

**EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE**  
**FAKULTA HOSPODÁRSKEJ INFORMATIKY**

**Evidenčné číslo: 103003/I/2013/2469505626**

**EFEKTÍVNOSŤ VYUŽITIA RECYKLÁCIE PRE  
POTREBY OPÄTOVNÉHO ZÍSKAVANIA ZÁKLADNÝCH  
SUROVÍN**

**Diplomová práca**

**2013**

**Bc. Roman Šajbidor**

**EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE**  
**FAKULTA HOSPODÁRSKEJ INFORMATIKY**

**EFEKTÍVNOSŤ VYUŽITIA RECYKLÁCIE PRE  
POTREBY OPÄTOVNÉHO ZÍSKAVANIA ZÁKLADNÝCH  
SUROVÍN**

**Diplomová práca**

**Študijný program:** Operačný výskum a ekonometria

**Študijný odbor:** 6258 Operačný výskum a ekonometria

**Školiace pracovisko:** Katedra operačného výskumu a ekonometrie

**Školiteľ:** Ing. Pavel Gežík, PhD.

**Bratislava 2013**

**Bc. Roman Šajbidor**



2469505626

Ekonomická univerzita v Bratislave  
Fakulta hospodárskej informatiky

---

## ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

**Meno a priezvisko študenta:** Bc. Roman Šajbidor  
**Študijný program:** Operačný výskum a ekonometria (Jednoodborové štúdium, inžiniersky II. st., denná forma)  
**Študijný odbor:** 3.3.24 Kvantitatívne metódy v ekonómii  
**Typ záverečnej práce:** Inžinierska záverečná práca  
**Jazyk záverečnej práce:** slovenský

**Názov:** Efektívnosť využitia recyklácie pre potreby opätovného získavania základných surovín

**Anotácia:** Potreba recyklácie v súčasnej spoločnosti sa dostáva čoraz viac do popredia a možnosť recyklácie sa stáva želaným aspektom vo výrobe nových produktov. Téma sa zameriava na hodnotenie ekonomickej efektívnosti recyklácie pre výrobné podniky. Hodnotí recykláciu nielen zo spoločenského hľadiska, ale upozorňuje i na ekonomickú výhodnosť recyklácie v podnikových procesoch. Poukazuje na možnosti získavania materiálu a surovín z už raz vyrobených produktov, a z toho vychádzajúcu možnosť redukcie nákladov spojených s obstarávaním vstupných surovín. Téma sa tiež zameriava na ďalšie možnosti využitia vrátených produktov ale aj na ich ekologickú likvidáciu.

**Vedúci:** Ing. Pavel Gežík, PhD.

**Katedra:** KOVE FHI - Katedra operačného výskumu a ekonometrie FHI

**Dátum zadania:** 20.10.2011

**Dátum schválenia:** 03.11.2011

doc. Mgr. Juraj Pekár, PhD.  
vedúci katedry

## **Čestné vyhlásenie**

**Čestne vyhlasujem, že záverečnú prácu som vypracoval samostatne a že som uviedol všetku použitú literatúru.**

**Dátum: 24.4. 2013**

.....

(podpis študenta)

## **Pod'akovanie**

Touto cestou by som sa chcel poďakovať vedúcemu diplomovej práce Ing. Pavlovi Gežíkovi, PhD. za prejavenu podporu, odborné vedenie, cenné teoretické a praktické rady a podnetné pripomienky, ktoré mi poskytol pri vypracovaní mojej diplomovej práce.

## ABSTRAKT

ŠAJBIDOR, Roman : *Efektívnosť využitia recyklácie pre potreby opätovného získavania základných surovín.* – Ekonomická univerzita v Bratislave. Fakulta hospodárskej informatiky; Katedra operačného výskumu a ekonometrie. – Vedúci záverečnej práce: Ing. Pavel Gežík, PhD - Bratislava: FHI, 2013, počet strán 69.

Cieľom záverečnej práce bolo vyzdvihnúť potreby recyklácie v súčasnej spoločnosti a modelovať recyklačné procesy prostredníctvom prístupov operačnej analýzy. Práca je rozdelená do štyroch kapitol. Obsahuje 19 obrázkov, 7 tabuliek, 2 grafy. Prvá kapitola je venovaná modelovaniu recyklačných procesov. Vyjadruje potrebu recyklácie v súčasnej spoločnosti, ale tiež vymedzuje samotný pojem modelovania recyklačných procesov. V ďalšej časti je formulovaný cieľ práce. V tretej kapitole sú obsiahnuté predpoklady pre tvorbu modelov, teoretické východiská pre formuláciu a zostavenie modelov. Ďalej obsahuje poznatky o prostriedkoch potrebných na vyriešenie modelov. Záverečná kapitola sa zaoberá zostavením konkrétnych modelov, ktoré riešia recykláciu ako komplexný problém. Výsledkom riešenia danej problematiky je zostavenie dvoch teoretických modelov, ktorých použitie v praxi je spojené s adekvátnym prispôbovaním danému problému. Tieto modely obsahujú procesy, ktoré sa vyskytujú pri spracovaní odpadového materiálu.

**Kľúčové slová:** modelovanie, recyklačné procesy, recyklácia, sieťová analýza, maximálny tok, GAMS, Simul8.

## **ABSTRACT**

ŠAJBIDOR, Roman : Effectivity of using recycling in reobtaining raw materials – The University of Economics in Bratislava. Faculty of Economic Informatics; Department of Operations Research and Econometrics. –Thesis Supervisor: Ing. Pavel Gežík, PhD – Bratislava: FHI ,2013, 69 p.

The aim of thesis is to raise importance of recycling in present society and using approaches of operation analysis for modeling recycling processess. The work is divided into four chapters. It contains 19 pictures, 7 tables, 2 charts. The first chapter is dedicated to modeling recycling processess. First chapter describe needs for recycling in present society and also present theoretical basis of recycling processess modeling. The next section describes the objective of the work. The third chapter describe assumes for creating a models and present theoretical basis for model creation. Also cointains knowledge about solving models. Final chapter deals with the creation of the particular models, which solve recycling as a complex problem. Result to address the problem is the construction of two theoretical models whose use in practice is associated with a adjustment to the problem. These models include all the processes that occur in the process of treating of waste.

**Key words:** modelling, recycling, processess, recycling, network analysis, maximum flow, GAMS, Simul8.

## Obsah.

Úvod.....	9
<b>1. Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí.....</b>	<b>11</b>
1.1 Vývoj recyklácie v spoločnosti.....	11
1.2 Možnosti spracovania odpadu a recyklácie .....	12
1.3 Legislatíva upravujúca nakladanie s odpadmi .....	15
1.4 Stav odpadového hospodárstva na Slovensku .....	17
1.5 Modelovanie recyklačných procesov.....	20
1.6 Modelovanie recyklačných procesov v Slovenskej republike .....	23
1.7 Životný cyklus výrobku .....	24
<b>2. Cieľ práce.....</b>	<b>27</b>
<b>3. Metodika práce a metódy skúmania.....</b>	<b>29</b>
3.1 Sieťová analýza.....	29
3.2 Maximálny tok v sieti .....	30
3.3 Lineárne programovanie .....	32
3.4 Program GAMS .....	33
3.5 Simulácia a program Simul8.....	35
<b>4. Výsledky práce a diskusia.....</b>	<b>37</b>
4.1 Model 1 – opotrebované pneumatiky .....	37
4.1.1 Predpoklady pre model 1 – opotrebované pneumatiky .....	37
4.1.2 Grafická formulácia modelu.....	39
4.1.3 Formulácia modelu ako úloha lineárneho programovania .....	41
4.1.4 Výstup z programu GAMS – opotrebované pneumatiky .....	43
4.1.5 Simulácia modelu I. – opotrebované pneumatiky .....	45
4.1.6 Model číslo 1 – Možnosti modifikácie modelu .....	47
4.2 Model 2 – odpadový papier .....	49
4.2.1 Predpoklady pre model 2 odpadový papier .....	49
4.2.2 Grafická formulácia modelu.....	51
4.2.3 Formulácia modelu ako úlohy lineárneho programovania.....	54
4.2.4 Výstup z programu GAMS – papier a papierový odpad .....	57
4.2.5 Simulácia modelu II. – odpadový papier.....	61
4.2.6 Model 2 – Možnosti modifikácie modelu .....	63



<b>Záver .....</b>	<b>65</b>
<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>67</b>

## Úvod.

Diplomová práca sa venuje problematike recyklácie a modelovania recyklačných procesov. Práca poukazuje na možnosti získavania materiálu a surovín z už raz vyrobených produktov a okrem recyklácie sa zaoberá aj inými možnosťami spracovania odpadu. Práca poskytuje teoretické poznatky v tejto oblasti a predstavuje čitateľovi celkový pohľad na modelovanie recyklačných procesov, potreby a príčiny vzniku modelov zaoberajúcich sa riešením recyklačných procesov.

Recyklácia existuje už dlho, ale potreba recyklovať a zaoberať sa recykláciou vo veľkom, sa vo svete objavila pred 50 – 60 rokmi. Recykláciu možno charakterizovať ako znovu využitie už nepotrebných alebo pokazených výrobkov. Recyklácia je považovaná za najlepší spôsob narábania s odpadom, a preto za posledné roky vzrástol jej význam. Hlavný dôvod je nadmerná produkcia a spotreba výrobkov, čo má za následok nadmernú tvorbu odpadu. S potrebou recyklácie rastie význam modelovania recyklačných procesov. Modelovanie recyklačných procesov je vedecká oblasť, ktorá predstavuje nástroje na podporu, analýzu a vyhodnotenie existujúcej situácie a návrh opatrení na jej zlepšenie.

Predmetom práce je vyzdvihnúť potreby recyklácie v súčasnej spoločnosti a hodnotenie ekonomickej efektívnosti recyklácie. Ďalším predmetom práce je optimalizácia možností narábania s odpadom prostredníctvom metód sieťovej analýzy.

Cieľom tejto práce je vytvorenie teoretického modelu, ktorý bude predstavovať narábanie s odpadom určitej kategórie. Tento model by mal slúžiť na pochopenie procesov, ktoré prebiehajú v spracovaní odpadu a analýzu existujúcej situácie. Model by mal vyjadrovať materiálové toky pre jednotlivé oblasti spracovania odpadu. Na základe modelu potom možno sledovať ekonomický vplyv zmeny materiálových tokov. Na základe tohto možno identifikovať nedostatky a rezervy pri spracovaní odpadov a vytvoriť návrh na zlepšenie.

Význam práce spočíva v predstavení vedeckej oblasti modelovania recyklačných procesov. Medzi ďalší prínos práce možno zaradiť analýzu stavu odpadového hospodárstva v Slovenskej republike ako aj zhrnutie poznatkov o publikáciách, ktoré sa zaoberajú modelovaním recyklačných procesov. Medzi hlavný prínos práce možno

zaradiť jej praktickú časť, ktorá sa venuje dvom problémom v oblasti spracovania odpadu, a to spracovanie opotrebovaných pneumatík a spracovanie odpadového papiera. Praktická časť využíva metódy a prístupy operačného výskumu na analýzu stavu v týchto dvoch oblastiach.

Štruktúra práce vychádza z aktuálnych platných predpisov a pozostáva z úvodu, štyroch kapitol a zo záveru.

Prvá kapitola má názov Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí. Táto kapitola sa v úvode venuje vývoju recyklácie v spoločnosti a možnostiam spracovania odpadu a zdôrazňuje výhody zhodnocovania odpadu. Ďalej obsahuje stručný prehľad legislatívy, ktorá upravuje narábanie s odpadom v Slovenskej republike a stav odpadového hospodárstva na Slovensku. Na konci prvej kapitoly sa nachádzajú teoretické východiská modelovania recyklačných procesov, ako aj diela zahraničných a slovenských autorov, ktorí sa zaoberali modelovaním recyklačných procesov.

Druhá kapitola popisuje cieľ práce. Predstavuje hlavný cieľ, ale i čiastkové ciele, ktoré by mala práca spĺňať.

Tretia kapitola popisuje samotné metódy, ktoré sú použité na zostavovanie modelov. Okrem použitých metód sú v tejto kapitole opísané programové prostriedky, pomocou ktorých budeme jednotlivé modely riešiť.

Posledná štvrtá kapitola je venovaná výsledkom práce. Sú v nej predstavené dva teoretické modely, ktoré by mali charakterizovať narábanie s odpadom dvoch typov. V tejto kapitole sú rozobraté predpoklady modelov, ich grafická a matematická formulácia, ako aj ich riešenie. V závere podkapitoly pre každý model sa zaoberáme možnosťami modifikácie modelu, ako aj interpretácií výsledkov.

# **1. Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí**

V poslednej dobe nastal prudký civilizačný rozmach. Súčasnej spoločnosti je možné priradiť prívlastok konzumná spoločnosť. Konzumná spoločnosť je charakterizovaná veľkou spotrebou rôznych výrobkov a služieb. Medzi najväčšie problémy konzumnej spoločnosti možno zaradiť nadmerné využívanie prírodných zdrojov, znečisťovanie životného prostredia a veľmi vysokú produkciu odpadu.

Jednou z možností riešenia problémov konzumnej spoločnosti je recyklácia. Recyklácia môže pomôcť pri spracovávaní odpadu a šetriť využívanie prírodných zdrojov. Preto je v záujme spoločnosti čoraz viac sa zaoberať recykláciou.

Recykláciu možno považovať za pomerne jednoduchú činnosť. Zoberieme niečo, čo už nepotrebujeme alebo už doslúžilo a spravíme z toho niečo iné. Ale v skutočnosti je recyklácia komplexnejšia činnosť, ktorú treba riešiť na viacerých úrovniach. Aby sa maximalizoval účinok recyklácie, je dôležité, aby sa do tejto činnosti zapojili spotrebitelia, distribútori, výrobcovia, vláda.

## **1.1 Vývoj recyklácie v spoločnosti**

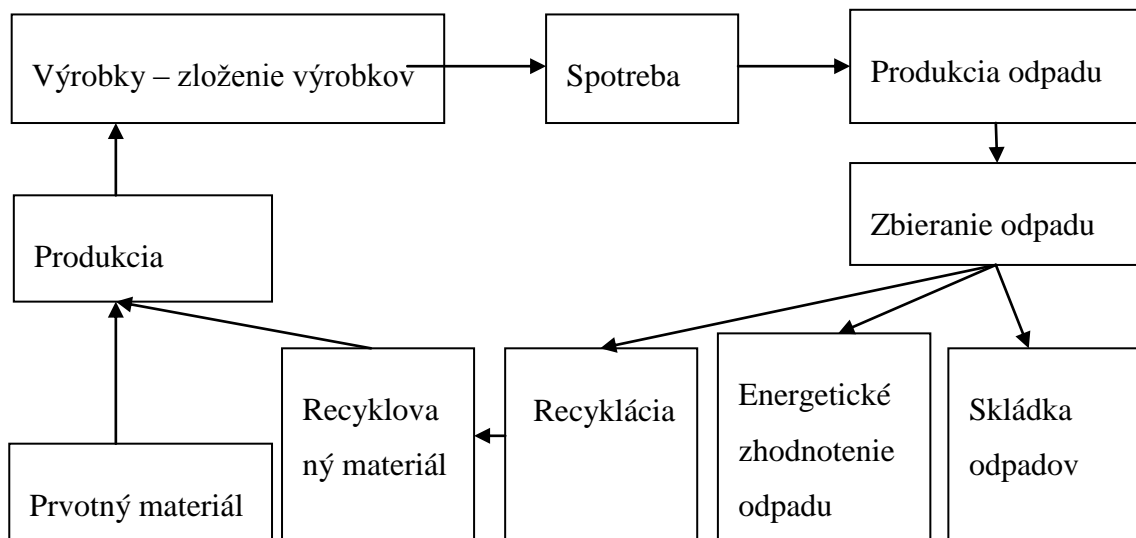
Aj keď recykláciou sa zaberáme posledných pár desaťročí, v skutočnosti je tu už vyše tisíc rokov. Samozrejme nie v takej forme, ako ju dnes poznáme. Pred industriálnou dobou, keď neboli výrobky a služby také dostupné a lacné ako v súčasnosti, ľudia zobrali veci, čo už nepotrebovali alebo neslúžili, na čo majú, a spravili z nich niečo iné.

Najväčší problém s odpadom nastal v priemyselnej dobe, keď sa začala masová produkcia a výrobky boli také lacné, že si ľudia radšej kúpili nový výrobok, ako by sa zaoberali využitím toho starého. Recykláciou vo veľkom sa vo svete začali zaoberať až v rozmedzí rokov 1930 – 1940, keď na spoločnosť doľahli veľké ekonomické krízy a výrobky už neboli tak ľahko dostupné. Odvtedy sa recyklácia vyvinula až do súčasnej formy prostredníctvom osvedčenej spoločnosti a legislatívy.

## 1.2 Možnosti spracovania odpadu a recyklácie

Možnosti narábania s odpadom sú skládkovanie, spaľovanie a recyklácia. Recyklácia by sa dala chápať ako materiálové zhodnotenie už nepotrebných alebo poškodených výrobkov. Materiálová recyklácia, ako aj možnosti narábania s odpadom, sú znázornené na *Obrázku č. 1*.

*Obrázok č. 1* Možnosti narábania s odpadom



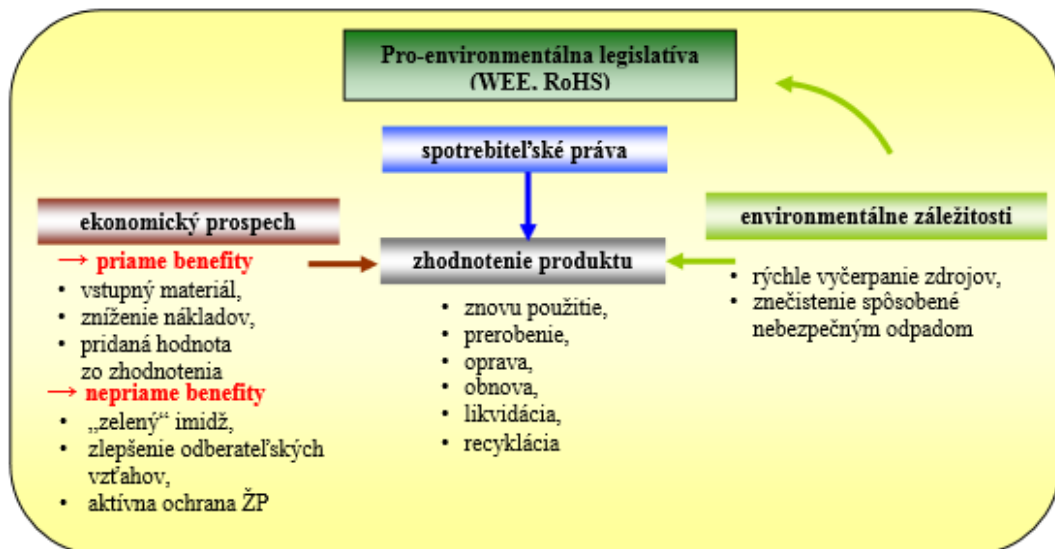
Zdroj : autor

Úžitkové vlastnosti výrobku sa počas jeho životnosti menia. Je to dôsledok rôznych vonkajších alebo vnútorných vplyvov (napr. opotrebenie, poškodenie, únava materiálu, preťaženie), ktoré určujú životnosť a dĺžku prevádzkyschopnosti výrobku. Keď už výrobok nie je schopný plniť funkciu, na ktorú bol vytvorený, treba rozmýšľať o jeho ďalšom využití. Na konci životného cyklu výrobku sa nám v prvom rade naskytne otázka, prečo výrobok vlastne zhodnocovať?

