

VYUŽITÍ PETRIHO SÍTÍ PRO VARIANTY NAKLÁDÁNÍ S BIOLOGICKY ODBOURATELNÝM KOMUNÁLNÍM ODPADEM

Robert Baťa, Ilona Obršálová, Josef Volek¹, Ticiano Costa Jordaõ

Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní, Ústav veřejné správa a práva,

¹Dopravní fakulta Jana Pernera

Abstract: *Biologically degradable component of municipal waste has its legislative, economic, environmental and social context. In recent years, various possibilities of separation, logistics and collection with technical alternatives of these material flows solutions have been focused. The paper presents the possibility to use modelling with the help of Petri nets with the aim to find a solution which would minimize the impact on environment and maximize utilization of this component of municipal waste.*

Keywords: *municipal waste, biodegradability, bio-waste, Petri nets, environmental impacts, modelling.*

1. Úvod

Snaha omezovat množství biodegradabilní složku komunálního odpadu je v posledních letech vedena jak legislativou, koncepcemi a plány odpadového hospodářství, ekonomickými nástroji environmentální politiky, ale i dobrovolnými iniciativami zdola. Základním účelem právní úpravy nakládání s odpady je ochrana prostředí před negativním působením odpadů a účelné využívání přírodních zdrojů. V současné době v ČR platí komplexní zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech ve znění pozdějších změn a novel. Poslední změna, týkající se biodegradabilního odpadu a jeho využití je upravena vyhláškou č. 341/2008 o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady¹.

Komunálním odpadem se rozumí veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a je zařazen do Katalogu odpadů stanoveného vyhláškou Ministerstva životního prostředí, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.

Podle Směrnice Rady 99/31/ES je členským státům ukládáno zabezpečit snížení množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) odcházejícího na skládky v roce 2009 na 50% a v roce 2016 na 35% množství vzniklého v roce 1995. Plán odpadového hospodářství ČR si klade za cíl snížit maximální množství biologicky rozložitelných komunálních odpadů (dále jen „BRKO“) ukládaných na skládky tak, aby podíl této složky činil v roce 2010 nejvíce 75 hmotnostních, v roce 2013 nejvíce 50 % hmotnostních a výhledově v roce 2020 nejvíce 35 hmotnostních z celkového množství BRKO vzniklého v roce 1995 [24].

Příspěvek se zabývá částí tohoto problému a sice biodegradabilním odpadem vznikajícím jako součást komunálního odpadu. Tříděný sběr a recyklace těchto bioodpadů jsou na rozdíl od jiných států EU zatím nedostatečné. Zvoleným regionem byl Pardubický kraj, územní statistická jednotka NUTS III s jednotlivými obcemi, u kterých bylo generování BRKO sledováno.

¹ Vyhláška č. 341/2008 ze dne 26. srpna 2008 o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady)

Produkce komunálního odpadu v kg na obyvatele je v České republice v mezinárodním srovnání poměrně nízká, v roce 2005 dosáhla 55 % úrovně průměru EU 25. V porovnání se zeměmi Evropské unie je však u nás podíl skládkovaného komunálního odpadu o dvě třetiny vyšší, podíl spalovaného komunálního odpadu je podprůměrný [24].

V Pardubickém kraji se v letech 2003 – 2005 množství vyprodukovaného komunálního odpadu zvyšovalo pozvolna, v roce 2006 byl vzestup výraznější až na 291,3 kg/obyvatele (o 9 % oproti roku 2003). Toto množství zůstalo stejně jako v předchozích letech pod průměrem ČR (v r. 2006 dosáhl 296, 0 kg/obyvatele, což bylo o necelých 6 % více než v r. 2003)[25].

Množství bioodpadu z domácností se podle analýz [] pohybuje v ČR v rozpětí 30 – 60 kg na obyvatele a rok a je závislé především na životním stylu. Různé odhady [8,38,15,25] uvádějí, že 30 – 60% procentní hmotnosti komunálního odpadu tvoří BRKO.

Podíl separovaných složek komunálního odpadu se v České republice v minulých letech postupně zvyšoval až na 10,8 % v roce 2006, kdy v kraji dosáhl 12,2 %. Časová řada však zatím není dostatečně vypovídající o trendu na úrovni krajů [databáze EKO-KOM,25].

Kvantifikace a hodnocení časových řad jsou na této úrovni značně složité vzhledem ke změnám metodik vykazování. Platí to zejména pro analýzy materiálového využití odpadů. Pro hodnocení bylo využito více zdrojů: ČSÚ, EKO- KOM a.s. a vlastní šetření [8,25,10].

2. Základní pojmy odpadového hospodářství

Opadové hospodářství představuje environmentálně orientovanou lidskou činnost, jejímž předmětem je nakládání s odpady. Někdy však stojí čisté sledování ochrany životního prostředí v konfliktu ke klasickým hospodářským aktivitám, jako konflikty mezi ochranou životního prostředí a PPP (Polluter Pays Principle), Just-In-Time nebo marketing (množství obalů).

Základní rámec pro nakládání s odpady představuje doporučený postup, který je rovněž integrován v právních rádech mnoha zemí EU. Při vzniku jakéhokoli druhu odpadu je nutné hledat řešení či způsob jeho využití na co nejvyšším stupni, v tomto případě podle bodu 1). Není-li možné problém vyřešit způsobem podle bodu 1), hledá se řešení podle bodu 2). Takto se postupuje až do bodu 5) který představuje z hlediska životního prostředí nejméně vhodnou variantu nakládání s odpadem.

