatele a rok. Hodnoty měrného množství vypočtené tímto způsobem lépe reprezentují produkci biologicky rozložitelného komunálního odpadu v hodnoceném městě.

Měrná produkce [kg.obyv.⁻¹.rok.⁻¹]

$$q_{\text{měrná}} = \frac{q_{\text{celková}}}{1000 \cdot n} \quad [\text{kg.obyv.}^{-1}.\text{rok.}^{-1}] \quad (1)$$

kde:

$q_{\text{měrná}}$... měrná produkce [kg.obyv.⁻¹.rok.⁻¹]

$q_{\text{celková}}$... celková roční produkce oblasti [t.rok⁻¹]

n ... počet obyvatel v oblasti [počet]

B. Metodika ke stanovení průměrné hodnoty složení směsného komunálního odpadu z pohledu zastoupení biologicky rozložitelného komunálního odpadu

Při stanovení množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu se vychází z výsledků analýzy jeho složení (tabulka 4 a 5). Průměrné hodnoty obsahu jednotlivých složek směsného komunálního odpadu pro město Náměšť nad Oslavou jsou počítány podle odvozeného vztahu (2), kdy se jedná o upravený vzorec pro výpočet aritmetického průměru z postupně provedených analýz složení směsného komunálního odpadu v roce 2006 a 2010. Pro uvažované výpočty metodika dále počítá se vztahem (3) určení relativního množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu.

Průměrný relativní obsah druhu odpadu v směsném komunálním odpadu [%]

$$\bar{p}_D = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{m_{Di}}{m_{Ci}} \right)}{n} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

kde:

\bar{p}_D ... průměrný relativní obsah druhu odpadu v směsném komunálním odpadu. [%]
 m_{Di} ... hmotnost obsahu druhu odpadu v jednom vzorku směsného komunálního odpadu [kg]
 m_{Ci} ... hmotnost celého jednoho vzorku směsného komunálního odpadu [kg]
 n ... celkový počet provedených analýz směsného komunálního odpadu [-]

Relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]

$$p_{BRO} = \frac{m_{BRO}}{m_{vzorku}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

kde:

p_{BRO} ... relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu. [%]
 m_{BRO} ... hmotnost obsahu druhu odpadu v jednom vzorku směsného komunálního odpadu [kg]
 m_{Ci} ... hmotnost celého jednoho vzorku směsného komunálního odpadu [kg]

Ke zpracování výsledků složení směsného komunálního odpadu byly použity metody popisné statistiky, shrnuté do následujících vztahů:

Směrodatná odchylka [-] je vypočítaná podle vztahu (4)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_{BROi} - \bar{p}_{BRO})^2}{n-1}} \quad [-] \quad (4)$$

kde:

s ... směrodatná odchylka [-]
 p_{BROi} ... relativní obsah biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu z jednoho vzorku [%]
 \bar{p}_{bro} ... průměrný relativní obsah biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]
 n ... celkový počet provedených analýz směsného komunálního odpadu [počet]

Variační koeficient [-], kdy je hodnota vypočítaná podle vztahu (5)

$$V = \frac{s}{\bar{p}_{BRO}} \quad [-] \quad (5)$$

kde:

V ... variační koeficient [-]
 s ... směrodatná odchylka [-]
 \bar{p}_{bro} ... průměrný relativní obsah biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]

Chyba při 95 % spolehlivosti odhadu základního souboru [%] vypočítaná podle vztahu (6)

$$\Delta = t_{\alpha(n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad [\%] \quad (6)$$

kde:

- Δ ... chyba pro 95% spolehlivost základního souboru [%]
 $t_{\alpha(n-1)}$... kritická hodnota Studentova t-rozdělení [-]
 s ... směrodatná odchylka [-]
 n ... celkový počet provedených analýz směsného komunálního odpadu [počet]

Minimální průměr [%] je dolní mez průměrného relativního množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu pro danou oblast vypočítaná podle vztahu (7)

$$P_{BROmin} = \bar{P}_{BRO} - \Delta \quad [\%] \quad (7)$$

kde:

- P_{BROmin} ... minimální průměrné relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]
 \bar{P}_{BRO} ... průměrné relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]
 Δ ... chyba pro 95% spolehlivost základního souboru [-]

Maximální průměr [%] je horní mez průměrného relativního množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu pro danou svozovou oblast vypočítaná podle vztahu (8)

$$P_{BROmax} = \bar{P}_{BRO} + \Delta \quad [\%] \quad (8)$$

kde:

- P_{BROmin} ... minimální průměrné relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]
 \bar{P}_{BRO} ... průměrné relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]
 Δ ... chyba pro 95% spolehlivost základního souboru [-]

Výsledky a komentář

V roce 2006 město Náměšť nad Oslavou využívalo sběrnou kapacitu 80 ks nádob od firmy SSI Schäfer typ Compostainer CT 240 dm³. Tyto nové nádoby byly rozmístěny podle potřeb města mezi zástavbu rodinných a bytových domů. Nádoby sloužily ke sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu z domácností. V roce 2009 bylo všech 80 ks 240 dm³ nádob nahrazeno 33 ks 770 dm³ nádob od téže firmy. Pro sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu z údržby veřejné zeleně je ve městě rozmístěn 1 ks VOK o objemu 18 m³. V současné době je k dispozici 34 ks sběrných nádob od firmy SSI Schäfer 770 dm³ při nezměněném počtu 1 ks VOK o objemu 18 m³. Celkovou situaci vývoje nádob ve sledované lokalitě vystihuje tabulka 6.

Tabulka 6: Vývoj počtu, objemu nádob a četnosti svozu při odděleném sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu Náměšť nad Oslavou

Rok	Typ nádob	Objem nádob [m ³]	Počet rozmístěných nádob [ks]	Počet svezených nádob za měsíc [ks.měsíc. ⁻¹]
2006	240 dm ³	0,24	80	142
	VOK	18	1	1,5
2007	240 dm ³	0,24	80	330
	VOK	18	1	2,66
2008	240 dm ³	0,24	80	310
	VOK	18	1	3,80
2009	770 dm ³	0,77	33	136,63
	VOK	18	1	1,5
2010	770 dm ³	0,77	34	122,75
	VOK	18	1	2,33

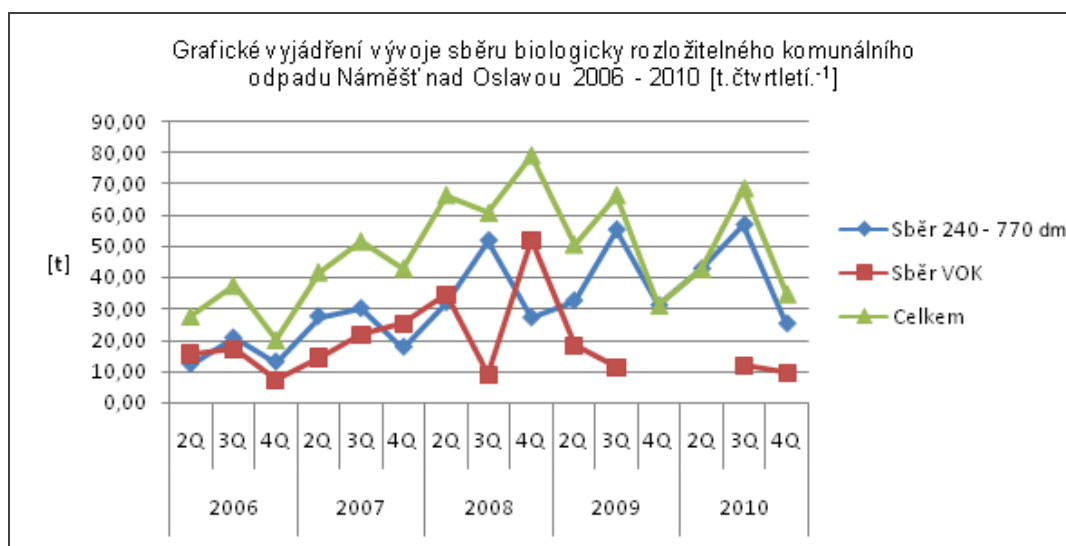
Celková produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu na obyvatele a rok byla v roce 2006 16,94 kg. V následujícím roce celková produkce zaznamenala vyšší hodnoty, a to 26,59 kg. Rok 2008 je z pohledu sledovaného časového období rokem nejvýraznějším. Hodnota celkové produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu na obyvatele a rok byla 40,37 Kg. Od roku 2009 je patrná tendence poklesu produkce, která se přenáší i do roku 2010. V roce 2010 je hodnota produkce 29,28 kg. Přes klesající tendenci produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu sbíraného do VOK, stále stoupá produkce odpadu sbíraného do sběrných nádob. Celkové vyhodnocení stávající situace je patrné v tabulce 7. Data z tabulky 7 jsou graficky zobrazena na obrázku 1. Uvedený příklad grafického vyjádření se zaměřuje na celkový vývoj podle čtvrtletí za roky 2006 – 2010 a také přibližuje vývoj produkce z pohledu sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu do VOK a sběrných nádob.

Tabulka 7: Vyhodnocení produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu v letech 2006 – 2010 Náměšť nad Oslavou

Rok	Sběr VOK celkem [t]	Sběr VOK [kg.obyv. ⁻¹ .rok. ⁻¹]	Sběr 240 – 770 dm ³ celkem [t]	Sběr 240 – 770 dm ³ [kg.obyv. ⁻¹ .rok. ⁻¹]	Sběr celkem [t]	Sběr celkem [kg.obyv. ⁻¹ .rok. ⁻¹]
2006	39,34	7,70	47,198	9,24	86,54	16,94
2007	61,09	11,94	74,95	14,65	136,04	26,59
2008	95,24	18,68	110,588	21,69	205,83	40,37
2009	29,14	5,75	118,554	23,40	147,69	29,15
2010	21,18	4,26	124,537	25,02	145,72	29,28

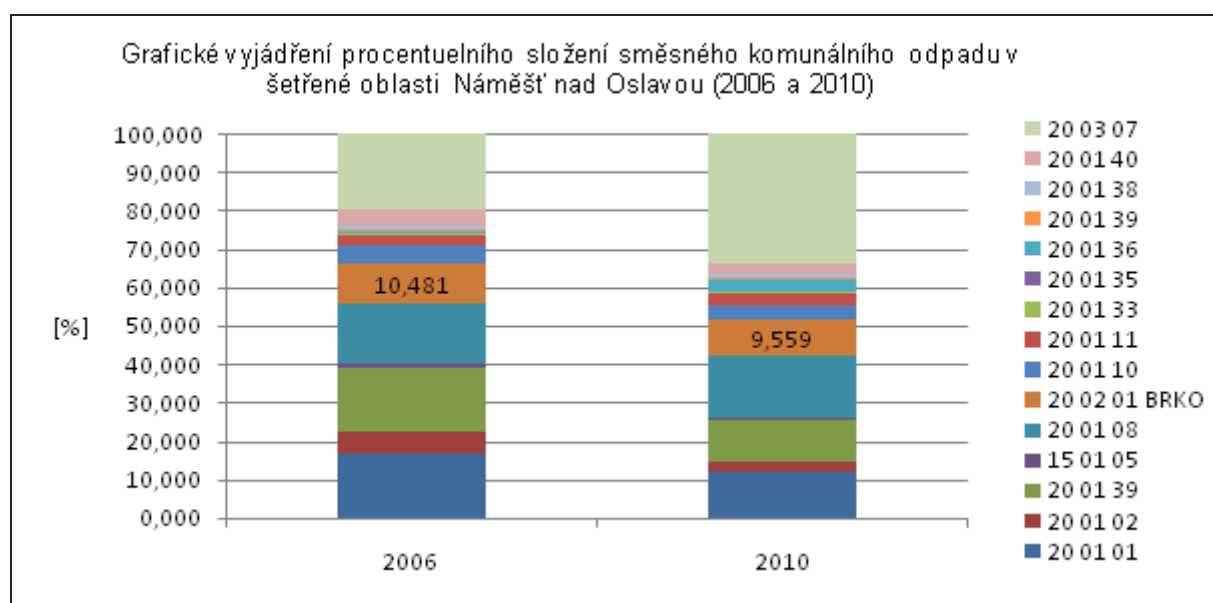
Pro jednotlivá léta 2006 až 2010 byla použita data počtu obyvatel z Českého statistického úřadu.

Obrázek 1: Grafické vyjádření vývoje sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu Náměšť nad Oslavou v letech 2006 – 2010



Porovnaná účinnost třídění biologicky rozložitelného komunálního odpadu ve městě Náměšť nad Oslavou v letech 2006 a 2010 je znázorněna na obrázku 2. Analýzou směsného komunálního odpadu byla zjištěna průměrná hodnota biologicky rozložitelného komunálního odpadu katalogového čísla 20 02 01 za rok 2006 10,48 %. Pro rok 2010 je průměrná hodnota 9,56 % z celkového zastoupení směsného komunálního odpadu. Přesnost jednotlivých výpočtů zachycují charakteristiky popisné statistiky vztahující se k zjišťovaným průměrným hodnotám. Výpočet k roku 2006 vykazoval chybu 4,52 % při 95 % spolehlivosti odhadu základního souboru. Vypočtené hodnoty za rok 2010 poukazují na chybu 2,69 % při 95 % spolehlivosti odhadu základního souboru. Souhrnné hodnoty charakteristik popisné statistiky k jednotlivým výpočtům za roky 2006 a 2010 jsou uvedeny v tabulce 8.

Obrázek 2: Grafické vyjádření procentuelního složení směsného komunálního odpadu v šetřené oblasti Náměšť nad Oslavou (2006 a 2010)



Tabulka 8: Charakteristiky popisné statistiky vztahující se k vyjádření biologicky rozložitelného komunálního odpadu v směsném komunálním odpadu

Charakteristiky	Rok 2006	Rok 2010
Počet analýz	9	12
Průměr [%]	10,48	9,56
Směrodatná odchylka [-]	5,88	4,24
Koeficient variability [-]	56,19	44,39
Δ [%]	4,52	2,69
Minimální průměr [%]	5,95	6,86
Maximální průměr [%]	15	12,25

Závěr

Základním cílem práce bylo zjistit a zhodnotit vývoj odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Práce se opírala o posouzení účinnosti třídění z pohledu relativního zastoupení biologicky rozložitelného komunálního odpadu v směsném komunálním odpadu města ve vybraných porovnávacích letech. K dispozici byly dva soubory dat. První soubor dat se vztahoval k informacím a k charakteristikám, které směřovaly k jednotlivým hodnotám množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu, počtu nádob a četnosti jednotlivých svozů. Z těchto informací byl vytvořen ucelený přehled. Ze zjištěných informací je patrné, že oddělený sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu je občany akceptován. Zaznamenán byl také pokles produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu sbíraného do VOK a nárůst produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu odevzdávaného do sběrných nádob. Druhý soubor dat popisoval jednotlivá měření, která

odrážela prováděné analýzy směsného komunálního odpadu města Náměšť nad Oslavou v letech 2006 – 2010. Z takto poskládaných dat byla vyjádřena pomocí vzorců průměrný podíl biologicky rozložitelného komunálního odpadu katalogového čísla 20 02 01 ve směsném komunálním odpadu pro dané roky. Jednotlivé výpočty byly podpořeny z pohledu vyjádření jednotlivých charakteristik popisné statistiky vztahující se k průměrným hodnotám biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Byla zjištěna prakticky shodná účinnost třídění biologicky rozložitelného komunálního odpadu na daném území města za roky 2006 a 2010. Příčinu shodných účinností ve srovnávacích letech lze hledat ve snížení (odebrání) většího počtu nádob s objemem 240 dm³ výměnou za nižší počet nádob s objemem 770 dm³. Tato výměna se provedla v roce 2009, kdy se prodloužila donášková vzdálenost nad únosnou mez, která odráží horší dostupnost systému. Doložené výsledky mohou pomoci při dalším šetření a optimalizaci systémů nakládání s biologicky rozložitelným komunálním odpadem na území města.

Poděkování

Autoři děkují firmě ESKO-T servis, s. r. o., jmenovitě Kateřině Krejčové. Dále autoři děkují Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze za poskytnutí finančních prostředků z grantu IGA registrační číslo 201042220036.

Literatura

1. Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů.
2. Vrbová M., et al.: *Hospodaření s odpady v obcích*, Praha, EKO-KOM, a.s., 2009.
3. Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.
4. Bilitewsky B., et al.: *Waste management*, Berlin, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 1997.
5. Tchobanoglous G., O'leary P.R.: *Handbook of Solid Waste Management*, New York, McGraw Hill, 1994.
6. Váňa J., Balík J., Tlustoš P.: *Pevné odpady*, Praha, Česká zemědělská univerzita, 2005.
7. Kotoulová Z., Váňa J.: *Průručka pro nakládání s komunálním bioodpadem*, Praha, MŽP, 2001.

Bio-waste treatment systems – evaluation of separate collection of biodegradable municipal waste in Náměšť nad Oslavou

Ondřej CHOTOVINSKÝ^a, Miroslav MARTIŠ^a, Vlastimil ALTMANN^b

Czech University of Life Sciences in Prague., Kamýcká 129, 165 21 Praha -Suchbát

^a Faculty of Environmental Sciences, e-mail: chotovinsky@knc.czu.cz, martis@knc.czu.cz

^b The Faculty of Engineering, e-mail: altv@tf.czu.cz

Abstract

The article is focused on the issue of biodegradable municipal waste. Implementation of bio-waste treatment system is one way to solve the management of biodegradable municipal waste. Composting or biogas plant are an integral part of bio-waste treatment systems and then bio-waste treatment systems provide collection and transport of biodegradable municipal waste, composting, production of electric energy in the biogas and use the resulting product in agriculture and for technical purposes. Article is related to a part of bio-waste treatment system. It is a separate collection of biodegradable municipal waste in Náměšť nad Oslavou. The city had 4977 inhabitants in 2010. Emphasis is placed on mapping the situation with the evaluation of separate collection of biodegradable municipal waste for the years 2006 to 2010. Also individual characteristics of the collection are monitoring and evaluating. For example production of biodegradable municipal waste, the development of containers and frequency of collection. Article verifies the effectiveness of sorting biodegradable municipal waste, when in the article is comparing the relative representation of this waste in mixed municipal waste, which is producing in the city.

Keywords: municipal waste, biodegradable municipal waste, bio-waste treatment systems, separate collection of biodegradable municipal waste.

Systémy nakládání s biologicky rozložitelnými odpady – hodnocení odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu obce Březník

Ondřej CHOTOVINSKÝ^a, Miroslav MARTIŠ^a, Vlastimil ALTMANN^b

Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6-Suchbát, .

^a Fakulta životního prostředí, e-mail: chotovinsky@knc.czu.cz, martis@knc.czu.cz

^b Technická fakulta, e-mail: altv@tf.czu.cz

Souhrn

Článek je zaměřen na problematiku biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Jedna z možností řešení problematiky nakládání s biologicky rozložitelným komunálním odpadem je zavádění systémů nakládání s biologickým odpadem na daných územích. Nedílnou součástí těchto systémů jsou kompostárny, případně bioplynové stanice. Systémy nakládání pak zajišťují sběr a svoz biologicky rozložitelného komunálního odpadu, kompostování, výrobu elektrické energie v bioplynové stanici či uplatnění výsledného produktu v zemědělství a pro technické účely. Článek je vztažen na část systému nakládání s biologickým odpadem, a to na oddělený sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu v obci Březník (v roce 2010 obec měla 627 obyvatel). Důraz je kladen na zmapování dané situace s vyhodnocením vývoje odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu za roky 2006 až 2010. Sledovány a hodnoceny jsou jednotlivé charakteristiky sběru (například produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu, vývoj počtu nádob a četnost svozů). Článek ověřuje účinnost třídění biologicky rozložitelného komunálního odpadu při porovnání relativního zastoupení tohoto odpadu ve směsném komunálním odpadu, který je produkován na území obce.

Klíčová slova: komunální odpady, biologicky rozložitelný komunální odpad, systémy nakládání s biologickým odpadem, oddělený sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu.

Úvod

Biologicky rozložitelné komunální odpady

Veškeré odpady vznikající na území obce při činnostech fyzických osob, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání označujeme za komunální odpad¹. Z evidence odpadů je komunální odpad chápán v rozšířené podobě jako „odpad z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů, včetně složek odděleného sběru. Dle Katalogu odpadu – vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb., spadají komunální odpady do skupiny 20². Biologicky rozložitelné komunální odpady tvoří odpady, které jsou schopné anaerobního nebo aerobního rozkladu (například potraviny, odpad ze zeleně, papír). Ve vztahu ke komunálnímu odpadu se jedná především o odpady z údržby sadů, parků a lesoparků, sídlištní a uliční zeleně, ale i travních hřišť a odpady ze hřbitovů ve vlastnictví, případně ve správě, měst a ze zahrad ve vlastnictví fyzických osob (občanů). Patří sem také odděleně sebrané biologicky rozložitelné odpady z kuchyní a stravoven a z domácností, ale i odpady papíru, dřeva přírodních textilií a z nich zhotovených oděvů³. V tabulce 1 je popsán přehled biologicky rozložitelných komunálních odpadů a zároveň je uveden i podíl biologické složky v jednotlivých druzích tohoto odpadu.

Tabulka 1: Přehled biologicky rozložitelných komunálních odpadů ³

Kód odpadu	Název odpadu	Podíl BRO [%]
20 01	Složky z odděleného sběru	-
20 01 01	Papír a lepenka, s výjimkou papíru s vysokým leskem a odpadu z tapet	100
20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven	100
20 01 10	Oděvy	75
20 01 11	Textilní materiály	75
20 01 25	Jedlý olej a tuk	100
20 01 38	Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37	100
20 02	Odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu)	-
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad	100
20 03	Ostatní komunální odpady	-
20 03 02	Odpad z tržišť	75
20 03 04	Kal ze septiků a žump	80
20 03 07	Objemný odpad	30

Sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu na území města

Proces sběru odpadu je definován jako kombinace určité technologie a lidské práce ⁴. Tento proces odpovídá nejen samotnému sběru odpadu z určitého typu zdroje, ale zahrnuje i přesun těchto odpadů k místům, kde jsou svozová vozidla nakládána ⁵. Sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu a jeho organizace podstatně ovlivňují kvalitu a množství získaného materiálu. Proces sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu odráží následující základní požadavky:

- nejširší účast obyvatelů při sběru (podmínka intenzivní a nepřetržité osvěty),
- zvážení místních podmínek sběru (sociální struktura obyvatelstva a typy zástavby),
- zvážení množství a míst produkce odpadu na území,
- zkušební zavedení sběru,
- provádění pravidelného hodnocení účinnosti a kvality sběru a jeho optimalizaci,
- provádění analýz kontaminace sebraného odpadu,
- zkoumání cest odbytu produktu,
- provádění analýzy nákladů sběru,
- zkoumání možností využití zbytkové frakce ⁶.

Sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu můžeme dělit dle základních hledisek. První hledisko je technické, na druhé hledisko se lze dívat z pohledu dostupnosti sběrného místa a následuje hledisko organizace sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Základní přehled procesů sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu popisuje seznam sběru dle uvedených hledisek ⁷:

- Technické
 - a) sběrné dvory
 - b) velkoobjemové kontejnery
 - c) sběrné nádoby na odpad
 - d) sběrné nádoby upravené pro sběr biologicky rozložitelných komunálních odpadů
 - e) pytlový systém.
- Dostupnost sběrného místa
 - a) donáškový sběr
 - b) odvozový sběr.
- Organizace sběru
 - a) stacionární sběr
 - b) mobilní sběr.

Cíle

Základním cílem práce je hodnocení dat vztahujících se k problematice systému nakládání s biologicky rozložitelným komunálním odpadem v obci Březník. Jedná se o vyhodnocení odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu v obecní zástavbě za roky 2006 až 2010. Šetření ve vybrané lokalitě je dále rozšířeno o sběr dat, vztahující se k materiálové skladbě směsného komunálního odpadu vznikajícího na území obce. Data materiálové skladby jsou porovnávána z pohledu hodnocení účinnosti odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu v obci Březník

Dílčí cíle práce lze rozdělit na:

- Sběr dat funkčnosti a účinnosti specifikovaného odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu obce Březník za roky 2006 – 2010. Získání hodnot produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu (biologicky rozložitelného komunálního odpadu z údržby zeleně a biologicky rozložitelného komunálního odpadu z domácností). Zjištění konkrétního počtu sběrných nádob a jejich objemů s popisem četnosti svozů za sledované období.
- Doplnění získaných dat účinnosti odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu obce a dat materiálové skladby směsného komunálního odpadu obce vztažené pro roky 2006 a 2010.
- Vyhodnocení získaných dat.
- Porovnání účinnosti odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu za roky 2006 a 2010 v odrazu relativního zastoupení biologické složky v směsném komunálním odpadu obce.

Experimentální část

Obec Březník – data odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu

V obci Březník žije 627 stálých obyvatel v 233 rodinných domech (RD) a 10 bytových domech (BD). Většina domů používá jako energii pro vytápění plyn. V obci Březník lze považovat oddělený sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu za plně rozvinutý a dobře dostupný na celém území. Sběr je zde aplikován kombinací odvozového a donáškového sběru, ve kterém jsou po obci rozmístěny 120 dm³, 240 dm³ sběrné nádoby a VOK o objemu 18 m³. Biologicky rozložitelný komunální odpad Březníku je svážen do zpracovatelského zařízení, kterým je kompostárna provozovaná CMC Náměšť, a.s. Uvedená kompostárna používá technologii kompostování na volné ploše v pásových hromadách.

Přehledněji situaci odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu obce Březník ukazují tabulky 2 a 3, ve kterých jsou uvedeny okrajové vstupní údaje (rok 2006 a 2010).

Tabulka 2: Data odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu (20 02 01) obce Březník za rok 2006

Měsíc	Produkce [t]		Měsíční počet nádob [ks.měsíc ⁻¹]		Měsíční počet jízd [počet jízd.měsíc ⁻¹]	
	240 dm ³	VOK	240 dm ³	VOK	240 dm ³	VOK
duben	1,36	-	18	-	2	-
květen	1,79	16,82	18	4	2	1
červen	3,802	-	18	-	2	-
červenec	2,07	20,06	18	4	2	1
srpen	2,77	19,08	18	4	2	1
září	2,18	-	18	-	2	-
říjen	2,12	24,73	18	4	2	1
listopad	1,85	25,24	18	4	2	1
prosinec	0,55	-	18	-	1	-

*- počet nádob (ks)/měsíc reflektuje skutečné počty nádob k dispozici na jeden svoz

Zdroj: vlastní šetření, ESKO-T s.r.o.

Tabulka 3: Data odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu (20 02 01) obce Březník za rok 2010

Měsíc	Produkce [t]		Měsíční počet nádob [ks.měsíc ⁻¹]			Měsíční počet jízd [počet jízd.měsíc ⁻¹]		
	120 – 240 dm ³	VOK	240 dm ³	120 dm ³	VOK	240 dm ³	120 dm ³	VOK
březen	-	3,41	-	-	4	-	-	1
duben	2,08	15,45	69	5	4	1	1	1
květen	5,18	10,67	69	5	4	2	2	1
červen	11,11	23,43	79	5	4	3	3	1
červenec	5,98	2,43	79	5	4	2	2	1
srpen	10,44	23,49	84	5	4	2	2	1
září	10,72	-	84	5	-	2	2	-
říjen	9,01	36,56	84	5	4	3	3	1

*- počet nádob (ks)/měsíc reflektuje skutečné počty nádob k dispozici na jeden svoz v daném období

Zdroj: vlastní šetření. ESKO-T s.r.o.