Zhodnocovanie výrobkov má viacero výhod. Medzi hlavné výhody zhodnocovania výrobkov patrí ekonomický prospech. Pod ekonomickým prospechom chápeme hlavne využitie recyklovaných materiálov ako vstupnú surovinu, čo má za následok zníženie výrobných nákladov. Medzi ďalší ekonomický prospech možno zaradiť „green image“ firmy. Firmy, ktorým nie je ľahostajné životné prostredie, sú v spoločnosti lepšie videné, čo má za následok lepší predaj výrobkov a väčšiu podporu zo strany štátu. Zhodnocovanie výrobkov má okrem ekonomického aj environmentálny prospech. Medzi hlavný environmentálny prospech možno zaradiť šetrenie prírodných

zdrojov. Ďalším environmentálnym prospechom je menšie znečistenie životného prostredia nebezpečným odpadom. Výhody zhodnocovania výrobkov zobrazuje aj *Obrázok č. 2.*

*Obrázok č. 2* Výhody zhodnocovania výrobkov



Zdroj : STRAMA M. PEKARČÍKOVÁ M.2008 – *Význam demontáže produktov na konci ich životnosti.*2008

V priemyselnej praxi môžeme rozlíšiť viaceré spôsoby recyklácie:

1. recyklácia výrobného odpadu – recyklácia výrobného odpadu predstavuje opätovné využitie odpadov vznikajúcich pri výrobe,
2. recyklácia počas používania výrobku – recyklácia počas používania výrobku je spôsob zhodnotenia už použitých výrobkov alebo dielcov nejakého výrobku do nového štádia spotreby,
3. recyklácia materiálová – materiálová recyklácia predstavuje vrátenie použitých výrobkov resp. ich materiálov do výrobného procesu,
4. recyklácia energetická – energetická recyklácia spočíva v získavaní energie akumulovanej v odpade, na ktorý nie je možné aplikovať ani jeden z predchádzajúcich typov recyklácií.

*„Všetky uvedené smery recyklácie by mali byť podporované v etape prípravy výroby aj počas výroby. Materiálový tok recyklačného systému končí v sklade alebo*

*v biosfére, kde sa zhodnotí tým, že sa stáva zdrojom pre ďalšie výrobné cykly. Účinnosť tohto procesu je daná pomerom recyklovateľného a nerecyklovateľného materiálu.* <sup>“1</sup>

Okrem materiálovej a energetickej recyklácie môžeme nepotrebné výrobky zhodnocovať aj inými spôsobmi. Jednou z možností je aj prerobenie. Prerobenie je proces, ktorý sa zaoberá rozobratím alebo obnovou pokazených alebo nepotrebných výrobkov. Výrobky sa rozoberú na jednotlivé diely, ktoré môžu byť znova vrátené do výrobného cyklu. Výrobky sa taktiež môžu obnoviť, a to výmenou opotrebovaných a zastaraných komponentov, ktorých životnosť sa už skončila. Takto zrenovovaný výrobok musí spĺňať u zákazníkov rovnaké očakávania ako nový výrobok. Prerobenie výrobkov je úzko späté z reverznou logistikou. *„Podstatou reverznej logistiky je manažment spätne orientovaných tokov tovaru (fyzických aj informačných), odpadu, obalov a znovu použiteľných materiálov od zákazníka k distribútorovi, respektíve až k pôvodnému výrobcovi.* <sup>“2</sup> Pri prerobení výrobkov rozlišujeme 4 modely, ako sa dostane výrobok späť k výrobcovi na prerobenie:

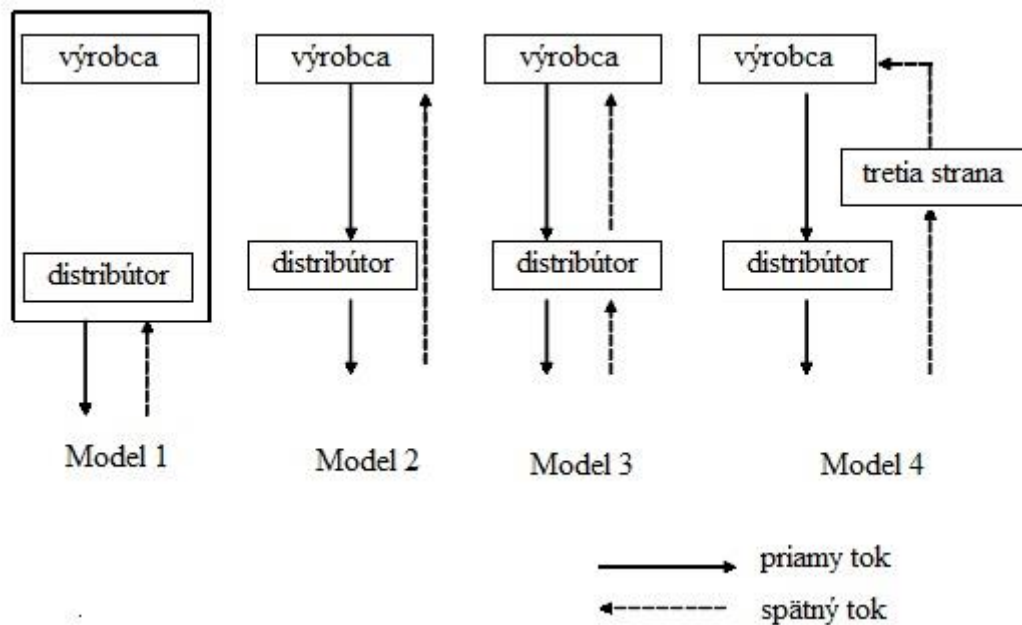
- **centrálny model** – centrálny model predpokladá, že výrobca si robí sám distribúciu, výrobky určené na prerobenie sú zbierané priamo od zákazníkov, čo vyjadruje aj model 1 na *Obrázku č. 3*,
- **zber výrobcom** – pri modeli zber výrobcom sa predpokladá, že výrobky určené na prerobenie si zbiera sám výrobca, čo vyjadruje aj model 2 na *Obrázku č. 3*,
- **zber distribútorom** – pri modeli zber distribútorom sa predpokladá, že výrobky určené na prerobenie zbiera distribútor a následne ich odovzdáva výrobcovi, čo vyjadruje aj model 3 na *Obrázku č. 3*,
- **zber treťou stranou** – pri modeli zber treťou stranou sa predpokladá, že výrobky určené na prerobenie sú zbierané treťou stranou, ktorá ich odovzdáva výrobcovi, čo vyjadruje aj model 4 na *Obrázku č. 3*.

---

<sup>1</sup>STRAMA M. PEKARČÍKOVÁ M.2008 – *Význam demontáže produktov na konci ich životnosti*.2008

<sup>2</sup>GEŽÍK P.2010. *Zásobovacie procesy ako súčasť reverznej logistiky* : dizertačná práca. Bratislava.EUBA. 2010

Obrázok č. 3 Možnosti návratu tovarov



Zdroj : SAVASKAN, R. C. – BHATTACHARYA, S. – WASSENHOVE, L. N.V.2004.*Closed- Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing, Management Science*

### 1.3 Legislatíva upravujúca nakladanie s odpadmi

Na Slovensku spadá recyklácia pod Ministerstvo životného prostredia. Nakladanie z odpadmi v Slovenskej republike upravujú zákony, nariadenia vlády a vyhlášky Ministerstva životného prostredia. Hlavný zákon, ktorý na Slovensku upravuje a reguluje narábanie s odpadmi je Zákon č. 223/2001 Z. z. o odpadoch v znení neskorších predpisov. Na základe tohto zákona bol v roku 2001 vytvorený Recyklačný fond ako neštátny účelový fond, ktorého hlavnou funkciou je zbierať finančné prostriedky od dovozcov a výrobcov, ktorí sú povinní platiť príspevky. Ďalšou funkciou recyklačného fondu je podporovať projekty zakladajúce a rozvíjajúce separovaný zber a zhodnotenie odpadov pomocou dotácií a pôžičiek. Ďalšou funkciou recyklačného fondu je finančná podpora obciam a ich združeniam na separovanie odpadu a odovzdávanie na ďalšie zhodnotenie. Príspevky do recyklačného fondu upravuje vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 127/2004 Z. z. o sadzbách pre výpočet príspevkov do Recyklačného fondu, o zozname výrobkov, materiálov a zariadení, za ktoré sa platí príspevok do Recyklačného fondu, a o podrobnostiach o obsahu žiadosti o poskytnutie prostriedkov z Recyklačného fondu v znení vyhlášky č. 359/2005 Z. z.



Recyklačný fond je tvorený viacerými sektormi:

- sektorom plastov,
- sektorom papiera,
- sektorom skla,
- sektorom opotrebovaných pneumatík,
- sektorom kovových obalov,
- sektorom elektrozariadení,
- sektorom odpadových olejov,
- sektorom opotrebovaných batérií a akumulátorov,
- sektorom viacvrstvových kombinovaných materiálov,
- všeobecným sektorom.

Nakladanie s odpadmi v Európskej únii upravujú nariadenia (Rady, Komisie alebo Európskeho parlamentu a Rady), smernice (Rady alebo Európskeho parlamentu a Rady) a rozhodnutia (Komisie a Rady). „Základ právneho rámca nakladania s odpadmi v EÚ tvorí smernica EP a Rady 2008/98/ES z 19. novembra 2008 o odpade a o zrušení niektorých smerníc. Je revíziou rámcovej smernice o odpadoch (75/442/EHS) a zahŕňa v sebe ustanovenia smernice o nebezpečnom odpade (91/689/EHS) a smernice o odpadových olejoch (75/439/EHS). Prijatím novej rámcovej smernice o odpade boli tieto smernice preto zrušené.“<sup>3</sup> Táto smernica sa zaoberá hlavne prevenciou tvorby odpadu, recykláciou a ochranou životného prostredia. Samozrejme, recyklácia je úzko spätá so životným prostredím. Na európskej úrovni sa ochrane životného prostredia venuje viacero medzinárodných zmlúv a dohovorov. Význam ochrany životného prostredia je zahrnutý aj v Lisabonskej zmluve, kde sa kladie dôraz na ochranu životného prostredia. Každý štát Európskej únie by mal podporovať zachovávanie, ochranu a zlepšovanie kvality životného prostredia, ochranu ľudského zdravia, podporu obozretného a rozumného využívania prírodných zdrojov, podporu opatrení na medzinárodnej úrovni zameraných na riešenie regionálnych a celosvetových environmentálnych problémov.

---

<sup>3</sup>Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky : *Program odpadového hospodárstva Slovenskej republiky na roky 2011 – 2015*:Výskumná správa. Bratislava: MŽP SR [elektronický zdroj].

## 1.4 Stav odpadového hospodárstva na Slovensku

Budeme sledovať a hodnotiť stav odpadového hospodárstva na Slovensku za roky 2005 – 2009. V tomto období vzniklo na Slovensku ročne viac ako 10 miliónov ton odpadu. Čo vyjadruje aj *Tabuľka č. 1*.

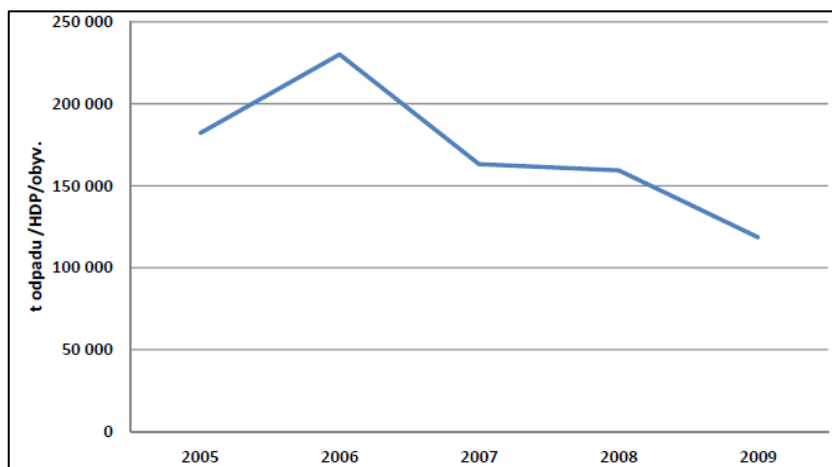
*Tabuľka č. 1* Vznik odpadov v SR v rokoch 2005-2009 v tonách

rok	2005	2006	2007	2008	2009
<b>komunálne odpady</b>	1 558 263	1 623 306	1 668 648	1 790 691	1 745 494
<b>ostatné odpady iné ako komunálne</b>	8 809 927	12 349 065	8 740 682	9 177 459	6 293 035
<b>nebezpečné odpady iné ako komunálne</b>	561 247	535 068	525 166	523 928	484 678
<b>spolu</b>	<b>10 929 437</b>	<b>14 507 439</b>	<b>10 934 496</b>	<b>11 492 078</b>	<b>8 523 207</b>

Zdroj : Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky : *Program odpadového hospodárstva Slovenskej republiky na roky 2011 – 2015*:Výskumná správa. Bratislava: MŽP SR [elektronický zdroj].

Z *Tabuľky č. 1* je možné vidieť rastúci trend v produkcii odpadu. Výnimkou je iba zlom v rokoch 2008/2009. Tento zlom možno pripísať hospodárskej kríze, ktorá mala za následok zníženie priemyselnej výroby, čo sa prejavilo v nižšej produkcii odpadu. Pri sledovaní vývoja hospodárstva (HDP na obyvateľa a rok) a produkcie odpadu možno zistiť rozdiel v trendoch týchto dvoch parametrov, čo je pozitívny jav. Lebo zvyšovanie hospodárskej produkcie nemá za následok zvyšovania produkcie odpadu. Čo vyjadruje aj *Graf č. 1*.

*Graf č. 1* Podiel množstiev vznikajúcich odpadov k hrubému domácomu produktu (HDP) na jedného obyvateľa



Zdroj: Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky : *Program odpadového hospodárstva Slovenskej republiky na roky 2011 – 2015*:Výskumná správa. Bratislava: MŽP SR [elektronický zdroj].

Spomínali sme, že ročne sa vyprodukuje vyše 10 miliónov ton odpadu. Celkové nakladanie s týmto odpadom vyjadruje *Tabuľka č. 2*.

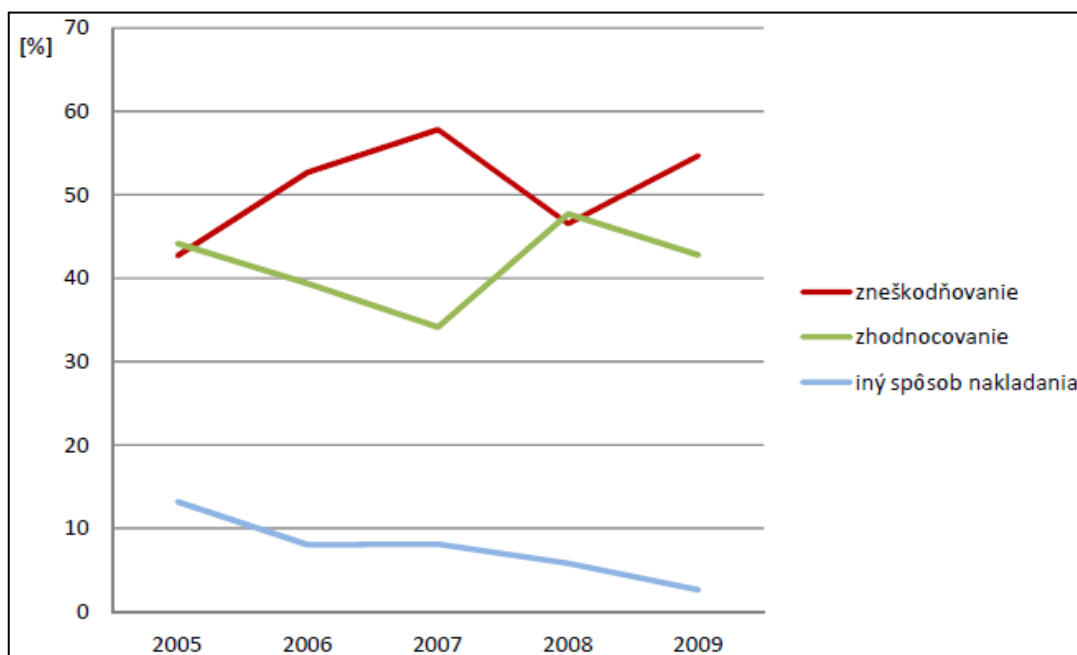
*Tabuľka č. 2* Celkové nakladanie z odpadmi za roky 2005-2009 (v tisícoch ton)

Spôsob nakladania	2005		2006		2007		2008		2009	
	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
Zhodnocovanie materiálové	2 882	26,37	4 322	29,8	2 078	19,01	3 446	30,04	1 990	23,41
Zhodnocovanie energetické	306	2,8	260	1,79	278	2,54	586	5,11	274	3,22
Zhodnocovanie ostatné	1 635	14,96	1 121	7,73	1 373	12,56	1 439	12,54	11 378	16,21
Zneškodňovanie skládkovaním	4 117	37,67	6 909	47,64	5 563	50,88	4 562	39,77	4 080	47,99
Zneškodňovanie spaľovaním bez energetického využitia	284	2,6	289	1,99	149	1,36	66	0,58	32	0,38
Zneškodňovanie ostatné	264	2,42	442	3,05	608	5,56	706	6,15	525	6,18
Iný spôsob nakladania	1441	13,19	1 160	8,00	884	8,09	666	5,81	222	2,61
<b>Spolu</b>	<b>10 929</b>	<b>100</b>	<b>14 503</b>	<b>100</b>	<b>10 933</b>	<b>100</b>	<b>11 471</b>	<b>100</b>	<b>8 501</b>	<b>100</b>

Zdroj: Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky : *Program odpadového hospodárstva Slovenskej republiky na roky 2011 – 2015*:Výskumná správa. Bratislava: MŽP SR [elektronický zdroj].

Ako je možné vidieť z *Tabuľky č. 2*, materiálové zhodnocovanie sa pohybovalo v intervale 19,01 % – 30,04 %. Je možné vidieť, že na Slovensku sa najviac využíva zneškodňovanie odpadu skládkovaním. Zneškodňovanie odpadu spaľovaním bez energetického využitia tvorí len malé percento a má klesajúci charakter. Pre lepšiu interpretáciu údajov a pochopenie vývoja stavu odpadového hospodárstva na Slovensku sa dajú tieto údaje vyjadriť graficky, *Grafom č. 2*.

Graf č. 2 Zhodnocovanie, zneškodňovanie a iný spôsob nakladania s odpadom za roky 2005 – 2009 vyjadrený v percentách.



Zdroj : Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky : *Program odpadového hospodárstva Slovenskej republiky na roky 2011 – 2015*:Výskumná správa. Bratislava: MŽP SR [elektronický zdroj].

Z Tabuľky č. 2 a z Grafu č. 2 vyplýva, že na Slovensku sa za roky 2005 –2009 odpad väčšinou spracovával buď skládkovaním, alebo zhodnocovaním. Zhodnocovalo sa okolo 50 % z celkovej produkcie odpadu a zvyšných 50 % celkovej produkcie odpadu sa skládalo. Keďže skládokovanie považujeme za najmenej efektívny spôsob nakladania s odpadom, toto číslo je ešte pomerne vysoké.