Pořadí je toto:

- 1) zabránění vzniku odpadu, např. optimalizací výroby „Cleaner Production“ (CP) [15]
- 2) opětovné použití, tzn. slouží stejnému účelu, např. zálohovaná láhev;
- 3) látkové využití, např. recyklací;
- 4) energetické využití, např. ve spalovnách odpadů s teplotěnským provozem;
- 5) likvidace, např. formou skládkování [16].

Předpokladem pro smysluplné opětovné použití je separace odpadů. V rámci separace jsou zbytky odpadů rozděleny na jednotlivé komponenty. Separovány jsou použitelné prvky a suroviny od nepoužitelných. Pokud vznikají látky v daném podniku nevyužitelné, může být prověřena možnost jejich prodeje [16].

Při látkovém využití, uvedeném v bodě 3) jsou z odpadů vyráběny nové výrobky, čímž je odpad zpracován a navíc jsou chráněny přirozené zdroje [16]. V rámci jednotlivých zemí existují však různé odlišnosti. Např. Látkové využití ve Spolkové republice Německo je postaveno na roveň energetickému, zatímco v České republice podle zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. s vyhláškou č. 383/2001 musí být látkové využití upřednostňováno [17,14,42].

Je nezbytné rovněž brát v úvahu skutečnost, že při skládkování mnoha druhů odpadů se často jedná pouze o přeložení problému do budoucna. Jako konečné řešení problému zde lze chápat jen takový postup, který přemění skládkováním odpady v látky pro životní prostředí neškodné. Odpad často nemůže být zpracován, či zlikvidován v místě svého vzniku a musí být dopraven k centrálnímu zařízení. Odpad je tedy v místě svého vzniku pouze připraven a firmy, které se starají o jeho likvidaci jej odvezou. Oblast dopravy v odpadovém hospodářství představuje 30 až 80 % celkových nákladů na likvidaci odpadů, a tím vytváří vzhledem k možnosti zlepšení úspor dosažitelnými logistickými prostředky významný faktor [16,30].

Povinnosti zamezit vzniku odpadu dle bodu 1) jsou popsány v různých právních předpisech zemí EU. Vznik odpadů je v těchto právních systémech tolerován, pokud jsou následně řádně zhodnoceny. Samotný požadavek na přednost jiného typu likvidace než je skládkování pak obvykle odpadá, jestliže zamezení vzniku a zhodnocení je ekonomicky neúnosné. Tento termín je vyhodnocován jako příliš vysoká mez nákladů pro původce odpadů, pokud by měl odpad zhodnotit.

Obecně je v požadavcích na předcházení vzniku odpadů často akcentována otázka obalů. Součástí těchto aktivit mohou být opatření jako povinné označení sběrných míst a označení pro zálohování. Tedy např. zamezení vzniku odpadu povinnostmi zpětného odběru a navrácením [41].

3. Petriho síť

Petriho síť vznikly zdokonalením modelovacích schopností konečných automatů. Název tohoto modelovacího nástroje je odvozen ze jména jejich autora, C.A. Petriho, který jej poprvé prezentoval ve své doktorské práci v roce 1962 [23].

Ačkoli se jeví princip fungování Petriho sítí vhodný spíše pro tvorbu modelů v oblasti informatiky, postupně našel tento nástroj uplatnění v mnoha dalších oborech lidské činnosti [20]. Následujících několik bodů uvádí ukázkou různorodosti oblastí, v nichž v současnosti nalézají Petriho síť svoje uplatnění.

Modelování imunitního systému [4],

modelování sociologických procesů [18],

modelování funkcí topení, ventilace a klimatizace [33], [7],

modelování inteligentních transportních systémů [35], [36],

modelování systémů kontroly chemických procesů [6],

modelování systémů pro zpracování dokumentů [32], [34].

Postupným vývojem vzniklo několik typů Petriho sítí, které lze uspořádat např. takto:

a) CE (Condition-Event Net) - Petriho síť představují síť, kde v každém z míst může být vždy maximálně jedna značka. Místa zde představují skutečně logické hodnoty TRUE a FALSE [12]. Modelovací možnosti tohoto typu Petriho sítě jsou stejné jako u konečných automatů [5].

b) PT Petriho síť představuje původní Petriho síť [22], [27].

Pokud je tato síť doplněna o inhibiční hrany, tedy hrany, které nejsou určeny k pohybu značek, ale slouží ve spojení s příslušným přechodem jako indikátor vyprázdnění některého místa, je možné tímto typem sítě modelovat vše, co lze vyjádřit algoritmem [22].

c) Protože jsou však takové modely v mnoha případech příliš složité a nepraktické, byly definovány vysokouúrovňové Petriho síť. Ty jsou v literatuře dále děleny na:

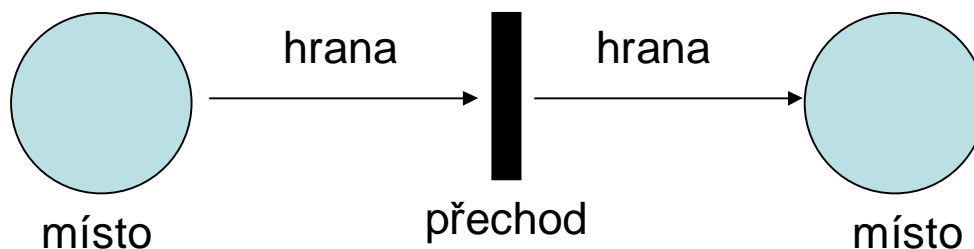
1. Pr/T sítě, které pracují s predikáty [9],
2. barvené Petriho sítě [13],
3. Petriho sítě se zahrnutím času [2],
4. deterministické Petriho sítě [2],
5. hierarchické Petriho sítě. [11]

Pro modelování prostřednictvím Petriho sítí jsou používány následující pojmy.