Obec Březník – data analýzy směsného komunálního odpadu

Firma ESKO-T, s. r. o. pravidelně po měsíčních intervalech provádí analýzu směsného komunálního odpadu z vybraného vzorku obce Březník. Tuto analýzu směsného komunálního odpadu firma provádí od května roku 2006. Přehled za rok 2006 a 2010 uvádí tabulka 4 a 5.

Tabulka 4: Data analýzy směsného komunálního odpadu obce Březník za rok 2006

2006	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Kód	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
20 01 01	10,2	14,4	11,8	13,4	7,2	10,8	9,1	8,4
20 01 02	2,8	10,7	6,4	1,8	6,1	4,0	6,2	5,2
20 01 39	15,6	14,2	17,2	18,2	14,8	14,2	14,7	13,8
15 01 05	0,4	1,6	1,2	0,6	1,8	0,8	0,8	1,8
20 01 08	13,0	26,4	19,6	19,4	18,4	19,4	12,4	18,6
20 02 01	17,6	7,2	12,8	7,2	4,6	12,0	10,6	13,2
20 01 10	4,2	4,8	3,2	0,2	7,2	0,0	7,8	6,2
20 01 11	1,0	5,1	4,8	4,4	1,8	3,6	9,4	10,6
20 01 33	0,2	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,6
20 01 35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0
20 01 36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20 01 39	0,1	0,0	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4	0,6
20 01 38	0,4	0,0	0,6	0,4	0,4	2,6	1,4	4,2
20 01 40	4,4	2,4	3,8	3,6	5,2	3,8	5,4	7,6
20 03 07	14,5	16,3	12,4	11,6	16,4	12,6	8,2	14,8
Celkem	84,4	103,4	94,2	81,2	84,5	84,0	90,3	105,6

Zdroj: vlastní šetření. ESKO-T s.r.o.

Tabulka 5: Data analýzy směsného komunálního odpadu obce Březník za rok 2010

2010	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Kód	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
20 01 01	12	9,2	15,6	11,2	8,6	10,6	7,2	9,2	6,8	10,6	8,8	6,2
20 01 02	1,2	0,8	2,6	1,2	3,8	0,8	2,6	0,8	3,6	1,2	3,6	0,8
20 01 39	14,6	12,6	16,8	14,6	10,2	12,6	10,8	8,6	7	9,8	13	10,4
15 01 05	0,2	0	0,2	0	0,6	0,2	0	0	0,2	0	0,2	0,2
20 01 08	11,2	14,8	10,2	11,6	14,8	8,8	11,8	13,6	10,6	7,6	11,6	8,8
20 02 01	2,6	4,4	6,8	7,8	4,2	5,6	7,2	4,2	2,2	0,6	3,6	1,4
20 01 10	1,2	4,2	1,2	3,6	5,8	3,8	1,2	4,8	7,8	4,8	7,8	4,8
20 01 11	5,6	3,6	2,4	1,2	0,6	5,8	3,6	1,8	4,6	8	2	4,6
20 01 33	0	0,2	0,4	0	0,2	0,4	0,2	0	0	0,4	0	0
20 01 35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 01 36	1,6	3,6	1,6	2,8	0,8	4,6	2,2	0,2	3,6	1,2	4,6	2,2
20 01 39	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
20 01 38	2,2	1,2	0,8	2,2	1,2	2,6	0,8	2,6	1,2	0,6	0	2,6
20 01 40	0,8	3,6	1,2	3,8	0,6	3,8	1,2	4,8	2,2	1,2	0,4	2,8
20 03 07	31,6	28,8	31,6	28,6	34,6	29,8	32,6	35,8	30,8	37,6	32,8	34,8
Celkem	84,8	87,0	91,4	88,6	86,0	89,4	81,4	86,6	80,6	83,6	88,4	79,6

Zdroj: vlastní šetření. ESKO-T s.r.o.

Metody

Metodika vyjadřování produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu

Pro hodnocení odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu je využito metodiky vycházející ze vztahu (1), kde je celková skutečně sebraná produkce uváděna v kg na jednoho obyvatele a rok. Hodnoty měrného množství vypočtené tímto způsobem lépe reprezentují produkci biologicky rozložitelného komunálního odpadu v hodnocené obci.

Měrná produkce [kg.obyv.⁻¹.rok.⁻¹]

$$q_{\text{měrná}} = \frac{q_{\text{celková}}}{1000 \cdot n} \quad [\text{kg.obyv.}^{-1}.\text{rok.}^{-1}] \quad (1)$$

kde:

$q_{\text{měrná}}$... měrná produkce [kg.obyv.⁻¹.rok.⁻¹]
 $q_{\text{celková}}$... celková roční produkce oblasti [t.rok.⁻¹]
 n ... počet obyvatel v oblasti [počet]

Metodika ke stanovení průměrné hodnoty složení směsného komunálního odpadu z pohledu zastoupení biologicky rozložitelného komunálního odpadu

Při stanovení množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu se vychází z výsledků analýzy jeho složení (tabulka 4 a 5). Průměrné hodnoty obsahu jednotlivých složek směsného komunálního odpadu pro obec Březník jsou počítány podle odvozeného vztahu (2), kdy se jedná o upravený vzorec pro výpočet aritmetického průměru z postupně provedených analýz složení směsného komunálního odpadu v roce 2006 a 2010. Pro uvažované výpočty metodika dále počítá se vztahem (3) určení relativního množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu.

Průměrný relativní obsah druhu odpadu v směsném komunálním odpadu [%]

$$\bar{p}_D = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{m_{Di}}{m_{Ci}} \right)}{n} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

kde:

- \bar{p}_D ... průměrný relativní obsah druhu odpadu v směsném komunálním odpadu. [%]
 m_{Di} ... hmotnost obsahu druhu odpadu v jednom vzorku směsného komunálního odpadu [kg]
 m_{Ci} ... hmotnost celého jednoho vzorku směsného komunálního odpadu [kg]
 n ... celkový počet provedených analýz směsného komunálního odpadu [-]

Relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]

$$P_{BRO} = \frac{m_{BRO}}{m_{vzorku}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

kde:

- P_{BRO} ... relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu. [%]
 m_{BRO} ... hmotnost obsahu druhu odpadu v jednom vzorku směsného komunálního odpadu [kg]
 m_{Ci} ... hmotnost celého jednoho vzorku směsného komunálního odpadu [kg]

Ke zpracování výsledků složení směsného komunálního odpadu byly použity metody popisné statistiky, shrnuté do následujících vztahů:

Směrodatná odchylka [-] je vypočítaná podle vztahu (4)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{BROi} - \bar{P}_{BRO})^2}{n-1}} \quad [-] \quad (4)$$

kde:

- s ... směrodatná odchylka [-]
 P_{BROi} ... relativní obsah biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu z jednoho vzorku [%]
 \bar{P}_{BRO} ... průměrný relativní obsah biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]
 n ... celkový počet provedených analýz směsného komunálního odpadu [počet]

Variační koeficient [-], kdy je hodnota vypočítaná podle vztahu (5)

$$V = \frac{s}{\bar{P}_{BRO}} \quad [-] \quad (5)$$

kde:

- V ... variační koeficient [-]
 s ... směrodatná odchylka [-]
 \bar{P}_{BRO} ... průměrný relativní obsah biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]

Chyba při 95 % spolehlivosti odhadu základního souboru [%] vypočítaná podle vztahu (6)

$$\Delta = t_{\alpha(n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad [\%] \quad (6)$$

kde:

- Δ ... chyba pro 95% spolehlivost základního souboru [%]
 $t_{\alpha(n-1)}$... kritická hodnota Studentova t-rozdělení [-]
 s ... směrodatná odchylka [-]
 n ... celkový počet provedených analýz směsného komunálního odpadu [počet]

Minimální průměrné relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]

$$P_{BROmin} = \bar{P}_{BRO} - \Delta \quad [\%] \quad (7)$$

kde:

- P_{BROmin} ... minimální průměrné relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]
 \bar{P}_{BRO} ... průměrné relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]
 Δ ... chyba pro 95% spolehlivost základního souboru [-]

Maximální průměrné relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]

$$P_{BROmax} = \bar{P}_{BRO} + \Delta \quad [\%] \quad (8)$$

kde:

- P_{BROmin} ... minimální průměrné relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]
 \bar{P}_{BRO} ... průměrné relativní množství biologicky rozložitelného odpadu v směsném komunálním odpadu [%]
 Δ ... chyba pro 95% spolehlivost základního souboru [-]

Výsledky a komentář

V obci Březník byl odděleně sbírán biologicky rozložitelný komunální odpad do dvou VOK objemu 10 m³ již v roce 2004. V roce 2005 obec navýšila sběrnou kapacitu nádob o nový typ 18 ks sběrných nádob od firmy SSI Schäfer typ Compostainer CT 240 dm³. Tyto nové nádoby byly rozmístěny podle potřeb obce mezi zástavbu RD a BD. Nádoby slouží ke sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu z domácností. Pro sběr biologicky rozložitelného odpadu z údržby veřejné zeleně jsou v obci rozmístěny 4 ks VOK o objemu 18 m³. K dalšímu navýšování sběrné kapacity odděleného sběru docházelo postupně v následujících letech (tabulka 6). Z pohledu běžných sběrných nádob v roce 2007 přibýlo 5 ks 120 dm³ (také od firmy SSI Schäfer) a celkový počet 240 dm³ nádob stoupl na 33 ks. Následující rok bylo v obci rozmístěno 45 ks 240 dm³ nádob a v roce 2009 71 ks 240 dm³ nádob. V současné době je k dispozici 86 ks sběrných nádob od firmy SSI Schäfer typ Compostainer CT 240 dm³ při nezměněném počtu 5 ks 120 dm³ nádob a 4 ks VOK o objemu 18 m³.

Tabulka 6: Vývoj počtu, objemu nádob a četnosti svozu při odděleném sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu obce Březník

Rok	Typ nádob	Objem nádob [m ³]	Počet rozmístěných nádob [ks]	Počet svezných nádob za měsíc [ks.měsíc. ⁻¹]
2004	VOK	10	2	2,00
2005	VOK	10	2	2,00
	240 dm ³	0,240	18	36,00
2006	240 dm ³	0,240	18	34,00
	VOK	18	4	4,00
2007	120 dm ³	0,120	5	10,60
	240 dm ³	0,240	33	70,13
	VOK	18	4	4,00
2008	120 dm ³	0,120	5	11,00
	240 dm ³	0,240	45	88,50
	VOK	18	4	4,00
2009	120 dm ³	0,120	5	10,00
	240 dm ³	0,240	71	120,60
	VOK	18	4	4,00
2010	120 dm ³	0,120	5	10,71
	240 dm ³	0,240	86	170,00
	VOK	18	4	4,00

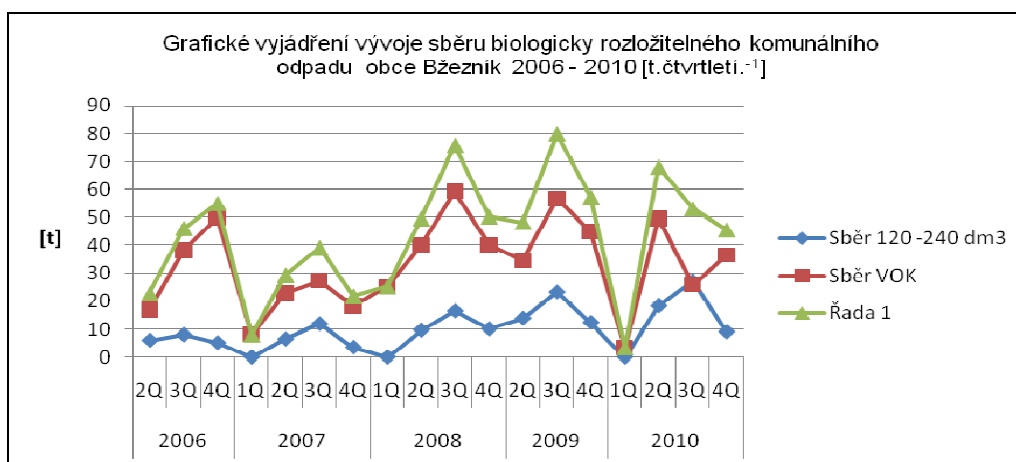
Celková produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu na obyvatele a rok byla v roce 2006 202 kg. V následujícím roce celková produkce zaznamenala nižší hodnoty, a to 158 kg. V roce 2008 dochází k více než 100% nárůstu a od roku 2009 je patrná tendence poklesu produkce, která se přenáší i do roku 2010. V roce 2010 je hodnota produkce 272 kg. Přes klesající tendenci produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu sbíraného do VOK, stále stoupá produkce odpadu sbíraného do sběrných nádob 120 dm³ a zejména 240 dm³. Celkové vyhodnocení stávající situace je patrné v tabulce 7. Data z tabulky 7 jsou graficky zobrazena na obrázku 1. Uvedený příklad grafického vyjádření se zaměřuje na celkový vývoj podle čtvrtletí za roky 2006 – 2010 a také přibližuje vývoj produkce z pohledu sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu do VOK a sběrných nádob.

Tabulka 7: Vyhodnocení produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu v letech 2006 – 2010

Rok	Sběr VOK celkem [t]	Sběr VOK [kg.obyv. ⁻¹ .rok. ⁻¹]	Sběr 120 – 240 dm ³ celkem [t]	Sběr 120 – 240 dm ³ [kg.obyv. ⁻¹ .rok. ⁻¹]	Sběr celkem [t]	Sběr celkem [kg.obyv. ⁻¹ .rok. ⁻¹]
2006	105,93	172	18,492	30	124,422	202
2007	76,8	123	21,757	35	98,557	158
2008	164,79	265	36,123	58	200,913	322
2009	136,12	217	49,337	79	185,457	296
2010	115,44	185	54,526	87	169,966	272

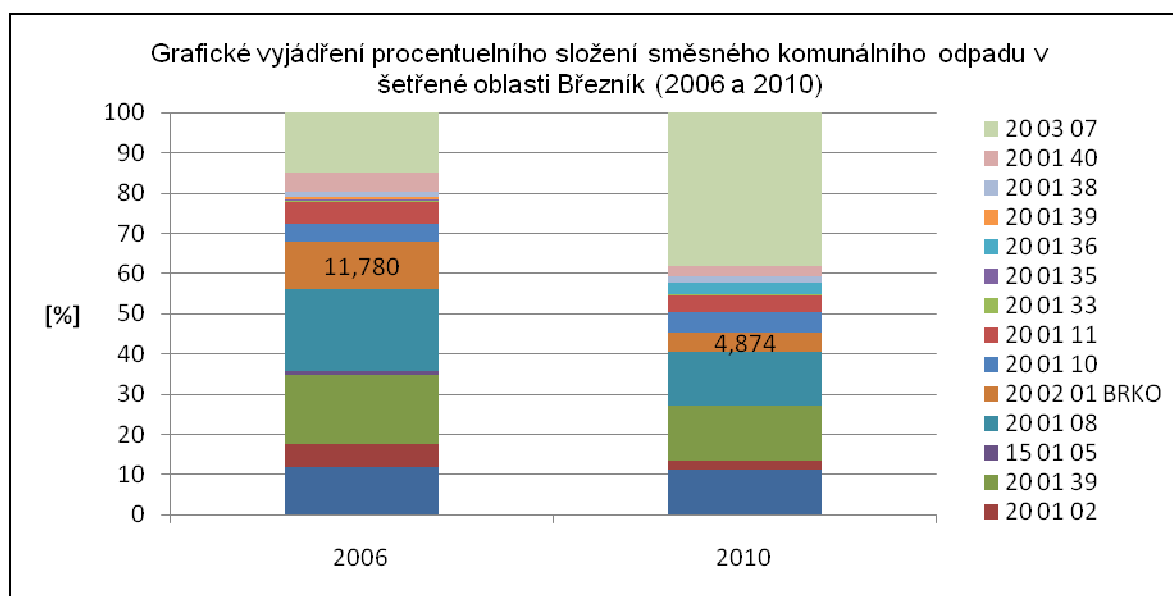
- pro jednotlivá léta 2006 až 2010 byla použita data počtu obyvatel z Českého statistického úřadu.

Obrázek 1: Grafické vyjádření vývoje sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu v obci Březník v letech 2006 – 2010



Porovnaná účinnost třídění biologicky rozložitelného komunálního odpadu v obci Březník v letech 2006 a 2010 je znázorněna na obrázku 2. Analýzou smíšeného komunálního odpadu byla zjištěna průměrná hodnota biologicky rozložitelného odpadu katalogového čísla 20 02 01 za rok 2006 11,78 %. Pro rok 2010 je průměrná hodnota 4,87 % z celkového zastoupení smíšeného komunálního odpadu. Přesnost jednotlivých výpočtů zachycují charakteristiky popisné statistiky vztahující se k zjišťovaným průměrným hodnotám. Výpočet k roku 2006 vykazoval chybu 3,78 % při 95 % spolehlivosti odhadu základního souboru. Vypočtené hodnoty za rok 2010 poukazují na chybu 1,59 % při 95 % spolehlivosti odhadu základního souboru. Souhrnné hodnoty charakteristik popisné statistiky k jednotlivým výpočtům za roky 2006 a 2010 jsou uvedeny v tabulce 8.

Obrázek 2: Grafické vyjádření procentuelního složení smíšeného komunálního odpadu v šetřené oblasti Březník (2006 a 2010)



Tabulka 8: Charakteristiky popisné statistiky vztahující se k vyjádření biologicky rozložitelného odpadu v smíšeném komunálním odpadu

Charakteristiky	Rok 2006	Rok 2010
Počet analýz	8	12
Průměr [%]	11,78	4,87
Směrodatná odchylka [-]	4,53	2,50
Koeficient variability [-]	38,46	51,38
Δ [%]	3,78	1,59
Minimální průměr [%]	7,99	3,28
Maximální průměr [%]	15,56	6,46

Závěr

Základním cílem práce bylo zjistit a zhodnotit vývoj odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Práce se opírala o posouzení účinnosti třídění z pohledu relativního zastoupení biologicky rozložitelného komunálního odpadu ve smíšeném komunálním odpadu obce ve vybraných porovnávacích letech. K dispozici byly dva soubory dat. První soubor dat se vztahoval k informacím a k charakteristikám, které směřovaly k jednotlivým hodnotám množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu, počtu nádob a četnosti jednotlivých svozů. Z těchto informací byl vytvořen ucelený přehled. Ze zjištěných informací je patrné, že oddělený sběr biologicky rozložitelného komunálního odpadu je občanů velice dobře akceptován a vývoj odděleného sběru probíhá v rovině zvyšování počtu 240 dm³ nádob, při nezměněné měsíční četnosti svozů v průběhu let. Zaznamenán byl také pokles

produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu sbíraného do VOK a nárůst produkce biologicky rozložitelného komunálního odpadu odevzdávaného do sběrných nádob. Druhý soubor dat popisoval jednotlivá měření, která odrážela prováděné analýzy směsného komunálního odpadu obce Březník v letech 2006 – 2010. Z takto poskládaných dat byla vyjádřena pomocí vzorců průměrný podíl biologicky rozložitelného komunálního odpadu katalogového čísla 20 02 01 ve směsném komunálním odpadu pro dané roky. Jednotlivé výpočty byly podpořeny z pohledu vyjádření jednotlivých charakteristik popisné statistiky vztahující se k průměrným hodnotám biologicky rozložitelného komunálního odpadu. V roce 2010 byl zjištěn nárůst účinnosti třídění biologicky rozložitelného komunálního odpadu na daném území obce. Doložené výsledky mohou pomoci při dalším šetření a optimalizaci systémů nakládání s biologicky rozložitelným komunálním odpadem na území obce.

Poděkování

Autoři děkují firmě ESKO-T servis, s. r. o., jmenovitě Kateřině Krejčové. Dále autoři děkují Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze za poskytnutí finančních prostředků z grantu IGA registrační číslo 201042220036.

Literatura

1. Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů.
2. Vrbová M., et al.: *Hospodaření s odpady v obcích*, Praha, EKO-KOM, a. s., 2009.
3. Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.
4. Bilitefsky B., et al.: *Waste management*, Berlin, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 1997.
5. Tchobanoglous G., O'leary P.R.: *Handbook of Solid Waste Management*, New York, McGraw Hill, 1994.
6. Váňa J., Balík J., Tlustoš P.: *Pevné odpady*, Praha, Česká zemědělská univerzita, 2005.
7. Kotoulová Z., Váňa J.: *Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem*, Praha, MŽP, 2001.

Bio-waste treatment systems – evaluation of separate collection of biodegradable municipal waste in Březník

Ondřej CHOTOVINSKÝ^a, Miroslav MARTIŠ^a, Vlastimil ALTMANN^b

Czech University of Life Sciences in Prague., Kamýcká 129, 165 21 Praha - Suchbál

^a Faculty of Environmental Sciences, e-mail: chotovinsky@knc.czu.cz, martis@knc.czu.cz

^b The Faculty of Engineering, e-mail: altv@tf.czu.cz

Abstract

The article is focused on the issue of biodegradable municipal waste. Implementation of bio-waste treatment system is one way to solve the management of biodegradable municipal waste in the respective territories. Composting or biogas plant are an integral part of bio-waste treatment systems and then bio-waste treatment systems provide collection and transport of biodegradable municipal waste, composting, production of electric energy in the biogas and use the resulting product in agriculture and for technical purposes. Article is related to a part of bio-waste treatment system. It is a separate collection of biodegradable municipal waste in municipality Březník. The municipality had 627 inhabitants in 2010. Emphasis is placed on mapping the situation with the evaluation of separate collection of biodegradable municipal waste for the years 2006 to 2010. Also individual characteristics of the collection are monitoring and evaluating. For example production of biodegradable municipal waste, the development of containers and frequency of collection. Article verifies the effectiveness of sorting biodegradable municipal waste, when in the article is comparing the relative representation of this waste in mixed municipal waste, which is produced in the municipality.

Keywords: municipal waste, biodegradable municipal waste, bio-waste treatment systems, separate collection of biodegradable municipal waste.

Studium vybraných vlastností izolačních materiálů z alternativních surovinových zdrojů

Jiří ZACH, Jitka HROUDOVÁ

Vysoké učení technické v Brně, Stavební fakulta, Veveří 331/95, 602 00 Brno,
e-mail: zach.j@fce.vutbr.cz, hroudova.j@fce.vutbr.cz

Souhrn

Příspěvek je věnován výsledkům výzkumných prací probíhajících na Stavební fakultě VUT v Brně, které jsou zaměřeny na oblast vývoje nových perspektivních izolačních materiálů na bázi alternativních surovinových zdrojů, především na přírodní bázi. Snahou je vyvinout rovnocenné izolační materiály k dnešním běžně používaným izolacím, které bude možné bezproblémově aplikovat ve stavebních konstrukcích, zejména pro izolace šikmých střech, lehkých obvodových plášťů, stěnových příček a podlah.

Jedná se konkrétně o izolační materiály vyvíjené ze snadno obnovitelných surovinových zdrojů pocházejících ze zemědělství (konopné, lněné a jutové vlákno), včetně odpadů ze zpracování zemědělských rostlin (konopné, lněné a jutové pazdeří). Dále pak o materiály na bázi odpadů pocházejících z textilního průmyslu (materiály na bázi odpadních vláken z ovčí vlny). Příspěvek popisuje základní principy výroby izolačních materiálů z alternativních surovinových zdrojů, dále jejich základní fyzikální vlastnosti a v neposlední řadě také vlastnosti související s chováním těchto materiálů po zabudování do stavební konstrukce.

Klíčová slova: Izolační materiály, snadno obnovitelné surovinové zdroje, textilní odpad, tepelné izolační vlastnosti, součinitel tepelné vodivosti.

1. Úvod

Současná moderní doba s sebou přináší stále zvyšující se objem odpadních produktů vznikajících v různých průmyslových odvětvích. Cílem mnoha vědeckých týmů a odborných pracovníků po celém světě je již řadu let nalézt pokud možno optimální cestu pro jejich další využití, případně vyvinout vhodnou technologii pro jejich recyklaci bez negativního vlivu na stav životního prostředí.

Stavební průmysl je výrobním odvětvím zpracovávajícím velké množství surovin, což úzce souvisí se stále vyššími nároky a požadavky lidské společnosti na stavební výrobu. Zvýšená poptávka pak vyvolává růst spotřeby stavebních materiálů, potažmo spotřeby vstupních surovin. Vzhledem k problematice dostupnosti a vyčerpitelnosti neobnovitelných nebo nesnadno obnovitelných surovinových zdrojů je potřebné hledat i jiné alternativní zdroje pro vývoj moderních perspektivních stavebních materiálů.

V oblasti tepelně a akusticky izolačních materiálů jsou dnes nejvíce používány a známy syntetické materiály, jako je např. minerální a skleněná vlna, expandovaný (extrudovaný) polystyren, pěnový polyuretan a další. U pěnoplastických materiálů je hlavním (neobnovitelným) surovinovým zdrojem ropa, jejíž zásoby jsou předpokládány již jen v řadě desítek let. Negativní dopad na životní prostředí má již samotná doprava suroviny k výrobcí, dále pak potřebná energie při výrobním procesu (výroba minerálně vláknitých tepelně izolačních materiálů je vysoce energeticky náročná). Navíc recyklace těchto materiálů je v případě zabudování do systémů značně komplikovaná a ekologicky i finančně náročná.

Na Stavební fakultě Vysokého učení technického v Brně již mnoho let probíhají výzkumné činnosti a projekty řešící otázky využití druhotných, odpadních a alternativních (snadno obnovitelných) surovin pro vývoj nových stavebních materiálů, mezi které patří i tepelně a akustické izolační materiály. Cílem je vyvinout takové izolace, které budou minimálně srovnatelné svými vlastnostmi současným izolačním materiálům. Snahou je při jejich vývoji minimalizovat ekologický dopad na životní prostředí, ale také zachovat rozumnou cenovou úroveň.

Alternativní surovinové zdroje využité v rámci výzkumných prací na Stavební fakultě Vysokého učení technického v Brně při vývoji novodobých izolačních materiálů byly následující:

- odpadní a alternativní suroviny ze zemědělství (inspirováno historií stavitelství): len, technické konopí, juta (vlákno s podílem pazdeří),
- odpadní suroviny z textilního průmyslu: vlákna ze zpracování ovčí vlny.

S využitím některých surovinových zdrojů (technické konopí, sláma, len, rákos, ovčí vlna, ...) se již můžeme hojně setkat v zahraničí, z okolních států to jsou zejména Francie, Německo a Rakousko. Zde lidé kladou důraz na zdravé životní podmínky, a proto se navracejí k přírodním tradicím i přes vyšší pořizovací náklady.