Na základe tohto a ešte na základe rastúceho trendu v produkcii odpadov možno vyzdvihnúť potrebu recyklácie. Recyklácia, ako sme už spomínali, patrí medzi najekologickejší spôsob narábania s odpadom. Preto v súčasnej dobe je dôležitá podpora recyklácie a recyklačných procesov. Dôležitá je nielen finančná podpora, ale aj správne využívanie finančných prostriedkov a hlavne zefektívnenie recyklácie a recyklačných procesov. Je dôležité nielen budovať zberné miesta a recyklačné strediská, ale aj hľadať správne lokality pre zberné miesta a recyklačné strediská. Na výber vhodnej lokality pre zberne a recyklačné strediská, na určenie vhodného počtu zberných miest a recyklačných stredísk a na riešenie ďalších problémov spojených s recykláciou, možno využiť matematické metódy a postupy. Tieto metódy a postupy možno v širšom slova zmysle pomenovať aj ako modelovanie recyklačných procesov.

## 1.5 Modelovanie recyklačných procesov

„Modelovanie recyklačných procesov predstavuje nástroj na podporu rozhodovacích procesov na analýzu a vyhodnotenie existujúcej situácie a návrh opatrení na jej zlepšenie. Základom optimalizačných procesov je vytvorenie relevantného modelu, ktorý matematicky reprezentuje reálny recyklačný proces.“<sup>4</sup> Na tvorbu modelu recyklačného procesu sa využívajú vedecké postupy, metódy a nástroje, ktorých efektívna kombinácia umožňuje skúmanie procesov recyklácie. Zo skupiny modelov sú najvšeobecnejšie a najviac využívané matematické modely, ktoré zobrazujú modelovaný jav pomocou matematických vzťahov. A to pomocou funkcií, rovníc a nerovníc. Modelované veličiny sa vyjadrujú pomocou premenných, parametrov a konštánt. Cieľom matematického modelovania je formulovať také úlohy, ktoré sa dajú riešiť matematickými metódami a prostriedkami. Na riešenie sa používajú tieto metódy:

- štatistické charakteristiky na analýzu zistených údajov,
- grafické metódy na zobrazenie a analýzu zistených údajov,
- optimalizačné metódy,
- simulačné metódy,
- heuristické metódy.

Optimalizačné metódy slúžia na nájdenie extrému funkcie, ktorá reprezentuje cieľ optimalizácie na nejakej prípustnej množine riešení. Simulačné metódy možno definovať ako napodobňovanie správania sa reálneho systému modelovým systémom. Heuristické prístupy možno definovať ako súhrn pravidiel, ktoré umožňujú v rozumnom čase prísť k riešeniu daného problému. Heuristické prístupy nemusia vždy dospieť k najlepšiemu možnému riešeniu.

V tejto práci využívame hlavne grafické metódy na zobrazenie a analýzu zistených údajov a optimalizačné metódy. Konkrétne optimalizačné metódy, ktoré použijeme, sú bližšie spomenuté v kapitole 3. tejto práce.

Pri modelovaní recyklačných procesov je dôležité dosahovanie vopred stanovených cieľov. Tieto ciele môžu byť často aj v protiklade. Teda je dôležité navrhnuť systém tak, aby bolo možné nájsť kompromisné riešenie medzi jednotlivými

---

<sup>4</sup>PEKÁR J. – BREZINA I. – ČIČKOVÁ Z. – REIFF M.2012. Modelovanie rozmiestňovania recyklačných centier. Bratislava. EKONÓM, 2012. - ISBN 978-80-225-3349-2

cieľmi. Často sa pri hľadaní cieľov využívajú metódy operačného výskumu, a to predovšetkým prístupy lineárneho programovania, viackriteriálnej optimalizácie alebo simulácie.

Pri modelovaní recyklačných procesov sa najčastejšie vytvárajú prognostické modely, modely spracovania a kontroly, modely zásobovacích procesov, modely umiestnenia skladov, modely umiestnenia skládok, modely umiestnenia recyklačných centier modely trasy zberu odpadov, modely určenia objemu v procesoch opätovného využitia produktu, modely pohotovostných zásob v systémoch opätovného využitia, modely dynamickej kontroly opätovného využitia, modely plánovania produkcie na opätovné využitie a podobne.

Modely recyklačných procesov možno rozdeliť do troch základných oblastí:

- lokalizácia recyklačných centier a zberní odpadu,
- minimalizácia prepravných nákladov optimalizáciou prepravných trás,
- optimalizácia zásobovacích procesov.

### ***Lokalizácia recyklačných centier a zberní odpadu***

Jednou z najdôležitejších úloh v oblasti recyklačných procesov je návrh logistickej siete recyklačných centier a zberní odpadu. Logistická sieť recyklačných centier a zberní odpadu by mala byť optimálna ako z hľadiska prevádzkovateľa recyklačných centier, tak aj z pohľadu zhromažďovania a zvozu odpadu. Tento problém musí rešpektovať niekoľko dôležitých skutočností. V prvom rade treba určiť veľkosť a počet recyklačných centier a navrhnúť ich rozmiestnenie. Pri každom recyklačnom centre a pri každej zberni odpadu je dôležité zvoliť vhodné stavebné a priestorové usporiadanie tak, aby bola dosiahnutá ich maximálna efektívnosť a produktivita.

### ***Minimalizácia prepravných nákladov optimalizáciou prepravných trás***

Ďalšou dôležitou oblasťou optimalizácie recyklačných procesov je minimalizácia prepravných nákladov optimalizáciou dopravných trás. Na rozhodovanie o optimálnom počte prepravných trás, optimálnom počte prepravných prostriedkov a optimálnom počte prepravovaných množstiev majú vplyv predovšetkým tri základné faktory:

- náklady na prepravu odpadu,
- časový aspekt prepravy,
- náklady na prevádzku dopravných prostriedkov.

### ***Optimalizácia zásobovacích procesov***

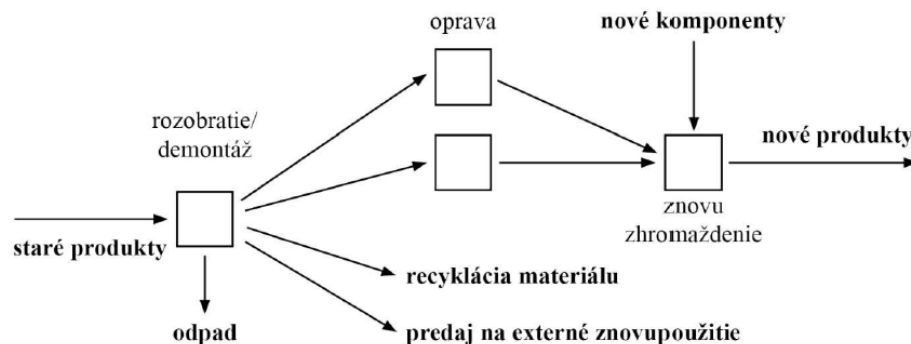
Optimalizácia zásobovacích procesov je ovplyvnená hlavne tromi faktormi:

- obstarávacími nákladmi,
- skladovacími kapacitami,
- nákladmi na skladovanie tovaru.

Na vyhodnocovanie efektívnosti zásobovacieho procesu možno použiť metódy teórie zásob. Pričom okrem deterministických prístupov sa využívajú aj stochastické prístupy. Takisto možno použiť aj prístupy viackriteriálneho vyhodnocovania variantov a viackriteriálnej optimalizácie. Pod optimalizáciu zásobovacích procesov patria aj modely zaoberajúce sa štruktúrou siete pre reverznú logistiku.

Modely zaoberajúce sa štruktúrou siete pre reverznú logistiku sú zamerané na návrat výrobku. Oblasť orientácie týchto modelov je zameraná na návrat výrobku v rámci jeho opätovného použitia, teda výrobok sa znova distribuuje, ale k iným spotrebiteľom na opätovný predaj, prípadne sa vráti naspäť k výrobcovi z dôvodu jeho prerobenia, inovácie alebo zmeny obalu. Proces tokov v rámci týchto modelov znázorňuje *Obrázok č. 4*.

*Obrázok č. 4* Plánovanie procesov s návratom



Zdroj: GEŽÍK P.2010. *Zásobovacie procesy ako súčasť reverznej logistiky* : dizertačná práca. Bratislava. EUBA. 2010

Modelmi zaoberajúcimi sa štruktúrou siete pre reverznú logistiku sa vo svojich prácach zaoberalo viacero autorov. Barros a kol. (1998) sa vo svojej práci zaoberajú recyklovaním stavebného odpadu na piesok. Využívajú model s otvoreným cyklom v zásobovacom reťazci s cieľom minimalizovať náklady. Recykláciou sa zaoberali vo svojej práci aj Louwers a kol. (1999). Zaoberali sa recykláciou kobercov na textilné vlákna. Taktiež využili model s otvoreným cyklom v zásobovacom reťazci s cieľom minimalizovať náklady. Recykláciou kobercov vo svojej práci taktiež zaoberali aj Realff a kol. (2000). Van Notten (2000) sa venoval recyklácii skla na sklenený recyklát, ktorý môže byť znova využitý pri výrobe sklenených výrobkov. Meijer (1998) sa vo svojej práci venoval recyklácii skenovacích, tlačiarenských, faxovacích a kopírovacích strojov. Zameral sa hlavne na prerobenie strojov, ale aj na ich rozobratie a využitie komponentov v ďalšej výrobe. Kleineidam a kol. (2000) sa zaoberali hlavne recykláciou papiera a jeho opätovné využitie vo výrobe.

## **1.6 Modelovanie recyklačných procesov v Slovenskej republike**

Modelovanie recyklačných procesov na Slovensku je inšpirované prácami zahraničných autorov hlavne z oblasti reverznej logistiky a alokácie objektov.

Využívanie kvantitatívnych metód v oblasti reverznej logistiky je zhrnuté v publikáciách: Kvantitatívne metódy v logistike (Palúch, Peško, 2007), Modelové aspekty reverznej logistiky (Brezina, 2003), Kvantitatívne metódy na podporu logistických procesov (Brezina, Čičková, Reiff, 2009), Modelovanie reverznej logistiky – optimalizácia procesov recyklácie a likvidácie odpadu (Brezina, Čičková, Gežík, Pekár, 2010) a ďalších publikáciách.

Návrh sietí procesov reverznej logistiky založeného na modeli opätovného získavania (Fleischmann, 2001) a investično-alokačnom modeli Floemhofa – Ruwaarda (1996) bol rozpracovaný v modeli recyklácie papiera (Brezina, Čičková, Pekár, 2008). Na riešenie modelu boli použité techniky celočíselného programovania. Odlišný prístup k umiestneniu objektov v geografickom priestore bol prezentovaný v publikácii Umiestnenie skladu pomocou metód viackriteriálneho vyhodnocovania variantov (Pekár, Brezina, Čičková, 2008).

Modely umiestnenia zberných miest na recykláciu odpadu v publikácii Covering Location Problem of Collecting Centres (Pekár, Brezina, 2008), sú zamerané na



lokalizáciu recyklačných zariadení s cieľom minimalizovať ich počet pri zabezpečení dobrej dostupnosti pre obyvateľov. Na uvedené práce nadväzuje publikácia Model rozmiestnenia p-triediacich centier v SR (Pekár, Brezina, Čičková, 2009). Cieľom modelu je určiť minimálnu vzdialenosť nutnú na pokrytie všetkých obyvateľov potenciálnymi triediacimi centrami s recyklovaným materiálom, ak je vopred známy maximálny počet triediacich centier.

Model recyklácie využívajúci simuláciu je prezentovaný v práci Aplikácia reverznej logistiky pri zhodnocovaní opotrebovaných dopravných pásov (Husárová, Koniarik, 2007). Autori simulujú proces renovácie dopravných pásov a aplikujú recykláciu na zhodnocovanie opotrebovaných dopravných pásov.

## 1.7 Životný cyklus výrobku

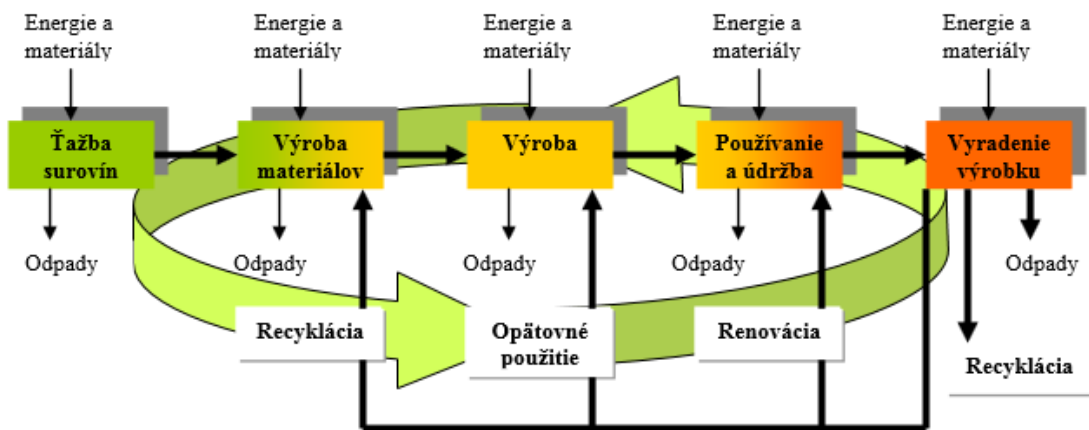
Legislatíva a verejná mienka vyvíja čoraz väčší nátlak na obmedzovanie vplyvu podnikových činností na životné prostredie, preto aj prístup podniku k ochrane životného prostredia nie je len otázkou plnenia zákonných požiadaviek, ale hrá aj dôležitú úlohu pri upevňovaní pozície na trhu. Preto sa podniky dobrovoľne rozhodujú pre znižovanie environmentálnych vplyvov pri výrobe. Pri znižovaní environmentálnych dopadov výroby sa podniky musia zaoberať životným cyklom výrobku. Pojem životný cyklus výrobku predstavuje vývojové etapy, ktorými prechádza výrobok od jeho zavedenia na trh až po zánik. Niekedy sa životný cyklus výrobku nazýva cyklus od kolísky po hrob. Životný cyklus výrobku v sebe zahŕňa cestu výrobku od návrhu jeho dizajnu a vlastností vo vývojovom centre, cez výrobu, distribúciu, spotrebu, až po zhodnocovanie alebo zneškodnenie výrobku. Životný cyklus výrobkov, možno ďalej rozdeliť z časového hľadiska na:

- veľmi krátky, zvyčajne trvá okolo 14 dní (napr. potraviny),
- stredne dlhý, zvyčajne trvá niekoľko rokov (napr. domáce spotrebiče a iný spotrebný tovar),
- dlhý, zvyčajne trvá niekoľko desaťročí (napr. budovy a infraštruktúra).

Rôzne výrobky vplývajú na životné prostredie odlišnou mierou v rozličných fázach svojho životného cyklu. Niektoré výrobky najviac zaťažujú životné prostredie vo fáze výroby (ťažba nerastných surovín, papierenský priemysel a iné.) . Iné výrobky zasa

zaťažujú najviac životné prostredie vo fáze používania výrobku (dopravné prostriedky a iné). Niektoré výrobky najviac zaťažujú životné prostredie po skončení ich životnosti. (Chemikálie, plasty a iné). Životný cyklus výrobku, ako aj jeho environmentálne vplyvy v jednotlivých fázach sú vyjadrené na *Obrázku č. 5*.

*Obrázok č. 5* Životný cyklus výrobku a jeho fázy



Zdroj: HRICOVÁ B. 2010. Inovácia produktov prostredníctvom metodiky posudzovania životného cyklu produktov: KEGA. Košice: TUKE. 2010

Zodpovednosť za negatívne vplyvy na životné prostredie leží na pleciach výrobcovi (platby za emisie, odpady, povinnosť vyhovieť legislatíve), ale čiastočne túto zodpovednosť preberajú aj spotrebiteľia (produkcia emisií, odpadu, spotreba energií a vody) a štát. Preto sa do popredia dostáva inovácia výrobkov, s cieľom znížiť environmentálne dosahy pri výrobe a používaní výrobkov. Hlavným zámerom inovácie je dosahovanie vysokej kvality podnikových výstupov, pretože na trhu sa uplatní len výrobca ktorý vyrába kvalitné a cenovo dostupné výrobky.

Na hodnotenie životného cyklu výrobku sa používa metóda LCA (Life Cycle Assessment). Cieľom LCA je definovanie a vyčíslenie environmentálnych vplyvov spojených s výrobkom od ťažby nerastných surovín, výroby, používania, až po koniec životnosti produktu a jeho zneškodnenia. LCA má charakter podporného nástroja a môžeme ho využívať ako zdroj informácií pre vyhodnocovanie rizikových miest výrobného systému s hľadiska dopadov na životné prostredie a tiež potenciálnych inovácii výrobného systému.

Hlavnou časťou LCA analýzy je inventarizačná analýza. „*Inventarizačná analýza, ktorá je súčasťou LCA, vyžaduje presnú znalosť všetkých výrobných operácií, ich parametrov, vplyvov na životné prostredie a tiež i presné materiálové zloženie všetkých surovín použitých pri jeho výrobe. Dôležitou súčasťou analýzy sú i zdroje energií, spôsoby prepravy surovín a hotových produktov a navrhnuté/plánované scenáre pre fázy ukončenia životnosti produktu (materiálová alebo súčiastková recyklácia, spaľovanie).*“<sup>5</sup> Ako vidieť kompletná LCA analýza vyzerá byť príliš náročná, než aby mohla poskytnúť rýchlu a nenákladnú odpoveď na otázku, ktorú časť výrobku inovovať. Ale odpoveď na túto otázku možno získať prostredníctvom skrátenej analýzy LCA. Skrátenú analýzu možno získať zjednodušením alebo nahradením niektorých častí analýzy LCA modelovými údajmi, alebo abstrakciou známych vzťahov medzi materiálovou náročnosťou, ich cenou a vplyvom na životné prostredie. Tieto abstrakcie vychádzajú zo skutočnosti, že vplyv na životné prostredie je priamo úmerný použitým materiálom, teda že s každým vyrobeným, prepraveným a spracovaným materiálom pri výrobe vzniká určité množstvo znečistenia a toto znečistenie sa dá modelovať aj keď nie sú aktuálne údaje z konkrétnej výroby k dispozícii. Skrátená analýza LCA využíva pre posudzovanie životného cyklu daného výrobného systému obecné kvantifikované údaje, ktoré vychádzajú zo štandardných databázových modelov obsahujúcich údaje o jednotlivých výrobných procesoch a materiáloch. Teda nemusíme vynakladať finančné prostriedky na získavanie veľkého množstva údajov, meraní a monitoringu. LCA má uplatnenie vo väčšine priemyselných sektorov. LCA poskytuje informácie nielen o výrobkoch, ale aj o interných procesoch. Tieto údaje možno využiť na zlepšovanie výkonnosti podniku. Výrobcovia základných surovín často využívajú túto analýzu s cieľom porovnávania alebo posúdenia možností recyklácie svojich produktov alebo v rámci riešenia koncepcie odpadového hospodárstva. Producenti polotovarov môžu na základe LCA poskytovať informácie svojim odberateľom a využiť zlepšené environmentálne vlastnosti svojich výrobkov pri ich propagácii. Výrobcovia finálnych výrobkov môžu využiť analýzy pre vývoj a výrobu konečných výrobkov a znižovať tak negatívne dosahy na životné prostredie, predovšetkým využitím vhodných konštrukcií a materiálov.