3.1 Grafické prostředky Petriho sítí

Kružnice jsou označovány jako *místa* (*places*), obdélníky, někdy též úsečky jsou označovány jako *přechody* (*transitions*). Propojení těchto dvou prvků je realizováno prostřednictvím šipek - *hran*.

Grafické vyjádření prostřednictvím bipartitního grafu je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 1: Graficky znázorněný model Petriho sítě

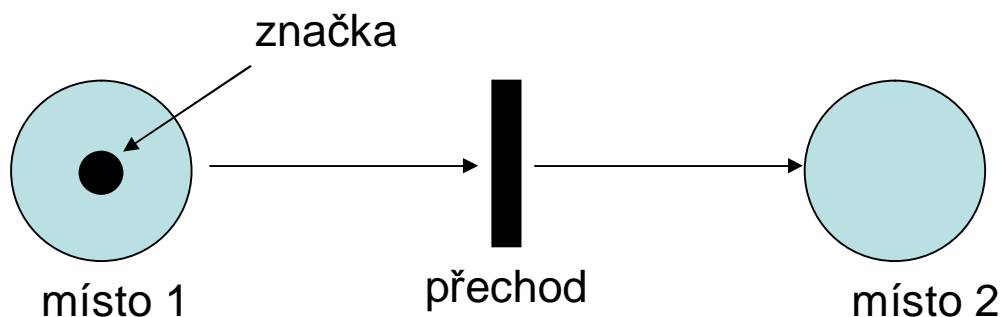
Pojem *bipartitní* vyjadřuje skutečnost, že vrcholy grafu jsou prvky dvou množin (míst a přechodů), přičemž místa a přechody se vždy v průběhu (cesty) grafu střídají [26].

Petriho síť znázorňuje okamžitý stav modelovaného systému určitými parciálními stavy příslušných míst sítě. K registraci příslušného parciálního stavu slouží tzv. *značka*. Označená Petriho síť vznikne umístěním značek (Marks, Tokens) (viz. obr. 2) do míst neoznačené Petriho sítě. Rozmístění značek v Petriho síti před prvním provedením některého z přechodů se nazývá **počáteční značení Petriho sítě**.

Pro to, aby mohla proběhnout událost, jež je modelována určitým přechodem, je nezbytné, aby na všech vstupních místech přechodu byla k dispozici *značka*. Skutečnost, že událost proběhla, je potom reprezentována odebráním značek na vstupu a vznikem značek na výstupu příslušného přechodu [1, 31].

Přechod může být proveden pouze tehdy, jestliže všechna vstupní místa obsahují počet značek rovný nebo větší, než je váha hrany spojující vstupní místo a přechod.

Fakt, že je pro realizaci události třeba odebrat více značek, je v grafickém znázornění reprezentován číslem uvedeným u příslušné hrany.



Obr. 2: Příklad použití značky v modelu Petriho sítě [13]

Místo může pojmout buď neomezené množství značek, nebo může být jeho kapacita omezena celým kladným číslem, které udává maximální možný počet značek v daném místě. V tom případě je dále omezena možnost realizace přechodu tím, že po jeho realizaci nesmí být překročena kapacita žádného jeho výstupního místa [2]. Tím vzniká nový determinant systému, jímž je *kapacita místa*.

Kapacita místa je udávána buď přirozeným číslem nebo symbolem řecké abecedy ω , který značí neomezenou kapacitu (označení nekonečné kapacity se v praxi z pravidla neuvádí). Pokud je jako kapacita danému místu přiřazeno přirozené číslo N , znamená to, že na něm může být umístěno nejvýše N značek (maximální počet značek které toto místo může pojmout je N). Kapacita místa se pak značí písmenem k (např. $k=5$). Je-li místu přiřazen symbol ω , může být počet značek na tomto místě libovolný [3].

Definice:

Uspořádanou 6-tici $N = (P, T, F, W, K, M_0)$ nazýváme P/T Petriho sítí, jestliže

1) (P, T, F) je konečná síť, kde

P představuje množinu všech míst (např. pro síť se třemi místy $P = \{p_1, p_2, p_3\}$);

T představuje množinu všech přechodů (např. pro síť se třemi přechody $T = \{t_1, t_2, t_3\}$);

přičemž množiny P a T musí být vzájemně disjunktní.