2. Experimentální část

Tento příspěvek popisuje výsledky výzkumu dosažené na 4 sadách zkušebních vzorků, kdy při výrobě sady č. 1 byla použita jutová vlákna, u sady č. 2 byla využita vlákna lněná, sada č. 3 byla připravena z vláken technického konopí a při výrobě zkušebních těles poslední zvolené sady č. 4 byla použita odpadní vlákna z vlny. Procentuální složení vstupních komponent je uvedeno níže, viz tabulka 1. [1]

Tabulka 1: Složení jednotlivých zkušebních sad [%]

Označení	Rostlinná vlákna	Živočišná vlákna	Bikomponentní vlákna	Pazdeří*	Poznámka
1	68	-	20	12	Juta
2	68	-	20	12	Len
3	48	-	20	32	Technické konopí
4	-	85	15	-	Odpadní vlna

*Jedná se o odpadní surovinu vznikající při zpracování zemědělských plodin na vlákna

Z uvedených záměsů byly na výrobní lince, která umožňuje zpracování těchto vláknitých vstupních surovin, připraveny izolační rohože deskového tvaru o rozměrech 1000 x 500 mm a tloušťce 80 mm. Z nich byla pak dále nařezána zkušební tělesa požadovaných formátů, jednalo se o rozměry 200 x 200 mm a 300 x 300 mm, na kterých byly stanoveny základní fyzikálně technické a tepelně izolační vlastnosti.

2.1. Vstupní suroviny

Pro výrobu izolačních materiálů byla použita přírodní vlákna z technického konopí, juty a lnu s podílem cca 20 % odpadního pazdeří. Jednalo se o vlákna tloušťky 94 μ m až 155 μ m.

Dále byla použita odpadní vlákna z ovčí vlny, která vznikají v textilním průmyslu při zpracování surové ovčí vlny na vlněné vlákno. Při technologických operacích ve výrobním závodu pro spřádání ovčí vlny vzniká odpadní vlákno, které již nelze uplatnit v textilním průmyslu. Tato odpadní vlákna jsou však vhodná k výrobě tepelně a akusticko izolačních rohoží, které jsou svými vlastnostmi srovnatelné s průmyslově vyráběnými materiály, jako je například pěnový polystyren nebo minerální vlna. Pro výrobu izolačních rohoží na bázi ovčí vlny byla použita odpadní vlněná vlákna tloušťky 20 μ m až 40 μ m [1].

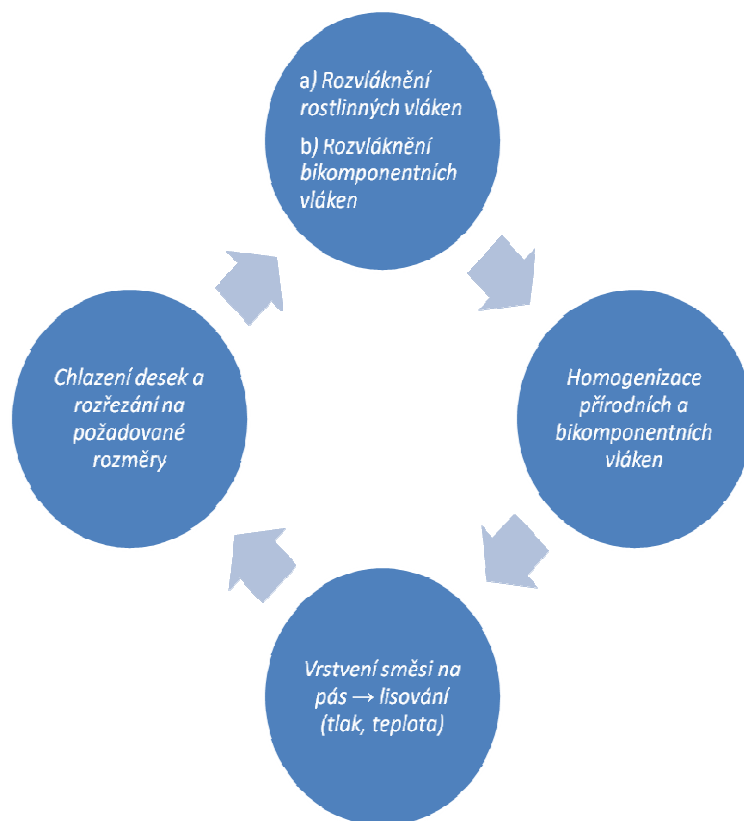
Jako pojivo byla použita v případě vláken pocházejících ze zemědělství bikomponentní polyesterová vlákna a v případě vláken pocházejících z textilního průmyslu se jednalo o bikomponentní vlákna polyethylenová.

2.2. Technologie výroby tepelných a akustických izolací z alternativních surovinových zdrojů

Výroba izolačních materiálů byla provedena bezodpadovou výrobní technologií, kde se všechny odpady z výroby po zpětném rozvláknění vrací do výroby, jako vstupní surovina.

Výrobní proces pokrokových tepelně a akusticko-izolačních materiálů na přírodní bázi je totožný. Nejprve jsou rozvlákněna přírodní vlákna, která se mohou v této fázi dále upravovat pomocí přísad proti hoření, proti hnilobě a dalším, ty jsou dále smísena s rozmísenými bikomponentními polymerními vlákny. Jedná se o syntetická vlákna, která jsou tvořena z jádra z vysokoteplotního polymeru a obalu

z nízkoteplotního polymeru. V případě vlněné izolace se používá přídavek 10 – 15 % syntetických vláken, v případě rostlinných izolací se používá přídavek 12 – 20 %, v závislosti na druhu a vlastnostech vstupní suroviny. Směs se pak mísí za zvýšené teploty, dále je vrstvena na výrobní pás a lisována za daného tlaku (dle požadované objemové hmotnosti a tloušťky) do formy desek, které jsou následně ochlazeny a rozřezány do požadovaných formátů. [2] Konkrétní složení zkušebních vzorků popisovaných v tomto příspěvku je uvedeno výše v tabulce č. 1.



Obrázek 1: Princip výroby izolačních rohoží na přírodní bázi



Obrázek 2: Ukázka testovaných zkušebních těles ve tvaru desky o rozměrech 300 x 300 mm

3. Výsledky a diskuse

Na zkušebních tělesech byla provedena série laboratorních měření, jejichž cílem bylo stanovení základních vlastností, které jsou významné z pohledu užití izolačních materiálů do stavebních konstrukcí (střechy, nenosné stěny, podlahy). Bylo provedeno stanovení následujících základních vlastností:

- stanovení tloušťky (dle ČSN EN 1602),
- stanovení objemové hmotnosti (dle ČSN EN 1602),
- stanovení součinitele tepelné vodivosti (dle ČSN 727012, ISO 8302),
- stanovení hygroskopických sorpčních vlastností (dle ČSN EN ISO 12571).

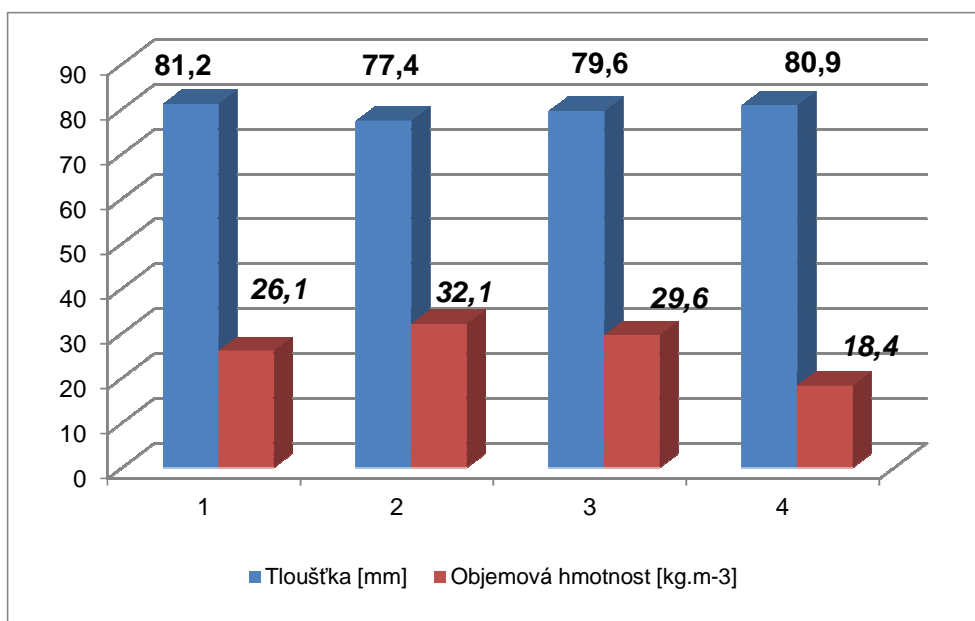
3.1 Stanovení základních fyzikálních vlastností

V úvodu testování 4 sad o 10 zkušebních tělesech připravených z odlišných druhů vláken bylo provedeno stanovení tloušťky a následně pak objemové hmotnosti, která je jedním z významných aspektů ovlivňujících tepelně izolační, akustické i fyzikálně mechanické vlastnosti izolačních materiálů.

U zkušebních těles deskového tvaru o rozměrech 200 x 200 mm byla nejprve stanovena jejich tloušťka (při jmenovitém zatížení 50 Pa dle ČSN EN 1602) a následně pak bylo provedeno stanovení objemové hmotnosti, která byla získána podílem hmotnosti a objemu vzorku. [3]

$$\rho_v = \frac{m}{V} \quad (1)$$

kde: ρ_v objemová hmotnost zkušebního tělesa [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 m hmotnost zkušebního tělesa [kg]
 V objem zkušebního tělesa [m^3]



Obrázek 3: Přehled průměrných hodnot základních fyzikálních vlastností u jednotlivých zkušebních sad

Jak lze posuzovat z naměřených dat, všechny 4 zkušební sady izolačních materiálů byly výrobní linkou získány na požadovanou tloušťku 80 mm s odchylkou menší jak 4 %.

Průměrná objemová hmotnost se pohybovala v intervalu <18,4; 32,1> $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, kdy nejvyšší hodnoty byly naměřeny na zkušebních tělesech sady č. 2 (jutová vlákna), naopak hodnoty nejnižší byly stanoveny u poslední, tj. 4. testované sady (vlákna odpadní ovčí vlny), viz obrázek 3.

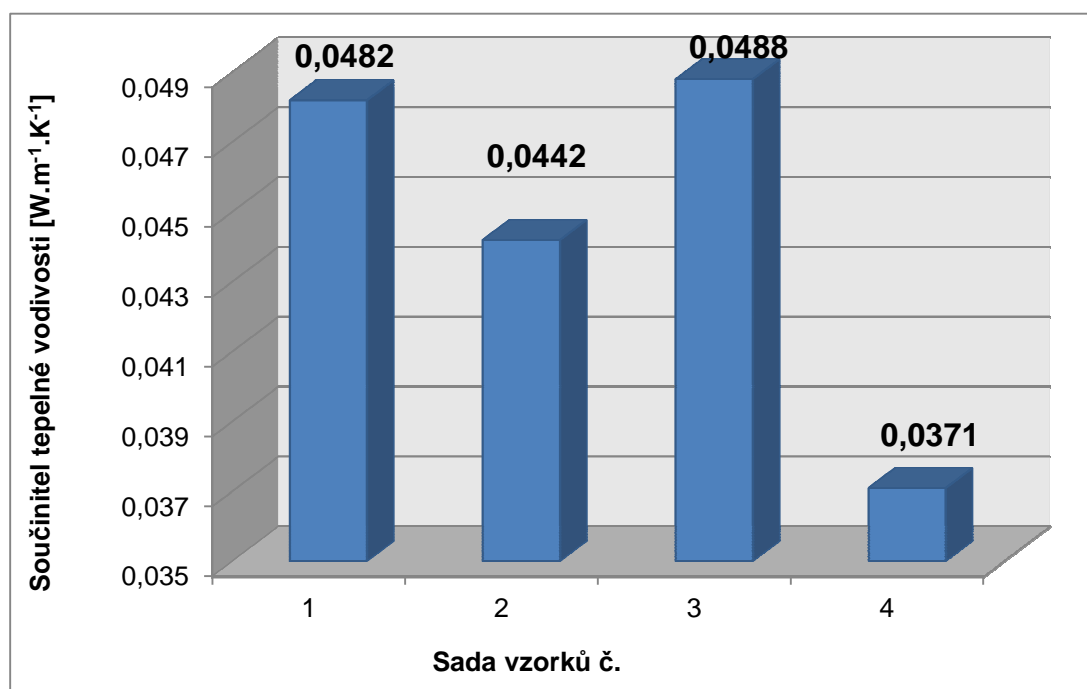
3.2 Stanovení tepelně izolačních vlastností

Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno na zkušebních vzorcích pomocí stacionární metody desky (metoda měřidla tepelného toku) v souladu s ČSN 72 7012-3 a ISO 8302 [4, 5]. Hodnota součinitele tepelné vodivosti se stanovuje v ustáleném stavu při definované střední teplotě a teplotním spádu na základě znalosti tloušťky zkušebního vzorku, napětí na měřidlech hustoty tepelného toku a jejich kalibrační konstanty:

$$\lambda_{sam} = \frac{U \cdot k_m \cdot d_m}{\theta_{hd} - \theta_{cd}} \quad (2)$$

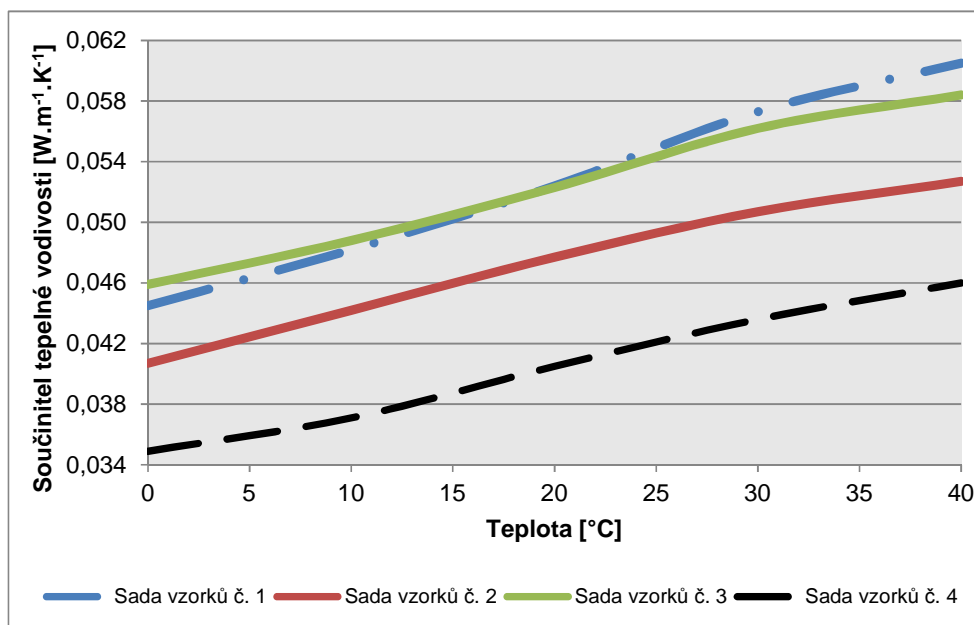
kde: λ_{sam} součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 U průměrná hodnota napětí na obou měřidlech hustoty tepelného toku [V],
 k_m kalibrační konstanta [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],
 d_m průměrná hodnota tloušťky zkušebního vzorku [m],
 θ_{hd} výpočtová hodnota povrchové teploty teplé strany zkušebního vzorku [$^{\circ}\text{C}$],
 θ_{cd} výpočtová hodnota povrchové teploty chladné strany zkušebního vzorku [$^{\circ}\text{C}$].

Zkušební tělesa byla uložena v laboratorním prostředí za předepsaných podmínek a před prováděním zkoušky byla vysušena do konstantní hmotnosti. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti byly stanoveny pro různé střední teploty 0°C , 10°C , 20°C , 30°C , 40°C při jednotném teplotním spádu 10 K. Pro stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo použito měřicího přístroje Lambda Holometrix 2300.



Obrázek 4: Naměřené průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti u jednotlivých zkušebních sad při teplotě $+10^{\circ}\text{C}$

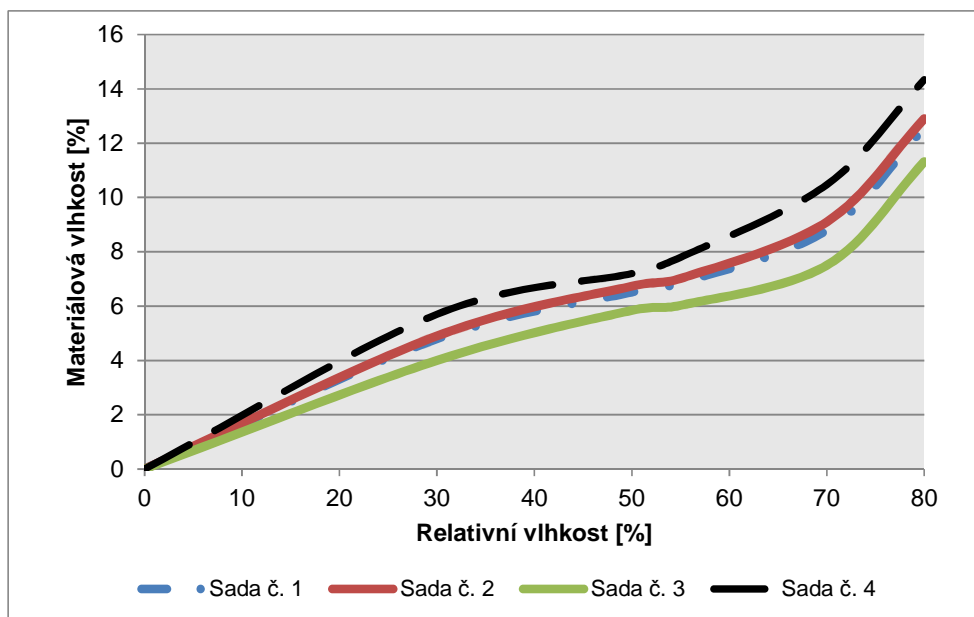
Z naměřených hodnot lze sestavit závislosti součinitele tepelné vodivosti na teplotě u jednotlivých zkušebních sad (viz obrázek 5).



Obrázek 5: Závislost součinitele tepelné vodivosti zkušebních vzorků na teplotě

Na základě grafického vyhodnocení lze říci, že nejvyšší nárůst součinitele tepelné vodivosti byl zaznamenán u zkušební sady vzorků z jutových vláken. Naopak nejmenší teplotní citlivost součinitele tepelné vodivosti byla stanovena u sady zkušebních těles vyrobených z konopných vláken. Z hlediska celkových dosažených výsledků měření vykazovaly nejlepších hodnot vzorky ze zkušební sady č. 4 ze směsi ovčích vláken a bikomponentních vláken.

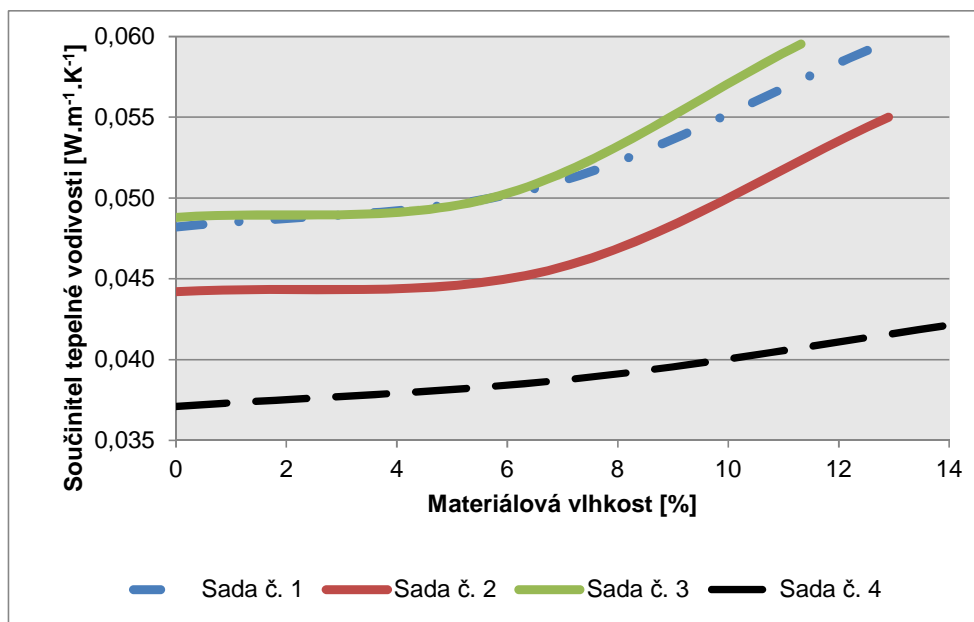
Dále byly sledovány sorpční charakteristiky u jednotlivých testovaných sad dle ČSN EN ISO 12571. Zkušební vzorky byly umístěny do prostředí o různých relativních vlhkostech (11, 33, 55, 80 %) při teplotě $23 \pm 0,5$ °C a váženy v časových intervalech 24 hodin až do ustálení jejich hmotnosti. Po ustálení hmotnosti byly zkušební vzorky zabaleny do tenké parotěsné fólie a bylo provedeno stanovení součinitele tepelné vodivosti (při daném vlhkostrním obsahu). [6]



Obrázek 6: Sorpční křivky jednotlivých zkušebních sad stanovené při teplotě + 23 °C

Jak je patrné z vlhkostních průběhů uvedených v obrázku č. 6, materiálová vlhkost při běžné relativní vlhkosti vzduchu, tj. do 60 %, byla u všech vyvíjených izolačních materiálů na bázi přírodních odpadních surovin menší jak 9 %. Největší vlhkostní citlivost byla zaznamenána u vzorku č. 4 z odpadní vlny.

Z naměřených hodnot součinitele tepelné vodivosti u vzorků s různým množstvím materiálové sorpční vlhkosti byla dále sestavena závislost součinitele tepelné vodivosti na materiálové vlhkosti (pro jednotlivé zkušební sady), viz obrázek 7.



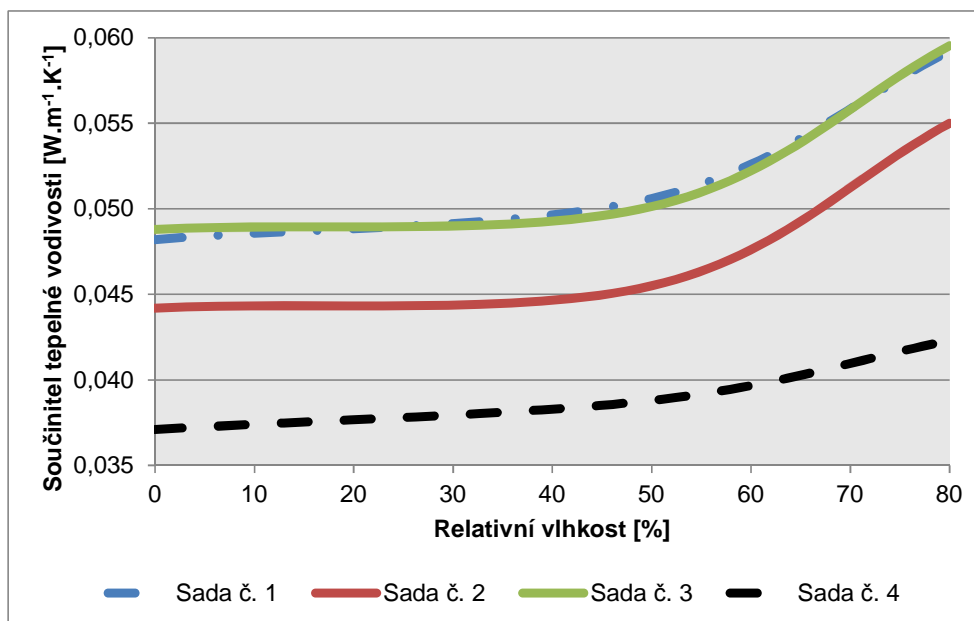
Obrázek 7: Závislost součinitele tepelné vodivosti na materiálové vlhkosti

Z naměřených hodnot součinitele tepelné vodivosti v závislosti na vlhkosti je patrné, že vlhkost má dominantní vliv na výsledné hodnoty součinitele tepelné vodivosti materiálů na přírodní bázi. U vzorků 1 – 3 byla zaznamenána významná degradace tepelně izolačních vlastností až v oblasti vlhkostního obsahu nad 6 %. V případě zkušebních vzorků č. 4 byla zjištěna vyšší citlivost tohoto materiálu v oblasti nízké vlhkosti, nicméně z celkového pohledu (na celém vlhkostním intervalu) byla zaznamenána nižší citlivost ve srovnání s ostatními vzorky.

Závěry

Jak je patrné z naměřených hodnot, zkušební vzorky na bázi alternativních organických surovinových zdrojů vykazují velice dobré tepelně izolační vlastnosti. Nejlepších hodnot bylo dosaženo u zkušebních vzorků z odpadní ovčí vlny. Při běžných relativních vlhkostech se pohybuje u těchto vzorků hodnota součinitele tepelné vodivosti v rozmezí $0,036 - 0,050 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Se vzrůstající teplotou dochází ke zhoršení tepelně izolačních schopností materiálů.

Z naměřených výsledných hodnot součinitele tepelné vodivosti u jednotlivých zkušebních sad lze usuzovat, že v prostředí s běžnou relativní vlhkostí pohybující se do 60 % nedochází k výraznému snížení tepelně izolačních vlastností, viz níže uvedený obrázek 8. Jako nejlepší byla vyhodnocena testovaná zkušební tělesa ze zkušební sady č. 4.



Obrázek 8: Vliv relativní vlhkosti na součinitel tepelné vodivosti

Materiálová vlhkost při běžné relativní vlhkosti vzduchu, tj. do 60 %, byla u všech vyvíjených izolačních materiálů na bázi přírodních odpadních surovin menší jak 9 %. Tato vlhkost má negativní vliv na tepelné technické vlastnosti vyvíjených materiálů, nicméně degradace tepelné izolačních vlastností je u všech materiálů nižší než 9 % (oproti vysušenému stavu – viz obrázek 8).

Lze souhrnně konstatovat, že tepelné izolace z odpadních přírodních zdrojů vykazují tepelně izolační vlastnosti plně srovnatelné s minerální nebo skelnou vlnou a lze je bez problémů využít pro izolaci stavebních objektů za předpokladu, že nebudou v konstrukci trvale vystaveny vyšší vlhkostní zátěži. Jejich aplikace je především pro izolaci vnitřních konstrukcí i obvodových a střešních pláštů, střeš a podlah. Jejich nespornou výhodou je též schopnost aktivně pohlcovat vlhkost při zachování dobrých tepelně izolačních vlastností a následně ji vydávat do vnějšího prostředí při poklesu vnitřní relativní vlhkosti, což může vést při správném návrhu skladby konstrukce ke zlepšení kvality vnitřního mikroklimatu v interiéru stavby.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu Specifického vysokoškolského výzkumu na VUT v Brně č. FAST-J-11-11/1220.