---

<sup>5</sup>HRICOVÁ B. 2010. *Inovácia produktov prostredníctvom metodiky posudzovania životného cyklu produktov*: KEPA. Košice: TUKE. 2010

## 2. Cieľ práce

Ako už bolo spomínané, konzumný spôsob života a nadmerná tvorba odpadu začína byť veľkým problémom v spoločnosti. S narábaním s odpadom súvisia aj viaceré ekologické problémy, ako je znečisťovanie ovzdušia, znečisťovanie vôd, ktoré majú v konečnom dôsledku dosah aj na kvalitu života a zdravie ľudí. Ďalším problémom konzumného spôsobu života je intenzívne využívanie neobnoviteľných prírodných zdrojov. Intenzívne využívanie neobnoviteľných prírodných zdrojov spôsobuje tiež viaceré ekologické problémy, a teda v konečnom dôsledku spôsobuje horšiu kvalitu životného prostredia a zdravia ľudí. Preto v záujme ochrany a zlepšenia životného prostredia je potrebné venovať sa spracovaniu a narábaniu s odpadom.

Ciele tejto práce vychádzajú zo snahy vytvoriť celistvý pohľad na spracovanie odpadov, ktoré sú dobre recyklovateľné a dajú sa z nich získavať základné suroviny, ktoré môžu byť opäť použité vo výrobnom procese. Hlavným cieľom práce je vytvoriť teoretický model spracovania odpadov. Pri vytváraní modelu využívame prístupy sieťovej analýzy a teórie grafov. Pri vytváraní teoretického modelu spracovania odpadov kladieme dôraz na minimalizáciu nákladov spojených s prepravou a spracovaním odpadu.

Prvým čiastkovým cieľom pri tvorení modelu je vymedzenie predpokladov, z ktorých model vychádza. Prostredníctvom týchto predpokladov bude možné dotvárať model a stanoviť niektoré princípy, na základe ktorých bude môcť daný model fungovať.

Ďalším čiastkovým cieľom je grafické vytvorenie modelu. Na grafické vytvorenie modelu používame prístupy z teórie grafov, ktoré sú spomenuté v 3. kapitole práce s názvom Metodika práce a metódy skúmania. Na grafické vytvorenie modelu nám slúži sieťový graf a bude vychádzať z predpokladov. Pomocou sieťového grafu sa snažíme zachytiť možnosti spracovania jedného druhu odpadu.

Posledným čiastkovým cieľom je vyriešenie modelu a analýza výsledkov riešenia. Na riešenie modelu používame metódy a programové prostriedky, ktoré sú bližšie spomenuté v 3. kapitole práce s názvom Metodika práce a metódy skúmania. Vyriešenie modelu pozostáva z viacerých krokov. Najskôr model formulujeme

a riešime ako úlohu lineárneho programovania pomocou programu GAMS. V ďalšom kroku model riešime pomocou simulácie prostredníctvom programu Simul8. Po vyriešení modelu porovnáme obidve metódy a analyzujeme výsledky riešenia. Vyriešený model určuje materiálové toky odpadu s cieľom minimalizácie prepravných a spracovateľských nákladov. Na základe týchto tokov by mal byť vidieť stav v spracovaní odpadov. Podľa tohto stavu možno posúdiť, ktorý sektor má rezervy pri spracovaní odpadu a vytvoriť plán pre zlepšenie. Prostredníctvom vytvoreného modelu možno sledovať, ako sa menia náklady pri zmene rozloženia toku odpadu, čo môže poslúžiť ako nástroj pri tvorbe programu odpadového hospodárstva.

### 3. Metodika práce a metody skúmania

#### 3.1 Sieťová analýza

Sieťová analýza tvorí pomerne samostatnú oblasť aplikácie teórie grafov do oblasti technicko-ekonomickej. Sieťová analýza sa ďalej zaoberá aplikáciou poznatkov z teórie grafov do oblasti plánovania zložitých akcií (projektov), ktorých realizácia vyžaduje splnenie celého radu na seba nadväzujúcich čiastkových činností. Z hľadiska zatriedenia môžeme metódy sieťovej analýzy zaradiť skôr medzi heuristické metódy, pretože ich rozhodujúcu etapu – zostrojenie sieťového grafu nevieme úspešne algoritmizovať. Sieťová analýza sa využíva v mnohých ekonomických, rozhodovacích procesoch, predovšetkým pri organizácii práce, projektovaní výstavby investičných celkov, projektovaní výskumných prác, pri príprave a rekonštrukcii stavieb, organizácii prepravy tovaru a podobne.

Najznámejšie problémy, ktoré možno riešiť metódami sieťovej analýzy sú:

- **úloha najkratšej cesty v sieti** – úloha výberu cesty spájajúcich dve miesta v dopravnej sieti tak, aby sa získala minimálna celková dĺžka cesty,
- **najkratšia okružná cesta** (úloha obchodného cestujúceho) – nájdenie takej najkratšej cesty v sieti, pričom treba prejsť všetkými uzlami v sieti a cesta sa začína a končí v tom istom uzle a počet prejdených kilometrov musí byť minimálny,
- **úloha čínskeho poštára** – nájdenie takej cesty v sieti, aby sa prešli všetky cesty (hrany), pričom cesta sa začína a končí v tom istom uzle a počet prejdených kilometrov musí byť minimálny,
- **úloha rozvozu materiálu** – nájdenie takej cesty v sieti, aby boli odberateľom dodané požadované množstvá pri rešpektovaní kapacity dopravného prostriedku a počet prejdených kilometrov bol minimálny,
- **úloha optimálneho (maximálneho alebo minimálneho) toku v sieti** – určenie maximálneho (minimálneho) toku v sieti medzi zdrojom a miestom určenia,
- **úloha kritickej cesty v sieti** – časový rozpis výkonu na seba nadväzujúcich operácií, pri ktorom sa používajú napríklad metódy CPM (critical path method) alebo PERT (Program evaluation and review technique).

Pre riešenie úloh sieťovej analýzy treba zostrojiť sieťový graf. Sieťový graf je ohodnotená orientovaná grafická štruktúra predstavujúca model projektu. Sieťový graf tvoria:

- **uzly (vrcholy)** – uzol predstavuje stav dosiahnutý určitou činnosťou, predstavuje okamih začatia alebo ukončenia jednej alebo súboru činností, vyjadruje takto logickú väzbu medzi činnosťami, ktorá znamená, že činnosti vystupujúce z uzla sa nemôžu začať skôr, ako sa skončia všetky činnosti do uzla vstupujúce,
- **hrany** – hrana vyjadruje v sieťovom grafe činnosť, môže ísť o činnosť reálnu (skutočne sa vykonáva) alebo o činnosť fiktívnu (zdanlivú), reálna činnosť sa zobrazuje plnou čiarou, fiktívna činnosť sa zobrazuje čiarkovanou čiarou, hrana má dynamický charakter, lebo na priebeh činností sa vyžaduje čas, pracovné prostriedky, energia a vynaloženie ľudskej práce.

Zostavenie sieťového grafu možno rozdeliť do 3 fáz:

- **1. fáza** – v prvej fáze ide o zostavenie zoznamu všetkých činností potrebných na realizáciu zadaného projektu, nasleduje vyhodnotenie typu väzieb medzi činnosťami, môže ísť o bezprostrednú časovú následnosť, súbežnosť alebo vzájomnú závislosť,
- **2. fáza** – v druhej fáze ide o vytvorenie grafického modelu, rešpektujúceho vyššie uvedené vlastnosti jednotlivých činností a ohodnotenie grafického modelu,
- **3. fáza** – v tretej fáze ide o výpočet všetkých charakteristík sieťového grafu, ich analýzu a vyvodenie záverov pre jednotlivé činnosti projektu a pre projekt ako celok.

## 3.2 Maximálny tok v sieti

Problém recyklácie modelujeme pomocou nákladovo ocenených tokov v sieti. Pri nákladovo ocenených tokoch v sieti nejde len o nájdenie maximálnych hodnôt ako pri úlohe maximálneho toku. Pri úlohe maximálneho toku sa rieši iba technická, ale nie ekonomická stránka problému. V našich modeloch požadujeme, aby daný tok prešiel sieťou tak, aby sa minimalizovali náklady spojené s realizáciou toku.

Pre formuláciu úlohy s ocenenými tokmi predpokladáme, že toky po hranách sú spojené s konštantnými nákladmi na jednotku toku. Náklady toku po hrane sú potom dané súčinom jednotkových nákladov a veľkosti toku. Označujeme:

$x_{ij}$  – tok po hrane  $ij$ ,

$c_{ij}$  – náklady jednotkového toku po hrane  $ij$ ,

$r_{ij}$  – maximálna kapacita toku po hrane  $ij$ ,

$\delta_j$  – stratový koeficient pre uzol, do ktorého smeruje hrana  $ij$ ,

$U$  – vstupný tok.

Pomocou týchto veličín možno formulovať úlohu hľadajúcu maximálny tok v sieti s minimálnymi nákladmi:

minimalizovať  $\sum c_{ij} x_{ij}$ , za podmienok

$$0 \leq x_{ij} \leq r_{ij}$$

$$\sum_i x_{is} - \sum_j x_{sj} = -U; \quad s = 1$$

$$\sum_i x_{is} - \delta_j \sum_j x_{sj} = 0; \quad s \neq 1, n$$

$$\sum_i x_{is} - \sum_j x_{sj} = U; \quad s = n$$

### ***Primárny algoritmus na riešenie úlohy***

Algoritmus má názov odvodený od postupu, ktorý sa začína nájdením prípustného toku, od ktorého sa potom dostaneme k toku optimálnemu. Rieši sa ním úloha vtedy, keď veľkosť tokov v sieti sa približuje k hodnote minimálneho rezu alebo sa jej priamo rovná. Postup sa dá opísať v troch krokoch:

1. Nájdenie prípustného toku o  $U$  jednotkách medzi vstupom a výstupom. Na to sa dá použiť ľubovoľný postup pre nájdenie maximálneho toku v sieti (napr. algoritmus pre plochý graf alebo značkovací algoritmus), ktorý sa skončí, keď sa dosiahne  $U$  jednotiek toku. Niekedy sa dá priamo riešenie nájsť odhadom.
2. Definujú sa modifikované náklady  $c'_{ij}$ .



3. Pri použití modifikovaných nákladov  $c'_{ij}$  ako vzdialeností hľadáme negatívny cyklus v sieti, t. j. cyklus, na ktorom je celková hodnota nákladov záporná. Keď v sieti existuje negatívny cyklus na báze modifikovaných nákladov, je nájdený tok nákladovo minimálny. Keď negatívny cyklus existuje, vypočítame veľkosť zmeny toku v cykle ako  $\min(r_{ij} + x_{ij}; x_{ij})$  a pridáme ju k tomu v cykle. Potom sa vrátíme na krok 2. Keď je v sieti viacero negatívnych cyklov, vezmeme do úvahy ktorýkoľvek z nich, prípadne ten, ktorý ma v absolútnej hodnote najviac zápornú hodnotu cyklu.

### 3.3 Lineárne programovanie

Poznáme veľký počet prístupov zaoberajúcich sa optimalizáciou rozhodovacích procesov. Medzi najčastejšie využívané prístupy patria prístupy matematického programovania a lineárneho programovania. Lineárne programovanie patrí dlhodobo v praxi k pomerne často používaným kvantitatívnym nástrojom na podporu rozhodovacieho procesu.

Matematické programovanie možno zaradiť medzi základné metódy operačného výskumu, ktoré umožňujú transformovať reálne ekonomické operácie a procesy do matematických modelov. Teória matematického programovania bola vypracovaná na riešenie otázok efektívneho využívania ohraničených disponibilných zdrojov, ktoré sú potrebné na dosiahnutie stanovených cieľov.

Matematické programovanie sa pomerne často využíva pri riešení problémov optimálneho využitia surovín, materiálu, strojov a zariadení, počtu pracovníkov, investičných a finančných prostriedkov a podobne. „Pre matematické programovanie je charakteristické, že umožňuje relatívne presne kvantitatívne hodnotiť výber určitého riešenia z väčšieho množstva možných riešení, ktoré je z hľadiska matematicky formulovaného cieľa najlepšie.“<sup>6</sup>

V úlohách matematického programovania je cieľ definovaný pomocou jednej alebo viacerých účelových funkcií. Ohraničujúce podmienky sa nazývajú aj štrukturálne

---

<sup>6</sup>BREZINA, I. – IVANIČOVÁ, Z. – PEKÁR, J. 2007. *Operačná analýza*. Bratislava : Iura Edition, 2007. ISBN 978-80-8078-176-7.

podmienky. Štruktúrne podmienky opisujú vnútornú štruktúru systému, jeho prvky väzby medzi nimi a väzby systému s okolím. Schéma úlohy matematického programovania je uvedená v *Tabuľke č. 3*.

*Tabuľka č. 3* Schéma úlohy matematického programovania.

Sledované ciele	$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$ $f_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ... $f_k(x_1, x_2, \dots, x_n)$	Účelové funkcie
Podmienky	$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$ $g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$ ... $g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$	Štruktúrne podmienky rozhodnutia
Špeciálne podmienky pre premenné	$x_j \geq 0$	Podmienky nezápornosti
	$x_j \in D_j$	Dodatočné podmienky

Zdroj : BREZINA, I. – IVANIČOVÁ, Z. – PEKÁR, J. 2007. *Operačná analýza*. Bratislava : Iura Edition, 2007.

### 3.4 Program GAMS

Optimálne riešenie pre jednotlivé modely budeme počítat' pomocou programu GAMS. GAMS (General Algebraic Modeling System) všeobecný algebraický modelovací systém je vysokoúrovňový programovací jazyk, ktorý sa používa na modelovanie reálneho sveta. „GAMS namodelované problémy nerieši, ale ich iba posúva kompatibilnému samostatnému programu na riešenie optimalizačných úloh (solveru), a teda slúži ako interface medzi užívateľom a približne tridsiatimi solvermi. Bol navrhnutý s cieľom spraviť modelovanie jednoduchším a prehľadnejším. Umožňuje nám používať prirodzenú matematickú formuláciu modelov, kým solvre si vyžadujú

špeciálnu vstupnú formu, ktorá je navyše pre väčšinu z nich rozdielna. Úpravu do takéhoto tvaru zabezpečí GAMS a my sa môžeme vďaka tomu sústrediť na matematickú formuláciu modelu a nezaťažovať sa technickými detailmi.<sup>7</sup> Medzi základné príkazy, ktoré aj my používame na vyriešenie modelov, patria:

- **Dátový typ skalár** – pomocou tohto dátového typu môžeme zadať iba parameter dimenzie 0, k jednému identifikátoru prislúcha iba jedno konkrétne číslo, dátový typ skalár môžeme inicializovať už počas deklarácie alebo ho môžeme priradiť identifikátoru pomocou priraďovacieho príkazu, v našom prípade pomocou skalára vyjadrujeme náklady, napríklad:

```
scalar a "naklady na materialové spracovanie 1t" /470/  
scalar c "naklady na skladkovanie" /555/
```

- **Dátový typ premenná** – dátový typ premenná slúži na deklaráciu neznámych v modeli a na manipuláciu s nimi, dátový typ premenná sa neinicializuje, napríklad:

```
positive variables  
  
x12, x13, x14,
```

v našom prípade budeme za používať kľúčové slovo positive, čo bude zabezpečovať nezápornosť premenných,

- **dátový typ rovnica** – dátový typ rovnica v sebe zahŕňa všetky typy ohraničení z matematickej formulácie modelu, deklarácia a definícia dátového typu rovnica musí prebehnúť oddelene, v našom prípade budeme pomocou dátového typu rovnica deklarovať a definovať účelovú funkciu a jednotlivé ohraničenia, napríklad:

```
equations  
  
UF ucelova funkcia;
```

---

<sup>7</sup>DROZDÍK J. 2006. *Všeobecný algebraický modelovací systém – GAMS* : diplomová práca. Bratislava. UK. 2006

- **dátový typ model** – dátový typ model slúži na spojenie rovníc do jedného súboru, čím sa vytvorí model; do modelu možno zahrnúť ktorúkoľvek rovnicu, ktorá bola už deklarovaná, v našom prípade zahrnieme do modelu všetky rovnice,  

```
model papier/all/;
```
- **príkaz solve** – keď máme zostavený model, všetky rovnice a parametre sú definované, môžeme ho vyriešiť, riešenie modelu zabezpečuje príkaz solve.  

```
solve papier using lp minimizing z;
```

### 3.5 Simulácia a program Simul8

Naše modely riešime aj pomocou simulácie. Simuláciu možno zaradiť k dôležitým a užitočným nástrojom pre rozhodovanie. Simulácie sa najčastejšie využívajú v obchodnej oblasti, kde obvykle ide o rozhodnutia spojené s maximalizáciou zisku. Časté využitie simulácií možno vidieť aj pri výskume rôznych prírodných systémov vo fyzike, chémii a biológii, pri sledovaní správania skupiny jednotlivcov v ekonómii, psychológii, a tiež pri optimalizácii technologických postupov.

Program Simul8 je produktom firmy Simul8 Corporation a je určený na modelovanie podnikových procesov na báze simulácie diskretných udalostí. Simulácia diskretných udalostí je metóda analýzy správania zložitých podnikových systémov pomocou experimentovania s počítačovým modelom. Pri diskretnej simulácii nenastávajú zmeny v systéme priebežne, ale iba v okamihu výskytu pre systém dôležitých udalostí. Program Simul8 nám umožňuje vytvoriť vizuálny model skúmaného systému a animáciu behu systému. Medzi základné stavebné prvky, ktoré aj my využívame pri našej simulácii, sú:

- **work item** (pracovná položka, entita) – work item modeluje dynamické objekty (fyzické či logické) pohybujúce sa systémom, entity vstupujú do systému, vyvolávajú rôzne aktivity, využívajú rôzne zdroje a nakoniec systém opúšťajú, v našom prípade je work item odpadový materiál určený na spracovanie,
- **work entry point** (vstup) – vstupné body predstavujú objekty, ktoré zachytávajú vstup entít do systému,
- **work center** (aktivita, činnosť, pracovisko) – činnosti predstavujú objekty, ktoré modelujú aktivity, ktorými prechádzajú entity, na vykonanie aktivity sa obvykle

vyžadujú určité zdroje, v našom prípade budú work centrá predstavovať možnosti narábania s odpadom a možnosti jeho spracovania,

- **storage bin** (zásobník, fronta) – zásobníky predstavujú objekty, ktoré modelujú hromadenie entít (skladisko, fronta), zásobníky obvykle predchádzajú aktivitám, v zásobníku entity čakajú na spracovanie aktivitou,
- **work exit point** (výstup) – výstupný bod predstavuje miesto, kadiaľ entity opúšťajú modelovaný systém, v našom prípade work exit point predstavuje materiálové straty pri výrobe,
- **resource** (zdroj) – zdroje predstavujú objekty, slúžiace pre modelovanie obmedzených kapacít pracovníkov, materiálu či výrobných prostriedkov, ktoré sú využívané pri aktivitách (činnostiach),
- **route** (cesta) – cesty predstavujú objekty, ktoré spájajú ostatné simulačné objekty, znázorňujú nadväznosť aktivít, čím určujú pohyb entít systémom,
- **tank** (nádrž) – tank je nádrž, ktorá môže obsahovať nejaké množstvo materiálu, je to podobný objekt ako zásobník, ale zásobník môže obsahovať iba diskkrétne množstvá materiálu, v našom prípade tank predstavuje vstupný bod simulácie.