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ je sjednocení dvou binárních relací nazývané tokovou relací sítě N ;

2) $W : F \rightarrow N \setminus \{0\}$ je ohodnocení grafu sítě určující váhu každé hrany;



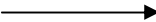

3) $K : P \rightarrow N \cup \{\omega\}$ je zobrazení specifikující kapacitu každého místa a to i neomezenou;

4) $M_0 : P \rightarrow N \cup \{\omega\}$ je počáteční značení míst sítě, přičemž musí být respektovány kapacity míst;

Grafem sítě je potom nazýván biparitní orientovaný graf, který vznikne grafovou reprezentací relace F sítě N . Petriho síť je tedy graficky vyjádřena prostřednictvím orientovaného biparitního ohodnoceného grafu [19, 21] její matematické vyjádření může být v některých rysech odlišné, podle toho, o jaký typ sítě se jedná [19], [21], [26], [28]. Proto je v literatuře zpravidla uváděno, že Petriho síť „může být definována jako“ [28].

Pro další postup je užitečné přesně stanovit význam jednotlivých symbolů používaných v grafickém vyjádření Petriho sítí, které byly dříve pouze intuitivně zmíněny. Tento přehled je uveden v tab. 1.

Tab. 1: Grafické symboly používané v PN

Grafický symbol	Význam grafického symbolu	
	v procesu	v modelu procesu
	stav, situace	místo
	přechod, událost	přechod
	relace mezi situací a přechodem	hrana
	značka	značka

Zdroj [37]

3.2 Pravidla pro provádění přechodů

Definice:

Množinu vstupních míst přechodu $t \in T$, např. množinu míst $\{p_1, p_2, p_3\}$ označujeme $\bullet t$ a množinu výstupních míst přechodu $t \in T$, tedy např. množinu míst $\{p_4, p_5\}$ označujeme $t \bullet$.

Přechod $t \in T$ je v dané Petriho síti proveditelný při daném značení M tehdy a jenom tehdy, pokud:

- 1) Pro všechna vstupní místa přechodu $t \in T$ platí, že jejich značení je větší nebo rovné vahám hran vedoucích ze vstupního místa do přechodu $t \in T$, tedy: $\forall p \in \bullet t : M(p) \geq W(p, t)$;
- 2) pro všechna výstupní místa přechodu $t \in T$ platí že jejich kapacita nebude přidělením počtu značek odpovídajícímu vahám výstupních hran přechodu $t \in T$ překročena, tedy: $\forall p \in t \bullet : M(p) \leq K(p) - W(t, p)$.
- 3) Nebo pokud přechod $t \in T$ nemá žádná vstupní místa, tedy $\bullet t = \emptyset$ (Přechod bez vstupních míst je proveditelný kdykoli při jakémkoli značení).

Definice:

Budeme předpokládat Petriho síť se značením $M(p)$ a s množinou míst $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$. Dále předpokládejme, že přechod $t \in T$ je proveditelný. Potom značení po jeho provedení $M'(p)$ bude:

$$M^*(p) = \left\{ \begin{array}{ll} 1. M(p) - W(p, t) + W(t, p) & \text{jestliže } (p \in t) \wedge (p \in t^*) \\ 2. M(p) - W(p, t) & \text{jestliže } (p \in t) \wedge (p \notin t^*) \\ 3. M(p) + W(t, p) & \text{jestliže } (p \notin t) \wedge (p \in t^*) \\ 4. M(p) & \text{jestliže } (p \notin t) \wedge (p \notin t^*) \end{array} \right\}$$

Pro účely modelování procesů biodegradace části komunálního odpadu jsou k dispozici nástroje umožňující analýzu příslušných procesů z hlediska jejich vstupů, výstupů i souvisejících energetických a látkových toků založené právě na koncepci Petriho sítí.

4. Definice problému

Plnění strategických cílů v oblasti nakládání s BRKO je značným problémem a proto byla tato problematika zvolena k analýze možností různých přístupů řešení.

Cílem příspěvku je zhodnocení vývoje vzniku BRKO v regionu, analýza a presentace jedné z možností modelování jak z hlediska žádoucího produktového výstupu, tak i zhodnocení nežádoucích impaktů z hlediska pojetí LCA (Life Cycle Assessment - environmentální hodnocení životního cyklu výrobku, služby apod.).

Pro řešení byla využita databáze EKO KOM a.s., která popisuje množství a strukturu komunálního odpadu obcí vybraného kraje. Údaje byly zpracovány s ohledem na typ a velikost sídla (sídlíštní venkovská, venkovská smíšená a sídlíštní zástavba) a odhadnuta průměrná hmotnost bioodpadu, který by bylo možné materiálově využít. Předpokládá se využití pro kompostování nebo termické využití. Doposud se využívá první způsob, jiné jen okrajově.

Pardubický kraj má 511 400 obyvatel, rozkládá se na 4 518 km², hustota obyvatel je 113 na km². Pardubický kraj má 451 obcí, které byly tříděny podle velikosti a druhu zástavby. Podle průměrných hodnot byly odhadnuty podíly BRKO v komunálním odpadu. Byla zhodnocena logistika sběru a zpracována vstupní data pro modelování. V kraji je v provozu 1 kompostárna s kapacitou 9 000 t přiváženého odpadu ročně, kam je odpad auty svažován a další zařízení (lisování pelet, bioplynová stanice).