Literatura

- [1] Zach, J.; Sedlářová, I.: *Možnosti výroby izolačních rohoží z organických materiálů a odpadů*. In Construmat 2008. Brno, VUT v Brně. 2008. p. 145 – 148. ISBN 978-80-214-3660-2.
- [2] Zach, J.; Brožovský, J.; Sedlářová, I.: *Determination of thermal technical properties of organic thermal insulating materials built-in to historical buildings*. The e-Journal of Nondestructive Testing. 2008. 2008(1). p. 1 – 8. ISSN 1435-4934.
- [3] ČSN EN 1602: Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení objemové hmotnosti (1998).
- [4] ČSN 727012-3: *Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky*. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku (1994).
- [5] ISO 8302: Thermal Insulation – Determination of Steady-state Thermal Resistance and Related Properties – Guarded Hot Plate Apparatus. (1991).
- [6] ČSN EN ISO 12571: Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků – Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností (2001).

Study of selected properties of insulation materials from alternative raw sources

Ing. Jiří ZACH, Ph.D.; Ing. Bc. Jitka HROUDOVÁ

Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Institute of Technology of Building Materials and Components

Summary

This article is dedicated to results of research works at Faculty of Civil Engineering in Brno, which are focused on branch of development of new perspective insulations based on alternative raw sources, mainly on natural base. The effort is to develop equal insulate materials to common used insulations today, which will be possible to apply without problems in building construction, especially for insulations used for sloping roof, cladding, wall rail, floors.

It goes about concretely insulate materials developed from easy renewable raw sources which come from agriculture (hemp, flax and jute fibres) inclusive waste from treatment agriculture plants (hemp, flax and jute shives). Further materials on base of waste originated from textile industry (materials based on waste fibre from sheep wool). The article describes basic principles of production of insulations from alternative raw sources, further their elementary physical properties and last but not least properties connected with behavior of these materials after build them into building construction.

Keywords: *Insulate materials, easy renewable raw sources, textile waste, thermal technical properties, thermal conductivity.*

Vliv popílku v cementovláknových kompozitech s využitím recyklovaného kameniva

Vladimíra VYTLAČILOVÁ, Karel ŠEPS

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Thákurova 7, 166 29 Praha 6,
e-mail: vladimira.vytlacilova@fsv.cvut.cz.

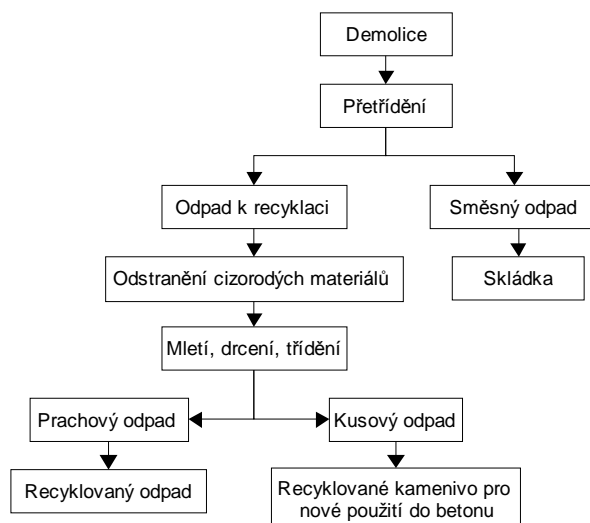
Souhrn

Příspěvek je pokračováním experimentálního programu zaměřeného na sledování vlastností cementovláknových kompozitů s významným podílem recyklovaného kameniva. V rámci pokračujícího výzkumu byly ověřovány dosažitelné vlastnosti kompozitů, ve kterých bylo přírodní kamenivo v plné míře nahrazeno cihelným nebo betonovým recyklátem. Na vzorcích byla především sledována možná náhrada cementu fluidním popílkem. Příspěvek shrnuje dosažené výsledky sledovaných základních mechanicko-fyzikálních vlastností kompozitu ve srovnání s referenčním betonem z přírodního kameniva.

Klíčová slova: cihelný recyklát, betonový recyklát, popílek, polypropylenová vlákna, vláknobeton, pevnosti vláknobetonu.

Úvod

Z důvodu stále rostoucího objemu stavebních a demoličních odpadů [1-5] a zároveň s ubývajícím zdroji přírodního kameniva je snahou mnoha výzkumných pracovišť podpořit využití těchto materiálů. V souladu s požadavky trvale udržitelného rozvoje a zajištění koloběhu materiálů, které vstupují do stavební činnosti, je nezbytné využití recyklačních principů. Výsledkem vzestupného typu (up-cycling) recyklačního procesu (obrázek 1) lze získat inertní materiál vhodný pro následnou výrobu betonu. Výsledná kvalita recyklátu je ovlivněna nejenom samotnou technologií recyklačního procesu, ale také závisí na důslednosti dodržení jednotlivých kroků v procesu recyklace. Základním předpokladem pro získání kvalitního výstupního recyklátu je především důsledné prvotní přetřídění, tzn. odstranění všech nežádoucích, nevhodných materiálů, jako jsou sklo, dřevo a kov. Odstranění kontaminovaných a nebezpečných částic ze stavebního a demoličního odpadu by mělo být provedeno před zahájením demoličních prací, aby nedošlo ke znehodnocení ostatních materiálů.



Obrázek 1: Model recyklace vzestupného typu (up-cycling)

Recykláty ze stavebních a demoličních odpadů se využívají převážně jako podřadné materiály zejména v dopravním stavitelství při výstavbě silničních a železničních komunikací, při terénních úpravách a rekultivacích nebo jako podkladový a zásypový materiál. Využití betonového nebo cihelného recyklátu jako kameniva do nového betonu se používá stále spíše ojediněle a v omezené míře (většinou v literatuře doporučeném množství max. 30 %), přestože vlastnosti recyklátů jsou pro jeho výrobu dostačující. Většinou se přitom využívá pouze hrubá frakce (velikost zrn nad 4 mm). Jemná frakce kameniva (0/4 mm) obsahuje relativně vysoký podíl cementového kamene, který způsobuje větší pórovitost a nasákavost, s čímž souvisí výsledná pevnost materiálu. K zajištění maximální technologické jednoduchosti, která je v souvislosti s ekonomickými kritérii nezbytná pro praktické využití, je však vhodné použít pouze jedné – široké frakce kameniva omezené pouze velikostí maximálního zrna kameniva v závislosti na parametrech reálné konstrukce.

Použití recyklovaného kameniva pro výrobu betonu je dáno technickými normami, které předepisují požadované parametry kameniva. Podle využití konkrétního recyklovaného kameniva ve stavebnictví se sleduje chemické a mineralogické složení, obsah škodlivin a fyzikálně-mechanické vlastnosti. Zajištění všech požadovaných hodnot sledovaných charakteristik však může být problematictější, než je tomu u přírodního kameniva. Dále uvedený experimentální program vychází z požadavku zpracovat stavební a demoliční odpad v podobě recyklátu, tak jak jej lze získat z recyklačních zařízení a navrhnout co nejjednodušší návrhový postup výroby vláknobetonu.

Na základě výsledků experimentálního programu zaměřeného na využití cihelného a betonového recyklátu pro výrobu betonu, které již byly dříve publikovány [1-5], bylo ověřeno, že lze docílit dostatečných hodnot vlastností podstatných pro vytípané konstrukce. Vhodnost recyklátů pro výrobu betonů dokazují i výsledky prezentované zahraničními pracovišti [6-11], které se zkoušením vlastností betonů vyrobených z recyklátů zabývají. Experimentální program proto dále pokračuje optimalizací návrhu složení vedoucí k finančním úsporám spojených s výrobou kompozitu. Cement je velmi energeticky i ekonomicky náročný, a proto je snaha minimalizovat jeho množství částečným nahrazením příhodnějšími hydraulickými pojivy.

Experimentální část

Experimentální výzkum

Cílem níže prezentovaného výzkumu je stanovení a zhodnocení vlastností betonů s plnou náhradou přírodního kameniva recykláty – cihelnými a betonovými, při částečné náhradě cementu fluidním popílkem. Obecný postup návrhu vláknobetonu s plným využitím recyklátu vychází především z ekonomického kritéria, s ohledem na technologickou jednoduchost a snadné zpracování, s možným uplatněním v praxi.

Výroba vzorků

Experimenty byly prováděny v ústředních laboratořích Fakulty stavební, ČVUT v Praze. Popis složení zkoušených vzorků je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1: Složky vzorků jednotlivých sérií

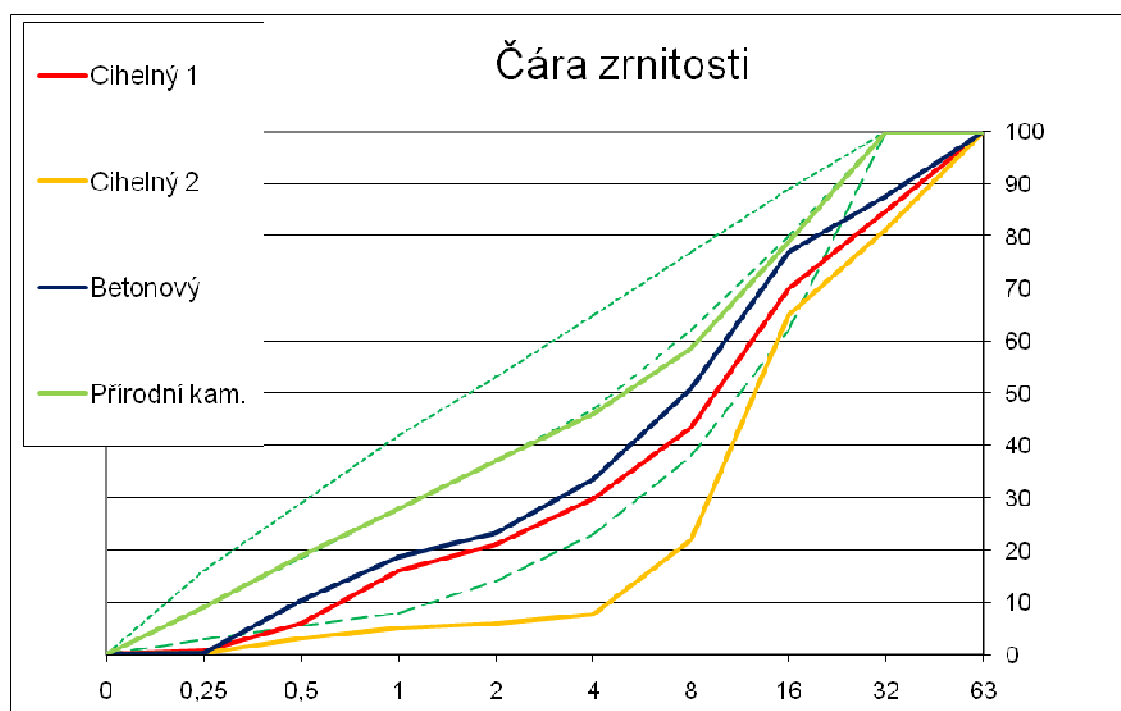
Popis vzorku	Kamenivo	Příměs	Pojivo	Vlákná
C3	Cihelný recyklát 1	-	CEM II/B-M(S-LL) 32,5R	Forta Ferro 1 % obj.
CP	Cihelný recyklát 2	Třinecký popílek		
B3	Betonový recyklát	-		
BP		Třinecký popílek		
P3		-		
PP	Přírodní kamenivo	Třinecký popílek		

V experimentálním programu byl použit pro výrobu cihelný recyklát (smíšený – zděný recyklát s převážným podílem cihelného zdiva) poskytnutý společnostmi WEKO s.r.o. (cihelný recyklát 1) a KARE s.r.o. (cihelný recyklát 2) o frakcích 0/32 mm. Cihelný recyklát 2 vykazoval větší míru znečištění cizorodými materiály (dřevo, sklo, kov, el. kabely) i větší odchylky od ideálních zrnitostí kameniva pro maximální zrno 32 mm dané normou.

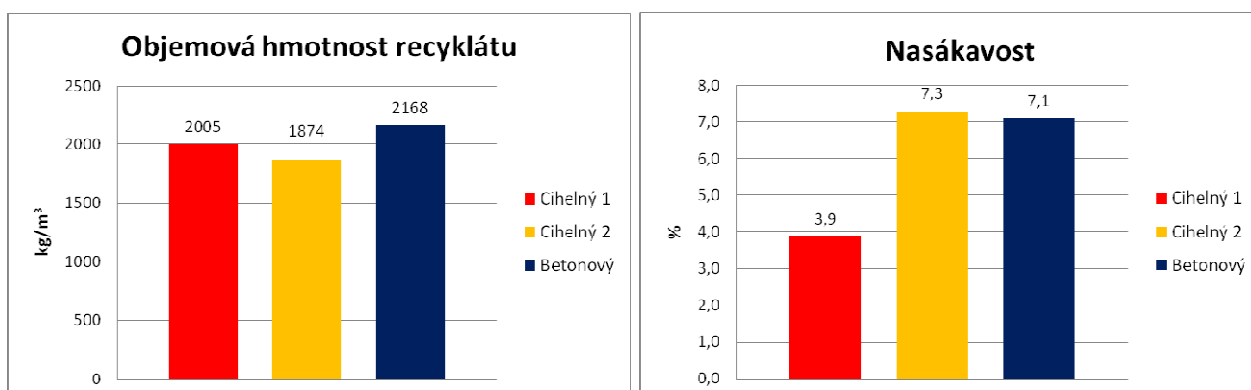
Betonový recyklát získaný z recyklační společnosti KARE s.r.o. byl také frakce 0/32 mm.

Cihelný recyklát byl dávkován v množství 1358 a 1466 kg/m³ kompozitu. Množství betonového recyklátu bylo 1818 kg/m³. Použité přírodní drobné kamenivo – písek frakce 0/4 mm (dávkované v množství 870 kg/m³) bylo z pískovny Dobřín. Hrubé kamenivo – štěrk frakce 4/8 mm a 8/16 mm (v množství 235, respektive 785 kg/m³) bylo z provozovny Kámen Zbraslav s.r.o.

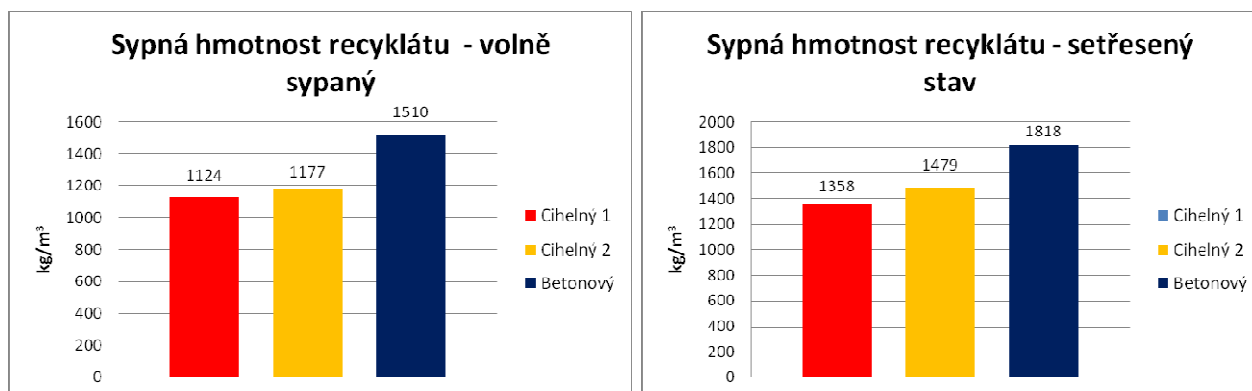
Sledovanými vlastnostmi recyklovaného kameniva byla čára zrnitosti, nasákavost, objemová hmotnost, sypaná hmotnost ve volně sypaném stavu a sypaná hmotnost v setřeseném stavu, jejichž hodnoty jsou uvedeny níže (graf 1 – 5). Měření uvedených charakteristik bylo v souladu s normami – objemová hmotnost a nasákavost (dle ČSN 72 1171), sypaná hmotnost volně sypaného materiálu, v setřeseném stavu a mezerovitost (dle ČSN EN 1097-3), rozbor zrnitosti (dle ČSN EN 933-1).



Graf 1: Čáry zrnitosti jednotlivých typů použitého kameniva



Graf 2, 3: Objemová hmotnost recyklovaného kameniva (vlevo), nasákavost recyklovaného kameniva (vpravo)



Graf 4, 5: Sypná hmotnost volně sypaného recyklovaného kameniva (vlevo), sypná hmotnost recyklovaného kameniva v setřeseném stavu (vpravo)

Ve zkoušených sériích tohoto experimentálního programu byla použita vlákna Forta FerroTM. Jedná se o polypropylenová monofilamentní nefibrilující vlákna vyráběná ze 100% nového polypropylenu v kombinaci se síťovým (fibrilovaným) vláknem. Používají se k omezení smršťování betonu, zlepšení rázové odolnosti, zvýšení únavové odolnosti a houževnatosti betonu. Toto vlákno pro zvláště vysoké zatížení poskytuje maximálně dlouhou životnost a díky synergickým účinkům dvou složek a velké délce také významné strukturální mechanické vlastnosti. Vláknem je nekorozivní, nemagnetické, chemicky inertní a 100% odolné vůči alkáliím [12]. Množství vláken ve zkoušených recepturách bylo stanoveno, na základě předcházejících experimentálních zkoušek s vlákny, na 1 % celkového objemu (čemuž odpovídá množství 9,1 kg/m³), aby byl prokázán jejich výraznější vliv ve struktuře betonu s recykláty.

Množství cementu u vzorků C3, B3 a P3 bylo stanoveno na základě předchozích experimentů v hodnotě 300 kg/m³ (z hlediska dostatečných pevností pro předpokládané aplikace). Všechny zkoušené receptury byly vyrobeny ze směsného cementu CEM II/B-M(S-LL) 32,5R. U vzorků s označením CP, BP a PP bylo množství cementu redukováno o 10% a byl přidán popílek odpovídající 20 % hmotnosti cementu. Chemické složení použitého třineckého fluidního popílku je uvedeno v tabulce 2.

Tabulka 2: Chemické složení třineckého fluidního popílku [13]

Popílek Třinec ložový	
Složka	Obsah [% hmotn.]
SiO ₂	53,5
Al ₂ O ₃	21,5
Fe ₂ O ₃	5,8
FeO	0,2
TiO ₂	0,9
Cr ₂ O ₃	< 0,1
P ₂ O ₅	0,4
CaO	6,7
MgO	3,2
MnO	< 0,1
K ₂ O	2,6
Na ₂ O	0,2
C	2,6
S	2,5
Ztráta žháním	0,46

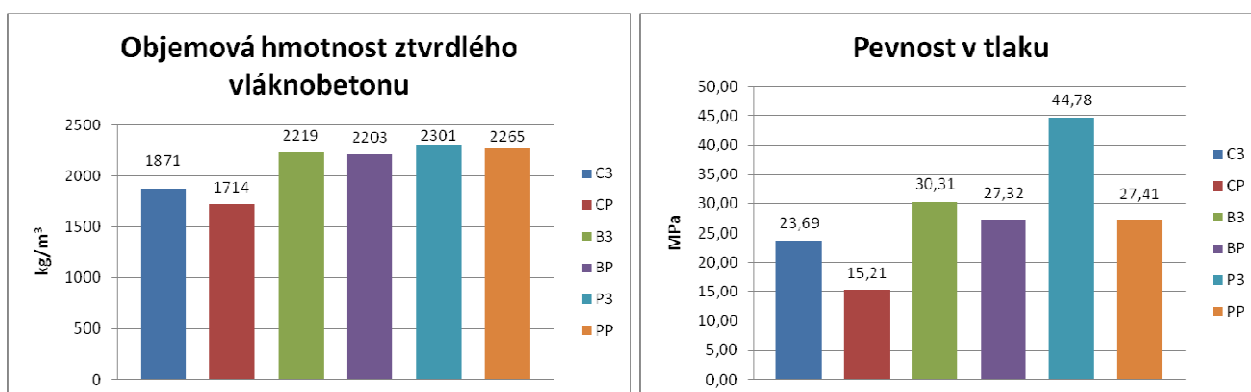
Vodní součinitel se pohyboval v rozmezí 0,48 až 0,71 s přihlédnutím k hydraulickým účinkům popílku. Vodní součinitel byl upravován během výroby tak, aby byla docílena požadovaná zpracovatelnost vzhledem k aktuální vlhkosti použitého recyklátu. Z důvodu požadavku na minimální cenu kompozitu byly receptury modifikovány tak, aby nebylo třeba použít žádné přísady při zachování dostatečné zpracovatelnosti.

Experimentální zkoušky

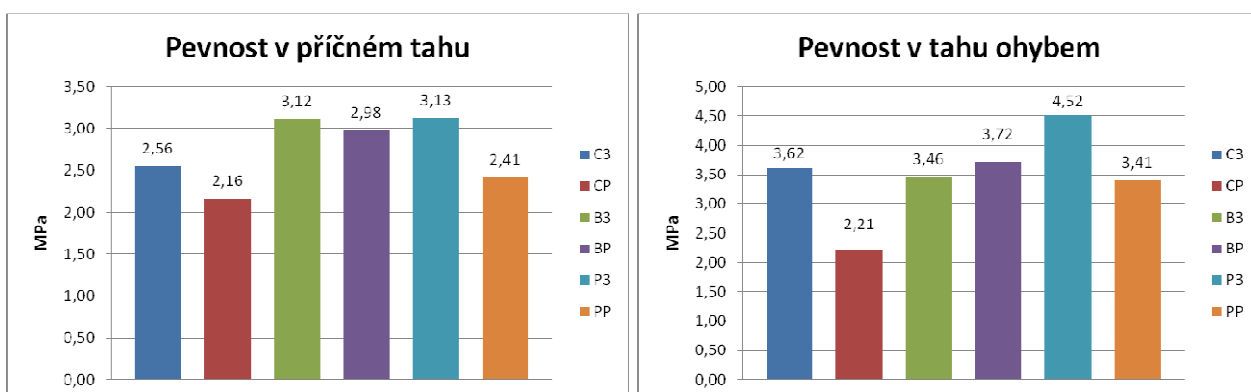
Měření základních mechanicko-fyzikálních vlastností bylo provedeno podle standardních testovacích metod pro běžný beton dle příslušných norem ČSN EN pro jednotlivé stanovení zkoušených charakteristik. Na čerstvém betonu bylo prováděno stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu (dle ČSN EN 12350-6). Na ztvrdlém betonu byla prováděna zkouška pevnosti v tlaku na krychlich (dle ČSN EN 12390-3), zkouška pevnosti v příčném tahu na krychlich (dle ČSN EN 12390-6), zkouška pevnosti v tahu ohybem na trámčích (dle ČSN EN 12390-5) a stanovení objemové hmotnosti na ztvrdlém betonu (dle ČSN EN 12390-7). Všechny složky vláknobetonové směsi byly dávkovány hmotnostně. Pevnost v tlaku a pevnost v příčném tahu byla odzkoušena na normových zkušebních krychlich o hraně 150mm, pevnost v tahu ohybem na trámčích o velikosti 100x100x400 mm. Zkoušky byly prováděny po 90 dnech od výroby vzorků.

Výsledky a diskuse

Výsledky zkoušek – stanovení pevnosti v tlaku, příčném tahu a v tahu ohybem spolu s objemovou hmotností jsou uvedeny v následujících grafech (jedná se o průměr ze 3 hodnot).



Graf 6, 7: Objemová hmotnost ztvrdlého vláknobetonu (vlevo), pevnost vláknobetonu v tlaku, měřená na krychlich po 90 dnech (vpravo)



Graf 8, 9: Pevnost vláknobetonu v příčném tahu, měřená na krychlich po 90 dnech, pevnost vláknobetonu v tahu ohybem, měřená na trámčích zatížených dvěma silami po 90 dnech

Rozdíl pevnosti v tlaku u vzorků s cihelným (CR) a betonovým (BR) recyklátem byl 22 %. V porovnání s přírodním kamenivem (PK) byl rozdíl 47 % vzorků s CR a 32 % s BR. Snížením dávky cementu a přidáním fluidního popílku klesla pevnost v tlaku o 36 % u CR, pouze o 10 % u BR a 39 % u PK. Hodnoty výsledků pevností v příčném tahu jsou nižší u vzorků s CR o 18 %, u vzorků s BR o necelé procento, než u vzorků s PK. Při porovnání CR a BR byl zjištěn rozdíl pevností v příčném tahu 18 %. Diference při použití fluidního popílku je u pevnosti v příčném tahu pro CR 16 %, pro BR 4 % a pro PK 23 %.

Odlíšnost pevností v tahu ohybem je oproti referenčním vzorkům z PK 20 % pro vzorky s CR a 23 % při použití BR. Velikost pevnosti v tahu ohybem, při použití fluidního popílku, je pro CR o 39 % nižší, pro BR o 7 % vyšší a pro PK o 24 % nižší než u vzorků bez fluidního popílku. Diference pevností v tahu ohybem mezi vzorky s CR a BR je 4 %. Větší rozdíl výsledků mezi C3 a CP může být způsoben nejen přidaným fluidním popínkem, ale i rozdílným původem cihelných recyklátů 1 a 2.

Závěry

Výsledky získané v rámci experimentálního programu rozšiřují dosavadní poznatky o charakteristikách a chování vláknobetonů s plnou náhradou přírodního kameniva stavebními recykláty. Výsledky ukazují na vhodnost využití fluidního popílku (z Třineckých železáren) v cementových kompozitech s vlákny, což přispívá ke snížení finanční náročnosti na výrobu kompozitu. Přestože dosažené hodnoty pevností jsou s přidáním fluidního popílku nižší, je jeho uplatnění žádoucí, z důvodu snížení množství cementu, který je jednou z energeticky nejnáročnějších složek betonu. Přidání fluidního popílku se jeví, na základě provedených zkoušek, nejvhodnější v kombinaci s betonovým recyklátem, kdy pokles pevnostních charakteristik je nejmenší. Snaha minimalizovat cenu kompozitu spolu s jednoduchou technologií výroby jsou kroky vedoucí k atraktivnosti kompozitu v praktických aplikacích. Stanovení možností použití kompozitu v reálných konstrukcích jsou součástí experimentálního programu, jehož cílem je uplatnění stavebního a demoličního odpadu v souladu s požadavky trvale udržitelného rozvoje. V současnosti bylo zahájeno i zkoumání zdravotní nezávadnosti kompozitu. Výsledky budou publikovány po dokončení všech zkoušek. Plná náhrada přírodního kameniva recykláty vede k úspoře primárních zdrojů kameniva a zároveň ke smysluplnému zhodnocení stavebního odpadu, čímž se sníží objem ukládaný na skládku.

Poděkování

Příspěvek byl vypracován za podpory grantového projektu GAČR 104/10/1128 s využitím poznatků z projektu 1M0579 MŠMT ČR v rámci CIDEAS.