## 4. Výsledky práce a diskusia

Kapitola výsledky práce a diskusia spracováva predpoklady a pojmový aparát z predchádzajúcej časti do konkrétnych modelov. V našej práci vytvárame dva modely. Prvý model sa zaoberá recykláciou opotrebovaných pneumatík. Druhý model sa zaoberá recykláciou odpadového papiera.

Model 1 rieši problém recyklácie opotrebovaných pneumatík prostredníctvom nákladovo ocenených tokov v sieti. Pri nákladovo ocenených tokoch sa nerieši len maximálny tok, ale aj ekonomická stránka problému. Prvý krok tvorby modelu pozostáva z formulácie predpokladov pre model 1. Ďalší krok tvorby modelu 1 je grafická formulácia a následne zápis úlohy lineárneho programovania. Posledným krokom bude riešenie modelu. Model 1 riešime pomocou programu GAMS. Následne urobíme simuláciu modelu prostredníctvom programu Simul8. V závere podkapitoly modelu 1 porovnáваме výsledky, ktoré nám poskytne program GAMS a simul8 a interpretujeme.

Model 2 rieši problém recyklácie odpadového papiera takisto prostredníctvom nákladovo ocenených tokov v sieti. Prvý krok tvorby modelu 2 pozostáva z formulácie predpokladov. Následne model formulujeme graficky a ako úlohu lineárneho programovania. Ďalším krokom je vyriešenie modelu prostredníctvom programu GAMS. A takisto sa pokúsime o simuláciu modelu pomocou programu Simul8, ktorá slúži na porovnanie údajov, ako aj na doplnenie údajov. V závere podkapitoly modelu 2 porovnáваме a interpretujeme výsledky, ktoré nám poskytujú obidva programy.

### 4.1 Model 1 – opotrebované pneumatiky

#### 4.1.1 *Predpoklady pre model 1 – opotrebované pneumatiky*

##### *Predpoklad číslo 1 – časový interval*

Predpoklad číslo 1 pre model 1 hovorí, že budeme v celej sieti uvažovať s hodnotami, ktoré sú získavané za jeden kalendárny rok. Začiatočným dňom pre získavanie údajov bude 1. január modelovaného roku a koncovým dňom bude 31. december modelovaného roku.

### ***Predpoklad číslo 2 – homogénnosť suroviny***

Predpoklad číslo 2 pre model 1 hovorí, že v celej sieti uvažujeme so surovinou opotrebovaná pneumatika. Hodnoty sú vyjadrené v mernej jednotke jedna tona z dôvodu lepšej manipulácie s údajmi.

### ***Predpoklad číslo 3 - ocenenie hrany***

Ocenenie hrany  $c_{ij}$  predstavuje súčet ročných nákladov vynaložených na tok opotrebovaných pneumatík hranou  $ij$  a na spracovanie uzlom, do ktorého hrana  $ij$  ústi, vydelení množstvom opotrebovaných pneumatík, ktorá prejde hranou  $ij$ . Teda ocenenie hrany je vyjadrené v mernej jednotke eurách/1 tonu. Jednotlivé ocenenia sme vyjadrili podľa vzorca

$$c_{ij} = \frac{CTG_{ij} + CPG_{ij}}{N} \quad [\text{€/ton}], \text{ kde}$$

$CTG_{ij}$  – predstavujú ročné náklady na tok opotrebovaných pneumatík hranou  $ij$ ,

$CPG_{ij}$  – predstavujú ročné náklady na činnosť uzla do ktorého hrana  $ij$  ústi, spojené so spracovaním opotrebovaných pneumatík,

$N$  – predstavuje množstvo opotrebovaných pneumatík, ktoré prejdú hranou  $ij$  za jeden rok.

### ***Predpoklad č.4 – maximálna priepustnosť hrany***

Ohodnotenie  $r_{ij}$  predstavuje maximálnu priepustnosť hrany  $x_{ij}$ . V modeli 1 predstavujú jednotlivé uzly možnosti spracovania a tie sú limitované spracovateľskými kapacitami. Aby sme nepresiahli tieto spracovateľské kapacity, nastavíme maximálnu priepustnosť hrany na maximálnu spracovateľskú kapacitu. Jednotliví spracovatelia majú rôzny dopyt po surovine a preto môže maximálna priepustnosť hrany vyjadrovať aj tento dopyt. Teda ohodnotenie  $r_{ij}$  predstavuje:

- maximálnu ročnú kapacitu všetkých spracovateľských podnikov, ktoré spracovávajú opotrebované pneumatiky, teda v tomto prípade vyjadríme maximálnu priepustnosť pre hranu  $ij$  podľa vzorca:

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^n r_k, \quad k=1, 2, \dots, n, \text{ kde}$$

$r_k$  – spracovateľská kapacita podniku  $k$ ,

$n$  – počet závodov, ktoré spracovávajú opotrebované pneumatiky.

- maximálny ročný dopyt po opotrebovaných pneumatikách všetkými podnikmi, ktoré sa zaoberajú rovnakou spracovateľskou činnosťou, teda v tomto prípade vyjadríme maximálnu priepustnosť pre hranu  $ij$  podľa vzorca:

$$r_{ij} = \sum_{d=1}^n r_d, \quad d = 1, 2, \dots, n, \text{ kde}$$

$r_d$  – dopyt podniku  $d$  po opotrebovaných pneumatikách,

$n$  – počet podnikov zaoberajúcich sa rovnakou spracovateľskou činnosťou.

#### ***predpoklad č. 5 – vstupná hodnota***

Vstupná hodnota predstavuje súčet ročnej produkcie opotrebovaných pneumatík v tonách. Vstupnú hodnotu vyjadríme pomocou vzorca:

$$U = \sum_{i=1}^n u_i \quad i = 1, 2, \dots, n, \text{ kde}$$

$u_i$  – predstavuje množstvo opotrebovaných pneumatík, ktoré vyprodukuje subjekt  $i$  za jeden rok,

$n$  – predstavuje počet subjektov, ktorý produkujú opotrebované pneumatiky.

#### ***4.1.2 Grafická formulácia modelu***

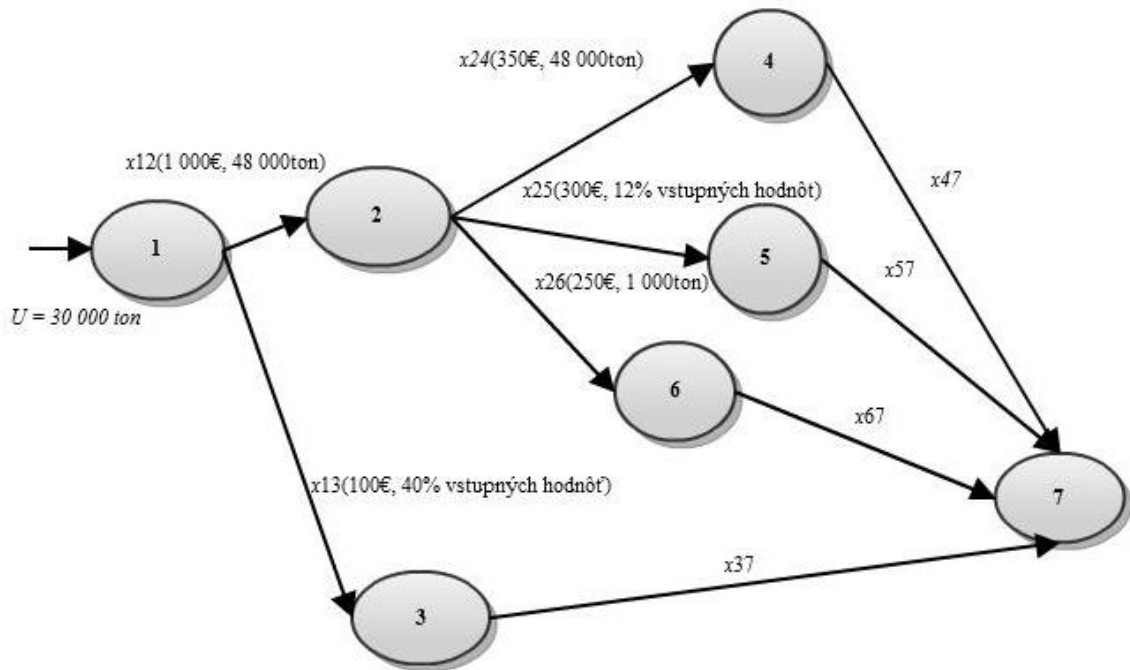
Uvažujeme nad úlohou nájdenia maximálneho toku v sieti pri minimalizácii nákladov. Hranové ohodnotenie v tvare  $x_{ij}(c_{ij}, r_{ij})$  znamená tok hranou, kde  $c_{ij}$  predstavuje ocenenie a  $r_{ij}$  maximálnu priepustnosť. Ocenenie predstavujú jednotkové náklady na spracovanie 1 tony. Úloha je graficky znázornená na *Obrázku č. 6*, kde:

- uzol 1 – vstupná hodnota,
- uzol 2 – spracovanie na drvinu,
- uzol 3 – zhodnotenie spaľovaním,
- uzol 4 – spracovanie drviny ako prímies do asfaltu,
- uzol 5 – využitie drviny v stavebnom priemysle,
- uzol 6 – využitie drviny v automobilovom priemysle,



➤ uzol 7 – spracované množstvo.

Obrázok č. 6 Grafická formulácia modelu opotrebované pneumatiky



Zdroj: autor

Z Obrázku č. 6 vidno, že ročná produkcia vyradených pneumatík sa odhaduje na 30 000 ton. V súčasnej dobe sa materiálovo zhodnocuje okolo 45 %. Recyklačný fond sa zaviazal zvýšiť toto číslo na 60 %, preto nastavíme ohraničenie na spaľovanie maximálne na 40 % ročnej produkcie. Využitie v stavebnom priemysle je najviac ovplyvňované budovaním detských ihrísk a športovísk s umelou trávou. V našom modeli predpokladáme, že v stavebnom priemysle by sa mohlo využiť maximálne 12 % celkovej ročnej produkcie. Dopyt v automobilovom priemysle odhadujeme na 1 000 ton. Ďalej budeme predpokladať z materiálovými stratami pri výrobe a spracovaní. Materiálové straty sú vytvorené na základe odhadu autora a sú uvedené v *Tabuľke č. 4*.

Tabuľka č. 4 Materiálové straty pri výrobe pre model 1 opotrebované pneumatiky

Názov	strata
Spracovanie na drvinu	5%
Prímes do asfaltu	3%
Využitie v stavebnom priemysle	3%
Využitie v automobilovom priemysle	3%

Zdroj: autor

### 4.1.3 Formulácia modelu ako úloha lineárneho programovania

#### Premenné vystupujúce v modeli:

Prvé 2 premenné vyjadrujú počet opotrebovaných pneumatík určených na:

$x_{12}$  materiálové spracovanie (rozdrvenie), merná jednotka 1 tona,

$x_{13}$  – spálenie (energetické zhodnotenie), merná jednotka 1 tona.

Nasledujúce 3 premenné vyjadrujú počet rozdrvených opotrebovaných pneumatík určených na spracovanie ako:

$x_{24}$  – prímes do asfaltu, merná jednotka 1 tona,

$x_{25}$  – využitie v stavebnom priemysle, merná jednotka 1 tona,

$x_{26}$  – využitie v automobilovom priemysle, merná jednotka 1 tona.

Nasledujúce 4 premenné vyjadrujú množstvo pneumatík, ktoré boli spracované:

$x_{37}$  – ako prímes do asfaltu po materiálovej strate pri výrobe, merná jednotka 1 tona,

$x_{47}$  – na druhotný výrobok využiteľný v stavebnom priemysle po materiálovej strate pri výrobe, merná jednotka 1 tona,

$x_{57}$  – na druhotný výrobok využiteľný v automobilovom priemysle po materiálovej strate pri výrobe, merná jednotka 1 tona,

$x_{67}$  – v cementárniach a boli energeticky zhodnotené, merná jednotka 1 tona.

### Účelová funkcia modelu 1.

Účelová funkcia modelu 1 bola vytvorená na základe metodiky uvedenej v kapitole 3 tejto práce z názvom Metodika práce a metódy skúmania.

$$\text{Min } 1\,000x_{12} + 100x_{13} + 350x_{24} + 300x_{25} + 250x_{26}$$

### Ohraničenia modelu číslo 1.

Ohraničenia modelu boli taktiež vytvorené na základe metodiky uvedenej v kapitole 3 tejto práce. Prvých 5 ohraničení vyjadruje maximálnu kapacitu pre jednotlivé hrany. Nasledujúcich 6 ohraničení vyjadruje tok v sieti spolu s materiálovými stratami v jednotlivých uzloch.

$$x_{12} \leq 48\,000$$

$$x_{13} \leq 0.4 \cdot 30\,000$$

$$x_{24} \leq 48\,000$$

$$x_{25} \leq 0.12 \cdot 30\,000$$

$$x_{26} \leq 1\,000$$

$$x_{12} + x_{13} = 30\,000$$

$$0.95x_{12} - (x_{24} + x_{25} + x_{26}) = 0$$

$$x_{47} - 0.97x_{24} = 0$$

$$x_{57} - 0.97x_{25} = 0$$

$$x_{67} - 0.97x_{26} = 0$$

$$x_{37} - x_{13} = 0$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 7, \quad j = 1, 2, \dots, 7$$

Úlohu riešime ako úlohu lineárneho programovania v programe GAMS.

### *Zdrojový kód z programu GAMS pre model 1 – opotrebované pneumatiky*

```
scalar a "naklady na spracovanie 1t" /1000 /
scalar b "naklady na spalovanie 1t" /100 /
scalar c "naklady na pouzitie v stavebnom priemysle" /300/
scalar d "naklady na primes do asfaltu " /350 /
scalar e "naklady na pouzitie v automobilovom priemysle"
/250/
```

```

scalar U "celkova ponuka na spracovanie" /30000 /
scalar M /999999999999/
positive variables
x12,x13,x24,x25,x26,x47,x57,x67,x37;
variables
z Ucelova funkcia ;
equations
UF ucelova funkcia
ohr1,ohr2,ohr3,ohr4,ohr5,ohr6,ohr7,ohr8,ohr9,ohr10,ohr11 ;
UF.. z=e=a*x12 + b*x13 + d*x24 + c*x25 + e*x26 ;
ohr1.. x12 =l= 48000;
ohr2.. x13 =l= 0.40*U;
ohr3.. x24 =l= 48000;
ohr4.. x25 =l= 0.12*U;
ohr5.. x26=l= 1000;
ohr6.. x12+x13=e=U;
ohr7.. x24+x25+x26=e=x12*0.95;
ohr8.. x47-0.97*x24=e=0;
ohr9.. x57-0.97*x25=e=0 ;
ohr10.. x67-0.97*x26=e=0 ;
ohr11.. x37-x13=e=0;
model pneumatiky/all/;
solve pneumatiky using lp minimizing z

```

#### **4.1.4 Výstup z programu GAMS – opotrebované pneumatiky**

Výstup na *Obrázku č. 7* hovorí, že sme riešili úlohu lineárneho programovania. Minimalizovali sme účelovú funkciu z. Účelová funkcia vyjadruje celkové náklady potrebné na spracovanie ročnej produkcie odpadu z opotrebovaných pneumatík. Na riešenie bol použitý solver CPLEX. Riadok model status hovorí, že sa nám podarilo nájsť optimálne riešenie úlohy. Toto optimálne riešenie dosahuje hodnotu 24 905 000€ čo nám hovorí riadok objective value.

Obrázok č. 7 Výstup z programu GAMS

```

                S O L V E      S U M M A R Y

MODEL   pneumatiky      OBJECTIVE   z
TYPE    LP              DIRECTION   MINIMIZE
SOLVER  CPLEX          FROM LINE  51

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    24905000.0000
```

Zdroj: autor

Na *Obrázku č. 8* možno vidieť hodnoty, ktoré dosahujú jednotlivé neznáme, ako aj hodnotu účelovej funkcie. Tieto hodnoty vyjadrujú tok vyradených pneumatík v celom modeli. Hodnoty sú vyjadrené v tonách. Pre lepšiu interpretáciu môžeme toto riešenie vyjadriť aj graficky, čo je znázornené na *Obrázku č. 9*.

Obrázok č. 8 Výstup z programu GAMS

```

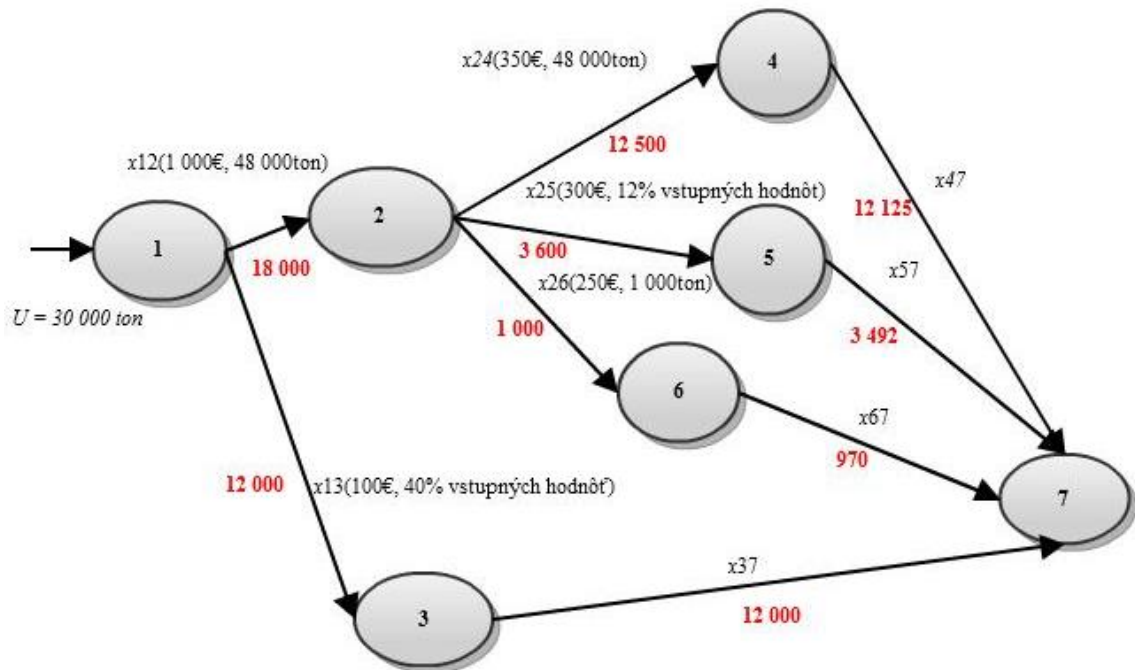
                LOWER      LEVEL      UPPER      MARGINAL

---- VAR x12          .      18000.000      +INF      .
---- VAR x13          .      12000.000      +INF      .
---- VAR x24          .      12500.000      +INF      .
---- VAR x25          .      3600.000      +INF      .
---- VAR x26          .      1000.000      +INF      .
---- VAR x47          .      12125.000      +INF      .
---- VAR x57          .      3492.000      +INF      .
---- VAR x67          .      970.000      +INF      .
---- VAR x37          .      12000.000      +INF      .
---- VAR z            -INF  2.4905E+7      +INF      .
```

Zdroj: autor

## Grafické zobrazenie vyriešenej úlohy

Obrázok č. 9 Grafické vyriešenie modelu opotrebované pneumatiky



Zdroj: autor

Na *Obrázku č. 9* je vidieť, že ohraňenie pre spaľovanie je maximálne naplnené, a teda sa preferuje spaľovanie pred spracovaním a výrobou druhotných surovín. Hlavným dôvodom sú vysoké náklady na výrobu druhotných surovín a malý dopyt po týchto výrobkoch. Ďalej na *Obrázku č. 9* je vidieť, že pri materiálovom spracovaní sa preferuje využitie v stavebnom a automobilovom priemysle pred využitím ako prímes do asfaltu, a to taktiež hlavne z ekonomických dôvodov.