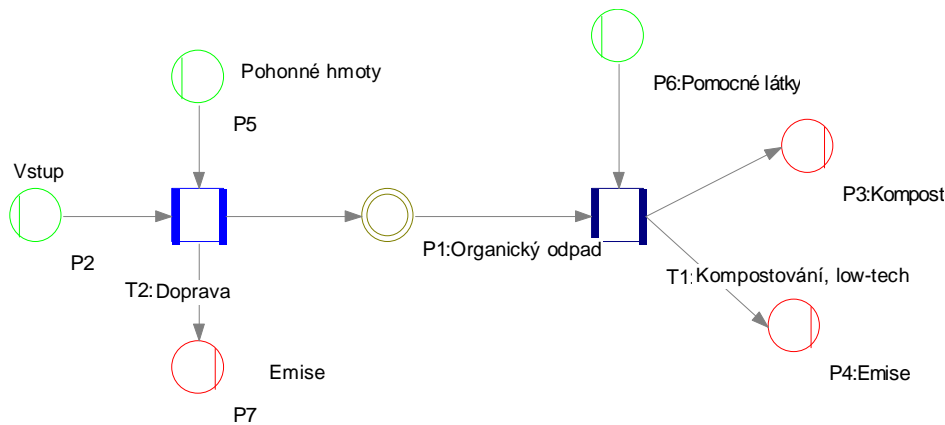
Byly formulovány různé scénáře řešení vycházející z hierarchie nejvhodnějších postupů (od nakládání s odpadem po strategie prevence). Vedle základní strategie řešení, kompostování v velkokapacitním zařízení se počítalo i s kompostováním u zdroje vzniku (podle možností vlastní nebo komunitární kompostování). V příspěvku shrnujeme výsledky z hodnocení jedné z možností řešení.

Celková (projektová) kapacita skládek komunálního odpadu je na území Pardubického kraje 5,3 mil. m³, což vzhledem k produkci komunálního odpadu na úrovni 160 000 t/rok a způsobu ukládání (koeficient hutnění 1,2) dává výhled, i při částečném zaplnění kapacit v současné době, minimálně do roku 2030. V ČR bylo v roce 2006 99 kompostáren s kapacitou 8 855 859 t/rok [10]. Spalování jako alternativa skládkování není v ČR příliš populární způsob nakládání s municipálním odpadem, v ČR jsou spalovny tři, v zkoumaném regionu žádná.

5. Řešení problému

Pro modelování materiálových toků a kvantifikace negativních vlivů nakládání s BRKO byl vypracován model na bázi Petriho sítí implementovaný v prostředí softwaru Umberto. Takto koncipovaný model umožnil propočítat varianty řešení z hlediska pojetí LCA. Setříděná a předpracovaná data byla podrobena výpočtu za pomoci software Umberto [39],

který kromě modelování tokových veličin díky využití Petriho sítí umožňuje modelovat a sledovat např. toky materiálů a energií v území, finanční nebo informační toky apod. Zvolili jsme pro presentaci situaci kombinovaného řešení kompostování u zdroje a svoz k dopravně dostupné kompostárně. Pro daný případ bylo nutné definovat vstupy, místa přeměny, výstupy materiálu zjednodušeně pak byla výchozí situace modelově znázorněna jak je ukázáno na obr. 3.



Obr. 3 Model materiálových toků odpadů separovaného odpadu

Na obr. 3 je znázorněn model zahrnující jak dopravu materiálu ke kompostování, tak samotný proces kompostování. Místo P2 představuje vstup organického materiálu ke kompostování, místo P5 vstup pohonných hmot pro proces přepravy a místo P7 emise vyprodukované přepravou materiálu ke kompostování. Přejchod T2 představuje samotný proces přepravy materiálu do kompostárny. Místo P1 znázorňuje materiál dopravený na kompostárnu a připravený ke kompostování. Přejchod T1 pak znázorňuje samotný proces kompostování, kde místo P6 ukazuje pomocné látky potřebné při procesu kompostování, místo P3 vyrobený kompost a místo P4 emise vzniklé při kompostování.

Vzhledem k charakteru použité Petriho sítě v prostředí programu Umberto nebyla tato síť analyzována z hlediska vlastností, neboť uvedené prostředí již tyto vlastnosti předem determinuje a jsou shodné pro všechny vytvářené modely.

Při zadaných parametrech dovozu do zařízení byly propočteny nejdůležitější nežádoucí výstupy v materiálové bilanci takto:

Tab. 4 Ukázka vypočítaných hodnot emisí z kompostování 1

Material	T	U	1.1.2009	31.12.2008	Unit
SO2 (w)	C	●	0.069139656959	kg	
SO2-S (w)	C	●	123.640646615	kg	
CO2 (w)	C	●	639.6264863958	kg	
NMVOC (hydrocarbons) (a)	C	●	0.1657244364726	kg	
NMVOC from diesel emission (a)	C	●	68.49395279975	kg	
NMVOC, unsp. (a)	C	●	128.8582809992	kg	
NOx (a)	C	●	2373.0627531725	kg	
PM1 excl. B(a)P (w)	C	●	7.306457217061E-6	kg	
PM1 net B(a)P, unsp. (a)	C	●	2.345616282245	kg	
PM1, unsp. (a)	C	●	0.000694428683473	kg	
PCB (a)	C	●	2.568828578619E-5	kg	
PCB (w)	C	●	2.943474763976E-6	kg	
PCDD, PCDF (a)	C	●	5.959118163823E-9	kg	
TOC (a)	C	●	10596.08320778	kg	
VOC (hydrocarbons) (a)	C	●	0.004714907879674	kg	
VOC, unsp. (a)	C	●	213.7713676287	kg	
acetylene (a)	C	●	3.73630707626E-10	kg	
acids as H+ (w)	C	●	0.0002671821314149	kg	
arsenic (a)	C	●	26299.04520707	kg	
arsenic (w)	C	●	91.265968538328	kg	
arsenic (a)	C	●	0.001658703119951	kg	
arsenic (w)	C	●	0.006847061772686	kg	
ashes and sludge (wfr)	C	●	175.2545660995	kg	
benzene (a)	C	●	4.796616307645	kg	
benzo(a)pyrene (a)	C	●	0.0002961315019831	kg	
cadmium (a)	C	●	0.004067007227418	kg	
cadmium (w)	C	●	0.0007194007949911	kg	
carbohydrates, unsp. (a)	C	●	10.67317512056	kg	
carbon dioxide, fossil (a)	C	●	238980.1095395	kg	
carbon dioxide, renewable (a)	C	●	193360.5503449	kg	
carbon monoxide (a)	C	●	665.4003110902	kg	
carbon, organic (w)	C	●	286.6751488707	kg	
chloride (w)	C	●	0.03390485152772	kg	
chlorobenzenes (a)	C	●	1.86915326313E-10	kg	
chlorophenols (a)	C	●	3.73630707626E-10	kg	

Zdroj: vlastní

Tab. 5 Ukázka vypočítaných hodnot emisí z kompostování 2

Material	T	U	1.1.2009	31.12.2008	Unit
dioxonium (a)	C	●	0.000297146949373	kg	
dioxonium (w)	C	●	0.01289965113524	kg	
copper (a)	C	●	1.396059645399E-10	kg	
dbenzo(a)pyrene (a)	C	●	1.86915353813E-11	kg	
dibrogen monoxide (a)	C	●	717.6875728749	kg	
dissolved solids (w)	C	●	3.929140591399E-5	kg	
flue gas	C	●	3.73630707626	kg	
flue gas cleaning residue (wfr)	C	●	0.000298878805302	kg	
fluorine (a)	C	●	3.73630707626E-11	kg	
gypsum (flue gas clean.) (wfr)	C	●	111.5129929325	kg	
hazardous waste (wfr)	C	●	0.5842060456758	kg	
hydrogen chloride (a)	C	●	4.803463871503	kg	
hydrogen fluoride (a)	C	●	0.8964166254902	kg	
hydrogen sulfide (a)	C	●	4.635966675342	kg	
industrial waste (wfr)	C	●	0.0007898297982791	kg	
landfill gas, diffuse (a)	C	●	42145.15068493	m ³	
landfill volume	C	●	451.2328767123	m ³	
lead (a)	C	●	1.491263621794E-9	kg	
lead (w)	C	●	0.004694052852999	kg	
mercury (a)	C	●	6.7378727853710E-10	kg	
mercury (w)	C	●	0.0004040719922743	kg	
metals, unsp. (a)	C	●	1.571699596599E-6	kg	
methane (a)	C	●	77.26931480106	kg	
methane, renewable (a)	C	●	37749.7038358	kg	
methylene oxide (a)	C	●	18.73801253191	kg	
mineral waste (wfr)	C	●	0.7990182591171	kg	
naphthalene (a)	C	●	1.86915353813E-9	kg	
nickel (a)	C	●	0.1693330664199	kg	
nitrate (w)	C	●	41.84183169983	kg	
nitrogen (a)	C	●	450.42426	kg	
nitrogen compounds as N (w)	C	●	36.05519209040	kg	
particles (a)	C	●	194.6961190307	kg	
particles (small) (a)	C	●	46.03591780489	kg	
phenanthrene (a)	C	●	3.73630707626E-11	kg	
phenyl benzenes (a)	C	●	3.73630707626E-11	kg	

Zdroj: vlastní

V tab. 4 a 5 je znázorněn výstup modelu vypočítaný pro maximální kapacitu kompostárny, která je 9000 t materiálu za rok. Je zde patrné, jaké množství látek bude vyprodukováno zpracováním 9000 t materiálu. Vzniklo by 3 790 550 kg kompostu a uvedené množství ostatních látek.

6. Závěr

Petriho sítě mohou velmi účinně pomoci při zpracování různých variant řešení materiálového toku v území. Předkládaný výsledek je jednou z možností řešení, kdy se předpokládalo maximální využití centrální kompostárny, zbytek množství likvidován v municipálních nebo vlastních kompostárnách. Aby bylo možné zachycovat celou šíři impaktů řešení podle zásad LCA (Life Cycle Assessment – sledování vlivů během celého procesu), bylo by třeba ještě model rozšířit o separaci a sběr této složky komunálního odpadu. Problematika snižování biodegradabilního odpadu v municipálním odpadu je záležitostí integrovaného přístupu jak strategie prevence, separování a sběru, tak koncové technologie zpracování. Snaha o kvantifikace impaktů na životní prostředí je velmi významná, protože se ukazuje, že recyklace za každou cenu nemusí být optimálním řešením. Postupy založené na LCA umožňují rozhodovací sféře na úrovni regionu rozhodnout o variantě s ohledem nejen na ekonomické výsledky, ale i další významné souvislosti, které nemusí být patrné v krátkém časovém horizontu. Daná úloha má samozřejmě i rozměry ekonomické (finanční toky lze obdobně s výhodou modelovat jako toky materiálové) a souvislosti sociální únosnosti řešení, které se musí řešit souběžně.