Literatura

1. Vytlačilová, V.; *Vláknobeton s plnou náhradou přírodního kameniva recykláty*, Disertační práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha 2009.
2. Výborný, J., Hanzlová, H., Vytlačilová, V., Vodička, J.; *Vláknobeton vyrobený z recyklátu ze stavebního a demoličního odpadu*, Beton TKS, 2/2010.
3. Vodička, J., Vytlačilová, V., Hanzlová, H.; *Aktuální stav uplatnění vláknobetonu s plnou náhradou přírodního kameniva recykláty v praxi*, sborník přednášek 15. ročníku konference Recycling 2010, Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin, Brno 2010.
4. Vodička, J., Vytlačilová, V., Hanzlová, H., Výborný, J.; *Stav využití vláknobetonů s recykláty v zemních konstrukcích*, Sborník příspěvků 7. konference Speciální betony, Beroun 2010.
5. Vodička, J., Výborný, J., Hanzlová, H., Vytlačilová, V.; *"Mixture Design of Fibre Concrete with Recycled Aggregate"*, in 5th Central European Congress on Concrete Engineering, Innovative Concrete Technology in Practice, Baden 2009.
6. Chakradhara Rao M., Bhattacharyya S.K., Barai S.V.; Behaviour of recycled aggregate concrete under drop weight impact load, *Construction and Building Materials* 25, 2011, s. 69 – 80.
7. Zhang Xue-bing, Deng Shou-chang, Deng Xu-hua, Qin Yin-hui; Experimental research on regression coefficients in recycled concrete Bolomey formula, *J. Cent. South Univ. Technol.* 14 (s1), 2007, s. 314 – 317.
8. Jian Yang, Qiang Du, Yiwang Bao; Concrete with recycled aggregate and crushed clay bricks, *Construction and Building Materials* 25, 2011, s. 1935-1945.
9. Soutsos M.N., Tang K., Millard S.G.; Concrete blocks made with recycled demolition aggregate, *Construction and Building Materials* 25, 2011, s. 726-735.

10. Hebhouh H., Aoun H., Belachia M., Houari H., Ghorbel E.; Use of waste marble aggregates in concrete, *Construction and Building Materials* 25, 2011, s. 1167 – 1171.
11. Angulo S.C., Carrijo A.D., Figueiredo A.D., Chaves A.P., John V.M.; On the classification of mixed construction and demolition waste aggregate by porosity and its impact on the mechanical performance of concrete, *Material and Structures*, 2010, s. 519-528.
12. *Technický list FORTA FERRO™*, 22. 6. 2011.
13. http://waste.fce.vutbr.cz/Odpad/Popilek_chem.html, 22. 6. 2011.

Effect of Fly Ash in Fibre-cementitious Composites with Recycled Aggregate

Vladimíra VYTLAČILOVÁ, Karel ŠEPS

Department of Concrete and Masonry Structures, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague

Summary

The contribution relates to experimental programme focused on monitoring of properties of cementations composites with fibres with significant portion of recycled aggregate. Achievable properties of composites where natural aggregate was replaced by masonry or concrete recycled aggregate were verified within the scope of ongoing research. Possible replacing of cement by electric fly-ash was investigated on specimens. The paper summarizes results of basic mechanical-physical properties of the composite in comparison to reference concrete with natural aggregate.

Keywords: *Brick rubble, concrete rubble, fly ash, polypropylene fibres, fibre reinforced concrete, strength of fibre reinforced concrete.*

Odpad z výroby organických kyselín môže zlepšiť vlastnosti tehliarskych výrobkov

Mikuláš ŠVEDA^a, Ladislav KOMORA^b

^aStavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava,

^bVýskumný ústav pre petrochémiu, a.s., Nábrežná 4, 971 04 Prievidza

e-mail: mikulas.sveda@stuba.sk, komora@vupas.sk

Súhrn

Chemický priemysel produkuje množstvo odpadu, ktoré zaťažuje životné prostredie. Jednou z možností, ako časť tohto odpadu využiť, je keramický priemysel. V prvej polovici deväťdesiatych rokoch minulého storočia sa vyvinula chemická prísada na báze kondenzátov aldehydov, ktorá dostala obchodný názov VUPPOR 1. Aplikáciou tejto prísady v tehliarskej surovine bolo možné ovplyvniť niektoré technologické pochody a vlastnosti. Predovšetkým sa dosiahlo výrazné zníženie hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti λ črepu už pri pomerne jej nízkej dávke. K negatívam tejto prísady bohužiaľ patrila nielen jej vysoká cena, ale aj to, že v procese sušenia pri teplote nad 70 °C sa uvoľňoval čpavok. Na základe požiadaviek výrobcov tehliarskych výrobkov bola vyvinutá nová chemická prísada – VUPPOR 2. Táto prísada sa pripravila prepracovaním druhotnej suroviny z chemického priemyslu za účelom získať prísadu podobných vlastností ako pôvodný VUPPOR 1. Prísada síce nedosahuje parametre svojej predchodkyne, ale je cenovo a ekologicky prijateľnejšia a v procese sušenia sa neuvoľňuje čpavok.

Kľúčové slová: chemický odpad, tehliarsky črep, vlastnosti.

Úvod

Póry v pórovitých látkach sú vyplnené plynnou fázou, ktorá pri normálnych teplotách má nižšiu hodnotu súčiniteľa tepelnej vodivosti λ ako okolitá matrica. Je tiež známe, že táto hodnota s poklesom veľkosti pórov naďalej klesá [1]. Z uvedenej skutočnosti vychádza dnes snaha tehliarov vyrobiť tehliarsky črep vyplnený veľkým množstvom čo najmenších pórov, aby sa zlepšili tepelnoizolačné parametre hotových výrobkov. Týmto krokom sa súčasne znížia hodnoty prechodu tepla u stavebnej konštrukcie aplikovanej v rámci obvodového plášťa.

Vznik pórov v tehliarskom črepe je v prvom rade spôsobený stratou vody v procese sušenia a pálenia, ktorej prítomnosť vo výlisku môže byť v rôznej forme (fyzikálno-mechanicky, fyzikálno-chemicky a chemicky). Pórovitá štruktúra črepu, ktorá pritom vzniká, môže byť ovplyvnená aj mineralogickým, granulometrickým a chemickým zložením použitej tehliarskej suroviny [2, 3, 4]. Zmeny objemu a veľkosti pórov ďalej závisia od výšky vypaľovacej teploty a doby jej výdrže [5 až 9].

Na zlepšenie tepelnoizolačných vlastností tehliarskych výrobkov sa dnes najčastejšie používajú vyhorievajúce ľahčivá (drevené piliny a celulózové kaly). Aplikácia týchto ľahčív prináša so sebou aj niekoľko problémov. Je to problém zabezpečenia rovnomernej homogenity výlisku, rezania pásma vychádzajúceho z pásmového lisu a v poslednej dobe sa objavuje aj vznik tzv. čierneho jadra [10].

Vytváranie pórov v črepe by bolo najjednoduchšie vyparovaním čo najväčšieho objemu prítomnej vody vo výlisku. Jej množstvo je však pri výrobe v pásmových alebo raziacich lisocho limitované stanovenou plasticitou cesta (hodnota deformácie podľa Pfefferkorna). Vhodným spôsobom ako zvýšiť alebo znížiť pracovnú vlhkosť cesta (technologickéj vody) pri zachovaní konštantnej plasticity cesta je aplikácia chemických látok (napr. elektrolyty a polyelektrolyty), ktoré vedia ovplyvniť hrúbku (vodnej) difúznej dvojvrstvy koloidnej micely [11, 12, 13].

Medzi známy elektrolyt patrí napr. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ktorý sa už dávno používal v tehelníach bez krytej odležiarene. Ak halda bola niekoľko dní vystavená väčšiemu úhrnu zrážok, potom prídanie 1 až 1,5 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ umožnilo znížiť vysokú plasticitu tehliarskej suroviny tak, aby tehliarske cesto bolo bez problémov použiteľné v pásmovom alebo raziacom lise.

V prvej polovici deväťdesiatych rokov minulého storočia sa v rámci spolupráce medzi Výskumným ústavom pre petrochémiu v Prievidzi a Katedrou materiálového inžinierstva Stavebnej fakulty STU v Bratislave vyvinula chemická prísada na báze kondenzátov aldehydov (polyelektrolyt), ktorá dostala obchodný názov VUPPOR [14]. Aplikáciou tejto prísady v tehliarskej surovine bolo možné ovplyvniť niektoré technologické pochody a vlastnosti ako napr. [15]:

- skrátenie procesu sušenia vplyvom poklesu hodnoty citlivosti na sušenie podľa Pfefferkorna,
- skrátenie procesu pálenia a zníženie teploty výpalu zlepšením difúzie plynov v pórovitom systéme črepu,
- zvýšenie dávky vyhoriavajúcich ľahčív už pri malej dávke prísady bez vzniku tzv. čierneho jadra,
- výrazné zníženie hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti λ črepu už pri pomerne nízkej dávke.

K negatívam tejto prísady patrila nielen vysoká cena, ale aj to, že v procese sušenia pri teplote nad 70 °C sa uvoľňoval čpavok. Z tohto dôvodu jej aplikácia bola možná len v kanálových alebo v tunelových sušiarňach. Na základe požiadaviek výrobcov tehliarskych výrobkov pre obvodové plášte, ktorí nevyhnutne potrebujú zlepšiť tepelno-technické vlastnosti svojich výrobkov, bola v rámci vyššie uvedenej spolupráce VUP Prievidza a SvF STU Bratislava vyvinutá nová chemická prísada – VUPPOR 2. Táto prísada sa pripravila prepracovaním druhotnej suroviny z chemického priemyslu za účelom získať prísadu podobných vlastností ako pôvodný VUPPOR 1, ktorá by bola aj cenovo a ekologicky prijateľnejšia a súčasne použiteľná vo všetkých typoch sušární.

Vlastnosti vstupných surovín a prísad

Tehliarska surovina

Základná tehliarska surovina bola použitá z lokality Hevlín. Ide predovšetkým o neogénne jemné piesčité vápenaté íly z viedenskej panvy. Okrem toho sa táto surovina vyznačuje zvýšenou prítomnosťou montmorillonitu a tiež zvýšeným obsahom rozpustných solí. Suroviny z tejto lokality sa predovšetkým využívajú na výrobu náročných tenkostenných tehliarskych výrobkov. Chemické zloženie tehliarskej suroviny je uvedené v tabuľke 1

Tabuľka 1: Chemické zloženie tehliarskej suroviny z lokality Hevlín

Meraná veličina	%
SiO ₂	50,10
Al ₂ O ₃	14,50
Fe ₂ O ₃	6,18
CaO	8,40
MgO	3,60
K ₂ O	2,79
Na ₂ O	0,99
(SO ₄) ²⁻	0,24
(CO ₃) ²⁻	10,70
Strata žíhaním	12,10

Pri výrobe skúšobných vzoriek sa použila pôvodná neupravená surovina (označenie – P), ktorá bola pomletá v laboratórnom kolesovom mlyne pre suché mletie tak, aby maximálne zrno bolo menšie ako 1 mm. Súčasne sa použila aj upravená surovina (označenie – U), ktorá bola odobratá z odležiarene v tehliarskom závode Hevlín (**HELUZ** cihlářský průmysl, v.o.s.) s prímiesou vyhoriavajúcich ľahčív.

Chemická prísada VUPPOR 1

Chemická prísada VUPPOR 1 je emulzia bielej farby vyrobená na báze kondenzátov aldehydov. Jej hustota je 1140 kg/m^3 a obsah sušiny má 38 %. Prísada je riediteľná vodou a je hygienicky vyhovujúca.

Chemická prísada VUPPOR 2

Chemická prísada VUPPOR 2 je emulzia pieskovej farby vyrobená na báze nevyužitej druhotnej suroviny z výroby organických kyselín. Jej hustota je 1160 kg/m^3 a obsah sušiny má 54,9 %. Prísada je riediteľná vodou, hodnota pH = 6,5, teplota tuhnutia pod -20°C .

Výroba a skúšanie vzoriek

Stanovenie vlastností

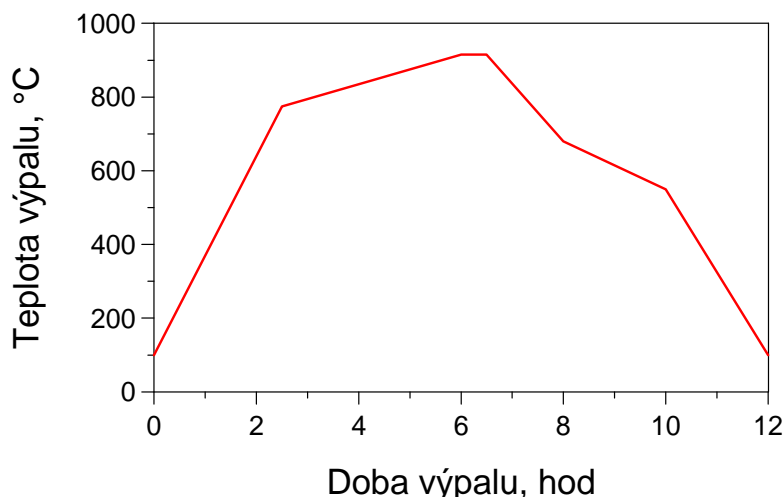
Stanovenie vybraných vlastností tehliarskeho cesta a črepu sa vykonalo podľa príslušných noriem a skúšobných postupov, ktoré sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2: Zoznam použitých noriem a skúšobných postupov pre stanovenie jednotlivých vlastností tehliarskeho cesta a črepu

Vlastnosť	Norma – pracovný postup
Pracovná vlhkosť, %	STN 72 1074
Dĺžková zmena sušením, %	STN 72 1565, časť 5
Citlivosť na sušenie, %	STN 72 1073
Dĺžková zmena pálením, %	STN 72 1565, časť 5
Celková dĺžková zmena, %	STN 72 1565, časť 5
Strata pálením, %	STN 72 1565, časť 6
Nasiakavosť varom, %	STN 72 1565, časť 6, čl. 8
Zdanlivá pórovitosť, %	STN 72 1565, časť 6
Objemová hmotnosť, kg/m^3	STN 72 1565, časť 6
Vzlínavosť, mm/60 min	nenormová skúška
Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ , W/m.K	prístroj IZOMET
Pevnosť v tlaku, MPa	stanovená celoplošným zaťažením skúšobnej vzorky rozmerov cca 20x20x20 mm zaťažením na medzu pevnosti

K pôvodnej (P) alebo upravenej (U) tehliarskej surovine sa pridávali VUPPOR 1 a 2 v hmotnostných percentách sušiny prísady (0,25; 0,5; 0,75 a 1,0) na hmotnosť vysušenej suroviny.

Z pripravených surovín sa vypracovalo cesto konštantnej plasticity (Pfefferkorn = $30 \pm 0,5 \text{ mm}$) podľa STN 72 1074. Takto pripravené cestá sa nechali odležať 24 hodín vo vlhkom prostredí. Po odležaní sa vyrobili skúšobné vzorky rozmerov 100x50x20 mm, ktoré sa potom uložili na perforované rošty. Počas 48 hodín boli zistené hodnoty (úbytok hmotnosti a hodnoty zmraštenia) pre stanovenie Bigotovej krivky. Vzorky pred uložením do pece sa ešte vysušili v laboratórnej sušiarňi do ustálenia hmotnosti. Výpal sa uskutočnil v elektrickej laboratórnej peci s regulovaným režimom pálenia. V peci bolo stabilné prostredie. Použila sa páliaca krivka, ktorá bola takmer zhodná s páliacou krivkou realizovateľnou v tehelni Hevlín (HELUZ cihlářský průmysl, v.o.s.). Maximálna teplota výpalu bola stanovená na 915°C pri výdrži 1 hodina, pozri obrázok 1.



Obrázok 1: Režim pálenia

Dosiahnuté výsledky a diskusia

Dosiahnuté výsledky s prísadami VUPPOR 1 a 2 pred a po výpale, sú uvedené v tabuľkách 3 a 4. V obidvoch prípadoch pri dávke prísady 1 %, tehliarske cesto sa pri požadovanej plasticite začalo už drobiť a z tohto dôvodu vyššie dávky týchto prísad sa už nerealizovali.

Tabuľka 3: Vlastnosti tehliarskej suroviny P pred a po výpale ovplyvnenej prísadami VUPPOR 1 a 2

Prísada VUPPOR	Dávka %	W_{pr} %	DS %	CS -	DP %	DC %	NV %	ZP %	ρ_v kg/m ³	λ W/m.K	R_{pd} MPa
Bez V	0,00	24,3	-5,07	0,88	+0,04	-5,03	19,2	33,2	1725	0,497	47,6
V1	0,25	27,9	-4,89	0,71	-0,44	-5,33	23,2	38,0	1638	0,418	35,3
	0,50	30,1	-4,72	0,61	-0,73	-5,45	25,9	41,0	1595	0,360	28,5
	0,75	31,7	-4,58	0,56	-0,80	-5,38	28,3	43,4	1536	0,330	21,4
	1,00	33,4	-4,40	0,54	-0,83	-5,23	30,6	45,7	1494	0,307	17,1
V2	0,25	26,5	-5,95	0,76	-0,05	-6,10	21,1	35,4	1678	0,457	39,4
	0,50	28,1	-5,90	0,71	-0,21	-6,26	22,9	37,4	1635	0,411	33,1
	0,75	29,0	-5,59	0,68	-0,35	-5,94	24,3	39,0	1606	0,388	31,3
	1,00	29,6	-5,46	0,67	-0,54	-5,08	27,0	40,0	1582	0,364	30,0

Tabuľka 4: Vlastnosti tehliarskej suroviny U pred a po výpale ovplyvnenej prísadami VUPPOR 1 a 2

Prísada VUPPOR	Dávka %	W_{pr} %	DS %	CS -	DP %	DC %	NV %	ZP %	ρ_v kg/m ³	λ W/m.K	R_{pd} MPa
Bez V	0,00	28,6	-6,70	1,15	+0,10	-6,60	23,0	37,4	1622	0,428	43,6
V1	0,25	31,6	-6,47	1,00	-0,28	-6,75	26,8	41,6	1555	0,368	31,0
	0,50	34,0	-6,12	0,89	-0,62	-6,74	29,5	44,4	1508	0,326	24,5
	0,75	36,3	-5,86	0,82	-0,84	-6,70	31,6	46,4	1468	0,306	20,0
	1,00	37,9	-5,47	0,79	-1,00	-6,47	32,8	47,4	1444	0,301	17,7
V2	0,25	29,8	-6,53	0,99	+0,03	-6,50	24,9	39,6	1586	0,403	36,3
	0,50	31,2	-6,40	0,87	-0,14	-6,54	26,5	41,4	1561	0,383	32,5
	0,75	32,4	-6,32	0,81	-0,33	-6,65	28,1	43,2	1539	0,367	29,7
	1,00	33,9	-6,28	0,78	-0,61	-6,89	29,5	45,0	1525	0,354	28,9

S rastúcou dávkou prísad VUPPOR 1 a 2 sa zvyšovala pracovná vlhkosť cesta (W_{pr}) ako s neupravenou, tak aj s upravenou surovinou. Na prvý pohľad je z tabuliek 3 a 4 vidieť, že s VUPPORom 1 sa dosiahli vyššie hodnoty pracovnej vlhkosti ako s VUPPORom 2 pri tej istej dávke prísady. Tento rozdiel mal vplyv aj na ostatné sledované vlastnosti.

Výrobcov tehliarskych výrobkov dnes zaujímajú predovšetkým vlastnosti, ktoré umožnia zefektívniť výrobu pri nižších nákladoch a súčasne sa zlepšia tepelnoizolačné vlastnosti. Pri aplikácii obidvoch prísad sledujeme pokles hodnoty citlivosti pri sušení (CS), čo umožní skrátiť proces sušenia bez vzniku trhlín. Podobne sledujeme pokles hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti λ , čo pozitívne ovplyvní zlepšenie tepelnoizolačných vlastností hotového výrobku. Za pozornosť stojí aj pokles objemovej hmotnosti črepu, ktorá umožní zníženie hmotnosti hotových výrobkov a zníženie prepravných nákladov. Medzi negatíva aplikácie prísady VUPPOR 1 a 2 môžeme jedine spomenúť výrazný pokles pevnosti v tlaku (R_{pd}) v dôsledku zvýšenia pórovitosti črepu. Napriek tomuto poklesu je predpoklad, že tehliarske tvarovky pre horizontálne murované konštrukcie budú stále vykazovať vyššie pevnosti ako napr. pórobetónové tvárnice s pevnosťami 2 až 4 MPa.

Záver

Samozrejme, že sme neočakávali taký pozitívny výsledok s prísadou VUPPOR 2 v rámci zvýšenia pracovnej vlhkosti cesta ako v prípade prísady VUPPOR 1, ktorá sa vyvíjala niekoľko rokov z produktov ropy. Napriek tomu s účinnosťou prísady VUPPOR 2 môžeme byť spokojní a spokojní budú určite aj odberatelia v tehelniach, pretože pri jej nižšej cene (v porovnaní s cenou VUPPOR 1) ju môžu aplikovať aj tie tehelne, ktoré doteraz nemohli aplikovať VUPPOR 1 kvôli uvoľňujúcemu sa čpavku v procese sušenia. Na základe dosiahnutých výsledkov, odporúčame aplikovať ako optimálnu dávku v obidvoch prípadoch dávku 0,5 % sušiny prísady z hmotnosti vysušenej suroviny. Pred priamym uplatnením tejto prísady v praxi bude potrebné uskutočniť ešte ekologické skúšky.

Zoznam symbolov

W_{pr} – pracovná vlhkosť cesta	PZ – zdanlivá pórovitosť
DS – dĺžková zmena sušením	ρ_v – objemová hmotnosť stanovená hydrostatickou metódou
CS – citlivosť pri sušení podľa Bigota	λ – súčiniteľ tepelnej vodivosti
DP – dĺžková zmena pálením	R_{pd} – pevnosť v tlaku
CD – dĺžková zmena celková	
NV – nasiakavosť varom	

Literatúra

- [1] Augusta, I.: *Stavební tepelná technika pro každého, I. díl*. Ústav stavebních informací, Praha 1991.
- [2] Schmidt, H.: Mineralische Zuschlagstoffe. *Sprechsaal*, vol. 100, 1977, no. 9, p. 150 – 152, ISSN 0341-0439.
- [3] Schmidt, H., Piltz, G.: Untersuchung des Einflusses von mineralischen Zusatzstoffen auf das Porengefüge und die Drostwiderstandsfähigkeit von Verblendziegeln. *Sprechsaal*, vol. 110, 1997, no. 1, p. 12 – 15, ISSN 0341-0439.
- [4] Schmidt, H.: Möglichkeiten zur Verbesserung von Ziegelrohstoffen durch Zusätze, *Zi-international*, vol. 31, 1978, no.9, p. 500 – 517, ISSN 0341-0552.
- [5] Lach, V.: Význam mikrostruktury v silikátech. *Stavivo*, roč. 69, 1989, č. 11, s. 430 – 136, ISSN 0039-0801.
- [6] Kada, P.: Untersuchung eines Thüringer Tones hinsichtlich seiner Eignung als Dachziegelrohstoff. *Zi-international*, vol. 45, 1992, no. 3, p. 143 – 147, ISSN 0341-0552.
- [7] Niemann, R.: Perlit – ein neue sinterungsaktiver Mineralfüllstoff für die keramische Industrie. *Zi-international*, vol. 44, 1991, no. 7, p. 342 – 345, ISSN 0341-0552.
- [8] Sokolář, R.: Effect of Calcite on the Brick body Closing. *Interceram*. Vereinigte Verlagsanstalten GmbH, 2010, vol. 59, no. 4, p. 123 – 127, ISSN 0020-5214.
- [9] Sokolář, R. Deflocculation of Brick Clays for Clay roofing tile production. *Ziegelindustrie Annual 2009. Annual for the Brick and Tile, Structural Ceramics and Clay Pipe industries*. Bauverlag BV GmbH, Gutersloh, 2009. p. 50 – 60, ISBN 978-3-7625-3628-4.

- [10] Šveda, M.: Čierne jadro v tehliarskych výrobkoch a využitie poznania vzájomných vzťahov medzi fyzikálnymi vlastnosťami črepu v praxi (1. časť). *Silika*, roč.15, 2005, č. 3-4, s. 93 – 96, ISSN 1213-393.
- [11] Lach, V.: *Teoretické základy výroby pálených stavebných látok*, *Keramika II*. Ediční středisko VUT Brno 1989.
- [12] Budnikov, P.P. a kol.: *Technologie keramiky a žárovzdorného zboží*, SNTL, Praha 1960.
- [13] Hanykýř, V., Kutzendorfer, J.: *Technologie keramiky*. Vega, Hradec Králové, 2000, ISBN 80-900860-6-3.
- [14] Komora, L., Šveda, M.: *Zmes na výrobu keramiky alebo žiaruvzdorného materiálu*. Patentový spis č. 279379, dátum nadobudnutia účinkov patentu 7.10.1998, Úrad priemyselného vlastníctva SR.
- [15] Šveda M., Rybárik J., Gomolová Z.: Verbesserung von Produktion und Produkteigenschaften durch Vuppor. *Ziegelindustrie International*, vol. 50, 1997, No. 3, p. 100 – 107, ISSN 0341-0552.

Waste from the production of organic acids can improve the properties of brick products

Mikuláš ŠVEDA^a, Ladislav KOMORA^b

^aFaculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail:mikulas.sveda@stuba.sk,

^bResearch Institute for Petrochemistry, a.s., Nábrežná 4, 971 04 Prievidza, e-mail: komora@vupas.sk

Summary

The chemical industry is a producer of large quantities of waste, which can have negative impact on the environment. The ceramic industry is one of possible fields where this waste can be used as a raw material. In the first half of the nineties of the 20th century within the context of cooperation between Research Institute of Petrochemistry in Prievidza and Department of Material Engineering of the Faculty of Civil Engineering in Bratislava developed a chemical additive based on condensates of aldehydes (polyelectrolytes) which was given a business name VUPPOR 1. The application of this additive into the raw brick matter enabled positive to affect some technological processes and properties.

The negative aspect of this additive was not only price, but also that in the drying process at temperatures above 70 °C led to a release of ammonia. For this reason, its application was possible only in the channel or in the tunnel dryer. Based on the requirements of manufacturers of brick products for building external cladding, who necessarily needed to improve the thermal properties of their products, (cooperation as mentioned above between the Research Institute for Petrochemistry in Prievidza and the Department of Material Engineering at the Faculty of Civil Engineering in Bratislava) was developed a new chemical additive – VUPPOR 2. This additive was prepared by modification of secondary raw materials from the chemical industry in order to obtain an additive of similar properties as the original VUPPOR which would also be more cost-effective, environmentally-friendly and applicable in all types of dryers.

Keywords: Chemical waste, brick body, properties.

Aplikace procesů pyrolýzy a zplyňování při zpracování vybraných potravinářských odpadů

Barbora GRYCOVÁ, Kateřina STEPKOVÁ, Karel OBROUČKA, Roman KUČA

VŠB-TU Ostrava, Centrum environmentálních technologií, 17. listopadu 15,

708 33 Ostrava-Poruba,

e-mail: barbora.grycova@vsb.cz, katerina.stepkova@vsb.cz,

karel.obroucka@vsb.cz, roman.kuca@vsb.cz

Souhrn

Zpracování a likvidace odpadů z potravinářských výroby je důležitou oblastí celkové potravinářské produkce. V souvislosti s různými zdroji surovin i použitých technologických postupů se složení odpadů z jednotlivých potravinářských výroby značně liší, proto jsou i následné postupy jejich využití mnohdy velmi rozdílné. Tento příspěvek prezentuje úvodní laboratorní experimenty pyrolýzy a zplyňování vybraných potravinářských odpadů, se zaměřením na složení plyných produktů těchto procesů, možnosti využití tuhého a kapalného zbytku, materiálovou bilanci a energetickou náročnost procesů. Maximální koncentrace vodíku v pyrolýzním plynu se ve všech případech vzorků pohybovala při teplotě cca 700 °C okolo hranice 35 % obj., koncentrace sumy měřených uhlovodíků byly naměřeny v rozmezí 15 až 20 % obj. a koncentrace oxidu uhelnatého byly analyzovány cca 45 % obj.