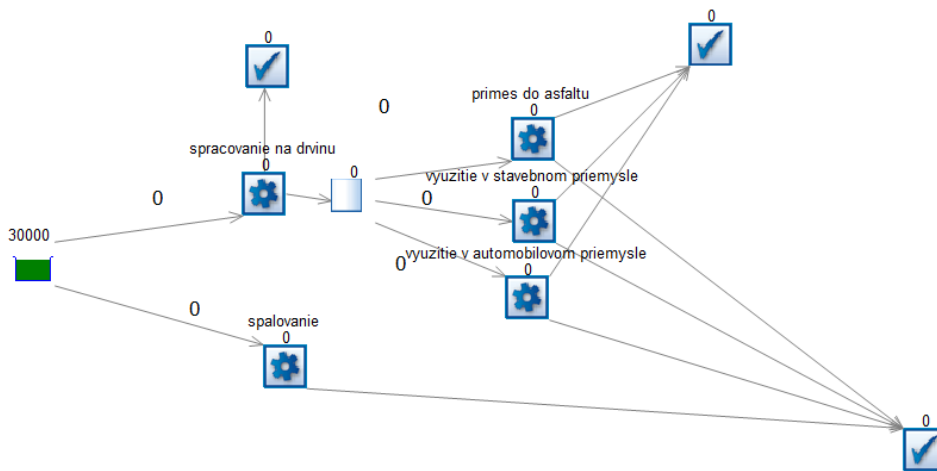
Keby sme chceli v našom konkrétnom modeli zvýšiť percento využitia opotrebovaných pneumatík na druhotné výrobky, bolo by to možné, a to buď podporou dopytu po druhotných výrobkoch, alebo redukciov nákladov na využitie ako prímes do asfaltu.

### 4.1.5 Simulácia modelu I. – opotrebované pneumatiky

Pre overenie správnosti riešenia úlohy, môžeme zostrojiť simulačný model. Simulačný model bude rešpektovať také isté ohraňenia a predpoklady, aké platia pre

optimalizačnú časť. Na *Obrázku č. 10* je zobrazený začiatkový stav simulácie. Začiatková hodnota je nastavená na 30 000 ton, čo vyplýva z predpokladu číslo 5.

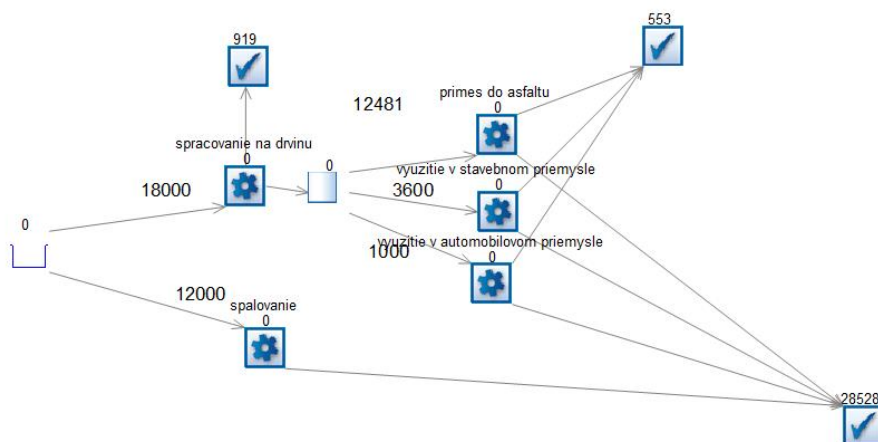
*Obrázok č. 10* Začiatkový stav simulácie pre model opotrebované pneumatiky



Zdroj: autor

Po skončení simulácie možno získať hodnoty, ktoré sú zobrazené na *Obrázku č. 11*. Z *Obrázku č. 11* možno vidieť, že jednotlivé hrany dosahujú skoro rovnaké hodnoty ako pri riešení úlohy pomocou programu GAMS. Ďalej možno vidieť hodnoty materiálových strát pri spracovaní a výrobe, ktoré vyjadrujú bunky exit 1 (919 ton) a exit 2( 553ton). Iná hodnota sa dosahuje iba pri hrane prímes do asfaltu a to je spôsobené hlavne použitými rozdeleniami a metódami.

*Obrázok č. 11* Konečný stav simulácie pre model opotrebované pneumatiky



Zdroj: autor

Z Obrázku č. 11 teda opäť je vidieť, že ohraničenie spaľovanie je maximálne naplnené, a to z dôvodu nižších nákladov. Ďalej môžeme vidieť, že pri materiálovom spracovaní je opäť naplnené ohraničenie využitie v stavebnom a automobilovom priemysle, a to taktiež z dôvodu nižších výrobných nákladov.

Na nasledujúcom Obrázku č. 12 možno vidieť náklady na spracovanie a výrobu. Z obrázku vidno, že pri zadaných hodnotách v našom modeli sú najväčšie náklady pri spracovaní na drvinu. V našom teoretickom modeli by sme sa mohli pokúsiť o zníženie nákladov pri spracovaní na drvinu inováciou spracovateľského procesu, alebo optimalizáciou spracovateľských procesov. Takáto inovácia by následne vyvolala znížene výrobných nákladov aj pre podniky spracúvajúce gumovú drvinu, teda je vhodné pouvažovať nad tým.

Obrázok č. 12 Náklady na spracovanie a výrobu pre model opotrebované pneumatiky

Costs		€ 24 898 350.00
spracovanie na drvinu	€ 18 000 000.00	
spalovanie	€ 1 200 000.00	
primes do asfaltu	€ 4 368 350.00	
vyuzitie v stavebnom priemysle	€ 1 080 000.00	
vyuzitie v automobilovom priemysle	€ 250 000.00	

Zdroj: autor

#### 4.1.6 Model číslo 1 – Možnosti modifikácie modelu

Keď máme formulovaný a vyriešený model, môžeme sa pokúsiť o modifikáciu modelu. Pre model 1 budeme sledovať, ako sa mení účelová funkcia, keď postupne znižujeme percento spracovania opotrebovaných pneumatík spaľovaním, lebo preferujeme materiálové spracovanie pred spaľovaním. Tieto zmeny vyjadríme pomocou Tabuľky č. 5.



Tabuľka č. 5 Zmena účelovej funkcie pre model opotrebované pneumatiky

Percento spaľovania	Účelová funkcia
40	24 905 000
38	25 644 500
35	26 753 750
33	27 493 250
30	28 602 500

Zdroj: autor

Z Tabuľky č. 5 môžeme usúdiť, že keď sa budeme v našom teoretickom modeli snažiť znížiť percento opotrebovaných pneumatík, ktoré sa likvidujú spaľovaním, bude to mať za následok rast účelovej funkcie. Účelová funkcia vyjadruje celkové náklady potrebné na spracovanie ročnej produkcie odpadu z opotrebovaných pneumatík, teda náklady na spracovanie rovnakého množstva opotrebovaných pneumatík budú vyššie. 2 % pokles zneškodnenia opotrebovaných pneumatík spaľovaním vyvolá skoro 3 % nárast celkových nákladov. 10 % pokles vyvolá nárast celkových nákladov o 14,8 %.

Na základe týchto údajov môžeme povedať, že v našom teoretickom modeli je možné zvýšiť percento pneumatík, ktoré sa budú materiálovo zhodnocovať. Následkom tohto zvýšenia budú rásť náklady na spracovanie ročnej produkcie opotrebovaných pneumatík. Ďalšie následky zvýšenia materiálového zhodnocovania opotrebovaných pneumatík môžeme považovať za pozitívne. Medzi hlavné pozitívne následky môžeme zaradiť šetrenie životného prostredia a zníženie škodlivých emisií, ktoré vznikajú pri spaľovaní opotrebovaných pneumatík. Keďže vieme, že recyklát, ktorý vzniká pri materiálom zhodnocovaní opotrebovaných pneumatík, sa využíva hlavne ako prímies do asfaltu a v stavebnom priemysle na budovanie športovísk a detských ihrísk, zvýšená produkcia recyklátu by mala mať za následok zlepšenie kvality ciest a budovanie nových športovísk a detských ihrísk, čo považujeme za ďalší pozitívny následok.

## 4.2 Model 2 – odpadový papier

### 4.2.1 Predpoklady pre model 2 odpadový papier

#### ***Predpoklad č. 1 – časový interval***

Predpoklad číslo 1 pre model 2 hovorí, že budeme v celej sieti uvažovať s hodnotami, ktoré sú získavané za jeden kalendárny rok. Za kalendárny rok považujeme interval od 1. januára do 31. decembra.

#### ***Predpoklad č. 2 – homogénnosť suroviny***

Predpoklad číslo 2 pre model 2 znamená, že v celej sieti uvažujeme so surovinou odpadový papier. Pod pojem odpadový papier zaradujeme hocijaký papierový odpad, a to kartóny, lepenky, noviny, papierové obaly, papier z domácnosti, papierový prach, tetrapack. Hodnoty sú vyjadrené v mernej jednotke jedna tona z dôvodu lepšej manipulácie s údajmi.

#### ***Predpoklad č.3 - ocenenie hrany***

Ocenenie hrany  $c_{ij}$  predstavuje súčet ročných nákladov vynaložených na tok odpadového papiera hranou  $ij$  a na spracovanie uzlom, do ktorého hrana  $ij$  ústi, vydelené množstvom odpadového papiera, ktorý prejde hranou  $ij$ . Teda ocenenie hrany je vyjadrené v mernej jednotke eurách/1 tonu. Jednotlivé ocenenia sme vyjadrili podľa vzorca

$$c_{ij} = \frac{CTP_{ij} + CPP_{ij}}{N} \quad [\text{€/ton}], \text{ kde}$$

$CTP_{ij}$  – predstavujú ročné náklady na tok odpadového papiera hranou  $ij$ ,

$CPP_{ij}$  – predstavujú ročné náklady na činnosť uzla do ktorého hrana  $ij$  ústi, spojené zo spracovaním odpadového papiera,

$N$  – predstavuje množstvo odpadového papiera, ktoré prejdú hranou  $ij$  za jeden rok.

#### **Predpoklad č. 4 – maximálna priepustnosť hrany**

Ohodnotenie  $r_{ij}$  predstavuje maximálnu priepustnosť hrany  $x_{ij}$ . V modeli 2 vyjadrujú jednotlivé uzly možnosti spracovania papierového odpadu. Spracovateľské podniky však majú rôzny dopyt po rôznych kategóriách papierového odpadu. Aby sme neprekročili maximálny dopyt jednotlivých podnikov, nastavíme maximálnu priepustnosť na hodnotu maximálneho dopytu. Okrem dopytu môže ešte maximálna priepustnosť hrany vyjadrovať maximálnu spracovateľskú kapacitu. S maximálnou spracovateľskou kapacitou uvažujeme hlavne pri spracovaní odpadového papiera skládkovaním. Teda ohodnotenie  $r_{ij}$  predstavuje:

- maximálny ročný dopyt po odpadovom papieri rôznej kategórie všetkými podnikmi, ktoré sa zaoberajú spracovateľskou činnosťou tejto kategórie. V tomto prípade vyjadríme maximálnu priepustnosť pre hranu  $ij$  podľa vzorca:

$$r_{ij} = \sum_{d=1}^n r_d, \quad d = 1, 2, \dots, n, \text{ kde}$$

$r_d$  – dopyt podniku  $d$  po odpadovom papieri,

$n$  – počet podnikov zaoberajúcich sa rovnakou spracovateľskou činnosťou.

- maximálnu ročnú kapacitu všetkých spracovateľských podnikov, ktoré spracovávajú odpadový papier, teda v tomto prípade vyjadríme maximálnu priepustnosť pre hranu  $ij$  podľa vzorca:

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^n r_k, \quad k = 1, 2, \dots, n, \text{ kde}$$

$r_k$  – spracovateľská kapacita podniku  $k$ ,

$n$  – počet závodov, ktoré spracovávajú odpadový papier.

#### **predpoklad č. 5 - vstupná hodnota**

Vstupná hodnota predstavuje súčet ročnej produkcie odpadového papiera v tonách. Vstupnú hodnotu vyjadríme pomocou vzorca:

$$U = \sum_{u=1}^n u_i \quad i = 1, 2, \dots, n, \text{ kde}$$

$u_i$  – predstavuje množstvo odpadového papiera, ktoré vyprodukuje subjekt  $i$  za jeden rok,

$n$  – predstavuje počet subjektov, ktorý produkujú odpadový papier.

### ***predpoklad č. 6 – kategórie papierového odpadu***

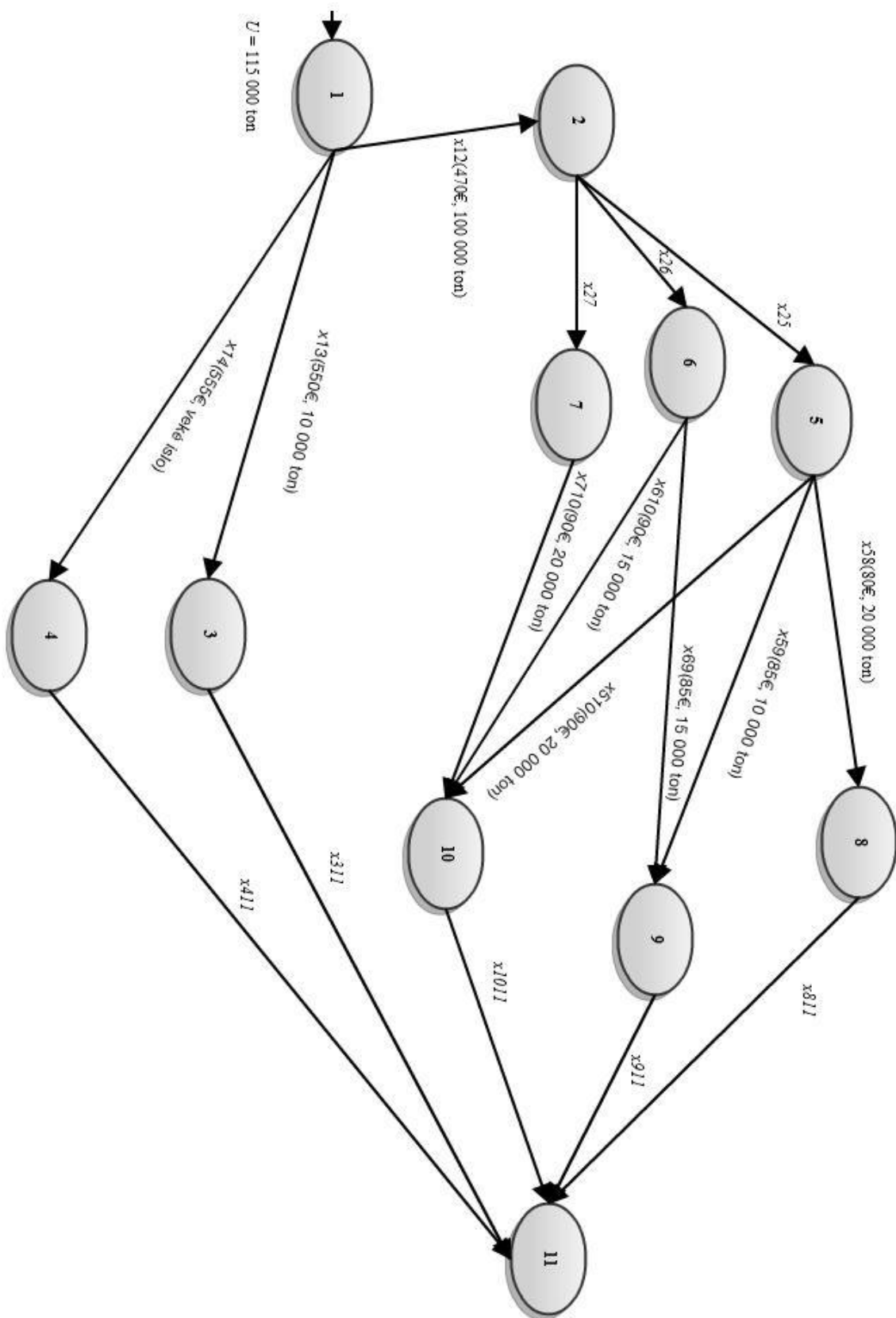
Predpoklad číslo 6 vyjadruje, že v modeli 2 rozoznávame 3 kategórie odpadového papiera. Pri triedení na základe odhadu autora sa predpokladá, že vytriedime 47 % odpadového papiera I. kategórie, 27 % odpadového papiera II. kategórie a 17 % odpadového papiera III. kategórie. Zvyšných 9 % predstavujú iné materiály, ktoré sa dostali do triediaceho procesu.

### ***4.2.2 Grafická formulácia modelu***

Opäť hľadáme maximálny tok v sieti pri minimálnych nákladoch.. Hranové ohodnotenie v tvare  $x_{ij}(c_{ij}, r_{ij})$  znamená tok hranou, kde  $c_{ij}$  predstavuje ocenenie a  $r_{ij}$  maximálnu priepustnosť. Ocenenie predstavujú jednotkové náklady na spracovanie 1 tony. Úloha je graficky zobrazená na *Obrázku č. 13*, kde:

- uzol 1 – vstupná hodnota,
- uzol 2 – materiálové zhodnotenie (3 výstupné kategórie),
- uzol 3 – spaľovanie,
- uzol 4 – skládkovanie,
- uzol 5 – I. kategória,
- uzol 6 – II. kategória,
- uzol 7 – III. kategória;
- uzol 8 – spracovanie papiera I. kategórie,
- uzol 9 – spracovanie papiera II. kategórie,
- uzol 10 – spracovanie papiera III. kategórie,
- uzol 11 – spracované množstvo.

Obrázok č. 13 Grafická formulácia modelu odpadový papier



Zdroj : autor

Na *Obrázku číslo 13* vidieť, že sa počíta s ročnou produkciou 115 000 ton papierového odpadu. Predpokladáme, že ročne sme schopní materiálovo zhodnotiť stotisíc ton. Ďalej ročne môžeme 10 000 ton papiera zhodnotiť energeticky, a to spaľovaním. Výhoda spaľovania spočíva v tom, že týmto spôsobom sa dá využiť hocijaký papierový odpad, a to kartóny, lepenky, noviny, papierové obaly, papier z domácnosti, časopisy, papierový prach, tetrapack.

Ďalej predpokladáme, na základe predpokladu číslo 6, že papier možno rozdeliť podľa kvality do troch kategórií. Predpokladáme, že ročne sa vytriedi 47 % papierového odpadu I. kategórie, 27 % papierového odpadu II. kategórie a 17 % papierového odpadu III. kategórie.