Použitá literatura:

- [1] BAYER, J., HANZÁLEK, Z., ŠUSTA, R. *Logické systémy pro řízení*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02147-5.
- [2] ČEŠKA, M. *Petriho sítě, úvod do teorie a nástrojů pro aplikaci Petriho sítí*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství Cerm, 1994. 94s. ISBN 80-85867-35-4.
- [3] DAVID, R., ALLA, H. *Discrete, Continuous and Hybrid Petri Nets*. 1. vyd. Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. ISBN: 3-540-22480-7
- [4] DOKUN, N., et al. Integration of Immune Models Using Petri Nets. In: *Proceedings of Artificial Immune Systems: Third International Conference, ICARIS 2004, September 13-16, 2004 Catania, Sicily, Italy*. Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. Vol. 3239 of Lecture Notes in Computer Science. s. 205-216.
- [5] FLORIÁN, V., HRUBÝ, M. Cooperatin of Expert System and Simulation System. In: *Proceedings of MOSIS'05*. Ostrava, CZ, MARQ, 2005, s. 4, ISBN 80-86840-10-7.
- [6] GARCÍA, E., et al. Centralised modular diagnosis and the phenomenon of coupling. In: *Proceedings of the 6th International Workshop on Discrete Event Systems*. [Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag?], 2002. IEE Computer Society 2002. s. 161 - 168.
- [7] GENC, S., LAFORTUNE, S. *Distributed Diagnosis of Discrete-Event Systems Using Petri Nets*. 1. vyd. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. bez ISBN.
- [8] Generation, Recovery and Disposal of Waste in the CR in 2006 <http://www.czso.cz/eng/edicniplan.nsf/aktual/ep-2> [cit.2008-08-25]
- [9] GENRICH, H. J. Predicate/Transition Nets. In: *Petri Nets Central Models and Their Properties, Advances in Petri Nets Part I*. Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 1987. Vol. 254 of Lecture Notes in Computer Science. s. 207 - 247.
- [10] http://ceho.vuv.cz/CeHO/CeHO/Bloodpad/BRO_Prehled_zarizeni/Bro_CR.htm [cit. 2008-07-15].

- [11] HUBER, P., JENSEN, K., SHAPIRO, R. M.. Hierarchies in Coloured Petri Nets. In: *Advances in Petri Nets* Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 1990. Vol. 483 of Lecture Notes in Computer Science.
- [12] JANOUŠEK, V. *Modelování objektů Petriho sítěmi*. Brno: Vysoké učení technické. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Ústav informatiky a výpočetní techniky, 1998. 121 s. Vedoucí disertační práce doc. RNDr. Milan Češka, CSc.
- [13] JENSEN, K. *Coloured Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use*. 1.vyd. Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 1997. ISBN 3-540-60943-1.
- [14] KOTOULOVÁ, Z., VÁŇA, J.: *Příručka nakládání s komunálním odpadem*. MŽP, ČEÚ: Praha, 2001, ISBN 80-7212-20
- [15] KRAMMER, M., BRAUWEILER, J., HELLING, K. *Internationales Umweltmanagement: Band II: Umweltmanagementinstrumente und – systeme*. 1. vyd. Gabler, 2003. ISBN 3-409-12318-0.
- [16] KRAMER, M., STREBEL, H., KAYSER, G. *Internationales Umweltmanagement: Band III: Operatives Umweltmanagement im internationalen und interdisziplinären Kontext*. 1. vyd. Gabler, 2003. ISBN 3-409-12319-9.
- [17] KRAMMER, M., URBANEC, M., MÖLLER L. *Internationales Umweltmanagement: Band I: Interdisziplinäre Rahmenbedingungen einer umweltorientierten Unternehmensführung*. 1. vyd. Gabler, 2003. ISBN 3-409-12317-2.
- [18] LÜDE, R., MOLDT, D., VALK, R. *Sozionik - Modellierung soziologischer Theorie*. 1. vyd. Münster: Lit Verlag, 2003. ISBN 3-8258-5980-0.
- [19] MARSAN, M. A. et. al. *Modelling with Generalised Stochastic Petri Nets*. 1. vyd. John Wiley and Sons, 1994. ISBN 0-471-93059-8.
- [20] MERLIN, P. M., FARBER, D. J. Recoverability of communication protocols: Implications of a theoretical study. *IEEE Trans. Comm*, September 1976, vol. 24, no. 9, s. 1036-1043.
- [21] OLEJ, V. *Analysis of Decision Processes of Discrete Systems With Uncertainty*. 1. vyd. Košice: University Press elfa, 1996. ISBN 80-88786-30-4.
- [22] PETERSON, J. *Petri net theory and the Modelling of Systems*. 1. vyd. New Jersey: Prentice Hall, Engelwood Cliffs, 1981.
- [23] PETRI, C. A. *Communication with automata*. 1. vyd. New York, 1966. bez ISBN.
- [24] Plán odpadového hospodářství ČR. [cit.2008-07-20], [http://www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/\\$pid/MZPJZFGV0QT2/\\$FILE/POH%20CR_kompletni%20dokument.pdf](http://www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/$pid/MZPJZFGV0QT2/$FILE/POH%20CR_kompletni%20dokument.pdf)
- [25] Plán odpadového hospodářství Pardubického kraje. [cit. 2008 -07-20], <http://www.pardubickykraj.cz/article.asp?thema=3036>
- [26] PRIESE, L., WIMMEL, H. *Theoretische Informatik: Petri-Netze*. 1. vyd. Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. ISBN 3-540-44289-8.
- [27] REISIG, W. *Petri nets - an introduction*, 1. vyd. Berlin - Heidelberg: Springer Verlag, 1985. bez. ISBN.
- [28] REISING, W., ROZENBERG, G. *Lectures on Petri Nets I: Basic Models*. 1. vyd. Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 1998. ISBN 3-540-65306-6.
- [29] RIERA, D., NARCISO, M., BENQLILOU, CH.: A Petri Nets-Based Scheduling Methodology for Multipurpose Batch Plants. *SIMULATION*, 2005, Vol. 81, No. 9, pp. 614 -623.
- [30] RIMAITYTĚ, I., DENAFAS, G., RAČYS, V.: Implementation of Life Cycle Assessment Tools for Evaluation of Municipal Waste Management Scenarios. In: *Environmental research, engineering and management*, 2006.No. 2 (36), p.68-76
- [31] ROZENBERG, G. Elementary Net Systems. *Petri Nets 2000: 21st International Conference on Application and Theory of Petri Nets, Introductory Tutorial*. [online]. Aarhus: Department of Computer Science University of Aarhus, 2000 [cit. 9.5.2005].