Klíčová slova: pyrolýza, zplyňování, plynová chromatografie, odpad, biomasa

Úvod

Hlavním úkolem potravinářského průmyslu je zajištění potravin v dostatečném sortimentu a množství. Významným opatřením, které by mělo podstatným způsobem ovlivnit charakter této výroby ve smyslu zvýšení její konkurenceschopnosti, bylo přijetí „Koncepce potravinářství ČR pro období po vstupu do EU (2004 – 2013)“. Tato koncepce je úzce spojena s převzetím potravinové politiky EU, současně řeší i perspektivy odvětví z pohledu národních cílů. Koncepční záměry také počítají s ochranou životního prostředí při výrobě potravin¹. Ačkoliv minimalizace množství vznikajících odpadů je prioritou odpadového hospodářství, nelze ani do budoucna v celé řadě oborů lidské činnosti vznik odpadů vyloučit. Otázka jejich zneškodňování nebo racionálního využití dnes představuje zásadní úkol z hlediska ochrany životního prostředí, ale i z hlediska ekonomického. Progresivními metodami jsou především energetické využití odpadů, které poskytují řadu výhod².

Vybrané druhy odpadů byly zpracovány termickými redukčními metodami s následným porovnáním účinností ve smyslu kvality jednotlivých produktů procesu pro konkrétní odpad. Podstatou byl základní výzkum a stanovení podmínek vzniku plyných, tuhých a kapalných produktů a posouzení využitelnosti jednotlivých výstupních produktů a termických redukčních postupů. Pyrolýza a zplyňování jsou termické redukční procesy, které by mohly být eventuálně aplikovány za účelem energetického a materiálového využití odpadů z potravinářského průmyslu.

Podstatou pyrolýzy je, že při vyšších teplotách jsou organické sloučeniny méně stabilní a výšemolekulární látky se rozkládají na nízkomolekulární, což vede k jejich rozpadu na těkavé produkty a koks. Zplyňování je přeměna uhlíkatých materiálů za vyšších teplot na hořlavé plyné látky, a to za přívodu podstechiometrického množství vzduchu či jiného oxidovadla, čímž dochází k další přeměně vzniklého koksového zbytku na plyné produkty³.

Termické metody představují perspektivní technologie, které umožňují přetvářet některé druhy materiálů (odpadů) na kvalitní paliva nebo cenné chemické suroviny. Předpokladem pro jejich úspěšnou aplikaci je vhodný výběr zpracovávaných materiálů a nastavení optimálních procesních podmínek⁴. Z uvedených důvodů byla laboratorními experimenty, s následným posouzením kvantity a kvality jednotlivých produktů pyrolýzy a zplyňování, ověřena případná vhodnost či nevhodnost vybraných potravinářských odpadů pro pyrolýzní a zplyňovací proces.

Experimentální část

Z potravinářského průmyslu byly vybrány následující vzorky odpadů:

- VZOREK 1 – odpad z výroby bramborových lupínků (Intersnack, a.s., Choustník).
- VZOREK 2 – odpadní kakaové slupky (Opavia-Lu, závod Opavia Opava).
- VZOREK 3 – odpadní celulóza z výroby jedlých olejů (STZ, a.s., Olomouc).

Výše uvedené druhy odpadů vznikají v podnicích v množství 80 – 100 tun měsíčně. Většina z těchto uvedených odpadů je zneškodňována/odstraňována skládkováním. U vybraných druhů odpadů bylo nutné před vlastními experimenty upravit pouze jejich granulometrii pomocí nožového mlýnu (zrnitost cca 1 – 3 mm). U jednotlivých vzorků byla provedena tepelně-technická a elementární analýza (viz tabulka 1).

Tabulka 1: Tepelně-technická, technická a elementární analýza vzorků 1 – 3

Vzorek	Voda [hm. %]	Popel [hm. %]	Hořlavina [hm. %]	C [hm. %]	H [hm. %]	N [hm. %]	S [hm. %]	O [hm. %]	Spalné teplo [kJ/kg]	Výhřevnost [kJ/kg]
1	1,86	2,30	95,84	46,8	7,5	1,6	0	40,0	23045	21460
2	8,50	6,30	85,20	46,2	6,3	2,7	0	30,0	19334	18560
3	5,08	0,13	94,79	45,8	6,5	0,2	0	42,3	24232	22772

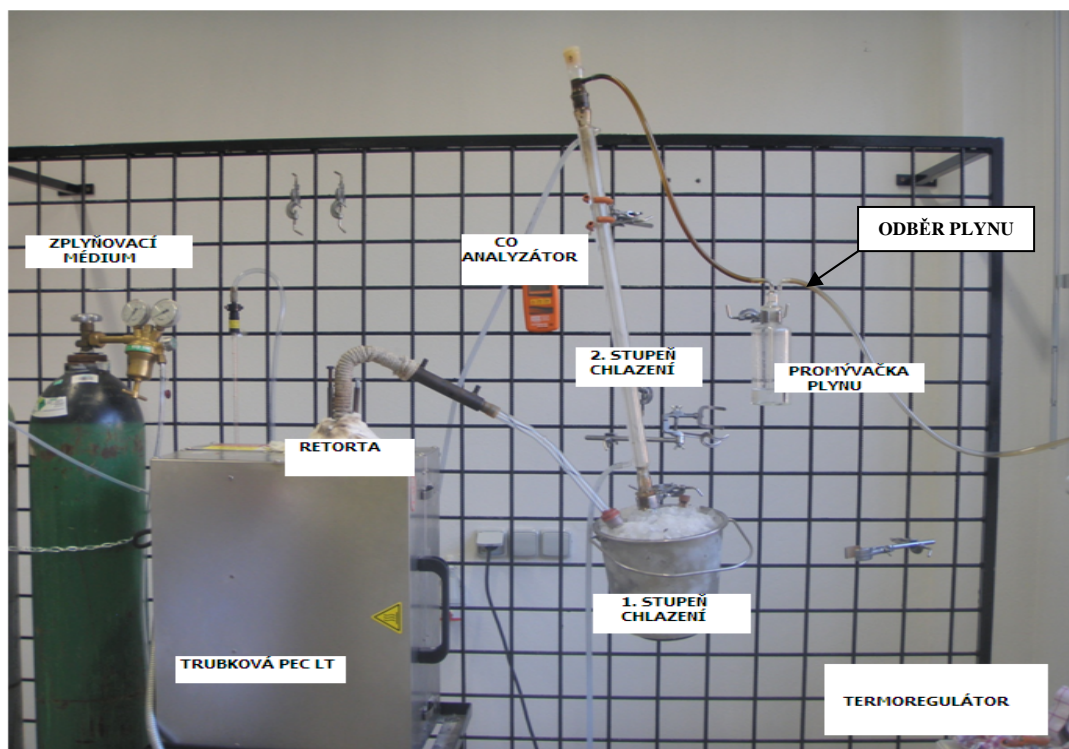
Za účelem ověření vhodnosti potravinářských odpadů pro pyrolýzní a zplyňovací proces byla sestavena aparatura pro laboratorní retortové zkoušky. Laboratorní aparatura sestavená pro účely experimentů je zobrazena na obrázku 2. Do připravené a předem zvážené retorty (viz obrázek 1) bylo naváženo zvolené množství vzorku (v rozmezí 100 – 200 g). Retorta (délka 30 cm, vnitřní průměr 5,5 cm) byla plynotěsně uzavřena a vložena do trubkové pece. Pro úvodní experimenty byl zvolen ohřev retorty rychlostí 15 °C za minutu na teplotu 800 °C se zdržením na této teplotě po dobu 7 minut.

Na retortu byla napojena baňka chlazená ledem, ve které došlo ke kondenzaci kapalné frakce. Pro docílení nižších chladicích teplot procesního plynu (cca -10 °C) byl led během pokusu obměňován a promícháván s kuchyňskou solí. Toto je doprovázeno reakcí, jejímž důsledkem je významné snížení teploty této směsi pod bod mrazu vody. Následujícím stupněm chlazení byl skleněný chladič, vertikálně napojený na baňku, ve kterém docházelo ke kondenzaci zbytkových dehtových podílů z uvolňujícího se plynu.

Z důvodu možného srovnání výsledných produktů zplyňování s produkty pyrolýzy, proběhly zplyňovací experimenty za stejných procesních podmínek a s použitím totožné aparatury jako v případě pyrolýzních experimentů s tím rozdílem, že do retorty byl foukán vzduch jako zplyňovací médium. Zplyňovací experimenty byly provedeny s hodnotou součinitele přebytku vzduchu $n = 0,5$. Průtoky plynu při zplyňování byly $2,03 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ pro vzorek 1; $2,01 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ pro vzorek 2 a $1,85 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ pro vzorek 3. Plyn z pyrolýzních a zplyňovacích experimentů byl zachycován diskontinuálně za různých procesních teplot do skleněných vzorkovnic a metodou plynové chromatografie byly analyzovány jeho vybrané složky (methan, ethen, propan, vodík, oxid uhelnatý a oxid uhličitý).



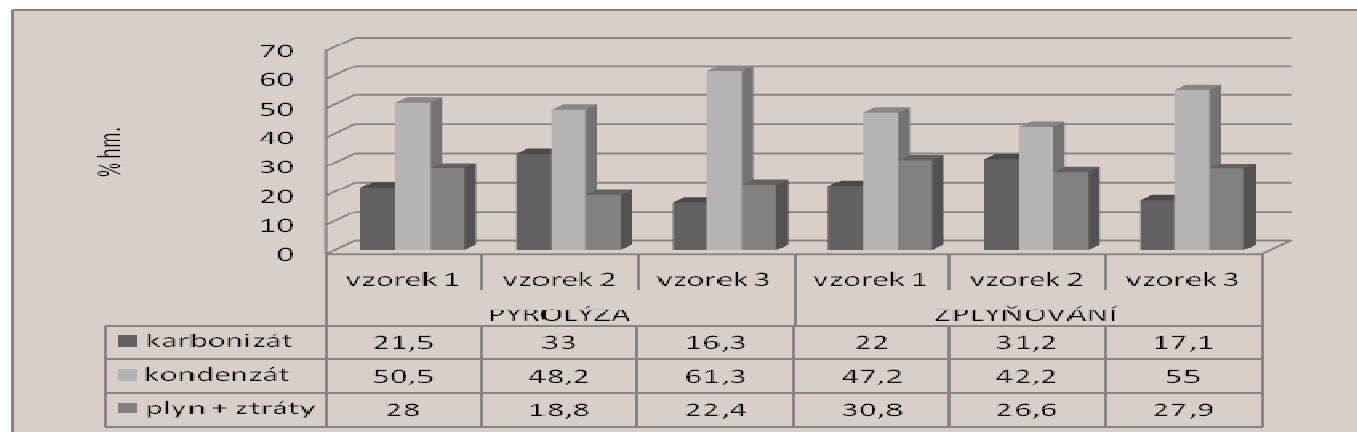
Obrázek 1: Retorta



Obrázek 2: Experimentální aparatura

Hmotnostní bilance procesů pyrolýzy a zplyňování

Vážením jednotlivých výsledných produktů pyrolýzy a zplyňování (karbonizát, kondenzát) byla stanovena hmotnostní bilance pyrolýzních a zplyňovacích zkoušek (množství vzniklého plynu bylo stanoveno dopočtem do 100 %).



Obrázek 3: Hmotnostní bilance procesu pyrolýzy a zplyňování

Na základě hmotnostní bilance po provedených pyrolýzních a zplyňovacích experimentech je možno sledovat u vzorku 2 významný podíl karbonizátu a u vzorku 3 podíl kondenzátu. V případě zplyňovacích experimentů je patrný nárůst plynné produkce oproti pyrolýze, ovšem výhřevnost tohoto plynu je zanedbatelná (viz hodnocení plynného produktu po zplyňovacích experimentech).

Analýza plynného produktu pyrolýzy a zplyňování

Analýza pyrolýzního plynu a plynu ze zplyňování byla provedena na plynovém chromatografu Agilent 7890A. K detekci methanu, ethenu a propanu byl použit FID detektor, ostatní vybrané složky byly detekovány TCD detektorem, k dělení směsi docházelo v koloně GasPro (délka 60 m, vnitřní průměr 0,320 mm).

K dávkování plynného vzorku sloužila dávkovací smyčka a výstupní signál byl zaznamenáván počítačem a zpracováván softwarem HP ChemStation. Podmínky chromatografické analýzy jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Podmínky analýzy plynného produktu na plynovém chromatografu

Nastavení kolony		Nastavení FID detektoru		Nastavení detektoru TCD	
Teplota [°C]	200	Teplota [°C]	300	Teplota [°C]	260
Tlak [Psi]	15,796			Průtok H ₂ [ml.min ⁻¹]	2
Průtok [ml.min ⁻¹]	3,3	Průtok vzduchu [ml.min ⁻¹]	400	Průtok He [ml.min ⁻¹]	5
Splitovací poměr	10:1	Průtok He [ml.min ⁻¹]	25		

Odběry pyrolýzního plynu probíhaly diskontinuálně, při teplotách, kdy se začal vyvíjet plyn, v průběhu nejintenzivnějšího vývinu plynu a v závěru procesu. Intenzita vyvíjeného plynu byla vizuálně sledována v promývací nádobě pyrolýzního plynu (250 ml). Odběry plynu ze zplyňování probíhaly rovněž diskontinuálně. Vzhledem k velmi nízkým hodnotám koncentrací hořlavých složek v prvním odběru vzorku pyrolýzního plynu při teplotách, kdy se začal vyvíjet plyn, byl tento odběr vynechán a další odběry plynu probíhaly vždy v průběhu nejintenzivnějšího vývinu plynu a v závěru procesu. Intenzita vyvíjeného plynu byla vizuálně sledována v promývací nádobě plynu ze zplyňování. Na základě tohoto zvoleného principu odběrů vzorků plynu, se pro každý vzorek teploty odběrů plynu lišily (viz tabulka 3).

Tabulka 3: Analýza plynného produktu po pyrolýzních a zplyňovacích experimentech u vzorků 1 – 3

	Vzorek	Teplota odběru [°C]	Methan [obj. %]	Ethen [obj. %]	Propan [obj. %]	Vodík [obj. %]	CO [obj. %]	CO ₂ [obj. %]
PYROLÝZA	1	387-408	0,05	0,02	0,01	0	0	18,45
		476-491	1,25	0,28	0,35	0	3,60	39,77
		555-570	5,93	1,03	1,03	6,78	26,63	35,40
		698-702	15,54	1,06	0,83	31,04	45,78	2,58
	2	320-368	0,01	0,01	0,01	0	0	16,75
		472-489	2,29	0,31	0,43	6,19	7,73	49,95
		550-581	11,61	0,71	0,85	9,33	42,29	26,84
		692-720	14,16	0,70	0,39	34,25	48,88	1,34
	3	534-550	5,90	0,91	0,90	0	21,26	35,46
		600-614	12,19	2,64	1,42	4,85	49,39	27,87
		670-687	19,69	3,33	1,08	15,26	56,25	2,33
		750-777	19,54	1,07	0,50	40,58	35,89	1,99
ZPLYŇOVÁNÍ	1	500-510	1,28	0,44	0,24	0	0	12,44
		600-610	5,24	0,19	0,60	4,48	18,60	19,16
		700-717	2,98	0,11	0,01	0	4,15	9,95
	2	500-517	2,27	0,24	0,32	4,28	7,57	21,80
		600-615	8,57	0,60	0,47	8,05	30,57	10,80
		700-720	0,72	0,04	0,01	0	1,96	9,99
	3	485-494	1,62	0,50	0,27	0	12,46	14,22
		577-596	7,60	2,91	0,52	6,01	27,51	11,82
		672-689	1,25	0,18	0,02	7,17	3,19	11,12

U odpadů z potravinářského průmyslu docházelo při pyrolýze s rostoucí teplotou k nárůstu koncentrací jednotlivých hořlavých složek. Nejvyšších koncentrací směsi uhlovodíků, vodíku a oxidu

uhelnatého bylo dosaženo vždy ve čtvrtém (posledním) odběru vzorku pyrolýzního plynu v rozmezí teplot 700 – 800 °C s výjimkou vzorku 3, kdy byl v posledním odběru analyzován patrný pokles koncentrace oxidu uhelnatého.

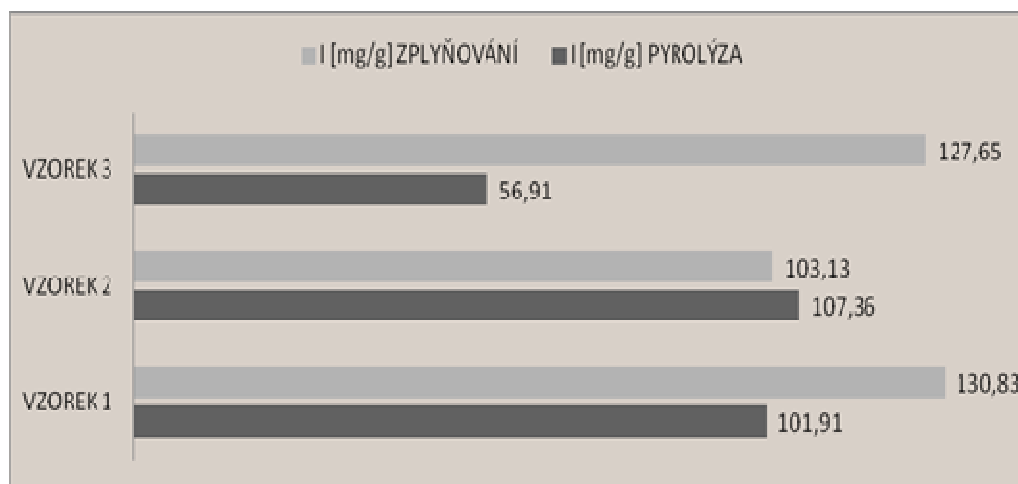
V případě zplyňovacích experimentů bylo nejvyšších koncentrací směsi uhlovodíků, vodíku a oxidu uhelnatého dosaženo vždy ve druhém odběru vzorku plynu ze zplyňování při teplotě cca 600 °C, což koresponduje s dostupnými literárními prameny⁵. Ve třetím odběru vzorků plynu došlo v uvedených vzorcích odpadů k poklesu všech plynných hořlavých složek.

Významným parametrem využitelnosti plynného produktu je produkce vodíku. Pozornost jí věnuje řada publikací s ohledem na procesní podmínky⁶. V případě pyrolýzních experimentů potravinářských odpadů bylo dosaženo velmi pozitivních výsledků. Nejvyšší koncentrace vodíku se ve všech případech vzorků pohybovala při teplotě cca 700 °C okolo hranice 35 % obj., koncentrace sumy měřených uhlovodíků byly naměřeny v rozmezí 15 až 20 % obj. a koncentrace oxidu uhelnatého byly analyzovány cca 45 % obj. Dle hmotnostní bilance při zplyňování sice vznikal vyšší výnos plynu (cca 28 % hm.), ovšem ve srovnání s pyrolýzou méně výhřevný. Koncentrace směsi uhlovodíků a vodíků se ve všech případech pohybovaly pod hranicí 10 % obj.

Z pohledu kvality plynného produktu k jeho dalšímu energetickému využití bylo při procesu zplyňování jednotlivých vzorků odpadů, který byl veden ve stejném teplotním režimu jako pyrolýza, dosaženo mnohem horších výsledků. Vzorky odebraných procesních plynů po zplyňování byly ovšem ředěny dusíkem obsaženým ve zplyňovacím médiu (vzduchu). Nejvýhřevnější plyn se vyvíjel u vzorku 3 po provedených pyrolýzních experimentech.

Hodnocení pevných zbytků z hlediska adsorpčních vlastností

Karbonizáty pyrolýzovaných vzorků a karbonizáty po zplyňování byly podrobeny základnímu stanovení k určení jejich sorpčních schopností (adsorpční jodové číslo). Pro stanovení jodového adsorpčního čísla I, které poskytuje informace o mikropórovité struktuře tuhého produktu, bylo použito normy DIN 53 582⁷. V následujícím grafu jsou uvedeny hodnoty výsledných adsorpčních jodových čísel vzorků 1 – 3 po pyrolýzním a zplyňovacím procesu.



Obrázek 4: Porovnání jodových adsorpčních čísel po pyrolýzních a zplyňovacích experimentech u vzorků 1 – 3

Aktivační médium (v tomto případě vzduch) docílilo lepších adsorpčních vlastností sorbentu u vzorků 1 a 3, což potvrdily hodnoty jodových adsorpčních čísel, které jsou v případě zmíněných dvou vzorků vyšší po zplyňovacích experimentech ve srovnání s pyrolýzou. V případě vzorku 2 jsou hodnoty jodového adsorpčního čísla po pyrolýzním a zplyňovacím experimentu srovnatelné. Naměřené hodnoty jodového adsorpčního čísla naznačují spíše nevhodnost těchto materiálů pro případnou výrobu sorbentů. V současné době začíná být rostoucím trendem výroba sorbentů z biomasy či jiných druhů odpadních materiálů, což jsou suroviny levné a snadno dostupné.

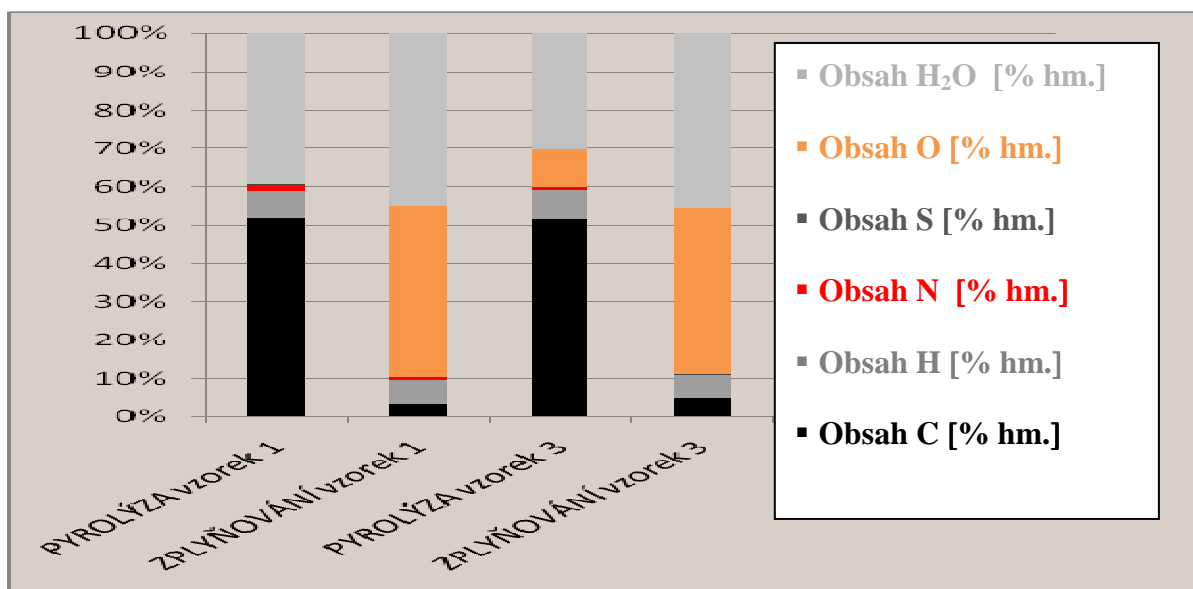
Hodnoty jodových čísel u karbonizátů získaných z dřevních pilin, ořechových skořápek, kukuřičných klasů aj. se pohybují v rozmezí 50 – 300 mg/g. Hodnota jodového čísla u průmyslově vyráběných adsorbentů, jako je např. aktivní uhlí, je výrobcí uváděna min. 1050 mg/g. Vhodnost separátů k přípravě sorbentů nelze hodnotit pouze na základě výsledků adsorpčních jodových čísel, pro komplexní posouzení tuhých zbytků k dalšímu využití jako adsorbentu je nezbytné stanovit další základní parametry, jako jsou např. měrný povrch (S_{BET}) a objem pórů³.

Během karbonizačního procesu vznikají rozkladné produkty prchavých látek (dehty), které mají nepříznivý vliv na výslednou jakost karbonizátu co do jeho adsorpčních schopností. Průběh karbonizace lze z hlediska přípravy adsorbentů ovlivnit různými způsoby, např. konečnou teplotou karbonizace, rychlostí ohřevu, granulometrickou skladbou suroviny, karbonizací za zvýšeného či sníženého tlaku atd. Materiál s vysokou adsorpční schopností je možno získat teprve aktivací karbonizovaného produktu za podmínek, kdy aktivační látka (vodní pára, CO_2 apod.) reaguje s uhlíkem. Tento způsob bývá nazýván fyzikální aktivace.

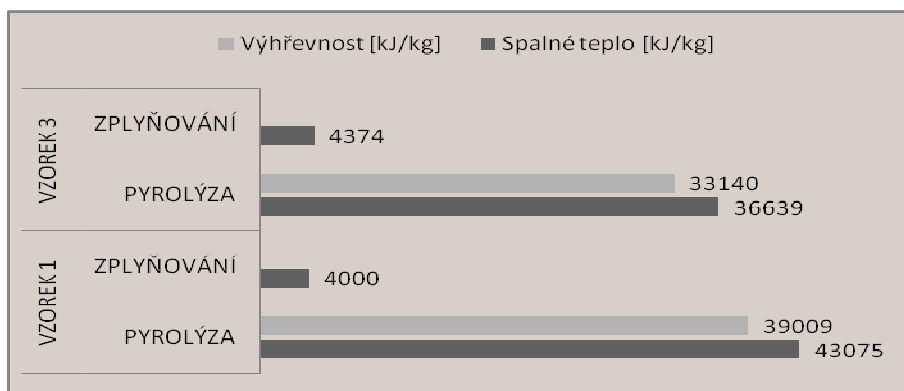
Materiál s vysokou adsorpční schopností lze vyrobit i jiným způsobem, a to tak, že se uhlíkatý výchozí materiál karbonizuje za přídavku látek omezujících tvorbu dehtů (např. ZnCl_2 , případně jiných Lewisových kyselin). Tento způsob je označován jako chemická aktivace. Pro případné další experimenty lze opět různě modifikovat zejména teplotní režimy procesu, případně konstrukci aparatury.

Hodnocení kondenzátů

Analýze kondenzátu byl podroben vzorek 1 a 3. Obsah uhlíku, vodíku, dusíku a síry byl stanoven na přístroji NA 1500 (Fisons Instruments, Milano) provozovaném v CHNS módu, kalibrovaném komerčním fenanthrenovým standardem dle interního předpisu č. 312/1. Spalné teplo bylo vypočteno dle Dulongova pravidla, obsah kyslíku byl zjištěn dopočtem do 100 %. Obsah vody byl stanoven metodou dle Karl-Fischera. Vzhledem ke značnému obsahu vody v kondenzátech po zplyňovacích experimentech jsou jejich výsledné hodnoty výhřevnosti záporné, tzn. při jejich přímém spalování by bylo nutno dodat značné množství tepla na odpaření vody. Hodnoty spalných tepel a výhřevností obou vzorků po pyrolýzních experimentech ovšem naznačují možnost jejich dalšího energetického využití.