Predpokladáme, že máme 3 skupiny spracovateľských podnikov. Prvá skupina podnikov spracováva iba papierový odpad I. kategórie a ich ročná kapacita je maximálne 20 000 ton. Druhá skupina podnikov je schopná spracovať papierový odpad I. a II. kategórie, pričom ročne maximálne spracuje 10 000 ton papierového odpadu I. kategórie a 15 000 ton papierového odpadu II. kategórie. Posledná skupina podnikov spracováva papierový odpad všetkých troch kategórií. Ich ročná maximálna kapacita pre papierový odpad I. kategórie je 20 000 ton, pre papierový odpad II. kategórie 15 000 ton, a pre papierový odpad III. Kategórie 20 000 ton. Taktiež počítame s materiálovými stratami pri výrobe a spracovaní. Materiálové straty sú vytvorené na základe odhadu autora a sú uvedené v *Tabuľke č. 6*.

*Tabuľka č. 6* Materiálové straty pri výrobe pre model odpadový papier

<b>Názov</b>	<b>strata</b>
Materiálové zhodnotenie	9%
Spracovanie papierového odpadu I. kategórie	5%
Spracovanie papierového odpadu I. a II. kategórie	4%
Spracovanie papierového odpadu I. , II. a III. kategórie	4%

Zdroj: autor

### 4.2.3 Formulácia modelu ako úlohy lineárneho programovania

#### Premenné vystupujúce v modeli:

Prvé 3 premenné vyjadrujú množstvo odpadového papiera určeného na:

$x_{12}$  – materiálové zhodnotenie, merná jednotka 1 tona,

$x_{13}$  – na energetické zhodnotenie, merná jednotka 1 tona,

$x_{14}$  – zneškodnenie skládkovaním, merná jednotka 1 tona.

Nasledujúce 3 premenné vyjadrujú vyseparované množstvo papierového odpadu:

$x_{25}$  – I. kategórie, (najvyššia kvalita), merná jednotka 1 tona,

$x_{26}$  – II. kategórie, (stredná kvalita), merná jednotka 1 tona.

$x_{27}$  – III. kategórie, (horšia kvalita), merná jednotka 1 tona.

Nasledujúce 2 premenné vyjadrujú množstvo odpadového papiera už:

$x_{311}$  – energeticky zhodnoteného spaľovaním, merná jednotka 1 tona,

$x_{411}$  – zneškodneného skládkovaním, merná jednotka 1 tona.

Nasledujúce 3 premenné vyjadrujú množstvo odpadového papiera I. kategórie určenej na spracovanie skupinou podnikov spracovávajúcich iba papierový odpad:

$x_{58}$  – I. kategórie, merná jednotka 1 tona,

$x_{59}$  – I. kategórie a II. kategórie, merná jednotka 1 tona,

$x_{510}$  – I. kategórie , II. kategórie a III. kategórie, merná jednotka 1 tona.

Nasledujúce 2 premenné vyjadrujú množstvo odpadového papiera II. kategórie určenej na spracovanie skupinou podnikov spracovávajúcich iba papierový odpad:

$x_{69}$  – I. kategórie a II. kategórie, merná jednotka 1 tona,

$x_{610}$  – I. kategórie , II. kategórie a III. kategórie, merná jednotka 1 tona.

Nasledujúca premenná vyjadruje Množstvo odpadového papiera III. kategórie určenej na spracovanie skupinou podnikov spracovávajúcich papierový odpad:

$x_{710}$  – I. kategórie , II. kategórie a III. kategórie, merná jednotka 1 tona.

Posledné 3 premenné vyjadrujú množstvo papierového odpadu, ktoré spracuje podnik spracovávajúci papierový odpad:

$x_{811}$  – I. kategórie na druhotný výrobok po materiálovej strate, merná jednotka 1 tona,

$x_{911}$  – I. kategórie a II. kategórie na druhotný výrobok po materiálovej strate, merná jednotka 1 tona,

$x_{1011}$  – I. kategórie , II. kategórie a III. kategórie na druhotný výrobok po materiálovej strate, merná jednotka 1 tona.

### **Účelová funkcia modelu 2:**

Účelová funkcia modelu 2 bola vytvorená na základe metodiky uvedenej v 3. kapitole tejto práce.

$$\text{Min } 470x_{12} + 550x_{13} + 555x_{14} + 80x_{58} + 85x_{59} + 85x_{69} + 90x_{510} + 90x_{610} + 90x_{710}$$

### **Ohraničenia modelu 2:**

Prvých 9 ohraničení vyjadruje maximálnu kapacitu pre jednotlivé hrany. Nasledujúcich 11 ohraničení vyjadruje tok v sieti spolu s materiálovými stratami v jednotlivých uzloch.

$$x_{12} \leq 100\ 000$$

$$x_{13} \leq 10\ 000$$

$$x_{14} - M \leq 0$$

$$x_{58} \leq 20\ 000$$

$$x_{59} \leq 10\ 000$$

$$x_{510} \leq 20\ 000$$



$$\begin{aligned}
x_{69} &\leq 15\,000 \\
x_{610} &\leq 15\,000 \\
x_{710} &\leq 20\,000 \\
x_{12} + x_{13} + x_{14} &= 115\,000 \\
0.47x_{12} - x_{25} &= 0 \\
0.27x_{12} - x_{26} &= 0 \\
0.17x_{12} - x_{27} &= 0 \\
x_{25} - (x_{58} + x_{59} + x_{510}) &= 0 \\
x_{26} - (x_{69} + x_{610}) &= 0 \\
x_{27} - x_{710} &= 0 \\
0.96(x_{58} + x_{59} + x_{510}) - x_{1011} &= 0 \\
0.96(x_{69} + x_{610}) - x_{911} &= 0 \\
0.95x_{58} - x_{811} &= 0 \\
x_{ij} &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 11, \quad j = 1, 2, \dots, 11
\end{aligned}$$

Úlohu riešime ako úlohu lineárneho programovania v programe GAMS.

***Zdrojový kód z programu GAMS pre model 2 – odpadový papier***

```

scalar a "naklady na materialové spracovanie 1t" /470 /
scalar b "naklady na energeticke a ine zhodnocenie" /550 /
scalar c "naklady na skladkovanie" /555/
scalar d "naklady na vyrobu recyklovaného papiera " /80 /
scalar e "naklady na výrobu recyklovaného hygienického
papiera" /85/
scalar f "naklady na vyrobu obalového papiera" / 90/
scalar U "celkova ponuka na spracovanie" /115000 /
scalar m /999999999999/
positive variables
x12,x13,x14,x25,x26,x27,x58,x59,x510,x69,x610,x710,x811,x91
1,x1011,x311,x411;
variables
z ucelova funkcia ;
equations
UF ucelova funkcia

```

```

ohr1,ohr2,ohr3,ohr4,ohr5,ohr6,ohr7,ohr8,ohr9,ohr10,ohr11,oh
r12,ohr13,ohr14,ohr15,ohr16,ohr17,ohr18,ohr19,ohr20,ohr21;
UF.. z=e=a*x12 + b*x13 + c*x14 + d*x58 + e*x59 +e*x69
+f*x510+f*x610+f*x710;
ohr1.. x12 =l= 100000;
ohr2.. x13 =l= 10000;
ohr3.. x14 =l= M;
ohr4.. 0.47*x12=e=x25;
ohr5.. x12+x13+x14=e=U;
ohr6.. 0.27*x12=e=x26;
ohr7.. 0.17*x12=e=x27;
ohr8.. x25=e=x58+x59+x510;
ohr9.. x26=e=x69+x610;
ohr10.. x27=e=x710;
ohr11.. 0.95*x58=e=x811;
ohr12.. 0.96*(x59+x69)=e=x911;
ohr13.. 0.96*(x510+x610+x710)=e=x1011;
ohr14.. x14=e=x411;
ohr15.. x13=e=x311;
ohr16.. x58=l=20000;
ohr17.. x59=l=10000;
ohr18.. x510=l=20000;
ohr19.. x69=l=15000;
ohr20.. x610=l=15000;
ohr21.. x710=l=20000;
model papier/all/;
solve papier using lp minimizing z;

```

#### ***4.2.4 Výstup z programu GAMS – papier a papierový odpad***

Výstup z programu GAMS na *Obrázku č. 14* nám hovorí, že riešime úlohu lineárneho programovania. Minimalizovali sme účelovú funkciu z. Účelová funkcia vyjadruje celkové náklady potrebné na spracovanie ročnej produkcie papierového odpadu. Na riešenie bol použitý solver CPLEX. Riadok model status hovorí, že sme

našli optimálne riešenie. Riadok objective value vyjadruje hodnotu účelovej funkcie, a teda jej hodnota je 63 140 000 €.

Obrázok č. 14 Výstup z programu GAMS

```

                S O L V E      S U M M A R Y

MODEL   papier                OBJECTIVE   z
TYPE    LP                    DIRECTION  MINIMIZE
SOLVER  CPLEX                 FROM LINE  62

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    63140000.0000

```

Zdroj: autor

Na ďalšom *Obrázku č. 15* je vidieť hodnoty pre jednotlivé neznáme, ako aj hodnotu účelovej funkcie. Tieto hodnoty vyjadrujú tok papierového odpadu v celom modeli. Pre lepšiu interpretáciu to môžeme vyjadriť aj graficky, čo je znázornené na *Obrázku č. 16*.

Obrázok č. 15 Výstup z programu GAMS

```

                LOWER      LEVEL      UPPER      MARGINAL

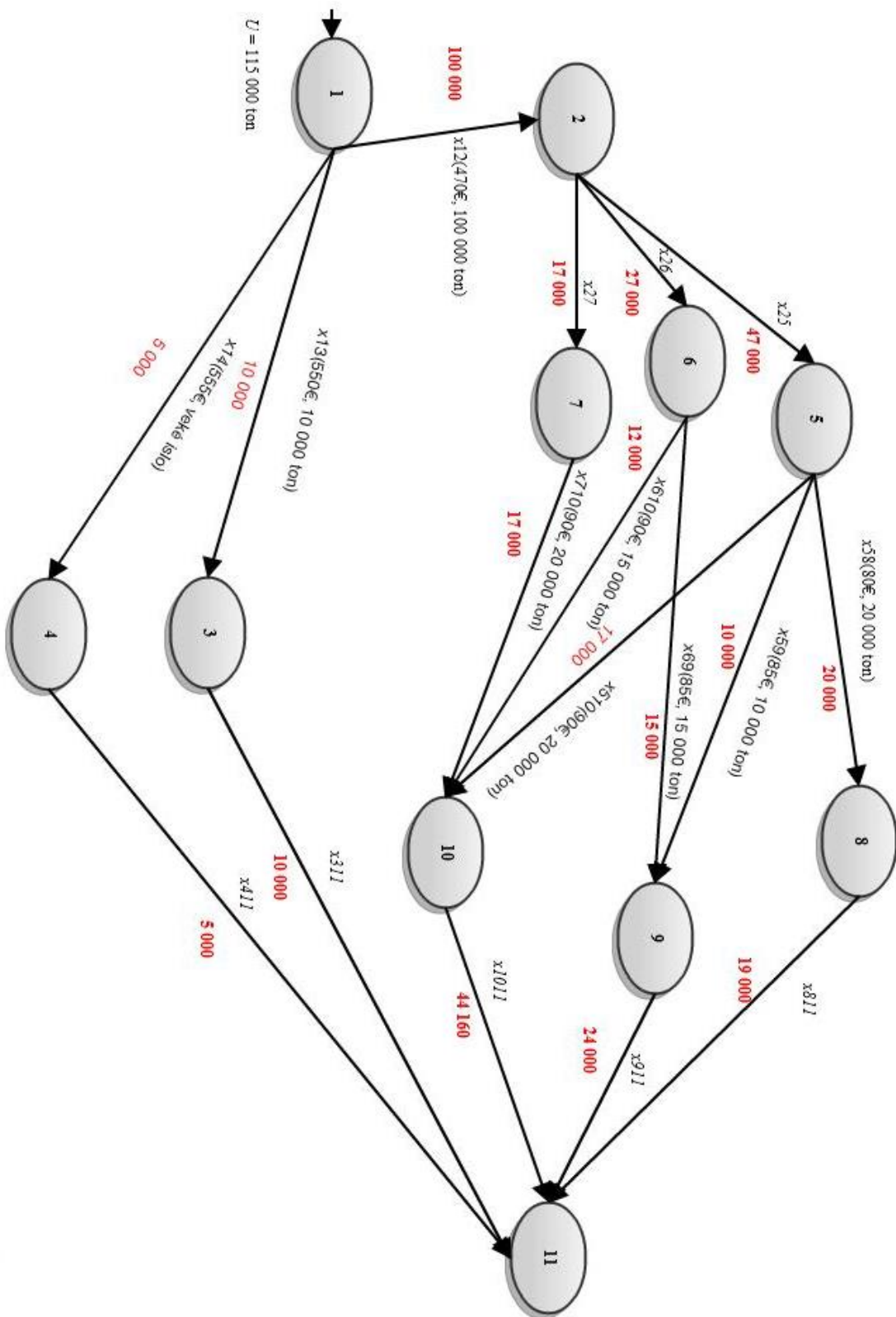
---- VAR x12          .      1.0000E+5      +INF      .
---- VAR x13          .      10000.000      +INF      .
---- VAR x14          .       5000.000      +INF      .
---- VAR x25          .      47000.000      +INF      .
---- VAR x26          .      27000.000      +INF      .
---- VAR x27          .      17000.000      +INF      .
---- VAR x58          .      20000.000      +INF      .
---- VAR x59          .      10000.000      +INF      .
---- VAR x510         .      17000.000      +INF      .
---- VAR x69          .      15000.000      +INF      .
---- VAR x610         .      12000.000      +INF      .
---- VAR x710         .      17000.000      +INF      .
---- VAR x811         .      19000.000      +INF      .
---- VAR x911         .      24000.000      +INF      .
---- VAR x1011        .      44160.000      +INF      .
---- VAR x311         .      10000.000      +INF      .
---- VAR x411         .       5000.000      +INF      .
---- VAR z            -INF   6.3140E+7      +INF      .

```

Zdroj: autor

**Grafické zobrazenie vyriešenej úlohy**

Obrázok č. 16 Grafické vyriešenie modelu odpadový papier



Zdroj: autor

Na *Obrázku č. 16* vidieť, že je maximálne naplnené ohraničenie pre energetické zhodnotenie. Niektoré štúdie dokonca preferujú energetické zhodnotenie pred materiálovým, a to hlavne z toho dôvodu, že papier je biopalivo, ktoré nahradzuje vykurovací olej a iné fosílné palivá, a jeho spaľovanie znamená obmedzenie emisií oxidu uhličitého. Ďalej na obrázku je vidieť, že sa odporúča skládkovať iba minimálne množstvo. To je pozitívne, lebo skládkovanie nie je výhodným riešením z hľadiska ochrany životného prostredia.

Ďalej možno na obrázku je vidieť, že v našom modeli v daných podmienkach sa ročne vyprodukuje 47 000 ton papierového odpadu I. kategórie, 27 000 ton papierového odpadu II. kategórie a 17 000 ton papierového odpadu III. kategórie. Z obrázku vyplýva, že skupina podnikov, ktoré spracovávajú iba papierový odpad I. kategórie, majú maximálne naplnenú hranu, teda budú môcť maximálne využiť spracovateľské kapacity. Hlavných dôvodom sú hlavne najnižšie spracovateľské náklady.

Ďalej je vidieť, že aj skupina podnikov, ktoré spracovávajú papierový odpad kategórie I. a II., majú maximálne naplnené hrany v oboch prípadoch. Teda možno povedať, že aj táto skupina bude môcť maximálne využiť svoje spracovateľské kapacity.

Skupina podnikov, ktoré sa zaoberajú spracovaním papierového odpadu všetkých kategórií, sú schopný ročne spracovať 55 000 ton. Podľa obrázka dostanú 17 000 ton papierového odpadu I. kategórie, 12 000 ton papierového odpadu II. kategórie, a 17 000 ton papierového odpadu III. kategórie, teda spolu 46 000 ton, čo im umožní využiť spracovateľské kapacity na 83,3 %. Hlavným dôvodom, prečo nemajú maximálne uspokojený dopyt, sú najvyššie výrobné náklady.

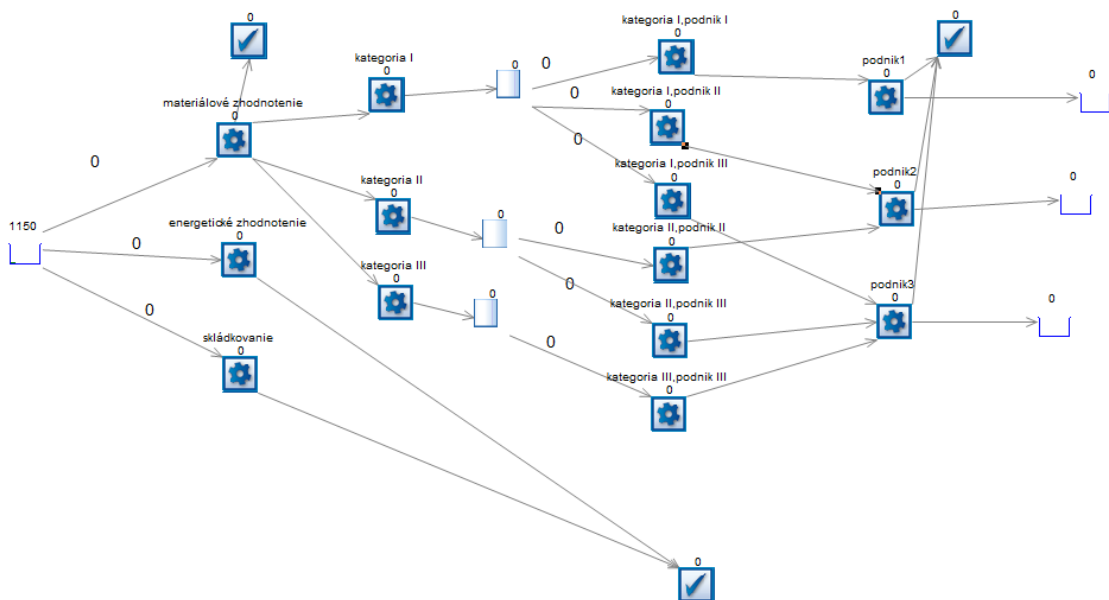
V budúcnosti by mohli podniky, ktoré spracovávajú iba papierový odpad I. kategórie, a podniky, ktoré spracovávajú papierový odpad I. a II. kategórie, uvažovať s rozšírením spracovateľských kapacít. Posledná kategória podnikov by sa mala zamerať na zníženie výrobných nákladov, pre zvýšenie konkurencieschopnosti.

#### 4.2.5 Simulácia modelu II. – odpadový papier

Pre overenie správnosti riešenia úlohy, môžeme zostrojiť simulačný model. Simulačný model bude rešpektovať také isté ohraničenia a predpoklady, aké platia pre optimalizačnú časť.

Na *obrázku č. 17* je zobrazený začiatkový stav simulácie. Začiatková hodnota je nastavená na 115 000 ton, čo vyplýva z predpokladu číslo 5. Vzhľadom na väčšie rozmery simulácie a väčšiu náročnosť sú hodnoty vyjadrené v 100 tonách.