- <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/introductions/pn2000_introtut.pdf>.
- [32] SAMPATH, M. A. Hybrid Approach to Failure Diagnosis of Industrial Systems. In: *Proc. of American Control Conf.* Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. IEE Computer Society 2001. s. 354 - 372.
- [33] SAMPATH, M. *Discrete event systems based diagnostic for a variable air volume terminal box application*. 1995. 75 s. Technical report, Advanced Development Team, Johnson Controls, Inc.
- [34] SAMPATH, M., GODAMBE, A., JACKSON, E. Combining qualitative and quantitative reasoning - a hybrid approach to failure diagnosis of industrial systems. In: *IFAC SafeProcess 2000*. [Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag]: 2000. IEE Computer society 2000. s. 494 - 501.
- [35] SENGUPTA, R. Discrete-event diagnostic of automated vehicles and highways. In: *Proc. American Control Conf. 2001*. Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. IEE Computer society 2001. s. 215 - 232.
- [36] SIMSEK, H. T., SENGUPTA, R., YOVINE, S. Fault diagnostics for intra-platoon communication. In: *Proc. 38th IEEE Conf. on Decision and Control. 1999*. Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. IEE Computer society 1999. s. 113 - 129.
- [37] ŠVEC, I. *Petriho siete pre modelovanie procesov v automatizovanej výrobe*. Žilina, 2006. 69 s. Diplomová práce na Žilinskej univerzite v Žiline, Strojárskej fakulte, Katedře obrábění a automatizace. Vedoucí práce Ing. Mária Jančušová, Ph.D.
- [38] TICHÁ, M., ČERNÍK, B.: LCA skládkování a spalování komunálního odpadu. In: *Environmentální aspekty podnikání*. CEMC Praha, 2003 (5), no.1, p.2 ISSN 1211-8052
- [39] UMBERTO ifu Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH, Hamburg Německo <http://www.umberto.de/en/>
- [40] Zákon č. 185/2001 Sb, o odpadech [http://www.env.cz/ris/vis-legcz-en.nsf/0/3AF3925653DDDC52C125735C0043814E/\\$file/20010185Sb_kv.pdf](http://www.env.cz/ris/vis-legcz-en.nsf/0/3AF3925653DDDC52C125735C0043814E/$file/20010185Sb_kv.pdf) [cit. 2008-07-15].
- [41] Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech [http://www.env.cz/ris/vis-legcz-en.nsf/0/37A3BDF546537587C125735C0043813F/\\$file/Z%C3%A1kon_o_obalech_4772001angl.pdf](http://www.env.cz/ris/vis-legcz-en.nsf/0/37A3BDF546537587C125735C0043813F/$file/Z%C3%A1kon_o_obalech_4772001angl.pdf) [cit. 2008-07-15].
- [42] Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci [http://www.env.cz/ris/vis-legcz-en.nsf/0/1B1407ADB185A15DC125735C00438147/\\$file/20020076Sb.pdf](http://www.env.cz/ris/vis-legcz-en.nsf/0/1B1407ADB185A15DC125735C00438147/$file/20020076Sb.pdf) [cit. 2008-07-15].

Kontaktní adresy:

Ing. Robert Baťa, PhD.
 Univerzita Pardubice
 Fakulta ekonomicko-správní
 Studentská 95, 53210 Pardubice
 Email: robert.bata@upce.cz
 Tel.: +420466036305

doc. Ing. Ilona Obršálová, CSc.
Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Studentská 95, 53210 Pardubice
Email: ilona.obrsalova@upce.cz
Tel.: +420466036172

doc. Ing. Josef Volek, CSc.
Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Studentská 95, 53210 Pardubice
Email: josef.volek@upce.cz
Tel.: +420466036644

Ing. Ticiano Costa Jordão
Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Studentská 95, 53210 Pardubice
Email: ticiano.costa-jordao@upce.cz
Tel.: +420466036571