Obrázek 5: Elementární analýza kondenzátu 1 a 3



Obrázek 6: Spalné teplo a výhřevnost kondenzátu 1 a 3

U výše uvedených vzorků bylo provedeno stanovení obsahu organických složek stanovených pomocí GC – MS na plynovém chromatografu HP 6890 (detektor HP 5973 MSD). K přípravě vzorků byl použit Chloroform. V kondenzátu vzorku 1 po pyrolýzním experimentu byl analyzován 2-furanmethanol (10,52 %), který nachází použití v raketové technice jako palivo, dále jako rozpouštědlo a primárně je používán jako přísada při výrobě různých chemických produktů. Další identifikované složky byly pentadekan (9,73 %), naftalen (4,23 %), toluen (2,37 %) aj. V kondenzátu stejného vzorku po zplyňovacím experimentu byl analyzován 2-furanmethanol (19,74 %), butyryllakton (15,61 %), naftalen (7,51 %) a další. Naftalen byl také zastoupen v kondenzátu vzorku 3 (pyrolýza – 2,08 %, zplyňování – 11,77 %). Zastoupené identifikované složky ve zmíněných kondenzátech by byly pravděpodobně technicky obtížné eliminovatelné a schůdnost jejich využití by patrně zasluhovala dlouhý vývoj.

Výsledky a diskuse

Provedené experimenty odhalily případné výhody a nevýhody aplikovaných procesů na využití těchto odpadů. Základním problémem při zpracování uvedených druhů odpadů pyrolýzou a zplyňováním je nutnost dodání značné energie do procesu. Výsledné produkty pyrolýzy a zplyňování (karbonizát, kondenzát a procesní plyn), které by měly být dále energeticky či materiálově využity, závisí nejen na použitém materiálu, ale především na vedení technologického procesu. Procesní podmínky lze různě modifikovat s ohledem na množství a kvalitu jednotlivých produktů, které chceme prioritně získat.

Nejvyšší koncentrace vodíku v pyrolýzním plynu se ve všech případech vzorků pohybovala při teplotě cca 700 °C okolo hranice 35 % obj., koncentrace sumy měřených uhlovodíků byly naměřeny v rozmezí 15 až 20 % obj. a koncentrace oxidu uhelnatého byly analyzovány cca 45 % obj. Dle hmotnostní bilance při zplyňování sice vznikal vyšší výnos plynu (cca 28 % hm.), ovšem ve srovnání s pyrolýzou méně výhřevný. Koncentrace směsi uhlovodíků a vodíků se ve všech případech pohybovaly pod hranicí 10 % obj. Naměřené hodnoty jodového adsorpčního čísla (v rozmezí 56 – 130 mg/g) naznačují spíše nevhodnost těchto materiálů pro případnou výrobu sorbentů. Hodnoty spalných tepel a výhřevností analyzovaných kondenzátů vzorků 1 a 3 po pyrolýzních experimentech signalizují možnost jejich dalšího energetického využití.

Závěr

Tento příspěvek shrnuje dílčí výsledky studentského grantového projektu. Účelem experimentů bylo získat základní výsledky, které by mohly vytvořit konkrétnější představu o perspektivě aplikace termických redukčních procesů na vybrané potravinářské odpady a zejména směr, kterým by se měly ubírat případné další experimenty.

Výhodou je, že během pyrolýzních a zplyňovacích procesů vzniká procesní plyn s obsahem hořlavých složek, jako je methan, vodík, oxid uhelnatý, který je možno energeticky využít. Z pohledu kvality plynného produktu k jeho dalšímu energetickému využití bylo při procesu zplyňování jednotlivých vzorků odpadů, který byl veden ve stejném teplotním režimu jako pyrolýza, dosaženo mnohem horších výsledků. Vzorky odebraných procesních plynů byly ovšem zředěny dusíkem obsaženým ve

zplyňovacím médiu (vzduchu). Velmi pozitivních výsledků, zejména v případě pyrolýzních experimentů, bylo dosaženo u všech vybraných odpadů z potravinářského průmyslu.

Nabízí se rovněž další energetické využití kondenzátů, zejména po pyrolýzních experimentech. Výsledná jodová čísla karbonizátů dosahují hodnot, které naznačují spíše nevhodnost těchto materiálů k výrobě adsorbentů. Pro komplexní posouzení vhodnosti těchto materiálů pro případnou výrobu adsorbentů je nezbytné stanovit další základní parametry, jako jsou např. měrný povrch (S_{BET}) a objem pórů. Závěrem je třeba dodat, že uvedená problematika je rozsáhlá a nabízí celou řadu modifikací procesu pyrolýzy a zplyňování vybraných druhů odpadů.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení projektu Specifického vysokoškolského výzkumu s ev. č. SP/2010117 „Porovnání termických metod redukčního zpracování odpadů s tepelným obsahem“. A také za podpory EU v rámci řešení projektu č. CZ.1.05/2.1.00/03.0100 s názvem „Institut environmentálních technologií“.

Použitá literatura

1. Bursa M.: *Geografie průmyslu Česka: Potravinářský průmysl*, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, 2006, 51 s, ISBN 80-7044-807-5.
2. Obroučka K.: *Termické odstraňování a energetické využívání odpadů*, VŠB TUO, 2001, 143 s, ISBN 80-248-0009-8.
3. Obroučka, K. a kol.: *Výzkum vlastností a využití digestátu z anaerobních procesů kofermentace zemědělských a dalších, zejména obtížně využitelných organických odpadů. Projekt VaV ev. č. SP/3g4/103/07*, VŠB TU Ostrava, Centrum environmentálních technologií, 2007 – 2010.
4. Holcová P., Kaloč M.: *Hodnocení vlastností pyrolýzních produktů z odpadní biomasy*, In *Úprava nerostných surovin*, VŠB TU Ostrava 2006, s. 63-71, ISBN 80-248-1050-6.
5. Mahishi M. R., Goswami D. Y.: *An experimental study of hydrogen production by gasification of biomass in the presence of a CO₂ sorbent*, *International Journal of Hydrogen Energy*, University of Florida, 2007, s. 2803-2808.
6. Abuadala A., Dincer I.: *Efficiency evaluation of dry hydrogen production from biomass gasification*, *Thermochimica Acta*, vo. 507-508, August 2010, p. 127-134.
7. DIN 53582: 1983. *Prüfung von Rußen; Bestimmung der Jodadsorptionszahl (Testing of carbon black; determination of iodine adsorption number)*.

Application of pyrolysis and gasification processes in processing of selected food wastes

Barbora GRÝCOVÁ, Kateřina STEPKOVÁ, Karel OBROUČKA, Roman KUČA

VSB-Technical University of Ostrava, The Centre of Environmental Technologies, 17. listopadu Str. 15, 708 33 Ostrava Poruba.

Summary

Treatment and disposal of wastes from food production is an important area of the total food production. In connection with the various sources of raw materials and technological processes applied to the composition of the waste from food production varies considerably, and therefore follow the procedures they use are often very different.

This paper presents the initial laboratory experiments of pyrolysis and gasification of selected food waste, focusing on the composition of gaseous products of these processes, utilization of solid and liquid residues, material balance and process energy. The maximum concentration of hydrogen in the pyrolysis gas in all cases of samples ranged at about 700°C around the level of 35% vol., the sum of hydrocarbon concentrations were measured in the range of 15-20% vol. and concentrations of carbon monoxide were analyzed about 45% vol.

Keywords: pyrolysis, gasification, gas chromatography, waste, biomass

Úvod do problematiky čištění kontaminovaných podzemních vod s využitím propustných reaktivních bariér

Lenka WIMMEROVÁ^a, Ladislav KUDRLIČKA^b

^a DEKONTA, a. s., Odd. výzkumu a vývoje, Dřetovice 109, 273 42 Stehelčevy, e-mail: wimmerova@dekonta.cz

^b Výzkumný ústav anorganické chemie, a. s., Revoluční 1521/84, 400 01 Ústí nad Labem, e-mail: ladislav.kudrlicka@vuanch.cz

Souhrn

Cílem příspěvku je informovat odbornou veřejnost o možnostech použití technologie propustných reaktivních bariér a současně ji seznámit s technologickými úskalími této sanační metody. V rámci řešení projektu s názvem „Remediace podzemních vod s využitím permeabilních reaktivních bariér“ byly studovány dostupné materiály a literární zdroje zabývající se aktuálními poznatky z oblasti aplikace biologických, chemických a fyzikálně-chemických postupů k odstranění organických a anorganických polutantů z podzemních vod prostřednictvím abiotických a biotických bariér. Pozornost byla věnována nejen stavu poznání ve světě, ale také u nás.

Klíčová slova: Propustná reaktivní bariéra, reaktivní zóna, reaktivní médium, podzemní voda, dekontaminace, in situ, znečištění.

Úvod

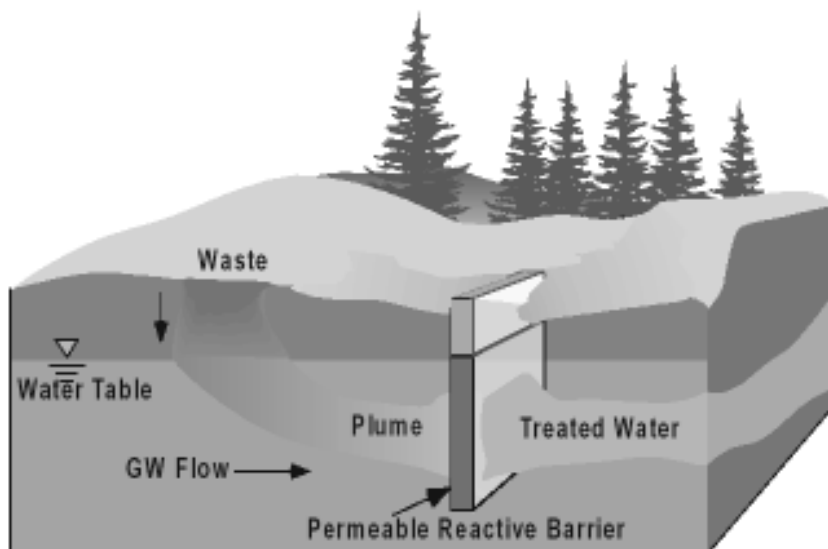
V posledních letech je patrný trend využívat k čištění kontaminovaných podzemních vod inovační sanační technologie, jako například technologii propustných reaktivních bariér (dále PRB). Hlavním důvodem odklonu od klasických sanačních metod je zejména jejich nízká účinnost a s tím spojená časová a finanční náročnost. Významný rozvoj propustných reaktivních bariér je podmíněn především úspěšností prvních reálných aplikací a také výhodami, které tato technologie přináší. Metoda má široké použití při sanaci lokalit kontaminovaných organickými i anorganickými látkami. Pro optimální aplikaci této technologie je však nezbytné detailně charakterizovat místní podmínky, protože za určitých hydrogeologických a geochemických podmínek může být aplikace systémů PRB nevhodná.

Základní charakteristika technologie a typy propustných reaktivních bariér

Propustná reaktivní bariéra je definována jako „pasivní“ *in situ* zóna (pozn. autorů: pasivní ve smyslu pevného ukotvení v horninovém prostředí), která je vyplněna reaktivním médiem, přes které v přirozeném režimu proudí kontaminovaná podzemní voda. Reaktivní médium rozkládá, sorbuje, sráží nebo jinak odstraňuje organické látky, kovy, radionuklidy či jiné polutanty. Bariéry mohou obsahovat reakční činidla pro rozklad organických těkavých látek, cheláty pro imobilizaci kovů, živiny, kyslík pro podporovanou biodegradaci, případně jiná činidla¹. Schématické znázornění ukazuje obrázek 1.

Za jednu z největších výhod technologie PRB jsou považovány nízké provozní náklady (prakticky spojené pouze s monitoringem), minimální omezení dotčeného území, minimální zásah do hydraulického režimu na lokalitě, malé manipulované množství kontaminovaných vod (a zemin) a tím také minimální ztráty zdroje podzemních vod. Technologie je začleňována mezi trvale udržitelné sanační technologie.

Technologie PRB má samozřejmě také své nevýhody, mezi něž patří především nutnost důkladného zmapování hydraulického režimu a v porovnání s ostatními sanačními technikami také dlouhodobý monitoring a management fungování bariéry. Za další nevýhodu je považována technická náročnost výměny reaktivního média (zejména u klasické kontinuální bariéry) a rovněž nutnost odstranění média po ukončení provozu bariéry^{1,2}.

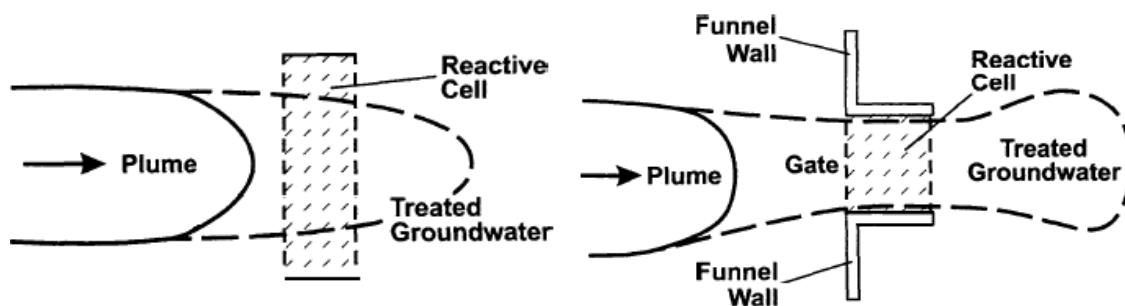


Obrázek 1: Schéma čištění kontaminačního mraku v propustné reaktivní bariéře¹

Do současnosti nainstalované propustné reaktivní bariéry lze rozdělit podle jejich technického uspořádání na následující čtyři typy:

1. bariéra kontinuální,
2. systém trychtýř-brána (tzv. „funnel-and-gate“),
3. systém drén-brána (tzv. „trench-and-gate“),
4. systém linií pilotů či vrtů. Tato kategorie je v literatuře zpravidla označována jako reaktivní zóna (RZ) nebo jako technologie formace (či formování) reaktivní zóny (RZF).

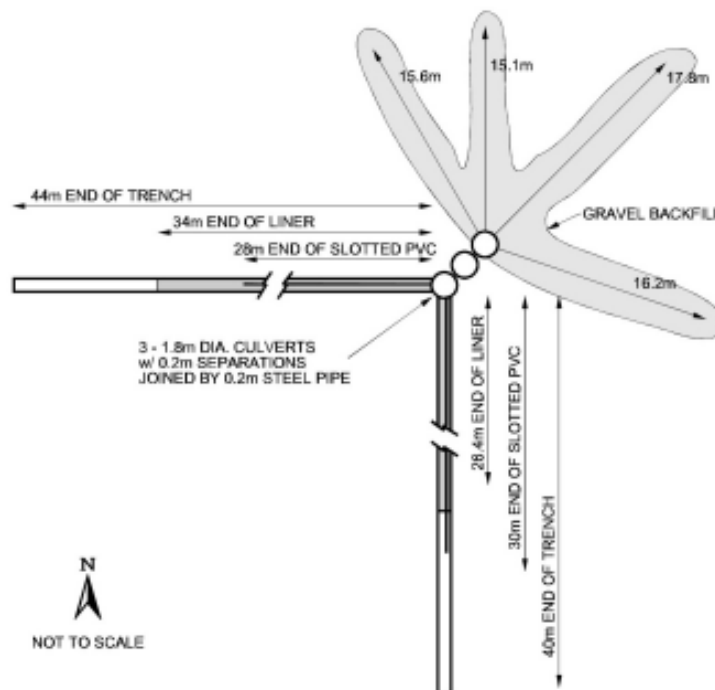
Kontinuální bariéra (obrázek 2 vlevo) představuje jednoduchou formu podzemní reaktivní bariéry a je tvořena pouze propustnou reaktivní výplní. Tento typ bariéry se zpravidla buduje jako souvislý výkop nebo jako systém překrývajících se široko-profilových vrtů vyplněných reaktivní výplní³.



Obrázek 2: Možné konfigurace PRB (vlevo kontinuální bariéra, vpravo systém trychtýř-brána)³

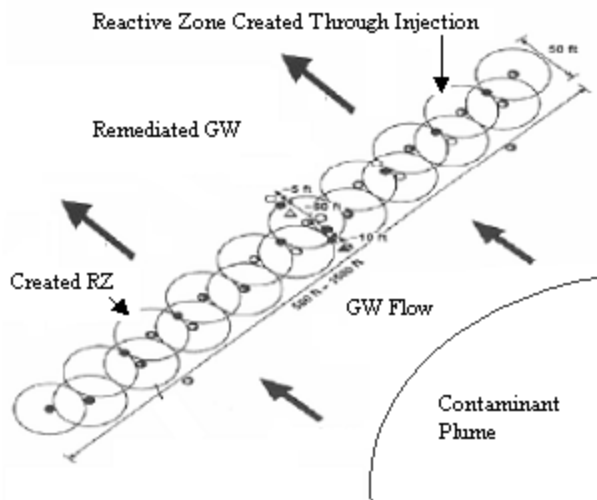
Systém trychtýř-brána (obrázek 2 vpravo) má část tvořenou nepropustnou podzemní stěnou, která svádí podzemní vody do propustné reaktivní části. Tato konfigurace umožňuje lepší zachycení kontaminačního mraku a optimální umístění reaktivní části. Na lokalitách, kde je proudění podzemních vod příliš heterogenní, umožňuje tento systém umístění reaktivní brány v propustnější části kolektoru a v místech, kde není distribuce kontaminantů uniformní, umožňuje lepší homogenizaci znečištění před vstupem do reakční brány³. Tím jsou vytvořeny podmínky pro přesné a ekonomické dimenzování velikosti reakčního prostoru. Nepropustná část podzemní stěny je zpravidla tvořena zaráženými štětovnicemi nebo jílo-cementovou těsnicí stěnou. Hydraulické modelování ukázalo, že ideální uspořádání systému trychtýř-brána má tvar, kdy jsou části tvořené nepropustnou stěnou v přímce s reaktivní částí (bránou)⁴.

Konfigurace drén-brána (obrázek 3) je řešena obdobně jako předchozí systém. Místo nepropustné podzemní stěny je však v tomto případě nainstalován podzemní drén, jímž je sváděna kontaminovaná voda do podzemního reaktoru. Do výkopu podzemního drénu je na „vzdušné“ straně uložena fólie zamezující podtékání drénu. Přecházející podzemní voda odtéká přímo do horninového prostředí, nebo je do kolektoru rozváděna systémem vsakovacích galérií. Tím je dosaženo minimálního vzduší hladiny a preferenčního proudění podzemní vody do podzemního reaktoru⁵.



Obrázek 3: Systém PRB drén-brána použitý na lokalitě East Garington, Kanada⁵

Posledním typem uspořádání je **systém linií pilot či vrtů** (obrázek 4). Jak už bylo zmíněno výše, tyto typy PRB jsou zpravidla zařazovány do kategorie reaktivních zón (RZ) či metody formace reaktivní zóny (RZF). Toto uspořádání se od předchozích třech typů PRB liší tím, že není nutné umísťovat pevné reaktivní médium do podzemí⁶. Potřebné médium je zpravidla injektováno v kapalně či plynné podobě (např. kyslík, živiny) přímo do podzemí, čímž dojde k vytvoření určité bariéry, přes kterou stejně jako v případě PRB proudí v přirozeném režimu kontaminovaná podzemní voda. Do této kategorie spadá například většina bariér pracujících na principu air-spargingu.



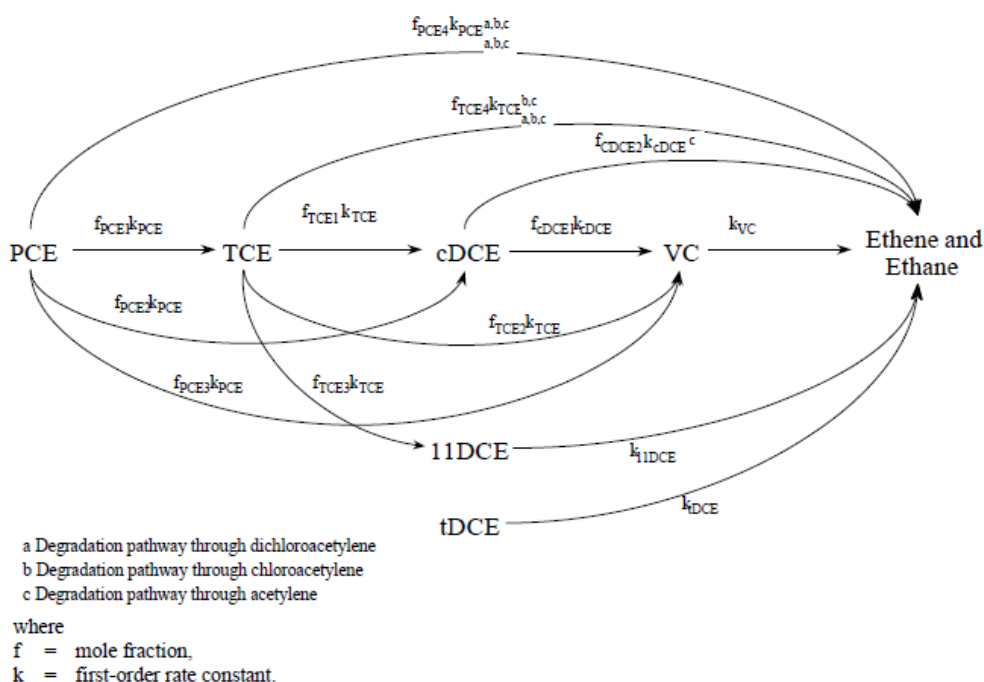
Obrázek 4: Příklad uspořádání reaktivní zóny tvořené dvěma liniemi injektážních vrtů⁶

V případě prvních třech typů technického uspořádání PRB (tj. kontinuální, trychtýř-brána, drén-brána) pak dále rozlišujeme následující tři typy vlastních reakčních segmentů: i) reakční brány, ii) kesony a iii) *in situ* reaktory^{1,7}. V minulosti byly často v systémech PRB instalovány reakční brány. S ohledem na jejich nevýhody (zejména ztráta reaktivní náplně daná mísením s těženou horninou z důvodu nutného překryvu sond) a dostupné pokročilé technické způsoby sanace znečištění, je v současné době v systémech PRB stále častěji používaným typem reakčního segmentu *in situ* reaktor. Reaktory mohou být vyplněny reaktivním médiem nebo v nich mohou být nainstalovány prvky zajišťující rozklad kontaminantu (nosiče, provzdušňování, dávkování reakčních činidel apod.). Značnou výhodou těchto reaktorů je jejich osazení v půdním prostředí bez možnosti obtékání a preferenčních cest a možnost zajištění vertikálního, plnoprofilového a homogenního proudění v tomto typu reakčního segmentu za současné snadnější kontroly účinnosti a stavu reaktivního média a tím i možnosti rutinní obměny náplně a optimalizace všech fází dekontaminačního procesu.

Dekontaminační postupy aplikované v systémech PRB

V současnosti je v technologii PRB běžně používáno zejména nulamocné železo (dále ZVI) za účelem odstranění běžných organických i anorganických kontaminantů z podzemní vody, jako například chlorované ethyleny, ropné uhlovodíky a šestimocný chrom. Další materiály, jak železné, tak neželezné (především zrněné aktivní uhlí – dále GAC), se využívají v menší míře k čištění polutantů typu radionuklidů, těžkých kovů a za účelem eliminace negativních vlivů vypouštění kyselých důlních vod. Dostupnost, resp. využívání jiných materiálů než ZVI v reaktivních bariérách je však velmi důležitá, protože rozšiřuje možnosti technologie reaktivních bariér a umožňuje čištění širšího spektra znečištění. V praxi se již také objevilo testování směsných náplní či využívání více reaktivních bran vyplněných různými reaktivními médii, zpravidla řazených za sebou (tzv. multi-bariéry). Na základě použitého reaktivního média a čištěného kontaminantu je možné dosud aplikované čisticí procesy v reaktivních bariérách rozdělit na následujících šest kategorií:

1. **Chemická dehalogenace:** Jedná se o abiotický proces, který zahrnuje korozi (oxidaci) nulamocného železa za současné redukce rozpuštěných chlorovaných uhlovodíků (CIU), zpravidla chlorovaných ethylenů – perchlor-(PCE), trichlor-(TCE) a dichlorethylenu (DCE) a vinylchloridu (VC). Doposud byly popsány dvě primární cesty dechlorace chlorovaných ethenů na ZVI: i) β -eliminace a ii) hydrogenolýza (obrázek 5)⁶.



Obrázek 5: Reakční cesty abiotické degradace chlorovaných ethylenů na ZVI⁶

Procesem β -eliminace vznikají chloracetylenové meziprodukty, které jsou nestabilní a jsou velmi rychle redukovány na ethen. Hydrogenolýza je pomalejší reakce, při které vznikají a následně jsou degradovány méně-chlorované meziprodukty. Například při degradaci TCE vznikají *cis*-DCE a VC a tyto meziprodukty jsou pomaleji odbourávány než samotné TCE. Degradace chlorovaných uhlovodíků v podzemní vodě na ZVI je zpravidla popisována reakční kinetikou prvního řádu⁶.

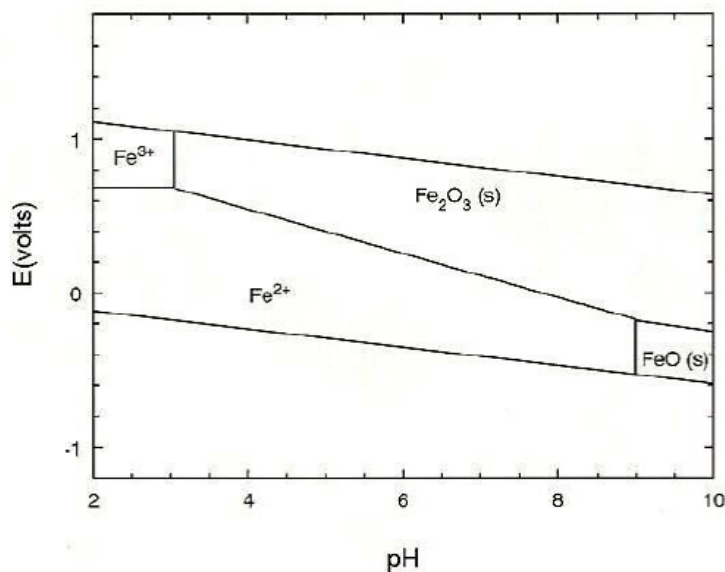
Doprovodnými produkty dechlorace jsou chloridy (Cl^-), železo (Fe^{2+}), nechlorované uhlovodíky a vodík. V případě abiotické dechlorace je však důležité zdůraznit, že část běžných kontaminantů (např. 1,2-dichlorethan, dichlormethan a vybrané chlorované aromáty) nejsou na běžně dostupných komerčních Fe-materiálech degradovatelné.