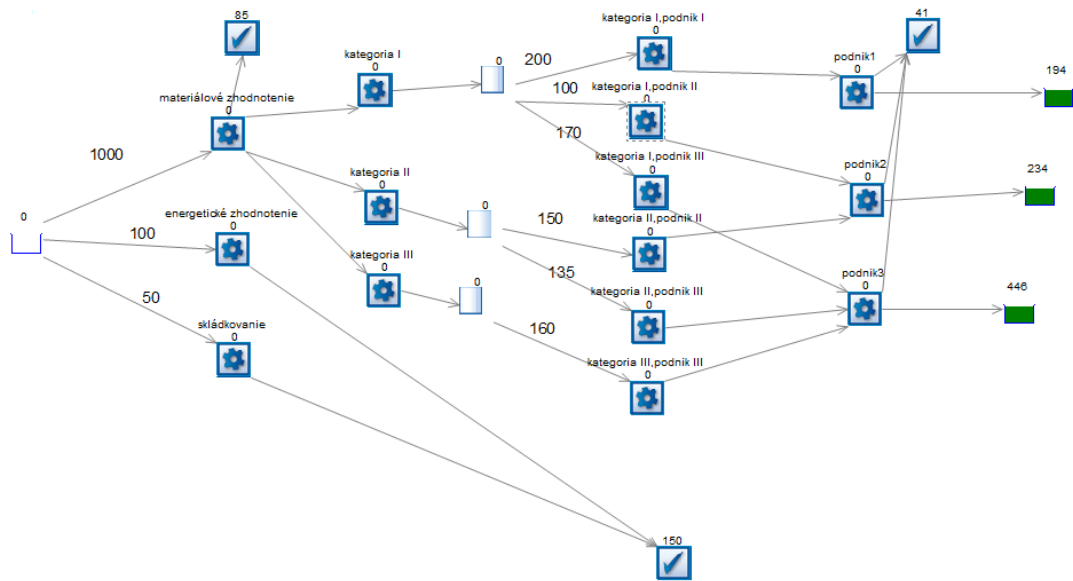
*Obrázok č. 17* Začiatkový stav simulácie pre model odpadový papier



Zdroj: autor

Po skončení simulácie možno dostať hodnoty, ktoré sú zobrazené na *Obrázku č. 18*. Na *Obrázku č. 18* možno vidieť, že jednotlivé hrany dosahujú takmer rovnaké hodnoty ako pri riešení modelu pomocou programu GAMS. Ďalej možno vidieť hodnoty materiálových strát pri spracovaní a výrobe, ktoré vyjadrujú bunky exit 1 (8 500 ton) a exit 2 (4 100 ton). Iné hodnoty sa dosahujú iba pri hranách pre podnik 3a; to je spôsobené hlavne použitými rozdeleniami a metódami.

Obrázok č. 18 Konečný stav simulácie pre model odpadový papier



Zdroj: autor

Na *Obrázku č. 18* teda opäť môžeme vidieť, že ohraničenie pre energetické zhodnotenie je maximálne naplnené, a to z dôvodu nižších nákladov. Ďalej vidno, že pri materiálovom spracovaní je tiež ohraničenie maximálne naplnené a skládkovať sa odporúča iba minimálne množstvo. Ďalej na obrázku vidno, koľko ton papierového odpadu sa materiálovo zhodnotí, čo znázorňujú zelené tanky na pravej strane. Možno vidieť, že podniky, ktoré spracovávajú iba papierový odpad I. kategórie, spracujú na druhotné výrobky 19 400 ton odpadového papiera, podniky, ktoré spracovávajú papierový odpad I. a II. kategórie, spracujú na druhotné výrobky 23 400 ton odpadového papiera a posledná kategória podnikov premení 44 600 ton odpadového papiera na druhotné výrobky.

Na nasledujúcom *Obrázku č. 19* možno vidieť náklady na spracovanie a výrobu. Keďže hodnoty sú v 100 tonách, treba všetky hodnoty prenásobiť číslom 100, aby sme dostali výsledky porovnateľné s programom GAMS. Na obrázku teda vidno, že pri zadaných hodnotách v našom modeli sú najväčšie náklady na materiálové zhodnotenie. Ďalej na obrázku vidno náklady jednotlivých skupín podnikov na spracovanie. Keďže sú najväčšie náklady na materiálové zhodnotenie, mali by sme sa zaoberať znižovaním týchto nákladov. Pre zníženie týchto nákladov treba najskôr spraviť analýzu procesov, ktoré prebiehajú pri materiálovom spracovaní a následne optimalizovať tieto procesy.

## Obrázok č. 19 Náklady na spracovanie a výrobu pre model odpadový papier

<b>Costs</b>	<b>€ 631 850.00</b>
materiálové zhodnotenie	€ 470 000.00
energetické zhodnotenie	€ 55 000.00
skládkovanie	€ 27 750.00
podnik1	€ 16 000.00
podnik2	€ 21 250.00
podnik3	€ 41 850.00

Zdroj: autor

### 4.2.6 Model 2 – Možnosti modifikácie modelu

Keď máme formulovaný a vyriešený model, môžeme sa pokúsiť o modifikáciu modelu. Pre model 2 sledujeme, ako sa bude meniť účelová funkcia a rozloženie odpadového papiera, keď podniky spracovávajúce papierový odpad I., II. a III. kategórie sa rozhodnú pre modernizáciu spracovateľských postupov. Táto modernizácia bude mať za následok výpadok linky spracovávajúcej papierový odpad I. kategórie. Táto linka mala ročnú spracovateľskú kapacitu 20 000 ton. V našom teoretickom modeli táto linka spracovávala 17 000 ton odpadového papiera. Takáto modernizácia spôsobí v našom teoretickom modeli nasledujúce zmeny, ktoré sú vyjadrené v *Tabuľke č. 7*.

*Tabuľka č. 7* Zmeny v modeli po modifikácii

<b>oblasti zmeny</b>	<b>pôvodný stav</b>	<b>nový stav</b>
materiálové zhodnotenie	100 000	63 829.787
skládkovanie	5 000	41 170.213
účelová funkcia	63 140 000	63 252 127

Zdroj: autor

Ako vidieť v *Tabuľke č. 7*, materiálové zhodnotenie odpadového papiera klesne z úrovne 100 000 ton na úroveň 63 829.787 ton, čo predstavuje pokles o viac ako 36 %. Skládkovanie odpadového papiera stúpne z úrovne 5 000 ton ročne na úroveň 41 170.213 ton ročne, čo predstavuje viac ako 820 % nárast. Táto skutočnosť je spôsobená tým, že v našom teoretickom modeli predpokladáme, že pri materiálovom zhodnotení sa vytriedi 47 % odpadového papiera I. kategórie, teda výpadok pri spracovaní odpadového papiera I. kategórie vyvolá viac ako 2-násobný výpadok pri materiálovom



zhodnocovaní odpadového papiera všetkých kategórií a jediná možnosť v našom teoretickom modeli, kde môžeme toto množstvo uložiť, je skládkovanie.

Na podniky, ktoré spracovávajú papierový odpad I. kategórie, a na podniky, ktoré spracovávajú papierový odpad I. a II. kategórie, nemá táto zmena žiadny vplyv, lebo ich kapacita bola už aj predtým využitá na 100 %. Podniky, ktoré spracovávajú papierový odpad I., II. a II. kategórie, to ovplyvnilo výrazne. Predtým mali využiteľnosť spracovateľských kapacít na úrovni 83,6 %. Počas modernizácie sa zníži ich spracovateľská kapacita na 35 000 ton ročne, ale budú mať k dispozícii iba 2 234.043 ton papiera II. kategórie a 10 851.064 ton odpadového papiera III. kategórie. Táto modernizácia im spôsobí pokles využiteľnosti spracovateľských kapacít u 83,6 % na 37,4 %.

Pri rozhodovaní či sa majú pustiť do takejto modernizácie by mali brať do úvahy aj dopad modernizácie na výrobné náklady. Aby táto modernizácia bola efektívna musí spôsobiť zníženie nákladov na spracovanie odpadového papiera I. kategórie o 5,7%.. Zníženie nákladov na spracovanie odpadového papiera I. kategórie o 5,7% spôsobí pre podniky spracovávajúce papierový odpad I., II. a II. kategórie, zvýšenie ročného spracovávaného množstva na 49 000 ton.

## Záver

Modelovanie recyklačných procesov je aktuálna téma, ktorá sa dostáva posledné roky do popredia. Hlavným dôvodom je čoraz väčšia produkcia odpadu, ktorú treba riešiť. Na teoretické riešenie hromadenia odpadu možno využiť modelovanie recyklačných procesov. Modelovanie recyklačných procesov nám poskytne pohľad na stav v odpadovom hospodárstve a dá nám k dispozícii možnosti, ako tento stav vylepšiť.

Možnosťami narábania s odpadom a významom recyklácie pre spoločnosť sme sa zaoberali v prvej kapitole. Tá ponúka aj prehľad legislatívy upravujúcej nakladanie s odpadmi na Slovensku, ako aj stav odpadového hospodárstva na Slovensku. Analýza odpadového hospodárstva na Slovensku potvrdila stúpajúci trend v tvorbe odpadu a opäť vyzdvihla význam recyklácie pre spoločnosť.

Medzi hlavné ciele tejto práce sme zaradili vytvorenie teoretických modelov spracovania odpadu. Okrajovo sme sa hlavného cieľa dotkli v 3. kapitole. Metodika práce a metódy skúmania, kde sme formulovali metódy, pomocou ktorých budeme modely tvoriť, ako aj programové prostriedky, ktoré poslúžia na riešenie modelov. Hlavným cieľom práce, vytvorením teoretických modelov spracovania odpadu sa zaoberá 4. kapitola s názvom Výsledky práce a diskusia. V tejto kapitole sme sa zaoberali dvomi teoretickými modelmi spracovania odpadu.

Prvý model sa zaoberá spracovaním opotrebovaných pneumatík. Model vychádza z predpokladov, ktoré sú formulované vo 4. kapitole. Formuláciou predpokladov pre model sme zároveň splnili prvý čiastkový cieľ. Po formulácii predpokladov sme sa zaoberali vytvorením grafickej formulácie modelu. Na grafické vytvorenie modelu sme použili prístupy sieťovej analýzy a teórie grafov. Model sme následne formulovali matematicky, na čo nám poslúžili prístupy lineárneho programovania. Následne sme model vyriešili pomocou programových prostriedkov, ktoré boli opísané v 3. kapitole s názvom Metodika práce a metódy skúmania. Vyriešením modelu sme splnili posledný čiastkový cieľ. Vyriešením modelu sme dostali optimálne toky vyradených pneumatík v celom modeli. Zistili sme, že v našom teoretickom modeli sa preferuje zhodnocovanie spaľovaním pred materiálovým zhodnocovaním opotrebovaných pneumatík, a to hlavne z ekonomických dôvodov. V závere podkapitoly pre prvý model sme sa zaoberali modifikáciami modelu. Postupne

sme znižovali percento opotrebovaných pneumatík, ktoré sa zhodnocujú spaľovaním a sledovali sme dosah. Po vykonaní modifikácie sme zistili negatívny aj pozitívny dopad nášho pokusu. Za negatívny vplyv považujeme zvýšenie nákladov na spracovanie ročnej produkcie opotrebovaním pneumatík. Za pozitívne považujeme šetrenie životného prostredia, znižovanie emisií zlepšenie kvality ciest a budovanie nových športovísk a detských ihrísk. Tento pokus dokazuje, že je možné postupne zvyšovať percento materiálového zhodnotenia opotrebovaných pneumatík a myslíme, že pozitívne následky prevyšujú negatívne.

Druhý model sa zaoberá spracovaním odpadového papiera a venuje sa mu 2. podkapitola 4. kapitoly tejto práce. Model vychádza z predpokladov, ktoré sú formulované v úvode podkapitoly. Formuláciou predpokladov sme dosiahli splnenie prvého čiastkového cieľa pre druhý model. Po formulácii predpokladov sme vytvorili grafický model, pomocou metód spomenutých v 3. kapitole. Model sme následne formulovali matematicky a vyriešili pomocou programu GAMS a Simul8. Vyriešením modelu sme splnili posledný čiastkový cieľ pre druhý model a zároveň sme dostali optimálny tok odpadového papiera v celom modeli. V našom teoretickom modeli sme zistili, že sa preferuje materiálové zhodnocovanie odpadového papiera pred skládkovaním a energetickým zhodnocovaním. Následne sme skúmali využitie kapacity spracovateľských podnikov v našom teoretickom modeli. Zistili sme, že prvé 2 kategórie podnikov majú maximálne využitie kapacít, a teda tieto 2 kategórie podnikov by mali rozmyšľať nad rozšírením výrobných kapacít. V závere podkapitoly pre druhý model sme sa taktiež zaoberali modifikáciou. Sledovali sme zmeny v celom modeli, keď sa podniky spracovávajúce papierový odpad I., II. a III. kategórie rozhodnú pre modernizáciu, ktorá spôsobí výpadok linky spracovávajúcej papierový odpad I. kategórie. Zmeny mali značný vplyv na celý model. Takáto modernizácia by vyvolala pokles materiálového zhodnocovania odpadového papiera o 36 % a nárast v skládkovaní odpadového papiera o 820 %. Táto modernizácia by pre podniky, ktoré sa pre ňu rozhodli spôsobila pokles využitia spracovateľských kapacít o takmer 50 %. Následne sme určili hranicu pre efektívnosť modernizácie. Modernizácia by musela spôsobiť zníženie výrobných nákladov na spracovanie odpadového papiera I. kategórie aspoň o 5,7% aby bola efektívna.

# Zoznam použitej literatúry

## 1. Knihy / Monografie

BREZINA, I. – ČIČKOVÁ, Z. – REIFF, M. *Kvantitatívne metódy na podporu logistických procesov*. Bratislava: Vydavateľstvo EKONÓM. 2009

BREZINA, I. – IVANIČOVÁ, Z. – PEKÁR, J. 2007. *Operačná analýza*. Bratislava : Iura Edition, 2007. 243 s. ISBN 978-80-8078-176-7.

BREZINA, I. a kol. : *Modelovanie reverznej logistiky – optimalizácia procesov recyklácie a likvidácie odpadu*. Bratislava : Vydavateľstvo EKONÓM. 2009. 220 s. ISBN 978–80–225–2825–2.

LADISLAV UNČOVNSKÝ a kol. – *Modely sieťovej analýzy*. Bratislava. Alfa

MÁČA J. – LEITNER B. – *operačná analýza I. deterministické metódy operačnej analýzy*

PEKÁR, J. – BREZINA, I. – ČIČKOVÁ, Z. *Umiestnenie skladu pomocou metód viackriteriálneho vyhodnocovania variantov*. AIESA – budovanie spoločnosti založenej na vedmostiach. 12. Medzinárodná vedecká konferencia. Bratislava. 19. – 21. November 2008. Bratislava: Iura Edition. 2008.

PEKÁR J. – BREZINA I. – ČIČKOVÁ Z. – REIFF M. 2012. *Modelovanie rozmiestňovania recyklačných centier*. Bratislava. EKONÓM, 2012. 226 s. ISBN 978-80-225-3349-2.

PALÚCH S. – PEŠKO Š. : *Kvantitatívne metódy v logistike*. Žilina. 2006

## 2. Článok v časopise

SAVASKAN, R. C. – BHATTACHARYA, S. – WASSENHOVE, L. N.V. 2004. *Closed-Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing*, *Management Science*, Vol. 50, No. 2, 2004. ISSN (printed): 0025-1909. ISSN (electronic): 1526-501.

## 3. Článok zo zborníka a monografie

BREZINA I. : *Modelové aspekty reverznej logistiky*. IMPROFORUM. 2007: Inovace – podniky – regiony – organizace. Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké

konference: 27. – 28. listopadu 2007 České Budějovice. České Budějovice. Ekonomická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. 2007.

HUSÁROVÁ, N. – KONIARIK, A. : *Aplikácia reverznej logistiky pri zhodnocovaní opotrebovaných dopravných pasov*: Výrobné inžinierstvo, číslo 4, ročník VI., 2007. s. 59 – 61.

PEKÁR, J. – BREZINA, I. *Covering Location Problem of Collecting Centres*. Medzinárodný vedecký seminár vedeckých pracovníkov KEKO FIS VŠE v Prahe a KOVE FHI EU V Bratislave. Praha. 2008

PEKÁR, J. – BREZINA, I. – ČIČKOVÁ, Z. *Model rozmiestnenia p-triediacich centier v SR*. Odborný seminár KOVE FHI EU v Bratislave. Využitie kvantitatívnych metód vo vedeckovýskumnej činnosti a v praxi IX. Zázrivá. 2009.

#### **4. Elektronické dokumenty - monografie**

MÁČA J. – LEITNER B. – *operačná analýza I. deterministické metódy operačnej analýzy*. [elektronický zdroj].

([http://fsi.uniza.sk/ktvi/publikacie/11\\_operanal1\\_u\\_2002.pdf](http://fsi.uniza.sk/ktvi/publikacie/11_operanal1_u_2002.pdf))

STRAMA M. – PEKARČÍKOVÁ M. 2008. *Význam demontáže produktov na konci ich životnosti*. [elektronický zdroj].

([https://www.sjf.tuke.sk/kpiam/TaIPvPP/2008/index.files/Priemyselne\\_inzinierstvo/strama-pekarcikova.pdf](https://www.sjf.tuke.sk/kpiam/TaIPvPP/2008/index.files/Priemyselne_inzinierstvo/strama-pekarcikova.pdf))

#### **7. Vedecko-kvalifikačné práce**

DROZDÍK J. 2006. *Všeobecný algebraický modelovací systém – GAMS* : diplomová práca. Bratislava. UK. 2006

GEŽÍK P. 2010. *Zásobovacie procesy ako súčasť reverznej logistiky* : dizertačná práca. Bratislava. EUBA. 2010

LÁZNIČKA J. 2009. *Vybrané softwarové produkty pro simulační modelování a jejich srovnání* : diplomová práca. Praha. VŠE. 2009

## **8. Výskumné správy**

BRITO M. P. D. – DEKKER, R. – FLAPPER, S. D. P. 2004. *Reverse Logistics: A Review of Case Studies* : The research presented in this paper was supported by the European Commission as part of the TMR project REVLOG (ERB 4061 PL 97-650), the European Working group on Reverse Logistics, 2004.

HRICOVÁ B. 2010. *Inovácia produktov prostredníctvom metodiky posudzovania životného cyklu produktov*: KEGA. Košice: TUKE. 2010

Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky : *Program odpadového hospodárstva Slovenskej republiky na roky 2011 – 2015*: Výskumná správa. Bratislava: MŽP SR [elektronický zdroj]. (<http://www.minzp.sk/files/oblasti/odpady-a-obaly/poh/poh2011-2015/poh-sr-2011-2015.pdf>)

Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky : *Program odpadového hospodárstva Slovenskej republiky na roky 2011 – 2015 Príloha 2 – Právny rámec odpadového hospodárstva*: Výskumná správa. Bratislava: MŽP SR [elektronický zdroj]. [elektronický zdroj]. ([http://www.minzp.sk/files/oblasti/odpady-a-obaly/poh/poh2011-2015/priloha\\_02.pdf](http://www.minzp.sk/files/oblasti/odpady-a-obaly/poh/poh2011-2015/priloha_02.pdf))

### **Elektronické odkazy:**

<http://www.recfond.sk/>

<http://www.minzp.sk/dokumenty/legislativa/zakony-pravne-redpisy/slovensko/odpadyobaly-odpadove-hospodarstvo/>

<http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/index.htm>

[http://europa.eu/lisbon\\_treaty/index\\_sk.htm](http://europa.eu/lisbon_treaty/index_sk.htm)