2. **Kontrola pH:** Vliv pH na mobilitu řady organických i anorganických iontů je dostatečně znám a potvrzuje fakt, že strategie kontroly pH je efektivním sanačním prostředkem i v technologii PRB (např. při čištění kyselých důlních vod). Rozpustnost kovů je závislá na pH, redukčním potenciálu, koncentraci reakčních složek v roztoku a na reakční kinetice. Je dobře známo, že rozpustnost a tím i mobilita řady anorganických látek (např. chrom, zinek, nikl) je nižší v neutrálním až slabě zásaditém pH a vyšší v kyselém či silně zásaditém prostředí. Také organické polutanty mohou být méně stabilní při různých pH podmínkách, nicméně vliv pH na tyto látky je velmi závislý na redukčně-oxidačním charakteru vodného systému. Mezi materiály, které byly do současnosti použity ke kontrole pH v propustných bariérách, patří vápenec či jiné vápencové materiály, kompost a další organické (uhlíkové) materiály⁶.

Přímý a významný vliv pH na posun uhličitánové rovnováhy je velmi dobře popsán při použití granulovaného železa v PRB. Produkce hydroxylových radikálů vede ke zvyšování pH během koroze a vede k vysrážení uhličitánů a dalších sloučenin na železe. Vysrážení těchto látek pak může způsobit snížení propustnosti reaktivního média. Při používání ZVI v kombinaci s jinými neželeznými médii může přítomnost železa v reaktivní směsi také ovlivňovat pH a vést k vysrážení uhličitánů díky výše zmíněnému vlivu na uhličitánovou rovnováhu. Proto se v některých případech budují malé reaktory vyplněné ZVI nad vlastním reakčním segmentem bariéry (tzv. předčišťovací zóny nebo zóny předčištění), které umožňují efektivně ochránit před srážením železo ve hlavním reakčním segmentu PRB⁶.

3. **Redukce/oxidace:** Uhlík, dusík, kyslík, síra, železo a mangan jsou klíčovými parametry ovlivňujícími průběh redukčně-oxidačních (redox či Eh) reakcí, a tím i osud čištěných kontaminantů. Kromě výše zmíněných prvků mají na osud běžných průmyslových kontaminantů zásadní vliv také mikroorganismy běžně přítomné v přirozených podmínkách, a to díky svému vlivu na rozkladné procesy a na koloběh uhlíku. Úpravu, resp. modifikaci probíhajících redoxních reakcí je možné začlenit do systému PRB. Tato úprava je zpravidla prováděna společně s úpravou pH. K vyhodnocení podmínek a návrhu úpravy jsou využívány diagramy Eh-pH (např. Pourbaixův diagram – obrázek 6), které umožňují vyhodnotit geochemické podmínky podzemních vod.

Reaktivní bariéry využívající změny redoxního potenciálu jsou poměrně novým typem PRB a jsou zpravidla označovány termínem *in situ* redoxní manipulace. Tento proces v podstatě spočívá v injektáži silných redukčních či oxidačních činidel do kontaminovaného horninového prostředí. Velmi podrobně je tento proces popsán u aplikace dithionititanu sodného injektovaného za účelem redukce šestimocného chromu (Cr^{6+}) a následné redukce trojmocného železa (Fe^{3+}) na dvojmocné (Fe^{2+}), které umožní redukci organických látek typu chlorovaných ethylenů⁸. Mezi materiály, které byly již použity k úpravě redox potenciálu v systémech PRB je možné dále jmenovat kompost, polysulfid vápníku, sirovodík, octan a různé sacharidy.



Obrázek 6: Zjednodušený Pourbaixův diagram pro některé přirozeně se vyskytující formy železa⁶

4. **Adsorpce:** Materiály využívané pro sorpční reakce (včetně iontové výměny) patří mezi jedny z nejlépe poznanych a jsou běžně užívané jak *in situ*, tak *ex situ* při odstraňování kontaminantů z podzemních i odpadních vod klasickými sanačními metodami. Z tohoto důvodu nejsou zpravidla spojovány s technologií PRB. Například zrněné aktivní uhlí (GAC) je běžně používáno v nadzemních čistících systémech, ale dnes již také v propustných reaktivních bariérách jako samostatné reaktivní médium či ve směsi s jinými materiály (především ZVI). Dalšími materiály, které byly již úspěšně aplikovány v systémech PRB, jsou zeolity či zeolity aktivované povrchově aktivními látkami aplikované za účelem odstranění kovů (např. radioaktivního stroncia Sr-90) i organických látek. Do současnosti byly v bariérách dále použity apatit či aktivovaný apatit, jílové minerály, odpadní sádra, oxyhydroxidy, uhlí či živočišné uhlí a kompost⁶.

Hlavními faktory určujícími využití materiálu jako sorbentu v reaktivní bariéře, je hydrofobita materiálu, jeho stabilita a snadná aplikovatelnost. Materiály, které podléhají degradaci, zpravidla nevydrží vazbu kontaminace. Neméně důležitým faktorem je také schopnost desorpce či reverzní iontové výměny.

5. **Biologická podpora:** Řada organických i anorganických látek včetně radioaktivních může být odstraněna z podzemní vody biologickými reakcemi. Podpora biologických procesů je v reaktivních bariérách realizována dvěma základními způsoby:

- aplikací vybraných médií v plynném či kapalném stavu za účelem podpory přirozených degradačních procesů, zde se zpravidla jedná o aplikaci kyslíku, živin a kosubstrátů, v některých případech mohou být také aplikovány cíleně vybrané bakteriální kmeny s vysokou degradační schopností,
- použitím pevných reaktivních médií s cílem podpory nárůstu bakteriálního biofilmu na tomto médiu (ať již z přirozených, tak dodaných bakteriálních kmenů), mechanismus odstranění kontaminantů v těchto systémech PRB lze rozdělit na nedestruktivní, kdy kontaminanty jsou fixovány na povrch nosiče či přímo do biofilmu (tento proces může být vratný) a destruktivní, kdy jsou kontaminanty rozkládány na neškodné produkty či na méně nebezpečné sloučeniny².

Biologické procesy mohou v podzemních vodách, a tím i v systému PRB, probíhat jak v aerobním, tak i v anaerobním prostředí, a to v závislosti na typu odstraňovaného znečištění. Výhodou využití technologie reaktivních bariér v kombinaci s biologickými procesy je především relativní prostorové vymezení hlavní čistící zóny a její snadný monitoring. Další výhodou je možnost podpory biologických procesů nejen přímo v reaktivním segmentu bariéry, ale také nad a pod touto zónou.

V neposlední řadě je třeba zmínit možnost využití biologických procesů pro čištění směsného znečištění (např. anorganika, organika, kovy a radionuklidy).

6. **Kombinace čistících procesů:** V některých případech je, s ohledem na přítomné znečištění, vhodné aplikovat kombinaci výše uvedených procesů. Právě možnost kombinace čistících procesů představuje jednu z výhod technologie PRB, tyto bariéry jsou obecně označovány jako tzv. multi-bariéry. Do současnosti byly v propustných reaktivních bariérách použity následující kombinace:

- aplikace ZVI za účelem odstranění chlorovaných uhlovodíků s následnou aerobní biodegradací aromatických uhlovodíků (např. BTEX),
- aplikace ZVI za účelem odstranění chloridu uhličitého a chloroformu s následnou podporovanou atenuací k odstranění dichlormethanu,
- aplikace ZVI za účelem odstranění chlorovaných uhlovodíků s následným přidavkem živin nebo pevného zdroje uhlíku k podpoře anaerobní biodegradace těžkých organických látek,
- pevný uhlíkový materiál za účelem odstranění dusičnanů následovaný aplikací ZVI k odstranění těžkých organických látek,
- popel za účelem odstranění koloidů, apatit k odstranění stroncia (Sr), americia (Am) a plutonia (Pu), bio-bariéra na čištění dusičnanů a chloristan a vápenec aplikovaný za účelem zvýšení pH a odstranění zbytkových radionuklidů vysrážením⁶.

V případě použití multi-bariér je však třeba mít na paměti nutnost vyhodnocení vzájemného vlivu jednotlivých dekontaminačních procesů a také vlivu na geochemii podzemní vody již před aplikací těchto kombinovaných systémů. Například použití ZVI k redukci chlorovaných ethylenů s následnou aerobní biodegradací polyaromátů vyžaduje změnu anaerobního prostředí na aerobní. Z tohoto důvodu je nutné začlenit do systému reaktivní bariéry tzv. přechodovou zónu zabezpečující dostatečně rychlé provzdušnění podzemní vody.

Reaktivní média používaná v propustných bariérách

Jak již bylo zmíněno v úvodu, základní funkcí reaktivního média v systému PRB je přímý rozklad či imobilizace znečištění podzemní vody, příp. také úprava geochemických podmínek zvodně tak, aby mohl proběhnout zmíněný rozklad či imobilizace polutantů. Z tohoto důvodu musí mít reaktivní média používaná v systémech PRB určité vlastnosti, které je opravňují k využití v této technologii. Médium musí splňovat zejména následující podmínky:

- musí být kompatibilní s okolním horninovým prostředím,
- nesmí způsobovat nežádoucí chemické reakce nebo vytvářet toxické vedlejší produkty při reakci s látkami obsaženými v kontaminované vodě,
- nesmí působit jako zdroj znečištění.

Z těchto požadavků jednoznačně vyplývá nutnost důkladného poznání a charakterizace média použitého v systému PRB. Z důvodu zajištění ekonomické rentability by reaktivní materiál měl být také schopen udržet své požadované vlastnosti po dlouhou dobu a jeho pořizovací náklady by měly být nízké. V případě, že se jedná o pevný materiál, by měl současně mít takovou zrnitost, resp. propustnost, aby minimálně omezoval proudění podzemní vody^{1,2}. Při výběru vhodného reaktivního média se doporučuje postupovat dle následujících kritérií:

- **reaktivita:** zejména ve vztahu ke kontaminantu, který má být odstraněn,
- **stabilita:** doba, po kterou si médium uchovává svou reaktivitu,
- **dostupnost a cena:** levné médium je samozřejmě preferováno, pokud je minimální rozdíl v účinnosti,
- **hydraulické vlastnosti:** velikost částic média by měla být taková, aby bariéra dokázala zachytit kontaminační mrak,
- **kompatibilita s životním prostředím:** médium by nemělo emitovat škodlivé produkty rozpadu zpět do zvodněného prostředí.

V případě biologických PRB je výše uvedená škála kritérií dále rozšířena o **kompatibilitu s degradačními mikroorganismy**.

V současnosti jsou nejčastěji používaným reaktivním médiem nulamocné kovy, zvláště pak granulované železo. Korozí nulamocného kovu v reaktivní bráně dochází ke zvýšené elektronové aktivitě, která rozkládá chlorované uhlovodíky či imobilizuje těžké kovy (např. chrom – Cr, arsen – As)³. Kromě reaktivní náplně ve formě nulamocného kovu byly v praxi již odzkoušeny další náplně, jako například drcený vápenec k neutralizaci pH skládkových vod a ke srážení Cr, směs rašeliny, drceného vápence či vápna k odstranění uranu (U), As, molybdenu (Mo) a selenu (Se), zeolit k eliminaci Sr či dnes již klasický sorbent, aktivní uhlí pro odstranění organického znečištění (např. chlorbenzenu, fenolu či aromátů)^{1,2}. Jako reaktivní náplně pro biologické osídlení se používají zejména GAC, perlit, zeolit, piliny, kompost, rašelina a dřevní štěpky. Tabulka 1 uvádí přehled reaktivních médií používaných v propustných reaktivních bariérách spolu s příklady čištěných polutantů.

Tabulka 1: Příklady reaktivních materiálů používaných v systémech PRB⁶

Kategorie reaktivního materiálu	Příklad materiálu	Příklady čištěných kontaminantů
Podporovaná reduktivní dechlorace organických sloučenin	Nulamocné železo (ZVI)	Chlorované ethyleny, ethany, methany a propány, chlorované pesticidy, freony, nitrobenzen
Podporovaná reduktivní dechlorace kovů	Nulamocné železo (ZVI), struska, oxid železitý	Cr, U, As, Tc, Pb, Cd, Mo, U, Hg, P, Se, Ni
Sorpce a iontová výměna	Nulamocné železo (ZVI), granulované aktivní uhlí (GAC), apatit (a podobné materiály), živočišné uhlí, zeolity, rašelina, humáty	Některá chlorovaná rozpouštědla, BTEX, Sr-90, Tc-99, U, Mo
Kontrola pH	Vápenec, nulamocné železo (ZVI)	Cr, Mo, U, kyselé vody
<i>In situ</i> redoxní manipulace	Dithioničitan sodný (Na ₂ S ₄ O ₂), polysulfid vápníku (CaS _x ; x=2 až 5)	Cr, chlorované ethyleny
Podpora bioremediace (zahrnující zdroje uhlíku, kyslíku a vodíku)	Sloučeniny uvolňující kyslík či vodík, sacharidy, laktáty, nulamocné železo (ZVI), kompost, rašelina, piliny, octan, humáty (zahrnuje pevná, kapalná a plynná média)	Chlorované ethyleny a ethany, dusičnany, sírany, chloristan, Cr, MtBE, PAU

Na tomto místě je nezbytné zdůraznit, že použití nových reaktivních materiálů v technologii PRB, resp. hledání a testování nových materiálů za tímto účelem je velmi důležité, protože neželezné materiály mají lepší předpoklady pro odstranění směsného znečištění a vyčištění kontaminované podzemní vody na požadovanou úroveň. Alternativní média jsou zpravidla také cenově dostupnější v porovnání s cenou komerčního ZVI.

Praktické aplikace propustných reaktivních bariér

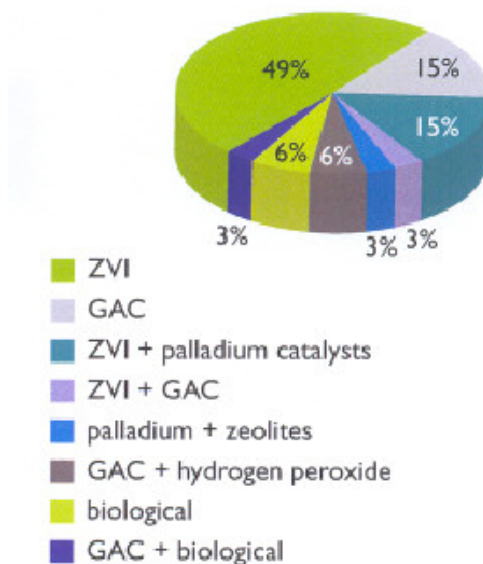
Doposud realizované PRB jsou ve světě aplikovány především za účelem odstranění halogenovaných alifatických uhlovodíků (zejména chlorovaných) nebo těžkých kovů (šestimocného Cr) chemickou redukcí na médiu tvořeném nulamocným železem^{9,10}. Pouze malá část podzemních reaktivních bariér byla vybudována za účelem odstranění jiného typu znečištění (např. ropných látek, aromátů či benzenu)^{11,12}. Tyto organické látky jsou v technologii reaktivních bariér odstraňovány zpravidla sorpcí na GAC nebo přirozenou atenuací podporovanou dodáváním kyslíku do reaktoru^{5,13}. Kyslík je do podzemní vody zpravidla dodáván tzv. air-spargingovými bariérami, které spočívají v jedné či více liniích injektážních vrtů budovaných napříč směru proudění podzemních vod. Těmito vrty se do saturované zóny vtlačí atmosférický kyslík jako akceptor elektronu^{13,14}.

První reaktivní bariéry s nulamocným železem byly postaveny v druhé polovině 90. let minulého století v USA a Kanadě (např. Sunnyvale, Kalifornie, 1995 a Elizabeth City, Severní Karolína, 1996), v Severním Irsku (Belfast, 1995) a následně v Německu (např. Bitterfeld, 1999)^{12,15,16,17}. Do současnosti byly propustné reaktivní bariéry s náplní ZVI postaveny i v dalších evropských zemích, například v Rakousku, Dánsku a Holandsku. Současně s těmito reaktivními bariérami byly postaveny také první air-spargingové bariéry, například na lokalitě East Garington, Alberta v roce 1995⁵ a v Alamedě,

Kalifornie v roce 1997¹². Technologie air-spargingových bariér byla úspěšně odzkoušena také v Evropě, a to například na lokalitách v severní Itálii či v Nizozemí¹³.

Poměrně novou záležitostí v oblasti aplikace PRB je využití bio-bariér pracujících na principu biofiltru. Úspěšnou aplikaci bariér tohoto typu lze dokumentovat na příkladu tzv. denitrifikační bio-bariéry s náplní organického uhlíku oživeného bakteriemi kmene *Pseudomonas sp.* Tato biologická bariéra byla realizována v pilotním měřítku v Kanadě v roce 1995¹⁸. Výsledky ukázaly, že je možné v tomto systému dosáhnout rychlé denitrifikace, a tím snížení obsahu dusičnanů z koncentrací typických pro odpadní vody až na limity stanovené pro pitné vody. Dalším příkladem biofiltrační bio-bariéry může být systém použitý na lokalitě Synthesia Pardubice v letech 2004 až 2010^{19,20,21}.

V roce 2005 byl americkou agenturou ITRC publikován přehled 67 provozních, ale i pilotních systémů PRB vyplněných ZVI sloužících k dekontaminaci podzemních vod znečištěných těkavými organickými látkami, především chlorovanými ethyleny⁶ (pozn. autorů: přesný počet aktuálních aplikací PRB není v současné době k dispozici). V případě Evropy bylo ke stejnému datu známo celkem 33 aplikací všech typů PRB. Z tohoto počtu bylo devět systémů ve Velké Británii, dvě bariéry v Severním Irsku (jak již bylo zmíněno výše, první aplikace PRB s ZVI v Evropě byla postavena právě v Belfastu roku 1995), deset bariér v Německu a zbytek v ostatních zemích²². Z materiálu britské firmy Terralsa, Ltd. je zřejmé, že zatímco v případě Evropy jednoznačně převládá instalace bariér systémem trychtýř-brána, na americkém kontinentě jsou instalovány především kontinuální bariéry. Co se týká reaktivních médií a aplikovaných dekontaminačních procesů tak zde je obdobná situace na obou kontinentech, kdy převládá ZVI následované GAC (obrázek 7).



Obrázek 7: Reaktivní média používaná v Evropě²²

Zde je však nutné doplnit, že do tohoto přehledu nejsou začleněny země bývalého sovětského bloku, protože v těchto zemích není k dispozici přesná statistika již zrealizovaných PRB. Na území České republiky bylo do současnosti odhadem realizováno cca pět až šest pilotních aplikací technologie PRB a jedna provozní aplikace (lokalita Hluk, ZVI k dekontaminaci CIU, realizovala firma AQUATEST, a.s.). Z dalších zemí jsou dále dostupné informace o pilotní zkoušce multi-bariéry na kyselých důlních vodách v Bulharsku²³.

Závěr

Technologie propustných reaktivních bariér představuje progresivní způsob čištění kontaminovaných podzemních vod. Díky možnosti aplikace různých dekontaminačních technik v reaktivním segmentu bariéry a možnosti propojení více bariér sériově či paralelně představuje tato sanační technologie velký potenciál pro čištění komplexně znečištěných podzemních vod. Jedná se zejména o areály bývalých průmyslových závodů nebo místa, kde není možné technicky odstranit primární zdroj znečištění a kde je

třeba dlouhodobě s vysokou spolehlivostí zamezit migraci znečištění do okolí. Metoda PRB může být účinným a ekonomicky výhodným řešením také tam, kde kontaminace podzemní vody a saturované zóny horninového prostředí nepředstavuje bezprostřední zdravotní ani ekologická riziko a významně neomezuje možnost dalšího využívání lokality.

Seznam symbolů

BTEX – benzen, toluen, ethylbenzen, xyleny
CIU – chlorované ethyleny
DCE – dichlorethylen
Eh – redoxní potenciál vztažený na vodíkovou sondu
GAC – zrněné aktivní uhlí (granular activated carbon)
ITRC – Interstate Technology & Regulatory Council
MtBE – methyl-*terc.*-butylether
PAU – polyaromatické uhlovodíky
PCE – perchlorethylen
PRB – propustné reaktivní bariéry
RZ – reaktivní zóna
RZF – formace (formování) reaktivní zóny
TCE – trichlorethylen
U.S. EPA – United States Environmental Protection Agency
VC – vinylchlorid
ZVI – nulamocné železo (zerovalent iron)

Poděkování

Tento projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu ČR (projekt č. FT-TA3/077).

Literatura

1. United States Environmental Protection Agency: *Permeable reactive barrier technologies for contaminant remediation. Report EPA/600/R-98/125*. U.S. EPA, Washington DC, USA, září 1998.
2. Carey, M.A., Fretwell, B.A., Mosley, N.G., Smith, J.W.: *Guidance on the use of permeable reactive barriers for remediating contaminated groundwater. National Groundwater & Contaminated Land Centre report NC/01/51*. Environment Agency, Bristol, UK, září 2002.
3. Gavaskar, A.R., Gupta, N., Sass, B.M., Fox, T., Janosy, R.J., Cantrell, K., Olfenbuttel, R.: *Design guidance for application of permeable barriers to remediate dissolved chlorinated solvents*. Battelle, Columbus, Ohio, USA, únor 1997.
4. Ball, J.W., Nordstrom, D.K., Zachman, D.W.: *A personal computer for translation of the geochemical ModleWateQ2 with revised database*. U.S. Geological Survey Open File Report, 1987.
5. Blowes, M.W.: *The trench and gate groundwater remediation system*. MSc Dissertation, University of Calgary, Faculty of Graduate Studies, Department of Geology and Geophysics, Calgary, Alberta, Kanada, 1997.
6. Interstate Technology & Regulatory Council: *Permeable reactive barriers: lessons learned/new directions. Technical/regulatory guidelines PRB-4*. ITRC, Washington DC, USA, únor 2005.
7. Gavaskar, A.R., Gupta, N., Sass, B.M., Fox, T., Janosy, R.J., Hick, J.: *Final design guidance for application of permeable barriers for groundwater remediation*. Battelle, Columbus, Ohio, USA, březen 2000.
8. Fruchter, J.: In situ treatment of chromium-contaminated groundwater, new technologies show promise for removing chromium(VI) pollution at lower cost. *Environ. Sci. Tech.*, vol. 36(23), 2002, str. 464A – 472A.
9. Hardy, L.I., Gillham, R.W.: Formation of hydrocarbons from reduction of aqueous CO₂ by zero-valent iron. *Environ. Sci. Technol.*, vol. 30(1), 1996, str. 57 – 65.

10. Orth, W.S., Gillham, R.W.: Dechlorination of trichloroethene in aqueous solution using Fe⁽⁰⁾. *Environ. Sci. Technol.*, vol. 30(1), 1996, str. 66 – 71.
11. Birke, V., Burmeier, H., Rosenau, D.: *PRB in Germany and Austria. Overview of 10 PRB Sites and Upcoming Projects*. Permeable Reactive Barriers Action Team Meeting, Washington DC, USA, 2002.
12. United States Environmental Protection Agency: *Field applications of in-situ remediation technologies: Permeable reactive barriers*. U.S. EPA, Washington DC, USA, leden 2002.
13. Bakker, L.M.M., Tonnaer, H., Michelberger, H.S., Pijls, C.G.J.M., Filipponi, P.: Full scale operation of aerobic biobarriers. In: Telford, T. (Ed.): *Proceedings of the ConSoil conference 2000*. Leipzig, Německo, FZK/TNO, vol. 2, 2000, str. 932 – 938.
14. Shields, A.R.G., Hardisty, P.E., Butler, A., Johnes, A., Wallace, S.: Remediation of a former gas manufactured plant using a research-supported in situ air sparging programme. In: Telford, T. (Ed.): *Proceedings of the ConSoil conference 2000*. Leipzig, Německo, FZK/TNO, vol. 2, 2000, str. 1005 – 1012.
15. United States Environmental Protection Agency: *Field applications of in situ remediation technologies: Permeable reactive barriers. Report EPA 542-R-99-002*. U.S. EPA, Washington DC, USA, duben 1999.
16. PEREBAR projekt (nedatováno) [on-line]: www.perebar.bam.de.
17. RUBIN projekt (nedatováno) [on-line]: www.rubin-online.de.
18. Robertson, W.D., Cherry, J.A.: In situ denitrification of septic-system nitrate using porous media barriers: field trials. *Ground Water*, vol. 33(1), 1995, str. 99 – 111.
19. Veselá, L., Vaněk, J., Němeček, J.: Poloprovozní ověření aplikace podzemní biofiltrační bariéry v areálu Synthesia Pardubice. In: Burkhard, J., Halousková, O. (Eds.): *Sborník konference Sanační technologie VIII*. Uherské Hradiště, Vodní zdroje Ekomonitor, 2005, str. 48 – 51.
20. Siglová, M., Veselá, L., Masák, J., Zachař, P., Čejková, A., Mikeš, J., Jirků, V.: Bioremediation of the contaminated groundwater based on the biofilm of the autochthonous microflora. In: Popov, V., Itoh, H., Brebbia, C.A., Kungolos, S. (Eds.): *Waste management and the environment II*. WIT Press, Amhurst, 2004, str. 571 – 579.
21. Veselá, L., Siglová, M., Němeček, J., Kubal, M. (2006): The biofiltration permeable reactive barrier – practical experience from Synthesia. *Int. Biodeter. Biodegr.*, vol. 58, str. 224 – 230.
22. Terrsulla Ltd.: *PRBs in the UK and Europe*. Coventry, UK, 2005.
23. Groudev, S., Georgiev, P., Spasova, I., Nicolova, M.: Bioremediation of acid mine drainage in a uranium deposit. *Hydrometallurgy*, vol. 94(1 – 4), 2008, str. 93 – 99.

An introduction to treatment of contaminated groundwater by using permeable reactive barriers

Lenka WIMMEROVÁ^a, Ladislav KUDRLIČKA^b

^a DEKONTA, a. s., R&D Dep., Dretovice 109, 273 42 Stehelceves, Czech Republic, e-mail: wimmerova@dekonta.cz

^b Research Institute of Inorganic Chemistry, a. s., Revolucni 1521/84, 400 01 Usti nad Labem, Czech Republic, e-mail: ladislav.kudrlicka@vuanch.cz

Summary

The aim of this contribution is to inform specialists' community about possibilities of using a technology of permeable reactive barriers and at the same time to present technological difficulties of this remedial method. Available materials and literature sources dealing with actual knowledge in a field of application of biological, chemical and physical-chemical processes for removal of organic as well as inorganic groundwater pollutants by abiotic and biotic barrier were studied within solving the project named 'Groundwater remediation by means of permeable reactive barriers'. Attention was paid not only worldwide situation, but also to state at the Czech Republic.

Keywords: Permeable reactive barrier, reactive zone, reactive medium, groundwater, decontamination, in situ, pollution.

**České ekologické manažerské centrum
a redakce odborného měsíčníku ODPADOVÉ FÓRUM**

zvou na

**7. ročník česko-slovenského symposia
Výsledky výzkumu a vývoje
pro odpadové hospodářství**

ODPADOVÉ FÓRUM 2012

**25. – 27. dubna 2012,
Kouty nad Desnou,
hotel Dlouhé stráně, Jeseníky**

Termín pro přihlášky příspěvků: 15. 1. 2012

*Informace a formulář přihlášky příspěvků
na www.odpadoveforum.cz/symposium2012.*

Dotazy na symposium@cemc.cz

